

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Evolução metamórfica e microestrutural da Zona de Cisalhamento Serra do Azeite, limite
nordeste entre o Cráton Luís Alves e a Faixa Ribeira

Monografia de Trabalho de Formatura
(TF – 18/03)

Bianca Maia Nardelli Escobosa
Orientador: Prof. Dr. Frederico Meira Faleiros

São Paulo
2018

De Acordo:

Aluna: Bianca Maia Nardelli Escobosa

Orientador: Prof. Dr. Frederico Meira Faleiros

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente a Deus, pela minha vida e por todos esses anos de geologia.

Aos meus pais, Alexandre e Márcia, por terem me proporcionado tudo para que eu concluísse esse curso, por cuidarem de mim, e por me amarem tanto. Sem vocês a minha realização pessoal e profissional não seria possível.

Agradeço ao meu irmão, Fernando, pelos conselhos e pelo carinho por mim.

Agradeço ao meu namorado, Fernando, pelo companheirismo, pelo cuidado e por sempre estar presente, mesmo nas dificuldades nesse ano. Seu incentivo foi essencial.

Agradeço ao meu orientador, Frederico, por ser atencioso durante todo esse ano, pela paciência e conhecimento transmitido. Espero que continuemos trabalhando em pesquisas incríveis pela geologia.

Agradeço aos meus amigos Paleotocas, Bruna (Kef), Gabriel (Xuca) e Júlia, por me acompanharem nessa jornada geológica, pelas aventuras e experiências de vida que passamos juntos. E ao nosso agregado, Igor (Malcriado), pela amizade e por toda ajuda que você e sua namorada (Kef) me deram durante esse ano de Trabalho de Formatura.

Agradeço ao Bilbo, meu melhor amigo, por nossa amizade sincera.

Aos meus amigos da Geologia, e já peço perdão por não conseguir citar todos, mais saibam que todos participaram dessa história e me deixaram uma marca especial: Tutu, Fernanda (Porca), Ingrid, Brioco, Carioca, Juliana, Edu (Mendigo), Akira, Carol, Beatriz da Espanha, Chicó.

Agradeço ao meu amigo de Manaus, Jon, que apesar da distância, é um amigo muito querido e especial.

Agradeço à família Ramboll, pelas oportunidades e pelo crescimento profissional. Em especial ao Matheus Roldan, meu tutor, e aos meus amigos Gabriel e Eric.

Agradeço aos professores da Geologia, pelas orientações e ensinamentos dados durante todos esses anos, em especial ao Renato Moraes, e sua contribuição por meio do financiamento da FAPESP, sua ajuda foi essencial para esse trabalho de formatura.

Cada um de vocês marcou minha vida, meu ano, e esse trabalho de alguma forma. Muito obrigada por fazerem parte da minha jornada!

RESUMO

A Zona de Cisalhamento Serra do Azeite (ZCSA) é uma estrutura vertical maior que representa o limite nordeste entre o Cráton Luís Alves e a Faixa Ribeira, podendo ser considerada como uma das estruturas principais da Faixa Ribeira Meridional. É constituída por rochas paleoproterozoicas do Complexo Serra Negra, pertencente ao Cráton Luís Alves, como gnaisses graníticos e granulitos que foram transformados em milonitos a ultramilonitos durante o Ciclo Brasileiro, no final do Neoproterozoico. Este trabalho apresenta novos dados estruturais e microestruturais coletados em uma área-chave onde aflora a ZCSA, na região de Barra do Turvo, extremo sul do Estado de São Paulo. As evidências petrográficas e microestruturais indicam que as rochas de alto grau do Complexo Serra Negra passaram por retrometamorfismo em condições de fácies xisto-verde, com temperaturas que aumentam de 300 a 500°C aproximadamente, em direção ao limite norte da ZCSA. As características estruturais indicam foliações miloníticas de direção E-W a NE e lineações de estiramento mineral com caimento para E, com indicadores cinemáticos sinistrais. Essas relações geométricas indicam que a ZCSA é uma zona de cisalhamento oblíqua com uma componente normal de topo para E-SE e outra componente direcional sinistral, compatível com caráter transtensivo sinistral, dentro de um contexto tectônico de uma zona de transpressão que ocorre regionalmente na Faixa Ribeira. Com os resultados petrológicos e microestruturais obtidos neste trabalho é possível concluir que o retrometamorfismo ocorreu em condições de alto fluxo de fluidos, provocando hidrotermalismo das rochas do Complexo Serra Negra que foram colocadas em contato com rochas de alto grau da Formação Turvo Cajati, durante o Ciclo Brasileiro.

ABSTRACT

The Serra do Azeite Shear Zone (SASZ) is a major vertical structure that represents the northeastern boundary between the Luís Alves Craton and the Ribeira Belt, and it can be considered as one of the main structures of the Southern Ribeira Belt. It consists of Paleoproterozoic rocks of the Serra Negra Complex, belonging to the Luís Alves Craton, as granitic gneisses and granulites that were transformed into mylonites and ultramylonites during the Brasiliano Cycle at the end of the Neoproterozoic. This work presents new structural and microstructural data collected in a key area where the SASZ emerges, in the region of Barra do Turvo, in the southernmost portion of the São Paulo State. The petrographic and microstructural evidence indicates that the high-grade rocks of the Serra Negra Complex underwent retrograde metamorphism in greenschist facies conditions, with temperatures increasing from approximately 300 to 500°C, towards the northern boundary of the SASZ. The structural characteristics indicate mylonitic foliations of direction E-W to NE and E-plunging mineral stretching lineations, with sinistral kinematic indicators. These geometric relationships indicate that the SASZ is an oblique shear zone with a top-to-the-E-SE normal component and a sinistral directional component, compatible with a sinistral transtensional structure, inside a tectonic context of a regional transpressional zone in the Ribeira Belt. With the petrologic and microstructural results obtained in this work it is possible to conclude that the retrograde metamorphism occurred in conditions of high fluid flow, causing hydrothermalism of the rocks of the Serra Negra Complex that were placed in contact with high grade rocks of the Turvo Cajati Formation during the Brasiliano Cycle.

Sumário

RESUMO	4
ABSTRACT	5
1.INTRODUÇÃO	7
2.OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA	8
3.TRABALHOS PRÉVIOS	9
4.MATERIAIS E MÉTODOS	10
4.1. Levantamento Bibliográfico	10
4.2. Trabalho de Campo	10
4.3. Confeção de mapas e perfis	11
4.4. Petrografia e Microtectônica	11
5.RESULTADOS OBTIDOS	16
5.1. Descrições petrográficas e microestruturais	16
5.2. Análise estrutural macroscópica	24
6.INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	25
7.CONCLUSÕES	27
8.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

1.INTRODUÇÃO

A Zona de Cisalhamento Serra do Azeite está localizada no sul do Estado de São Paulo e leste do Paraná, próxima às cidades de Cajati, Barra do Turvo, e Tunas do Paraná. É responsável pelo contato entre a porção nordeste do Cráton Luís Alves e a Faixa Ribeira Meridional (Figura 1; Faleiros et al., 2011, 2016). Sua provável continuação ao sudoeste, até o contato com rochas da Bacia do Paraná (Paleozoico), seria dada pela Zona de Sutura Piên, dominada por granitoides calcialcalinos ediacaranos (620-550 Ma) do Complexo Rio Piên (Harara, 2001; Passarelli et al., 2018).

O contexto tectônico de formação da Zona de Cisalhamento Serra do Azeite é muito controverso, devido, principalmente, aos poucos dados geológicos disponíveis na literatura. Alguns autores interpretam a estrutura como um registro de tectônica transtensional associada a uma zona de transpressão em larga-escala que teria atuado em toda a Faixa Ribeira (Dehler et al., 2000, 2007; Machado et al., 2007). Outros autores a interpretam como uma zona de transcorrência sinistral que teria atuado como rampa lateral, juntamente com a Falha Lancinha-Cubatão (dextral), para um sistema de nappes com transporte tectônico para oeste no Terreno Curitiba da Faixa Ribeira (Faleiros et al., 2011, 2016). Entretanto, estudos focados na zona de cisalhamento só foram realizados em uma área muito restrita em sua porção extremo nordeste (Dehler et al., 2000, 2007), e sua expressão regional ainda carece de mais estudos. Mais especificamente, dados sobre as condições metamórficas, deformacionais e nível crustal de exposição nunca foram abordados em trabalhos prévios.

Assim, este Trabalho de Formatura adicionará informações que poderão ajudar no avanço do conhecimento científico sobre a Zona de Cisalhamento Serra do Azeite e seu significado tectônico. A figura 1 apresenta o contexto tectônico em mapa, bem como a localização da área de estudo.

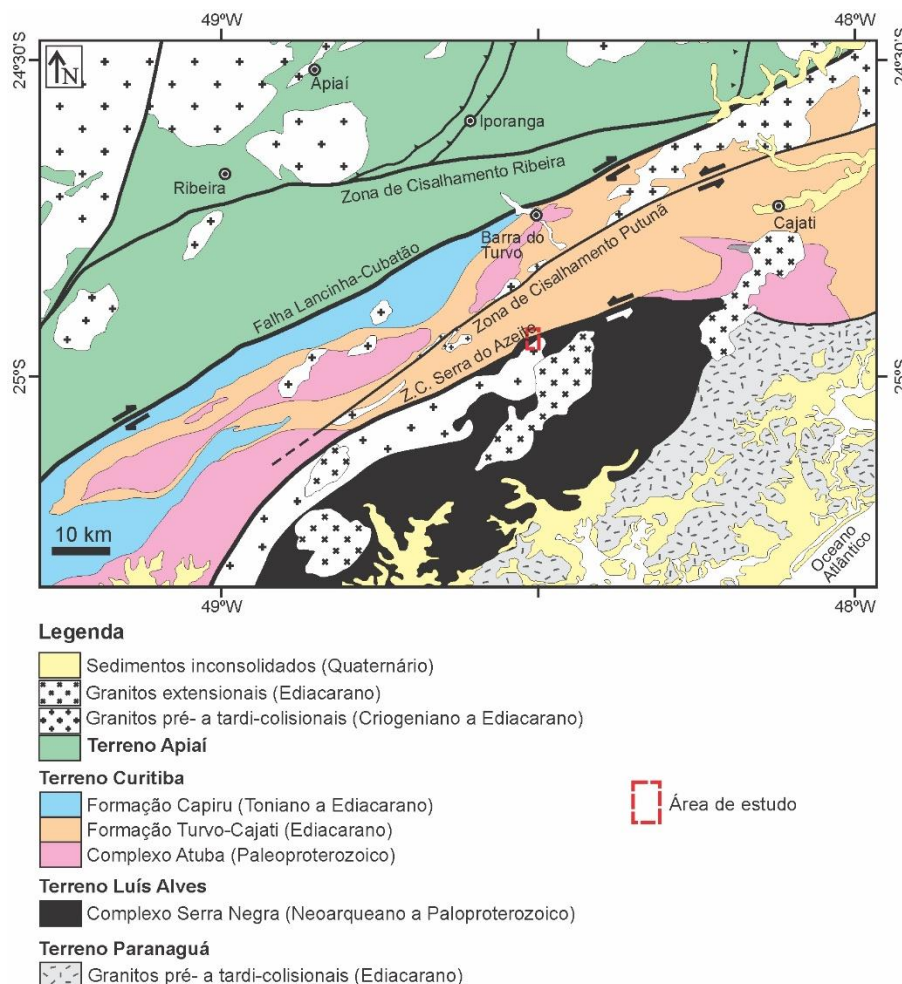


Figura 1: Mapa geológico simplificado, com a localização da área de estudo. Adaptado de Faleiros et al. (2016).

2.OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

Este trabalho tem como objetivo o estudo geológico de detalhe de uma área-chave da Zona de Cisalhamento Serra do Azeite, na região de Barra do Turvo, visando investigar sua história cinemática e o padrão metamórfico imposto pela deformação em gnaisses e granulitos paleoproterozoicos do Complexo Serra Negra (Cráton Luís Alves), na zona de contato com a Faixa Ribeira Meridional.

Com os resultados obtidos neste trabalho, será possível aumentar os dados referentes à região, e ajudar a sanar as divergências que ocorrem entre as interpretações tectônicas sobre a Zona de Cisalhamento Serra do Azeite.

3. TRABALHOS PRÉVIOS

A Faixa Ribeira está localizada paralela à costa brasileira sudeste que, durante a Orogenia Brasileira-Pan-Africana, no Neoproterozoico e início do Paleozoico, foi amalgamada, deformada e metamorfozizada. Assim, é caracterizada como um complexo orógeno colisional, resultante das colisões oblíquas entre os crátons Congo, Paranapanema e São Francisco, durante a formação do continente Gondwana Ocidental (Brito Neves et al., 1999; Campanha e Brito Neves, 2004; Fuck et al., 2008).

Esse cinturão é constituído em sua porção meridional pelo Terreno Curitiba a sul da Falha Lancinha-Cubatão, e o Terreno Apiaí a norte (Figura 1). O Terreno Curitiba é delimitado a sul pela Zona de Cisalhamento Serra do Azeite – alvo deste Trabalho de Formatura, e em contato com o Terreno Luís Alves (Figura 1), sendo este, um fragmento cratônico arqueano a paleoproterozoico (ca. 2720-2000 Ma) não afetado pela orogenia Brasileira-Pan-Africana (Basei et al., 1998).

O Terreno Apiaí é constituído por sucessões de rochas metavulcanossedimentares e metassedimentares de fácies xisto-verde a anfíbolito, dominado por unidades de idade calimiana (1470-1500 Ma; Formação Água Clara, Grupo Votuverava, Sequência Serra das Andorinhas) e, subordinadamente, idades esteniana a toniana (1200-880 Ma; Grupo Lajeado) e ediacarana (630-575 Ma; Grupo Itaiacoca, Formação Iporanga) (Campanha & Sadowski, 1999; Basei et al., 2008; Campanha et al., 2008, 2015, 2016; Siga Júnior et al., 2009; Forero-Ortega, 2018). O Terreno Curitiba é formado por rochas de embasamento dominadas por gnaisses bandados e, por vezes, migmatizados em condições de fácies anfíbolito alto, de idade riaciana a orosiriana (2200-2000 Ma; Complexo Atuba), e rochas metassedimentares neoproterozoicas, metamorfozizadas em condições de fácies xisto-verde (Formação Capiru) e xisto-verde a granulito (Formação Turvo-Cajati) (Sato et al., 2003; Faleiros et al., 2011, 2016). O Terreno Luís Alves, no sul do Estado de São Paulo, é constituído por rochas do Complexo Serra Negra, incluindo gnaisses e granulitos básicos e intermediários (Silva & Algarte, 1981; Basei et al., 1992, 1998; Passarelli et al., 2018) heterogeneamente retrometamorfozizados em condições de fácies xisto-verde superior a anfíbolito (Faleiros et al., 2012). Esses terrenos foram intrudidos por corpos graníticos de idade ediacarana da Suíte Graciosa (e.g., Gualda & Vlach, 2007; Vlach et al., 2011).

A Zona de Cisalhamento Serra do Azeite é interpretada como a responsável pelo contato nordeste entre o Cráton Luís Alves e a Faixa Ribeira, e afeta rochas muito diferentes como granulitos máficos e félsicos, anfíbolitos, metapelitos (restritos) e rochas graníticas, causando um

metamorfismo fortemente heterogêneo (Faleiros et al., 2012). Em termos geotectônicos essa zona de cisalhamento é muito importante, podendo representar um antigo limite entre placas tectônicas (Basei et al., 1992, 2008) ou uma zona de escape lateral pós-colisional (Faleiros et al., 2011, 2016).

Faleiros et al. (2011, 2016) e Dehler et al. (2007), possuem contribuições recentes sobre o estudo tectônico e metamórfico da área em questão, mas afirmam que ainda não existem estudos suficientes para uma conclusão mais precisa. Dehler et al. (2007) interpretam que as estruturas do Terreno Curitiba tinham relação com uma zona de transpressão em larga-escala, e que resultaram em uma deformação transtensional local, associada a uma extrusão lateral direcional (Dehler et al., 2007), enquanto Faleiros et al. (2011, 2016) concluem que a deformação principal foi acomodada por cavalgamentos com transporte tectônico para oeste, limitados por duas transcorrências regionais de cinemáticas opostas, Lancinha-Cubatão (dextral) e Serra do Azeite (sinistral), que teriam atuado como rampas laterais. Machado et al. (2007) sugerem que as deformações em contexto convergente ligadas às zonas de cisalhamento neoproterozoicas dos cinturões Ribeira e Araçuaí foram contemporâneas a um processo tectônico regional de extensão (transtensão), em escala continental.

4.MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Levantamento Bibliográfico

Durante todo o Trabalho de Formatura foram pesquisadas referências bibliográficas em livros e publicações de revistas científicas que ajudaram no entendimento e interpretação dos dados obtidos referentes à Zona de Cisalhamento Serra do Azeite.

4.2. Trabalho de Campo

Preliminarmente, foram elaborados mapas para auxílio no campo, de topografia e imagem de satélite da área de estudo na escala de 1:25.000, e o uso do mapa geológico da folha Eldorado Paulista (SG.22-X-B-VI) na escala 1:100.000 (Faleiros & Pavan, 2013). Para isso foram utilizados os softwares Arcgis (ESRI 2014), QGIS (2018), Terra Incógnita e banco de imagens de satélite do Google.

Foi realizado um trabalho de campo entre os dias 23 e 25 de abril de 2018, para coleta de dados estruturais, petrológicos e amostras orientadas para ensaios laboratoriais, para caracterização das heterogeneidades ao longo da Zona de Cisalhamento Serra do Azeite. Foi realizado um perfil

na estrada que ligada a BR-116 (km 551) à cidade de Barra do Turvo, podendo ser visualizado no mapa de pontos, na Figura 2.

A etapa de coleta de dados foi feita com auxílio de GPS com sistema de coordenadas em UTM (*datum* WGS 1984). Durante os dias de trabalho de campo, foi utilizado um veículo S-10 de placa FWC- 2741 fornecida pelo Instituto de Geociências, facilitando o deslocamento e transporte de amostras.

Foram descritos em campo vinte pontos, utilizando nomenclatura BE-XX, onde XX indica a numeração do ponto em ordem de caminhamento e BE as iniciais do nome da autora. Em alguns pontos foi feito um detalhamento maior, sendo subdividido em letras em ordem alfabética ao final do nome do ponto. No trabalho de campo utilizou-se o martelo petrográfico, lupas de 10x, imã e canivete. A obtenção de medidas estruturais foi realizada com bússola do tipo Clar, e foram coletadas cerca de 50 amostras, das quais 20 foram escolhidas para laminação no Instituto de Geociências, para descrição em detalhe ao microscópio petrográfico. Todas as amostras foram coletadas orientadas no campo, e cortadas segundo o plano paralelo à direção de lineação de estiramento mineral e perpendicular ao plano da foliação. Assim, todas as lâminas estão orientadas no plano XZ do elipsoide de deformação finita.

A análise estrutural envolveu o reconhecimento e descrição de estruturas deformacionais em campo, tais como foliações, lineações e indicadores cinemáticos, hierarquização das estruturas utilizando critérios de superposição e tomada de atitudes com bússola.

4.3. Confecção de mapas e perfis

O tratamento dos dados em escritório foi realizado com a elaboração de mapas (Figura 2 e 3), estereogramas e perfil geológico.

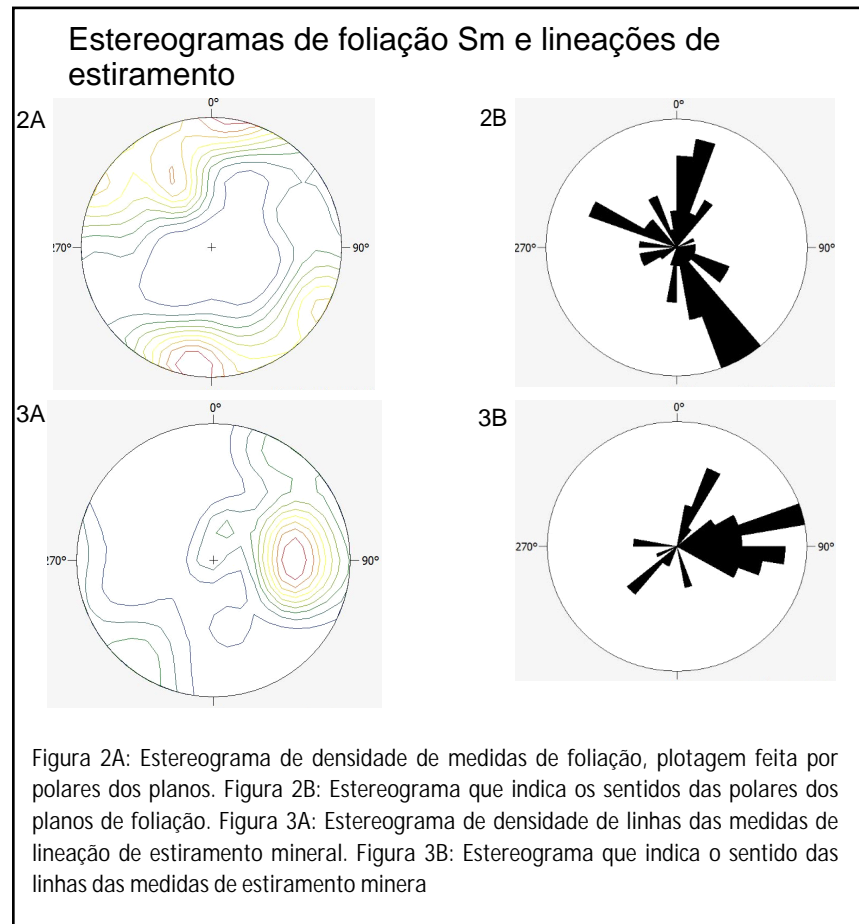
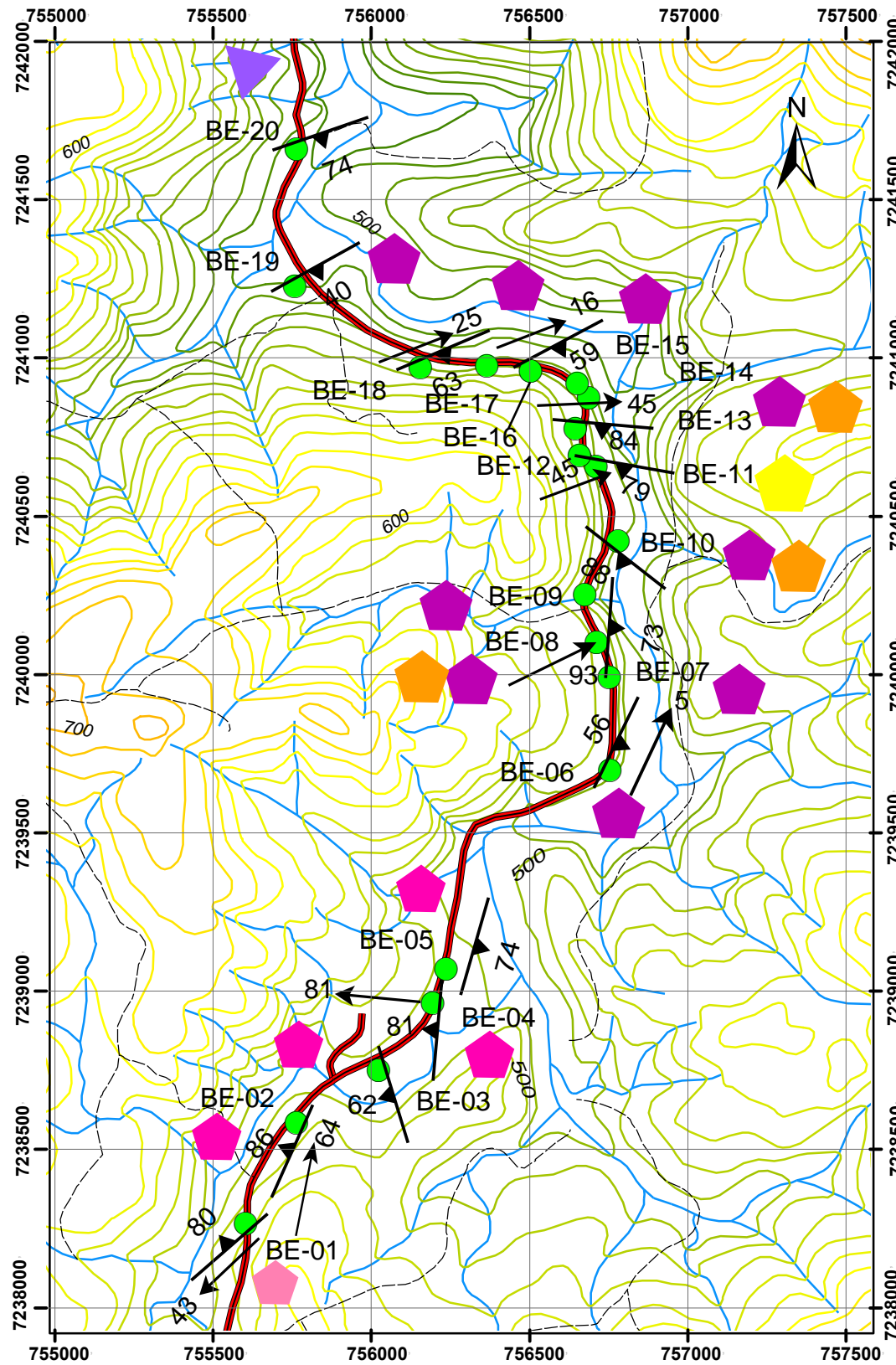
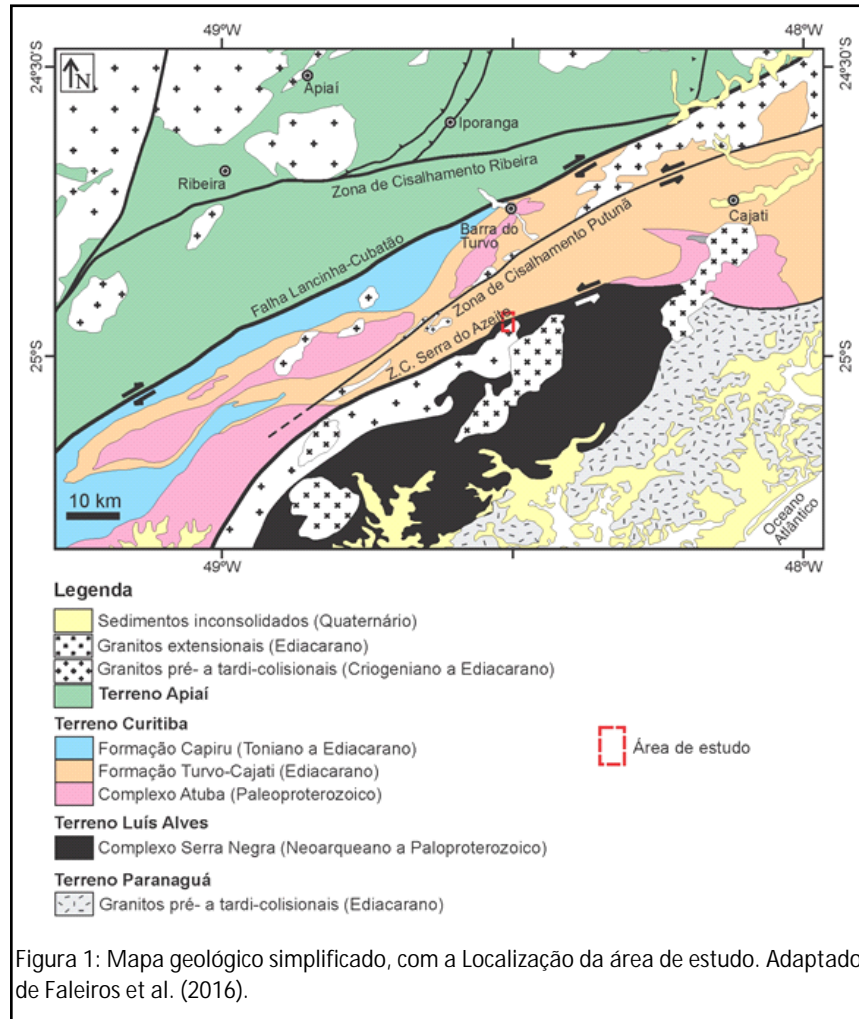
Na Tabela de Pontos – Tabela 1, pode ser visualizada de maneira resumida as características principais descritas em campo. As medidas de foliação que foram utilizadas para confecção do perfil geológico estão marcadas em cinza na tabela. As medidas estão em notação Clar (rumo do mergulho/mergulho).

4.4. Petrografia e Microtectônica

Para a petrografia microscópica, vinte amostras foram escolhidas e laminadas orientadas (Figura 4), além disso, foi fornecido pelo orientador oito lâminas delgadas, cujas amostras foram coletadas em outro trabalho de campo anterior, no mesmo trecho de estudo.

MAPA DE PONTOS - Figura 2

Bianca Maia N. Escobosa



Foi realizado um trabalho de campo entre os dias 23 e 25 de abril de 2018, para coleta de dados estruturais, petrológicos e amostras orientadas para ensaios laboratoriais, para caracterização das heterogeneidades ao longo da Zona de Cisalhamento Serra do Azeite.

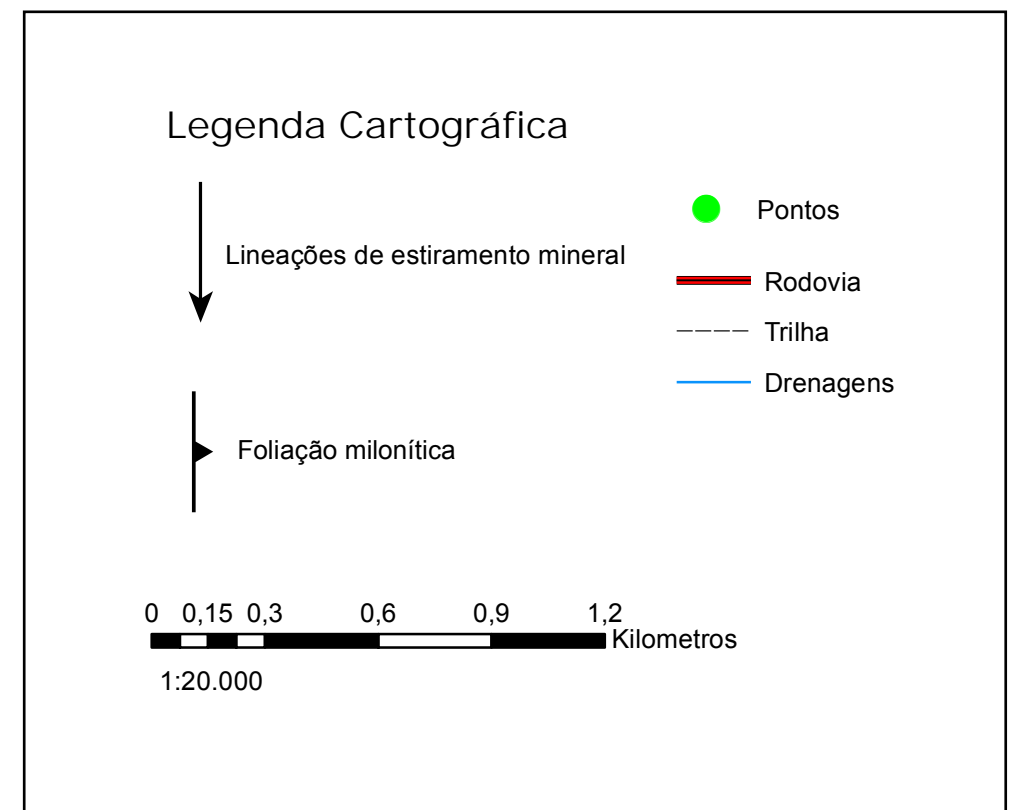


Tabela 1: Pontos do Campo (1/2)

Ponto	Coordenadas		Litologia	Estrutura/Textura	Medidas Estruturais			
	UTM 22J				Foliação		Lineação de Estiramento	
	X	Y			Sn	Mergulho	Le	Mergulho
01A			Bt-Granito	Maciço, localmente foliado	-	-	-	-
01B	755602	7238265	Granito tonalítico	Laminada com vênulas de quartzo	319	80	228	43
01C			Granito tonalítico	Laminada com vênulas de quartzo	315	80	-	-
02A			Bt-Ortognaisse	Bandamento milimétrico, localmente porfiroclástica	294	86	11	64
					122	87	-	-
					303	89	25	60
	755764	7238585			294	86	11	65
02B			Bt-Ortognaisse	Bandamento milimétrico, localmente porfiroclástica	297	88	27	54
					122	87	-	-
					119	79	-	-
					237	70	-	-
3	756022	7238751	Bt-Hbl-Gnaisse	Bandamento	276	75	-	-
					253	62	-	-
04A			Bt-Ortognaisse Milonítico	Porfiroclástica bandada	275	81	275	81
					294	76	216	5
04B	756194	7238964	Bt-Ortognaisse Milonítico	Porfiroclástica bandada	296	85	209	21
					309	71	24	7
05A	756236	7239071	Bt-Ortognaisse Milonítico	Porfiroclástica bandada	106	74	-	-
05B			Anfibolito	Boudins	-	-	-	-
6	756755	7239698	Saprolito de Ortognaisse Porfiroclástico	Porfiroclástica bandada	111	70	32	10
					116	56	25	5
					334	69	-	-
7	756753	7239992	Bt-Hbl-Gnaisse	Porfiroclástica bandada	349	81	-	-
					94	66	-	-
8	756712	7240102	Bt-Anfibolito	Bandamento	123	64	-	-
					84	64	-	-
9	756674	7240252	Bt-Hbl-Gnaisse	Porfiroclástica bandada	65	73	65	93
10A			Contato entre Anfibolito e Bt-Hbl-Gnaisse	Maciça com foliação incipiente em contato com porfiroclástica bandada	245	85	-	-
10B	756779	7240421	Contato entre Anfibolito e Bt-Hbl-Gnaisse	Maciça com foliação incipiente em contato com porfiroclástica bandada	38	88	-	-
10C			Bt-Hbl-Gnaisse com enclave anfibolítico	Porfiroclástica bandada	246	63	-	-
10D			Bt-Hbl-Gnaisse com enclave anfibolítico	Porfiroclástica bandada	-	-	-	-
11A			Bt-Hbl-Gnaisse/filonito	Porfiroclástico bandado	-	-	-	-
11B			Bt-Hbl-Gnaisse/filonito	Contato abrupto	10	71	-	-
11C			Bt-Hbl-Gnaisse/filonito	Contato abrupto	1	89	-	-
					335	80	59	2
	756711	7240658			150	89	227	3
					337	85	-	-
11D			Bt-Hbl-Gnaisse/filonito	Bandamento fino, com porfiroclastos	146	77	-	-
					175	75	80	90
					-	-	-	-
					359	74	96	33
11E			Bt-Hbl-Gnaisse/filonito	Bandamento fino	148	75	62	24

Tabela 1: Pontos do Campo (2/2)

Ponto	Coordenadas		Litologia	Estrutura/Textura	Medidas Estruturais				
	UTM 22J				Foliação		Lineação de Estiramento		
	X	Y			Sn	Mergulho	Le	Mergulho	
12	756658	7240693	Ultramilonito/Filonito	Bandamento incipiente	151	79	68	45	
					148	72	73	34	
					163	79	78	21	
13A	756645	7240777	Bt-Hbl-Gnaiss/filonito	Porfiroclástica bandada	185	84	99	45	
13B			Bt-Hbl-Gnaiss/filonito	Porfiroclástica bandada	-	-	-	-	
13C			Bt-Hbl-Gnaiss/filonito/Anfibolito	Boudin	33	78	116	34	
13D			Bt-Hbl-Gnaiss/filonito/Anfibolito	Porfiroclástica bandada	-	-	-	-	
13E			Bt-Hbl-Gnaiss/filonito/Anfibolito	Porfiroclástica bandada milimétrica	259	76	89	47	
13F			Bt-Hbl-Gnaiss/filonito/Anfibolito	S-C e veios de qtz concordantes com a sn	4	85	86	46	
13G			Sequência de filonito, gnaiss granítico, boudin		28	79	113	24	
13H			anfibolítico, talco serpentina xisto, veios de carbonato, veios de qtz		187	82	-	-	
13I					-	-	-	-	
13j					Talco serpentina xisto		4	72	104
13k	756657	7240799	Bt-Hbl-Gnaiss/filonito/Anfibolito	Xistoso	357	44	-	-	
13L			Filonito com veio de carbonato	Porfiroclástica bandada	4	72	104	25	
					5	86	273	5	
13M			Ultramilonito/Filonito	Porfiroclástico bandado	12	89	96	9	
						11	85	110	30
						15	81	97	22
13N			Ultramilonito/Filonito	Porfiroclástico bandado	16	89	106	29	
						24	84	-	-
						37	86	86	29
14A	756686	7240874	Bt-Hbl-Gnaiss/filonito	Porfiroclástico bandado	18	89	101	29	
14B			Ultramilonito/Filonito	Porfiroclástico bandado	137	42	-	-	
15	756651	7240920	Bt-Hbl-Gnaiss/filonito	Porfiroclástico bandado	146	55	73	26	
					152	50	91	14	
					164	48	166	31	
16	756503	7240958	Bt-Hbl-Gnaiss/filonito	Porfiroclástico bandado fino	148	46	166	44	
					146	57	50	33	
					158	54	73	19	
17	756364	7240975	Bt-Hbl-Gnaiss/filonito	Porfiroclástico bandado fino	151	59	223	16	
					166	84	74	24	
					143	65	68	31	
18	756155	7240970	Bt-Hbl-Gnaiss/filonito	Granoblástico fino	157	63	73	25	
					196	37	-	-	
					151	40	-	-	
19	755758	7241227	Qtz milonito	Alterada bandada	187	89	-	-	
					161	74	-	-	
20	755763	7241660	Bt-gnaiss, calciossilicática, mármore	Xistoso a bandado com veio de turmalina					

Observações: medidas sinalizadas com a cor cinza foram utilizadas na confecção do perfil geológico.

MAPA DE DETALHE DA ZONA DE CISCALHAMENTO SERRA DO AZEITE (ZCSA) - Figura 3

Bianca Maia N. Escobosa

UNIDADES GEOLÓGICAS

Terreno Curitiba

Formação Turvo Cajati:
Rochas metassedimentares, metamorfasadas em fácies xisto verde: bt-paragnaisse, mármore, gnaiss milonítico e calciossilicática.



Complexo Serra Negra

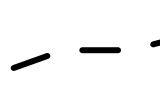
Rochas metamorfasadas em fácies xisto verde com indicadores petrográficos de recristalização dinãmica por rotação de subgrão: bt-hbl-gnaiss milonítico porfiroclástico, chl-bt-gnaiss milonítico, cataclasitos, e bt-anfibolitos.



Rochas metamorfasadas em fácies xisto verde com feições de bulging: bt-graio, bt-hbl-ortognaisse e bt-gnaiss milonítico.



Ponto 13: rochas atingiram maior grau de recristalização dinãmica na fase de rotação de subgrão dos grãos de quartzo.



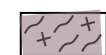
SE (A)

BR-116

(m)
600
500
400

200 m

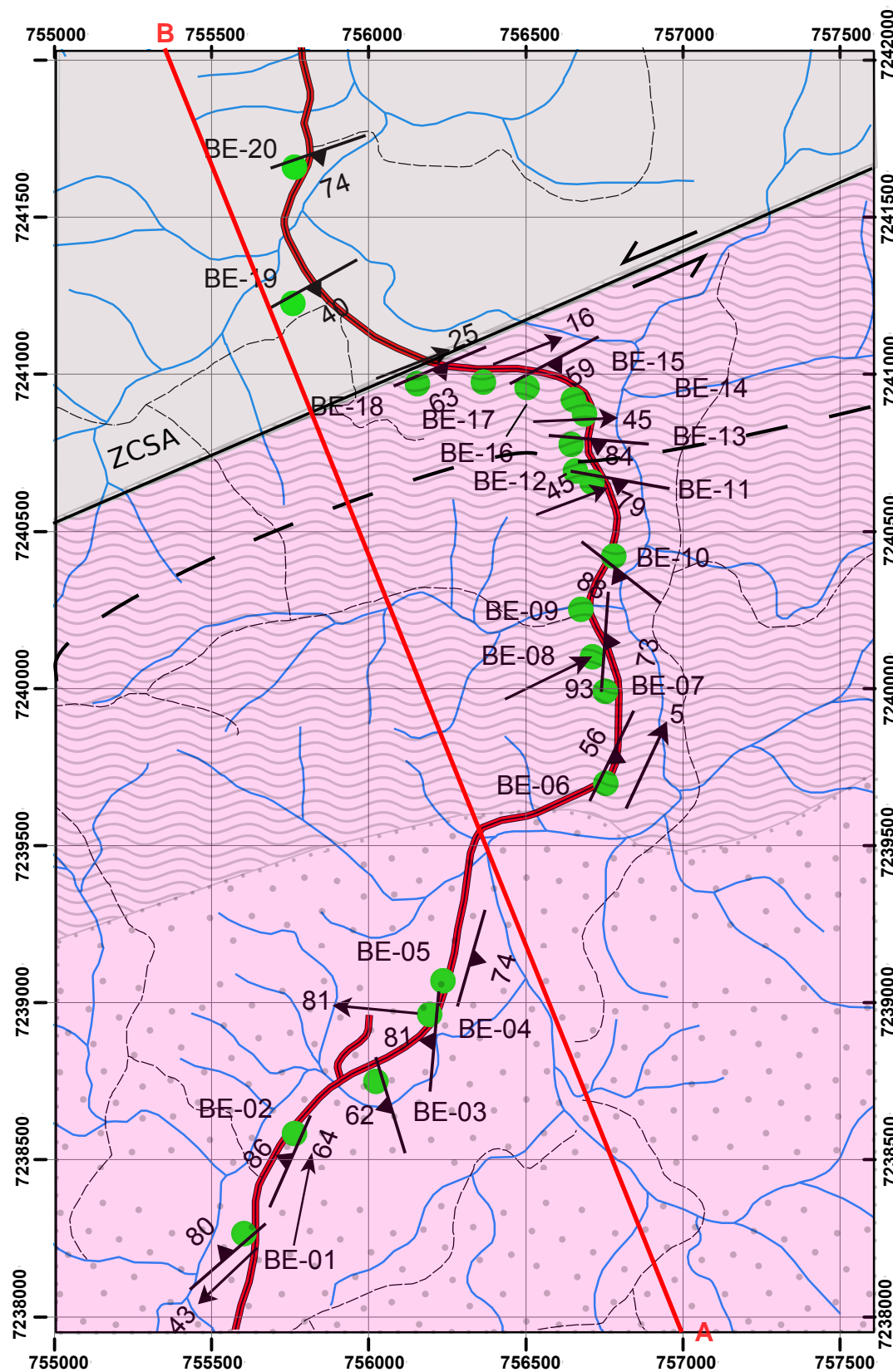
Legenda do Perfil Geológico:



Formação Turvo-Cajati



Complexo Serra Negra



NW (B)

Barra do Turvo

Foliação milonítica

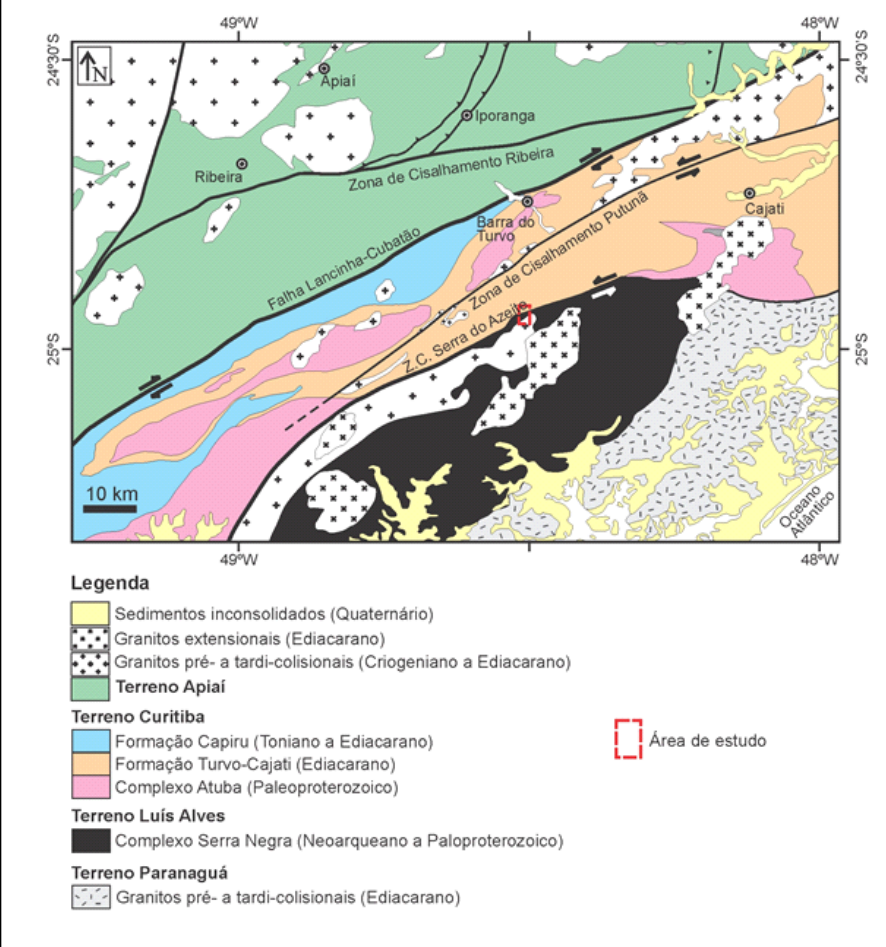
Foliação ultramilonítica

Foliação xistosa a bandada

Falha Normal

Movimentação Lateral

CONTEXTO GEOTECTÔNICO

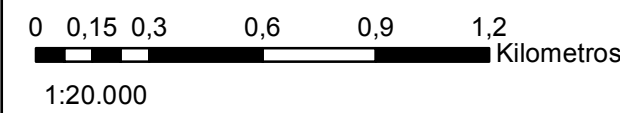


Fonte: Mapa Geotectônico Simplificado, adaptado de Faleiros *et al.* (2016)



Legenda Cartográfica

- Pontos
- Rodovia
- Trilha
- Drenagens
- Perfil Geológico
- Lineações de estiramento mineral
- Foliação milonítica



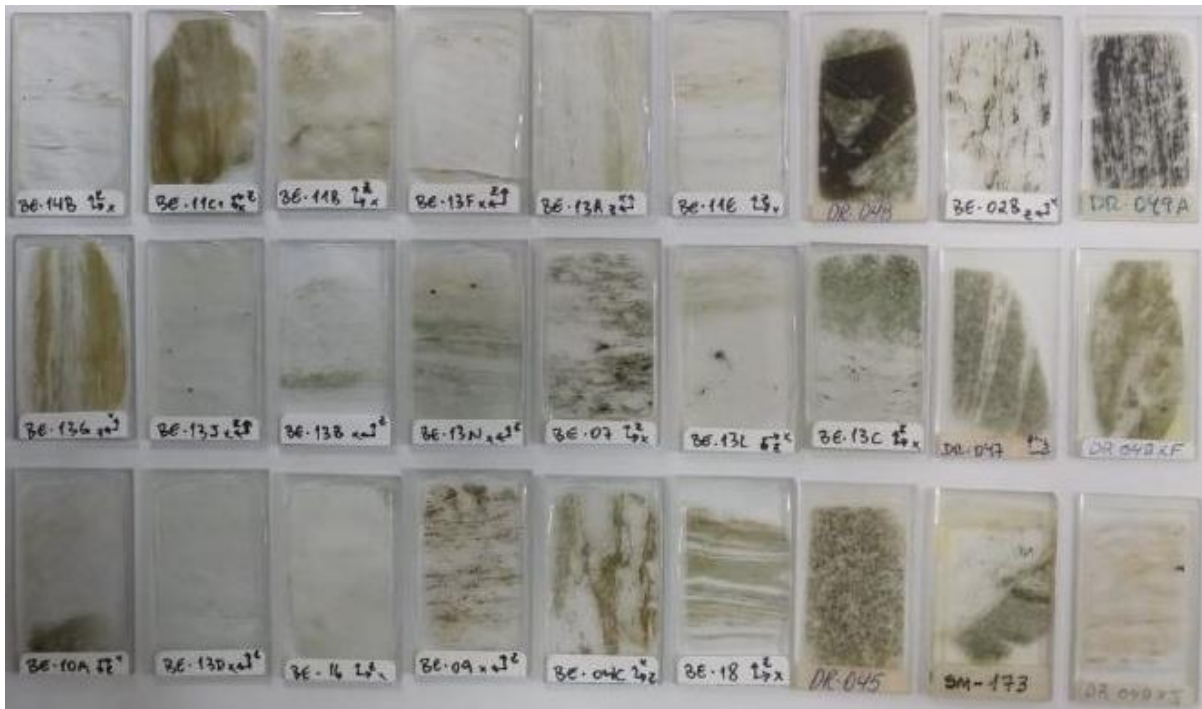


Figura 4- Lâminas de seções delgadas descritas neste trabalho, incluindo lâminas confeccionadas neste trabalho (prefixo BE) e em trabalhos anteriores (prefixo DR de Faleiros, 2008; prefixo SM de Faleiros et al. 2012).

5.RESULTADOS OBTIDOS

5.1. Descrições petrográficas e microestruturais

A Zona de Cisalhamento Serra do Azeite na área de estudo apresenta direção ENE, representando o contato entre a Formação Turvo Cajati (Terreno Curitiba) e o Complexo Serra Negra (Terreno Luís Alves). O Complexo Serra Negra fora do domínio de influência da zona de cisalhamento é constituído como um biotita-hornblenda gnaiss porfiroclástico e, por vezes, bandado com alternâncias entre leitos mesocráticos tonalíticos e leucossomas graníticos, com bandas anfíbolíticas subordinadas que se restringem à ZCSA.

A Zona de Cisalhamento Serra do Azeite apresenta espessura de rochas deformacionais entre 1 e 1,5 km (Mapa Geológico) com intercalações heterogêneas entre rochas miloníticas e ultramiloníticas de protolitos graníticos, intermediários e máficos.

Na porção mais distal da ZCSA, extremo sul da zona deformada, ocorre biotita granito de coloração róseo a cinza, transicionando para termos protomiloníticos, onde sua estrutura é maciça, ou levemente laminada e textura granoblástica a lepidogranoblástica fina, sendo sucedida por rochas miloníticas a ultramiloníticas a norte, com estrutura bandada de espessura

centimétrica a milimétrica, com bandas máficas de cor cinza-escuro e bandas félsicas de cor branca. Ocorrem porfiroclastos de feldspato de coloração esbranquiçada a rósea (Figura 5) em matriz quartzofeldspática de granulação fina a média, com principais variações composicionais relacionadas com os conteúdos de hornblenda e biotita, que variam nos intervalos de 1-25% e 2-30%, respectivamente, em rochas mesocráticas a hololeucocráticas. Nas rochas mais intensamente retrometamorfizadas os minerais máficos originais são substituídos por agregados de clorita.

A textura da matriz dos milonitos varia de lepidogranoblástica a granolepidoblástica, com granulação de fina a média. A orientação preferencial de biotita, clorita ou minerais opacos, além dos grãos de quartzo que ocorrem estirados como *ribbons*, define uma foliação milonítica (Sm). As microestruturas dos agregados de quartzo, segundo a classificação de Stipp et al. (2002), indicam que este passou por recristalização dinâmica por *bulging* (Figura 6-A) ou por rotação de subgrão. Os porfiroclastos são de feldspato potássico e plagioclásio, sericitizados/saussuritizados, de até 3 milímetros de diâmetro. Os porfiroclastos de feldspato potássico ocorrem com geometria tipo sigma, apresentam sombras de deformação assimétricas, e alguns são cisalhados obliquamente à foliação Sm, indicando cinemática sinistral. Como minerais acessórios ocorrem minerais opacos e zircão. Epidoto, zoisita, apatita, clorita e carbonato são minerais secundários/retrometamórficos comuns.



Figura 5 : Bt-Hbl Gnaiss, bandamento e foliação aparente (Afloramento em Perfil SW-NE)

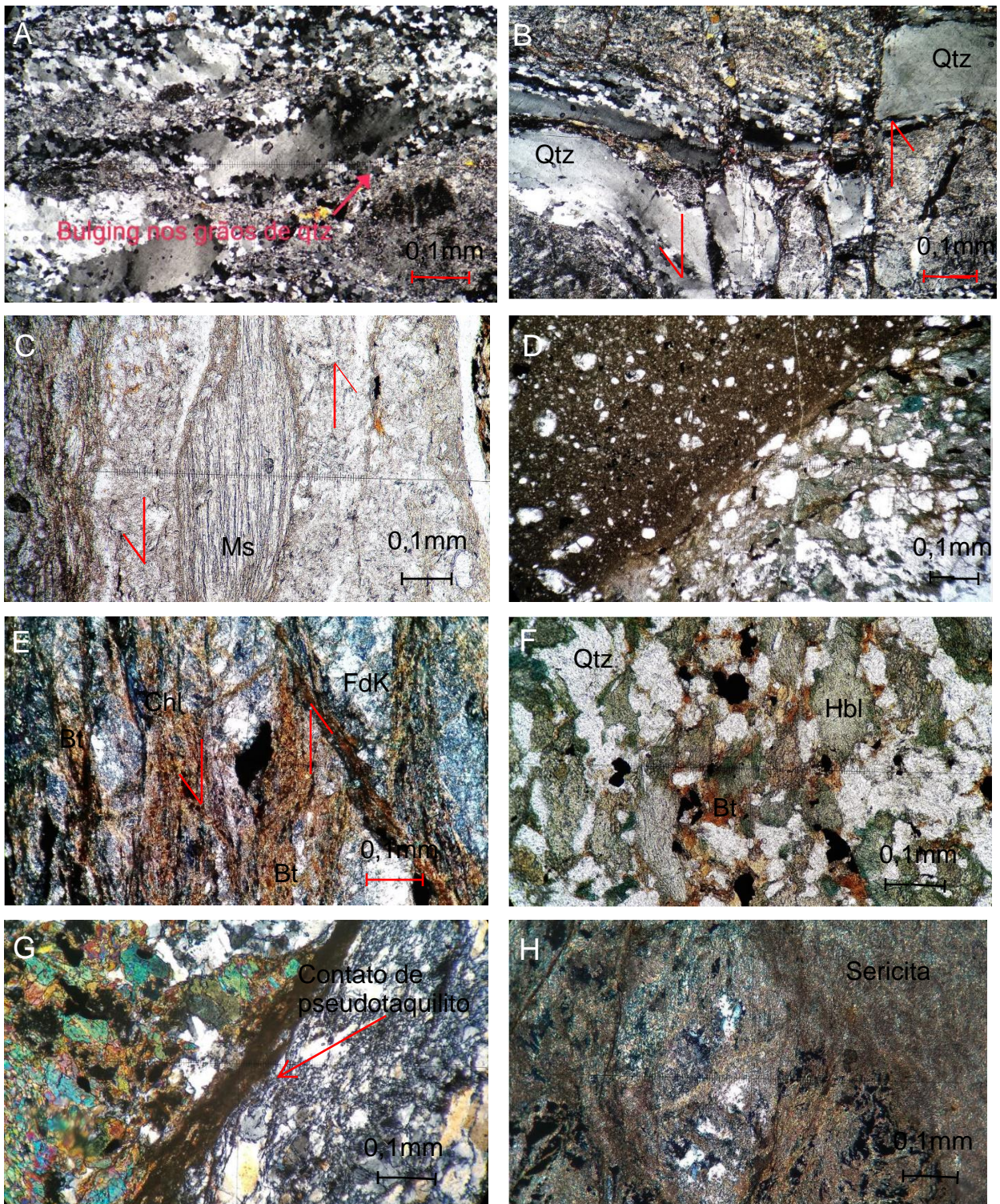


Figura 6: A: Feição de bulging nos grãos de quartzo. Quartzo ocorre com extinção ondulante (BE-13B). B: Falha sinistral observada pela descontinuidade do quartzo (BE-13C). C: Micafish de muscovita com deformação direcional sinistral (BE-13G). D: Contato entre pseudotachilite e bt-anfibolito (DR-048). E: Mineral opaco com deformação direcional sinistral em meio a um bt-chl-filonite (DR-049). F: Anfibolito tonalítico (DR-045). G: Grt-anfibolito em contato com hbl-quartzito (SM-173). H: Bt-anfibolito muito hidrotermalisado (DR-047).

As Figuras 6-B, 6-C e 6-E mostram indicadores cinemáticos vistos em lâmina, como uma descontinuidade de um grão de quartzo estirado, grão de muscovita em formato *micafish*, e grão de um mineral opaco, respectivamente, com movimentação sinistral.

Derivados dos mesmos protolitos ocorrem, localmente, como cataclasitos, de coloração cinza-claro a cinza-escuro, onde a textura granolepidoblástica e estrutura bandada estão parcialmente preservadas. Porém, os porfiroclastos e a matriz ocorrem muito fraturados e brechados, com preenchimento por carbonato, epidoto ou sericita orientados segundo a foliação Sm. Ou, ainda, podem ocorrer como filonitos (Figura 7), de coloração cinza-esverdeada, e granulação extremamente fina, com presença predominante de sericita/saussurita (Figura 6-H).

Em contato abrupto com os gnaisses miloníticos, ocorrem biotita anfibolitos, com feições de *boudins* métricos (Figura 8), com porções leucocráticas em seu interior (Figura 9) ou enclaves de coloração cinza-escuro a preta, bandados e maciços. Apresentam textura granoblástica a lepidogranoblástica e granulação fina a muito fina, com foliação milonítica dada pela orientação de biotita verde e hornblenda estiradas, em meio a agregados de quartzo e feldspatos (plagioclásio e microclínio). A hornblenda pode ocorrer em duas fases, uma marrom (reliquiar, metamórfica de alta temperatura), e outra verde (retrometamorfismo), que manteve a hornblenda marrom. Minerais opacos, titanita, apatita e zircão são minerais acessórios. Um contato abrupto com preenchimento de material afanítico entre gnaisses milonítico e anfibolito pode ser visto nas figuras 6-F e 6-G.

Por fim, há pseudotaquilitos, de coloração preta, estrutura xistosa, com matriz afanítica, e por vezes presença de xenocristais de quartzo ou feldspato, ou xenólitos da rocha encaixante (Figura 6-D).

Subordinadamente, ocorrem veios carbonáticos concordantes com a foliação principal (Figura 10), de espessura centimétrica, e lentes de talco-serpentina xistos, de coloração cinza-claro, granulação fina, estrutura xistosa e textura lepidoblástica.

A norte da Zona de Cisalhamento Serra do Azeite ocorrem rochas calcissilicáticas e mármore maciços de coloração esbranquiçada e granulação fina, subordinados a um sillimanita-granada-biotita paragneisse, com coloração alaranjada e marrom, pertencentes à Formação Turvo-Cajati.

A variação composicional dos minerais nas amostras pode ser comparada na tabela 3, e a tabela de características petrográficas (Tabela 2), fornece os dados resumidos descritos em lâmina.



Figura 7: Bandamento do Bt-Hbl-Gnaiss, com finas bandas de filonito. (BE-13G – Perfil S-N)



Figura 8: Boudin métrico de Anfibolito (BE-13E – Perfil S-N)



Figura 9: Contato entre Anfibolito e Bt-Hbl-Gnaiss (BE-10A – Perfil S-N)



Figura 10: Veios carbonáticos em meio ao filonito. (BE-13K – Perfil S-N)

Tabela 2: Composição Mineral

Lâmina/Mineral (%)	fdk	plag	qtz	hbl	bt	zircão	ep/zoisita	apatita	minerais opacos	sericita	chl	carbonato	titanita	granada
BE - 02B	37	10	35	2	5	<1	<1	<1	3	-	-	-	-	-
BE - 04C	25	5	30	10	24	-	<1	-	3	3	-	-	-	-
BE - 07	15	5	20	7	24	-	2	5	5	2	10	-	-	-
BE - 09	27	20	40	2	4	-	<1	2	2	4	2	-	-	-
BE - 10A (1)	25	13	35	-	-	-	-	-	-	30	-	2	-	-
BE - 10A (2)	13	15	20	-	30	-	20	-	7	-	-	-	5	-
BE - 11B	30	-	45	-	-	-	10	-	5	1	-	9	-	-
BE - 11C1	2	-	10	-	30	-	-	-	-	37	18	3	-	-
BE - 11E	20	25	40	-	2	<1	-	-	2	10	1	-	-	-
BE - 13A	10	15	30	-	20	-	<1	-	5	10	10	-	-	-
BE - 13B	10	15	30	-	20	-	<1	-	5	10	10	-	-	-
BE - 13C (1)	13	7	-	75	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BE - 13C (2)	5	-	70	-	-	-	2	-	5	1	8	-	1	-
BE - 13D	20	25	30	1	10	-	1	-	5	-	10	-	-	-
BE - 13F	10	-	50	-	4	2	1	-	2	-	30	-	-	-
BE - 13G	5	-	20	12	20	3	-	5	5	10	10	-	-	-
BE - 13J	20	-	70	1	-	-	-	-	3	5	1	<1	-	-
BE - 13L (1)	10	-	60	-	-	-	-	-	1	25	4	-	-	-
BE - 13L (2)	20	10	20	-	5	-	-	-	-	35	10	-	-	-
BE - 13N	5	10	30	10	20	<1	-	7	2	5	10	<1	-	-
BE - 14B	10	-	55	-	12	-	-	-	3	20	-	-	-	-
BE - 16	20	-	40	-	10	-	5	5	5	10	5	-	-	-
BE - 18	-	15	45	-	25	-	-	-	-	-	15	-	-	-
DR-049XJ	20	-	40	-	30	-	-	-	1	10	-	-	-	-
DR-045	22	17	28	25	5	<1	-	<1	3	-	-	-	<1	-
DR-048	30	-	45	10	15	-	2	-	3	-	-	-	-	-
DR-049XE	10	10	5	-	20	-	3	-	10	35	7	<1	-	-
DR-047	-	20	25	15	13	-	2	-	5	-	20	-	-	-
DR-049XF	-	-	<1	-	50	-	-	-	10	40	10	<1	-	-
DR-049A	-	-	35	-	15	-	-	-	-	-	5	-	-	-
SM-173 (1)	-	-	90	8	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SM-173 (2)	-	8	15	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	25

Tabela 3: Características das rochas vistas em lâmina (1/2)

Lâmina	Recristalização Dinâmica	Temperatura	Hidrotermalismo	Microscopia	Nome
BE - 02B	Bulging	300±30°C	ep, bt, ap	bandada fina a média porfiroclástica em matriz lepidogranoblástica	hbl-bt-gnaiss milonítico com porfiroclastos de fdK
BE - 04C	Bulging	330±30°C	Sericita/Saussurita, ep, bt	bandamento composicional, granulação fina nas bandas máficas e média nas bandas félsicas. Porfiroclastos em matriz lepidogranoblástica	hbl-bt-gnaiss milonítico com porfiroclastos de fdK
BE - 7	Bulging	400±30°C	Sericita/Saussurita, ep, bt, ap, chl	bandamento composicional, granulação fina nas bandas máficas e média nas bandas félsicas. Porfiroclastos em matriz lepidogranoblástica	hbl-chl-btgnaiss milonítico com porfiroclastos de fdK
BE - 9	Bulging	400±30°C	Sericita/Saussurita, ep, bt, ap, chl	bandamento composicional, granulação fina nas bandas máficas e média nas bandas félsicas. Porfiroclastos em matriz lepidogranoblástica	chl-hbl-bt-gnaiss milonítico com porfiroclastos de fdK
BE - 10A	Bulging + cataclástico	400±30°C (cataclasito com até 280°C)	Sericita/Saussurita, ep, bt, carbonato	Contato afanítico, lepidogranoblástica	Contato entre cataclasito e chl-ep-bt-gnaiss milonítico com porfiroclastos de fdK
BE - 11B	Não (cataclástico)	250±30°C	Sericita/Saussurita, ep, carbonato	porfiroclastos em matriz muito fina lepidogranoblástica, fraturado, há porção afanítica	gnaiss milonítico cataclástico
BE - 11C1	-	300 a 500°C	Sericita, bt, chl, carbonato	bandada muito fina lepidogranoblástica	bt-filonito
BE - 11E	Bulging	400±30°C	Sericita/Saussurita, bt, chl	bandada porfiroclástica em matriz lepidogranoblástica fina	bt-gnaiss milonítico com porfiroclastos de fdK
BE - 13A	Bulging	400±30°C	Sericita/Saussurita, bt, chl, ep/zoisita	bandada porfiroclástica em matriz lepidogranoblástica fina	chl-bt-gnaiss milonítico com porfiroclastos de fdK
BE - 13B	Bulging	400±30°C	Sericita/Saussurita, bt, chl, ep/zoisita	bandada porfiroclástica em matriz lepidogranoblástica fina	chl-bt-gnaiss milonítico com porfiroclastos de fdK
BE - 13C	Bulging	400±30°C	Sericita/Saussurita, bt, chl, ep/zoisita	bandada porfiroclástica em matriz lepidogranoblástica, em contato com rocha granoblástica fina	anfíbolito em contato com bt-gnaiss milonítico com porfiroclastos de fdK
BE - 13D	Bulging	400±30°C	Sericita/Saussurita, bt, chl, ep/zoisita	bandada porfiroclástica em matriz lepidogranoblástica fina	chl-bt-gnaiss milonítico com porfiroclastos de fdK
BE - 13F	Bulging	400±30°C	Sericita/Saussurita, bt, ep/zoisita	bandada porfiroclástica em matriz lepidogranoblástica fina	bt-gnaiss milonítico com porfiroclastos de fdK
BE - 13G	Bulging + Rotação de Subgrão	460±30°C	Sericita/Saussurita, ep, bt, ap, chl	bandamento composicional, granulação fina nas bandas máficas e média nas bandas félsicas. Porfiroclastos em matriz lepidogranoblástica	hbl-bt-gnaiss milonítico com porfiroclastos de fdK

Tabela 3: Características das rochas vistas em lâmina (2/2)

Lâmina	Recristalização Dinâmica	Temperatura	Hidrotermalismo	Microscopia	Nome
BE - 13J	Bulging + Rotação de Subgrão	460±30°C	Sericita, chl, carbonato	bandada milimetricamente, granoblástica muito fina	veio de quartzo milonitizado
BE - 13L	Bulging + Rotação de Subgrão	460±30°C	Sericita/Saussurita, bt, chl	contato entre rocha granoblástica fina foliada e rocha bandada porfiroclástica em matriz lepidogranoblástica	quartzito com chl em contato com chl-gnaise milonítico com porfiroclastos de fdK
BE - 13N	Bulging + Rotação de Subgrão	460±30°C	Sericita/Saussurita, bt, chl, ap, carbonato	bandamento composicional, granulação fina nas bandas máficas e média nas bandas félsicas. Porfiroclastos em matriz lepidogranoblástica	hbl-bt-gnaise milonítico com porfiroclastos de fdK
BE - 14B	Bulging	370±30°C	bt, ms	rocha bandada porfiroclástica, com matriz granoblástica fina média com bandas subordinadas lepidogranoblásticas	bt-gnaise milonítico com porfiroclastos de fdK
BE - 16	Bulging	330±30°C	Sericita, bt, chl, ap, ep/zoisita	bandada lepidogranoblástica fina a muito fina	chl-bt-gnaise milonítico
BE - 18	Não	300 a 500°C	bt, chl	bandamento composicional, granulação fina nas bandas máficas e média nas bandas félsicas	chl-bt-gnaise
DR-049XJ	Bulging	400±30°C	Sericita, bt	bandada porfiroclástica em matriz fina granolepidoblástica	bt-gnaise milonítico com porfiroclastos de fdK
DR-045	Não	300 a 500°C	-	maciça, granoblástica fina	anfíbolito tonalítico
DR-048	Não	Resfriamento muito rápido	Sericita, bt	encaixante brechada granoblástica fina com fragmento de rocha afanítica triangular	pseudotaquilito em encaixante de hbl-gnaise brechado
DR-049XE	-	300 a 500°C	Sericita, bt, chl, ep, carbonato	bandada muito fina lepidogranoblástica	chl-bt-filonito
DR-047	-	300 a 500°C	bt, ep	bandada lepidogranoblástica muito fina	bt-anfíbolito
DR-049XF	-	300 a 500°C	Sericita, chl, bt, carbonato	bandada lepidogranoblástica muito fina quase afanítica	bt-filonito
DR-049A	Bulging + Rotação de Subgrão	460±30°C	bt, chl	bandada lepidogranoblástica fina	chl-bt-gnaise milonítico
SM-173	Bulging + Rotação de Subgrão	460±30°C	-	contato entre as rochas é afanítico, o anfíbolito é maciço granoblástico fino, e o quartzito é lepidogranoblástica fina a média	contato entre grt-anfíbolito e hbl-quartzito

5.2. Análise estrutural macroscópica

Em termos de orientação, as rochas do Complexo Serra Negra apresentam dois domínios estruturais. Ao sul da Zona de Cisalhamento Serra do Azeite as rochas apresentam foliação S_n de atitude NNE/subvertical e lineação L_n dominada por caimentos em torno de máximo mergulho. No interior da zona de cisalhamento a foliação milonítica (S_m) apresenta atitude WNW/subvertical e a lineação de estiramento mineral (L_m) com caimento subhorizontal para E (Figuras 12A e B, respectivamente). A deflexão regional da foliação S_m para posição da foliação S_n indica movimentação sinistral (Figura 3). Essa cinemática é corroborada por indicadores cinemáticos observados em campo e lâmina, tais como porfiroclastos tipo sigma (Figura 13) e delta e pares SC (Figura 11).



Figura 11: Porfiroclastos de Feldspato e indicador cinemáticos S-C intrafoliais. Perfil S-N, indicador Sinistral (BE-13G).

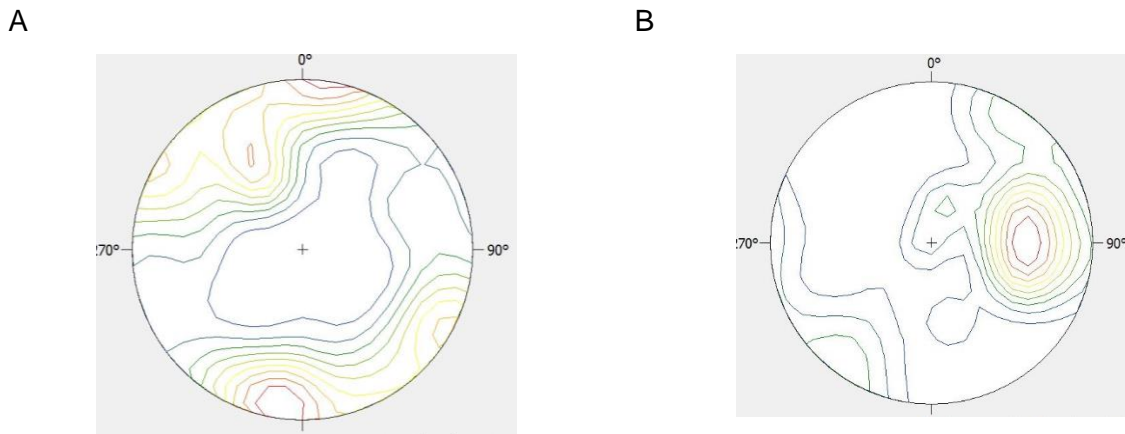


Figura 12: (A) Estereograma de densidade de medidas de foliação milonítica Sm, onde foram plotadas 73 medidas de planos de foliação; (B): Estereograma de densidade de linhas das medidas de lineação de estiramento mineral, onde foram plotadas 44 medidas de linhas. (Stereo 32)

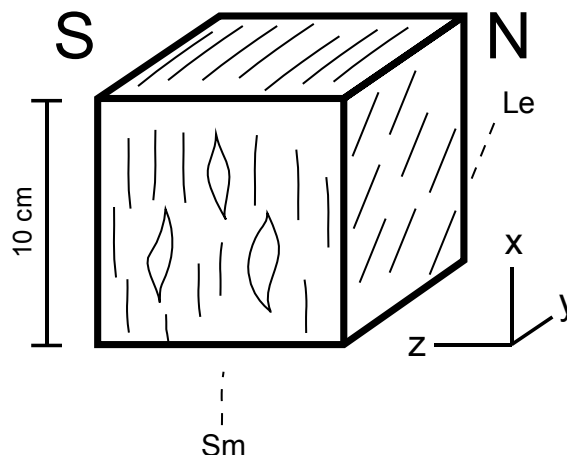


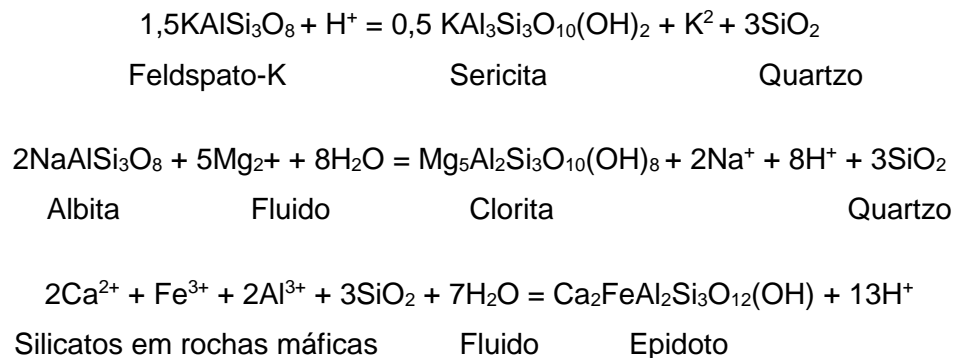
Figura 13: Bloco diagrama de porfiroclastos.

6. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Pelos resultados obtidos, é possível interpretar a história termo-cinemática da Zona de Cisalhamento Serra do Azeite. A sul dessa zona, as deformações sofridas pelas rochas do Complexo Serra Negra são em fácies xisto-verde inferior, pois os granitoides intrusivos ainda não apresentam recristalização dinâmica.

No interior da zona de cisalhamento as rochas foram milonitizadas e sofreram hidrotermalismo podendo ser interpretado pela presença de produtos ricos em micas como filonitos, talco-xisto e

veios/vênulas de quartzo e carbonato. Esse processo hidrotermal, com geração de minerais como sericita/saussurita, clorita, e epidoto, ocorreu segundo as seguintes equações químicas:



Esse hidrotermalismo pode ser interpretado como circulação de fluido aquoso durante a ativação da Zona de Cisalhamento Serra do Azeite no Ciclo Brasileiro. O hidrotermalismo está associado a um metamorfismo dinâmico imposto sobre as rochas do Complexo Serra Negra, que atingiu temperaturas mais elevadas em fácies xisto-verde superior próximo ao centro dessa zona de cisalhamento, e temperaturas de fácies xisto-verde inferior em porções mais distais.

A presença de pseudotaquilitos, que são considerados como evidência inequívoca de terremotos, sugere que um alto fluxo de fluidos deve estar associado a eventos sísmicos alternados com eventos de deformação dúctil, gerando um maior número de fraturas e falhas, facilitando a entrada de fluidos que alteraram as rochas encaixantes com os produtos hidrotermais.

De acordo com as descrições de lâminas e as observações de campo, a recristalização dinâmica que ocorreu resultando nos milonitos a ultramilonitos, foi, de fato, um processo de aumento de temperatura em direção ao centro da zona de cisalhamento, de acordo com a classificação de Stipp et al. (2002), onde o quartzo apresenta feições de *bulging* diagnósticas de temperaturas aproximadas de 280 a 400°C e rotação de subgrão em 400 a 500°C.

Assim, o metamorfismo durante o cisalhamento foi de fácies xisto verde a fácies xisto verde superior, resultando num contexto de retrometamorfismo de protolitos granulíticos do Complexo Serra Negra.

Os indicadores cinemáticos identificados em mapa, campo e lâminas orientadas, tais como deflexão regional das foliações, porfiroblastos tipos sigma e delta com sombras de deformação assimétricas e tramas SC, aliados às relações geométricas entre foliação subvertical e lineação de estiramento de caimento moderado para E indicam que a Zona de Cisalhamento Serra do

Azeite é uma estrutura de movimentação oblíqua com componente normal de topo para E e componente direcional sinistral (Figura 14). Essa cinemática é compatível com uma zona transtensional, como inicialmente interpretada por Dehler et al. (2007) na porção extremo leste da zona de cisalhamento, na região de Cajati (SP). Contudo, os autores não diferenciaram na região as estruturas associadas à tectônica predominantemente transcorrente (foliação subvertical e lineação sub-horizontal), daquelas indiscutivelmente associadas a empurrões (foliação e lineação sub-horizontais com inversões estratigráficas e metamórficas, Faleiros et al., 2011, 2016).

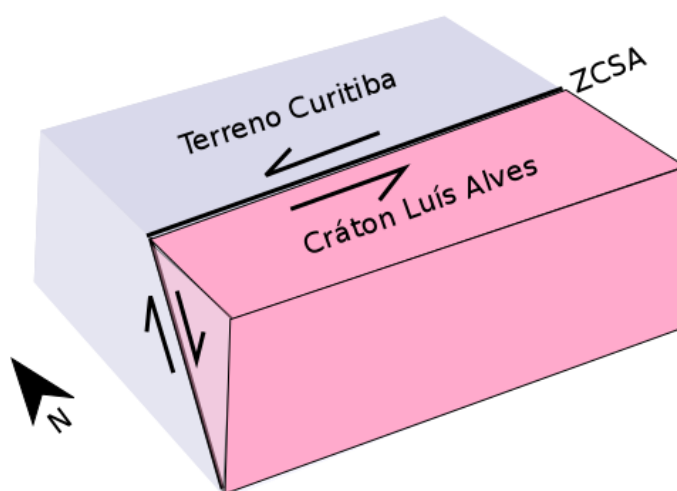


Figura 14: Bloco diagrama das componentes do cisalhamento da ZCSA

7. CONCLUSÕES

A partir da análise estrutural em escala mesoscópica (de campo) e microscópica (em laboratório), foi possível reconstruir a história deformacional e cinemática da Zona de Cisalhamento Serra do Azeite. Além disso, por meio da integração de análises petrográficas e microtectônicas, foram obtidas as condições de temperatura das rochas deformadas. De modo geral, as principais conclusões sugeridas nesse trabalho são:

1. As rochas da ZCSA sofreram deformações dúcteis, com deslizamentos intracristalinos (estiramento e formação de geminados nos minerais), recristalização dinâmica por *bulging* e rotação de subgrão nos grãos de quartzo, e, subordinadamente, deformação rúptil, dada pelos microcataclastos, com grãos fraturados.

2. As associações metamórficas contidas no limite nordeste entre o Cráton Luís Alves e a Faixa Ribeira são constituídas por biotita + hornblenda, biotita + hornblenda + clorita, sericita + biotita + clorita + epidoto, com temperaturas de deformação aproximadas entre 300 e 500°C em fácies xisto verde.
3. A geometria da Zona de Cisalhamento Serra do Azeite possui estrutura de movimentação oblíqua com componente normal de topo para E e componente direcional sinistral, sugerindo uma zona de transtensional.

8.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Basei, M. A., Siga Jr, O., Machiavelli, A., Mancini, F. (1992). Evolução tectônica dos terrenos entre os Cinturões Ribeira e Dom Feliciano (PR-SC). *Brazilian Journal of Geology*, 22(2), 216-221.
- Basei, M.A.S.; McCreath, I.; Siga Júnior, O (1998). The Santa Catarina granulite complex of southern Brazil. *Gondwana Research*, v. 1, p. 383-391.
- Basei, M.A.S., Frimmel, H.E., Nutman, A.P., Preciozzi, F., (2008). West Gondwana Amalgamation Based on Detrital Zircon Ages from Neoproterozoic Ribeira and Dom Feliciano Belts of South America and Comparison with Coeval Sequences from SW Africa. Special Publications 294. *Geological Society*, London, p. 239–256.
- Brito Neves, B.B.; Campos Neto, M.C.; Fuck, R.A. (1999). From Rodinia to Western Gondwana: an approach to the Brasiliano-Pan African cycle and orogenic collage. *Episodes*, v. 22, p. 155-166.
- Campanha, G.A.C.; Brito Neves, B.B. (2004). Frontal and oblique tectonics in the Brazilian shield. *Episodes*, v.27, p. 255-259.
- Campanha, G.A.C., Sadowski, G.R., (1999). Tectonics of the Southern Portion of the Ribeira Belt (Apiaí Domain). *Precambrian Research*, v. 98, p. 31–51.
- Campanha, G.A.C., Basei, M.A.S., Tassinari, C.C.G., Nutman, A.P., Faleiros, F.M., (2008). Constraining the age of the Iporanga Formation with SHRIMP U-Pb zircon: implications for possible Ediacaran glaciation in the Ribeira Belt, SE Brazil. *Gondwana Research*, v. 13, p. 117–125.
- Campanha, G. A. C., Faleiros, F. M., Basei, M. A. S., Tassinari, C. C. G., Nutman, A. P. (2015). Geochemistry and age of mafic rocks from the Votuverava Group, southern Ribeira Belt, Brazil: Evidence for 1490 Ma oceanic back-arc magmatism. *Precambrian Research*, 266, 530-550.
- Campanha, G. A. C., Basei, M. S., Faleiros, F. M., Nutman, A. P. (2016). The Mesoproterozoic to early Neoproterozoic passive margin Lajeado Group and Apiaí Gabbro, Southeastern Brazil. *Geoscience Frontiers*, 7, 683-694.

- Dehler, N.M., Machado, R., Fassbinder, E., (2007). Shear structures in the Serra do Azeite Shear Zone, southeastern Brazil: Transtensional deformation during regional transpression in the central Mantiqueira province (Ribeira belt). *Journal of South American Earth Sciences* 23, 176–192.
- Dehler, N. M., Machado, R., & De Vasconcelos, C. S. (2000). Tectônica extensional oblíqua no sul do estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(4), 699-706.
- Environmental Systems Research Institute, Inc – ESRI (2014) *Arcgis*, disponível no Laboratório de Informática da Geociências (LIG).
- Faleiros, F. M. (2008). Evolução de terrenos tectono-metamórficos da Serrania do Ribeira e Planalto Alto Turvo (SP, PR). *Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo*. 306p.
- Faleiros, F.M.; Campanha, G.A.C.; Martins, L.; Vlach, S.R.F.; Vasconcelos, P.M. (2011). Ediacaran high-pressure collision metamorphism and tectonics of the southern Ribeira Belt (SE Brazil): evidence for terrane accretion and dispersion during Gondwana assembly. *Precambrian Research*, v. 189, p. 263-291.
- Faleiros, F. M., Campanha, G. A. C., Pavan, M., Almeida, V. V., Rodrigues, S. W. O., & Araújo, B. P. (2016). Short-lived polyphase deformation during crustal thickening and exhumation of a collisional orogen (Ribeira Belt, Brazil). *Journal of Structural Geology*, 93, p.106-130.
- Faleiros, F.M., Morais, S.M., Costa, V.S., (2012). Geologia e Recursos Minerais da Folha Apiaí – SG.22-X- B-V, escala 1:100.000, Estados de São Paulo e Paraná. *Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Programa Geologia do Brasil – Levantamentos Básicos*. 107 p. ISBN 978-85- 7499-167- 2.
- Faleiros, F. M., & Pavan, M. (2013). Geologia e Recursos Minerais da Folha Eldorado Paulista-SG-22-XB-XI, estado de São Paulo, Escala: 1: 100.000. São Paulo, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, CPRM.
- Forero-Ortega, A. J. Tectonic compartmentation of an area in the Ribeira belt, between Itapeva and Ribeirão Branco (SP): Itaiacoca Group and Bairro dos Prestes Formation (*Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo*).

Fuck, R.A.; Brito Neves, B.B.; Schobbenhous, C. (2008) Rodinia descendants in South América. *Precambrian Research*, v. 160, p. 108-126, 2008.

Gualda, G.A.R.; Vlach, S.R.F. (2007). The Serra da Graciosa A-type Granites & Syenites, southern Brazil. Part 1: Regional setting and geological characterization. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 79, p. 405-430.

Harara, O. M. M. (2001). Mapeamento e Investigação Petrológica e Geocronológica dos Litotipos da Região do Alto Rio Negro (PR-SC): um exemplo de sucessivas e distintas atividades magmáticas durante o Neoproterozóico III (*Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo*).

Machado, R., Dehler, N.M., Vasconcelos, P., (2007). $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages (600-570 Ma) of the Serra do Azeite transtensional shear zone: evidence for syncontractional extension in the Cajati area, southern Ribeira belt. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 79, 713–723.

Passarelli, C. R., Basei, M. A. S., Siga, O., & Harara, O. M. M. (2018). The Luis Alves and Curitiba Terranes: Continental Fragments in the Adamastor Ocean. In *Geology of Southwest Gondwana* (pp. 189-215). Springer, Cham.

QGIS Open Source Software, 2018. Disponível em:

https://www.qgis.org/pt_BR/site/forusers/index.html#download.

Sato, K., Siga Junior, O., Nutman, A.P., Basei, M.A.S., McReath, I., Kaulfuss, G.A., (2003). The Atuba Complex, Southern South American Platform: Archean Components and Paleoproterozoic to Neoproterozoic Tectonothermal Events. *Gondwana Research* 6, 251–263.

Siga Jr., O., Basei, M. A. S., Passarelli, C. R., Sato, K., Cury, L. F., McReath, I. (2009). Lower and Upper Neoproterozoic magmatic records in Itaiacoca Belt (Paraná-Brazil): Zircon ages and lithostratigraphy studies. *Gondwana Research*, 15 (2), 197-208.

Silva, A.T.S.F.; Algarte, J.P. (1981) Contribuição à geologia da sequência Turvo-Cajati entre o rio Pardo e Pariquera-Açu, estado de São Paulo. II – Estrutura, metamorfismo e evolução

geotectônica. In: *Simpósio Regional de Geologia*, 3., 1981, Curitiba. Atas... Curitiba: SBG, 1981. v. 1, p. 121-132.

Stereo32, *unregistered version*.

Stipp, M., StuÈnitz, H., Heilbronner, R., & Schmid, S. M. (2002). The eastern Tonale fault zone: a 'natural laboratory' for crystal plastic deformation of quartz over a temperature range from 250 to 700 C. *Journal of Structural Geology*, 24(12), 1861-1884.

Terra Incógnita, Marian Zubak (2010-2015), disponível para download em:

<http://sourceforge.net/projects/terraincognita2>

Vlach S.R.F., Siga Junior, O., Harara, O.M., Gualda, G.A.R., Basei, M.A.S., Vilalva, F.C.J., (2011). Crystallization ages of the A-type magmatism of the Graciosa Province (Southern Brazil): Constraints from U-Pb (ID-TIMS) dating of coeval K-rich gabbro-dioritic rocks. *Journal of South American Earth Sciences* 32, 407–415.