

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

O TONALITO SÃO VÍTOR NOS ARREDORES DE TEÓFILO OTONI (MG): UMA
ABORDAGEM PETROGRÁFICA E ESTRUTURAL POR ASM.

Bruno Virgílio Portela

Orientador: Prof. Dr. Marcos Egydio da Silva

Monografia do Trabalho de Formatura
(TF-13/09)

São Paulo
2013

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a minha família por todo apoio e dedicação dado a mim, durante todos os anos da minha vida. Pai, mãe e Ananda, vocês são a razão de eu ter chegado até aqui! Como fez Milton Nascimento em uma música para a mãe dele, paro por aqui, por não ter palavras o suficiente para agradecer a vocês.

Um agradecimento especial a Tia Dade, pelos inúmeros conselhos dados durante todos esses anos. Agradecimento ao meu avó Raimundo (*in memoriam*), ao meu avó Deiner, a minha avó Antônia e a minha avó Marisa. Um muito obrigado aos meus tios, tias, primos e primas que, de alguma forma, foram parte fundamental da minha trajetória até aqui.

Agradecer a Natalia, minha parceira, minha amiga, minha fortaleza, minha namorada. Muito obrigado pela paciência, compreensão, todas as conversas e os momentos que passamos juntos que, com certeza, foram muito importantes para que eu chegasse até aqui.

Agradecer aos irmãos que fiz durante a vida e esses cinco anos de faculdade. Vitão, Daniel, Pedrão, Catatau, Escamas, 2/hora, Chassi, Próstata, Mussum, Faris, Traveka, Dyspacho, Fudido, todo o time do Santadréia e todos os outros não citados, que farão parte da minha lembrança.

Gostaria de agradecer imensamente ao professor Marcos Egydio pela oportunidade dada a mim para realizar esse trabalho de formatura, pela confiança depositada e pela amizade construída durante esse um ano de trabalho.

Agradeço também ao professor Ricardo Trindade do IAG-USP, por disponibilizar o Laboratório de Paleomagnetismo do IAG-USP. Agradeço aos técnicos Maysa, Daniele e Giovanni do IAG-USP, pelo auxílio na preparação das amostras e utilização dos equipamentos. Agradeço ao pessoal da laminação, ao Samuel e a Jordana, pelo apoio na preparação das amostras para laminação e no auxílio com as fotos das lâminas. Agradeço aos motoristas do IGC, pessoal da gráfica e todos os funcionários que ajudaram nesses cinco anos.

Agradeço a professora Adriana Alves pelo imenso auxílio dado durante toda a graduação, em especial nesse ano. Agradeço ao Rodolfo pelo auxílio e discussões sobre as lâminas. Ao meu grande amigo e irmão 2/hora por toda a ajuda dada, seja sobre o trabalho ou sobre a vida.

“CLUBE ATLÉTICO MINEIRO, GALO FORTE E VINGADOR”

I. RESUMO

O tonalito São Vítor ocorre na porção nordeste de Minas Gerais, desde o sudoeste de Governador Valadares até o nordeste de Teófilo Otoni. É o resultado de uma intensa granitização ocorrida durante o Neoproterozóico na faixa Araçuaí. A faixa ou orógeno Araçuaí é a contraparte brasileira do Orógeno Araçuaí-West Congo, um orógeno proveniente da colagem final da porção norte do proto-oceano Atlântico no Supercontinente Gondwana durante o Brasileiro/Pan-Africano. A faixa apresenta dois domínios estruturais distintos, estando o tonalito São Vítor localizado no domínio alóctone, entre o domínio para-autóctone e a margem continental. O domínio no qual o corpo está inserido é dividido em três unidades, sendo a unidade de interesse a plutônica ou central.

Por ser muito extenso, o tonalito apresenta variações composicionais e estruturais. Trata-se de um corpo constituído basicamente por quartzo, plagioclásio, feldspato alcalino e biotita, em concentrações que permitem classifica-lo desde um tonalito a um granodiorito. A presença de microestruturas como extinção ondulante, migração de borda e a formação de sub-grãos, associadas a ocorrência de arcos poligonais em sillimanita indicam a deformação do corpo em estado sólido.

As curvas termomagnéticas geradas para o tonalito sugerem que não há presença de óxidos ou sulfetos magnéticos, o que define o comportamento paramagnético dos minerais.

O comportamento estrutural verificado por meio da Anisotropia de Susceptibilidade Magnética mostra a foliação variando de N-S para NE-SW, com mergulho sub-vertical a sub-horizontal para E, e a lineação perpendicular à foliação, com mergulho variando de sub-vertical a sub-horizontal. Esse contexto sugere que o padrão estrutural do tonalito São Vítor é proveniente de uma tectônica de empurrões com vergência para oeste ou para o cráton São Francisco.

II. ABSTRACT

The São Vítor tonalite occurs in the northeast region of Minas Gerais, from the southwest of Governador Valadares to the northeast of Teófilo Otoni. It is the result of an intense granitization, which occurred in the Araçuaí belt during the Neoproterozoic. The Araçuaí belt or orogen is the Brazilian counterpart of the Araçuaí-West Congo Orogen resulting from the final amalgamation of the north part of the Atlantic proto-ocean in the Gondwana super-continent during the Brazilian/Pan-African. Two distinct structural domains define the Araçuaí belt. The São Vítor tonalite is located in the allochthonous domain between the para-autochthonous domain and the continental margin. The domain where the tonalite is located can be divided in three units, being the plutonic or central unit the one where the tonalite is inserted.

Owing to his extension, the tonalite presents compositional and structural variations. It is constitute by quartz, plagioclase, alkaline feldspar and biotite, in a proportion that could classified it from a tonalite to a granodiorite. The presence of microstructures as wave extinction, grain boundary migration and sub-grain formation associated with the occurrence of polygonal arcs in sillimanite indicates the deformation of the body in solid state.

The thermomagnetic curves developed for this tonalite suggest that there is no presence of magnetic oxides or sulfides, which defines the paramagnetic behavior of the minerals.

The structural behavior verified using the Anisotropy of Magnetic Susceptibility shows that the foliation ranges from N-S to NE-SW, with a sub-vertical to a sub-horizontal dip to E. The lineation is normal to the foliation with the dip ranging from sub-vertical to sub-horizontal. This context suggest that structural pattern of the São Vítor tonalite is a resulting of fold-thrust tectonics with a west-vergence or towards the São Francisco craton.

Índice

AGRADECIMENTOS.....	2
I. RESUMO	3
II. ABSTRACT	4
III. INTRODUÇÃO	6
IV. CONTEXTO GEOLÓGICO	7
A. Geologia Regional.....	7
B. Geologia Local	12
V. MATERIAIS E MÉTODOS	14
A. Trabalho de Campo	14
B. Fundamentos teóricos da Anisotropia de Susceptibilidade Magnética.....	16
1. Magnetismo dos materiais.....	16
2. Magnetização	16
3. Comportamento magnético.....	17
4. Domínio magnético	19
5. Anisotropia de susceptibilidade magnética (ASM)	19
6. Anisotropia no mineral.....	20
7. Trama magnética e petrotrama	21
C. Coleta e preparação de amostras para ASM.....	22
D. Petrografia.....	23
E. Curvas Termomagnéticas	23
VI. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	24
A. Anisotropia de Susceptibilidade Magnética.....	24
B. Petrografia.....	31
C. Curvas Termomagnéticas:.....	35
VII. CONCLUSÃO	37
VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	39
IX. ANEXOS	42

III. INTRODUÇÃO

A Faixa Araçuaí é a continuação norte do cinturão Ribeira, a porção brasileira do Orógeno Araçuaí-West Congo. Dentro da faixa são descritos dois domínios estruturais distintos, devido a transformação progressiva no regime deformacional de norte a sul. O domínio para-autóctone e o domínio alóctone, no qual se encontra o tonalito São Vítor, objeto de estudo desse trabalho. O domínio alóctone subdividido em três unidades menores, sendo o tonalito, pertencente a unidade plutônica ou central.

O tonalito São Vítor ocorre na porção nordeste de Minas Gerais, desde o sudoeste de Governador Valadares até o nordeste de Teófilo Otoni, uma área de, aproximadamente, 380 km². A região de estudo compreende a porção norte-nordeste desse corpo, nos arredores de Teófilo Otoni. Esse corpo é resultado de uma intensa granitização ocorrida durante o Neoproterozóico na faixa Araçuaí. Associado ao tonalito Galiléia, ambos fazem parte da Suíte Galiléia, um corpo sin- a tarditectônico em relação ao Ciclo Brasileiro (580 Ma). As rochas pertencentes a esse corpo indicam intrusão e deformação concomitantes às encaixantes.

O objetivo principal desse estudo é a análise estrutural do tonalito São Vítor, por meio da anisotropia de susceptibilidade magnética (ASM). Esse método permite a definição da trama magnética que, por análise do magnetismo da rocha, é utilizada como aproximação da petrotrama. Isso torna possível a obtenção de informações estruturais, tais como lineação e foliação, em rochas nas quais não é possível a determinação dessas informações de forma direta. É uma ferramenta muito utilizada em rochas ígneas, com o finalidade de entender os processos de colocação desses corpos e a sua estruturação interna. Portanto, uma vez compreendida a disposição do corpo, torna-se viável o entendimento do caráter pré-, sin- ou pós-tectônico.

A análise petrográfica dessa porção do tonalito São Vítor é uma ferramenta complementar ao estudo estrutural. Ainda que, secundária, essa análise permite caracterizar e compreender a participação do tonalito na granitogênese da Faixa Araçuaí. A identificação de aspectos microestruturais e texturais são os principais objetivos dessa análise complementar, além da identificação da assembleia mineral, aspecto fundamental para a definição do magnetismo da rocha.

IV. CONTEXTO GEOLÓGICO

A. Geologia Regional

Segundo Trompette (1994), Pedrosa-Soares et al. (1998), Heilbron et al. (2010) apud Mondou et al. (2012), o Orógeno Araçuaí-West Congo é resultante da colagem final da porção norte do proto-oceano Atlântico, ocorrida no Supercontinente Gondwana, durante o Brasiliano/Pan-Africano. De acordo com Pedrosa-Soares & Noce (1998), Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos (2000), Pedrosa-Soares et al. (2001) apud Pedrosa-Soares et al. (2007), esse orógeno possui, aproximadamente, 1000 km de extensão e 500 km de largura, e é definido como um conjunto orogênico confinado, Neoproterozóico-Cambriano, inserido na reentrância limitada pelo cráton São Francisco e o cráton do Congo. Tal confinamento é resultado da ligação entre os dois crátons mencionados anteriormente, que foi mantida desde o Toniano até o Cretáceo, com a abertura do Atlântico Sul. A abertura é responsável por dividir o orógeno em duas partes distintas, sendo a maior parte localizada no Brasil, contendo, aproximadamente, dois terços da área do Orógeno Araçuaí-West Congo. Esse conjunto orogênico Brasiliano/Pan-Africano é caracterizado por diversos componentes geotectônicos indicativos de um orógeno colisional sucessor a um orógeno acrecionário de margem continental ativa. Os elementos característicos desse contexto são depósitos de margem passiva, lascas ofiolíticas, zona de sutura, arco magmático, granitos sin-colisionais e plutonismo pós-colisional (Pedrosa-Soares et al., 2007).

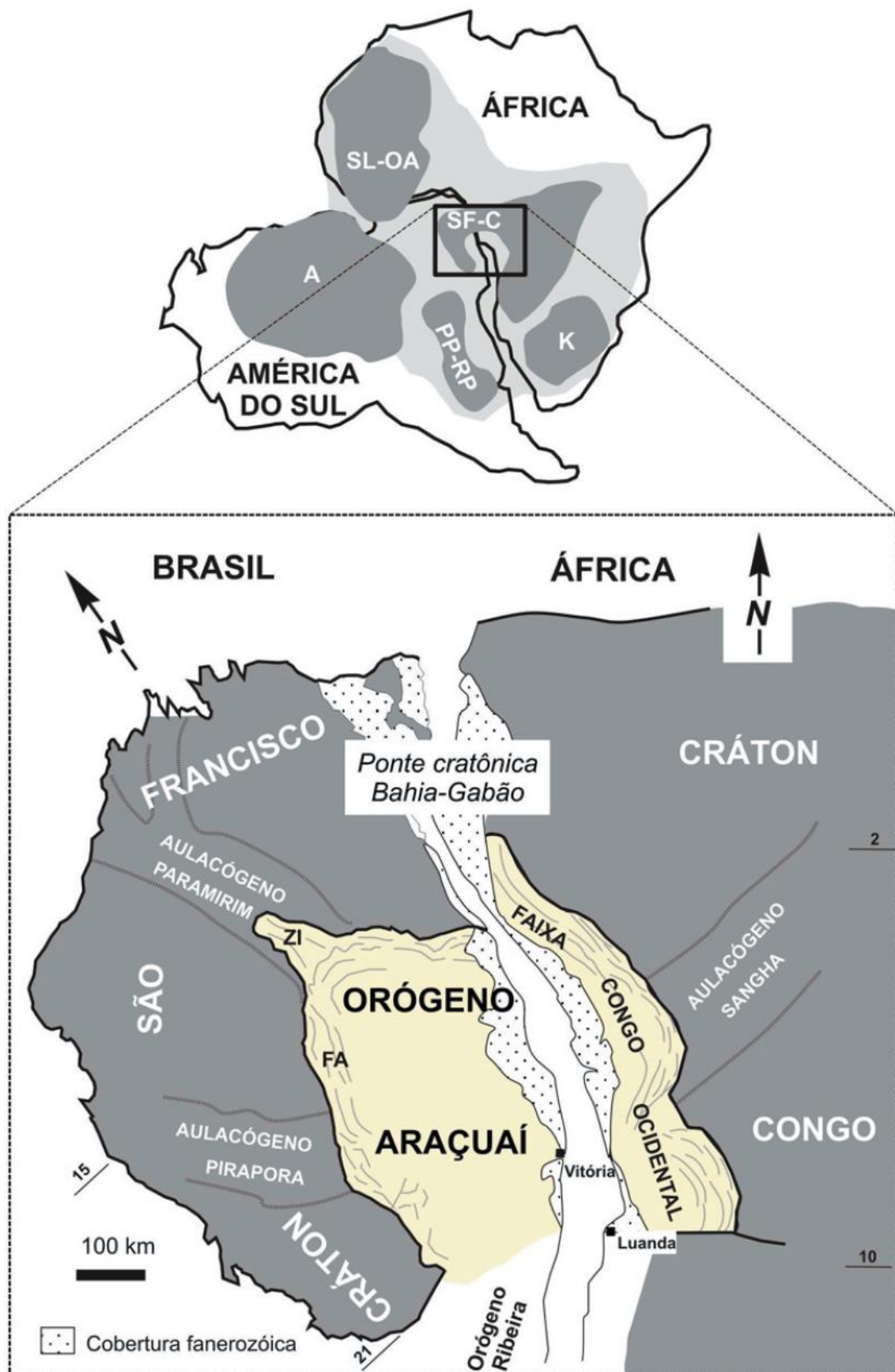


Figura 1: Separação do Orógeno Araçuaí-West Congo na porção central do Paleocontinente Gondwana e a contraparte brasileira (Extraído de Pedrosa-Soares et al., 2007). FA: Faixa Araçuaí; ZI: Zona de interferência Orógeno Araçuaí-Aulacógeno Parnamirim; Crátons: A: Amazônico; K: Kalahari; PP-RP: Paraná-Paranapanema-Rio da Prata; SF-C: São Francisco-Congo; SL-OA: São Luís-Oeste Africano.

A contraparte brasileira do Orógeno Araçuaí-West Congo é chamada de Orógeno Araçuaí e compreende dois terços da área inicial do orógeno. Trata-se de uma área localizada entre o cráton São Francisco e a margem continental Atlântica, a norte da latitude 21°. Segundo Heilbron et al.(2004), o orógeno Araçuaí representa a porção norte da Província Mantiqueira, um sistema orogênico que se estende desde a latitude 15° S até o Uruguai. Esse sistema é resultado do mesmo processo no qual foi gerado o Orógeno Araçuaí-West Congo e engloba os orógenos Araçuaí, Ribeira, Brasília meridional, Dom Feliciano e São Gabriel.

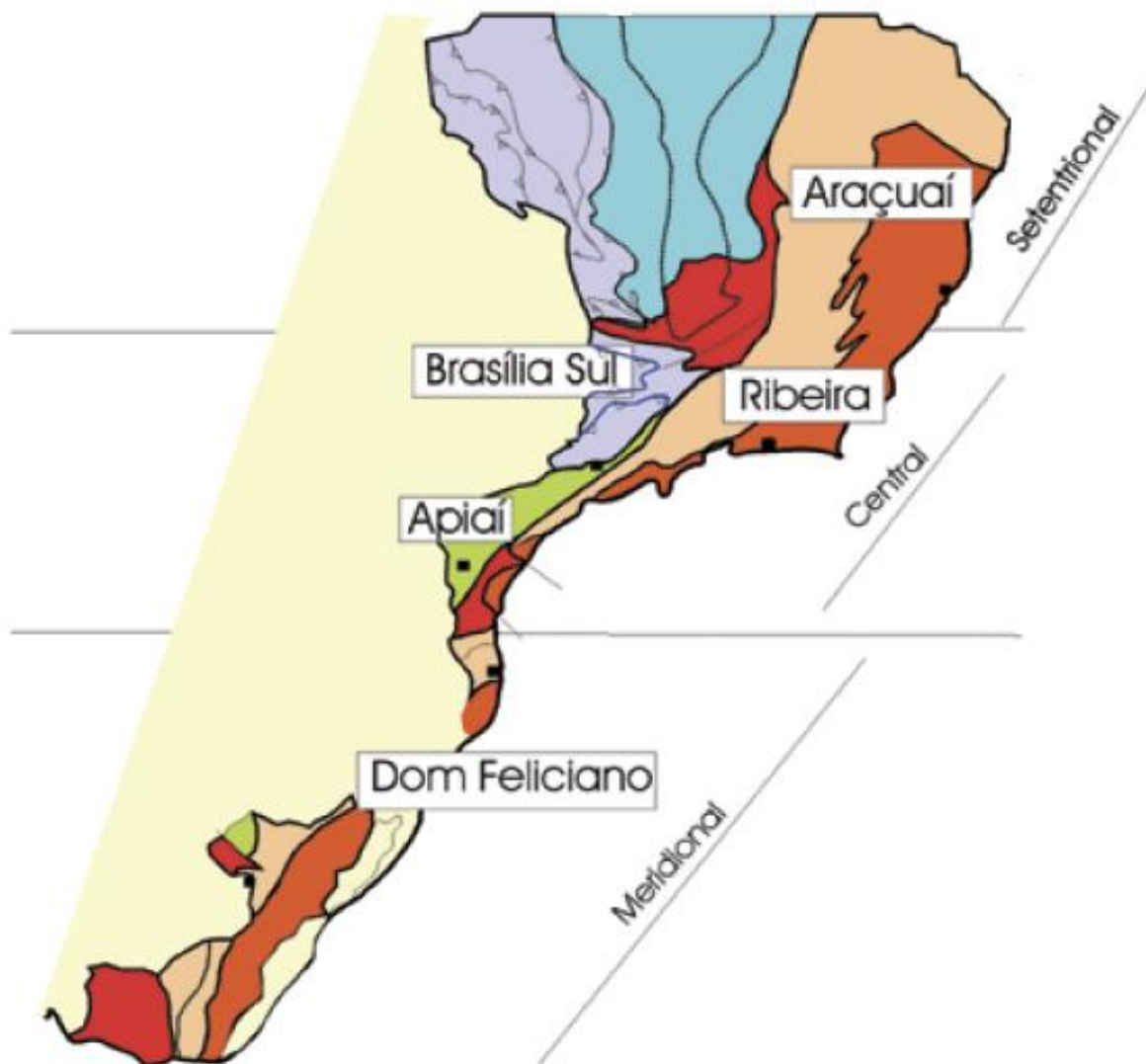


Figura 2: Sub-divisão da Província Mantiqueira (Extraído de Heilbron et al., 2004).

O orógeno Araçuaí ou faixa Araçuaí pode ser dividido em dois domínios estruturais distintos, dada a transformação progressiva no regime deformacional de norte a sul (Trompette, 1994; Vauchez et al., 1994 apud Vauchez et al., 2007). O domínio para-autóctone é caracterizado por foliações com baixo mergulho para leste, paralelas ao orógeno. Além disso, ocorre material para-autóctone do cráton São Francisco nesse domínio. A orientação norte-sul ao longo da faixa se altera a medida que o orógeno atinge o limite norte.

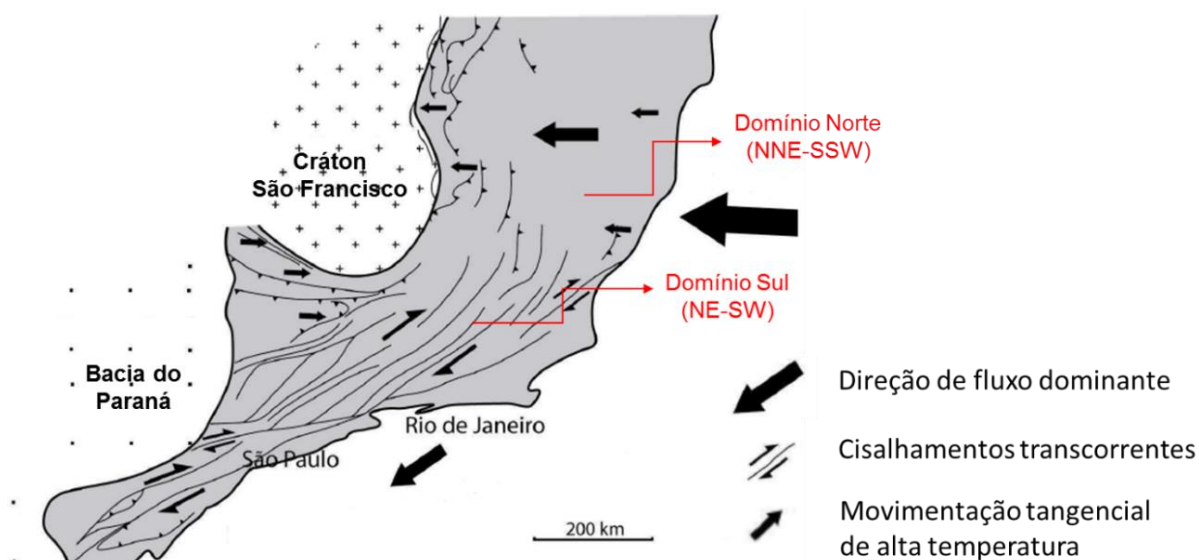


Figura 3: Orógeno Araçuai e os padrões estruturais distintos entre os domínios norte e sul (modificado de Vauchez et al., 1994).

O domínio alóctone, no qual está inserida a área de estudo, apresenta orientação norte-sul e representa a porção oeste da orógeno Araçuai, entre o domínio anterior e a margem continental. Essa porção é caracterizada pela presença de metassedimentos intrudidos por diversas suítes magmáticas.

A unidade de interesse para esse trabalho é a plutônica ou central, definida pela ocorrência de metassedimentos intrudidos por corpos tonalíticos a granodioríticos, dentre eles, o tonalito São Vítor (Oliveira et al., 2000). Mondou et al. (2012) verificaram que o fato de as rochas plutônicas apresentarem trama magmática paralela às rochas hospedeiras, sugere-se que a deformação foi coerente. A foliação e lineação nos tonalitos varia em toda a extensão da unidade plutônica. Vauchez et al. (2007) identificaram que, próximo ao contato com a unidade milonítica, a orientação da foliação dos tonalitos é semelhante a essa unidade, com foliação de mergulho baixo para leste e ocorrências de lineação down-dip. Para leste, a foliação de orientação norte-sul varia para sub-vertical com lineação sub-vertical a sub-horizontal. Vauchez et al. (2007) concluíram que essas características seriam um registro de um regime de deformação transpressional.

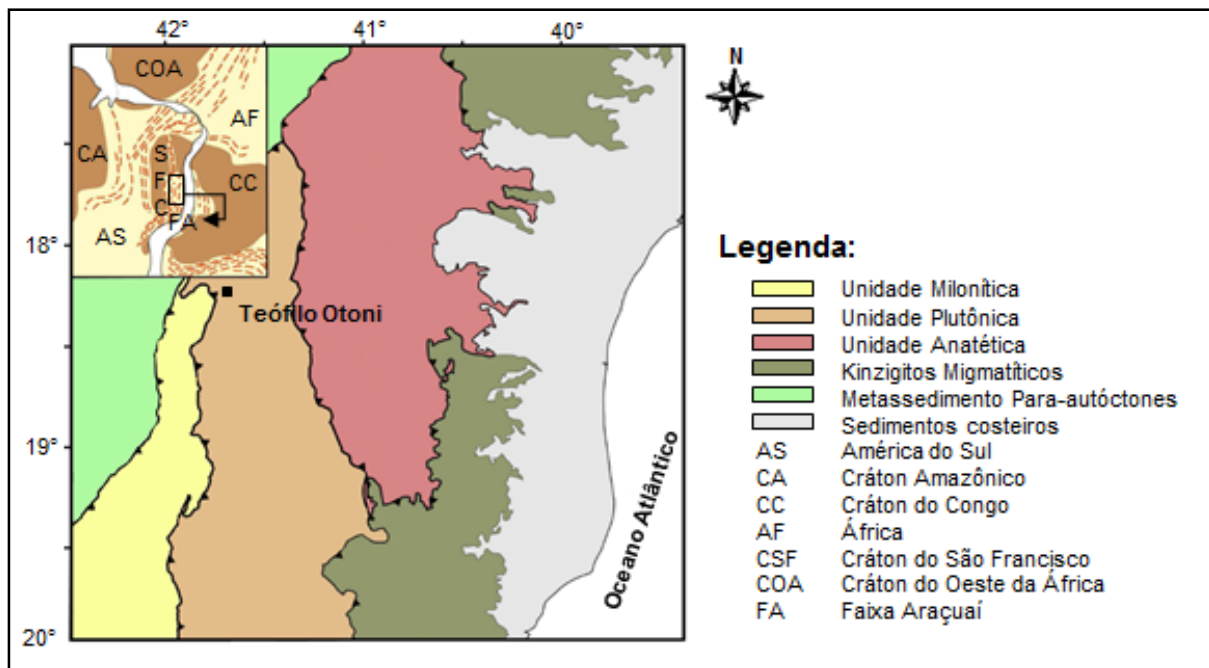


Figura 4: Mapa simplificado da Faixa Araçuaí (modificado de Mondou, 2010).

A colocação temporal do Tonalito São Vítor na granitogênese do orógeno Araçuaí é tema de opiniões distintas. Pedrosa-Soares et al. (1999) classificaram os corpos graníticos da faixa em cinco suítes, por meio de diversos fatores, dentre os quais, a geocronologia das rochas. A atualização de dados geocronológicos fez com que Pedrosa-Soares et al. (2001) realizassem um novo agrupamento desses corpos em seis suítes distintas. Com o objetivo de associar o evento Brasileiro ao orógeno Araçuaí, Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos (2000), Pedrosa-Soares et al. (2001, 2005), Heilbron et al. (2004), Silva et al. (2005) apud Pedrosa-Soares et al. (2008) definiram quatro estágios colisionais, caracterizados por intervalos de idade: pré-colisional (c. 630-585 Ma), sin-colisional (c. 585-560 Ma), tardi-colisional (c. 560-530 Ma) e pós-colisional (c. 530-490 Ma). As idades U/Pb para o Tonalito São Vítor variam entre 570-580 Ma, segundo Mondou (2010, 2012) e Vauchez et al. (2007).

B. Geologia Local

O Tonalito São Vítor ocorre na porção nordeste de Minas Gerais, desde o sudoeste de Governador Valadares até o nordeste de Teófilo Otoni, uma área com, aproximadamente, 380 km². A região de estudo é a porção norte-nordeste do corpo, nos arredores de Teófilo Otoni. Essa área compreende as folhas Mucuri, Itambacuri e Teófilo Otoni em escala 1:100.000 do Projeto Leste (CPRM, 1996).

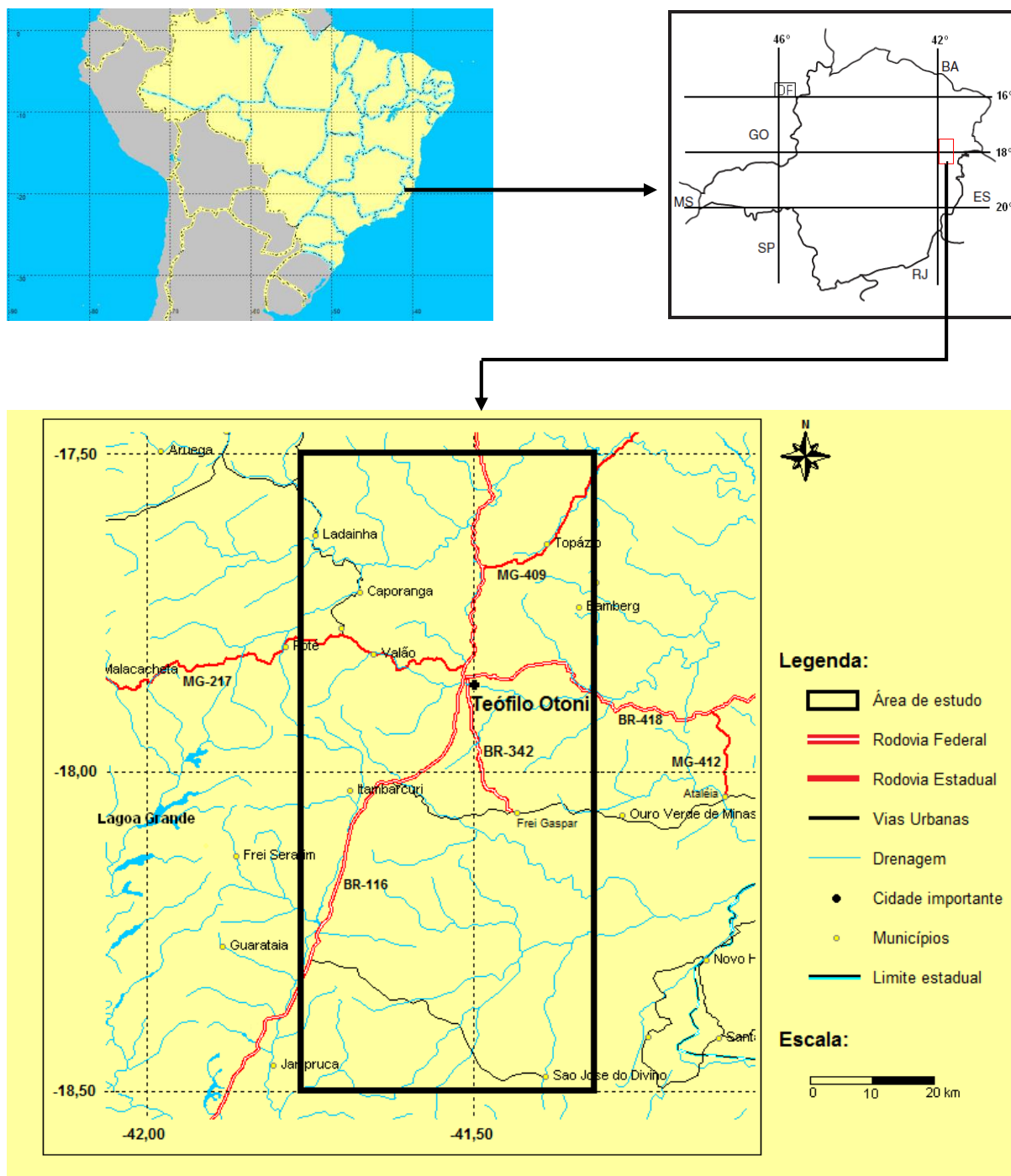


Figura 5: Localização da área de estudo (modificado de GPS Trackmaker, Oliveira et al., 2000).

O tonalito aflora nessa região na forma de corpos contínuos e, em alguns casos, morros elevados do tipo “pão-de-açúcar”. A unidade é intrusiva nos metassedimentos da Formação Tumiritinga, com presença de xenólitos no interior dos tonalitos. Além disso, associa-se ao Granodiorito Topázio a leste, a metassedimentos do Grupo Rio Doce a oeste e à Formação São Tomé e Granito Guarataia a sul.

V. MATERIAIS E MÉTODOS

A. Trabalho de Campo

O trabalho de campo foi realizado entre os dias 29/04/2013 e 08/05/2013, nos arredores da cidade de Teófilo Otoni, nordeste de Minas Gerais (figura 5). A atividade foi desenvolvida, em grande parte, em pedreiras desativadas e lajedos de grande porte, dada a necessidade de utilização de uma perfuratriz portátil e reservatório de óleo e água para a coleta de testemunhos.

Com base no Projeto Leste (CPRM, 1996), foi percorrida toda a área que compreende o tonalito São Vítor nos arredores de Teófilo Otoni. Durante os oito dias de trabalho de campo foram descritos 19 afloramentos, com coleta de testemunhos para a análise de anisotropia de susceptibilidade magnética em 14 desses. Além disso, foram coletadas amostras para a confecção de lâminas em seção delgada.

É importante ressaltar que o procedimento para a coleta de testemunhos para a análise de anisotropia e análise em seção delgada, difere no fato de que, para a segunda situação, não é necessária a orientação *in loco* da amostra. Essa distinção será explicada mais adiante ao descrever o procedimento de coleta e preparação das amostras. A tabela 1 expõe os afloramentos descritos durante o período.

Sítio	UTM E	UTM N	Amostras ASM	Lâminas	Folha CPRM
BP001	214807	7973822	OK (12)	OK (2)	Itambacuri
BP002	233013	7976944	OK (16)	OK	Itambacuri
BP003	215223	7973833	OK (16)	OK(3)	Itambacuri
BP004	227220	8003074	OK (18)	OK	Itambacuri
BP005	215936	8029057	OK (15)	OK	Teófilo Otoni
BP006	214307	8028315	OK (13)	-	Teófilo Otoni
BP007	236930	8036751	OK (17)	-	Mucuri
BP008	235650	8052918	OK (18)	-	Mucuri
BP009	236134	8040538	OK (16)	-	Mucuri
BP010	236169	8036497	OK (14)	OK	Mucuri
BP011	233767	8035416	OK (09)	OK	Teófilo Otoni
BP012	243863	8025549	-	-	Mucuri
BP013	252049	8024941	-	OK (2)	Mucuri
BP014	257692	8019714	OK (12)	-	Mucuri
BP015	300565	8032851	OK (13)	-	Carlos Chagas
BP016	310749	8025887	-	-	Carlos Chagas
BP017	310922	8024506	-	OK	Carlos Chagas
BP018	213972	8004346	OK (18)	OK	Itambacuri
BP019	212395	8007463	-	OK	Itambacuri

Tabela 1: Dados dos afloramentos descritos. Entre parênteses (x), o número de amostras ou lâminas por sítio.

Nos afloramentos em que foram coletados testemunhos para a análise de anisotropia, o processo consistiu na execução de 3 a 5 furos por afloramento para que se pudesse ter uma base de dados confiável em cada sítio. Esse fato explica o número de amostras por sítio, uma vez que, cada furo pode gerar até 4 amostras para análise de anisotropia de susceptibilidade magnética.

Na área de estudo, o tonalito São Vítor apresenta, em termos gerais, morfologia de baixa elevação. Isoladamente, é possível detectar morros com maior elevação, porém, semelhante à paisagem do entorno. Ainda que mencionados na literatura, não foram encontrados xenólitos da Formação Tumiritinga nos afloramentos da área em questão. Trata-se de uma rocha de coloração que, varia do cinza claro ao escuro, dada a concentração de minerais máficos. O tonalito apresenta uma granulação média a grossa. Foi possível observar a variação da estrutura da rocha, quando há maior concentração de minerais como biotita e muscovita, uma vez que, esses minerais definem a foliação da rocha. Sendo assim, em escala macroscópica, foram verificados dois tipos principais de textura na rocha: granoblástica e lepidoblástica. A textura granoblástica é marcada pela disposição dos cristais de quartzo e feldspato na rocha que, compõem mais de 50% da rocha. A textura lepidoblástica é definida pela interação dos cristais de biotita e muscovita que, perfazem, cerca de, 40% da composição do tonalito.

B. Fundamentos teóricos da Anisotropia de Susceptibilidade Magnética

1. Magnetismo dos materiais

O magnetismo dos materiais é resultante da presença de momentos de dipolo magnético em escala atômica. Esse dipolo pode ser definido como um par de cargas magnéticas ou um loop de corrente elétrica (Figura 6). Portanto, o momento magnético será resultado da rotação de uma partícula elétrica ao redor do núcleo ou ao redor da própria partícula.

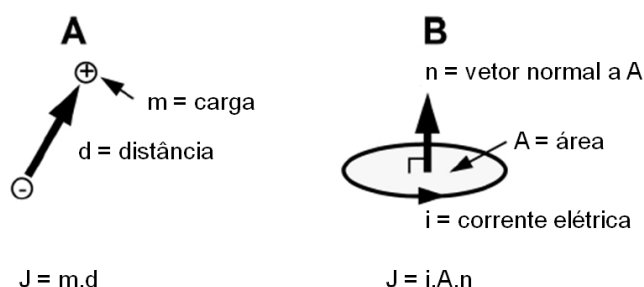


Figura 6: Representação da formação dos dipolos magnéticos seja por diferença de cargas magnéticas como por um loop de corrente elétrica. Extraído de Mondou (2010).

2. Magnetização

No caso das rochas, a disposição dos momentos magnéticos na estrutura do mineral permite definir a resultante do momento magnético e, portanto, diferentes tipos de comportamento magnético dos minerais (Tarling & Hrouda, 1993). Essa resultante, chamada de magnetização (M), é a somatória dos momentos de dipolo magnético em uma unidade de volume.

Em minerais magnéticos há dois tipos de magnetização: induzida e remanente. A magnetização remanente é um registro de um campo magnético que atuou anteriormente no mineral. A magnetização induzida, como o próprio nome diz, é adquirida quando o mineral é constantemente exposto a um campo magnético. Entretanto, no momento em que esse campo deixa de ser aplicado, a magnetização desaparece. Sendo assim, a relação estabelecida entre a magnetização induzida e o campo magnético aplicado é regida pela equação abaixo:

$$M = K.H = K. \frac{B}{\mu_0} \quad (1)$$

A magnetização induzida (M) é diretamente proporcional a força do campo magnético aplicado (H), por meio de uma constante de proporcionalidade, a susceptibilidade magnética

(K). O campo magnético pode ser descrito também, em função do valor do campo magnético (B) e da permeabilidade do espaço livre (μ_0).

A susceptibilidade magnética (K) varia conforme a disposição dos momentos magnéticos, o que gera três tipos de comportamento magnético e suas subdivisões:

- Diamagnetismo
- Paramagnetismo
- Ferromagnetismo (s.l.): Ferromagnetismo (s.s.), Ferrimagnetismo, Antiferromagnetismo.

Na figura 7, verifica-se a variação da susceptibilidade magnética, conforme descrito na equação 1.

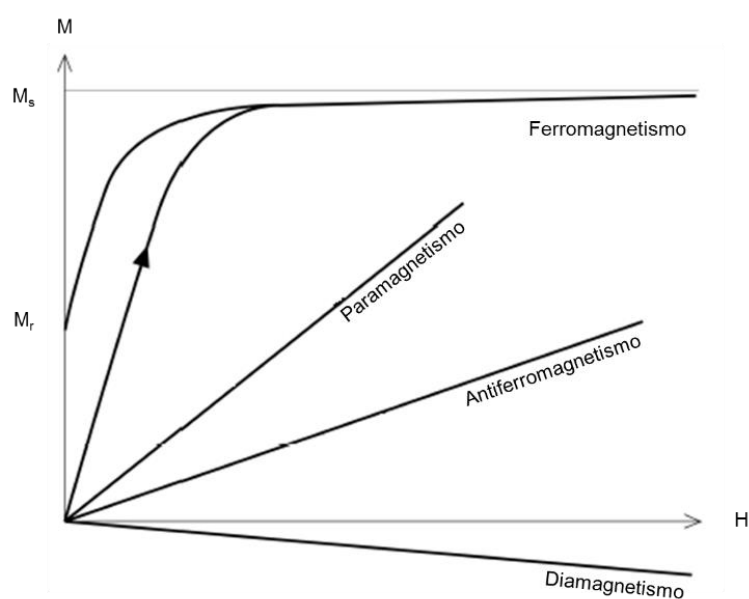


Figura 7: Gráfico demonstra o comportamento magnético de cada material, dada às variações no campo magnético (extraído de Bouchez, 1997).

3. Comportamento magnético

Os materiais diamagnéticos são aqueles em que a aplicação de um campo magnético (H) gera uma magnetização de baixa intensidade e oposta ao campo magnético aplicado. Sendo assim, esses materiais apresentam susceptibilidade magnética negativa, constante e independente da temperatura. O quartzo e a calcita são alguns exemplos de minerais diamagnéticos (Tarling & Hrouda, 1993).

Os materiais paramagnéticos são aqueles em que a aplicação de um campo magnético (H) gera uma magnetização de baixa intensidade, paralela ao campo magnético e no mesmo sentido do campo. No caso desses materiais, a temperatura influi no comportamento da susceptibilidade magnética. Geralmente, o aumento de temperatura pode diminuir o valor da susceptibilidade de materiais paramagnéticos. Por outro lado, a diminuição

da temperatura pode alterar esse material para um comportamento ferromagnético. Biotita, anfibólio e ilmenita são alguns exemplos de minerais paramagnéticos.

É importante ressaltar que, tanto os materiais diamagnéticos quanto os paramagnéticos, tem a magnetização zerada, a partir do momento em que o campo magnético deixa de ser aplicado.

Segundo Tarling & Hrouda (1993), alguns materiais possuem um alto valor positivo de susceptibilidade magnética e, em algumas situações, podem apresentar magnetização remanente. A esses materiais, dá-se o nome de materiais ferromagnéticos. O ferromagnetismo (s.l.) é a denominação feita a substâncias nas quais o spin do elétron é espontaneamente alinhado e, posteriormente, provoca o alinhamento de magnetizações de spin individuais, sem que haja a aplicação de um campo magnético externo. Esse tipo de magnetização, sem que haja influência de nenhum campo magnético, é chamada de magnetização espontânea.

O ferromagnetismo (s.s) é o estado no qual a magnetização é resultante de uma ação de forças entre cátions adjacentes, que terminam por agrupar os elétrons em uma mesma direção, assim como os momentos magnéticos. As outras duas subdivisões do comportamento magnético dos materiais ferromagnéticos (s.l) são: ferrimagnetismo e antiferromagnetismo. Na primeira situação, os momentos magnéticos são antiparalelos e possuem intensidades variadas. Tal fato pode acontecer pela variação do conteúdo atômico da célula mineral. Na segunda situação, assim como na primeira, os momentos magnéticos são antiparalelos, porém a intensidade é a mesma.

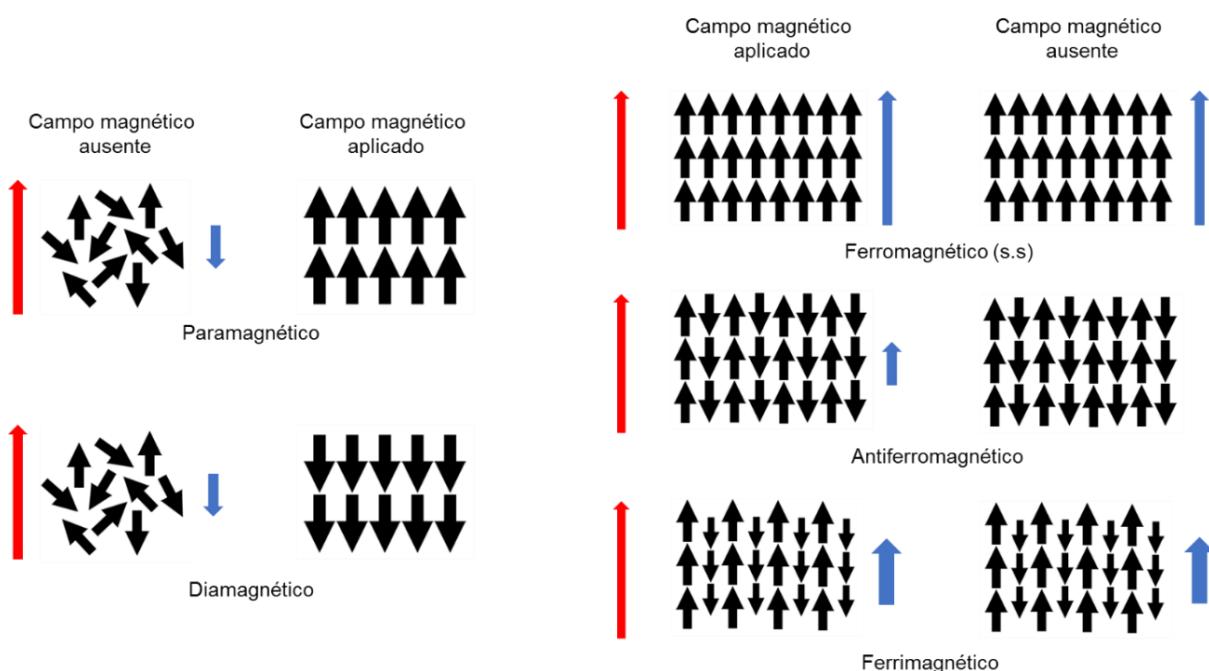


Figura 8: Disposição dos momentos magnéticos em cada comportamento magnético, com e sem a aplicação do campo magnético. Setas em vermelho: magnetização. Setas em azul: campo magnético aplicado.

Os minerais ferromagnéticos, conforme mencionado anteriormente, tem a propriedade de armazenar um valor de magnetização, a partir do campo magnético que foi submetido. Entretanto, o valor de magnetização é limitado até uma quantidade chamada de saturação da magnetização, ou seja, uma vez atingido um certo valor de magnetização, não há perda ou ganho e sim, a estabilização da magnetização.

Outra questão a ser ressaltada é a influência da temperatura nos materiais ferromagnéticos. Abaixo de uma determinada temperatura, o comportamento do material passa a ser paramagnético e não mais ferromagnético. Essa temperatura é chamada de temperatura de Curie, que rege, da mesma forma, a inversão do comportamento paramagnético para ferromagnético.

4. *Domínio magnético*

O domínio magnético é uma ferramenta importante na utilização da anisotropia de susceptibilidade magnética como um dado aproximado da petrotrama. Essa ferramenta é um volume definido com uma magnetização uniforme, que pode ser considerada como um momento magnético único e orientado. O aumento desse volume magnetizado auxilia a estabilização energética, melhorando a capacidade de formar outros domínios com seus respectivos momentos magnéticos (Tarling & Hrouda, 1993).

Existem dois tipos de domínio magnético que variam de acordo com o tamanho do mineral: domínio simples ou multi-domínio. O domínio simples refere-se a pequenos grãos como, por exemplo, pequenos grãos de magnetita que apresentam magnetização remanente somente com a aplicação de campos magnéticos de alta intensidade. No caso do multi-domínio, a referência é feita a grãos maiores que necessitam da aplicação de campos magnéticos de menor intensidade para apresentarem a magnetização remanente.

5. *Anisotropia de susceptibilidade magnética (ASM)*

Em situações nas quais há variação na composição química da rocha, defeitos na célula cristalina ou disposição específica de momentos magnéticos, pode haver a geração de um meio anisotrópico. Portanto, a susceptibilidade magnética (K) deixa de ser uma unidade escalar e passa a ser o resultado de uma matriz, como demonstrado na figura abaixo.

$$\begin{array}{ccc}
 \text{(Isotrópico)} & \longrightarrow & \text{(Anisotrópico)} \\
 M = K.H & & M_i = K_{ij}.H_j \\
 \text{com } M_i \text{ o valor da magnetização induzida na direção } i \text{ e } H_j \text{ o valor do campo} & & \\
 \text{magnético aplicado na direção } j \text{ (} i, j = 1, 2, 3 \text{)}. & &
 \end{array}$$

Figura 9: Esquema ilustrando a transformação da magnetização de unidade escalar para unidade matricial.

Portanto, K_{ij} é uma matriz simétrica de 2ª ordem, na qual a diagonal principal define a magnitude e as principais direções da susceptibilidade magnética. Os valores da diagonal principal (K_{11}, K_{22}, K_{33}) são representados em um elipsoide triaxial da anisotropia de susceptibilidade magnética, com $K_1 \geq K_2 \geq K_3$.

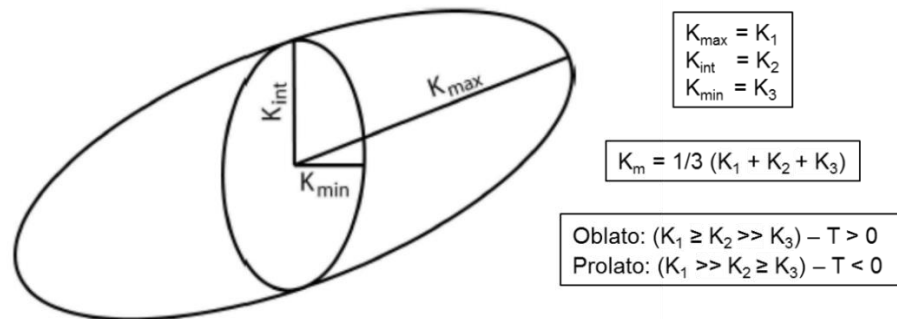


Figura 10: Elipsoide de anisotropia de susceptibilidade magnética (extraído de Mondou, 2010).

A forma do elipsoide é definida por dois parâmetros: parâmetro T e parâmetro P'. O parâmetro T (equação 2) é chamado de fator de forma e permite classificar o elipsoide em oblato ou prolato. Além disso, os valores variam entre -1 e 1. O parâmetro P' é chamado de grau de anisotropia e descrito conforme a equação 3 (Jelinek, 1981).

$$T = \frac{(\ln F - \ln L)}{(\ln F + \ln L)} ; F = \frac{K_2}{K_3} \text{ e } L = \frac{K_1}{K_2} \quad (2)$$

$$P' = \exp \sqrt{\{(\ln K_1 - \ln K_m)^2 + (\ln K_2 - \ln K_m)^2 + (\ln K_3 - \ln K_m)^2\}} \quad (3)$$

6. Anisotropia no mineral

A susceptibilidade magnética pode ser definida por dois tipos de anisotropia na escala do retículo cristalino: anisotropia magnetocristalina e anisotropia de forma.

A primeira situação é o principal tipo de anisotropia e é responsável por definir a anisotropia de susceptibilidade magnética do mineral. O valor de K é maior na direção dos eixos cristalográficos, porém, a variação da intensidade de K ao longo dos eixos gera a anisotropia. A anisotropia magnetocristalina é ressaltada em minerais como óxidos de titano-hematita, sulfatos e minerais paramagnéticos.

A anisotropia de forma está presente em todos os minerais, uma vez que a forma dos mesmos é irregular. Entretanto, a presença dessa anisotropia varia, de acordo com a intensidade da anisotropia magnetocristalina. A importância desse tipo está associada a minerais que foram gerados em um meio isotrópico, como é o caso da magnetita (Tarling & Hrouda, 1993).

7. Trama magnética e petrotrama

Dada a complexidade de se estabelecer a relação entre a trama magnética e a petrotrama, utiliza-se a magnetita presente em granitos, sejam eles, predominantemente, ferromagnéticos ou paramagnéticos.

A magnetita é caracterizada pelo alto valor de susceptibilidade magnética e anisotropia de forma, uma vez que, sua estrutura cristalina é isotrópica. Em um granito deformado, a magnetita orientada paralelamente à foliação e lineação, gera um elipsoide de anisotropia de susceptibilidade magnética concordante com a petrotrama (Bouchez, 1997). Portanto, a lineação e a foliação magnética são paralelas a lineação e foliação da rocha. Essa situação só é válida para a magnetita de multi-domínio, pois no caso da magnetita de domínio simples, o K_1 (lineação magnética) terá uma direção no elipsoide ASM, perpendicular ao maior eixo da magnetita, isto é, a foliação magnética será perpendicular à foliação da rocha.

Sendo assim, no caso de granitos contendo pirrotita e hematita, a anisotropia de susceptibilidade magnética é controlada pela anisotropia magnetocristalina. Com isso, o conjunto ASM será função da orientação preferencial dos eixos cristalográficos e o seu alinhamento na petrotrama. No caso de granitos paramagnéticos, a biotita e anfibólio são minerais mais importantes e com predomínio da anisotropia magnetocristalina. Isso porque, durante a deformação, ambos os minerais tendem a se orientar de forma paralela à lineação e foliação da rocha. O eixo c da biotita tende a ficar paralelo ao pólo do plano da foliação. No anfibólio, K_1 é perpendicular ao eixo c. Portanto, o elipsoide ASM para a biotita é equiparável à petrotrama.

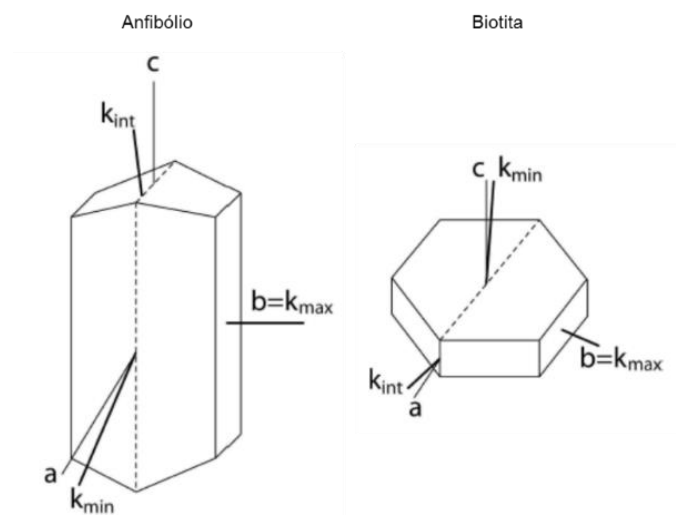


Figura 11: Associação entre os eixos cristalográficos e os eixos do elipsoide de ASM (extraído de Borradaile & Jackson, 2004).

C. Coleta e preparação de amostras para ASM

A coleta de testemunhos para a análise de anisotropia de susceptibilidade magnética é feita por meio de uma série de procedimentos, a começar pela perfuração na rocha. Utiliza-se uma perfuratriz portátil de motor dois tempos movido à gasolina, com uma broca diamantada em sua extremidade. Acoplada a perfuratriz, há um reservatório de óleo solúvel e água, que bombeia, mecanicamente, a solução para a extremidade da broca. Esse procedimento é fundamental para aumentar a lubrificação da broca, facilitar a perfuração e evitar o superaquecimento da broca.

Uma vez terminado o furo, com o testemunho ainda preso à rocha, orienta-se o mesmo com um dispositivo composto por uma bússola solar e magnética. Dessa orientação, toma-se as medidas de direção e mergulho do testemunho, com os valores já corrigidos em relação a declinação magnética (-21°).

Após a orientação, com o dispositivo ainda acoplado ao testemunho, registra-se o norte da amostra riscando a rocha com um fio de cobre. Retira-se o dispositivo e o testemunho e inicia-se um processo de identificação do norte e do topo do testemunho, utilizando uma caneta-piloto para fazer marcações na amostra.

A preparação de amostras para a anisotropia de susceptibilidade magnética consiste em colocar o testemunho em um porta amostra e deslizá-lo em direção a uma serra elétrica composta por dois discos diamantados. O testemunho é serrado do topo em direção a base, gerando espécimes cilíndricos com 2,5 cm de diâmetro por 2,2 cm de altura. A posição do espécime em relação ao topo e a base do testemunho é respeitada e, portanto, cria-se uma numeração crescente do topo para a base, em cada espécime, sendo essa, adequada a nomenclatura já usada no testemunho.

Uma vez identificado com a nova numeração, o espécime é orientado novamente, com riscos feitos a cada 90° , a partir da posição norte, definida ainda no campo. Essa nova marcação é feita para a manipulação das amostras no equipamento que irá medir a anisotropia, o Kappabridge KLY-4 (Agico - República Tcheca). Por fim, os espécimes são embalados em filme plástico PVC para evitar a disseminação de partículas no equipamento e, sua possível, contaminação.

Os espécimes acima mencionados, foram preparados no laboratório de preparação de amostras do IAG-USP. O tratamento dos mesmos foi feito no Kappabridge (KLY-4, Agico - República Tcheca), pertencente ao Laboratório de Paleomagnetismo do IAG-USP.

D. Petrografia

A petrografia é um método utilizado para a caracterização química e mineral da rocha, além de outros aspectos inerentes a mesma. A partir disso, é possível extrair diversos tipos de informação, dado o escopo do trabalho. Nesse caso, a identificação de aspectos microestruturais e texturais são os principais objetivos dessa análise complementar, além da identificação da assembleia mineral, aspecto fundamental para a definição do magnetismo da rocha.

A preparação de amostras para lâminas em seção delgada foi feita na Seção de Laminação do IGC-USP e sua descrição realizada na Sala de Microscopia do mesmo instituto. As fotos apresentadas no tópico de petrografia foram tiradas no Laboratório de Petrografia Sedimentar do IGC-USP, utilizando o microscópio Zeiss Axioplan 2, com aumentos de 2,5x, 5x e 10x.

E. Curvas Termomagnéticas

As curvas termomagnéticas representam a variação da susceptibilidade magnética com a temperatura. Portanto, é possível determinar as temperaturas de Curie e identificar os minerais responsáveis pela susceptibilidade.

Para essa análise são utilizadas 20g de amostra triturada em fração areia fina e o material é envolto em uma atmosfera de argônio para minimizar os efeitos da oxidação. O procedimento se inicia com o resfriamento do material em nitrogênio líquido até - 200°C e, em seguida, o aquecimento até a temperatura ambiente. Posteriormente, o material é aquecido até 700°C e resfriado até a temperatura ambiente. A medição da susceptibilidade é feita em intervalos de 3°C durante todo o processo de aquecimento e resfriamento final.

Os resultados expressados nas curvas indicam dois tipos de situação: trajetórias semelhantes ou distintas. Caso a trajetória de ambas seja semelhante, o mineral magnético não sofreu transformação durante o ciclo e as curvas são consideradas reversíveis. Por outro lado, se a trajetória de ambas for diferente, sugere-se que houve transformação da mineralogia durante o ciclo ou há uma combinação complexa de minerais ferromagnéticos. Além disso, as curvas são consideradas irreversíveis.

VI. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A. Anisotropia de Susceptibilidade Magnética

Foram analisados 14 sítios para a análise estrutural, o que resultou em um total de 207 espécimes. A medição da anisotropia de susceptibilidade magnética foi realizada no equipamento Kappabridge (KLY-4, Agico - República Tcheca) do Laboratório de Paleomagnetismo do IAG-USP. O tratamento dos dados foi realizado no software *Anisoft 42: Anisotropy data browser*, AGICO. A tabela 2 expõe os dados obtidos com a análise e o tratamento dos dados. A exposição gráfica desses dados se encontra em anexo.

Os valores médios de susceptibilidade variam entre $6,87 \times 10^{-5}$ e $6,04 \times 10^{-4}$ (SI). A figura 12 ilustra a distribuição dos valores de susceptibilidade, de onde é possível verificar que, o tonalito, de maneira geral, apresenta valores mais baixos de susceptibilidade magnética. Aproximadamente, 65% das amostras analisadas possuem valores de susceptibilidade variando entre $0,4 \times 10^{-4}$ e $1,6 \times 10^{-4}$.

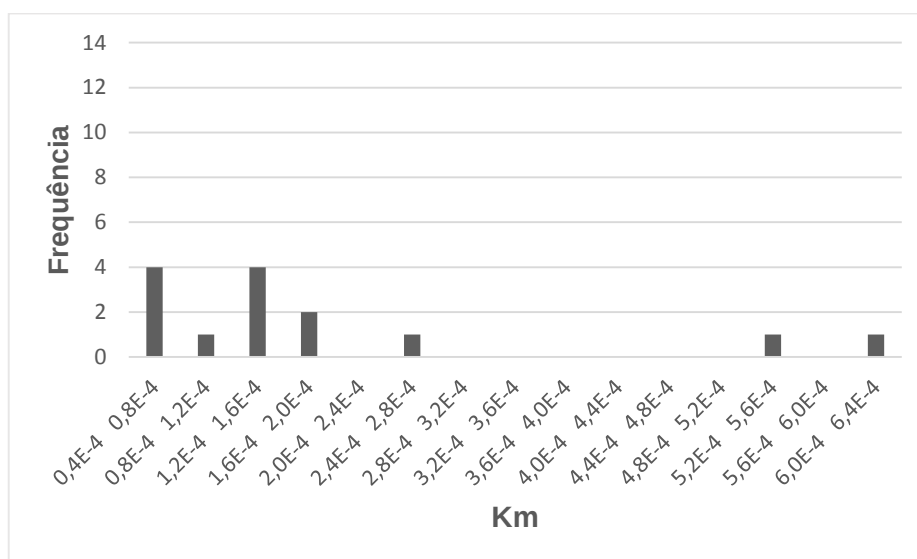


Figura 12: Histograma com os valores de susceptibilidade. O gráfico mostra que, em geral, o tonalito apresenta valores menores de susceptibilidade.

Outros dois parâmetros fundamentais para a análise são: grau de anisotropia (P) e o fator de forma (T). O primeiro, tem valores que variam entre 1,047 e 1,226. No caso do fator de forma, que irá definir se o elipsoide é oblato ou prolato, os valores variam de -0,068 a 0,848.

Na figura 13, observa-se a distribuição dos valores do fator de forma em relação ao grau de anisotropia das amostras. Verifica-se, portanto, que apenas um sítio, dentre os 14 amostrados, possui um elipsoide prolato.

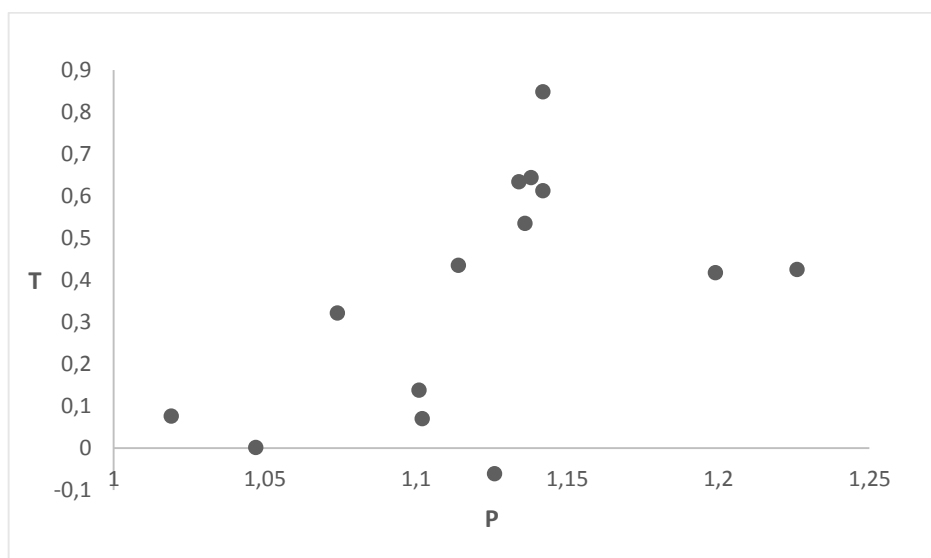


Figura 13: Gráfico que ilustra a relação entre a forma do elipsoide e o grau de anisotropia dos sítios amostrados.

As análises feitas em sítios localizados na porção sul do tonalito São Vítor (BP001, BP002, BP003), próximo às cidades de Campanário e Pescador, mostram que a lineação magnética do tonalito apresenta uma orientação, aproximadamente, N-S. O mergulho varia de sub-horizontal a horizontal, com valores oscilando entre 3,5 e 31,4° e caimento oscilando de norte para sul, como mostra a figura 14. A orientação da foliação magnética varia de N-S para NW-SE, com mergulho entre 14 e 57° que varia de E para NE (figura 14.A).

Sítio	N	E	N	Km	P	T	K ₁		K ₂		K ₃	
							Dec (°)	Inc (°)	Dec (°)	Inc (°)	Dec (°)	Inc (°)
BP001	12	214807	7973822	6,87E-05	1,101	0,138	12,1	31,4	109,2	11,4	216,7	56,1
BP002	16	233013	7976944	2,76E-04	1,047	0,002	175,3	27,8	27,1	58,2	273	14,2
BP003	16	215223	7973833	1,32E-04	1,142	0,613	152,4	3,5	59,9	35,5	247,2	54,3
BP004	18	227220	8003074	1,36E-04	1,114	0,435	42,3	18,9	177	64	306,3	17,1
BP005	16	215936	8029057	1,89E-04	1,126	-0,061	135,2	33,6	39,2	8,9	296,4	54,9
BP006	13	214307	8028315	4,28E-05	1,136	0,535	67,4	18,9	335,5	5,5	230	70,2
BP007	17	236930	8036751	5,36E-04	1,226	0,425	52,7	21	166,3	46,2	306,4	36,3
BP008	18	235650	8052918	1,17E-04	1,138	0,644	93,9	17,6	3,5	1,2	269,8	72,4
BP009	16	236134	8040538	7,88E-05	1,019	0,076	160,9	16,9	265	38,8	52,3	46,3
BP010	14	236169	8036497	1,55E-04	1,134	0,634	45,7	5,7	140,9	42	309,5	47,4
BP011	9	233767	8035416	5,07E-05	1,102	0,07	38,1	25,9	137,1	17,8	257,7	57,8
BP014	12	257692	8019714	1,98E-04	1,074	0,322	87,5	68,7	229,3	17	323,1	12,4
BP015	13	300565	8032851	1,51E-04	1,142	0,848	129,5	14,4	39,2	0,8	306,1	75,6
BP018	17	213972	8004346	6,08E-04	1,199	0,418	212,8	26,9	75,5	55,4	313,5	20,1

Tabela 2: Dados de Anisotropia de Susceptibilidade Magnética. N: número de espécimes por sítio. Km: susceptibilidade média. P: grau de anisotropia. T: parâmetro de forma. Dec (°): declinação. Inc (°): inclinação. K₁, K₂ e K₃: eixos máximo, intermediário e mínimo, respectivamente, do elipsoide de anisotropia de susceptibilidade magnética.

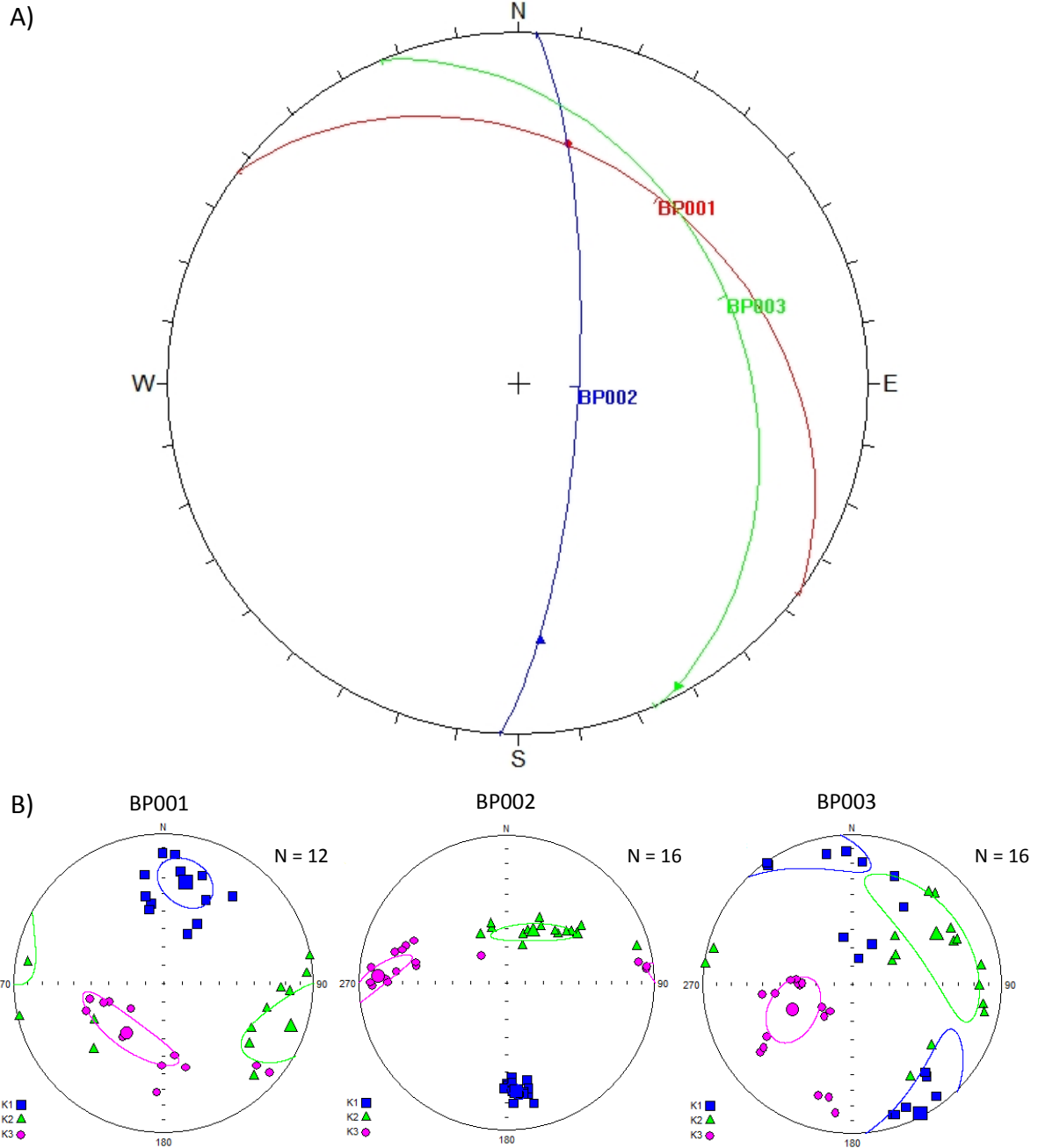


Figura 14: A: Foliação e lineação para cada sítio. A lineação está representada pelos símbolos com as cores de cada plano de foliação. B: Valores médios e elipsoide de confiança para K_1 (azul), K_2 (verde) e K_3 (rosa) para os sítios BP001, BP002 e BP003. N: número de espécimes analisadas no sítio. Valores em sistema de coordenadas geográficas.

A medida que se atinge a porção central da área do tonalito (sítio BP004), próximo a cidade de Itambacuri, verifica-se que a orientação da foliação magnética se desloca de NW-SW para NE-SW, com mergulho sub-vertical para SE.

A noroeste de Teófilo Otoni, nos sítios BP005 e BP006, o comportamento da lineação e foliação magnética varia de forma mais significativa, quanto a orientação. A lineação magnética apresenta uma orientação que varia de NE-SW a NW-SE, com um mergulho sub-

horizontal. A foliação nesses sítios possui orientação variando de NW-SE para NE-SW, com um mergulho sub-vertical (55 a 73°) para NE e SE, respectivamente.

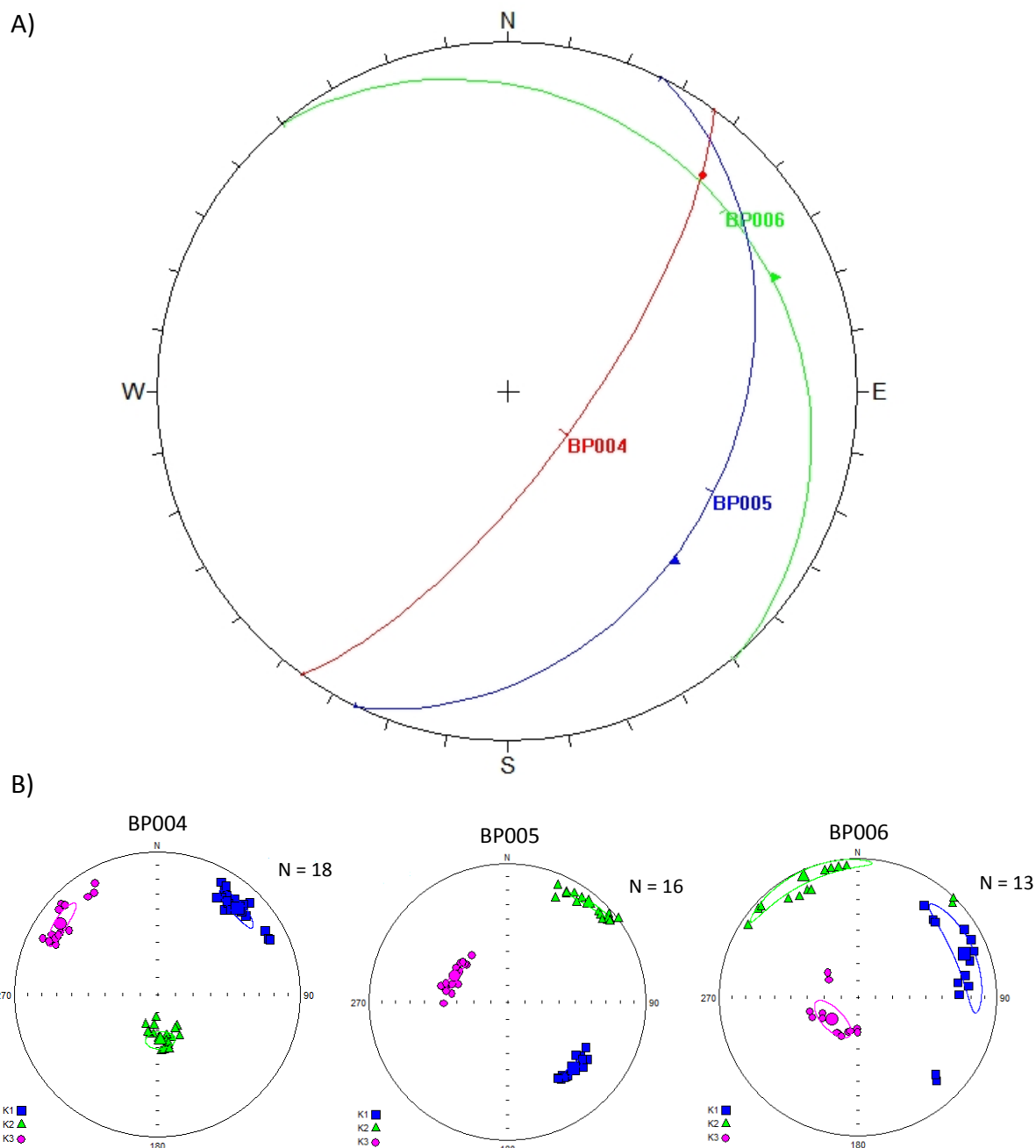


Figura 15: A: Foliação e lineação para cada sítio. A lineação está representada pelos símbolos com as cores de cada plano de foliação. B: Valores médios e elipsoide de confiança para K_1 (azul), K_2 (verde) e K_3 (rosa) para os sítios BP005 e BP006. Atentar para a variação da lineação magnética de NE-SW para NW-SE, assim como a variação de foliação magnética. N: número de espécimes analisadas no sítio. Valores em sistema de coordenadas geográficas.

A norte de Teófilo Otoni, nos sítios BP007, BP008, BP009, BP010 e BP011, a tendência é que a orientação da lineação magnética seja mantida, com um mergulho sub-horizontal para NE. Associado a isso, a foliação magnética apresenta uma orientação variando de N-S para NE-SW, com mergulho sub-vertical a sub-horizontal para E (sítios

BP008 e BP011) e SE (sítios BP007 e BP010). Apenas o sítio BP009 destoa do padrão apresentado (figura 16).

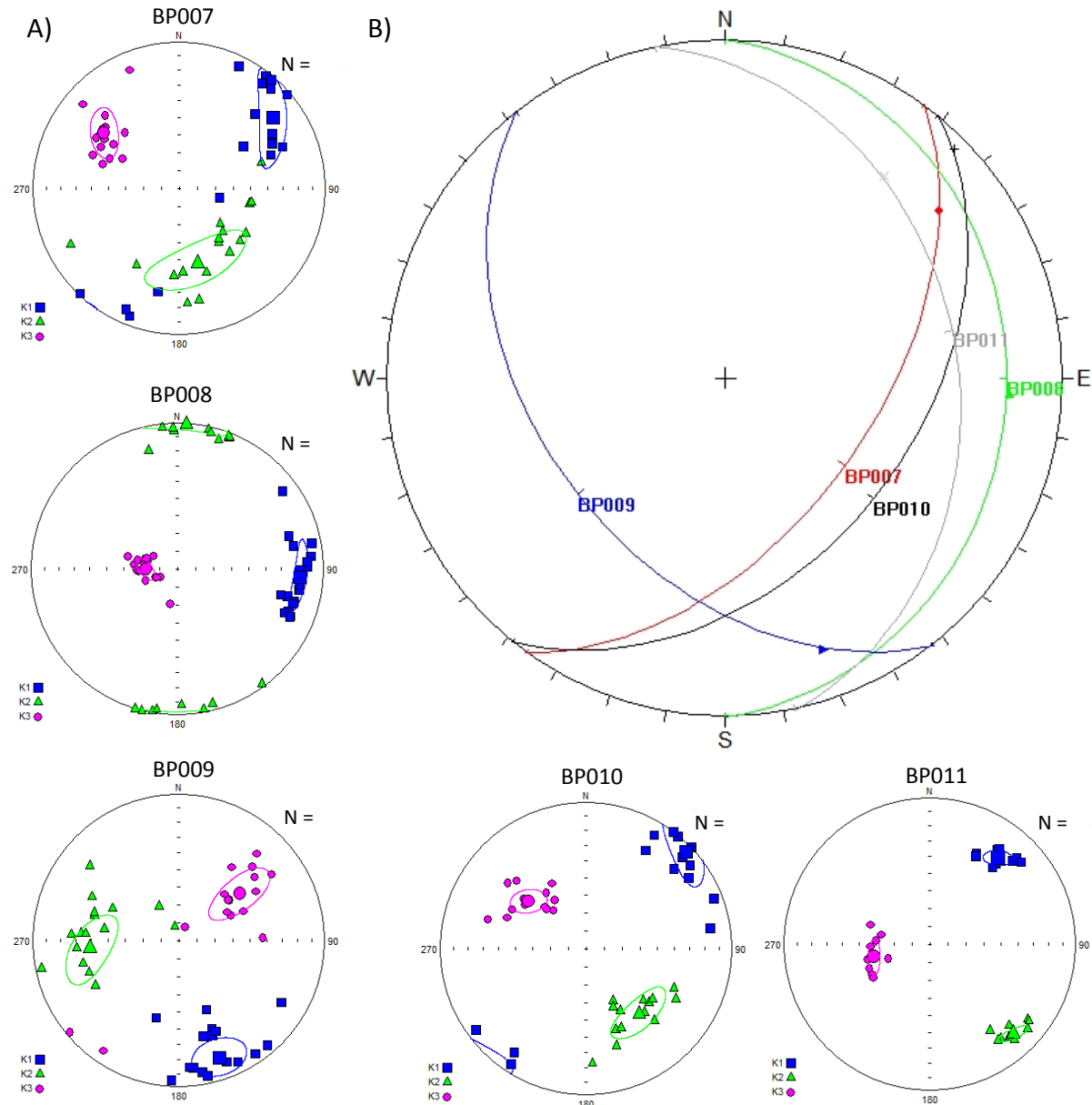


Figura 16: A: Valores médios e elipsoide de confiança para K₁ (azul), K₂ (verde) e K₃ (rosa) para os sítios BP007, BP008, BP009, BP010 e BP011. N: número de espécimes analisadas no sítio. Valores em sistema de coordenadas geográficas. B: Foliação e lineação para cada sítio. A lineação está representada pelos símbolos com as cores de cada plano de foliação.

Os sítios BP014, BP015 e BP018 foram analisados para criar uma base de comparação em relação a outros corpos graníticos e a encaixante. No caso dos sítios BP014 e BP015, esses pertencem ao Granodiorito Topázio e ao Leucogranito Carlos Chagas, respectivamente. A análise do sítio BP014 mostra que a foliação magnética apresenta um alto

mergulho para SE e orientação NE-SW e a lineação magnética, praticamente, vertical e mergulhando para E. No caso do sítio BP015, a foliação magnética é NE-SW e, praticamente, horizontal para NW. A lineação magnética desse sítio possui uma baixa inclinação, quase horizontal, e orientação variando de NE para SW.

O sítio BP018 localiza-se na Formação Tumiritinga, a rocha encaixante do Tonalito São Vítor. A foliação magnética apresenta um mergulho alto para SE e orientação NE-SW (figura 17). Já a lineação magnética dessa rocha, possui um mergulho que varia de sub-horizontal a horizontal, para SW.

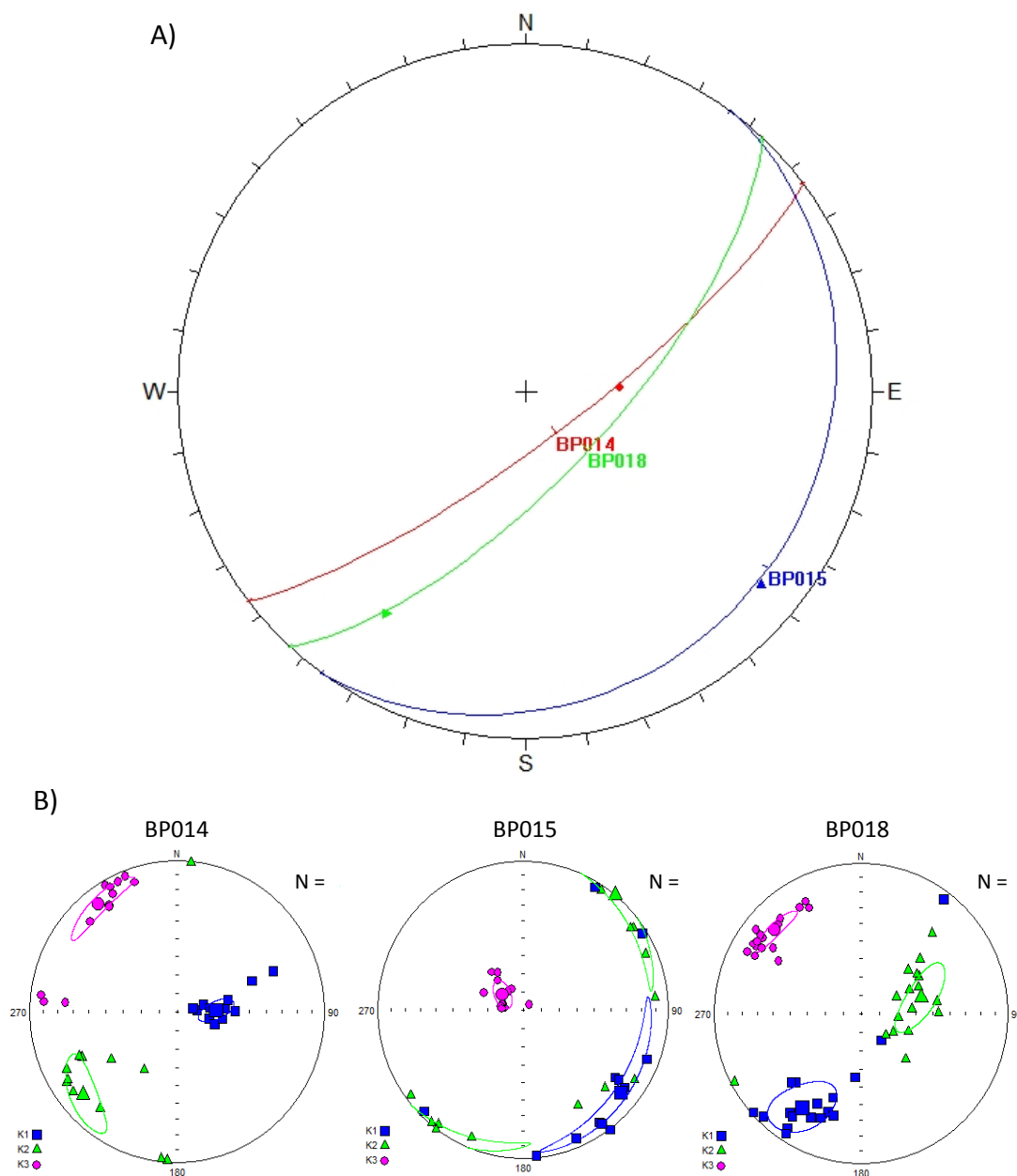


Figura 17: Valores médios e elipsoide de confiança para K₁ (azul), K₂ (verde) e K₃ (rosa) para os sítios BP014, BP015 e BP018. Atentar para disposição da lineação magnética e foliação magnética do sítio BP018, com uma indicação de uma possível transcorrência. N: número de espécimes analisadas no sítio. Valores em sistema de coordenadas geográficas.

B. Petrografia

Foram descritas 12 lâminas pertencentes ao Tonalito São Vítor. Trata-se de um corpo heterogêneo, com variações estruturais dada a extensão geográfica do corpo. Apresenta uma coloração branco-acinzentada a acinzentada, com estrutura, predominantemente maciça, porém, há ocorrências de estrutura foliada em escala de afloramento. A rocha possui textura inequigranular, com uma granulação, predominantemente, média a grossa, e os cristais variando entre 1 - 3 mm. Entretanto, em algumas situações pontuais, há cristais que destoam da assembleia principal, como no caso de grãos de granada e piroxênio. A mineralogia principal é formada por quartzo, plagioclásio, feldspato potássico, biotita e muscovita. Os minerais acessórios são constituídos, principalmente, por sillimanita, granada, clorita e piroxênio.

Os grãos de quartzo são, em sua maioria, hipidiomórficos, com algumas ocorrências de grãos xenomórficos. O contato com outros grãos é lobado e a granulação do quartzo varia entre fina e média (Figura 18.B). Por vezes, observa-se texturas de intercrescimento, tais como as texturas mirmequítica (intercrescimento com grãos de plagioclásio) (Figura 18.D) e micrográfica (intercrescimento com grãos de feldspato potássico). Há ocorrência de feições de recristalização dinâmica tais como a migração de borda, formação de sub-grãos, extinção ondulante (Figura 18.A) e alguns episódios de *bulging*. A concentração de quartzo nas amostras analisadas varia entre 15 e 30%.

Os grãos de plagioclásio (An₅₅₋₇₀) são hipidiomórficos, de granulação média a grossa, em sua maior parte, em contato lobado com os grãos adjacentes (Figura 18.E e 18.F). Verifica-se em algumas situações que os grãos de plagioclásio estão alterados, com ocorrência de “manchas” de muscovita crescidas sobre os grãos. Assim como mencionado anteriormente, observa-se o intercrescimento desses grãos com os grãos de quartzo. Além disso, são frequentes as geminações do tipo *Carlsbad* e *Albita*. A concentração de plagioclásio nas amostras varia entre 15 e 55%.

Os grãos de feldspato potássico (Figura 18.C) são hipidiomórficos, granulação varia de fina a média e o contato com os grãos adjacentes é lobado. Por vezes, observa-se a mesma alteração verificada nos grãos de plagioclásio, porém em menor proporção. Como citado anteriormente, há intercrescimento entre grãos de feldspato potássico (microclínio) e quartzo. Dentre as amostras descritas, apenas na amostras do sítio BP002 não foi encontrado microclínio. A concentração desses grãos varia entre 8 e 30%.

Os grãos de biotita são hipidiomórficos, de granulação fina a média e contato poligonal com grãos adjacentes. Observa-se na lâmina que, a biotita é posterior a assembleia formada pelos tectossilicatos. Portanto, toda a biotita cresce sobre esse grãos, com exceção do contato com a granada e com a muscovita. Outra feição marcante é que, em determinados sítios,

principalmente, a norte de BP001, a biotita define a foliação principal da rocha. A concentração varia entre 5 e 15%.

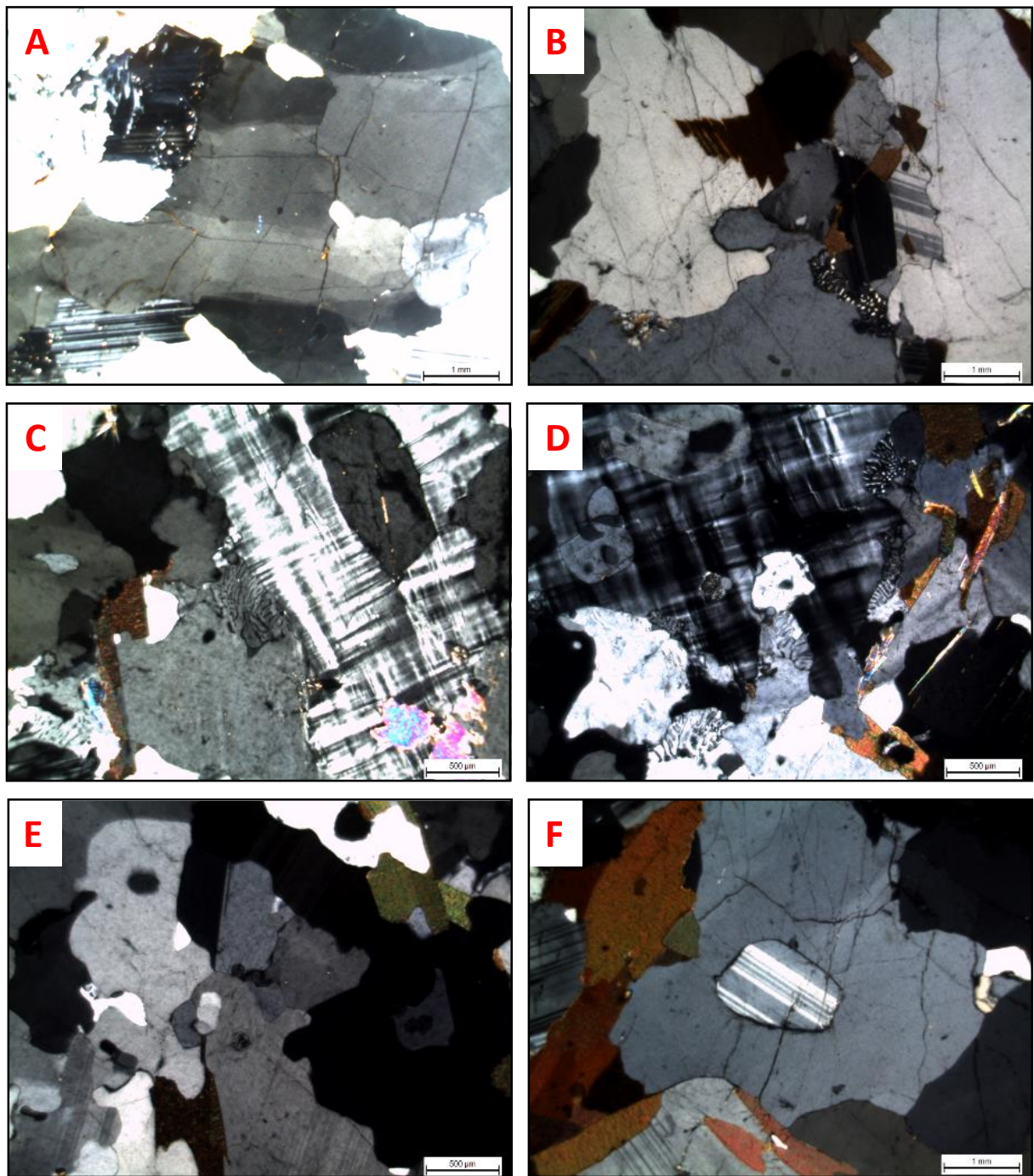


Figura 18: Seção delgada de amostras do tonalito São Vitor. A: Extinção ondulante em um grão quartzo. B: Contato entre os grãos de quartzo, plagioclásio e a biotita. C: Microclínio. D: Textura mirmequítica. E: Relação textural entre os grãos de quartzo e plagioclásio, com contato muito sinuoso entre os minerais. F: Grão de plagioclásio isolado em um grão de quartzo.

A muscovita é caracterizada nesse contexto por grãos hipidiomórficos, com granulação fina a média e contato irregular com grãos adjacentes. Da mesma forma que a biotita, a muscovita é posterior aos tectossilicatos e seu crescimento se dá sobre esses grãos. Há algumas situações na qual o grão de muscovita tem o seu corte na seção basal. Sendo assim,

é possível observar grãos de sillimanita bem orientados, dispostos sobre a muscovita. Na maior parte das lâminas analisadas, a muscovita é parte da assembleia principal. Entretanto, na amostra do sítio BP002, a muscovita aparece como mineral acessório. A concentração varia entre 2 e 10%.

Os grãos de granada são xenomórficos, de granulação média a grossa e sua distribuição pela lâmina não é associada a um mineral em particular. Assim como a biotita e a muscovita, a granada é posterior aos tectossilicatos. Posto isso, observa-se que os grãos de granada crescem sobre os tectossilicatos. Pontualmente, verifica-se um contato entre grãos de biotita e granada, um provável indicativo de consumo e geração de material. A granada ocorre, principalmente, como mineral acessório. Entretanto, na amostra BP001A do sítio BP001, a concentração atinge 8%. A concentração varia entre 1 e 2%.

Os grãos de sillimanita são idiomórficos, de granulação fina e sua ocorrência está sempre associada aos grãos de muscovita. Em todas as ocorrências do mineral, observa-se uma orientação, inclusive com a formação de arcos poligonais (Figura 19).

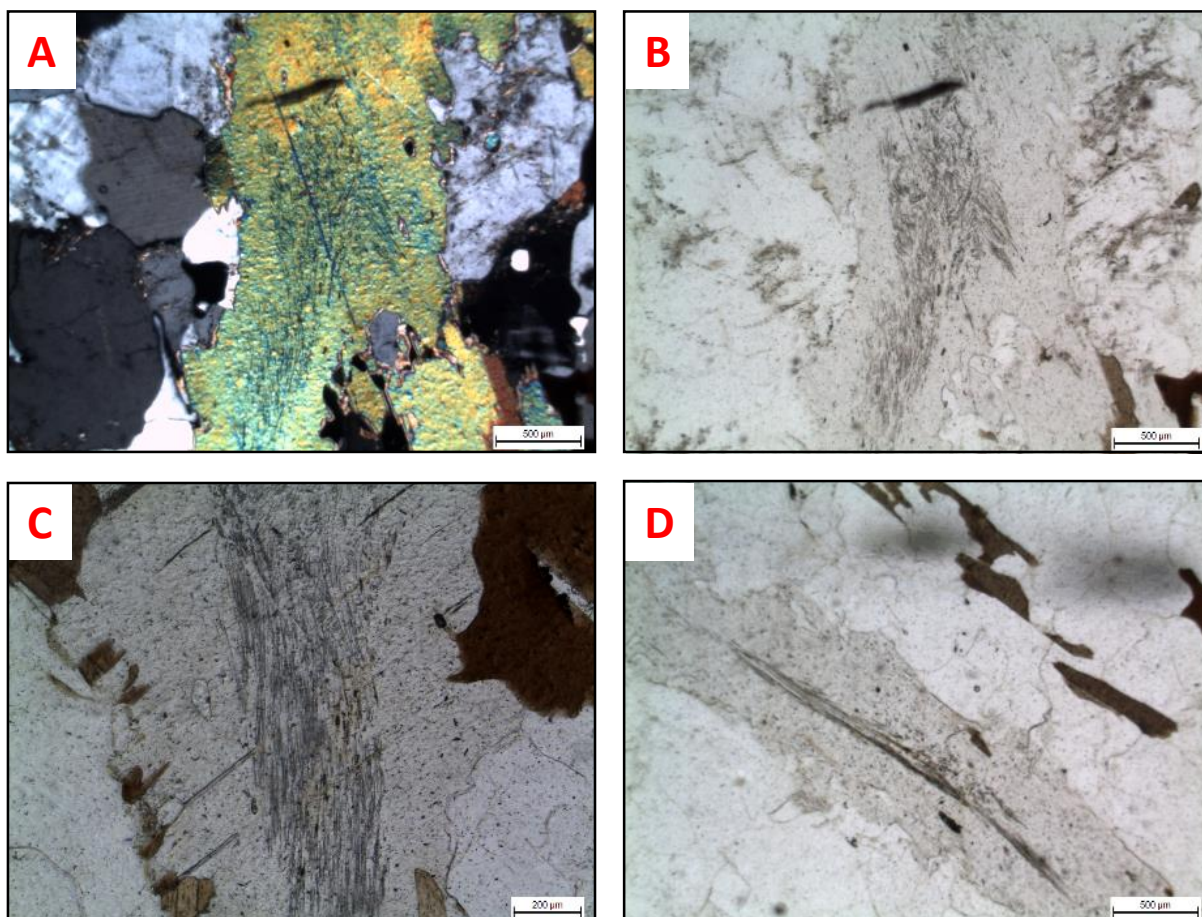


Figura 19: Crescimento da sillimanita sobre a muscovita em seção basal. A e B: disposição da sillimanita sobre a muscovita, com formação de arcos poligonais; C: Sillimanita sobre a muscovita, sem a formação de arcos poligonais.

Feito esse resumo da descrição das amostras em seção delgada, observa-se que, o Tonalito São Vítor apresenta variações mineralógicas, texturais e estruturais significativas, dada a localização geográfica do sítio. Contudo, não é possível afirmar que haja um determinado tipo de heterogeneidade ao longo de uma direção.

O que se pode afirmar é que existem indícios de deformação em estado sólido. Alia-se ao fato da biotita definir a foliação principal de amostras no sítio BP003, as feições de migração de bordas, *bulging*, formação de sub-grãos, extinção ondulante e textura mirmequítica. De acordo com Vernon (2004), a mirmequita é uma substituição de feldspato potássico em estado sólido associada a um estado de deformação. Soma-se a isso, o fato de que a geminação do microclínio está atrelada a presença de esforços.

A extinção ondulante também é outro indicativo da presença de um estado de tensões que deformou o mineral. Da mesma forma, a migração de bordas, *bulging*, formação de sub-grãos são indicativos de um estado de tensão que seria responsável pela deformação no estado sólido.

C. Curvas Termomagnéticas:

Foram elaboradas 6 curvas termomagnéticas, apenas como uma ferramenta adicional de estudo e análise do Tonalito São Vítor. Assim como é abordado e descrito na literatura, a mineralogia magnética do tonalito é fundamentada em um comportamento paramagnético. Da mesma forma, as curvas confeccionadas para esse trabalho reforçam essa ideia.

As curvas obtidas para o tonalito São Vítor em diferentes porções da área de estudo mostram que o comportamento das linhas durante o aquecimento e resfriamento é muito semelhante. Observa-se um decréscimo constante susceptibilidade normalizada durante todo o processo (figura 20).

Apenas a título de comparação, foi elaborada uma curva termomagnética para a rocha encaixante, a Formação Tumiritinga (sítio BP018). Diferentemente do tonalito São Vítor, a curva termomagnética apresenta uma queda brusca de susceptibilidade precedida de um pequeno aumento durante o aquecimento ($\sim 320^{\circ}\text{C}$). Além disso, durante o processo de resfriamento, há um aumento significativo da susceptibilidade, próximo a 580°C (figura 21).

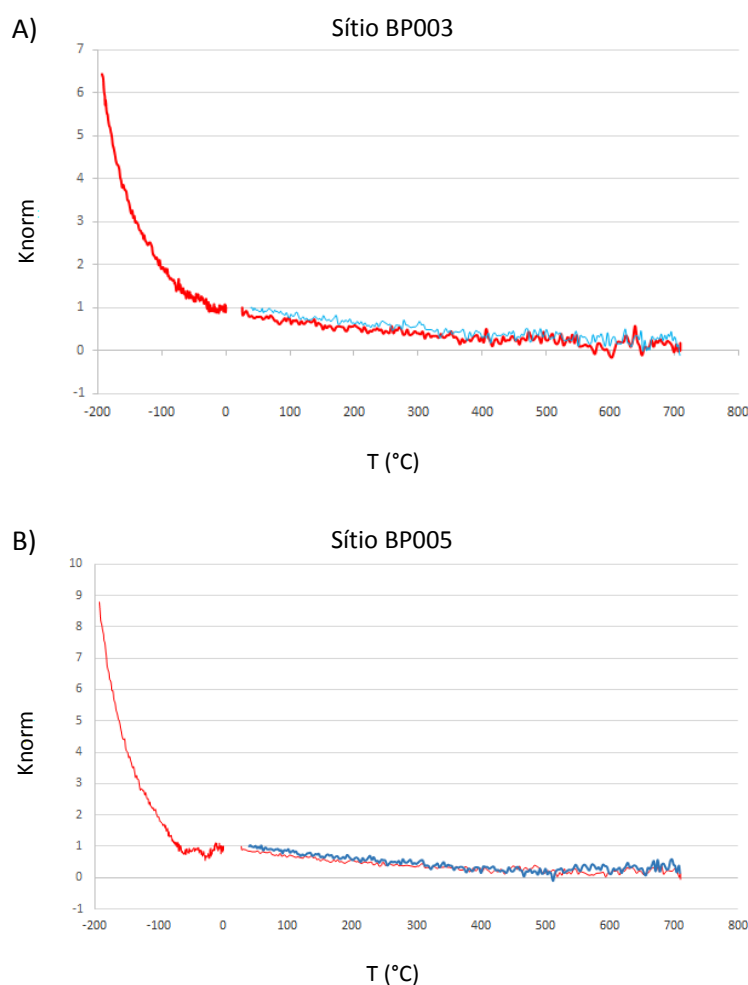


Figura 20: Curvas termomagnéticas do tonalito São Vítor em sua porção sul (BP003) e noroeste (BP005). As curvas em vermelho e azul referem-se, nessa ordem, aos períodos de aquecimento e resfriamento. K_{norm} : susceptibilidade normalizada.

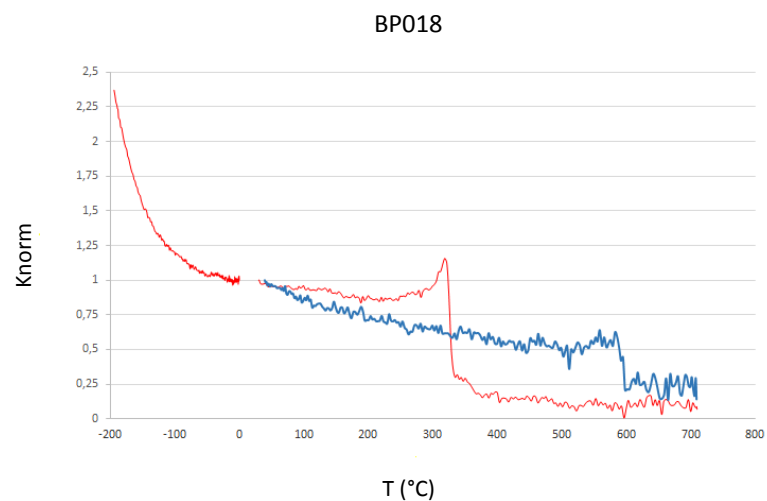


Figura 21: Curva termomagnética da Formação Tumiritinga. As curvas em vermelho e azul referem-se, nessa ordem, aos períodos de aquecimento e resfriamento. Knorm: susceptibilidade normalizada.

É interessante notar que ambas as temperaturas citadas anteriormente, estão associadas às temperaturas de Curie para pirrotita (~320°C) e magnetita (~580°C).

VII. CONCLUSÃO

O tonalito São Vítor é um corpo de grandes dimensões, o que favorece a heterogeneidade em diversos aspectos. No estudo em questão, essas diferenças são notadas tanto no aspecto composicional quanto no aspecto estrutural.

A mineralogia magnética é exceção no que diz respeito às variações observadas. Isso porque, dada a análise das curvas termomagnéticas, o tonalito São Vítor apresenta minerais com comportamento paramagnético nas diferentes porções.

Uma vez feita a descrição petrográfica, conclui-se que a rocha possui uma coloração branco acinzentada a acinzentada, granulação média a grossa e estrutura, predominantemente, maciça. Entretanto, observa-se a ocorrência de estrutura foliada em alguns sítios. A assembleia mineralógica principal é composta por quartzo, plagioclásio, feldspato potássico, biotita e muscovita. Os minerais acessórios são definidos, principalmente, por sillimanita, granada e clorita. O que se verifica em termos composicionais é que essa assembleia é, praticamente, a mesma em todos os sítios analisados. Contudo, a concentração varia frequentemente, a ponto da rocha não ser classificada, necessariamente, como um tonalito. A alta concentração de feldspato potássico em alguns sítios faz com que a rocha possa ser classificada como um granodiorito ou granito.

A presença recorrente de certas estruturas em escala microscópica, tais como extinção ondulante, migração de borda e formação de sub-grãos, é um forte indício de que o tonalito foi submetido a um estado de tensões, no estado sólido. Portanto, as estruturas verificadas em seção delgada são resultado de um evento deformacional posterior a colocação do corpo na região. Associado a isso, outra questão relevante, diz respeito à sillimanita e a geração de arcos poligonais. Tendo em vista às relações temporais observadas em seção delgada, a sillimanita seria posterior à assembleia principal. Entretanto, a sillimanita teria sido afetada pelo mesmo evento que gerou as microestruturas citadas acima, porém, em uma fase tardia.

Uma vez que esse estudo utilizou a petrografia como uma ferramenta auxiliar, não é possível afirmar de maneira eficaz a necessidade de uma redefinição do tonalito, seja na caracterização química e mineralógica ou no aspecto temporal. Apenas é possível compreender que a deformação do mesmo se deu no estado sólido, foi posterior a sua colocação e sua natureza mineralógica não está restrita ao tonalito apenas.

Por meio da anisotropia de susceptibilidade magnética verifica-se que o comportamento estrutural do tonalito sofre variações a medida que atinge a porção norte do corpo. A porção sul do tonalito apresenta uma foliação com orientação próxima a N-S sub-vertical e lineação também N-S sub-horizontal. Na faixa noroeste do corpo, essa foliação passa a ter, de forma geral, uma orientação NE-SW e sub-vertical e a lineação apresenta

direção perpendicular a foliação. Essa situação seria um indício de um contexto deformacional de cavalgamento com vergência para oeste. Esse padrão é mantido na porção norte do tonalito, com orientação da foliação variando de N-S para NE-SW e a lineação com direção perpendicular à foliação. De fato, nota-se que em alguns sítios a lineação possui a mesma orientação que a foliação. Isso acontece em sítios que estão próximos ao contato com a rocha encaixante, o que seria um indício de um movimento lateral. As medidas tomadas em outros corpos a título de comparação mostram que esse padrão deformacional com vergência para oeste se repete.

Isso posto, pode-se concluir que o padrão estrutural do tonalito São Vítor é resultado de uma tectônica de empurrões com vergência para oeste, isto é, com vergência para o cráton São Francisco. Portanto, dado esse padrão estrutural, é possível inferir que se trata de um corpo sin-tectônico ou sin-colisional, que pode ter sofrido influência de eventos deformacionais posteriores porém, de forma menos significativa.

VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Bouchez, J.L. 1997. Granite is never isotropic: an introduction to AMS studies of granitic rocks. In: J.L. Bouchez, D.H.W. Hutton & W.E. Stephens (eds.) *Granite: From Segregation of Melt to Emplacement Fabrics*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p.95-112.
- Borradaile, G. J. & Jackson, M. 2004. Anisotropy of magnetic susceptibility (AMS): Magnetic petrofabrics of deformed rocks. In: *Martin-Hernandez, F., Lüneburg, C.M., Aubourg, C., Jackson, M., (eds) 2004. Magnetic fabric: Methods and applications*, Geological Society, London, Special Publications, **238**, p.299–360.
- Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A.C., Campos-Neto, M.C., Silva, L.C., Trouw, R., Janasi, V.A. 2004. Brasiliano orogens in Southeast and South Brazil. In: (eds.) Weinberg, R., Trouw, R., Fuck, R., Hackspacher, P. The 750-550 Ma Brasiliano Event of South America. *Journal of the Virtual Explorer, Electronic Edition*, **17**, Paper 4.
- Heilbron, M., Duarte, B., Valeriano, C., Simonetti, A., Machado, N., Nogueira, J. 2010. Evolution of reworked paleoproterozoic basement rocks within the Ribeira belt (Neoproterozoic), SE Brazil, based on U-Pb geochronology: implications for paleogeographic reconstructions of the São Francisco-Congo paleocontinent. *Precambrian Research*, **178** (1-4): 136-148.
- Jelinek, V. 1981. Characterization of the magnetic fabric of rocks. *Tectonophysics*, **79**: T63-T67.
- Mondou, M. 2010. Structural and thermal evolution of synkinematic batholith from the Neoproterozoic Araçuaí hot orogen (Eastern Brasil). Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 217 p.
- Mondou, M., Egydio-Silva, M., Vauchez, A., Raposo, M.I.B., Bruguier, O., Oliveira, A.F. 2012. Complex, 3D strain patterns in a synkinematic tonalite batholith from the Araçuaí Neoproterozoic orogen (Eastern Brazil): Evidence from a combined magnetic and isotopic chronology studies. *Journal of Structural Geology*, **39**: 158-179.
- Oliveira, M.J.R., Pinto, C.P., Féboli, W.L., dos Santos, A. 2000. Projeto Leste – Relatório mapa integrado 1:500.000 – Geologia Estrutural e tectônica. CPRM – COMIG. Belo Horizonte.
- Pedrosa-Soares, A.C. & Wiedemann, C.M. 2000. The Araçuaí belt and its connection to the Ribeira belt: an evolutionary model. In: *Cordani, U.G., Thomaz-Filho, A., Milani, E. (eds). Tectonic Evolution of South America*. Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, p. 265-285.

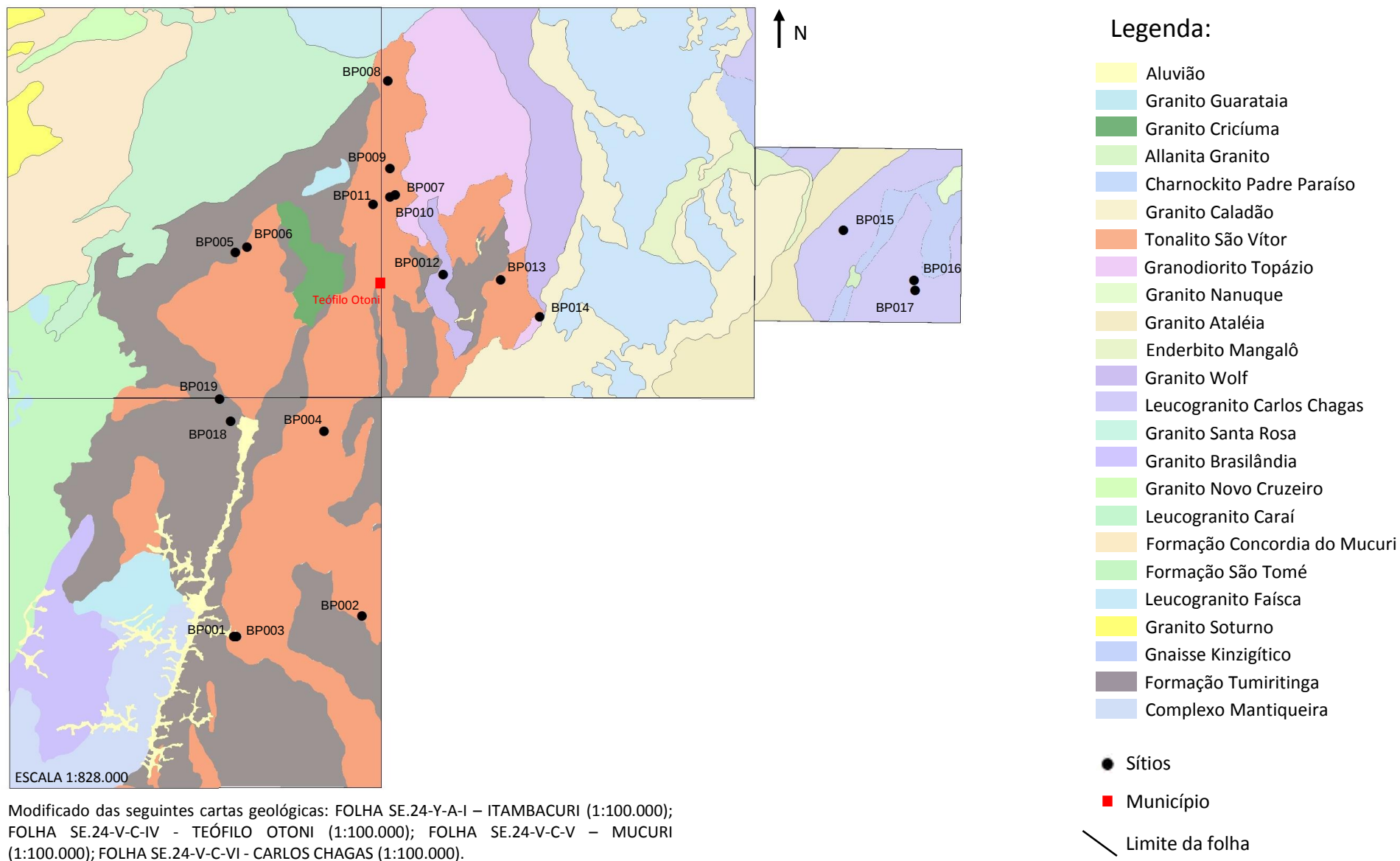
- Pedrosa-Soares, A.C., Noce, C.M., Alkmin, F.F., Silva, L.C., Babinski, M., Cordani, U.G., Castañeda, C. 2007. Orógeno Araçuaí: Síntese do conhecimento 30 anos após Almeida (1977). *Geonomos*, **15**: 1-16.
- Pedrosa-Soares, A.C. & Noce, C.M. 1998. Where is the suture zone of the Neoproterozoic Araçuaí-West-Congo orogen? *In: Conference on Basement Tectonics*, **14**, Ouro Preto, UFOP. Extended Abstracts. p. 35-37.
- Pedrosa-Soares, A.C., Alkmin, F.F., Tack, L., Noce, C.M., Babinski, M., Silva, L.C., Martins-Neto, M.A. 2008. Similarities and differences between the Brazilian and African counterparts of the Neoproterozoic Araçuaí-West Congo orogen. *The Geological Society of London, Special Publications*, **294**: 153-172.
- Pedrosa-Soares, A.C., Noce, C.M., Silva, L.C., Cordani, U.G., Alkmin, F.F., Babinski, M. 2005. Orógeno Araçuaí: Estágio atual de conhecimento geotectônico. In: 3rd Simpósio sobre o Cráton do São Francisco, Salvador, Brazil, Anais. Sociedade Brasileira de Geologia, Anais, p. 243-246.
- Pedrosa-Soares, A.C., Noce, C.M., Wiedemann, C.M., Pinto, C.P. 2001. The Araçuaí-West Congo Orogen in Brazil: an overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly. *Precambrian Research*, **110**: 307-323.
- Pedrosa-Soares, A.C., Vidal, P., Leonardos, O.H., Brito-Neves, B.B. 1998. Neoproterozoic oceanic remnants in Eastern Brazil: further evidence and refutation of an exclusively ensialic evolution for the Araçuaí West Congo Orogen. *Geology*, **26** (6): 519-522.
- Pedrosa-Soares, A.C., Wiedemann, C.M., Fernandes, M.L.S., Faria, L.F., Ferreira, J.C.H. 1999. Geotectonic significance of the Neoproterozoic granitic magmatism in the Araçuaí belt, Eastern Brazil: a model and pertinent questions. *Revista Brasileira de Geociências*, **29** (1): 59-66.
- Silva, L.C., McNaughton, N.J., Armstrong, R., Hartmann, L., Fletcher, I. 2005. The Neoproterozoic Mantiqueira Province and its African connections. *Precambrian Research*, **136**: 203-240.
- Tarling, D.H. & Hrouda, F. 1993. *The Magnetic Anisotropy of Rocks*. London, Chapman & Hall, 217p.
- Trompette, R. 1994. *Geology of Western Gondwana (2000-500 Ma)*. Balkema, Rotterdam, 350 p.
- Vaucher, A., Tommasi, A., Egydio-Silva, M. 1994. Self-indentation of a heterogeneous continental lithosphere. *Geology*, **22**: 967-970.
- Vaucher, A., Egydio-Silva, M., Babinski, M., Tommasi, A., Uhlein, A., Liu, D. 2007. Deformation of a pervasively molten middle crust: insights from the neoproterozoic Ribeira-Araçuaí orógeno (SE Brazil). *Terra Nova*, **19**: 278-286.

Vernon, R.H. 2004. A practical guide to rock microstructure. Cambridge University Press.
594p.

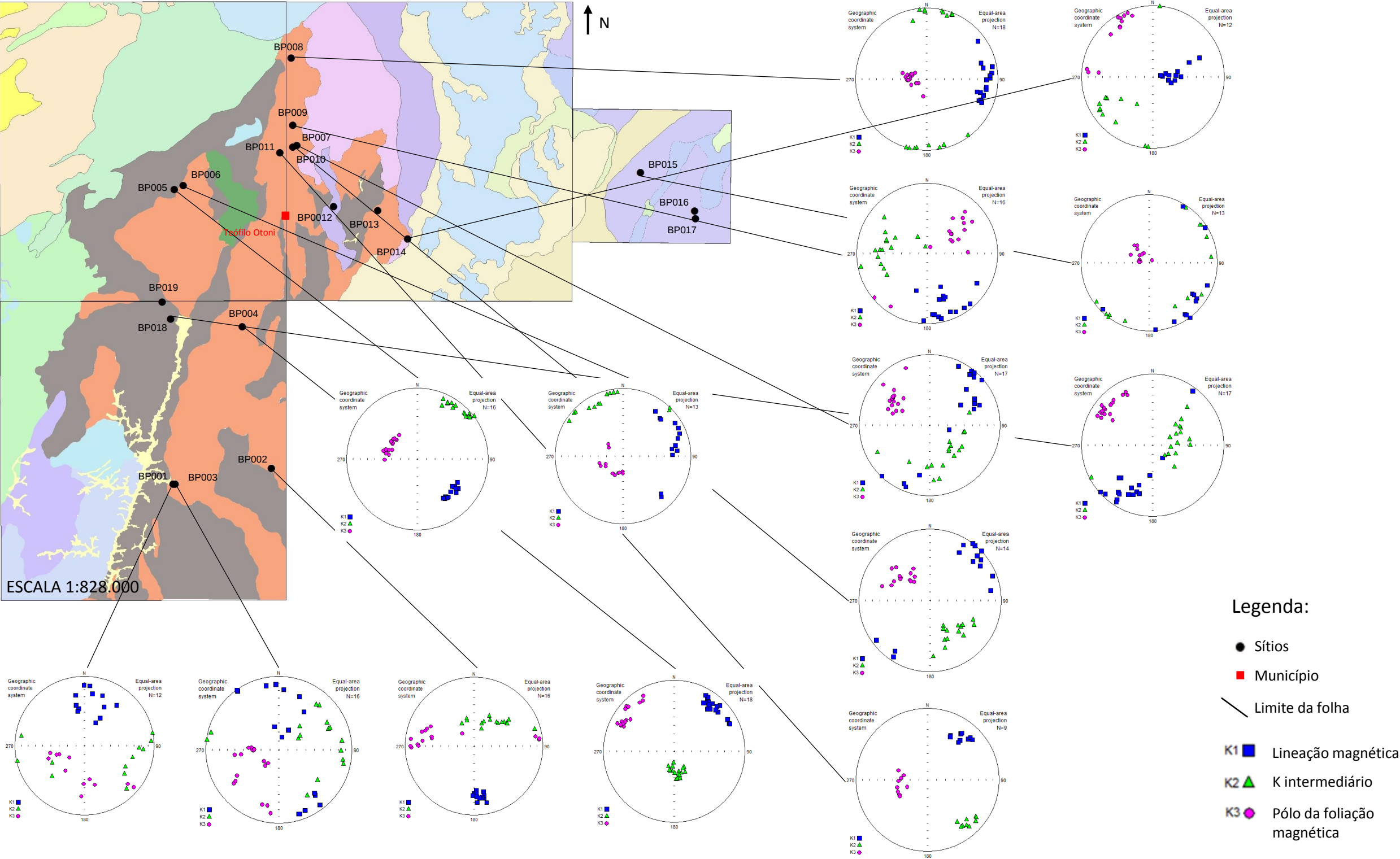
IX. ANEXOS

- 1) Mapa de pontos da área de estudo.
- 2) Mapa com distribuição das medidas de ASM na área de estudo.

MAPA DE PONTOS



Distribuição das medidas de ASM na área de estudo



Modificado das seguintes cartas geológicas:
FOLHA SE.24-Y-A-I – ITAMBACURI (1:100.000); FOLHA SE.24-V-C-IV - TEÓFILO OTONI (1:100.000); FOLHA SE.24-V-C-V – MUCURI (1:100.000); FOLHA SE.24-V-C-VI - CARLOS CHAGAS (1:100.000).

Litologia:

Aluvião	Granito Caladão	Granito Wolf	Granito Novo Cruzeiro	Granito Soturno
Granito Guarataia	Tonalito São Vitor	Leucogranito Carlos Chagas	Leucogranito Carai	Gnaiss Kinzigítico
Granito Cricúma	Granodiorito Topázio	Granito Santa Rosa	Formação Concordia do Mucuri	Formação Tumiritinga
Allanita Granito	Granito Nanuque	Granito Brasilândia	Formação São Tomé	Complexo Mantiqueira
Charnockito Padre Paraíso	Granito Ataléia	Enderbito Mangalô	Leucogranito Faisca	