

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

**GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DAS ROCHAS ÁCIDAS DA PONTA DA
ANDORINHA, PRAIA DA PINHEIRA - SC: PROCESSOS DE FUSÃO DE CROSTA RASA**

Alisson Rech Honorato

Trabalho de Conclusão de Curso submetido a banca examinadora para a obtenção do Grau de
Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Luana Moreira Florisbal

Florianópolis

2019

Rech Honorato, Alisson
GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DAS ROCHAS ÁCIDAS DA
PONTA DA ANDORINHA, PRAIA DA PINHEIRA - SC: PROCESSOS DE
FUSÃO DE CROSTA RASA / Alisson Rech Honorato ;
orientadora, Luana Moreira Florisbal , 2019.
86 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de
Filosofia e Ciências Humanas, Graduação em Geologia,
Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

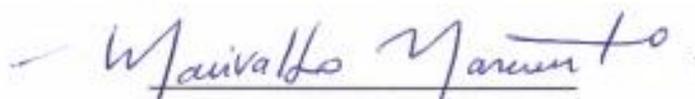
1. Geologia. 2. Fusão de crosta rasa . 3. Granito Ilha
. 4. melt remobilizado . 5. Enxame de Diques Florianópolis
. I. Moreira Florisbal , Luana . II. Universidade Federal
de Santa Catarina. Graduação em Geologia. III. Título.

Alisson Rech Honorato

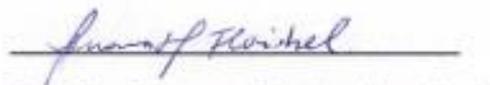
GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DAS ROCHAS ÁCIDAS DA PONTA DA ANDORINHA, PRAIA DA PINHEIRA - SC: PROCESSOS DE FUSÃO DE CROSTA RASA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Geologia, e aprovado em sua forma final pelo Coordenador do Curso de Geologia.

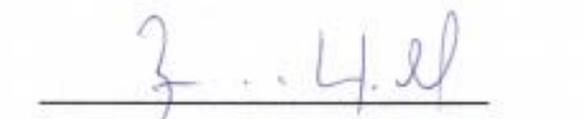
Florianópolis, 18 de junho de 2019

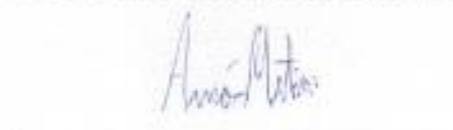

Prof. Dr. Marivaldo dos Santos Nascimento
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:


Prof.ª Dr.ª Luana Moreira Florisbal
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina


Prof. Dr. Breno Leitão Weichel
Universidade Federal de Santa Catarina


Prof. Dr. Amós Martini

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - Campus Diamantina

DEDICATÓRIA

Dedico a todxs que quiserem aprender sobre fusão de crosta rasa, e conhecer as texturas e microestruturas atribuidas a este fenômeno termal.

AGRADECIMENTOS

O TCC é algo pequeno comparado com tudo que ainda há por vir, mas o meu foi essencial não só para aprender geologia como também para me conhecer. Por conta disso, sou muito grato pelo tempo que dediquei para fazer este trabalho e pelo momento que passei no curso de geologia da UFSC.

Sou grato a universidade pública de qualidade, onde fiz muitos amigos e aprendi com toda certeza a ser um cidadão melhor, que pensa na sociedade como um todo e que deseja, como também busca, o bem-estar de todos. Comparado com a pessoa que eu era quando entrei no curso, hoje me sinto muito melhor; dedicado, responsável e acreditando em meu potencial, o que é muito gratificante. Sou muito grato a mim mesmo pela pessoa que me tornei, por todos os conflitos internos que superei e, principalmente, grato as pessoas que estiveram comigo neste momento.

Sozinho eu não teria feito este trabalho. Luana, minha diva magmática, rainha plutônica... obrigado por compartilhar comigo a Ponta da Andorinha que, se me permite a fantasia, vejo como um ninho que me ensinou a voar. Minha querida professora orientadora, você não me ensinou só geologia, indiretamente você me ensinou muitas coisas que me tocam e fazem me sentir imensamente grato. Obrigado por acreditar em mim, você fez eu acreditar em mim. Você é um exemplo a ser seguido, e se eu for um fruto que não caiu longe do pé, serei honrado por isso. Lembrarei de você (e de sua didática maravilhosa) sempre com muito carinho, amor e admiração. Obrigado.

A geologia me fez conhecer muita gente massa. Pessoas que pensarei sempre com muito amor e carinho, que torço pela felicidade e sucesso, os chamados GeoAmigos. Os da UFSC, como as Carols (Muller, Peixoto, Pereira), Orlando, Jonathan, Ian, Ana, Jany, Luiza, Alina, Wolski, Maiara e todos os outros que já dividi algum momento geológico. Teve também as pessoas que conheci no Enegeo, como o Ramon, da UFBA e todas as pessoas do LMPT, que tive o prazer de conviver na reta final. Mas a geologia principalmente trouxe meus amigos que estiveram comigo desde o primeiro dia de aula e estão até agora, todo meu amor para vocês. Lucas, Fernanda, Isadora, Lelezinho, Giulia (welminha) e Paula. Crescemos juntos, amadurecemos juntos e sempre torceremos um pelo outro. Obrigado por todos os cafés e momentos bons que tivemos, amo vocês, para sempre.

Aos meus queridos pai e mãe, meus Deus, como a distância fez eu ver como eu amo vocês e como sentir isso é bom. Quando penso em vocês eu me sinto abraçado, amado e quentinho. Nossa família é perfeita, temos muito amor entre nós quatro. Peterson é um irmão maravilhoso, que sempre torceu por mim e sentiu minhas dores e felicidades, como eu sinto ambas as dele. Eu amo muito vocês três e agradeço ao universo e a Deus por nossa família e por todo amor que temos um pelo outro, amo vocês. Reconheço todo o esforço que vocês fizeram para me proporcionar esse sonho e sou muito agradecido por isso.

Quando me mudei para Florianópolis deixei poucos amigos em Criciúma, algumas amigas enfraqueceram os laços (sem enfraquecer o carinho e a admiração), enquanto outras permaneceram iguais ou até mais fortes. Larissa é uma amizade que eu tenho muito que agradecer neste percurso, me ajudou de diferentes maneiras e mesmo de longe sempre me apoiou, te amo. Também me aproximou de pessoas que hoje amo estar junto em Criciúma; Deivid e Rodrigo. Em Criciúma deixei minha amiga Mariana, que depois de um ano veio morar em Florianópolis e que tive o prazer de morar por dois incríveis anos. Quantos momentos bons que tivemos aqui, juntos com nossa incrível amiga Ana, que amo, e quantas pessoas maravilhosas conhecemos. Nesses anos de faculdade em Florianópolis tive muitos momentos bons e conheci pessoas que levarei para todo a minha vida.

Meu namorado Venícios, que sempre me segurou quando eu estava caindo, obrigado por tudo que você é para mim. Obrigado pelo sorriso de felicidade quando me vê (que aquece meu coração). Sua felicidade é contagiante e isso me faz te amar e admirar. A todos os amigos que fiz aqui, fora da faculdade, e que estiveram comigo desde o começo até agora, Hugo, Ana, Tia (que me cedeu um lar), JM, Victor, Rosinha, Kattie, Pamela, Pri, Anderson e todos os outros, obrigado pelos momentos bons. Por fim, tenho muito a agradecer ao meu grande amigo Ricardo, que tem todo meu amor e carinho (que é intenso, leve e verdadeiro), que sempre esteve comigo nessa amizade recíproca e verdadeira que é uma das coisas que mais sou grato no mundo, muito obrigado pelos momentos que passamos juntos até agora.

Sou agradecido por tudo que essas pessoas fizeram de bom para mim durante este momento da vida que foi o curso de geologia, mas ainda mais grato por essas pessoas terem passado pela minha vida. Obrigado universo

No entanto...

This is the beginning.

“Posso ouvir o vento passar
Assistir à onda bater
Mas o estrago que faz
A vida é curta pra ver”

- Rodrigo Amarante

RESUMO

Na região costeira de Santa Catarina, ocorrem diques máficos e félsicos intrusivos nas rochas graníticas do Batólito Florianópolis. A origem dos corpos félsicos é ainda controversa, sendo ora correlacionados ao magmatismo ácido da Suíte Cambirela de idade neoproterozoica, ora ao magmatismo intermediário a ácido da Bacia do Paraná, de idade cretácea. Ainda, esses corpos podem também ser gerados por processos de fusão das encaixantes graníticas neoproterozoicas do Batólito Florianópolis, gerada pela entrada dos diques básicos cretáceos do Enxame de Diques de Florianópolis. Na Ponta da Andorinha, Praia da Pinheira (SC), ocorre um corpo lenticular félsico associado a uma brecha de mistura, bem como veios, vênulas e apófises de composição similar, todos com contatos irregulares na interface entre um dique básico (134Ma) e o Granito Ilha (590 Ma). O contato do corpo félsico com o Granito Ilha encaixante é nítido a difuso. Já com o dique básico estes contatos podem ser retos a sinuosos. Várias apófises, veios e vênulas com continuidade física com a encaixante, além de um bolsão félsico, são encontrados intrudindo o dique básico. O corpo félsico principal também está em contato difuso e sinuoso com uma brecha de mistura que contém um enxame de enclaves máficos de tamanho, textura e granulação variadas. Tanto o corpo ácido principal quanto apófises, vênulas e bolsões possuem textura inequigranular, com uma matriz fina que contém cristais reliquiares xenomórficos de quartzo e feldspatos, em geral corroídos e/ou parcialmente consumidos. Texturas de desequilíbrio são abundantes na matriz destas rochas, como a textura micrográfica, granofírica e esferulítica, além de crescimentos radiais de quartzo e cristais reliquiares de quartzo embaídos e arredondados. Nos cristais reliquiares se observam bordas difusas ou arredondadas, presença de esferulitos e *string of beads* ao longo dos limites dos grãos, bem como coronas de textura granofírica ou de material vítreo. A proporção de matriz:cristais reliquiares permite a identificação de zonas com diferentes concentrações de *melt*. Os dados geoquímicos permitem classificar estas rochas como riolitos e dacitos. As rochas ácidas possuem altos teores de SiO₂, álcalis e Rb, e baixa concentração de FeO^T, MgO, CaO, P₂O₅, TiO₂, Sr e Ba, similar a composição do granito encaixante e diferente daquele identificado nas rochas ácidas do Enxame de Diques de Florianópolis. A análise integrada dos dados geológicos, petrográficos e geoquímicos aponta processos de fusão parcial da rocha granítica encaixante como o processo gerador destes corpos félsicos desencadeados pela intrusão de diques básicos de idade Cretácea e, portanto, são processo de fusão parcial gerados em porções rasas da crosta.

ABSTRACT

In the coastal region of Santa Catarina, mafic and felsic dykes are intrusive in the granitic rocks of the Florianópolis Batholith. The origin of the felsic bodies is still controversial, being sometimes correlated to the acidic magmatism of the Neoproterozoic Cambirela Suit, or to the acidic to intermediate magmatism of the Paraná Basin of Cretaceous age. Still, these bodies can also be generated by melting processes of Neoproterozoic granitic countryrocks of the Florianópolis Batholith, generated by the emplacement of the Cretaceous basic dykes of the Florianópolis Dike Swarm. In the Ponta da Andorinha, Pinheira Beach (SC), a felsic body occurs associated with a magma mixing breccia, as well as veins, venules and apophysis with similar composition, all with irregular contacts at the interface between a basic dyke (134 Ma) and the Ilha Granite (590 Ma). The contact between the felsic body and the Ilha Granite countryrock is sharp to diffuse. Already, with the basic dykes these contacts can be sharp to sinuous. Several apophysis, veins and venules with physical continuity with the countryrock, besides a felsic pocket, are found intrusive in the basic dyke. The main felsic body also have diffuse to sinuous contacts with a magma mingling breccia, that have a mafic enclave swarm with varied enclaves size, texture and grain size. Both the main felsic body as the apophysis, venules and pockets have inequigranular texture with a fine grained matrix that contain xenomorphic relict crystals of quartz and feldspars, commonly corroded and/or partially consumed. Disequilibrium textures are abundant in those rocks matrix, with micrographic, granophiric and spherulitic textures, in addition to quartz radial growths and relict crystals with cuspede shaped contacts. In the relict crystals diffused or rounded rims, spherulites and string of beads in the grain boundaries, as well as granophiric or vitreous coronas are observed. The matrix:relict crystals ratio allow the identification of zones with distinct melt concentration. The geochemical data classifies those rocks as rhyolites to dacites. The acidic rocks have high SiO_2 , alkalis and Rb contents, and low FeO^T , MgO, CaO, P_2O_5 , TiO_2 , Sr and Ba contents, similar to the granitic country rock and different to the contents identified in the acidic rocks from the Florianópolis Dyke Swarm. The integrated analysis of the geological, petrographic and geochemical data points to partial melting processes of the granitic countryrock as the generating process of these felsic bodies triggered by the intrusion of basic dikes of Cretaceous age and, therefore, are shallow level partial melting process.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Mapa simplificado da região de estudo. Estado de Santa Catarina, região sul do Brasil, no município de Palhoça.22
- Figura 2 - i) Classificação e nomenclatura das rochas vulcânicas ácidas dos tipos Palmas (triângulos) e Chapecó (círculos) segundo o diagrama TAS (Le Bas et al., 1986). ii e iii) Diagramas discriminantes utilizados para subdivisão dos subtipos Palmas (ii) e Chapecó (iii) (P_2O_5 vs TiO_2) (todos extraídos de Nardy et al., 2008)31
- Figura 3 - Diagrama mostrando as taxas de nucleação e de crescimento cristalino como função do grau de sub-resfriamento. Modificado de Naslund and McBirney (1996).34
- Figura 4 - a) Vidro vulcânico com estruturas de fluxo bem marcadas. b) Vidro vulcânico marrom com fraturas perlíticas. c) Vista de detalhe de uma fratura perlítica, onde percebe-se que todo o vidro está fraturado. Imagens obtidas a nicóis descruzados, a nicóis cruzados o vidro é completamente preto ao giro de 360° da platina. Fonte: Frank, 2018.....35
- Figura 5 - Estrutura de desvitrificação em vidro vulcânico, comercializado como pedra ornamental “obsidiana flocos de neve”, proveniente do México. À esquerda, a nicóis descruzado, à direita, a nicóis cruzados. Fonte: Frank, 201836
- Figura 6 - Esferulitos em Riolito. Esferulitos de microfenocristais de plagioclásio e biotita, cercados por vidro. Fonte: Atlas of igneous rocks and their textures, W. S. MacKinzie36
- Figura 7 - As morfologias básicas dos esferulitos são representadas nestes esboços: (A) Esférico: Frequentemente terá um contorno irregular causado pela proximidade de outros esferulitos. (B) Gravata borboleta: dois cones unidos em seus ápices que podem ser gradacionais a esféricos, à medida que os “ventiladores” de oposição aumentam. A gravata borboleta não precisa ser simétrica. (c) Ventilador: um único cone ou metade de uma esferulito gravata-borboleta. (d) Plumoso: um esferulito aberto e grosso com ramificação lateral extensa. Geralmente em forma de leque, mas pode ser esférico ou gravata borboleta. (e) Axialíticos: fibras esferulíticas irradiadas de uma linha. Fonte: Lofgran, 1974.....37

Figura 8 - Modelo de reações de fusão parcial; a) gotas de fundido (*melt pockets*) geradas e aprisionadas nas junções tríplices dos minerais; b) ângulo diedro $\theta > 60^\circ$ entre sólido e líquido que impede as gotas de fundido se interconectarem; c) ângulo diedro $\theta < 60^\circ$ entre sólido e líquido permitindo a conexão entre as gotas do fundido; d) estágio avançado da fusão em que as arestas dos grãos já foram fundidas e filme de *melt* formados. Fonte: Maraes, 2013.....38

Figura 9 - a) Cristais reliquiários de quartzo e k-feldspato arredondados em matriz média a fina. Notar que o material da matriz migra ao longo dos limites dos grãos e das fraturas intragranulares. b) *String of beds* (seta amarela) e migração de matriz para dentro dos grãos em ângulos diedros (setas brancas com projeção). c) Terminação em cúspides (seta branca), típica feição de cristalização de fundido, contra parte do cristal que não foi totalmente consumida na reação. d) Cristais ameboides em matriz fina abundante. e) Megacristal com inclusão de nanogranito. f) Cristal de feldspato alcalino com coroa de granófiros (Gn). g) Desenvolvimento de textura granofírica (granófiros) e textura gráfica (Gf) ao longo do limite dos grãos de feldspato alcalino. h) Matriz composta por granófiros em diversos locais (setas brancas). Notar que o material gerado na fusão, os granófiros, muitas vezes se situam ao longo dos limites dos grãos dos cristais maiores, atestando a geração de *melt* ao longo destes contatos. Fotomicrografias tomadas com nicóis cruzados. Fonte: Bernardes, (2017) (Figs. F e G); Pereira, (2017) (Figs, A, B, D, E e H); Sawyer, (2008) (Fig. C)...40

Figura 10 – Mapa Geológico – Praia da Pinheira – Extraído e modificado de UFRGS (1999).
.....45

Figura 11 – Amostra do GI da zona mais distal do dique. Textura inequigranular, coloração rosada, com teores elevados de quartzo (Qz) facetados e destacados, pequenos megacristais centimétricos (~1-2 cm) esparsos de K-feldspato (KF), bem como agregados isolados de minerais máficos (biotita) (BT). Fonte: Bernardes, 2017.47

Figura 12 - Amostra do GI coletada a cerca de 10m de distância do dique básico. Observam-se cristais reliquiários de quartzo (QZ) e de feldspato alcalino (KF) xenomórficos e raras biotitas (BT). Presença de alteração no contato dos grãos microcristalinos (amarronzado). Fonte: Bernardes, 2017
.....48

Figura 13 – Croqui do afloramento, Ponta da Andorinha, Praia da Pinheira – SC. Escala 1:2000 | os círculos numerados em verde referem-se a numeração das fotos que ilustram o texto e

onde foram tiradas. Os círculos brancos referem-se a localização no afloramento em que as amostras foram coletadas.51

Figura 14 – Contato reto contra a encaixante onde ocorre margem resfriada porfirítica no dique. A ocorrência de megacristais de plagioclásio na margem do dique (setas pretas), ocasionam uma margem porfirítica. Detalhe na figura: fenocristal de plagioclásio euédrico.52

Figura 15 – Relações de contato entre encaixante e dique básico. a) Contato reto entre encaixante granítica e dique básico; b) Contatos irregulares a interdigitados entre dique básico e o Granito Ilha onde ocorrem veios e vênulas de material rico em matriz em continuidade física com o granito encaixante, atestando feições de mútua intrusão; c) Injeção de material ácido contendo enclaves máficos microgranulares no contato com o dique básico. Todas as fotos com vista em planta.53

Figura 16 – Textura do Granito Ilha próximo do dique básico. Textura alotriomórfica equigranular fina, ocorrência de matriz quartzo feldspática (seta azul), cristais xenomórficos, agregados de quartzo (seta vermelha), com megacristais esparsos de feldspato potássico, alterados com coloração esverdeada (seta amarela), e sem ocorrência de máficos. Escala = 5cm.55

Figura 17 – Da esquerda para direita, W para E no afloramento: dique básico, região de brecha, e porção do GI onde a textural original está mais modificada. Dique básico em contato interdigitado com a zona de brecha, onde feições de mistura heterogênea de magma são visíveis, em contato com o GI que está com sua identidade textural descaracterizada.55

Figura 18 - Corpo riolítico, de limites irregulares, que injeta o dique básico. É possível separar o grande corpo riolítico em duas porções, a Brecha à direita, carregada de enclaves máficos microgranulares (EMM) arredondados, de todos os tamanhos, como também xenólitos angulosos de rocha básica. E à esquerda o Corpo Lenticular Ácido, caracterizado pela ausência de EMM. Vista para sul.57

Figura 19 – Zona de Brecha de mistura do corpo riolítico, onde ocorre os enclaves máficos microgranulares arredondados (cm), e os xenólitos com formas geométricas e tamanhos variados (cm-m) de rochas básicas. Os detalhes nos círculos mostram a natureza diferente da granulação dos EMM. Sendo o círculo superior correspondente a granulação fina (REF-04d) e o inferior a granulação grossa (REF-04c).58

Figura 20 – Feições que atestam fusão: material félsico com aparente textura riolítica que intrudem o dique básico com contatos difusos e irregulares a) magma remobilizado que intrude o dique básico na forma de veios graníticos. b) bolsão granítico alimentado por longas apófises que intrude o dique básico no sul do afloramento. 60

Figura 21 – Vênulas que cortam fragmento do dique básico, com continuidade física com a encaixante granítica. O Detalhe no círculo, da esquerda para a direita, exhibe o contato entre a vênula félsica e o fragmento máfico do dique, e mostra a textura fina a afanítica destas vênulas..... 61

Figura 22 – Fotomicrografias da amostra REF-04U (Granito Ilha em contato direto com o dique básico) A) Grãos de quartzo (Qtz), feldspato potássico (Kfs) e biotita (Bt) parcialmente consumido xenomórficos com limites arredondados e corroídos. As linhas em amarelo demonstram os ângulos diedros no Qtz. Fotomicrografia tomada a nicóis descruzados. B) Mesma seção de A, porém com nicóis cruzados. Matriz granofírica circundante entre os grãos (seta amarela), e filmes de *melt* que preenchem fraturas intragulares, (seta branca). Grão de Qtz reliquiar com textura granoblastica poligonal (seta rosa). C) Matriz granofírica no limite dos grãos (setas amarelas), filmes de *melt* que preenchem fraturas intragulares (setas brancas), e textura micrográfica (seta vermelha). Grão de Qtz reliquiar com textura granoblastica poligonal (seta rosa). D) Grão de feldspato potássico (Kfs) com diferentes limites, sendo o da esquerda textura micrográfica (seta vermelha) e da direita textura granofírica (ou coronítica) (seta amarela). E) Seção com cristais reliquiares, arredondados, corroídos, circundados por matriz granofírica média a fina. F) detalhe para a textura micrográfica (seta vermelha) no limite do grão da seção (E). Fotomicrografia de B à F tomadas a nicóis cruzados. 64

Figura 23 – Estimativa da proporção entre matriz e cristais reliquiares (m:cts) da amostra REF-04U do Granito Ilha em contato com a margem E do dique. Fotografia da lâmina delgada e imagem P&B, vetorizada na área amostral marcada na lamina, para cálculo de proporções de preto e branco na imagem na imagem P&B. 65

Figura 24 – Fotomicrografia das amostras REF-04J e REF-04A do Granito Ilha encaixante com efeito maior de fusão (rico em matriz). Amostra REF-04J: A) cristais reliquiares isolados, sem contatos entre si, de quartzo e feldspato potássico anédricos. Envoltos por matriz granular fina com ampla ocorrência de quartzo fibrorradiado (seta azul). B) mesma seção de A, com NC para visualizar a ampla ocorrência de filmes de *melt* no interior dos cristais (setas brancas). Textura granoblástica poligonal (seta rosa). Amostra REF-04A: C) grãos de quartzo e k-felspatos com vários pontos de reabsorção ao longo dos limites dos grãos. Os limites do quartzo consumido são interlobado, habito

ameboide, enquanto os limites do feldspato potássico corroído. A matriz é por ora globular, mas apresenta crescimento de quartzo fibrorradiado. D) Mesma seção de A, a nicóis cruzados para visualizar os cristais reliquiares com limites rompidos por material da matriz, que migra para dentro deles. E) Cristal reliquiar de quartzo com coroa de granófiros em sua aresta. Fotomicrografia A e C tomadas a nicóis descruzados.67

Figura 25 - Estimativa da proporção entre matriz e cristais reliquiares (m:cts) da amostra REF-04J do Granito Ilha em contato com a margem W do dique. Fotografia da lamina delgada e imagem P&B, vetorizada na área amostral marcada na lamina, para cálculo de proporções de preto e branco na imagem P&B.68

Figura 26 – Fotomicrografias das amostras REF-04K, REF-04H1, REF-04G das duas porções do corpo ácido sigmoide. **Brecha** - Amostra REF-04K: A) Contato entre matriz ácida porfirítica da brecha (direita) com um enclave máfico (esquerda). Amostra REF-04H1: B) cristais reliquiares xenomórficos isolados, de quartzo e feldspato potássico, com filmes vidro em volta dos cristais (setas brancas). Envoltos por ampla matriz com ocorrência de esferulitos (setas azuis). C) mesma seção de B, com NC. C) Detalhe de migração de *melt* para ângulo diedro, filme de vidro rompendo o cristal de quartzo, formando uma típica feição de *melt* recristalizado chamada de terminação em cúspide (seta vermelha). **Corpo Lenticular Ácido** – Amostra REF-04G: E) Grão reliquiar de quartzo com terminações em cúspide no melt recristalizado em contato com o cristal reabsorvido (seta vermelha). Matriz fina composta de granófiros e esferulitos, com material desta migrando para dentro do reliquiar na forma de *string of beds* (seta amarela). F) Cora de vidro vulcânico preenchendo ângulo diedro (seta branca) de um cristal de quartzo consumido. Matriz fina rica em vidro e esferulitos. Fotomicrografias A e B tiradas a ND.70

Figura 27 - Estimativa da proporção entre matriz e cristais reliquiares (m:cts) da amostra REF-H1 da zona de brecha no grande corpo riolítico. Fotografia da lamina delgada e imagem P&B, vetorizada na área amostral marcada na lamina, para cálculo de proporções de preto e branco na imagem P&B.71

Figura 28 - Fotomicrografias da amostra REF-04X. A) Textura equigranular fina, rica em quartzo fibrorradiados organizados como esferulitos (setas azul). Com rara ocorrência de cristais reliquiares. B) mesma seção de A à NC.72

Figura 29 - Estimativa da proporção entre matriz e cristais reliquiares (m:cts) da amostra REF-X das vênulas que entram no dique básico. Fotografia da lamina delgada e imagem P&B, vetorizada na área amostral marcada na lamina, para cálculo de proporções de preto e branco na imagem P&B.....72

Figura 30 - Diagrama TAS (Le Bas et al 1986) com todas as rochas ácidas analisadas no campo das rochas ácidas subalcalinas e de alta sílica, classificadas como Dacito e Riolitos.....74

Figura 31 - Diagrama AFM (Irvine e Baragar, 1971) ilustrando o caráter toleítico da amostra da brecha de mistura e o caráter não toleítico das demais amostras. Símbolos como na figura 30..75

Figura 32 - Diagrama de Shand (1943), $A/CNK(Al_2O_3/CaO+Na_2O+K_2O)$ vs $A/NK(Al_2O_3/Na_2O+K_2O)$ mostrando o caráter metaluminoso do protólito GI, tanto quanto as rochas geradas a partir da fusão do mesmo. Símbolos como na figura 30.....76

Figura 33 - Diagramas de Harker para elementos maiores com SiO_2 como índice de diferenciação. Símbolos como na figura 30.....78

Figura 34 - Diagramas de Harker para elementos menores com SiO_2 como índice de diferenciação. Símbolos como na figura 30.....78

Figura 35 – Diagramas de Harker para elementos maiores de rochas do presente trabalho, como também de rochas ácidas do GSG e da SC, com SiO_2 como índice de diferenciação.....82

Figura 36 - Diagramas de Harker para elementos menores de rochas do presente trabalho, como também de rochas ácidas do GSG e da SC, com SiO_2 como índice de diferenciação. Símbolos como na figura 35.83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados médios de resultados analíticos para elementos maiores e traço de amostras representativas da Suíte Cambirela. Óxidos em peso %; elementos traço em ppm.....27

Tabela 2 - Compilação de resultados analíticos para elementos maiores e traço de amostras representativas dos subtipos dos tipos Palmas e Chapecó. A tabela mostra o menor e o maior número observado nos diferentes trabalhos fontes. Óxidos em peso %; elementos traço em ppm.30

Tabela 3 – Resultados analíticos para elementos maiores e traços das rochas ácidas da Praia da Pinheira – SC. Óxidos em peso % e elementos traços em ppm.73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AG - Magma-tipo Anita Garibaldi
CS - Magma-tipo Caxias do Sul
CL - Magma-tipo Clevelândia
EDF - Enxame de Diques de Florianópolis
EMM - Enclave máfico microgranular
GSR – Grupo Serra Geral
Gf - Textura Gráfica
GI - Granito Ilha
GIT - Granito Itacurubi
Gn - Granófiros
GR - Magma-tipo Guarapuava
JC - Magma-tipo Jacuí
OR - Magma-tipo Ourinhos
PMP - Província Magmática do Paraná
PMPE - Província Magmática Paraná Etendeka
RC - Riolito Cambirela
ATC - Rochas do tipo Chapecó
ATP - Rochas do tipo Palmas
SM - Magma-tipo Santa Maria
SC – Suíte Cambirela
TM - Magma-tipo Tamarana
 ΔT - Grau de sub-resfriamento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
1.1	OBJETIVO.....	20
1.1.1	Objetivo geral.....	20
1.2	JUSTIFICATIVA.....	20
1.3	LOCALIZAÇÃO E ACESSOS.....	21
2	REVISÃO CONCEITUAL.....	23
2.1	SUÍTE CAMBIRELA.....	23
2.1.1	Aspectos petrográficos das rochas ácidas da Suíte Cambirela.....	24
2.1.2	Aspectos geoquímicos das rochas ácidas da Suíte Cambirela.....	25
2.2	MAGMATISMO SERRA GERAL.....	27
2.2.1	Aspectos petrográficos das rochas ácidas do Grupo Serra Geral.....	28
2.2.2	Aspectos geoquímicos das rochas ácidas do Grupo Serra Geral.....	29
2.3	ROCHAS ÁCIDAS NA PRAIA DA PINHEIRA.....	32
2.3.1	Aspectos petrográficos das rochas ácidas da Praia da Pinheira.....	32
2.3.2	Aspectos geoquímicos das rochas ácidas da Praia da Pinheira.....	33
2.4	TEXTURAS INDICATIVAS DE RESFRIAMENTO RÁPIDO.....	33
2.5	TEXTURAS INDICATIVAS DE FUSÃO PARCIAL.....	37
3	MATÉRIAS E MÉTODOS.....	42
3.1	ETAPA PRÉ-CAMPO.....	42
3.2	ETAPA DE CAMPO.....	42
3.3	PETROGRAFIA.....	42
3.4	GEOQUÍMICA.....	43
4	GEOLOGIA DA PRAIA DA PINHEIRA.....	44
4.1	GRANITO ILHA.....	46
4.2	ENXAMES DE DIQUES FLORIANÓPOLIS.....	48
5	RESULTADOS.....	50
5.1	GEOLOGIA DA PONTA DA ANDORINHA.....	50
5.1.1	Zona de Melt Não Remobilizado.....	54
5.1.2	Zona de melt remobilizado.....	56
5.1.2.1	Brecha e Corpo Lenticular Ácido.....	56
5.1.2.2	Bolsão, veios e vênulas.....	58
5.1	PETROGRAFIA.....	62
5.1.1	Zona de Melt Não Remobilizado.....	62
5.1.2	Zona de melt Remobilizado.....	68
5.1.2.1	Brecha e Corpo Lenticular Ácido.....	68
5.1.2.2	Bolsão, veios e vênulas.....	71
5.2	GEOQUÍMICA.....	73
6	DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	79
7	CONCLUSÃO.....	84
8	REFERÊNCIAS.....	85

1 INTRODUÇÃO

Na região costeira de Santa Catarina, ocorrem diversos corpos ácidos intrusivos nas rochas graníticas da região. Grande parte destes corpos ácidos são interpretados como corpos hipabissais pertencentes à Suíte Cambirela, seja como veios e diques graníticos, micrograníticos ou aplo-pegmatíticos (Bitencourt, 1996; Zanini *et al.* 1997; Bitencourt *et al.*, 2008; Florisbal *et al.*, 2009, 2012a,b). Alguns diques ácidos são vinculados ao magmatismo da Bacia do Paraná, interpretados como pertencentes ao magmatismo ácido do Enxame de Diques de Florianópolis (EDF) (Tomazzoli e Lima, 2006; Tomazzoli e Pellerin, 2015; Florisbal *et al.*, 2014, 2017; Marteleto, 2017). Ainda, nos contatos dos diques básicos Eocretáceos do Enxame de Diques de Florianópolis com as rochas graníticas encaixantes neoproterozoicas do Batólito Florianópolis, há o desenvolvimento de auréolas termais que desencadeiam a fusão das rochas encaixantes, gerando uma terceira geração de veios e diques ácidos relacionados a estes processos (Tomazzoli e Pellerin, 2015; Florisbal *et al.*, 2014, 2017; Bernardes, 2017; Pereira, 2017). Neste cenário, a identificação e caracterização da gênese destes corpos ácidos nem sempre é trivial e, portanto, demanda uma investigação criteriosa e em escala de detalhe para elucidar sua gênese.

Como destacado na literatura (Raposo *et al.*, 1998; Florisbal *et al.* 2014, entre outros), a margem leste do Batólito Florianópolis é constituída por um conjunto de granitos de idade neoproterozoica intrudidos por diques de idades Eocretácea. A região costeira de Santa Catarina expõe muitos diques máficos e algumas ocorrências raras de diques de composição intermediária a ácida (Tomazzoli *et al.*, 2005; Florisbal *et al.*, 2014, 2017), que juntos formam o Enxame de Diques de Florianópolis (EDF).

Na região do presente estudo, a Praia da Pinheira, o granito neoproterozoico encaixante dos diques básicos e ácidos é o Granito Ilha, um granito tardi- a pós tectônico de aproximadamente 590-580 Ma (Florisbal *et al.*, 2014, 2017). Nesta região existe uma série de diques básicos e ocorrências menores de diques compostos onde feições de mistura heterogênea de magmas são comuns. A assinatura geoquímica bem como as idades U-Pb ID-TIMS destes diques estão atribuídos ao magmatismo do Grupo Serra Geral (Peate *et al.*, 1992; Florisbal *et al.*, 2014, 2017).

Florisbal *et al.* (2014) obtiveram idades U-Pb ID-TIMS em badeleíta para três diques aflorantes na parte sul do EDF, em sua porção continental. Todas são idênticas em $134,3 \pm 0,2$ Ma (Gabro Silveira), $134,7 \pm 0,3$ Ma (Diabásio Pinheira) e $133,9 \pm 0,7$ Ma (Traquiandesito Pinheira), este último, um dique composto da Praia da Pinheira. Bitencourt *et al.* (2008) e Florisbal *et al.* (2014) classificam os diques compostos da Enseada da Pinheira, como corpos

hipabissais definidos pela ocorrência de termos máficos e félsicos na mesma intrusão, onde os núcleos félsicos têm abundantes enclaves máficos globulares ou fragmentos irregulares indicativos de mistura heterogenia de magma.

Além destes diques Eocretáceos, é relatado na literatura (Florisbal et al. 2017; Bitencourt et al., 2008, Bernardes, 2017) a ocorrência de um corpo lenticular ácido bem como uma zona de brecha de mistura magmática, que ocorrem na interface de um dique básico do Enxame de Dique de Florianópolis (134 Ma) com o Granito Ilha (590 Ma), na Ponta da Andorinha, Praia da Pinheira, SC. Como a região abrange diques compostos e básicos Eocretáceos, veios e diques aplíticos relacionados aos granitoides neoproterozoicos e também zonas de fusão das encaixantes pela entrada dos diques (Florisbal et al, 2014; 2017, Bernardes 2017), uma investigação de detalhe de campo, petrografia e geoquímica deste corpo lenticular ácido se faz necessária para elucidar sua gênese e entender os processos geradores dos distintos pulsos de magma que geraram as rochas desta região

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo a caracterização geológica, petrográfica e geoquímica das rochas de composição ácida da Ponta da Andorinha, Praia da Pinheira – SC. Neste contexto, são também objetivos deste trabalho comparar a composição destas rochas de composição ácida com rochas interpretadas como corpos hipabissais pertencentes a Suíte Cambirela, bem como com as rochas vinculadas com o magmatismo da Bacia do Paraná. Esta comparação tem como objetivo elucidar os mecanismos de geração das rochas ácidas que ocorrem na Ponta da Andorinha.

1.2 JUSTIFICATIVA

Os diques básicos que ocorrem na região costeira de Santa Catarina foram amplamente estudados com variados enfoques. Por outro lado, existem poucos estudos dos corpos tabulares ácidos, seja porque são mais raros, seja porque são pouco expressivos em área. Tomazzoli et al. (2005) e Florisbal et al. (2014, 2017) relatam a ocorrência de diques compostos relacionados ao EDF. Contudo, trabalhos prévios (Bitencourt et al. 2008; Florisbal et al., 2017) apontam para a ocorrência de corpos lenticulares de composição ácida e de ocorrência periférica a diques

básicos na região da Pinheira que ainda não foram estudados em detalhe e que tem sua gênese e processos evolutivos ainda desconhecidos. Foi constatado que a fusão da encaixante pela entrada dos diques básicos é um processo importante, tanto na região da Praia da Pinheira (Bernardes, 2017) quanto na região de Garopaba (Pereira, 2017), na geração de magmas (Florisbal et al. 2017). Neste contexto, é importante investigar se esse processo foi o responsável pela geração do corpo lenticular ácido da Praia da Pinheira, bem como veios e vênulas ácidas encontradas na região. Para tal, um estudo integrado de mapeamento de campo detalhado, petrografia, geoquímica de elementos maiores e traços devem contribuir com novos dados para a compreensão dos processos geradores de parte das rochas ácida da Ponta da Andorinha, Praia da Pinheira. A comparação destes dados com os dados da literatura dos diques ácidos do EDF e do Granito Ilha encaixante permitirá investigar as similaridades e diferenças nas assinaturas geoquímicas destes grupos e também com qual destes grupos as rochas ácidas estudadas tem maior afinidade.

1.3 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

A área de estudo encontra-se no sul da Praia da Pinheira, um extenso lajeado conhecido localmente como Ponta da Andorinha. A Praia da Pinheira situa-se no litoral catarinense no município de Palhoça, localizada na região metropolitana de Florianópolis (Fig 1).

Para chegar ao local de estudo, saindo de Florianópolis, é necessário seguir sentido sul ao longo da rodovia BR-101, e entrar no acesso para a Praia do Sonho (saída 273). Após, o acesso segue por vias locais, como a Rodovia Evadío Paulo Broering e a seguir através da Servidão Mil Seiscentos e Oitenta e Nove para acesso à Praia de Cima (Pinheira).

Chegado ao sul da Praia da Pinheira, o acesso a Ponta da Andorinha é realizado por caminhada até o lajeado onde afloram o Granito Ilha e o dique básico.

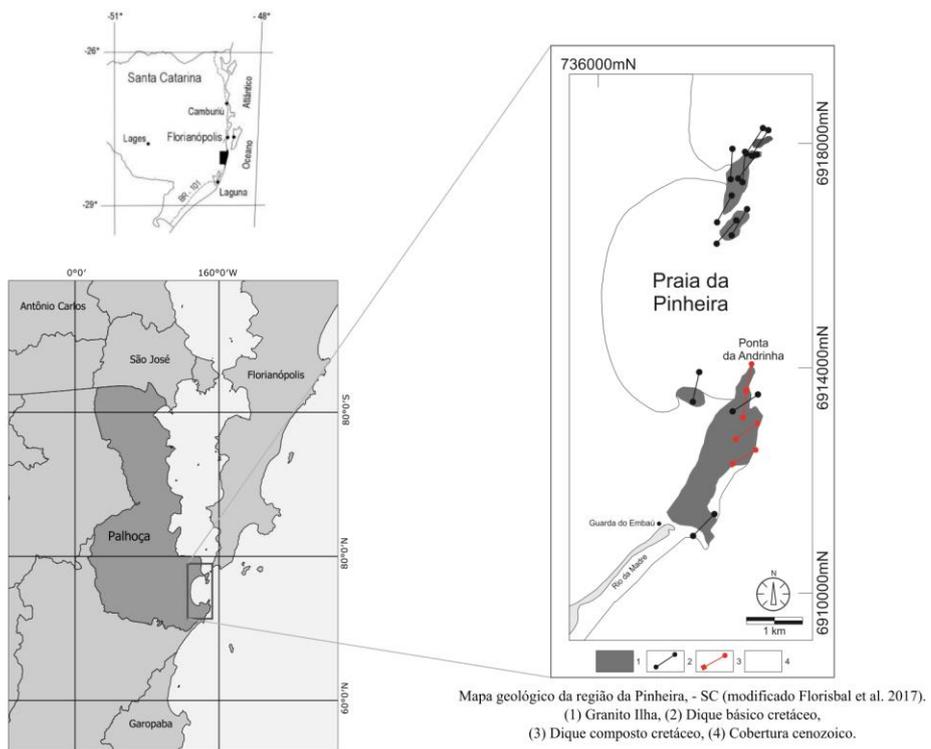


Figura 1 – Mapa simplificado da região de estudo. Estado de Santa Catarina, região sul do Brasil, no município de Palhoça.

2 REVISÃO CONCEITUAL

2.1 SUÍTE CAMBIRELA

A Suíte Cambirela (SC) é a unidade plutono-vulcânica, definida por Zanini *et al.*, (1997) na folha Florianópolis-Lagoa (SG.22-Z-D-V) e (SG.22-Z-D-VI), representante do estágio final do magmatismo alcalino do Batólito Florianópolis no Neoproterozoico. A diversidade litológica desta unidade compreende rochas plutônicas graníticas e frações vulcanogênicas, como veios e diques graníticos, micrograníticos ou aplo-pegmatíticos (Bitencourt, 1996; Bitencourt *et al.*, 2008; Florisbal *et al.*, 2009, 2012a, b) derrames, tufos e ignimbritos riolíticos (Tomazzoli *et al.*, 2005) que foram agrupados como Riolito Cambirela (Zanini *et al.*, 1997). Inicialmente esta unidade era definida por Zanini *et al.*, 1997 como Suíte Plutono-Vulcânica Cambirela tendo o Granito Itacorubi (GIT) como unidade plutônica única e o Riolito Cambirela como fração vulcânica.

Bitencourt *et al.*, 2008 integra o Granito Ilha (GI), cartografado por Scheibe & Teixeira, 1970, à Suíte Cambirela em contrapartida a Zanini *et al.*, 1997; Tomazzoli e Pellerin, 2015 que definem o GI como relacionado a Suíte Pedras Grandes.

Mesmo afirmando que as unidades demonstram características de campo e petrográficas muito semelhantes, Zanini *et al.*, 1997, na diferenciação entre Granito Ilha e Suíte Plutono-Vulcânica Cambirela, conclui que, os óxidos MnO, CaO e K₂O, listados em ordem crescente de importância, são aqueles que se apresentam como variáveis de função discriminante mais efetivas.

Basei (1985) obteve dados geocronológicos para o Riolito Cambirela (RC) e Granito Armação, correspondente a idades definidas para o Granito Ilha, com valores de 552 ± 17 Ma e 524 ± 68 Ma (Rb/Sr - rocha total), respectivamente. Isso, juntamente com os dados de campo observadas por Bitencourt *et al.*, (2008), e as similaridades geoquímicas apresentadas por Corrêa, (2016), sugerem que ambos sejam síncronos e, portanto, pertencentes à mesma Suíte. Corrêa, (2016) obteve idades U-Pb em zircão para o Granito Ilha e para o Riolito Cambirela. Com amostras de diferentes pontos da Ilha de Santa Catarina, o Granito Ilha apresentou um intervalo de idade de cristalização entre 600 – 585 Ma, enquanto, o Riolito Cambirela exibiu um intervalo entre 587 – 574 Ma.

2.1.1 Aspectos petrográficos das rochas ácidas da Suíte Cambirela

A Suíte Cambirela compreende uma unidade plutônica com associação de granitoides alcalinos, e uma unidade vulcanogênica que compreende derrames e diques riolitos, além de ignimbritos. UFRGS (1999) adicionou à unidade corpos hipoabissais ácidos e básicos que ocorrem de modo independente ou na forma de diques compostos.

O Granito Ilha, primeiramente cartografado como “Granito Grosseiro Ilha” por Scheibe & Teixeira, 1970, foi assim denominado por Zanini *et al.*, 1997 para se referir à maior parte dos granitoides aflorantes na Ilha de Santa Catarina. O GI ocorre também em áreas restritas do continente, ao longo do litoral entre Praia da Pinheira e Guarda do Embaú (Zanini *et al.*, 1997; UFRGS 1999; Bitencourt *et al.*, 2008). Apresenta-se como sieno- e monzogranitos maciços, isotrópicos, de coloração rosada ou cinza-claro, com textura equigranular raramente porfirítica, grossa a média, hipidiomórfica (Tomazzoli *et al.*, 2015), com dimensão dos grãos entre 0,1 a 0,8 cm (Zanini *et al.*, 1997). Análises modais apontam uma predominância de monzogranitos (44%), seguido de sienogranitos (35%) e, subordinadamente, quartzo-monzonitos e quartzo-sienitos (Zanini *et al.*, 1997). A mineralogia essencial é composta de plagioclásio, k-feldspato, quartzo, biotita e anfibólio. Os minerais acessórios são, zircão, alanita, apatita, magnetita, ilmenita e opacos; seguida pelos secundários epidoto, sericita/muscovita, clorita, titanita, carbonatos e fluorita (Zanini *et al.*, 1997; Tomazzoli *et al.*, 2015). Dois grupos principais de rochas individualizam o GI em duas fácies, uma biotítica e outra leucogranítica (Bitencourt *et al.*, 2008; Zanini *et al.*, 1997), denominadas por UFRGS (1999), respectivamente de Granito Ilha fácies biotítica e fácies leucogranítica. A fácies biotítica compreende horblenda-biotita monzogranitos com textura hipidiomórfica heterogranular média a grossa (Bitencourt *et al.*, 2008). Os leucogranitos apresentam coloração rosada a acinzentada e maiores teores de quartzo (cerca de 30%) (UFRGS 1999), embora isotrópicos, localizadamente se observa foliação magmática incipiente, marcada pela orientação preferencial de agregados de biotita (Bitencourt *et al.*, 2008).

A unidade Riolito Cambirela, compreende riolitos, riodacitos e dacitos constituindo derrames e diques, com estruturas de fluxo e diques, como também, tufos ignimbriticos associados (Zanini *et al.*, 1997). Os riolitos são constituídos de quartzo, k-feldspato e plagioclásio, ocorrem como minerais acessórios biotita, epidoto, zircão e alanita. Os minerais secundários são, clorita, sericita e carbonato (Zanini *et al.*, 1997). São rochas com coloração acinzentada, textura porfirítica com cerca de 30% de fenocristais, em média, de quartzo, feldspato potássico e plagioclásio. Imersos em uma matriz composta por material quartzo-

feldspático fanerítico fino a afanítico (Bitencourt *et al.*, 2008). Os fenocristais são compostos de quartzo fumê, que ocorre de forma arredondada a facetada, com tamanho entre 0,5 e 4 cm. Os K-feldspatos são rosados a esbranquiçados, subédricos por vezes tabulares, com tamanho entre 1 e 5 cm. O plagioclásio branco e anédrico possuem tamanho entre 0,5 e 1,5 cm (UFRGS, 1999). São rochas maciças ou com estrutura de fluxo, que variam de incipiente a bem desenvolvidas, marcadas por intercalação de bandas de textura micro a criptocristalina (Zanini *et al.*, 1997; Bitencourt *et al.*, 2008). Ocorrem como diques e corpos intrusivos irregulares que raramente ultrapassam poucos metros de espessura (Tomazzoli *et al.*, 2015).

Os ignimbritos são acinzentados com textura porfirítica, com pórfiros e cristaloclastos (35%) angulosos e fraturados, de quartzo, feldspato potássico e plagioclásio, imersos em matriz quartzo-feldspática fina a afanítica (UFRGS, 1999; Bitencourt *et al.*, 2008). Em maiores porcentagens de cristaloclastos há predominância de de K-feldspato (Lange, 2016). Os grãos de quartzo têm tamanho entre 0,8 e 3 cm e contatos nítidos com a matriz. Os grãos de K-feldspato são micropertíticos, anédricos e subédricos, com tamanho de grão entre 0,3 e 0,8 cm. Os grãos de plagioclásio têm formas subédricas e anédricas, com tamanho entre 0,4 e 1,8 cm (UFRGS, 1999). Quando intemperizadas, essas rochas apresentam coloração esbranquiçada e fragmentos de quartzo se destacam (Tomazzoli *et al.*, 2015).

2.1.2 Aspectos geoquímicos das rochas ácidas da Suíte Cambirela

Os dados dos corpos tabulares ácidos são escassos na literatura, sendo mais comum os dados geoquímicos dos granitos e ignimbritos ácidos pertencentes a Suíte Cambirela. De acordo com os critérios de Bitencourt *et al.*, (2008), a fração plutônica desta Suíte abrange o Granito Ilha (GI) e o Granito Itacorubi (GIT), e a fração vulcânica o Riólito Cambirela (RC). As Características geoquímicas das rochas da Suíte Cambirela são bastantes diferentes das apresentadas pelas rochas do magmatismo Serra Geral, em modo geral são rochas com alto conteúdo de SiO₂, potássicas e pobres em máficos (Zanini *et al.*, 1997) (Tabela 2). Corrêa (2016); Lange (2016), utilizam dados de elementos maiores, como a relação K₂O vs SiO₂ de Peccerillo e Taylor (1976) para classificar as rochas com relação às séries magmáticas, considerando as rochas da Suíte Cambirela como pertencentes à série cálcio-alcalina de alto K, com transição para o campo das rochas shoshoníticas. O diagrama MALI (Na₂O+K₂O - CaO vs SiO₂) também classifica estas rochas como pertencentes à série cálcio-alcalina (Lange, 2016).

De acordo com Corrêa (2016), na região da Ilha de Santa Catarina, as rochas da Suíte Cambirela são as mais diferenciadas do Batólito Florianópolis. O Granito Ilha apresenta teores médios de óxidos nos valores: TiO_2 de 0,14 peso%; Fe_2O_3 de 1,56 peso%; Al_2O_3 de 12,19 peso%, CaO de 0,95 peso%; P_2O_5 de 0,02 peso%. Os teores de MgO estão abaixo do limite de detecção e os de Na_2O e K_2O são de 3,68 peso% e 4,73 peso % respectivamente (Corrêa, 2016). As rochas do grupo Riólito Cambirela, seja da forma de derrames ou diques, apresentam teores médios de composição química similar com poucas variações: TiO_2 de 0,08%; Fe_2O_3 de 1,18%; Al_2O_3 de 12,83%; CaO de 0,47%; P_2O_5 de 0,01%; Na_2O de 3,71%; K_2O de 4,18%. Os teores de MgO também estão abaixo do limite de detecção (Corrêa, 2016). A quantidade em ppm de elementos traços quando comparados às rochas do magmatismo Serra Geral, apresentam maior semelhança com os números das rochas tipo Palmas. Caracterizado com $\text{Ba} < 850$ ppm, $\text{Sr} < 100$ e $\text{Zr} < 500$.

Os granitoides do Batólito Florianópolis da Ilha de Santa Catarina apresentam caráter variando entre metaluminoso e peraluminoso, porém as amostras estudadas por Corrêa, (2016) e Lange, (2016), sejam plutônicas ou vulcânicas, mostram um caráter levemente peraluminoso e possuem assinaturas de rochas ricas em ferro (*ferroan*). Zanini *et al.*, (1997); Corrêa, (2016); Lange, (2016) classificam as rochas da Suíte Cambirela como sendo do tipo A (anorogênicos), conforme os critérios apresentados por Whalen *et al.*, (1987).

Tabela 1 - Dados médios de resultados analíticos para elementos maiores e traço de amostras representativas da Suíte Cambirela. Óxidos em peso %; elementos traço em ppm.

Nº Amostras	<i>GIT e RC</i>	
	<i>38</i>	<i>37</i>
SiO ₂	73,25	73,17
TiO ₂	0,17	0,18
Al ₂ O ₃	12,55	12,72
Fe ₂ O ₃	0,47	0,29
FeO	1,86	1,75
MnO	0,05	0,04
CaO	1,07	1,31
Na ₂ O	3,40	3,49
K ₂ O	5,97	5,57
P ₂ O ₅	0,06	0,06
Ba	497,02	723,68
Sr	51,67	86,02
Zr	498,05	389,21
Cu	1,48	5,39
Nb	14,75	11,78

Fonte: (Zanini *et al.*, 1997)

2.2 MAGMATISMO SERRA GERAL

A denominação Grupo Serra Geral, refere-se à Província Magmática do Paraná (PMP) que representa a porção brasileira da Província Magmática Paraná Etendeka (PMPE), uma das maiores províncias magmáticas do planeta, associada à abertura do Oceano Atlântico Sul. O volume da PMPE é de pelo menos 1.700.000 km³ (Frank *et al.*, 2009) de rochas vulcânicas e sub-vulcânicas, que abrangem toda a região centro-leste da América do Sul e no noroeste da Namíbia, no continente Africano. Para a PMP Frank *et al.*, (2009) calculou o volume de pelo menos 450.000 km³ para as rochas extrusivas, e 112.000 km³ como sendo o volume referente aos corpos intrusivos, como sills e diques. Portanto, a estimativa do volume das rochas ígneas do Grupo Serra Geral é de pelo menos ~600.000 km³. A atividade ígnea da PMP ocorreu em um intervalo de 3 Ma entre 130 – 133 Ma (Renne *et al.*, 1992; Peate *et al.*, 1992; Ernesto *et al.*, 1999; Mincato *et al.*, 2003) sendo as rochas da porção sul mais antigas do que aquelas da porção norte (Renne *et al.*, 1992), indicando uma migração do magmatismo de sul para norte. Os dados

paleomagnéticos apresentados por Ernesto *et al.*, (1999) apontam este sentido de migração e corroboram esta hipótese.

O magmatismo da PMP é predominantemente básico (90%) embora rochas vulcânicas intermediárias e ácidas presente, respectivamente, 7% e 3% do volume total (Bellieni *et al.*, 1986; Melfi *et al.*, 1988; Mantovani *et al.*, 1985; Peate *et al.*, 1992; Peate *et al.*, 1997) encontradas em cerca de ~917.000km² ao longo da Bacia do Paraná (Frank *et al.*, 2009). Na maior parte dos casos, a observação macroscópica permite diferenciar as rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral.

2.2.1 Aspectos petrográficos das rochas ácidas do Grupo Serra Geral

A porção ácida do Grupo Serra Geral é separada em dois magma-tipo, Palmas e Chapecó, que são distinguíveis macroscopicamente em campo. As rochas do tipo Palmas (ATP) são maciças e afíricas, textura hipo a holohialina com aspecto sal-e-pimenta marcante e quando hipohialina (vítrea) com uma quantidade inferior de fenocristais. As do tipo Chapecó (ATC) são porfiríticas com fenocristais de até 20mm, imersos em matriz cristalina (Nardy *et al.*, 2008). A assembleia mineral primária de ambos os tipos é composta de plagioclásio, piroxênio e magnetita em ordem decrescente de abundância (Garland *et al.*, 1995).

Segundo Nardy *et al.*, 2008 as rochas do ATP são caracterizadas pela coloração cinza clara quando frescas adquirindo coloração acastanhada quando intemperizadas. Essas rochas, quando holohialina e sã, apresentam uma coloração negra e fratura conchoidal, porém alteram com muita facilidade devido sua natureza amorfa. De acordo com Nardy *et al.*, (2008), na maioria dos afloramentos, vesículas com espessuras de 2 a 10 cm são comuns, comumente preenchidas, formando amígdalas de minerais secundários como quartzo, calcita e zeólita (Garland *et al.*, 1995). O volume da rocha é constituído de 3 a 5% por fenocristais (0,5-2 mm) e essencialmente de microfenocristais (0,2 a 0,5 mm) representados por plagioclásio, augita, pigeonita, ortopiroxênio, magnetita e menos de 1% apatita. (Bellieni *et al.*, 1986; Nardy *et al.*, 2008). Os cristais exibem estruturas de resfriamento rápido, como formas esqueléticas, aciculares (Nardy *et al.*, 2008). Cristais de plagioclásio com feições de reabsorção nas bordas são mais comuns do que aqueles não consumidos, e apresentam teores de An _(65,6 ±1,4) representando cerca de 2 a 3% em volume da associação mineral (Bellieni *et al.*, 1986).

As rochas do ATC são facilmente distinguíveis das ATP por conta do seu caráter porfirítico, com cerca de 15 a 25% de fenocristais, incluindo macrofenocristais de plagioclásio com até 2 cm de comprimento (Garland *et al.*, 1995; Janasi *et al.* 2007; Nardy *et al.*, 2008)

envoltos por uma matriz afanítica com coloração cinza clara quando fresca e acastanhada quando intemperizada. Bellieni *et al.* (1986) relata que as rochas do tipo Chapecó podem apresentar variados graus de cristalinidade e que obsidianas são virtualmente ausentes. Os fenocristais e microfenocristais segundo Nardy *et al.*, (2008) são euedrais, compostos de plagioclásio (andesina), augita, pigeonita, Ti-magnetita e apatita (Bellieni *et al.*, 1986; Janasi *et al.* 2007), imersos em matriz constituída por quartzo, k-feldspato, clinopiroxênio, Ti-magnetita, ilmenita e apatita (Bellieni *et al.*, 1986; Nardy *et al.*, 2008). Segundo Bellieni *et al.*, (1986) os macrofenocristais de plagioclásio são comumente consumidos e possuem um teor médio de An₍₄₅₎ maior que os dos fenocristais coexistentes (<43%).

2.2.2 Aspectos geoquímicos das rochas ácidas do Grupo Serra Geral

Peate *et al.*, (1992) apresenta uma composição bimodal para as rochas do PMPE, um intervalo entre 61% a 63% em peso de SiO₂ separa as rochas básicas (SiO₂ < 61%) das rochas ácidas (SiO₂ > 63%). A porção básica corresponde aos basaltos toleíticos e andesitos basálticos divididos com base na concentração de TiO₂ e abundância de elementos incompatíveis (Bellieni *et al.*, 1984a; Mantovani *et al.* 1985; Peate *et al.*, 1992). A maioria das rochas da porção sul são do magma-tipo com concentração de baixo-Ti (TiO₂ < 2%) e baixa abundância de elementos incompatíveis, quando comparadas de rochas do magma-tipo com alto-Ti (TiO₂ > %). Porém há uma estreita faixa de magmatismo alto-Ti posicionado acima destas rochas de baixo-Ti na pilha vulcânica sul. Já as rochas da porção norte são limitadas as rochas de magmatismo de alto-Ti (Peate *et al.*, 1992). A porção ácida, dividida nos magma-tipo Palmas e Chapecó, apresenta posterior divisão em subtipos em razão de relações mineralógicas e geoquímicas.

A fração ácida corresponde aos riolitos, riodacitos e traquitos do Grupo Serra Geral e ocupa cerca de 64.000 km² da Bacia do Paraná (Nardy *et al.*, 2008) e assim como o vulcanismo básico foram separadas geoquimicamente pela concentração de TiO₂, conteúdo de SiO₂ e abundância de elementos incompatíveis. Bellieni *et al.*, (1986) denominaram as rochas com baixos teores de TiO₂ e outros elementos incompatíveis (Ba, Sr, Zr, etc.) do tipo Palmas (ATP), concentrado na parte sul da bacia, e do tipo Chapeco (ATC) a porção com altos teores, quando comparadas, de TiO₂ e outros elementos incompatíveis, concentrado na parte norte. Os dois distintos magma-tipos representam, respectivamente, 2,5% e 0,5% do volume total da Formação Serra Geral (Nardy *et al.*, 2008). O ATP tende a ter uma variação de concentração maior de SiO₂ em relação ao ATC (65 - 72% vs 63 - 68%) enquanto os intervalos de concentrações de TiO₂ e P₂O₅ nos tipos (ATP vs ATC) são, respectivamente, (0,6 - 1,1% vs 0,9

- 1,5%) e (0,15 - 0,35% vs 0,3 - 0,6%). A diferença na abundância de elementos incompatíveis é grande, o ATP é caracterizado com Ba < 800 ppm, Sr < 200 e Zr < 350 enquanto o ATC tem Ba > 950, Sr > 300 e Zr > 500 (Tabela 1). Outras subdivisões baseadas em geoquímica convencional e isotópica foram propostas, dividindo os tipos Palmas e Chapecó em subtipos com assinaturas geoquímicas particulares. As rochas do ATP foram agrupadas nos subtipos Santa Maria (SM), Caxias do Sul (CS) (Peate *et al.*, 1992), Anita Garibaldi (AG) (Garland *et al.*, 1995), Clevelândia (CL) e Jacuí (JC) (Nardy *et al.*, 2008), e as rochas do ATC em outros três subtipos, nomeados de Ourinhos (OR), Guarapuava (GR) (Peate *et al.*, 1992) e Tamarana (TM) (Nardy *et al.*, 2008).

Tabela 2 - Compilação de resultados analíticos para elementos maiores e traço de amostras representativas dos subtipos dos tipos Palmas e Chapecó. A tabela mostra o menor e o maior número observado nos diferentes trabalhos fontes. Óxidos em peso %; elementos traço em ppm.

	Palmas					Chapecó		
	SM	CS	AG	CL	JC	OR	GR	TM
SiO ₂	68,76-72,1	64,27-69,08	65,17-68,44	68,26-72,07	64,84-68,12	65,00-68,37	63,18-65,87	63,60-64,29
TiO ₂	0,64-0,79	0,88-1,09	0,99-1,11	0,72-0,87	1,03-1,13	1,16-1,25	1,37-1,57	1,38-1,50
Na ₂ O	2,35-3,24	3,07-2,56	3,05-3,64	2,42-2,84	3,02-3,39	3,19-3,56	3,31-3,72	3,58-3,79
K ₂ O	3,59-5,68	3,42-4,69	3,30-4,10	4,40-4,87	3,43-4,09	4,35-5,04	3,89-4,78	4,16-4,46
P ₂ O ₅	0,19-0,22	0,24-0,33	0,30-0,38	0,20-0,22	0,27-0,32	0,31-0,34	0,41-0,48	0,41-0,47
Ba	613-794	517-786	531-664	554-680	536-576	1034-1264	960-1429	1037-1106
Sr	68-111	82-154	119-165	92-113	146-155	305-375	335-441	355-391
Zr	314-336	231-319	271-283	300-331	257-283	544-602	624-693	595-670
Nd	42,7-72,8	34-50	38-46	42,6-43,8	34-37	66,36-80,70	68,4-87,2	68,3
Sm	8,78-13,2	6,81-10,3	7,70-9,40	9,46-9,86	6,70-7,30	14,08-15,60	14,30-17,3	15,07

Fonte: Peate *et al.*, 1992; Garland *et al.*, 1995; Nardy *et al.*, 2008; Nardy *et al.*, 2011; Peate *et al.*, 1997

Segundo Nardy *et al.*, (2008) o subtipo Santa Maria e Clevelândia correspondem aos menores valores de TiO₂ < 0,87% e P₂O₅ < 0,22% do ATP, enquanto os maiores valores de TiO₂ > 0,90% e P₂O₅ < 0,38% são representados pelo subtipo Caxias do Sul, Anita Garibaldi e Jacuí. (Fig. 2). Os subtipos Ourinhos e Guarapuava são os dois principais tipos de rochas do ATC, sendo o primeiro com concentração em TiO₂ < 1,26% e outro com TiO₂ > 1,36%, respectivamente. Nardy *et al.*, (2008) reconhece o terceiro subtipo Tamarana para as rochas do ATC com composição intermediária de TiO₂ e P₂O₅.

Através das variações geoquímicas observadas entre as diferentes ocorrências dos tipos Palmas e Chapecó, é possível agrupar os subtipos em três distintas litologias segundo o diagrama TAS (Le Bas *et al.*, 1986) (Fig. 2)

- I) **Riolito:** Santa Maria e Clevelândia com (68,26-72,10%) de SiO₂ e 5,94% < Na₂O + K₂O < 8,92%
- II) **Dacito:** Caxias do Sul, Anita Garibaldi e Jacuí com (63,83%-69,56%) de SiO₂ e 6,49% < Na₂O + K₂O < 7,74%
- III) **Traquitos:** Ourinhos, Guarapuava e Tamarana com (63,60%-68,37%) de SiO₂ e 7,20% < Na₂O + K₂O < % 8,60%

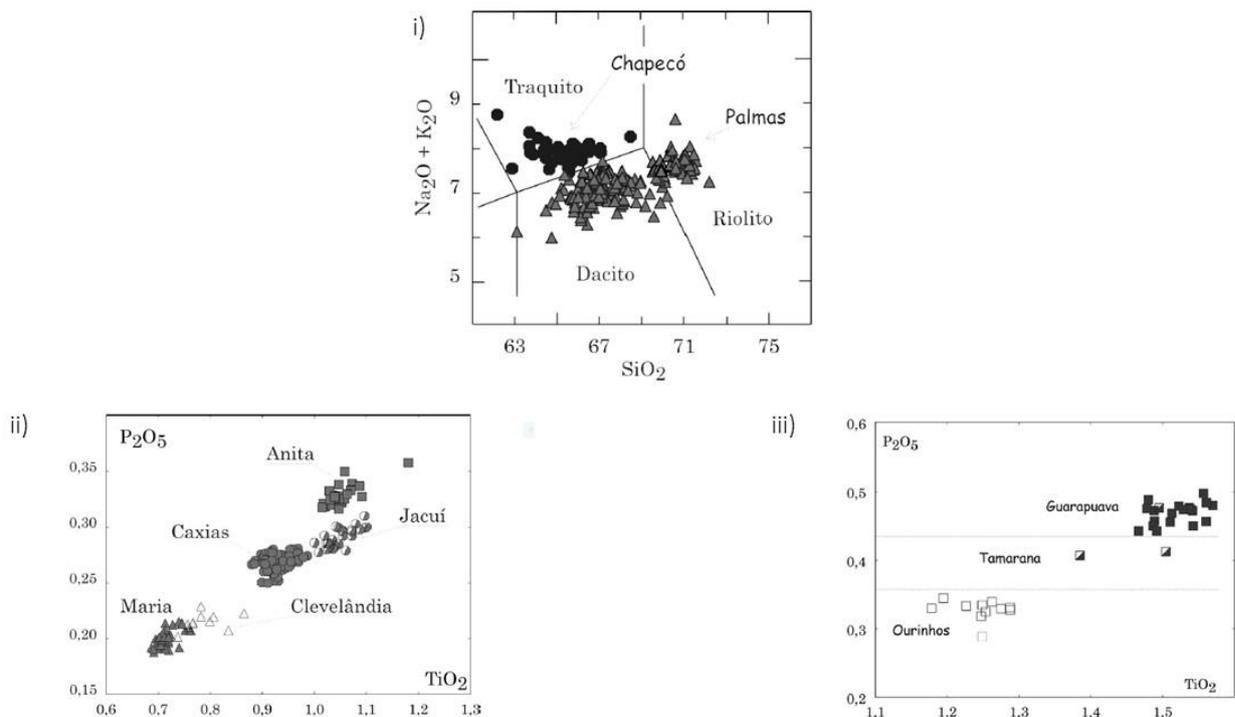


Figura 2 - i) Classificação e nomenclatura das rochas vulcânicas ácidas dos tipos Palmas (triângulos) e Chapecó (círculos) segundo o diagrama TAS (Le Bas *et al.*, 1986). ii e iii) Diagramas discriminantes utilizados para subdivisão dos subtipos Palmas (ii) e Chapecó (iii) (P₂O₅ vs TiO₂) (todos extraídos de Nardy *et al.*, 2008)

Para Garland *et al.*, (1995) ambos os tipos Palmas e Chapecó têm sua petrogênese relacionada a fusão parcial de dois diferentes magmas-tipo basálticos do pacote vulcânico. As rochas do ATP foram derivadas do basalto tipo Gramado magma-tipo baixo-Ti. Enquanto, as rochas do ATC derivadas do basalto tipo Pitanga do magma-tipo alto-Ti. As rochas dos tipos

Palmas e Chapecó não se assemelham apenas na divisão química reconhecida para os basaltos em teores de TiO_2 , além disso apresentam composição parecida em elementos incompatíveis (Nardy *et al.*, 2008). A relação geográfica também é refletida, com magmas de alto-Ti no norte e magmas de baixo-Ti no sul da bacia.

2.3 ROCHAS ÁCIDAS NA PRAIA DA PINHEIRA

A litologia predominante na Praia da Pinheira é o Granito Ilha, observado *in situ* assim como em campo de matações. Associado ao Granito Ilha encaixante, há uma série de diques onde são observadas feições que atestam relações de mútua intrusão e contemporaneidade entre magmas, que por conta disso, inialmente eram interpretados por Bitencourt *et al.*, (2008) e Florisbal *et al.*, (2009) como rochas hipabissais da Suíte Cambirela. Os diques ácidos, básicos e compostos, foram estudados via geocronologia U-Pb em badeleitas e zircão por Florisbal *et al.*, (2014), onde a idade Eo-Cretácea dos mesmos foi apresentada, desvinculando-os do magmatismo da Suíte Cambirela e vinculando-os ao Enxame de Diques de Florianópolis. A entrada destes diques desenvolveu auréolas termais, que desencadearam a fusão da encaixante ao longo dos contatos (Florisbal *et al.*, 2017; Bernardes, 2017). Segundo Bernardes (2017), há zonas de contato reto e contato difuso e interlobado entre encaixante e dique. Nas zonas onde o contato é difuso e interlobado, há intrusões nos diques básicos, de veios e vênulas de composição ácida. Estas vênulas são interpretadas como zonas de fusão das encaixantes onde há a ocorrência da mistura heterogênea entre o magma basáltico dos diques e a fusão.

2.3.1 Aspectos petrográficos das rochas ácidas da Praia da Pinheira

Bernardes, (2018) descreve os veios e vênulas, que ocorrem na Praia da Pinheira, como rochas que consistem em vidro, com textura esferulítica e material devitrificado. A mineralogia compõe-se em K-feldspato e quartzo, parcialmente fundidos, interpretados como reliquiares por conta de suas arestas embaídas e corroídas, imersos em matriz granofírica. Além de veios e vênulas, na região ainda são encontrados diques ácidos e compostos, este, com borda básica e centro intermediário a ácido, com feições de mistura de magma (Florisbal *et al.*, 2017; Bernardes, 2017). O núcleo ácido do dique composto possui megacristais de plagioclásio euédrico em matriz de grãos finos composta por plagioclásio, feldspato alcalino, quartzo e minerais opacos esqueléticos. Aglomerados de cristais arredondados semelhantes a olivina e cristais de clinopiroxênio, alteradas para um material verde, são comuns (Florisbal *et al.*, 2017).

Florisbal *et al.*, (2017) ainda relata evidências petrográficas de fusão na matriz dos veios que intrudem os diques básicos e compostos, como zoneamentos minerais, auréolas de contato termal e texturas de intercrescimento mineral, como textura granofírica e micrográfica.

2.3.2 Aspectos geoquímicos das rochas ácidas da Praia da Pinheira

Para os corpos lenticulares a sigmoides, veios e vênulas ácidas gerado por fusão, não existem dados geoquímicos. Porém, o núcleo ácido do dique composto, Florisbal *et al.*, (2017), com base no diagrama TAS (Le Bas *et al.*, 1986), classifica-o como um traquidacito. A concentração de SiO₂ do traquidacito está entre 65-70 peso%, enquanto, a concentração de P₂O₅ está próxima de 0,4%. O óxido TiO₂ está entre 1 – 2%, enquanto K₂O e Na₂O então, respectivamente entre, 4 – 5 peso% e 3,4 – 3,6 peso% (Florisbal *et al.*, 2017). Esses dados assemelham – se aos dos Traquitos do grupo Chapeco do Magmatismo Serra Geral (Tabela 1).

2.4 TEXTURAS INDICATIVAS DE RESFRIAMENTO RÁPIDO

A velocidade de resfriamento de um magma é o fator determinante para formar uma rocha de granulação fina ou grossa, ou um sólido vítreo. O resfriamento rápido, aumenta a eficiência do magma de formar cristais iniciais necessários para a continuação do processo de cristalização, a chamada *nucleação* de cristais é maior, e, ainda por conta do rápido resfriamento, o tempo de crescimento cristalino é menor. Nesse sentido, onde o grau maior de resfriamento gera uma rápida cristalização, no qual a taxa de nucleação é maior que a taxa de crescimento cristalino, são formados muitos cristais pequenos (Fig. 3) (Gill, 2014). O resfriamento rápido não tem apenas influência na nucleação e crescimento mineral, como também interfere na morfologia dos cristais (Wernick, 2004). A morfologia dos cristais é marcada pelo grau de sub-resfriamento (ΔT), mudando de cristais tabulares em ΔT pequenos, para cristais esqueléticos, dendritos e esferulíticos com o aumento de ΔT .

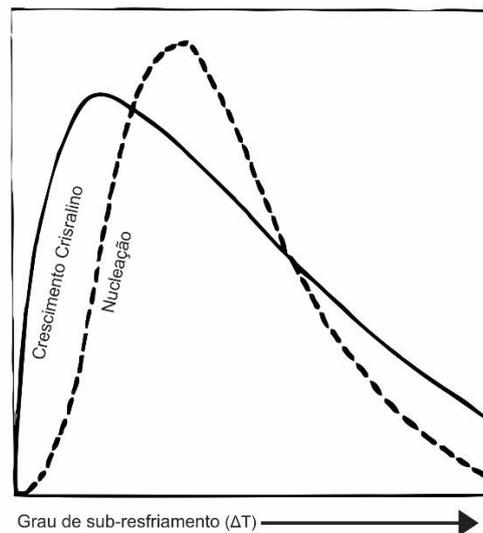


Figura 3 - Diagrama mostrando as taxas de nucleação e de crescimento cristalino como função do grau de sub-resfriamento. Modificado de Naslund and McBirney (1996).

Texturas vítreas, comum em riolitos (vide 2.1), são formadas a um grau de sub-resfriamento ainda maior, em um resfriamento extremamente rápido o bastante para suprimir tanto a nucleação quanto o crescimento cristalino. O estado desordenado do líquido magmático é solidificado sem uma estrutura cristalina definida, e por causa disso, designado de sólido amorfo, comumente chamado de vidro (Wernick, 2004; Gill, 2014).

O vidro vulcânico ocorre como material total (rocha hipohialina) ou compondo a maior porcentagem da rocha (holohialina). Geralmente é maciço, mas pode apresentar estruturas de fluxo geradas pela compressão do material quente (Fig. 4a) (Frank, 2018), que são diferentes das fraturas formadas durante a contração do material no processo de resfriamento. Quando o vidro vulcânico se contrai são formadas em todo o material fraturas esferoidais e concêntricas, definidas como fraturas perlíticas (Fig. 4b), observadas em amostras de mão ou em lâminas delgadas quando observados em luz plano paralela. Dado que o vidro vulcânico é isotrópico, é observado como completamente extinto nesta luz (Frank, 2017; Gill, 2014).

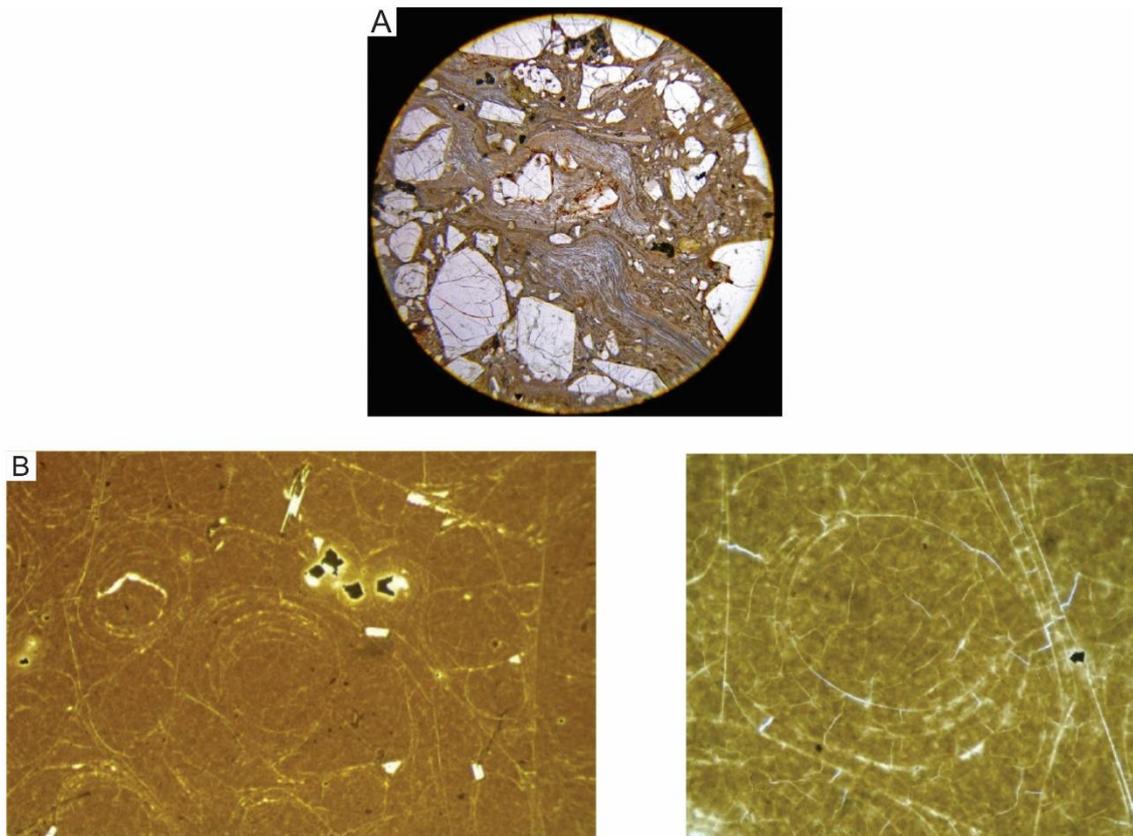


Figura 4 - a) Vidro vulcânico com estruturas de fluxo bem marcadas. b) Vidro vulcânico marrom com fraturas perlíticas. c) Vista de detalhe de uma fratura perlítica, onde percebe-se que todo o vidro está fraturado. Imagens obtidas a nicóis descruzados, a nicóis cruzados o vidro é completamente preto ao giro de 360° da platina. Fonte: Frank, 2018

Por conta do seu estado metaestável, com o passar do tempo na escala geológica, o vidro vulcânico tende a sofrer cristalização lenta em estado sólido. Este processo chamado de desvitrificação, consiste na cristalização de cristais no material vítreo que se cristalizariam se a lava tivesse tempo para resfriar lentamente (Frank, 2018; Gill, 2014). O vidro isotrópico original se transforma em material cristalino birrefringente, visível a nicóis cruzados (Fig. 5). Os cristais formados iniciam a nucleação sobre impurezas, que crescem como cristais aciculares (agulhas) e esferulitos radiais (Fig. 6), este, segundo Lofgren, (1971), produto comum na desvitrificação de rochas de composição riolítica.

Embora sendo um indicio de desvitrificação, os esferulitos podem também ser formados pelo rápido resfriamento magmático. Os esferulitos podem cristalizar a partir de uma rocha fundido (*melt*) sob condições de alto ΔT , por efeito de tais condições, a taxa de crescimento cristalino excede a taxa de nucleação de maneira significativa, e o surgimento de cristais com habito esferulítico é comum (Lofgren, 1974; Gill, 2014). Porém, em vidros gerados em rochas de composição ácida a desvitrificação é o processo mais comum no surgimento de esferulitos (Davis e McPhie, 1996).

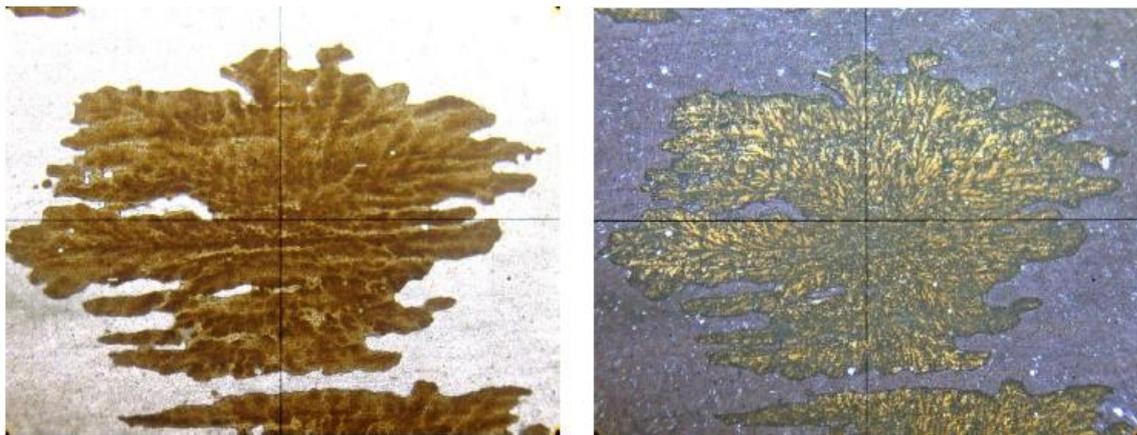


Figura 5 - Estrutura de desvitrificação em vidro vulcânico, comercializado como pedra ornamental “obsidiana flocos de neve”, proveniente do México. À esquerda, a nicóis descruzado, à direita, a nicóis cruzados. Fonte: Frank, 2018

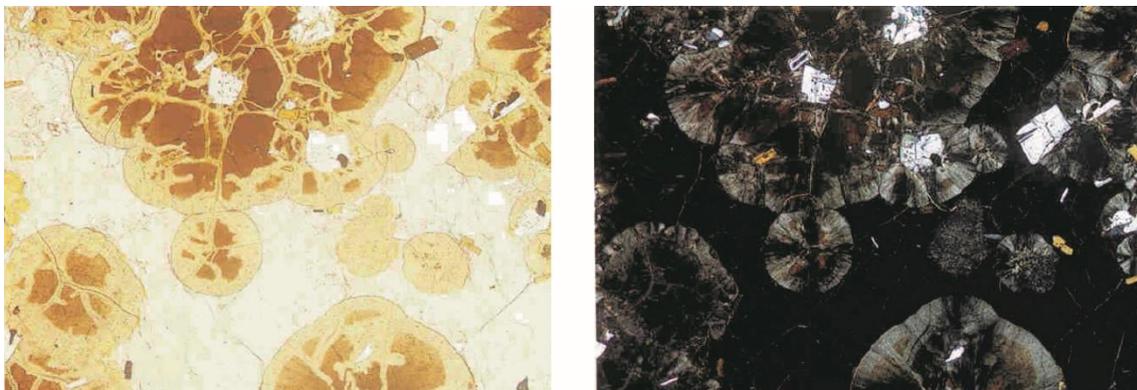


Figura 6 - Esferulitos em Riolito. Esferulitos de microfenocristais de plagioclásio e biotita, cercados por vidro. Fonte: Atlas of igneous rocks and their textures, W. S. MacKinzie

Esferulitos são agregados organizados de microcristais aciculares que emergem de um ponto ou linha. Não necessariamente precisam ser de forma esférica, podem adotar uma variedade de morfologias (Fig. 7), mas quando esféricos podem ter um ponto concêntrico de origem das fibras (Fowler *et al.*, 2002). O diâmetro das fibras dos esferulitos está relacionada com ΔT , com o aumento de ΔT , a largura das fibras diminui (Lofgren, 1974).

Fowler *et al.*, (2002) relaciona, esferulitos maiores e longe do contato de resfriamento dos diques, com fibras mais largas e, eventualmente, com hábitos mais próximos do equilíbrio mineral, à esferulitos primários, resultantes de cristalização magmática. Para esferulitos secundários, Davis e McPhie (1996) demonstram a presença de esferulitos provenientes de desvitrificação, em um dique riolítico, formados como axiolitos ao longo de fraturas. Estes esferulitos são interpretados como formados devido à interação do vidro com a água subterrânea a temperatura elevada. Lofgren (1971) mostrou que, em um vidro riolítico, a desvitrificação ocorre em resposta ao aquecimento (250-700 °C) na presença de uma fase fluida rica em álcalis. Podendo assim, interpretar esferulitos como também indicativos de fusão parcial.

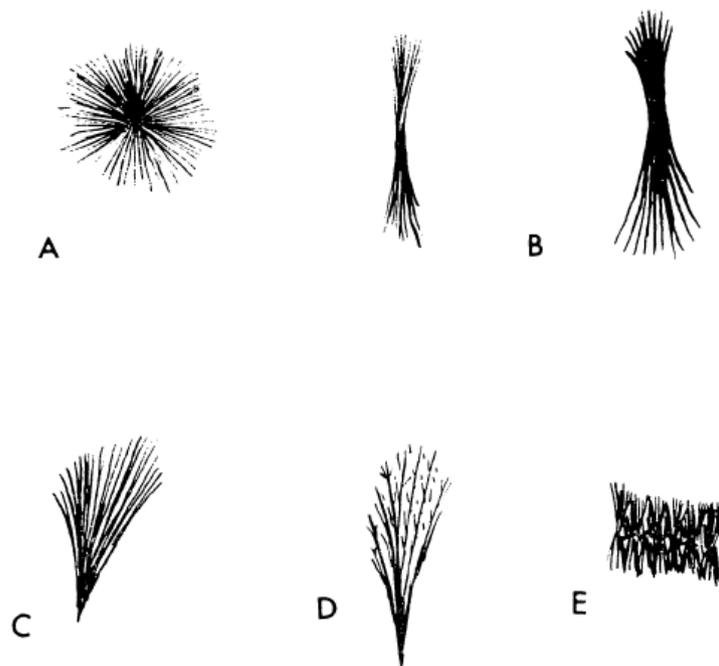


Figura 7 - As morfologias básicas dos esferulitos são representadas nestes esboços: (A) Esférico: Frequentemente terá um contorno irregular causado pela proximidade de outros esferulitos. (B) Gravata borboleta: dois cones unidos em seus ápices que podem ser gradacionais a esféricos, à medida que os “ventiladores” de oposição aumentam. A gravata borboleta não precisa ser simétrica. (c) Ventilador: um único cone ou metade de uma esferulito gravata-borboleta. (d) Plumoso: um esferulito aberto e grosso com ramificação lateral extensa. Geralmente em forma de leque, mas pode ser esférico ou gravata borboleta. (e) Axiolíticos: fibras esferulíticas irradiadas de uma linha. Fonte: Lofgran, 1974

2.5 TEXTURAS INDICATIVAS DE FUSÃO PARCIAL

A fusão parcial transforma as rochas de um sistema de fase única (sólido) para um sistema de fase dupla (sólido + fundido). A identificação e classificação das texturas de fusão são amplamente estudadas em rochas que foram submetidas a processos de fusão parcial, ou seja, migmatitos, onde os processos de fusão são mais extensos. Assim, os métodos de identificação e classificação de grande parte das texturas, estruturas e demais evidências geológicas de processos de fusão, mesmo em casos mais locais, como as auréolas termais, são derivados dos estudos em rochas migmatíticas (Sawyer, 2008). Macroscopicamente as evidências de fusão parcial são reconhecidas facilmente em migmatitos, visto que, texturas macroscópicas fornecem critérios simples para reconhecer fusão. Como, a presença de lentes e manchas irregulares de material quartzo-feldspático (leucossomas). Também é comumente associada à fusão, à deformação regional, que resulta em coalescência de fragmentos da rocha que foi fundida parcialmente (Holness *et al.*, 2011; Sawyer, 1999). Em escala microscópica as

evidências não são tão óbvias, e o entendimento envolve estudos laboratoriais e observação de exemplos naturais (Sawyer, 2008).

Evidências de fusão parcial apresentam microestruturas como, filmes de vidro ou de quartzo, plagioclásio e k-feldspato recristalizado ao longo das arestas dos grãos fundidos, grãos corroídos e texturas de intercrescimento (Sawyer, 1999, 2008; Holness *et al.*, 2011; Maraes, 2013; Bouloton *et al.*, 1995; Vernon, 2004).

A reação de fusão começa nos sítios em que os minerais que serão fundidos estão em contato. As primeiras gotas do fundido, ou líquido silicático (*melt*), formam *melt pockets*, que ficam aprisionados entre os grãos em ângulos diedros maiores que 60° . Com o aumento da taxa de fusão, as arestas dos grãos são consumidas pela reação, o ângulo diedro diminui, e as gotas começam a conectar-se formando filmes de *melt*, que bordejam as arestas dos grãos reliquiasres (Maraes, 2013), e ocupam fraturas intragranulares (Fig. 8) (Holness *et al.*, 2011; Bernardes, 2017; Pereira, 2017). Quando o resfriamento do fundido é devagar, ocorre crescimento individual e nucleação de grãos nos filmes de *melt*, formando filmes de pequenos cristais arredondados que bordejam os relictos, conhecido como *string of beads* (Holness *et al.*, 2011).

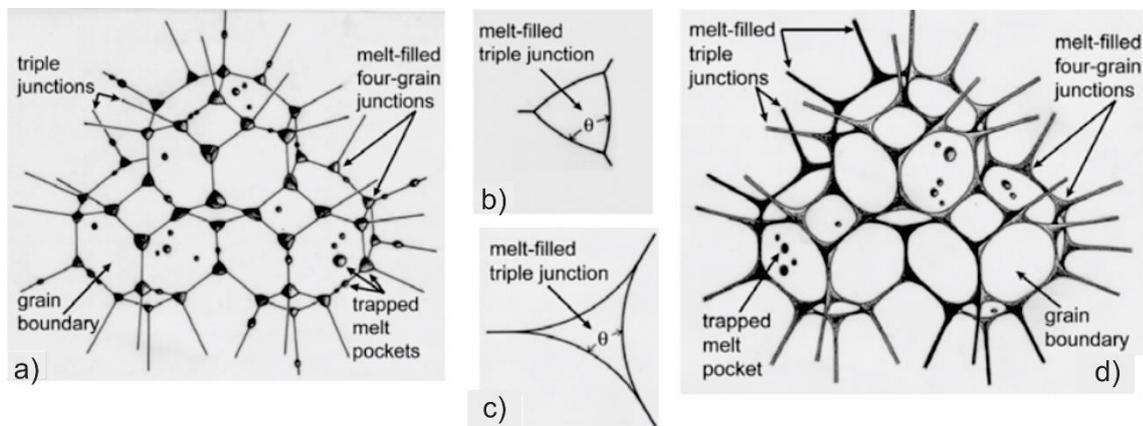


Figura 8 - Modelo de reações de fusão parcial; a) gotas de fundido (*melt pockets*) geradas e aprisionadas nas junções tríplices dos minerais; b) ângulo diedro $\theta > 60^\circ$ entre sólido e líquido que impede as gotas de fundido se interconectarem; c) ângulo diedro $\theta < 60^\circ$ entre sólido e líquido permitindo a conexão entre as gotas do fundido; d) estágio avançado da fusão em que as arestas dos grãos já foram fundidas e filme de *melt* formados. Fonte: Maraes, 2013

Os limites dos grãos reliquiasres são irregulares, apresentam formas arredondadas, embaídas, arredondadas, assim como arestas triangulares (Sawyer, 2008). Com altas taxas de fusão a proporção matriz *versus* relictos é expressivamente maior, e os cristais reliquiasres tornam-se mais corroídos ou zonados, apresentam um hábito ameboide, e comumente pode-se formar pequenas inclusões arredondadas. Inclusões maiores que cerca de $15 \mu\text{m}$ cristalizaram

como "nanogranito", um agregado de grãos finos de quartzo, feldspato e biotita, mas, as menores inclusões permanecem vítreas (Holness *et al.*, 2011).

Texturas de intercrescimento são comuns em microestruturas resultantes de fusão parcial, texturas como micrográfica (chamada de “gráfica” quando discernível a olho nu), coronítica e os simplecitos são observadas (Sawyer, 2008). O tipo mais comum de intercrescimento é conhecido como textura granofírica (Holness *et al.*, 2011), considerada como bom indicador de fusão parcial e resfriamento rápido (Bouloton *et al.*, 1995; Vernon, 2004; Holness *et al.*, 2011). Semelhante à textura micrográfica, uma textura granofírica (ou granófiros) evidencia a cristalização simultânea de quartzo e feldspato de um fundido, é menos bem definida do que uma textura gráfica e geralmente é um pouco difundida em raios (Vernon, 2004). São entendidas como texturas transicionais entre intercrescimento micrográfico e pequenos esferulitos de quartzo (Bouloton *et al.*, 1995). Terminações em cúspides, são típicas feições conhecidas de recristalização no fundido, são cristalizações com forma triangular em contato com partes de cristais parcialmente reabsorvidos (Fig. 9C) (Sawyer, 2008).

Bernardes, (2017); Pereira, (2017) relatam a ocorrência de fusão parcial das encaixantes dos diques máficos ocorrentes na área de estudos do presente trabalho, Praias da Pinheira e Garopaba. Neste contexto, são relatadas diversas texturas indicativas de fusão parcial, como, filmes de *melt*, *string of beads*, cristais reliquiares e texturas de intercrescimento. A figura 9 ilustra algumas das texturas indicativas de fusão apresentadas pelas autoras ocorrentes na referida região.

Além das texturas indicativas de fusão parcial das encaixantes, Bernardes (2017) e Pereira (2017) relatam a ausência de biotita nas rochas encaixantes próximo às zonas de contato dos diques. Para estas autoras, isto pode ser indicativo de consumo da biotita durante os processos de fusão, que seria então gerada por desidratação e quebra da biotita, em temperaturas entre ~750-850° (Weinberg *et al.*, 2015).

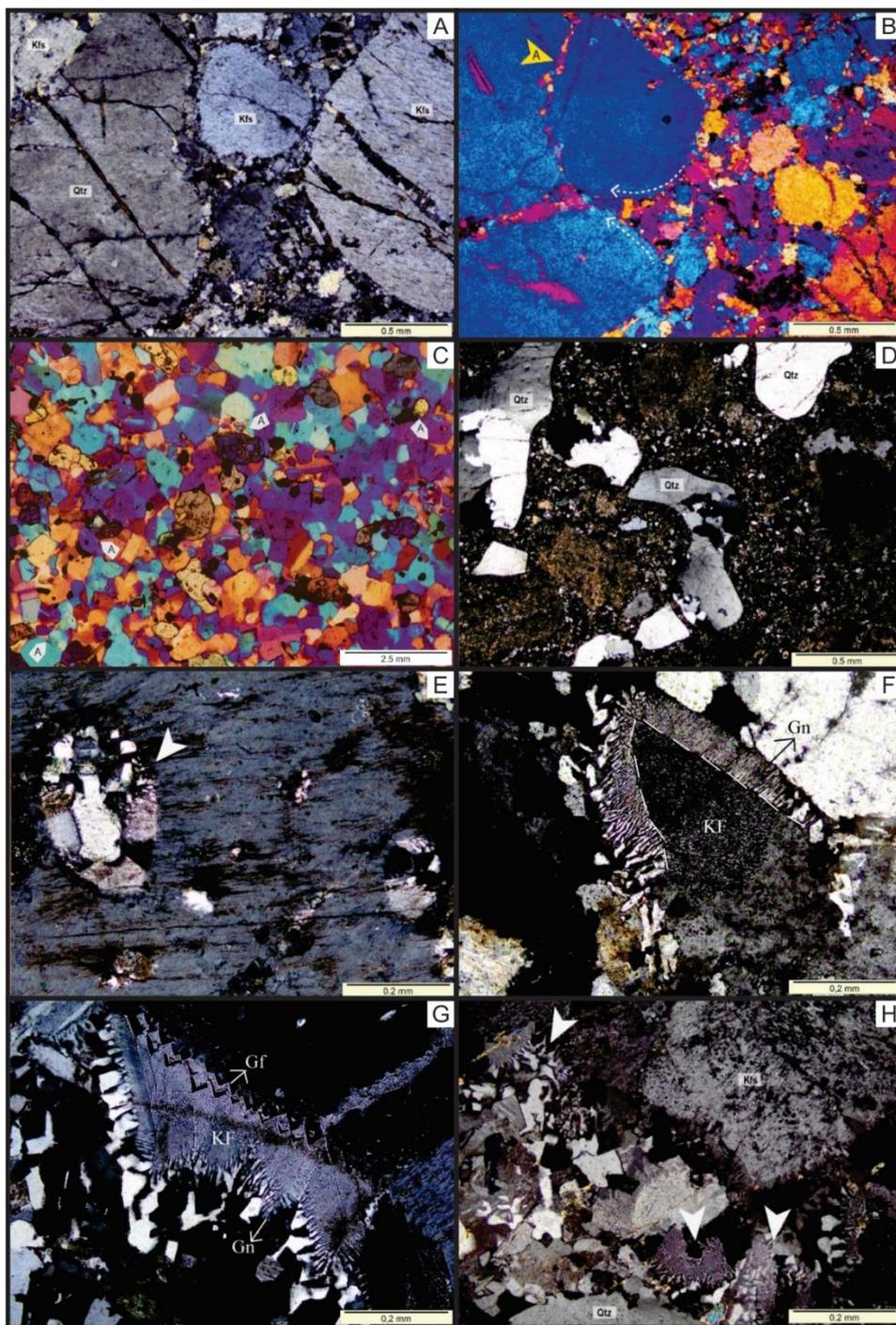


Figura 9 - a) Cristais reliquiais de quartzo e k-feldspato arredondados em matriz média a fina. Notar que o material da matriz migra ao longo dos limites dos grãos e das fraturas intragranulares. b) *String of beds* (seta amarela) e migração de matriz para dentro dos grãos em ângulos diedros (setas brancas com projeção). c) Terminação em cúspides (seta branca), típica feição de cristalização de fundido, contra a parte do cristal que não foi totalmente consumida na reação. d) Cristais ameboides em matriz fina abundante. e) Megacrystal com inclusão de nanogranito. f) Cristal de feldspato alcalino com coroa de granófiros (Gn). g) Desenvolvimento de textura granofírica (granófiros) e textura gráfica (Gf) ao longo do limite dos grãos de feldspato alcalino. h) Matriz composta por granófiros em diversos locais (setas brancas). Notar que o material gerado na fusão, os granófiros, muitas vezes se situam ao longo dos limites dos grãos dos cristais maiores, atestando a geração de *melt* ao longo destes contatos.

Fotomicrografias tomadas com nicóis cruzados. Fonte: Bernardes, (2017) (Figs. F e G); Pereira, (2017) (Figs, A, B, D, E e H); Sawyer, (2008) (Fig. C)

3 MATÉRIAS E MÉTODOS

3.1 ETAPA PRÉ-CAMPO

Nesta etapa pré-campo o trabalho consistiu, na revisão bibliográfica e, organização e análises do acervo de dados já existente.

Para o referencial teórico, inicialmente foi realizado um levantamento de dados com características de campo, petrográficas e geoquímicas das principais unidades vulcânicas ocorrentes na área de estudo. Artigos, teses, dissertações, livros, entre outros foram utilizados para a escrita deste, essencial para diferenciação e classificação de qual unidade o corpo lenticular ácido estudado pertence. Uma contextualização geológica da área também foi feita, junto, com uma revisão das principais texturas diagnósticas de resfriamento rápido e fusão parcial, que constituem as duas possibilidades de geração das rochas ocorrentes na Ponta da Andorinha, Praia da Pinheira, SC.

3.2 ETAPA DE CAMPO

A Ponta da Andorinha, Praia da Pinheira – SC, já contava com um mapa do afloramento estudado em escala 1:2000. No campo foi feita a atualização cartográfica do afloramento, para melhor delimitar as zonas de contato entre encaixante, dique básicos, zonas de brechas e rochas ácidas provenientes da fusão da encaixante. Com isso o croqui foi atualizado e está exposto no item de resultados (Fig. 13).

3.3 PETROGRAFIA

Quinze lâminas petrográficas, abrangendo amostras do corpo lenticular ácido, da brecha de mistura magmática, bem como do Granito Ilha encaixante e dos veios e vênulas foram utilizadas para estudos das características mineralógicas e texturais. A análise petrográfica das lâminas foi realizada no Laboratório de Ensino de Microscopia Óptica (LABEMO) da UFSC através do microscópio petrográfico binocular de luz transmitida da marca Carl Zeiss®. Com a análise das lâminas, foram descritas as texturas e microestruturas do Granito Ilha encaixante, do corpo lenticular ácido, da matriz da brecha de mistura magmática e dos veios e vênulas. O registro das texturas e microestruturas foram feitos através de fotomicrografias obtidas no Laboratório de Microscopia Óptica (LMO) no Departamento de Geologia da Universidade

Federal de Santa Catarina utilizando o microscópio Olympus BX41 acoplado a uma câmera Olympus DP25 através do software AnalySIS Imager da Olympus.

As quantificações de proporções entre matriz e cristais reliquiares, bem como a estimativa da proporção modal de cristais reliquiares de feldspatos e quartzo foram feitas também em lâmina petrográfica. A primeira foi uma quantificação por contagem, onde uma lâmina representativa das diferentes porções estudadas foi escaneada, os limites dos cristais reliquiares e os domínios de matriz foram desenhados no *software* Inkscape, o produto foi uma imagem em preto e branco em que os minerais reliquiares ficaram na cor branca e a matriz na cor preta. Nesta imagem foi possível fazer uma quantificação por porcentagem de pixels pretos (1) e pixel brancos (0), no *software* ImageJ, e assim foi calculada a proporção entre matriz e cristais reliquiares. Por outro lado, a estimativa da proporção de cristais reliquiares de feldspatos e quartzo foi feita de maneira visual, com auxílio de lupa com luz polarizada, onde se observa campo total da lâmina e se pode identificar quais cristais são de feldspatos e quais são os cristais de quartzo.

3.4 GEOQUÍMICA

Os dados geoquímicos foram obtidos pela orientadora através do método de fluorescência de raio-X para análise dos elementos maiores, e alguns menores, como Rb, Sr, Zr e Ba. Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Geoquímica da USP. Detalhes sobre a metodologia de análise, procedimentos analíticos e preparação das amostras podem ser obtidos em Florisbal et al (2017). Todos os dados geoquímicos apresentados neste trabalho como os dados da literatura foram reunidos em planilhas no *software* Excell, os diagramas apresentados foram gerados no *software* GCDKit e posteriormente editados no *software* Inkscape.

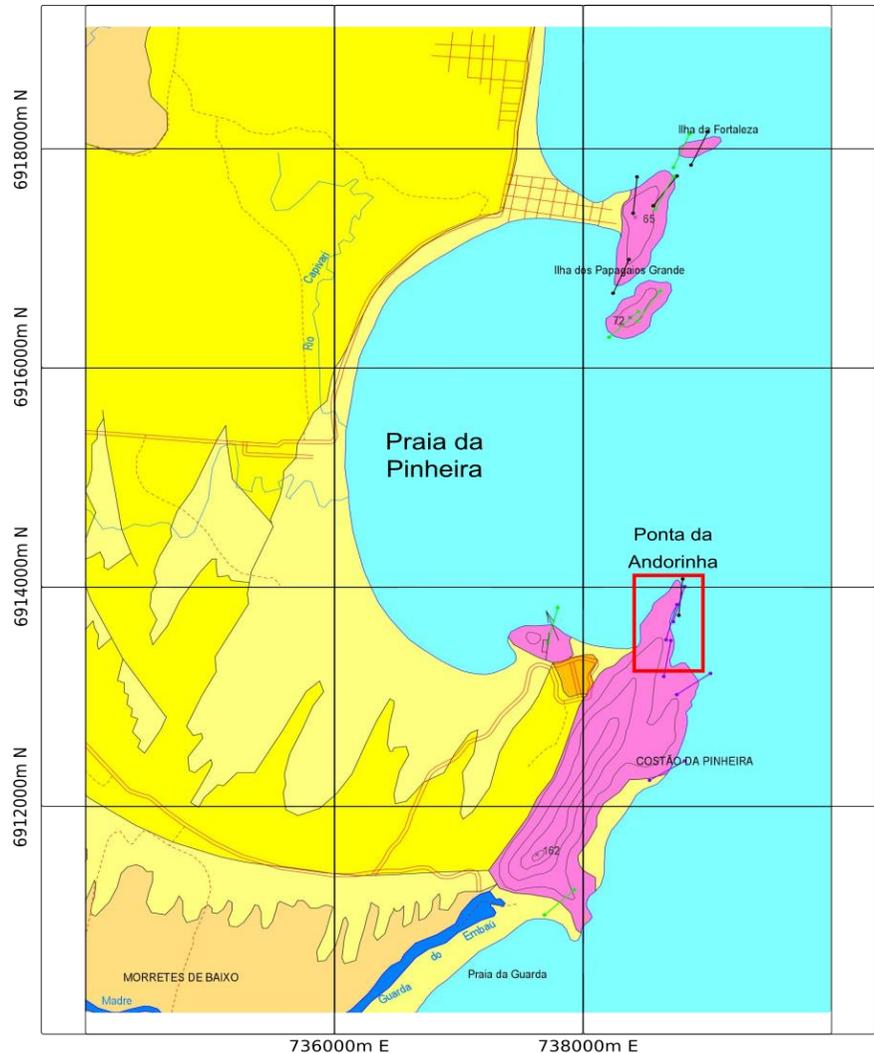
4 GEOLOGIA DA PRAIA DA PINHEIRA

A Praia da Pinheira está localizada no Domínio Sul do Escudo catarinense (Florisbal et al., 2012), a sul da Zona de Cisalhamento Major Gercino, na margem leste do Batólito Florianópolis. Nesta região ocorrem rochas graníticas pertencentes ao Batólito Florianópolis, diques básicos relacionados ao magmatismo da PMPE e diversos depósitos sedimentares recentes (Fig. 10).

Em meio a cobertura sedimentar cenozoica, aflora o Granito Ilha (588 ± 8 Ma; Janasi et al., 2015), encaixante para uma série de diques básicos e ocorrências menores de diques compostos, com núcleos intermediários a ácidos, onde feições de mistura heterogênea de magmas são comuns. Florisbal *et al.*, (2014) obteve idades U-Pb ID-TIMS em badeleíta e zircão para dois diques aflorantes na parte sul da Praia da Pinheira. As duas idades, $134,7 \pm 0,3$ e $133,9 \pm 0,7$ Ma, foram obtidas em um dique básico e um dique composto, respectivamente, são muito próximas as idades apresentadas por Renne *et al.*, (1992) para as rochas vulcânicas do tipo Urubici (sul da Bacia do Paraná) ($131,4 \pm 1,6$ e $132,9$ Ma), o que levou Florisbal et al. (2014) a interpretar os diques básicos alto-Ti como alimentadores da pilha de lava.

O texto a seguir é focado nas rochas graníticas e nos diques básicos e corpos ácidos encaixados nos granitos, que constituem o alvo deste estudo.

MAPA GEOLÓGICO - PRAIA DA PINHEIRA

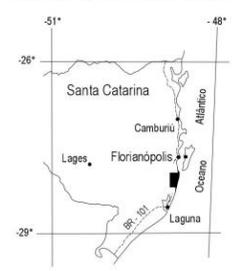


CENOZOÍCO		Quaternário		Holoceno	
		fdf	fdt	fp	Fácies de dunas frontais (fdf) e fácies de dunas transgressivas (fdt): areias quartzosas claras, finas a médias, bem selecionadas, grãos arredondados e subarredondados, minerais pesados e biotétritos, estratificação cruzada. Fácies praial (fp): areias quartzosas claras, finas a grossas, moderadamente selecionadas, grãos arredondados a subangulosos, minerais pesados e biotétritos.
		fccl	m		Fácies de cordões litoâneos (fc): depósitos praias de areias quartzosas cinza claro, médias, bem selecionadas, grãos subarredondados a subangulosos, minerais pesados e biotétritos, recobertos por depósitos eólicos de areias quartzosas claras, muito finas a finas, bem selecionadas, grãos arredondados e subarredondados, minerais pesados e intercalações de níveis arenolamosos com matéria orgânica vés etal. Fácies flúvio-lagunar (ffl): areias quartzosas, areias com lama, lama orgânica com areia e lama orgânica de cores castanha a preta, com biotétritos e conchas de organismos lagunares.
				fp	Fácies praial (fp): areias quartzosas claras, muito finas a grossas, bem selecionadas, grãos arredondados a subarredondados, com minerais pesados.
MESOZOÍCO		Cretácio			
		dq	dqc	rhb	Diques de diabásio de textura fina a afanítica (dq). Diques compostos (dqc) de ocorrência localizada, com centro formado por riolito porfírico ou dacito equigranular fino, contendo muitos enclaves microgranulares máficos, e bordas constituídas por diabásio. Intrusões tabulares de rochas básicas individuais, fina a média (rhb).
NEOPROTEROZOÍCO				n	Granito Ilha (gl): Monzogranitos a sienogranitos de textura alotriomórfica, equigranular média a grossa, com teor variável de minerais máficos, caracteristicamente na forma de agregados isolados; Fácies Leucogranítica (fl) zircão e apatita como acessórios, veios e bolsões pegmatíticos abundantes.

ESCALA 1:50.000



SITUAÇÃO DO MAPA NO ESTADO DE SANTA CATARINA



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS



Figura 10 – Mapa Geológico – Praia da Pinheira – Extraído e modificado de UFRGS (1999).

4.1 GRANITO ILHA

O Granito Ilha (GI), assim denominado por Zanini et al., (1997), primeiramente cartografado como “Granito Grosseiro Ilha” por Scheibe & Teixeira, (1970), refere-se aos granitoides predominantes que afloram na Ilha de Santa de Catarina e ao longo do litoral catarinense, entre Florianópolis e Paulo Lopes (Zanini et al., 1997; UFRGS 1999; Bitencourt et al., 2008).

De acordo com Tomazzoli et al., (2015), o GI apresenta-se como sieno- e monzogranitos maciços, isótopos, de coloração rosada ou cinza-claro, com textura equigranular raramente porfirítica, grossa a média, hipidiomórfica. A mineralogia essencial é composta de quartzo, k-feldspato, plagioclásio, biotita e anfibólio (hornblenda). Sendo, zircão, alanita, apatita e minerais de óxidos de Fe-Ti (magnetita/ilmenita), minerais acessórios e epidoto, sericita/muscovita, clorita, titanita, carbonatos e fluorita como minerais secundários. Este granito apresenta variedades texturais, agrupadas em duas fácies: fácies biotita leucogranitos e fácies biotítica, sendo a primeira amplamente dominante (Bitencourt *et al.*, 2008).

Na Praia da Pinheira, a litologia dominante é o GI (Bernardes, 2017), observado em extensos afloramentos *in situ* nos costões, como também em campos de matacões. Apresenta coloração rosada a acinzentada, com teores elevados de quartzo (Qtz), em geral facetados e destacados. Apresenta textura inequigranular, e contém pequenos megacristais centimétricos (~1-2 cm) esparsos de K-feldspato (Kfs), bem como agregados isolados de minerais máficos (Bitencourt *et al.*, 2008; Bernardes, 2017), o que permite correlacionar esta unidade com a fácies leucogranítica descrita por Bitencourt et al (2008).

Encaixante para uma série de diques na região da Praia da Pinheira, o Granito Ilha, segundo Bernardes (2017), sofreu um aquecimento anômalo com a entrada do exame de diques, que gerou fusão e provocou variações texturais e microestruturais laterais no Granito Ilha. Conforme a proximidade com os diques básicos, existem evidências de fusão, como a presença de minerais consumidos xenomórficos e formação de matriz na rocha, o que não é comum para este granito.

De acordo com Bernardes (2017), nas zonas mais distais dos diques, cerca de 1 km, o GI exibe seus aspectos texturais originais descritos na literatura. Apresenta coloração rosada, textura inequigranular com cristais de feldspato alcalino de até 1 cm e cristais com cerca de 0,5 centímetros de quartzo e biotita. Os cristais de quartzo, facetados, exibem coloração

acinzentada (fumê) e estão agrupados na forma de agregados globulares. A biotita apresenta-se também na forma de agregados, com quantidade modal 7% do granito (Fig. 11).

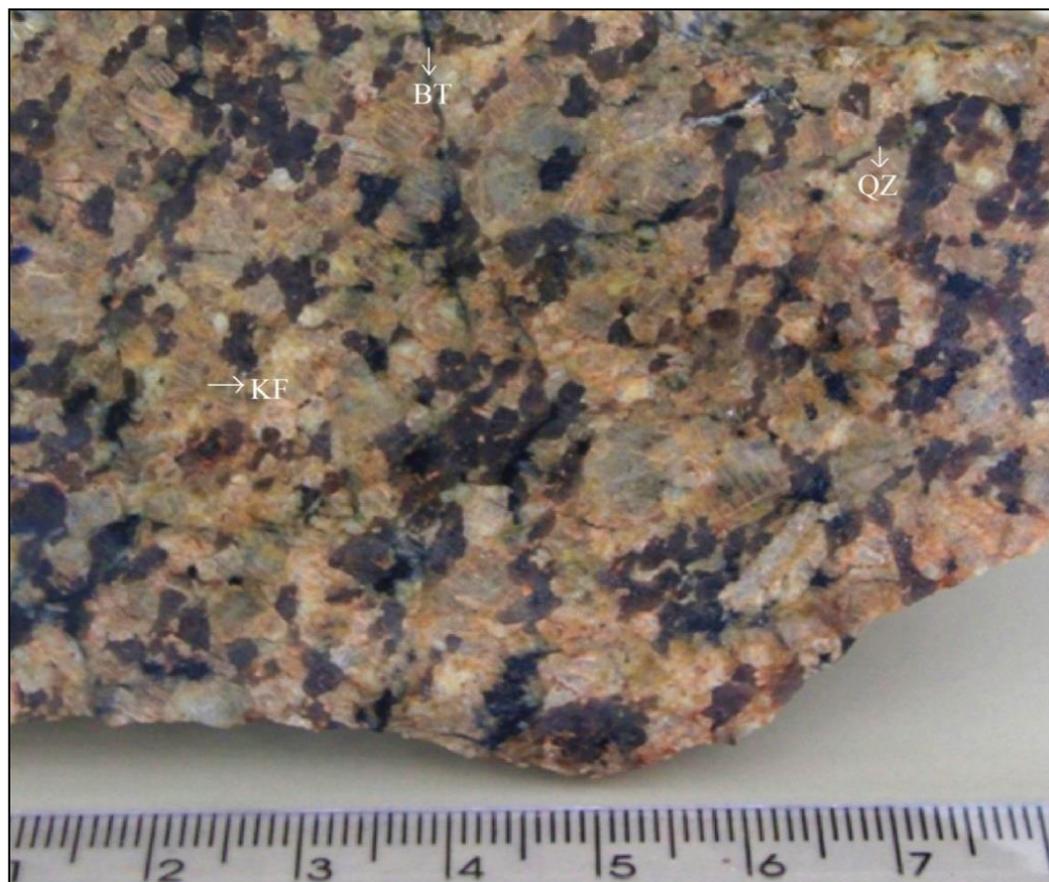


Figura 11 – Amostra do GI da zona mais distal do dique. Textura inequigranular, coloração rosada, com teores elevados de quartzo (Qz) facetados e destacados, pequenos megacristais centimétricos (~1-2 cm) esparsos de K-feldspato (KF), bem como agregados isolados de minerais máficos (biotita) (BT). Fonte: Bernardes, 2017.

Segundo Bernardes (2017), com a aproximação das zonas de contato entre o GI e os diques básicos, a influência da intrusão dos diques na variação textural do GI é maior. Na região com 5m até 60m de distância entre o GI e os diques, há mudanças significativas nos aspectos texturais originais (Fig. 12). Os cristais de quartzo e feldspato potássico ocorrem parcialmente consumidos, arredondados e embaídos, muitas vezes com desenvolvimento de ângulos diedrais maiores que 60°, que são preenchidos por material gerado pela fusão. Sendo este material uma matriz quartzo-feldspática que envolve os grãos anédricos, na sua maioria, conferindo uma textura xenomórfica ao GI.

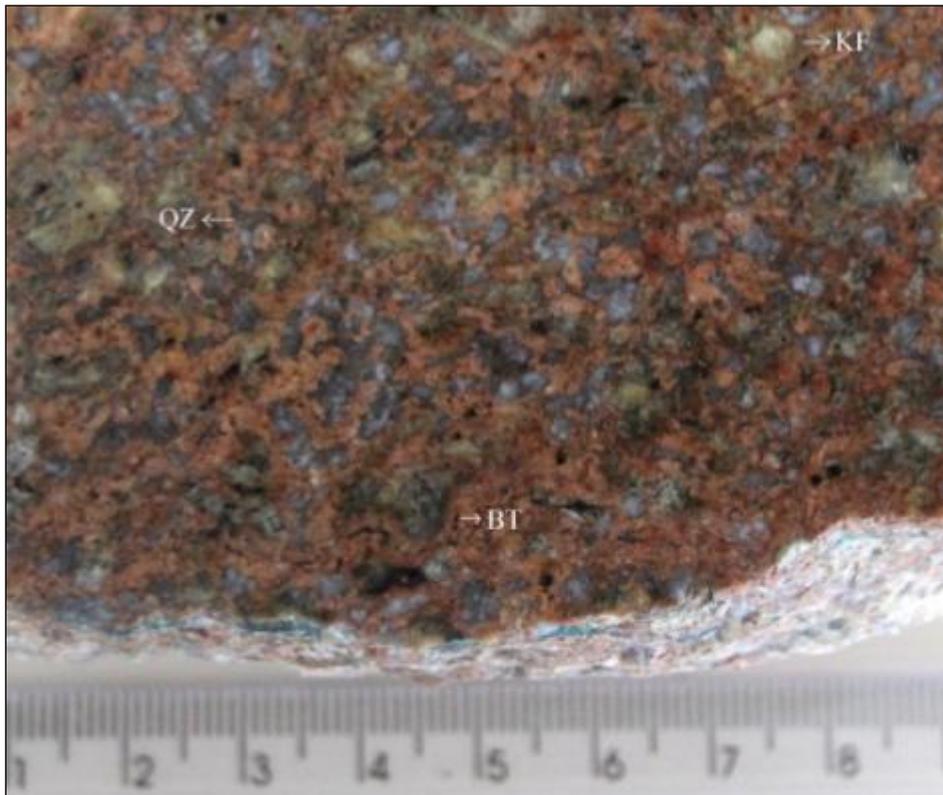


Figura 12 - Amostra do GI coletada a cerca de 10m de distância do dique básico. Observam-se cristais reliquiares de quartzo (QZ) e de feldspato alcalino (KF) xenomórficos e raras biotitas (BT). Presença de alteração no contato dos grãos microcristalinos (amarronzado). Fonte: Bernardes, 2017

A região onde os diques exercem a maior influência na mudança textural da encaixante, se dá nas zonas de contatos entre o GI e os diques do EDF. São relatados tanto contatos retos quanto contatos difusos de mútua intrusão entre o dique e o granito encaixante, que atestam geração de *melt* e mistura heterogênea de magma. Próximo aos contatos, entre o Granito Ilha e os diques básicos, o primeiro tem aparência de uma rocha hipabissal, decorrentes da modificação dos aspectos texturais originais, tornando-o irreconhecível a olho nu. O GI é rico em matriz, os megacristais destacados de Kfs não são visíveis, o quartzo antes facetado, passa a ser xenomórfico e a matriz quartzo-feldspática de textura fina é mais abundante. Os cristais de biotita não são identificados nesta porção (Bernardes, 2017).

4.2 ENXAMES DE DIQUES FLORIANÓPOLIS

De acordo com Bitencourt et al. (2008) e Florisbal et al (2017), ocorrem na Praia da Pinheira diques básicos e compostos, sendo os primeiros predominantes. Estão orientados a NNE e ocorrem na forma de enxame, com espessuras que variam entre 15 e 100m.

Os diques básicos possuem, na sua maioria, contatos retos com a encaixante granítica, mas localmente exibem contatos irregulares e difusos. Nas zonas de contatos difusos são identificados contatos sinuosos e reticulados de veios e vênulas graníticas intrusivas nos diques básicos (Bernardes, 2017).

Segundo Florisbal et al. (2017), os diques básicos possuem textura afanítica a porfírica de matriz fina a afanítica nas margens resfriadas e textura equigranular fina a média na porção central. Os mesmos autores relatam a ocorrência comum de textura subofítica e ofítica. A mineralogia é composta principalmente de plagioclásio (labradorita-andesina) e clinopiroxênio (augita e pigeonita) e foram classificados como magmas de alto-Ti, tipo Urubici.

Os diques compostos, apresentam bordas basálticas composicionalmente semelhantes aos diques básicos predominantes, e núcleos de composição traqui andesítica, com abundantes enclaves máficos globulares ou irregulares. O contato com o Granito Ilha é principalmente reto, mas localmente pode ser irregular e difuso (Bitencourt et al., 2008; Florisbal et al., 2017).

Os núcleos intermediários dos diques compostos apresentam textura equigranular fina a média e são compostos por plagioclásio, feldspato alcalino, quartzo e anfibólio \pm biotita. Apatita prismática, zircão euédrico, badeleíta, ilmenita, pirita são os minerais acessórios. Os EMM possuem textura equigranular fina e são compostos de plagioclásio e clinopiroxênio, com algum quartzo intersticial (Florisbal et al., 2017)

5 RESULTADOS

5.1 GEOLOGIA DA PONTA DA ANDORINHA

A Ponta da Andorinha, localizada no costão sul da Praia da Pinheira (Fig. 10), é um extenso lajeado onde aflora o Granito Ilha, classificado como GI da fácies leucogranítica.

Este granito é a rocha encaixante de um dique básico de idade Eo-Cretácea com cerca de 100 m de espessura e 20 m de largura, orientado a NNE (Fig. 13).

A margem resfriada W do dique básico de espessura centimétrica desenvolve contato reto com o GI, e tem textura microporfirítica, com fenocristais milimétricos e ripiformes de plagioclásio, imersos em matriz afanítica (Fig. 14). Já a margem resfriada E tem textura afanítica. Na porção central do dique, a rocha tem tamanho de grão um pouco mais grosso, sendo a textura fanerítica, equigranular fina a média.

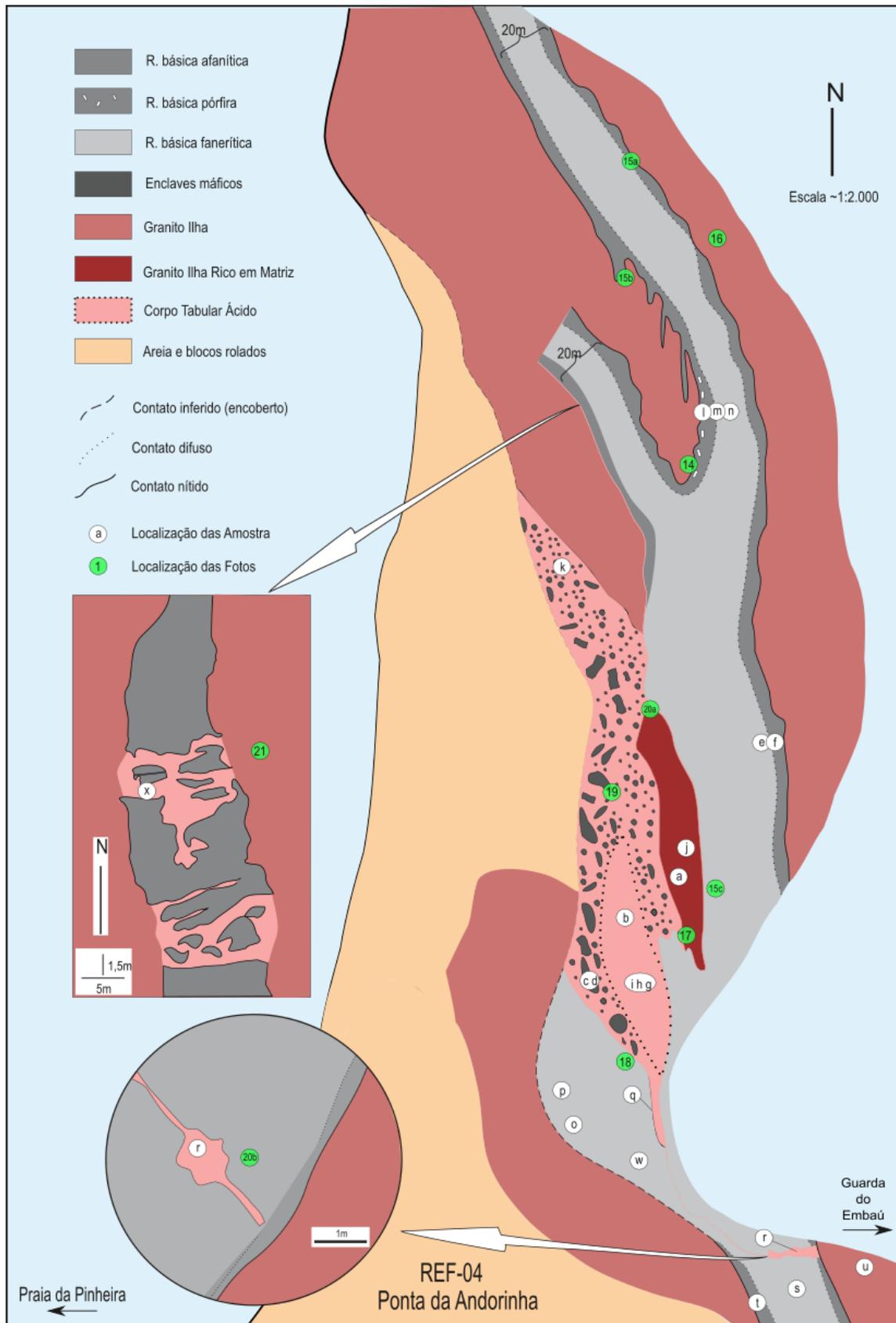


Figura 13 – Croqui do afloramento, Ponta da Andorinha, Praia da Pinheira – SC. Escala 1:2000 | os círculos numerados em verde referem-se a numeração das fotos que ilustram o texto e onde foram tiradas. Os círculos brancos referem-se a localização no afloramento em que as amostras foram coletadas.



Figura 14 – Contato reto contra a encaixante onde ocorre margem resfriada porfirítica no dique. A ocorrência de megacristais de plagioclásio na margem do dique (setas pretas), ocasionam uma margem porfirítica. Detalhe na figura: fenocristal de plagioclásio euédrico.

Os contatos entre o dique básico e o granito são variáveis (Fig. 15). Os contatos retos (Fig. 15a) são predominantes, ocorrem principalmente na porção E do afloramento. É nesta relação de contato que são observados o desenvolvimento de margens resfriadas no dique, por vezes porfiríticas (Fig. 14). Por outro lado, em alguns locais, como na parte da bifurcação do dique no setor centro-oeste, ocorrem contatos difusos, irregulares e interdigitados (Fig. 15b), que atestam mistura heterogênea de magma (magma *mingling*) (Fig. 15c).

A intrusão desse dique básico causou um efeito termal no Granito Ilha encaixante, o que levou o último a um processo de fusão local. No setor W, na região de contato, existe uma série de feições que sugerem fusão. Nesta região há um corpo longitudinal, aproximadamente lenticular de material félsico de textura porfirítica alotriomórfica, com ampla ocorrência de matriz fina. Esse material tem um contato irregular com uma zona de brecha de mistura, que contém uma série de enclaves e fragmentos angulosos de rochas máficas, mas o material que circunda estes enclaves e fragmentos (a matriz) é similar ao material que está no corpo lenticular félsico. Outras feições que sugerem a ocorrência de fusão do granito são, injeções de material félsico que injetam o dique básico, na forma de veios, vênulas, bolsões e apófises, todos com continuidade física com a encaixante.

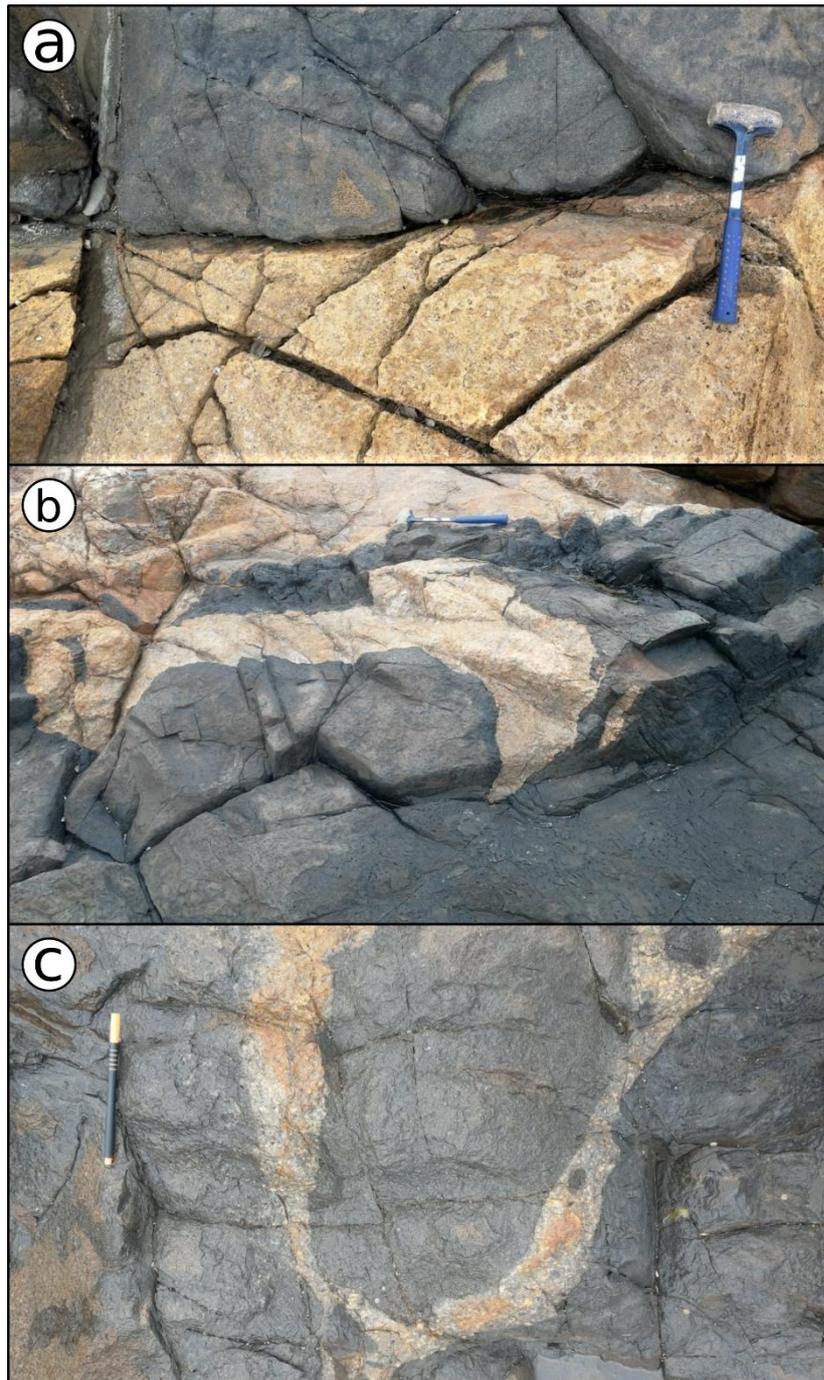


Figura 15 – Relações de contato entre encaixante e dique básico. a) Contato reto entre encaixante granítica e dique básico; b) Contatos irregulares a interdigitados entre dique básico e o Granito Ilha onde ocorrem veios e vênulas de material rico em matriz em continuidade física com o granito encaixante, atestando feições de mútua intrusão; c) Injeção de material ácido contendo enclaves máficos microgranulares no contato com o dique básico. Todas as fotos com vista em planta.

Em função da interpretação das relações de contato, da geração do corpo félsico lenticular, em contato com uma zona de brecha de mistura, dos veios, vênulas, bolsões e apófises, o afloramento na Ponta da Andorinha foi dividido em duas zonas de *melt*, diferenciadas pelos critérios de quantidade de *melt* gerado e a concentração dele. Há situações

que o *melt* foi gerado e não foi remobilizado, e situações que o *melt* remobilizou de diferentes maneiras.

5.1.1 Zona de Melt Não Remobilizado

A zona de *melt* não remobilizado é toda a porção do Granito Ilha em que *melt* foi gerado, onde feições de fusão são identificadas, porém não ao ponto de coalescer e migrar. Refere-se ao GI encaixante, em contato reto com o dique básico, que sofre mudanças texturais com o efeito termal provocado pela entrada do dique. As mudanças texturais nessa zona são laterais, progressivas, conforme à proximidade do dique. Quanto mais perto do dique, maiores são as evidências de fusão. Quanto maior a distância, menores são as evidências. Como evidências de mudança textural para a definição desta zona, temos a ocorrência de matriz na rocha, como também a ocorrência de quartzo e feldspato potássico xenomórficos. Esta zona está principalmente ao longo do Granito Ilha em contato reto com o dique básico, que são predominantes no afloramento. Mesmo com o *melt* gerado e a ocorrência de matriz, ainda se pode verificar uma similaridade textural desta porção com o Granito Ilha não afetado pela fusão.

Na borda leste do dique básico, a região onde predominam os contatos retos com o GI, o último preserva sua identidade textural, porém, apresenta algumas modificações na sua textura original, tal qual a ocorrência de matriz quartzo feldspática de granulometria média a fina, o que não é uma característica textural comum neste granito.

Quanto mais próximo ao dique, os minerais envoltos por essa matriz ficam mais xenomórficos. Os megacristais esparsos de k-feldspato são menores quando comparados com os cristais centimétricos da textura típica do GI mencionadas na Figura 11. Ainda em comparação com a textura típica, a quantidade de máficos é menor, são raramente observados quando mais perto a encaixante está do dique, bem como a proporção matriz:cristais reliquiares, que é maior (Fig. 16).

No centro do afloramento, na borda oeste do dique, e em contato à oeste com uma zona de brecha de mistura, há uma porção do GI indicado no croqui (Fig. 13) como “Granito Ilha Rico em Matriz” em que o efeito termal foi maior, a ponto de gerar descaracterização da identidade textural original do granito. A relação de matriz:cristais reliquiares é a maior de toda a zona de *melt* não remobilizado, ao ponto da identidade do GI ser apagada, mas ainda com aparência de rocha granítica. Não são observados cristais com faces retas, a textura é alotriomórfica, os cristais reliquiares apresentam contornos irregulares, com feições de reabsorções. Nesta porção do GI o dique básico não apresenta margem resfriada (Fig. 17).

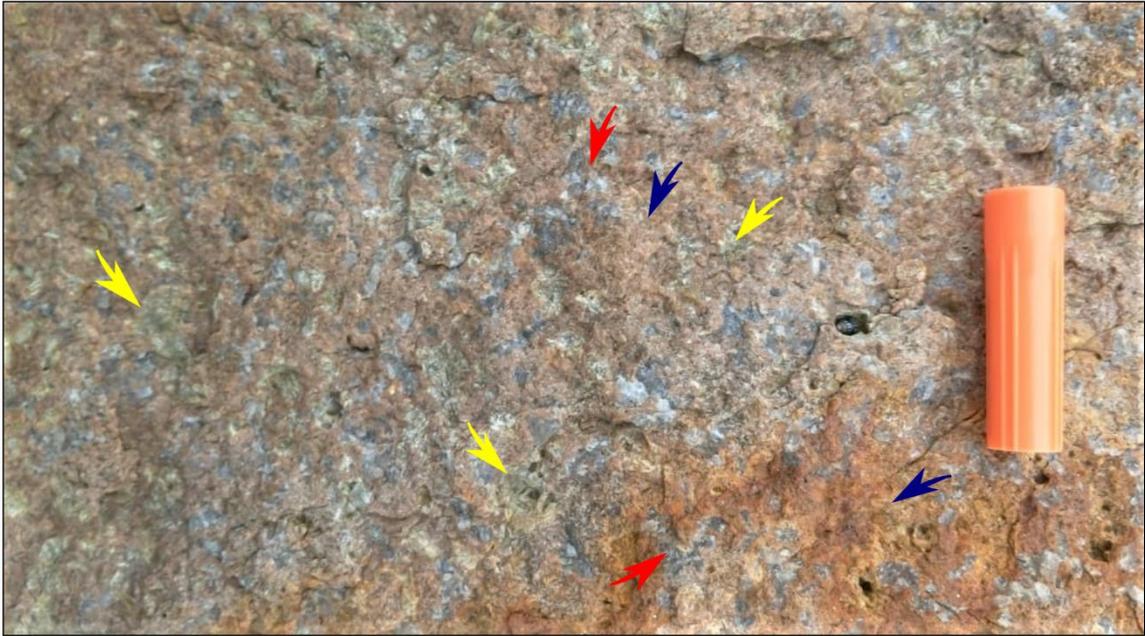


Figura 16 – Textura do Granito Ilha próximo do dique básico. Textura aliothymorfica equigranular fina, ocorrência de matriz quartzo feldspática (seta azul), cristais xenomórficos, agregados de quartzo (seta vermelha), com megacristais esparsos de feldspato potássico, alterados com coloração esverdeada (seta amarela), e sem ocorrência de máficos. Escala = 5cm.



Figura 17 – Da esquerda para direita, W para E no afloramento: dique básico, região de brecha, e porção do GI onde a textural original está mais modificada. Dique básico em contato interdigitado com a zona de brecha, onde feições de mistura heterogênea de magma são visíveis, em contato com o GI que está com sua identidade textural descaracterizada.

5.1.2 Zona de *melt* remobilizado

A zona de *melt* remobilizado são todas as porções em que o *melt* gerado na fusão coalesceu, e conseguiu migrar e percolar o dique básico ou mesmo formar pequenos corpos lenticulares a sigmoides. Esta porção tem sempre contatos difusos, irregulares e/ou interdigitados com o dique básico.

Existem diferentes evidências de que o *melt* migrou, desde porções onde há acumulação de *melt* remobilizado, como no setor W do afloramento, onde é observado um corpo félsico de morfologia lenticular a sigmoide, com textura fina e aspecto de rocha hipabissal. Este corpo félsico está em contato imediato com uma zona de brecha de mistura heterogênea de magma, onde pedaços de rocha máfica estão envoltas por uma matriz félsica, com textura muito similar ao corpo lenticular ácido vizinho e, portanto, também interpretada como gerada pela fusão do granito encaixante. Tanto o material da matriz da brecha quanto a rocha que compõe o corpo lenticular ácido tem um aspecto de rocha hipabissal, às vezes similar com textura de rocha riolítica. Além destes corpos maiores de *melt* remobilizado, são também observados veios, vênulas, bolsões e apófises de material félsico de textura fina que intrudem o dique básico. Estas diferentes ocorrências de material fundido que migrou nos permitem separar o *melt* remobilizado em duas escalas de migração que serão descritas em maior detalhe a seguir.

5.1.2.1 Brecha e Corpo Lenticular Ácido

No contato W com o dique básico, ocorre um corpo riolítico de forma sigmoide ou lenticular, com contatos irregulares, difusos e interdigitados. A textura principal identificada neste corpo félsico é alotriomórfica, com proporção matriz e cristais reliquiares (m:cts) xenomórficos da ordem de 60:30 (Fig. 18).

Em contato com este corpo ácido, é observada uma zona de mistura de magmas, onde ocorre um corpo lenticular, cuja matriz é similar ao material do corpo ácido, mas que contém uma série de fragmentos angulosos e enclaves máficos microgranulares arredondados, de tamanhos variados de rochas máficas de textura também variável (equigranular grossa, média, fina, e alguns fragmentos com textura afanítica). O contato entre estes dois corpos é difuso a gradacional (Fig. 19)

Em função da similaridade textura, observada entre a matriz da brecha e o corpo riolítico e de seus contatos gradacionais, o contato entre estas duas porções é impreciso, sendo o principal parâmetro para distinguir um do outro a presença e/ou ausência de enclaves máficos.



Figura 18 - Corpo riolítico, de limites irregulares, que injeta o dique básico. É possível separar o grande corpo riolítico em duas porções, a Brecha à direita, carregada de enclaves máficos microgranulares (EMM) arredondados, de todos os tamanhos, como também xenólitos angulosos de rocha básica. E à esquerda o Corpo Lenticular Ácido, caracterizado pela ausência de EMM. Vista para sul.

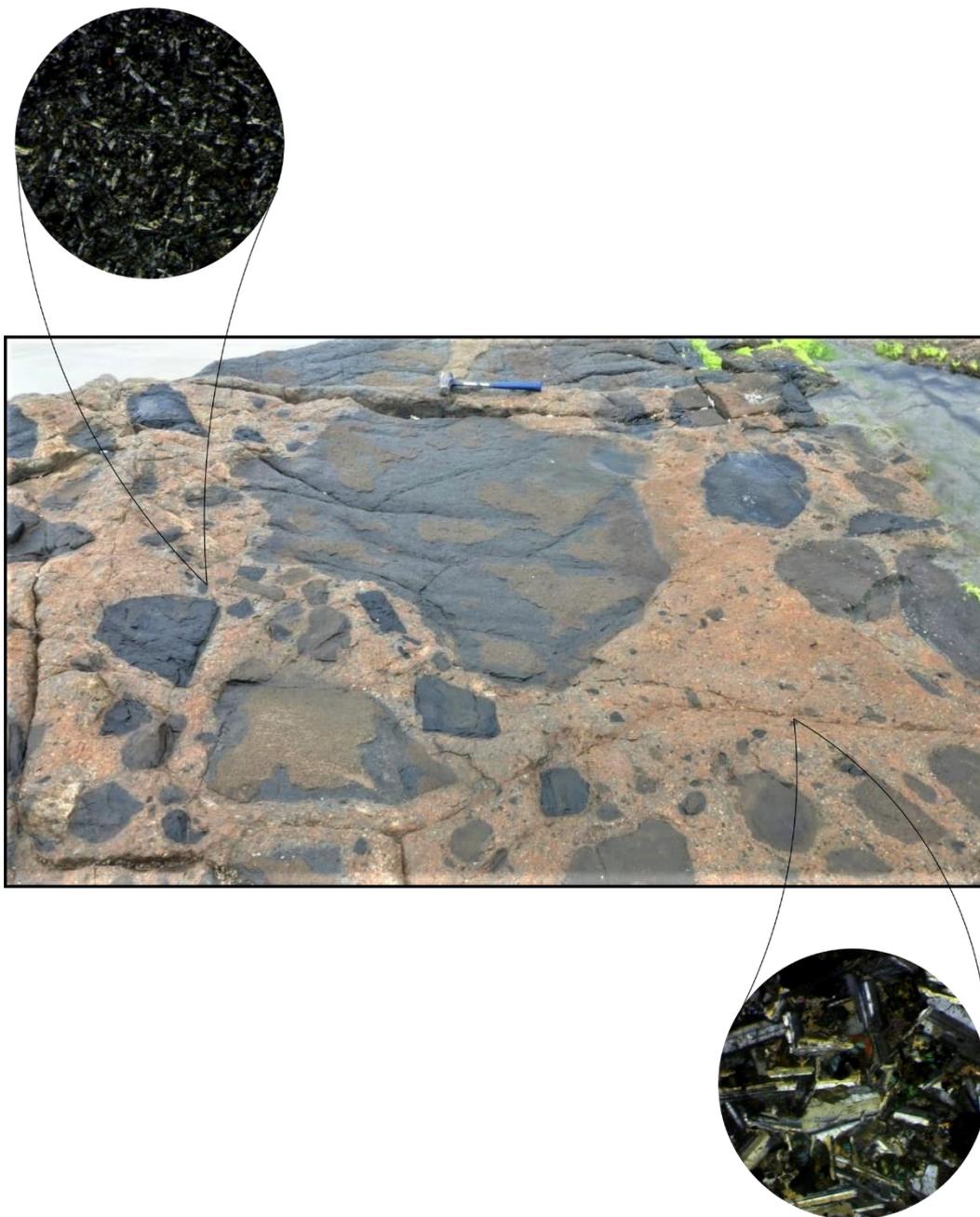


Figura 19 – Zona de Brecha de mistura do corpo riolítico, onde ocorre os enclaves máficos microgranulares arredondados (cm), e os xenólitos com formas geométricas e tamanhos variados (cm-m) de rochas básicas. Os detalhes nos círculos mostram a natureza diferente da granulação dos EMM. Sendo o círculo superior correspondente a granulação fina (REF-04d) e o inferior a granulação grossa (REF-04c).

5.1.2.2 Bolsão, veios e vênulas

Outra forma de ocorrência do *melt* remobilizado, em menor escala, é na forma de bolsões, veios e vênulas, todos com contato difuso e interdigitado com o dique básico. Muitas destas intrusões possuem continuidade física com a encaixante granítica. Todo tem textura

similar a riolitos, com textura inequigranular fina a muito fina e com proporções matriz: cristais reliquiares variadas (Fig. 20).

Na porção sul do afloramento é observada uma intrusão granítica no dique básico que forma um bolsão com cerca de 1x1 metro (Fig. 20b). O bolsão apresenta continuidade física, uma apófise, que sugere ligação com o Granito Ilha, mas essas apófises não tem uma conexão direta com o GI encaixante. O bolsão apresenta uma identidade textural com o GI, porém a proporção matriz:cristais reliquiares é alta, similar ao que ocorre na zona de *melt* não remobilizado.

Os veios e vênulas, diferente do bolsão, possuem textura muito parecida com o corpo ácido, mas com textura ainda mais fina. As vênulas são as menores injeções com continuidade física com a encaixante que intrudem o dique básico. São nessas injeções sinuosas que a textura do GI já não pode mais sequer ser identificada, sendo a textura similar a texturas de rochas hipabissais, com uma carga menor de cristais maiores, imersos em matriz fina (Fig. 21).

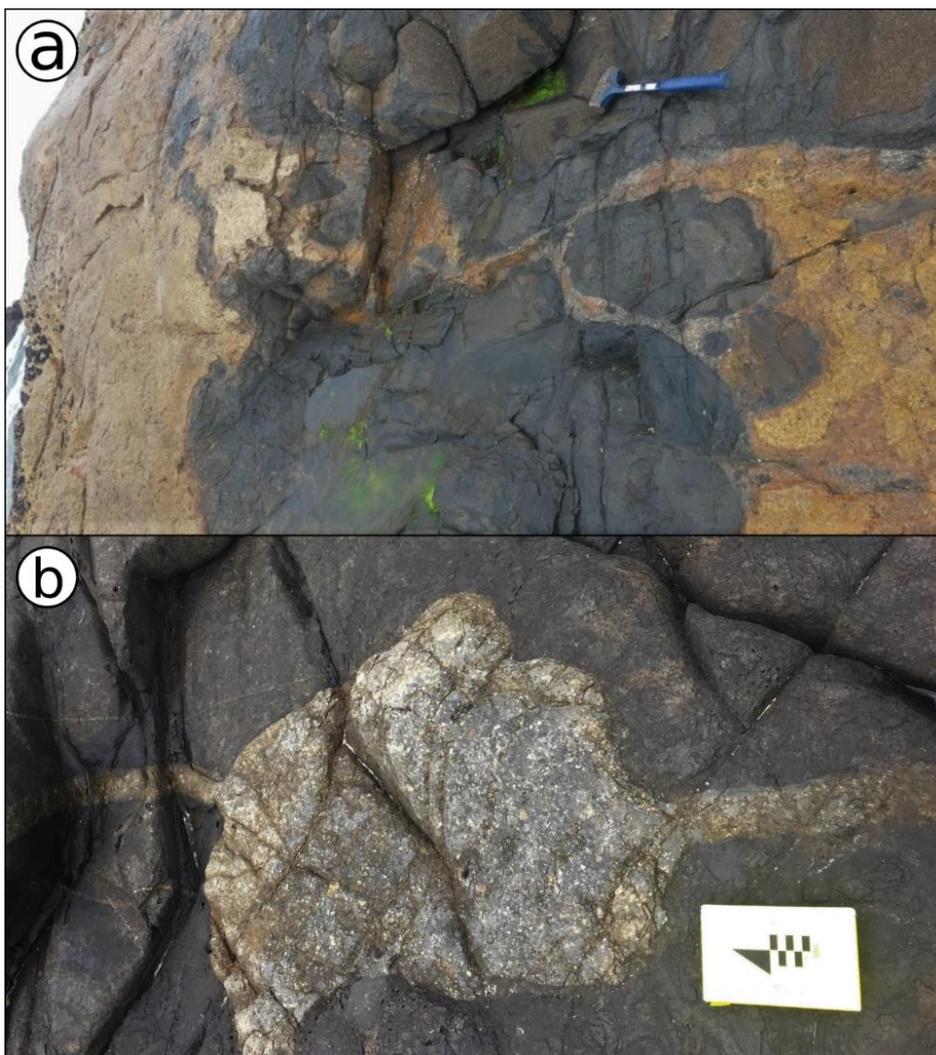


Figura 20 – Feições que atestam fusão: material félsico com aparente textura riolítica que intrudem o dique básico com contatos difusos e irregulares a) magma remobilizado que intrude o dique básico na forma de veios graníticos. b) bolsão granítico alimentado por longas apófises que intrude o dique básico no sul do afloramento.

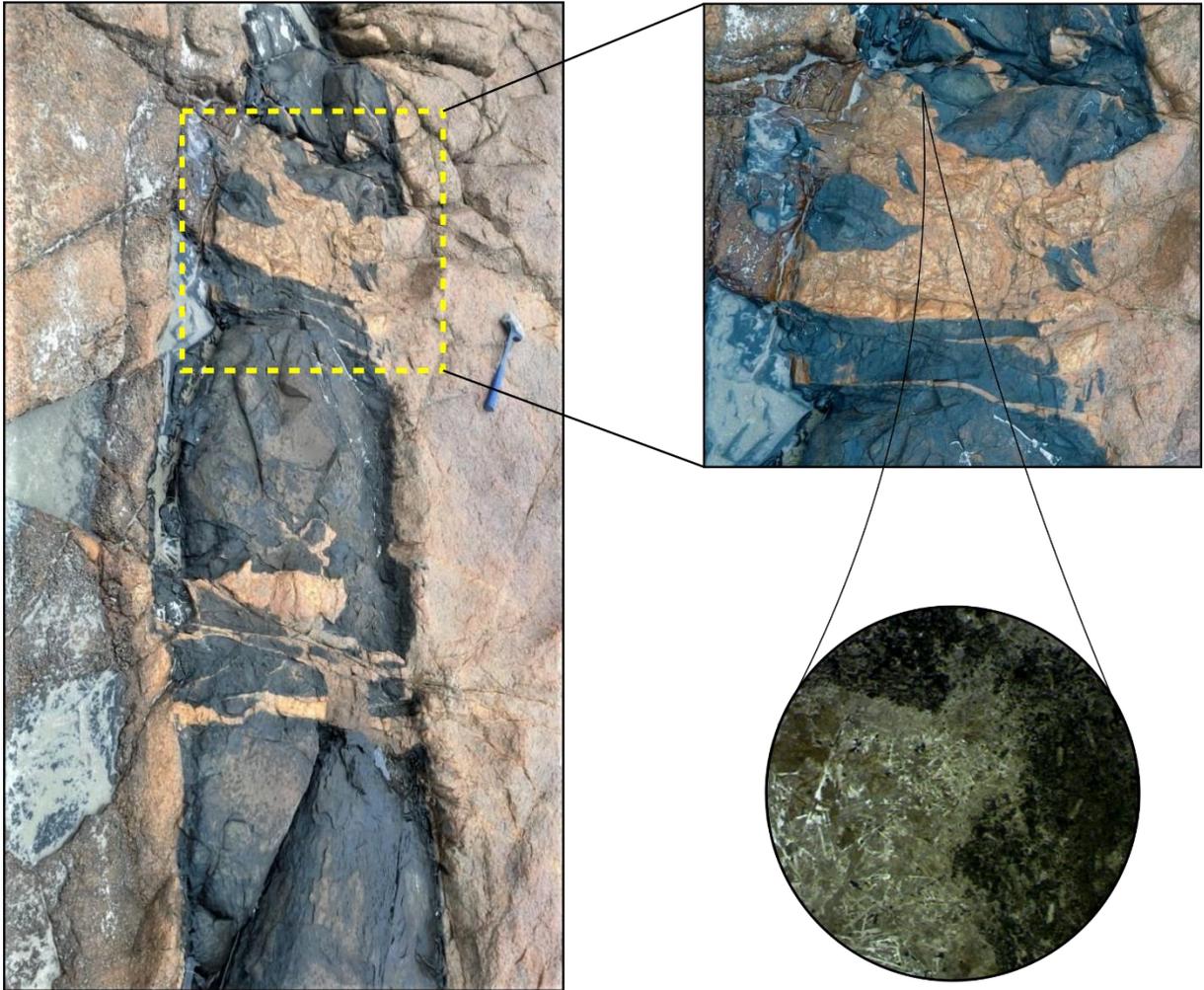


Figura 21 – Vênulas que cortam fragmento do dique básico, com continuidade física com a encaixante granítica. O Detalhe no círculo, da esquerda para a direita, exhibe o contato entre a vênula félsica e o fragmento máfico do dique, e mostra a textura fina a afanítica destas vênulas.

5.1 PETROGRAFIA

Neste item será apresentada a análise petrográfica das rochas ácidas que atestam a ocorrência de fusão identificadas e descritas em mesoescala no item anterior. Foram catalogadas texturas e microestruturas que são interpretadas por Holness *et al.*, (2011); Sawyer, (2008) como evidências de processos de fusão. A descrição manterá a mesma ordem da seção anterior, duas zonas diferentes, divididas em Zona de *melt* remobilizado e não remobilizado, que foram subdivididas em porções, em função das diferentes texturas observadas.

Os critérios de divisão do afloramento por zonas foi baseado na geração de matriz, que oblitera as características texturais originais do Granito Ilha, bem como na proporção entre matriz e cristais reliquiares (m:cts), que é variável entre as zonas e suas diferentes porções. Neste item de petrografia, os mesmos critérios para divisão serão considerados, levando em conta também a morfologia e mineralogia dos cristais reliquiares, a proporção que aparecem em relação a matriz, as relações de contatos com a matriz e demais cristais, e a textura da matriz.

5.1.1 Zona de *Melt* Não Remobilizado

Em algumas porções desta zona, como no contato na margem E do dique, é possível identificar a textura original do GI, mesmo que já ocorra geração de matriz em pequena proporção. Por outro lado, na margem W é observado maior desenvolvimento de matriz, que apaga a identidade textural do Granito Ilha.

A textura inequigranular típica do GI é parcialmente preservada, pois existem algumas modificações, como, ainda que ocorra cristais subédricos, a maioria dos cristais são anédricos. Também há redução do conteúdo de minerais máficos (para cerca de 1%), sendo a biotita (Bt) totalmente transformada para clorita, com pleocroísmo amarelo fraco a verde. Os grãos maiores de quartzo (Qtz) consumidos possuem extinção ondulante, e igualmente aos grãos de k-feldspatos (Kfs), tiveram suas arestas consumidas na fusão, xenomórficos.

Por consequência da reação de fusão os limites desses grãos foram consumidos, são agora reliquiares, apresentam os limites irregulares, formas arredondadas e limites corroídos, como também feições de recristalização (Fig. 22). Os cristais de Qtz reliquiar estão com seus limites embainhados, arredondados, com hábito ameboide. São observados cristais de Qtz que o tamanho varia entre 1 mm à 3 mm. Os cristais de Kfs estão com seus limites corroídos, seu tamanho varia entre 1 mm a 2,5 mm, e aparecem em maior quantidade do que o quartzo. Estima-se uma proporção entre Kfs e Qtz (Kfs:Qtz) de 60:40 para esta porção.

Nos grãos maiores de Qtz é observada textura granoblástica poligonal (Fig. 22b, c), que seria um grão de Qtz reliquiar grande, que a estrutura interna recristalizou em vários quartzos poligonais menores neoformados que permanecem em conjunto no reliquiar. Os Kfs também aparecem recristalizados, como grãos neoformados em conjunto que fazem parte de um cristal grande reliquiar.

Como produto da reação de reabsorção, o material que foi consumido dos grãos gerou um material fundido (*melt*) entre as arestas, que forma a matriz da rocha. No estágio inicial de fusão de um cristal, são formados *melt pockets*, que são as primeiras gotas de *melt*. Essas gotas ficam aprisionadas em ângulos diedros (\hat{a}) entre os grãos de Qtz e Kfs maiores que 60° (Fig. 22a), o que impossibilita a coalescência do *melt* gerado, que assim, não é remobilizado. Com o aumento da intensidade da fusão, as arestas vão sendo corroídas e ou dissolvidas e tendem a desenvolver ângulos diedros menores que 60° , que permite a conexão entre o *melt* gerado, e assim o desenvolvimento de matriz circundante entre esses grãos (Fig. 22b). Filmes de *melt* migram da matriz e preenchem fraturas intragranulares dos grãos reliquiares, como nas figuras 22B e 22C. Embora seja observado alguns cristais reliquiares isolados envoltos pela matriz, muitos estão em contatos entre si.

A matriz gerada é granular, média a fina, composta por intercrescimentos de quartzo e k-feldspato, com textura microgranofírica (Fig. 22c), que geralmente são provenientes de resfriamento rápido. Esta matriz microgranofírica é observada sempre nos ângulos diedros e ao longo dos limites de muitos grãos. Quando no limite dos grãos, a matriz microgranofírica, forma coroas de microgranófiros. (Fig. 22d). Ainda, na matriz desta porção, é observado textura micrográfica (Fig. 22f), também, em limites de grãos. Mesmo com a geração de *melt* com a reabsorção dos grãos, a quantidade de matriz gerada é pouca. A proporção (m:cts) é baixa, cerca de 43,30%:56,7% (Fig. 23), estimada através de quantificação.

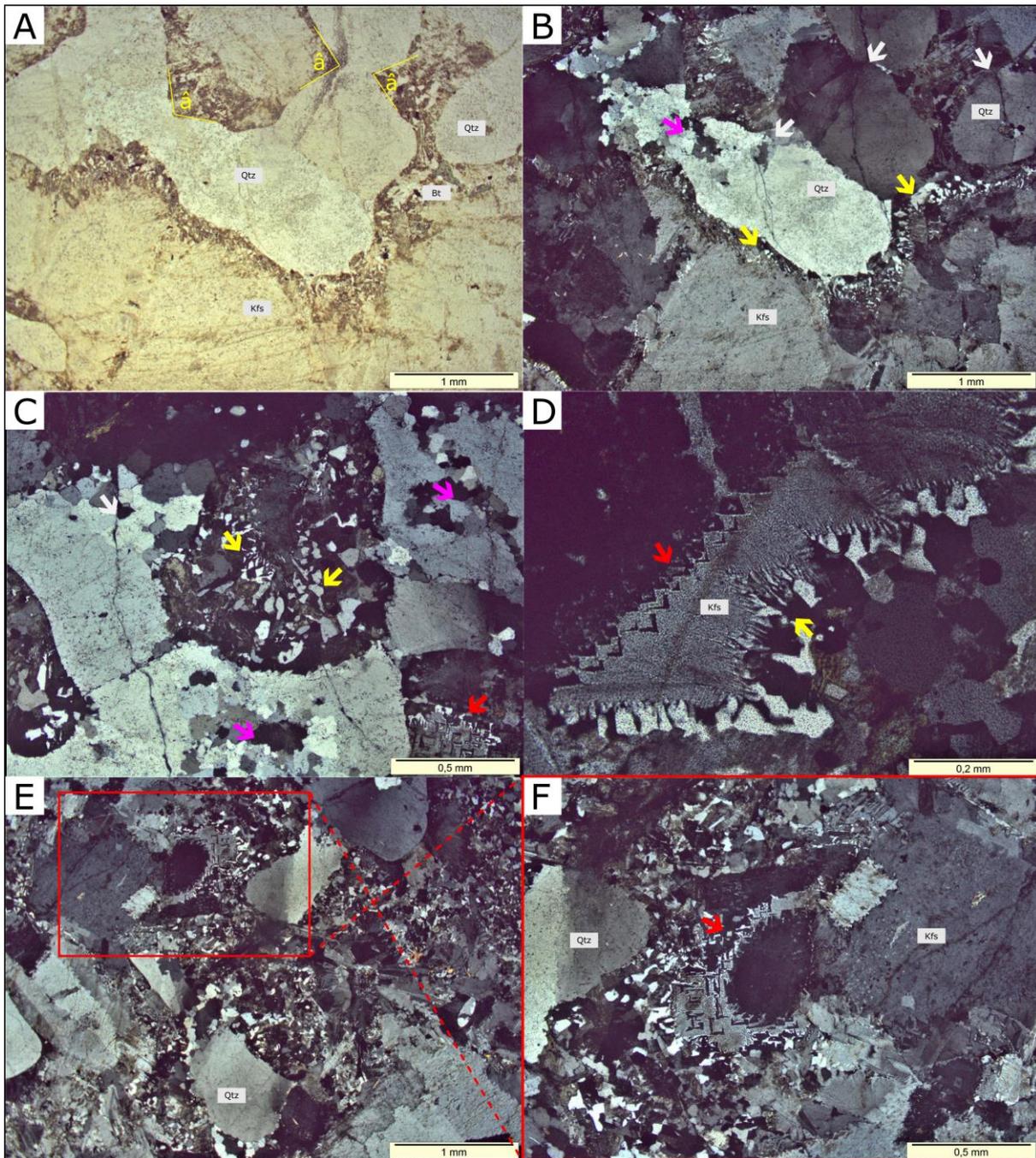


Figura 22 – Fotomicrografias da amostra REF-04U (Granito Ilha em contato direto com o dique básico)
 A) Grãos de quartzo (Qtz), feldspato potássico (Kfs) e biotita (Bt) parcialmente consumido xenomórficos com limites arredondados e corroídos. As linhas em amarelo demonstram os ângulos diedros no Qtz. Fotomicrografia tomada a nicóis descruzados. B) Mesma seção de A, porem com nicóis cruzados. Matriz granofíbrica circundante entre os grãos (seta amarela), e filmes de *melt* que preenchem fraturas intragulares, (seta branca). Grão de Qtz reliquiar com textura granoblastica poligonal (seta rosa). C) Matriz granofíbrica no limite dos grãos (setas amarelas), filmes de *melt* que preenchem fraturas intragulares (setas brancas), e textura micrográfica (seta vermelha). Grão de Qtz reliquiar com textura granoblastica poligonal (seta rosa). D) Grão de feldspato potássico (Kfs) com diferentes limites, sendo o da esquerda textura micrográfica (seta vermelha) e da direita textura granofíbrica (ou coronítica) (seta amarela). E) Seção com cristais reliquiores, arredondados, corroídos, circundados por matriz granofíbrica média a fina. F) detalhe para a textura micrográfica (seta vermelha) no limite do grão da seção (E). Fotomicrografia de B à F tomadas a nicóis cruzados.

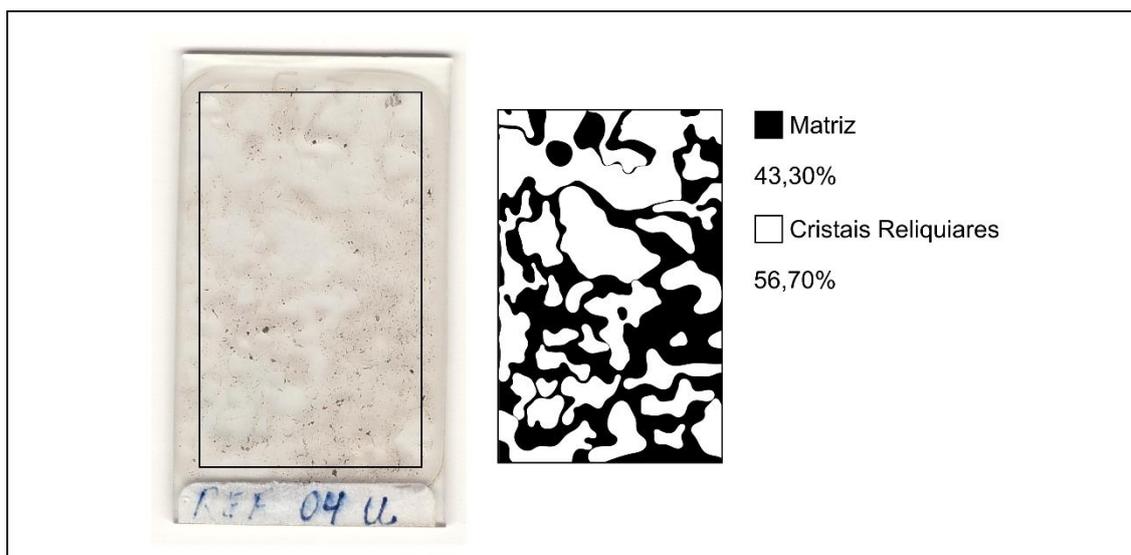


Figura 23 – Estimativa da proporção entre matriz e cristais reliquiaries (m:cts) da amostra REF-04U do Granito Ilha em contato com a margem E do dique. Fotografia da lâmina delgada e imagem P&B, vetorizada na área amostral marcada na lamina, para cálculo de proporções de preto e branco na imagem P&B.

A porção do Granito Ilha, na margem W do dique, destaca-se de outras regiões da encaixante por conter mudanças texturais mais destacadas que outras porções da rocha encaixante, mas ainda não a ponto de coalescer e migrar.

Nesta porção, são vistas as mesmas feições que atestam fusão citadas e descritas anteriormente. Porém, apresenta mudanças mais intensas nas características texturais e microestruturais originais do GI. Não há cristais euédricos ou subédricos, a textura é alotriomórfica, todos os cristais reliquiaries estão arredondados, embainhados, corroídos, com o material da matriz invadindo os interstícios destes cristais (Fig. 24b, d). Os minerais maficos, seja biotita ou biotita total ou parcialmente transformada para clorita, não são mais observados.

A proporção (Kfs:Qtz) entre os cristais reliquiaries é de 50:50. Os tamanhos dos cristais reliquiaries nesta porção variam. São observados Qtz de 1 mm até cristais de 4 mm, tendo uma média de tamanho de 2 mm para o Qtz. Os cristais de Kfs variam entre 2 mm à 2,5 mm, sendo também, observados cristais maiores de até 4 mm.

As arestas corroídas e consumidas dos Qtz, característica de processos de fusão, estão mais nítidas e vistas em maior quantidade com relação a porção anteriormente descrita. (Fig. 24a, c). A textura granoblástica poligonal, produto de recristalização de um cristal reliquiar grande em cristais menores neoformados que permanecem em conjunto, é vista em cristais de Qtz (Fig. 24b). Circundando os cristais reliquiaries, menos comum que anteriormente, há ocorrência de textura coronítica (Fig. 24e), com granófiros nas coroas. Embora haja aglomerados de cristais em contatos entre si, a maioria dos reliquiaries estão isolados, imersos

na ampla ocorrência de matriz desta porção. Estes cristais estão com seus limites rompidos por material desta matriz, que migra para dentro deles (Fig. 24b, c).

A proporção (m:cts) nesta porção do GI encaixante é a maior de toda a zona de *melt* não remobilizado, sendo 61,40%:38,6% (Fig. 25). Aqui, a matriz é fina, formada por um número menor de microgranófiros, cristalização simultânea do Qtz e Kfs que foram consumidos, vistos em maior quantidade em relação à outra porção anteriormente descrita. Nesta porção, diferente do item anterior, há ocorrência de uma série de cristais isolados fibrorradiados de quartzo compondo a matriz, que constituem esferulitos (Fig. 24a, c).

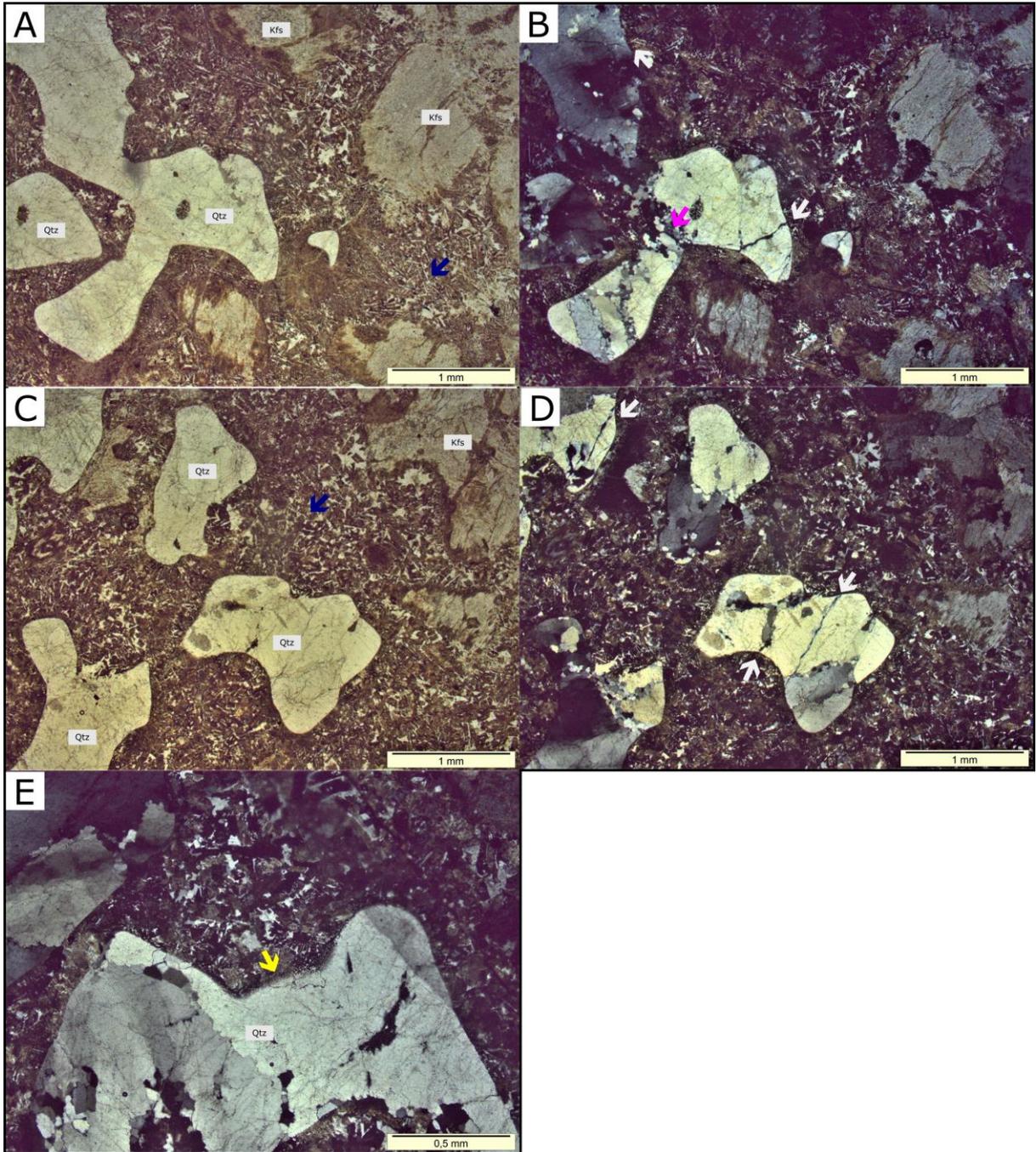


Figura 24 – Fotomicrografia das amostras REF-04J e REF-04A do Granito Ilha encaixante com efeito maior de fusão (rico em matriz). Amostra REF-04J: A) cristais reliquiários isolados, sem contatos entre si, de quartzo e feldspato potássico anédricos. Envolto por matriz granular fina com ampla ocorrência de quartzo fibrorradiado (seta azul). B) mesma seção de A, com NC para visualizar a ampla ocorrência de filmes de *melt* no interior dos cristais (setas brancas). Textura granoblástica poligonal (seta rosa). Amostra REF-04A: C) grãos de quartzo e k-feldspatos com vários pontos de reabsorção ao longo dos limites dos grãos. Os limites do quartzo consumido são interlobado, habito ameboide, enquanto os limites do feldspato potássico corroído. A matriz é por ora globular, mas apresenta crescimento de quartzo fibrorradiado. D) Mesma seção de A, a nicóis cruzados para visualizar os cristais reliquiários com limites rompidos por material da matriz, que migra para dentro deles. E) Cristal reliquiário de quartzo com coroa de granófiros em sua aresta. Fotomicrografia A e C tomadas a nicóis descruzados.

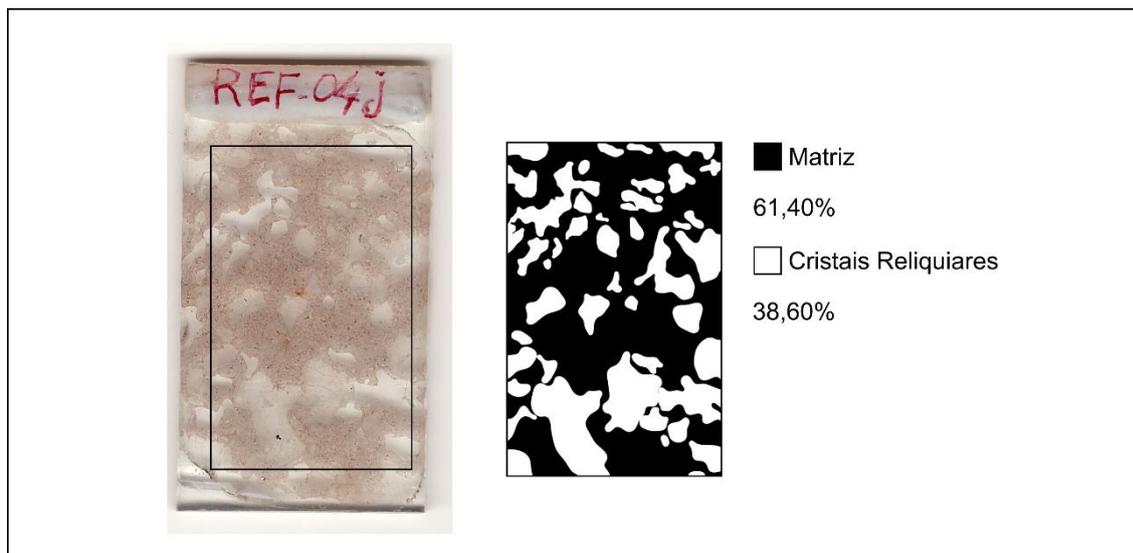


Figura 25 - Estimativa da proporção entre matriz e cristais reliquiaries (m:cts) da amostra REF-04J do Granito Ilha em contato com a margem W do dique. Fotografia da lamina delgada e imagem P&B, vetorizada na área amostral marcada na lamina, para cálculo de proporções de preto e branco na imagem P&B.

5.1.2 Zona de *melt* Remobilizado

Neste item são descritas as texturas das diferentes evidências de que o *melt* gerado coalesceu e migrou. O aumento de fusão nesta zona está sendo indicado pela redução do tamanho dos cristais reliquiaries e o aumento da quantidade de matriz.

5.1.2.1 Brecha e Corpo Lenticular Ácido

A similaridade mineralógica e textural entre a matriz da brecha de mistura e o corpo lenticular ácido se dá em todos os critérios analisados. São amostras visivelmente parecidas com as REF-04J e REAF-04A, da porção do GI rico em matriz (Fig. 24). Como na porção anterior, nesta não há cristais subédricos, são xenomórficos, minerais máficos não são observados e a proporção (m:cts) é grande. O que diferencia estas amostras, das do item anterior, é a quantidade de cristais reliquiaries e o tamanho deles, que na porção granítica são maiores. Também, a relação de contato entre os cristais reliquiaries e a proporção Kfs:Qtz é diferenciada.

A matriz da brecha, que envolve enclaves e xenolitos máficos, apresenta textura porfirítica (Fig. 26a). Destacam-se cristais reliquiaries xenomórficos de Qtz e Kfs (Fig. 26b), com tamanhos menores do que os reliquiaries na zona de *melt* não remobilizado. Os cristais de

Qtz são observados com tamanho, em média, de 1,5 mm e mais raramente são observados cristais com até 4 mm. Os reliquias de Kfs possuem tamanho maior, que variam entre 2 mm à 3 mm. O material ácido, composto apenas do puro *melt* da fusão do GI, que compõem a matriz da brecha, apresentam as mesmas características para os cristais reliquias. A proporção Kfs:Qtz que é variável, ao longo da brecha e do corpo lenticular ácido, varia de 30:70 à 40:60, sendo, ligeiramente menor que a porção anterior na zona de *melt* não remobilizado.

As microestruturas que atestam a fusão nos cristais de Qtz, como suas arestas consumidas e com hábito ameboide, são mais evidentes nos cristais reliquias desta porção. Os cristais xenomorficos de Kfs aparecem com coroas de vidro (Fig. 26b). Ambos os cristais reliquias apresentam recristalização interna, que seria o conjunto de vários cristais menores neoformados que permanecem em conjunto no grão reliquiar maior. Ambos, estão com os seus limites rompidos por material da matriz, filmes de vidro (ou filmes de *melt*) que rompem o cristal e migram para dentro deles (Fig. 26d).

Nesta porção, os cristais reliquias estão invadidos por material da matriz na forma de *string of beds* (Fig. 26e), que são pequenos cristais arredondados organizados como um "colar de contas" com pequenos cristais neoformados ao longo dos novos limites dos grãos dos cristais reliquias recristalizados, sendo esta uma marca de remobilização de *melt*. Este fenômeno acontece quando o resfriamento do fundido é lento, possibilitando o crescimento individual e nucleação de grãos nos filmes de *melt*.

As matrizes de ambas as porções são semelhantes, composta por microgranófiros, esferulitos e vidro vulcânico, que preenchem ângulos diedros (Fig. 26f). A Proporção (m:cts) é grande, e ligeiramente maior quando comparada com a proporção no GI rico em matriz, sendo, 67,70%:32,3% (Fig. 27).

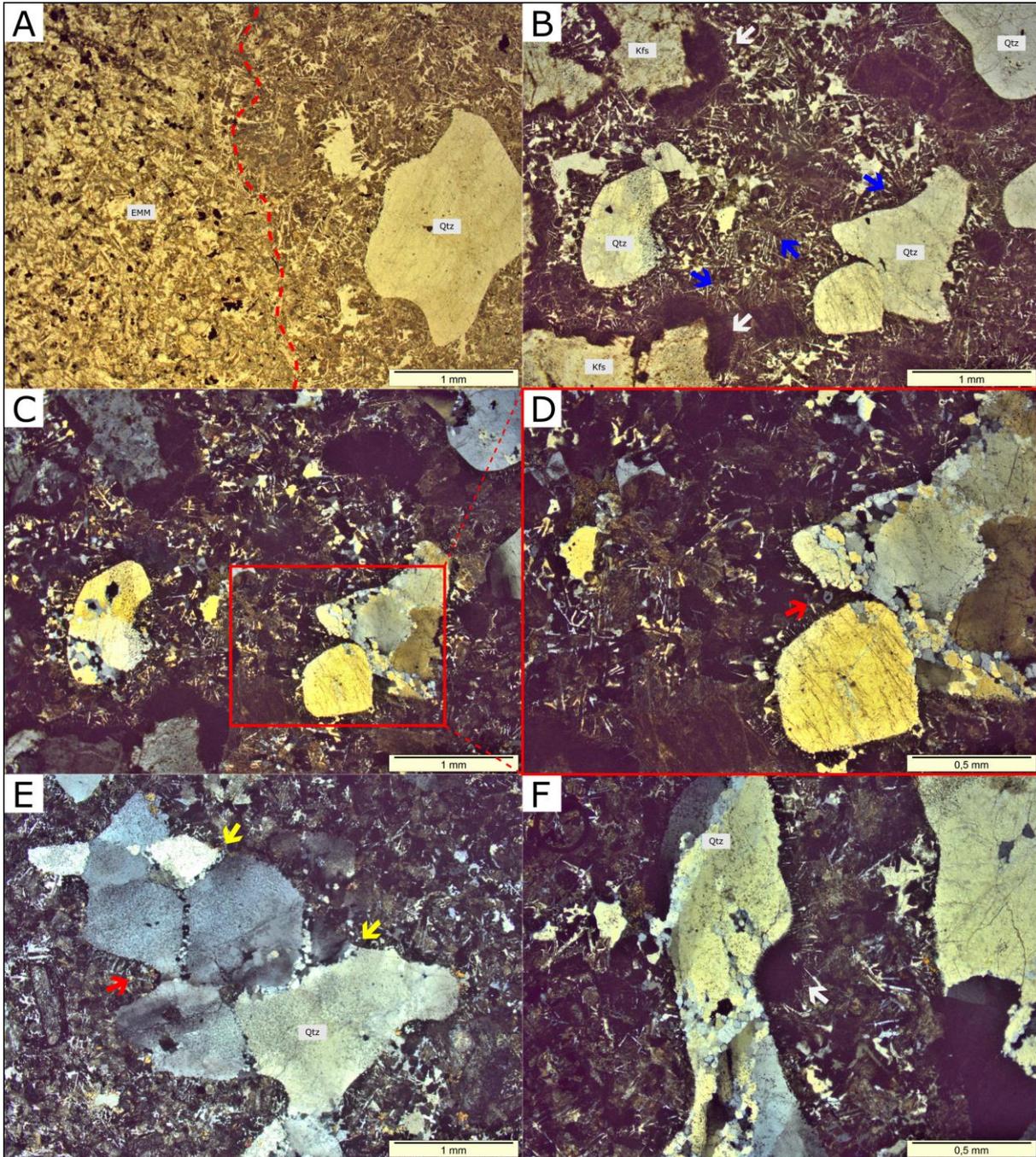


Figura 26 – Fotomicrografias das amostras REF-04K, REF-04H1, REF-04G das duas porções do corpo ácido sigmoide. **Brecha** - Amostra REF-04K: A) Contato entre matriz ácida porfirítica da brecha (direita) com um enclave máfico (esquerda). Amostra REF-04H1: B) cristais reliquiais xenomórficos isolados, de quartzo e feldspato potássico, com filmes vidro em volta dos cristais (setas brancas). Envolto por ampla matriz com ocorrência de esferulitos (setas azuis). C) mesma seção de B, com NC. C) Detalhe de migração de *melt* para ângulo diedro, filme de vidro rompendo o cristal de quartzo, formando uma típica feição de *melt* recrystalizado chamada de terminação em cúspide (seta vermelha). **Corpo Lenticular Ácido** – Amostra REF-04G: E) Grão reliquiar de quartzo com terminações em cúspide no *melt* recrystalizado em contato com o cristal reabsorvido (seta vermelha). Matriz fina composta de granófiros e esferulitos, com material desta migrando para dentro do reliquiar na forma de *string of beds* (seta amarela). F) Cora de vidro vulcânico preenchendo ângulo diedro (seta branca) de um cristal de quartzo consumido. Matriz fina rica em vidro e esferulitos. Fotomicrografias A e B tiradas a ND.

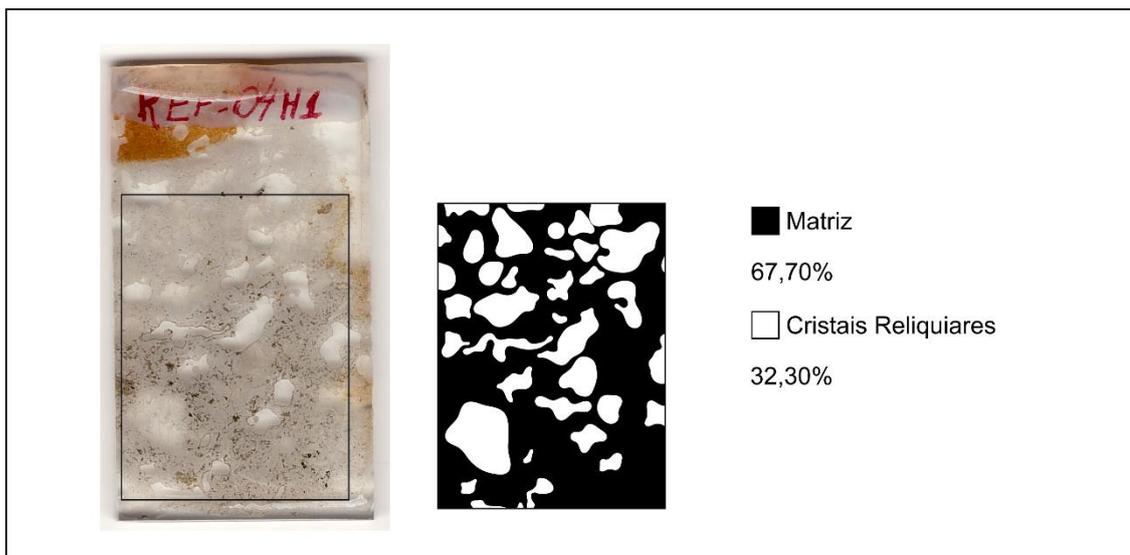


Figura 27 - Estimativa da proporção entre matriz e cristais reliquiaries (m:cts) da amostra REF-H1 da zona de brecha no grande corpo riolítico. Fotografia da lamina delgada e imagem P&B, vetorizada na área amostral marcada na lamina, para cálculo de proporções de preto e branco na imagem P&B.

5.1.2.2 Bolsão, veios e vênulas

Entre as apófises, veios e vênulas de composição ácida, que intrudem o dique básico e possuem ligação com a encaixante, as últimas representam as porções da zona de *melt* remobilizado que mais apresentam diferenças texturais e microestruturais quando comparadas à matriz da brecha e o material que preenche o corpo lenticular ácido. As vênulas são compostas por puro *melt*, apenas do material que coaleceu e migrou, com ocorrência limitada de cristais reliquiaries muito diminutos. São compostas por um material de textura esferulítica e vítrea, com rara ocorrência de cristais consumidos de Qtz e Kfs, que medem cerca de 1 mm à 2 mm para os Qtz e 2 mm para o Kfs, quando observado. A carga de cristais maiores é menor, quase nula, e são observados Qtz na maioria, sendo a proporção Kfs:Qtz igual à 10:90 (Fig. 28)

A proporção (m:cts) é a maior de toda a porção de *melt* remobilizado, sendo 96,70%:3,30% (Fig. 29).

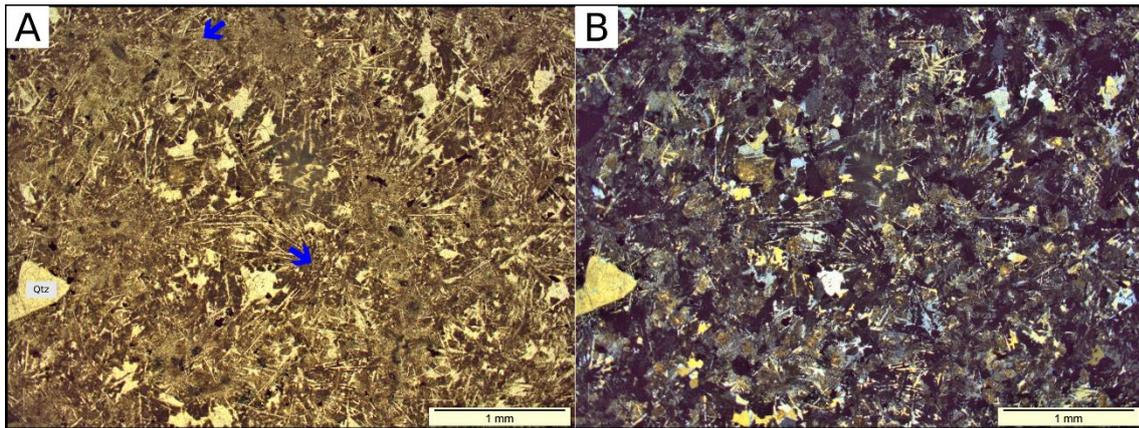


Figura 28 - Fotomicrografias da amostra REF-04X. A) Textura equigranular fina, rica em quartzo fibrorradiados organizados como esferulitos (setas azul). Com rara ocorrência de cristais reliquiares. B) mesma seção de A à NC



Figura 29 - Estimativa da proporção entre matriz e cristais reliquiares (m:cts) da amostra REF-X das vênulas que entremem o dique básico. Fotografia da lamina delgada e imagem P&B, vetorizada na área amostral marcada na lamina, para cálculo de proporções de preto e branco na imagem P&B.

5.2 GEOQUÍMICA

As análises geoquímicas foram realizadas em 08 amostras de rochas ácidas da Praia da Pinheira - SC, selecionadas em diferentes porções nas zonas descritas anteriormente. As amostras foram coletadas da Ponta da Andorinha, local de estudo deste trabalho, em exceção as amostras REF-01F e REF-05D do Granito Ilha sem efeitos de fusão local, coletadas em pontos próximos da Ponta da Andorinha, ainda na região da Praia da Pinheira. Os resultados analíticos para elementos maiores e alguns traços estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados analíticos para elementos maiores e traços das rochas ácidas da Praia da Pinheira – SC. Óxidos em peso % e elementos traços em ppm.

	CENTRO ÁCIDO		BOLSÃO, VEIOS E VÊNULAS			GRANITO ILHA		
	REF-04B*	REF-04K**	REF-04R	REF-04X	REF-04Y	REF-01F	REF-04U	REF-05D
SiO ₂	75,85	65,57	72,57	74,52	75,02	75,02	75,22	75,14
Al ₂ O ₃	12,12	12,10	12,52	12,36	11,90	12,35	12,34	11,75
FeOt	1,99	7,61	3,15	1,63	1,66	1,51	1,995	1,49
MnO	0,028	0,124	0,051	0,013	0,012	0,02	0,047	0,02
MgO	0,12	1,31	0,31	0,16	0,16	0,02	0,075	0,06
CaO	0,65	2,58	1,21	0,89	0,90	1,27	0,845	1,26
Na ₂ O	3,89	3,74	3,94	4,06	3,72	3,90	3,57	3,67
K ₂ O	4,16	3,33	4,41	4,67	4,78	4,70	4,815	4,57
TiO ₂	0,167	1,030	0,427	0,142	0,131	0,08	0,118	0,111
P ₂ O ₅	0,027	0,489	0,107	0,007	0,008	0,01	0,014	0,014
L.O.I.	0,54	0,82	0,32	0,91	0,87	0,70	0,49	0,86
Total	99,54	98,70	99,015	99,362	99,16	99,58	99,529	98,945
Ba	159	478	201,8	74,3	102	84,70	187,8	124,7
Rb	288	193	305,1	432,3	436	451,10	395,7	347,7
Sr	80	216	124,3	35,1	44	39,4	37,1	42,2
Zr	192	316	232,7			234,70	234,70	268,9

* REF-04B - amostra coletada na porção central do corpo lenticular ácido sem EMM.

** REF-04K - amostra coletada na matriz da brecha que contém os EMM.

De acordo com o diagrama TAS (Le Bas et al 1986) tanto o Granito Ilha quanto as rochas geradas pela fusão do mesmo se situam no campo das rochas ácidas subalcalinas, sendo classificadas como Riolitos de alta sílica ($\text{SiO}_2 > 75$), exceto a amostra REF-0K, da porção da brecha de mistura magmática, que é classificada como um Dacito (Fig. 30).

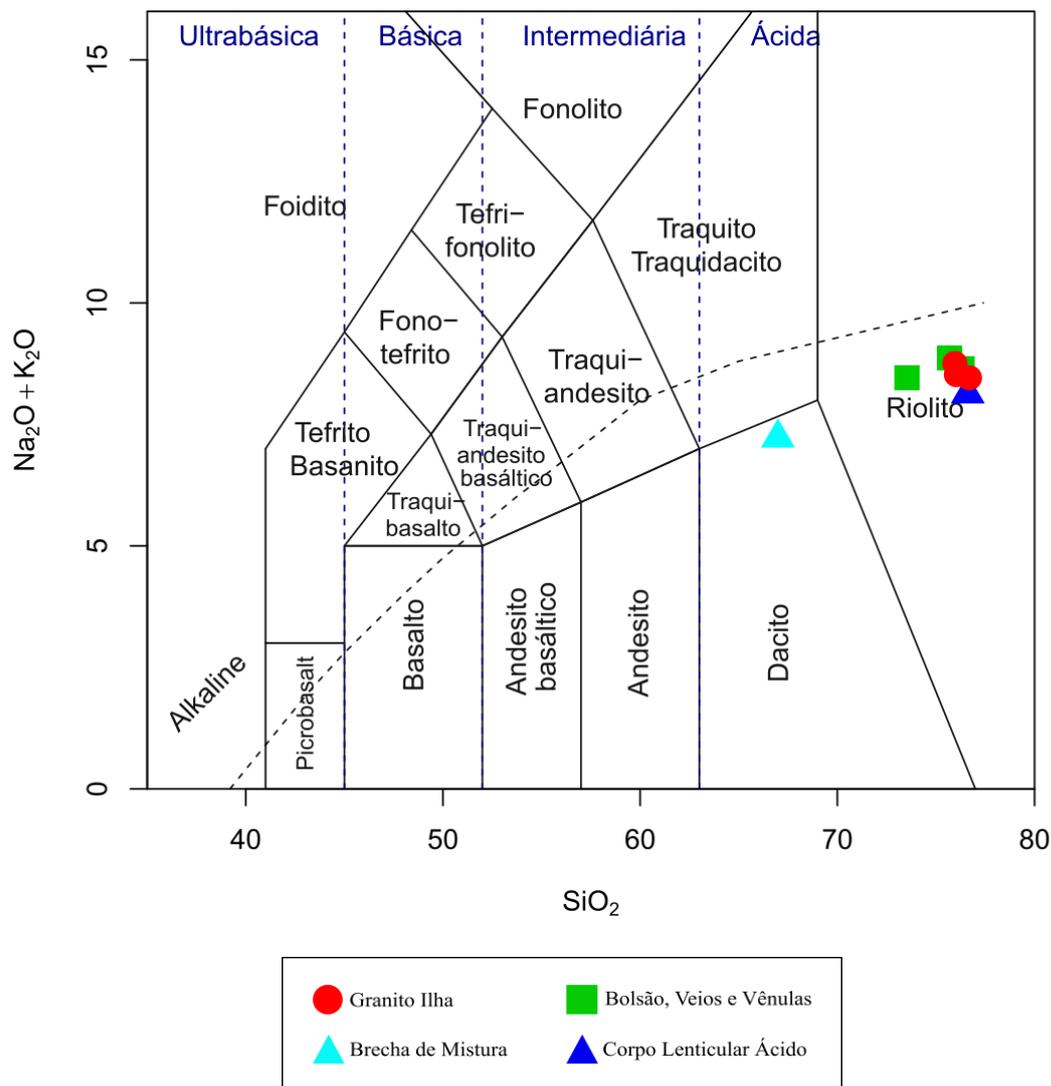


Figura 30 - Diagrama TAS (Le Bas et al 1986) com todas as rochas ácidas analisadas no campo das rochas ácidas subalcalinas e de alta sílica, classificadas como Dacito e Riolutos.

O caráter não toleítico da maioria das amostras estudadas é evidenciado no diagrama triangular AFM (Na₂O+K₂O) vs FeOt vs MgO) de Irvine e Baragar, (1971), conforme ilustrado na Figura 31. A amostra que está no campo das rochas da série toleítica é justamente a da brecha de mistura magmática

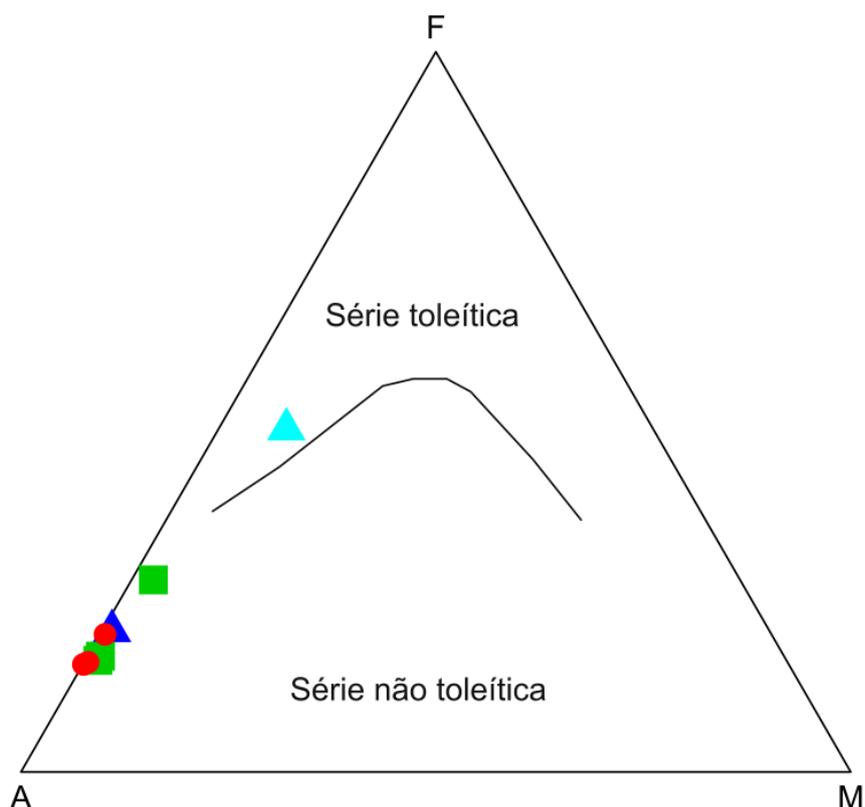


Figura 31 - Diagrama AFM (Irvine e Baragar, 1971) ilustrando o caráter toleítico da amostra da brecha de mistura e o caráter não toleítico das demais amostras. Símbolos como na figura 30.

De acordo com o diagrama de Shand (1943), que mostra a classificação das rochas conforme o índice de saturação em alumínio, todas as amostras, tanto o protólito, o Granito Ilha, quanto as rochas geradas a partir da fusão do mesmo, são metaluminosas, com valores de A/CNK que variam entre 0,8 a 1,0. (Fig. 32) A amostra REF-04B, do corpo lenticular ácido, é a que mais se aproxima do campo das rochas peraluminosas, com A/CNK igual a 1,0. A amostra que apresenta o menor valor de A/CNK, é a brecha. A amostra do Granito Ilha que mais se aproxima do campo das rochas peraluminosas é exatamente a REF-04U, coletada na Ponta da Andorinha, que sofreu fusão local com a intrusão do dique básico.

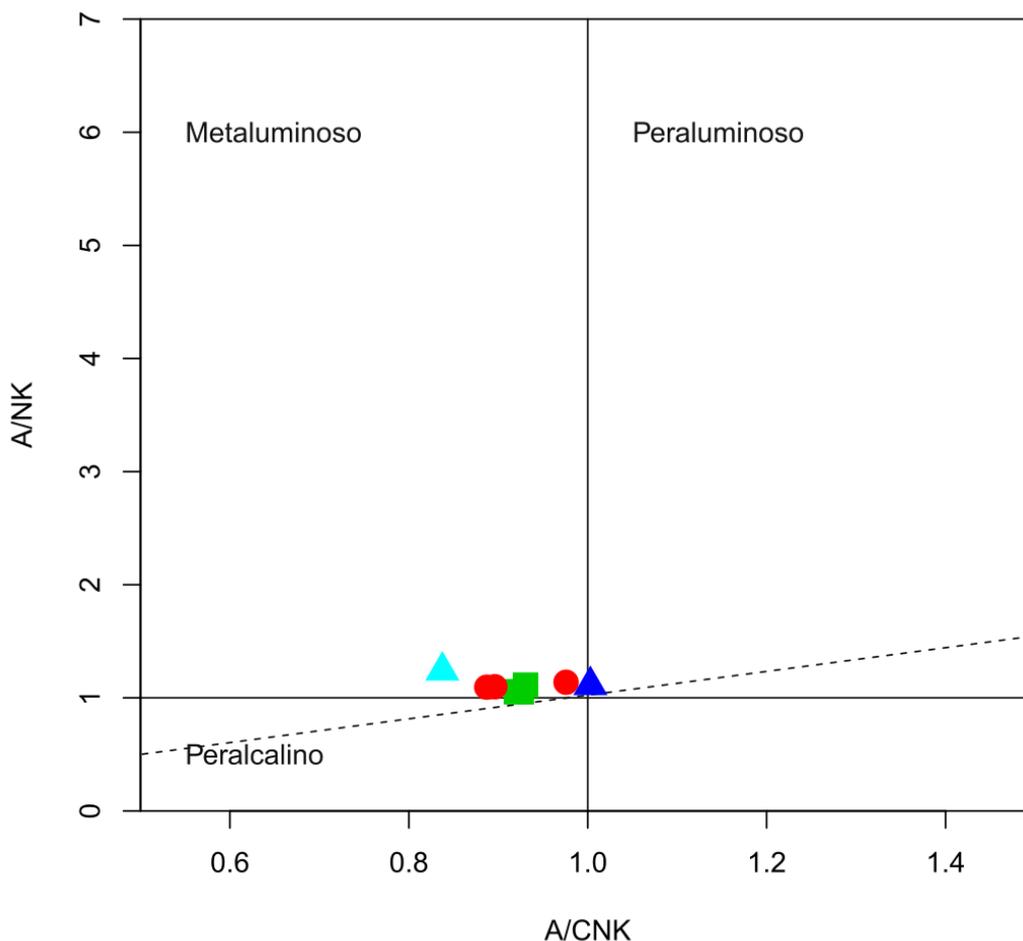


Figura 32 - Diagrama de Shand (1943), $A/CNK(Al_2O_3/CaO+Na_2O+K_2O)$ vs $A/NK(Al_2O_3/Na_2O+K_2O)$ mostrando o caráter metaluminoso do protólito GI, tanto quanto as rochas geradas a partir da fusão do mesmo. Símbolos como na figura 30.

Conforme os diagramas de Harker (Fig. 33), com SiO_2 como índice de diferenciação, é verificado que a os elementos maiores das rochas félsicas ácidas tem assinatura geoquímica bastante similar ao seu protólito (GI), com exceção a amostra da matriz félsica da brecha de mistura magmática que tem assinatura geoquímica de uma rocha menos diferenciada (Fig. 33). O grupo das rochas félsicas ácidas e o GI são rochas alta SiO_2 com alto conteúdo de álcalis ($K_2O+Na_2O = 8,05$ a $8,73$ peso%), e baixos conteúdos de $FeOt$, MgO , CaO , TiO_2 e P_2O_5 . Os teores de Al_2O_3 e Na_2O são amplamente dispersos.

Os valores dos óxidos $FeOt$, MgO , CaO , TiO_2 e P_2O_5 são muito mais elevados na amostra da matriz félsica da brecha de mistura magmática. Nesta amostra, embora os conteúdos de K_2O e Na_2O sejam menores com relação as demais amostras, ainda são valores altos, resultando em um teor de álcalis de $7,07$ peso%. A amostra da porção central do corpo lenticular ácido se situa junto com todas as amostras de *melt*

remobilizado e do Granito Ilha, com ou sem efeito de fusão. Do contrário, a amostra da matriz félsica da brecha de mistura tem um comportamento geoquímico oposto, sendo muito menos diferenciada e não se situando no conjunto de dados das demais rochas félsicas ácidas.

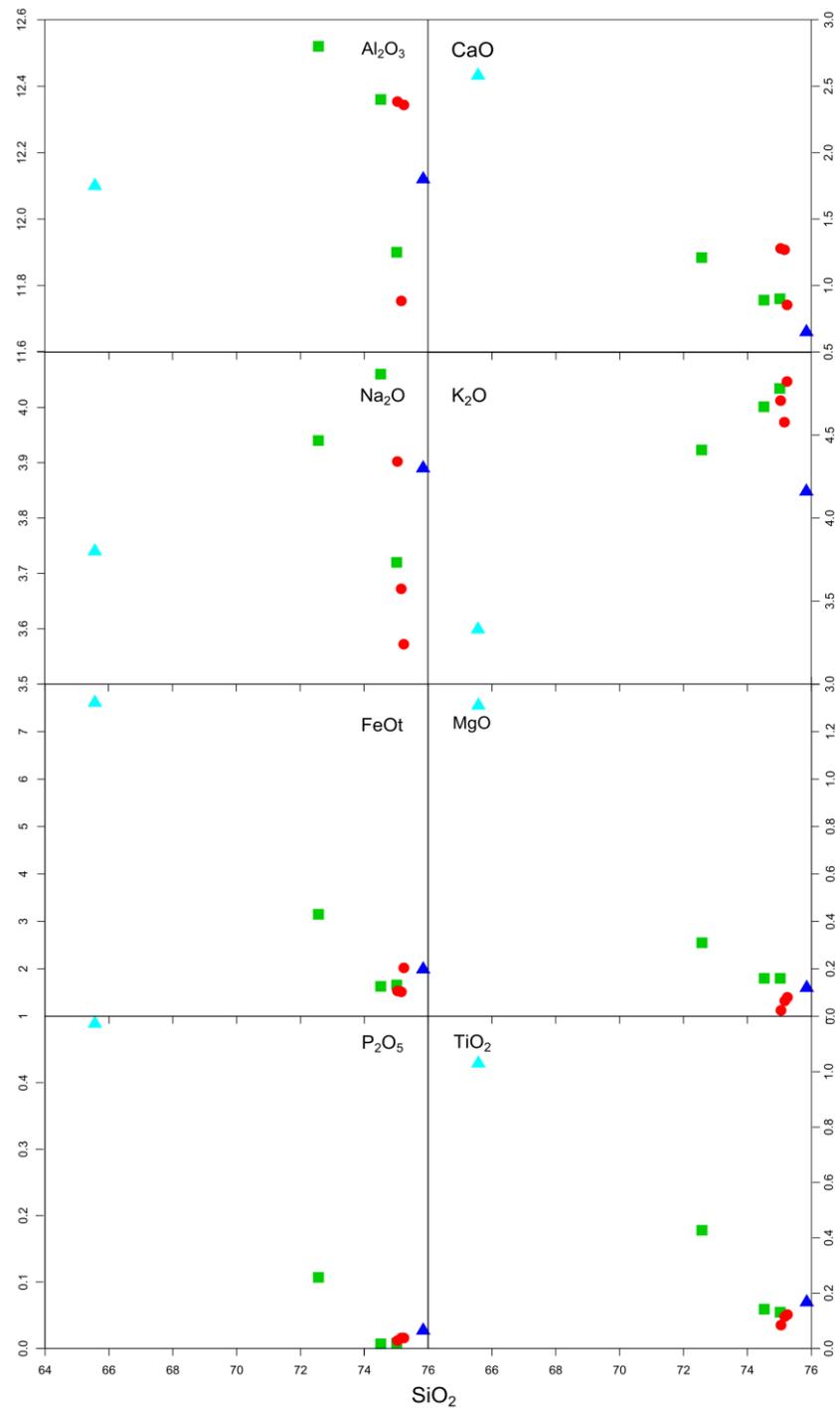


Figura 33 - Diagramas de Harker para elementos maiores com SiO₂ como índice de diferenciação. Símbolos como na figura 30.

Para os diagramas de Harker dos elementos traços (Fig. 34) se observa um padrão similar ao observado para os elementos maiores. Novamente, as rochas félsicas ácidas e o GI, formam um conjunto consistente, com altos valores de Rb (288-450ppm) e Zr (>200ppm), baixos de Sr (37-80 pm) e de Ba (74-200 ppm). Os valores de Zr e de Rb são os que apresentam as maiores dispersões para este conjunto. A amostra da matriz félsica da brecha de mistura não se aglutina com as demais rochas félsicas estudadas e tem maiores conteúdos de Ba, Zr e Sr e os menores de Rb, quando comparada com as demais amostras estudadas.

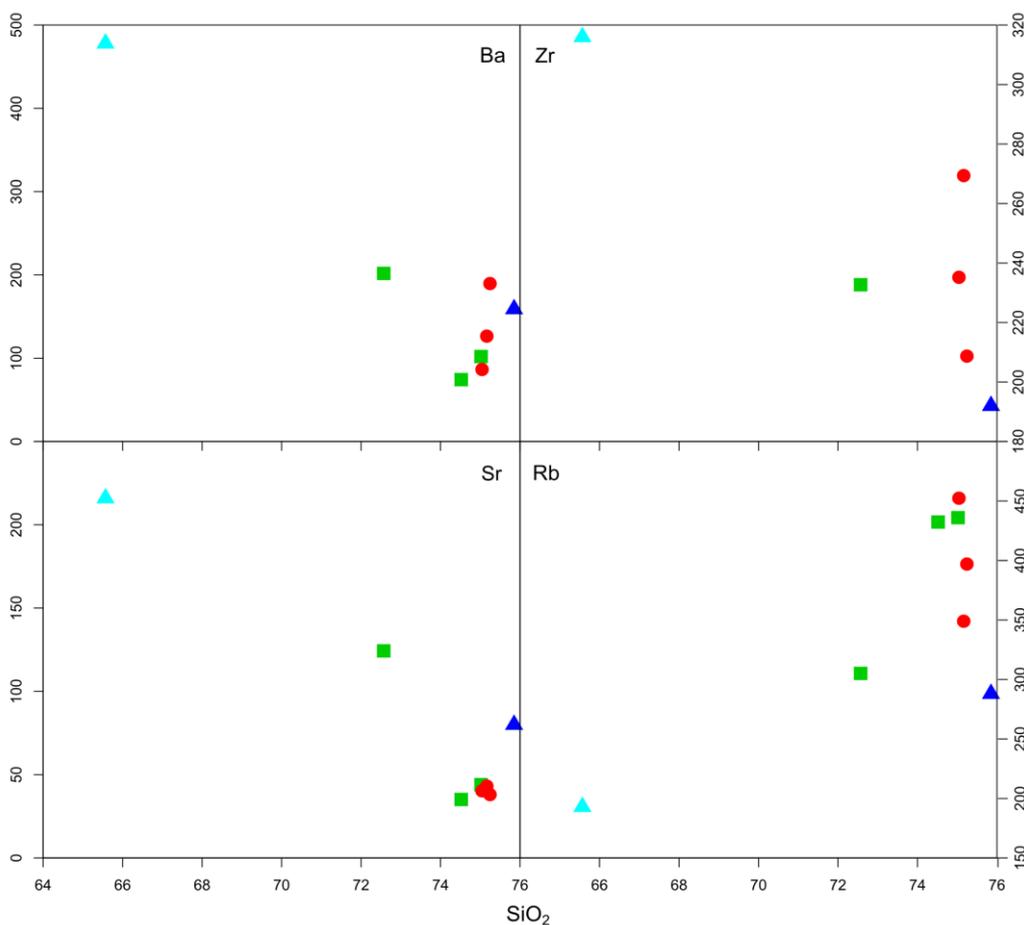


Figura 34 - Diagramas de Harker para elementos menores com SiO₂ como índice de diferenciação. Símbolos como na figura 30.

6 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Os dados de campo e petrográficos sugerem que o corpo ácido, a matriz félsica da brecha, bem como os veios e vênulas, são geradas por fusão parcial da encaixante neoproterozoica, por consequência da entrada do dique EoCretáceo. O trabalho em escala de detalhe permitiu a individualização de diferentes zonas de geração de *melt*, compartimentadas a partir da proporção de material fundido presente e se o mesmo está ou remobilizado.

A zona de *melt* não remobilizado compreende todo o Granito Ilha encaixante, onde *melt* foi gerado, mas não a ponto de coalescer e migrar. O GI, que é tipicamente inequigranular, com ocorrência de máficos na ordem de 7% (Bitencourt *et al.*, 2008; Bernardes, 2017), na Ponta da Andorinha apresenta textura microporfirítica, no qual cristais maiores de Kfs e Qts estão envoltos por matriz fina, o que não é comum para este granito. As mudanças texturais laterais, que apresentam maior intensidade conforme a proximidade do contato com o dique básico, apontam a ocorrência de uma auréola termal que desencadeia a fusão no Granito Ilha encaixante. Fenômeno já relatado anteriormente por Florisbal *et al.* (2017), Bernardes (2017) e Pereira (2017) em rochas da região.

Na zona de *melt* remobilizado predominam os contatos, difusos e interdigitados, que atestam mistura heterogênea de magma (magma *mingling*). Esta zona abrange o corpo lenticular ácido e a matriz félsica da brecha de mistura, ambos com contatos difusos, além de veio e vênulas, intrusivos no dique básico, todos interpretados como produto da fusão parcial da encaixante que migrou e formou estes corpos individualizados. A textura das rochas desta zona, é bastante heterogênea, em geral é uma rocha de matriz fina, rica em granofiros e esferulitos com cristais reliquiares da fusão de quartzo e feldspatos do GI encaixante, o que por vezes dá uma impressão de textura porfirítica em mesoescala, ora similar a riolitos ora ainda lembrando a textura da rocha encaixante, mas mais rica em matriz.

Na petrografia se observa que existem variações de proporção de matriz e cristais reliquiares (m:cts) que confirma as zonas definidas em campo e explica a heterogeneidade textural encontrada nas diferentes zonas de fusão. O aumento da (m:cts) é proporcional a intensidade de fusão sofrida, sendo a menor (m:cts) na zona de *melt* não remobilizado. Nesta zona são observados ângulos diedros entre os grãos reliquiares maiores que 60°, o que de acordo com Holness *et al.* (2011) é indicio do início de fusão parcial. Outro indicio de fusão desta zona, são os limites dos grãos reliquiares, que são irregulares, apresentam formas arredondadas, corroídas e ameboides (Sawyer, 2008).

A matriz que circunda os cristais nesta zona, em que a proporção é igual a 43,30%:56,7%, é granular. Constituída do intercrescimento entre o quartzo e k-feldspatos, conhecidas como textura micrográfica e granofírica, consideradas por Bouloton *et al.*(1995); Vernon (2004); e Holness *et al.*,(2011) como bons indicadores de fusão parcial e/ou resfriamento rápido.

De acordo com Holness *et al.* (2011), com altas taxas de fusão a proporção matriz:cristais reliquiares é exponencialmente maior, e os cristais reliquiares tornam-se mais corroídos. Estas características são observadas na zona de *melt* remobilizado, onde o tamanho dos cristais reliquiares é reduzido, estão mais consumidos e ameboides, e a quantidade volumétrica de matriz é maior, quando comparada com a zona de *melt* não remobilizado.

Na matriz que circunda os cristais reliquiares nas rochas da zona de *melt* remobilizado, há uma ampla ocorrência de esferulitos, que de acordo com Gill (2014) podem ser formados pelo rápido resfriamento magmático.

Assim, as texturas e microestruturas descritas nas rochas félsicas do presente trabalho, são interpretadas como produtos de processos fusão parcial da encaixante e resfriamento rápido em condições rasas na crosta. Os dados geoquímicos mostram que as rochas félsicas podem ser classificadas como riolitos com alto conteúdo de SiO₂ e álcalis, constituindo um conjunto de comportamento geoquímico coerente para elementos maiores e para os traços Ba, Sr, Rb e Sr. Exceção a este grupo é representado pela amostra da matriz félsica da brecha de mistura que contém EMM. Esta rocha destoa do conjunto principal, com conteúdos menores de SiO₂, mas ainda elevados de álcalis, sendo classificada como um dacito.

Quando consideramos a assinatura geoquímica do conjunto das rochas félsicas ácidas estudadas, se pode observar uma correlação entre as rochas gerada por fusão e o protólito, representado pelo Granito Ilha. Contudo, algumas das rochas geradas pela fusão parcial do GI encaixante tem conteúdos de SiO₂ inferiores ao GI, o que não é o padrão esperado em produtos de fusão, que via de regra gera produtos mais ácidos que seus protólitos. Isso pode ser produto da fusão parcial incongruente do GI encaixante, que pode reter fases como o quartzo nos cristais reliquiares como indicado pela petrografia, ou ainda ser resultado de pequenas adições de magma básico em processos de mistura durante a fusão. Os dois processos são viáveis, mas a confirmação de um ou outro como o processo gerador da assinatura geoquímica das rochas geradas na fusão demanda trabalhos de quantificação detalhada e modelamento geoquímico, que não são objetivos deste trabalho.

Por outro lado, a amostra da matriz félsica da brecha de mistura, não se aglutina com as demais amostras nos diagramas geoquímicos e possui teores mais elevados FeO^t, MgO, CaO,

TiO₂ e P₂O₅, além de Ba e Sr e baixos teores de Rb. Estas características geoquímicas sugerem adição de magma básico na geração destas rochas, o que também é sugerido pela presença do enxame de enclaves que esta brecha contém e os contatos difusos que a porção félsica faz com os EMM.

Comparando os dados do presente trabalho, com os dados das rochas ácidas a intermediárias do Grupo Serra Geral (GSG), e rochas vulcânicas e plutônicas da Suíte Cambirela (SC), compiladas da literatura (Garland *et al.*, 1995, Peate *et al.*, 1997, Nardy *et al.*, 2008, Nardy *et al.*, 2011, Lange, 2016, Santos, 2019), fica demonstrada uma similaridade geoquímica das rochas félsicas estudadas com as rochas ácidas neoproterozoicas da Suíte Cambirela. Em contrapartida, quando comparadas as rochas intermediárias a ácidas da Formação Serra Geral, se observa um gap entre os dois conjuntos, o que permite desvincular a gênese das rochas félsicas estudadas com o referido magmatismo (Fig. 35 e 36).

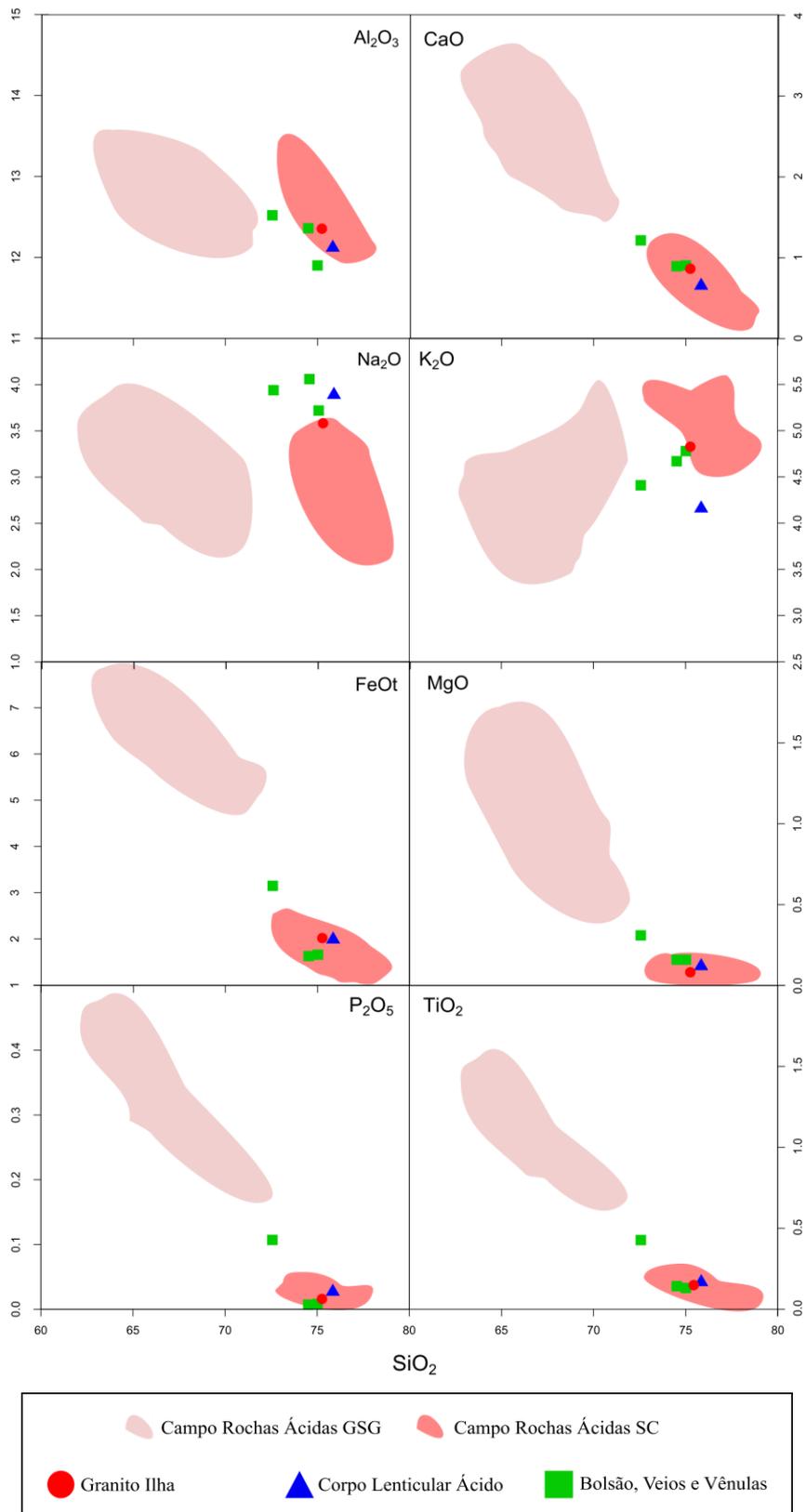


Figura 35 – Diagramas de Harker para elementos maiores de rochas do presente trabalho, como também de rochas ácidas do GSG e da SC, com SiO_2 como índice de diferenciação.

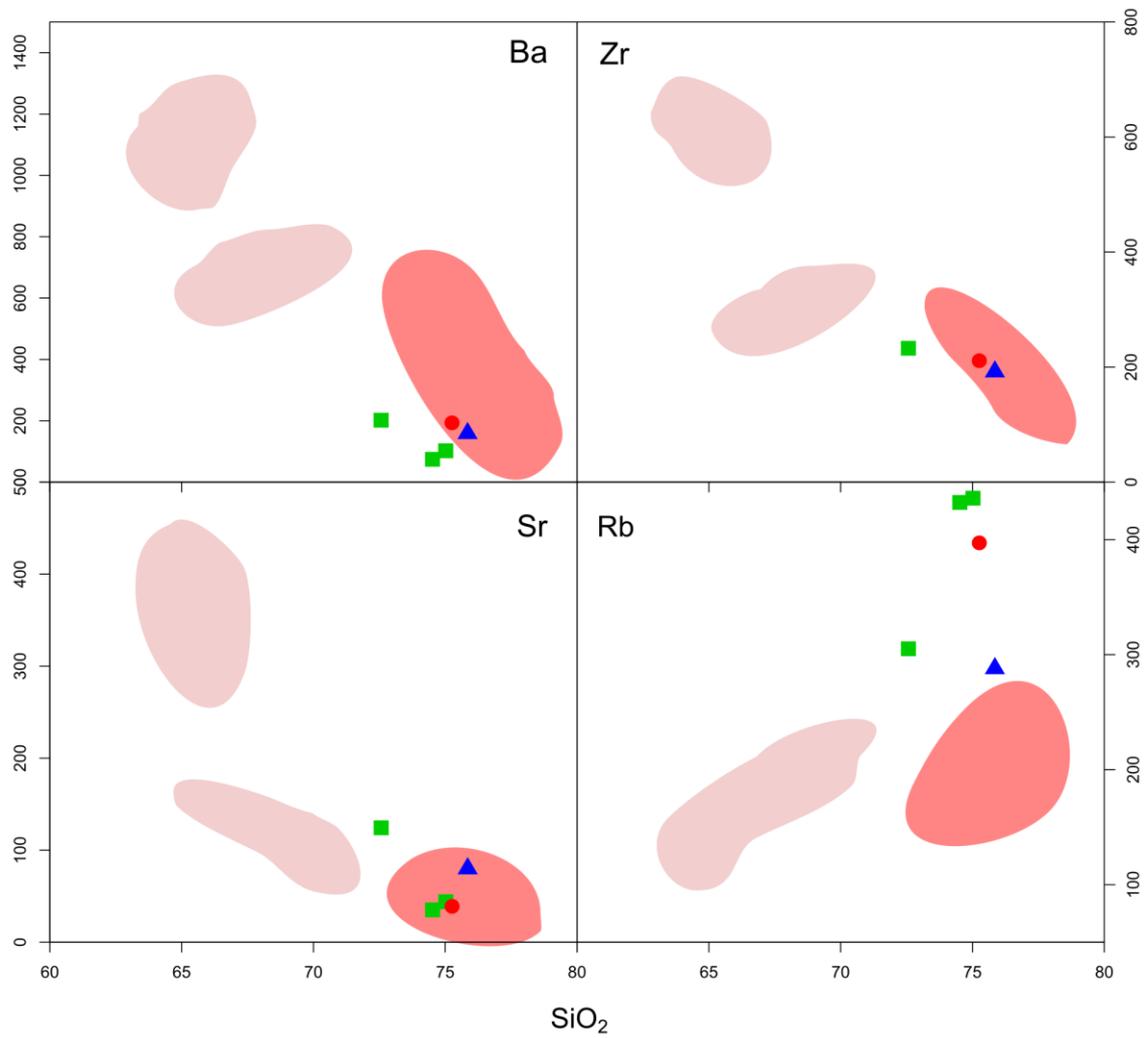


Figura 36 - Diagramas de Harker para elementos menores de rochas do presente trabalho, como também de rochas ácidas do GSG e da SC, com SiO₂ como índice de diferenciação. Símbolos como na figura 35.

7 CONCLUSÃO

O presente trabalho abordou as análises de campo, petrográficas e geoquímicas do corpo lenticular ácido na Ponta da Andorinha, Praia da Pinheira – SC. Foram levadas em considerações as análises de uma zona de brecha de mistura, bem como a de veios e vênulas ácidas que ocorrem na região. Estes estudos permitiram as seguintes conclusões:

O mapeamento de detalhe do contato do dique básico Eo-cretáceo com a encaixante granítica neoproterozoica permitiu identificar a ocorrência de veios, vênulas e corpos félsicos métricos, de contatos irregulares, sinuosos e com feições que denunciam mútua intrusão com os diques básicos. Além disso, foi identificada uma zona de brecha mistura heterogênea de magmas, que ocorre na forma de um corpo com matriz de composição dacítica, com abundantes enclaves microgranulares máficos.

As texturas e microestruturas identificadas nas rochas félsicas seja no Granito Ilha em contato direto com o dique básico, seja no corpo félsico ácido, ou na porção onde ocorre a brecha de mistura magmática, bem como nos veios e vênulas, atestam a existência de cristais reliquiares xenomórficos de quartzo e feldspatos, com feições de reabsorção e corrosão, envoltos por matriz rica em vidro e granófiros, frequentemente com ocorrência de esferulitos. Muitos destes cristais reliquiares estão envoltos por filmes de *melt* ou tem porções de *melt* alocada em ângulos diedros. Este conjunto de características petrográficas atestam que as rochas félsicas estudadas são derivadas de fusão parcial da rocha granítica encaixante.

Os dados geoquímicos de elementos maiores e alguns traços permitiu a classificação das rochas félsicas estudadas como um magmatismo alta SiO₂, rico em álcalis, Rb e Zr e com baixos conteúdos de FeOT, MgO, P₂O₅, TiO₂, Ba e Sr, similar à composição do granito encaixante e diferente daquele identificado nas rochas ácidas da Província Magmática Paraná Etendeka.

O estudo integrado de dados geológicos e petrográficos de detalhe, juntamente com os dados geoquímicos permite interpretar a gênese das rochas félsicas ocorrentes nos contatos entre o GI e o dique básico como decorrente de processos de fusão parcial da encaixante desencadeada pela intrusão do dique básicos de idade Eocretácea.

8 REFERÊNCIAS

- BASEI, M. A. S. 1985. O Cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina. Dissertação. **Instituto de Geociências**, Universidade de São Paulo.
- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P; MARQUES, L.S; MELFI, A.J.; NARDY, A.J.R.; PAPTRECHAS, C.; PICCIRILLO, E.M.; ROISEMBERG, A.; STOLFA, D. Petrogenetic Aspects of Acid and Basaltic Lavas from the Paraná Plateau (Brazil): Geological, Mineralogical and Petrochemical Relationships. **Journal of Petrology**. v.27, p.915-944, 1986.
- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P; MARQUES, L.S; MELFI, A.J.; PICCIRILLO, E.M.; NARDY, A.J.R.; ROISEMBERG, A. High and Low-Ti flood basalts from the Paraná plateau (Brazil): petrology and geochemical aspects bearing on their mantle origin. **Neues Jahrbuch für Mineralogie**. Abhandlungen. v.150, p.272-306, (1984a).
- BERNARDES, E.G. **Estudo das auréolas termais e processos de fusão gerados na interface diques básicos Cretáceos do Enxame de Diques de Florianópolis e encaixantes graníticas Neoproterozoicas do Batólito Florianópolis. Praia da Pinheira, SC. 2017. 88p.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Geologia, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis.
- BITENCOURT, M. F., BONGIOLO, E.M., PHILIPP, R.P., MORALES, L.F.G., RUBERT, R.R., MELO, C.L. & LUFT Jr., J.L., 2008. **Estratigrafia do Batólito Florianópolis, Cinturão Dom Feliciano, na região de Garopaba-Paulo Lopes, SC.** Pesquisas em Geociências, 35(1): 109-136
- BITENCOURT, M.F., 1996. **Granitóides sintectônicos da região de Porto Belo, SC: uma abordagem petrológica e estrutural do magmatismo em zonas de cisalhamento.** Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 310 pp.
- BOULOTON, J., GASQUET, D., 1995. Melting and undercooled crystallisation of felsic xenoliths from minor intrusions (Jebilet massif, Morocco). **Lithos**, Clermont-ferrand, France, v. 35: 201-219
- CORRÊA, V. X. **Geoquímica, Isotopia e geocronologia das rochas graníticas do Batólito Florianópolis na Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. 2016. 219 f.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- DAVIS, B. K., MCPHIE, J. 1996. Spherulites, quench fractures and relict perlite in a Late Devonian rhyolite dyke, Queensland, Australia. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, 71: 1-11

- ERNESTO, M., RAPOSO, M.I.B., MARQUES, L.S., RENNE, P.R., DIOGO, L.A., de Min, A., 1999. Paleomagnetism, geochemistry and $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ dating of the North-eastern Paraná Magmatic Province: tectonic implications. **J. Geodyn.** 28 (4–5), 321–340.
- FLORISBAL, L. M., HEAMAN, L. M., DE ASSIS J, V., BITENCOURT, M. F. (2014). Tectonic significance of the Florianópolis Dyke Swarm, Paraná–Etendeka Magmatic Province: A reappraisal based on precise U–Pb dating. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, 289, 140-150.
- FLORISBAL, L.M, JANASI, V. A., BITENCOURT, M. F., NARDI, L. V. S., HEAMAN, L.M., 2012b. Contrasted crustal sources as defined by whole-rock and Sr-Nd-Pb isotope geochemistry of Neoproterozoic early post-collisional granitic magmatism within the Southern Brazilian Shear Belt, Camboriú, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences** 39, 24-43.
- FLORISBAL, L.M., BITENCOURT, M. F., JANASI, V. A., NARDI, L. V. S., HEAMAN, L.M., 2012a. Petrogenesis of syntectonic granites emplaced at the transition from thrusting to transcurrent tectonics in post-collisional setting: Whole-rock and Sr–Nd–Pb isotope geochemistry in the Neoproterozoic Quatro Ilhas and Mariscal Granites, Southern Brazil. **Lithos** 153, 53-71.
- FLORISBAL, L.M., BITENCOURT, M. F., NARDI, L.V.S., CONCEIÇÃO, R.V., 2009. **Early post-collisional granitic and coeval mafic magmatism of medium- to high-K tholeiitic affinity within the Neoproterozoic Southern Brazilian Shear Belt. Precambrian Research** 175(1-4), 135-148.
- FLORISBAL, L.M., JANASI, V.A., BITENCOURT, M. F., NARDI, L.V.S., MARTELETO, N.S. (2017) Geological, geochemical and isotope diversity of ~134Ma dykes from the Florianópolis Dyke Swarm, Paraná Magmatic Province: Geodynamic controls on petrogenesis, **In Journal of Volcanology and Geothermal Research**.
- FOWLER, A. D., BERGER, B., SHORE, M., JONES, M.I., ROPCHAN, J., 2002. Supercooled rocks: development and significance of varioles, spherulites, dendrites and spinifex in Archaean volcanic rocks, Abitibi Greenstone belt, Canada. **Precambrian Research**. 115: 311-328
- FRANK, H.T.; GOMES, M.E.B.; FORMOSO, M.L.L. Review of the areal extent and the volume of the Serra Geral Formation, Parana Basin, South America. **Pesquisa em Geociências** v.36, n.1, p.49-57, 2009.
- FRANK. H. **Guia de Minerais Transparentes ao Microscópio Petrográfico**. Porto Alegre, Brasil: UFRGS, 218 p., 2018

- GARLAND, F., HAWKESWORTH, C.J., MANTOVANI, M.S.M. Description and Petrogenesis of the Paraná Rhyolites, Southern Brazil. **Journal of Petrology**, v. 36, n. 5, p.1193-1227, 1995.
- GILL, R. **Rochas e Processo Ígneos. Um Guia Prático**. Porto Alegre, Brasil: Bookman. 502 p., 2014
- HOLNESS, M.B.; CESARE B.; SAWYER E.W. 2011. **Melted Rocks under the Microscope: Microstructures and their interpretation**. *Elements*, 7 (4). pp 247-252.
- JANASI V.A., NEGRI F.A., MONTANHEIRO T.J., FREITAS V.A.; ROCHA B.C., REIS P.M. 2007. Geology, petrography and geochemistry of the acid volcanism of the Paraná Magmatic Province in the Piraju-Ourinhos region, SE Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, 37:148-162.
- JANASI, V.A., BITENCOURT, M.F., MARTINS, L., HEAMAN, L.M., SHAULIS, B., STERN, R., 2015. Low- $\delta^{18}\text{O}$ shallow-level Neoproterozoic A-type granites from the Florianópolis Batholith, south Brazil. **Book of Abstracts of the 8th Hutton Symposium on Granites and Related Rocks, Florianópolis, Brazil**, p. 49.
- LANGE, M. B. S. **Caracterização Geológica, Petrográfica e Litoquímica da Suíte Cambirela no Sul da Ilha de Santa Catarina**., 2016. 80p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Geologia, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis.
- LE BAS M.J., LE MAITRE R.W. STRECKISEN A., ZANETTIN B. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. **J. Petrol.**, 27:745-750.
- LOFGREN, G. 1971. Experimentally produced devitrification textures in natural rhyolitic glasses. **Geological Society of America Bulletin**, 82: 111-124.
- LOFGREN, G. 1974. An Experimental Study of Plagioclase Crystal Morphology: Isothermal Crystallization. **American Journal of Science**, 274: 243-273.
- MACKINZIE, W. S., DONALDSON, C. H., GUILFORD, C. **Atlas of igneous rocks and their textures**. UK: Longman. 148 p., 1982
- MANTOVANI, M.S.M.; MARQUES, L.S; SOUSA, M.A.; CIVETTA, L.; ATALLA, L.; INNOCENTI F. Trace elemento and strontium isotope constraints on the origin and evolution of Paraná cptinental flood basalts of Santa Catarina state (Southern Brazil). **Journal of Petrology**, v.26, p.187 – 209, 1985.

- MARTELETO, N. S. **Geologia e petrologia do Enxame de Diques de Florianópolis na parte norte da Ilha de Santa Catarina**. 2017. 210 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MELFI, A. J.; PICCIRILLO, E. M.; NARDY, A. J. R. Geological and magmatic aspects of the Paraná Basin an introduction. In: Piccirillo E. M., Melfi A. J. (eds.) **The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin: Petrogenetic and Geophysical Aspects**. IAG-USP, p. 1-13, 1988.
- MINCATO R.L., ENZWEILER J., SCHRANK A. 2003. Novas idades $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ e implicações na metalogênese dos depósitos de sulfetos magmáticos de Ni-Cu-EPG na Província Ígnea Continental do Paraná. In: SBGq, **Congresso Brasileiro de Geoquímica**, 9, Resumo Expandido, p. 67-92.
- MORAES, Dr. R. **Estudo sobre a geração e evolução de granulitos e migmatitos, usando como exemplos as rochas da Faixa Araçuaí, BA, e do Complexo Anápolis-Itaçu, GO, Brasil**. 2013. 179 f. Tese de Livre Docência – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- NARDY, A.J.R.; MACHADO, F.B.; OLIVEIRA, M.A.F. As rochas vulcânicas mesozóicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímico-estratigráficas. **Revista Brasileira de Geociências**, v.38(1). P.178-195. 2008.
- NASLUND H. R., MCBIRNEY A. R. CAWTHORN R. G. Mechanisms of formation of igneous layering, Layered Intrusions, 1996 **Amsterdam Elsevier** (pg. 1-43)
- PEATE, D.W. The Paraná-Etendeka Province. In: Mahoney, J.J. & Coffin, M.F. (eds) Large igneous provinces: continental, oceanic and planetary flood volcanism. Washington. **American Geophysical Union**, v.100, p.217-245, 1997.
- PEATE, D.W.; HAWKESWORTH, C.J.; MANTOVANI, M.S.M. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (S. America): classification of magma types and their spatial distribution. **Bulletin of Volcanology**, v.55, p.119-139, 1992.
- PECCERILLO A., TAYLOR S.R., 1976 Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. **Contributions to mineralogy and petrology** 58:63–8
- PEREIRA, L.M.C. **Estudo das auréolas termais e processos de fusão gerados na interface diques básicos Cretáceos do Enxame de Diques de Florianópolis e encaixantes graníticas Neoproterozoicas do Batólito Florianópolis.**, 2017. 88p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Geologia, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis.

- RENNE, P.R.; ERNESTO M; PACCA, I.G.; COE, R.S.; GLEN, J.M.; PREVÓT, M; PERRIN, M. The age of Paraná flood volcanism rifting of Gondwanaland and the Jurassic-Cretaceous Boundary. **Science**. V.258, p.975-979, 1992.
- SANTOS, E. A. **Petrologia e faciologia da sequência vulcânica ácida Cambirela, Batólito Florianópolis – SC**, Brasil. 2019. 97 f. Dissertação (mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, BR-RS.
- SAWYER, E.W. 1999. Criteria for the Recognition of Partial Melting. **Phys. Chem. Earth (A)**. (3) 24: 269-279
- SAWYER, E.W. 2008. **Atlas of migmatites**. Special publications of the Canadian mineralogist, vol. 9. 386 p.
- SCHEIBE, L. F., & TEIXEIRA, V. H. 1970. **Mapa topogeológico da ilha de Santa Catarina**. Porto Alegre. DNPM.
- TOMAZZOLI, E. R., MIZUSAKI, A.M.P., LIMA, E. F., FÉLIX, A., FIGUEIREDO, A. M. G. (2005) **Rochas ácidas associadas ao Enxame de Diques Florianópolis na ilha do Arvoredo e na ilha de Santa Catarina (sc): dados geocronológicos preliminares**. Anais do III Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados.
- TOMAZZOLI, E.R. e LIMA, E.F., 2006. Magmatismo ácido na Ilha do Arvoredo-SC. **Revista Brasileira de Geociências** 36, 57-76.
- TOMAZZOLI, E.R. e PELLERIN, J.M. 2015. **Unidades do mapa geológico da ilha de Santa Catarina: as Rochas**. **Geosul** 30 (60): 225-247.
- UFRGS. **Mapeamento Geológico 1: 25 000 de parte das folhas Paulo Lopes (MI2909/4) e Imbituba (2925/2), SC**. Porto Alegre: 1999 vol. 7. Trabalho de Graduação do Curso de Geologia. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- VERNON, R. H., 2004. **A Practical Guide to Rock Microstructure**. Cambridge University Press, London, p. 594.
- WEINBERG, R. F.; HASALOVÁ, 2015. Pavlína. Water-fluxed melting of the continental crust: A review. **Lithos**, [s.l.], v. 212-215, p.158-188
- WERNICK, E. **Rochas Magmáticas – Conceitos fundamentais e classificação modal, química, termodinâmica e tectônica**. São Paulo, Brasil: UNESP, 655 p., 2004.

WHALEN, J. B., CURRIE, K. L., & CHAPPELL, B. W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. **Contributions to mineralogy and petrology**, 95(4), 407-419.

ZANINI, L. F. P.; BRANCO, P.M.; CAMOZZATO, E. E RAMGRAB, G.E. (orgs.). 1997. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Florianópolis (Folha SH.22-Z-D-V) e Lagoa (Folha SH.22-Z-D-VI)**. CPRM, Brasília, 252p., mapas. Escala 1:100.000.