

Rochas Ricas em Turmalina da Formação Morro da Pedra Preta: Relações com os Turmalinitos Portadores de Ouro do Grupo Serra do Itaberaba, SP

Gianna Maria Garda¹ (giagarda@usp.br), Paulo Beljavskis¹, Marcos de Souza Mansueto²

¹Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental - Instituto de Geociências - USP
R. do Lago 562, CEP 05508-080, São Paulo, SP, BRA

²Departamento de Mineralogia e Geotectônica - Instituto de Geociências - USP, São Paulo, SP, BRA

Recebido em 16 de novembro de 2005; aceito em 02 de fevereiro de 2006

Palavras-chave: Grupo Serra do Itaberaba, Formação Morro da Pedra Preta, turmalinitos, turmalina.

RESUMO

A turmalina é um mineral comum no Grupo Serra do Itaberaba, particularmente na Formação Morro da Pedra Preta. Dentre as rochas ricas em turmalina, destacam-se: turmalinitos, metatufos básicos, metavulcanoclásticas intermediárias a ácidas, metapelitos e veios de quartzo. A presença de ouro disseminado em turmalinito do prospecto Tapera Grande estimulou a investigação da relação entre os ambientes de formação dos turmalinitos e as mineralizações do Grupo Serra do Itaberaba. A investigação é ampliada neste trabalho, incluindo metatufos básicos, metavulcanoclásticas intermediárias a ácidas e metapelitos que, além de conter turmalina, apresentam indícios de silicificação, carbonatização, potassificação, cloritização e sulfetização. A química da turmalina revelou que mesmo nas porções mais proximais ao centro exalativo, a razão fluido/rocha foi baixa, pois a turmalina preserva muitas das características da rocha hospedeira do que propriamente as dos fluidos ricos em boro que a geraram. Os fluidos, de origem hidrotermal-metamórfica, promoveram a redistribuição de ouro sin-sedimentar ou sin-genético; entretanto, sua composição (aquo-carbônica, baixa salinidade), não favoreceu a formação de depósitos de sulfetos maciços.

Keywords: Serra do Itaberaba Group, Morro da Pedra Preta Formation, tourmalinites, tourmaline.

ABSTRACT

Tourmaline is a common mineral in the Serra do Itaberaba Group (Guarulhos–Brazil), especially in its basal, volcanic-sedimentary sequence, the Morro da Pedra Preta Formation. Tourmalinites, basic metatuffs, intermediate to acid metavolcaniclastic rocks, metapelites and quartz veins are among the tourmaline-rich rocks. The presence of gold disseminated in a tourmalinite of the Tapera Grande prospect led to the investigation of the relation between the environments of tourmalinite genesis and mineralizations in the Serra do Itaberaba Group. The investigation was extended to tourmaline-rich basic metatuffs, intermediate to acid metavolcaniclastic rocks, and metapelites that also show some silicification, carbonatization, potassification, chloritization and sulfidation. The tourmaline chemistry showed that even in the regions proximal to the exhalative center, the fluid/rock ratio is low because the tourmaline preserves most of the host rock's characteristics rather than those of the boron-rich fluids themselves. Such hydrothermal-metamorphic fluids promoted the redistribution of synsedimentary or syngenetic gold. The composition (aqueous-carbonic, low-salinity) of these fluids, however, did not favor the formation of massive sulfide deposits.

INTRODUÇÃO

Diversos autores alertaram da importância da turmalina como indicador petrogenético, pela sua ampla ocorrência como mineral autigênico em rochas sedimentares e metamórficas (e.g. Henry e Guidotti, 1985; Plimer, 1986, 1988; Yavuz, 1997). Na prospecção mineral, a turmalina rica em Mg associa-se a depósitos de sulfetos maciços e exalitos (Plimer, 1986, 1987, 1988; Slack, 1982, 1996; Slack et al., 1984; Taylor e Slack, 1984; Willner, 1992), ao passo que a rica em Fe associa-se a rochas plutônicas (Taylor e Slack, 1984) e exalitos (Plimer, 1983).

A turmalina é um mineral comum no Grupo Serra do Itaberaba, particularmente na seqüência basal vulcano-sedimentar denominada Formação Morro da Pedra Preta (Juliani, 1993), que foi explorada para ouro nos séculos XVI e XVII.

A microscopia eletrônica de varredura revelou a presença de ouro disseminado em turmalinitos e rochas associadas no prospecto Tapera Grande (Beljavskis, Garda e Sayeg, 1999), o que levou Beljavskis et al. (2005) a investigar implicações metalogenéticas da turmalina dos turmalinitos vulcanogênicos da Formação Morro da Pedra Preta.

As rochas associadas aos turmalinitos são, em geral, ricas em turmalina, indicando uma possível relação genética entre a turmalina dessas rochas e aquela dos turmalinitos.

CONTEXTO GEOLÓGICO

O Grupo Serra do Itaberaba constitui uma seqüência vulcano-sedimentar metamorfizada cuja distribuição é limitada pelas zonas de cisalhamento de Itu-Jundiuvira, Taxaquara e do Rio Jaguari (Figura 1). O Grupo é composto por três formações, denominadas Morro da Pedra Preta, Nhanguçu e Pirucaia (Juliani, 1993; Juliani e Beljavskis, 1995).

A unidade basal (Formação Morro da Pedra Preta) é formada predominantemente por metabasaltos (N-MORB), metabrechas, metatufos e rochas metavulcanoclásticas de composições básica, intermediária e ácida. Xistos de granulação fina a grossa, comumente com leitos de *metachert* e grafitosos intercalados, são geralmente formados por biotita, granada, muscovita, estaurólita e pouco quartzo, podendo conter, ainda, cianita, sillimanita, andalusita, cordierita, grafita, óxidos de ferro e manganês, e sulfetos. Subordinadamente ocorrem pequenas intrusões de andesito, dacito, riódacito e riólito metamorfizadas, rochas calciossilicáticas, formações ferríferas de facies silicato e óxido (com magnetita ou hematita) e marunditos.

A Formação Nhanguçu, formada em ambiente de retroarco, recobre a anterior e é formada por xistos ferro-manganesíferos, por vezes calciossilicáticos, com lentes de anfíbolitos, rochas calciossilicáticas e mármores. Sobre os

xistos ferro-manganesíferos ocorrem xistos finos, bandados a laminados, com lentes de quartzitos, formados por muscovita, clorita, andalusita e magnetita. A Formação Pirucaia, depositada em ambiente litorâneo, corresponde às facies marginais da Formação Nhanguçu e é constituída quase que exclusivamente por xistos quartzosos e quartzitos, comumente com zircão detrítico.

O Grupo Serra do Itaberaba foi afetado por dois eventos metamórficos regionais. O primeiro deles, do tipo barroviano, ocorreu no Mesoproterozóico, indo da facies xisto verde transicional para anfíbolito (490°C, 4 kbar) na parte SW até a facies anfíbolito (650°C, 7 kbar) na extremidade NW. O segundo evento foi de baixa pressão e ocorreu no Neoproterozóico, sendo que o grau metamórfico variou entre xisto verde (500°C, 4 kbar) e anfíbolito (580°C, 4,7 kbar). Houve, ainda, retrometamorfismo em facies xisto verde que afetou a maioria das rochas da área (Juliani, Pérez-Aguilar e Martin, 1997; Juliani et al., 2000).

ROCHAS RICAS EM TURMALINA DA FORMAÇÃO MORRO DA PEDRA PRETA

Na Formação Morro da Pedra Preta ocorrem desde rochas ricas em turmalina (até 10%) até turmalinitos. Beljavskis (2003) e Beljavskis et al. (2005) caracterizaram os turmalinitos que ocorrem no prospecto Tapera Grande como proximais e proximais a intermediários (Figura 2). Estão associados a metatufos básicos, metavulcanoclásticas e metatufos intermediários a ácidos e metapelitos. Um turmalinito caracterizado como distal, associado a rochas alteradas por evento hidrotermal anterior ao metamorfismo (Juliani, 1993), ocorre a NNE de Tapera Grande (ponto SI-1611 da Figura 1b). Os turmalinitos apresentam texturas sedimentares preservadas, como a alternância de finas camadas de quartzo e de turmalina e clastos *rip-up* (Figuras 3a a 3c).

Dentre as rochas ricas em turmalina, destacam-se neste trabalho metatufos básicos, metavulcanoclásticas intermediárias a ácidas e metapelitos, que podem apresentar indícios de silicificação, carbonatização, potassificação, cloritização e sulfetização.

Metatufos básicos ricos em turmalina

Os metatufos básicos ricos em turmalina são biotita hornblenda xistos, de coloração cinza-esverdeada a verde escura e de granulação fina a média, com estrutura bandada ou xistosa. Os minerais essenciais que os compõem são anfíbolio, plagioclásio, biotita e quartzo. As amostras deste estudo provêm dos seguintes trechos de testemunhos das sondagens SRT1 e SRT2 (Figura 2): 38,60 m a 38,64 m (SRT1-30); 27,00 m a 27,50 m (SRT2-42), e 54,60 m a 54,76 m (SRT2-97).

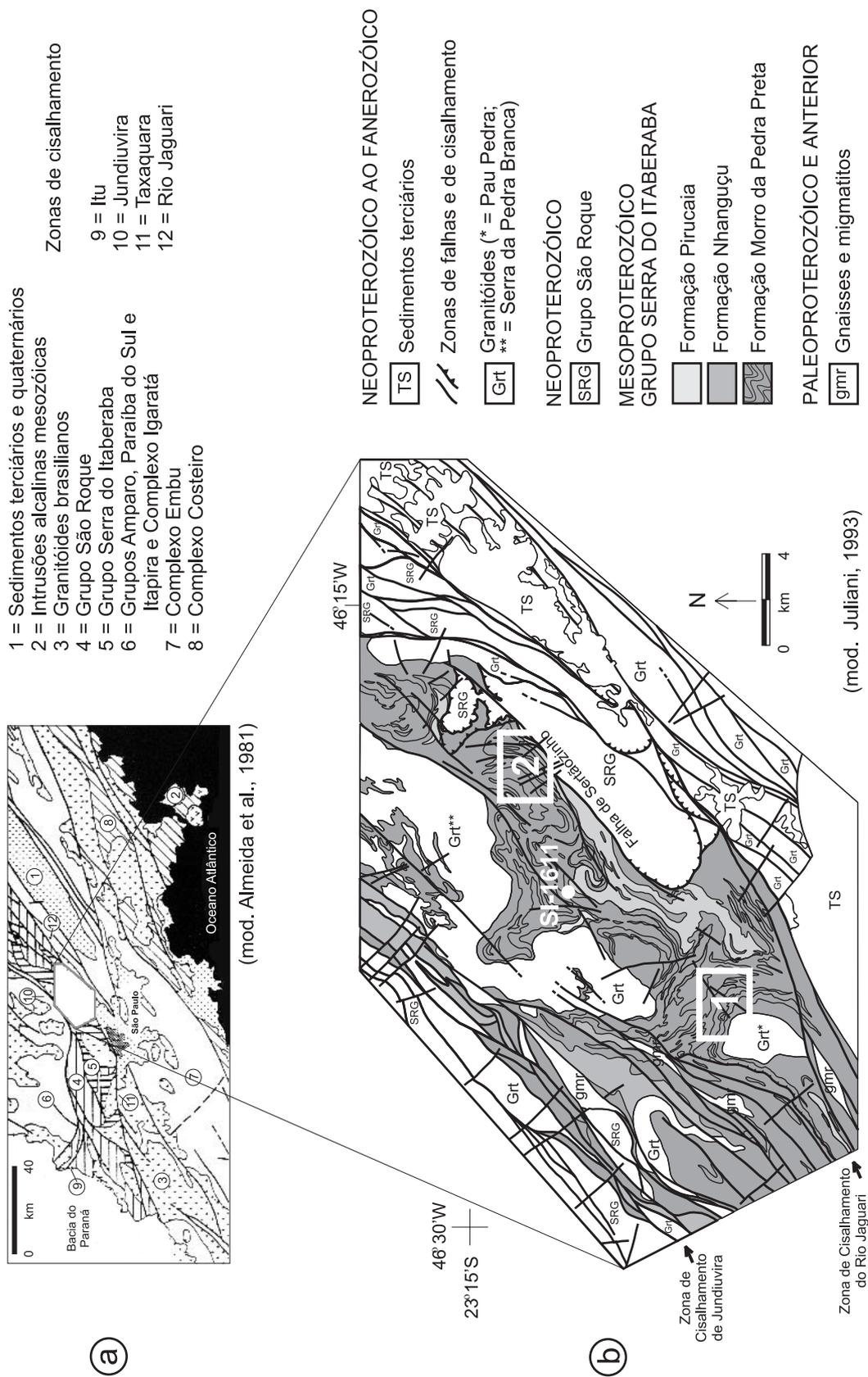


Figura 1. a) Contexto geológico regional do Grupo Serra do Itaberaba. **b)** Mapa simplificado da região das Serras do Itaberaba e Pedra Branca. **1.** Prospecto Tapera Grande. **2.** Prospecto Quartzito; SI-1611 = turmalinito distal (Beljajvskis et al., 2005).

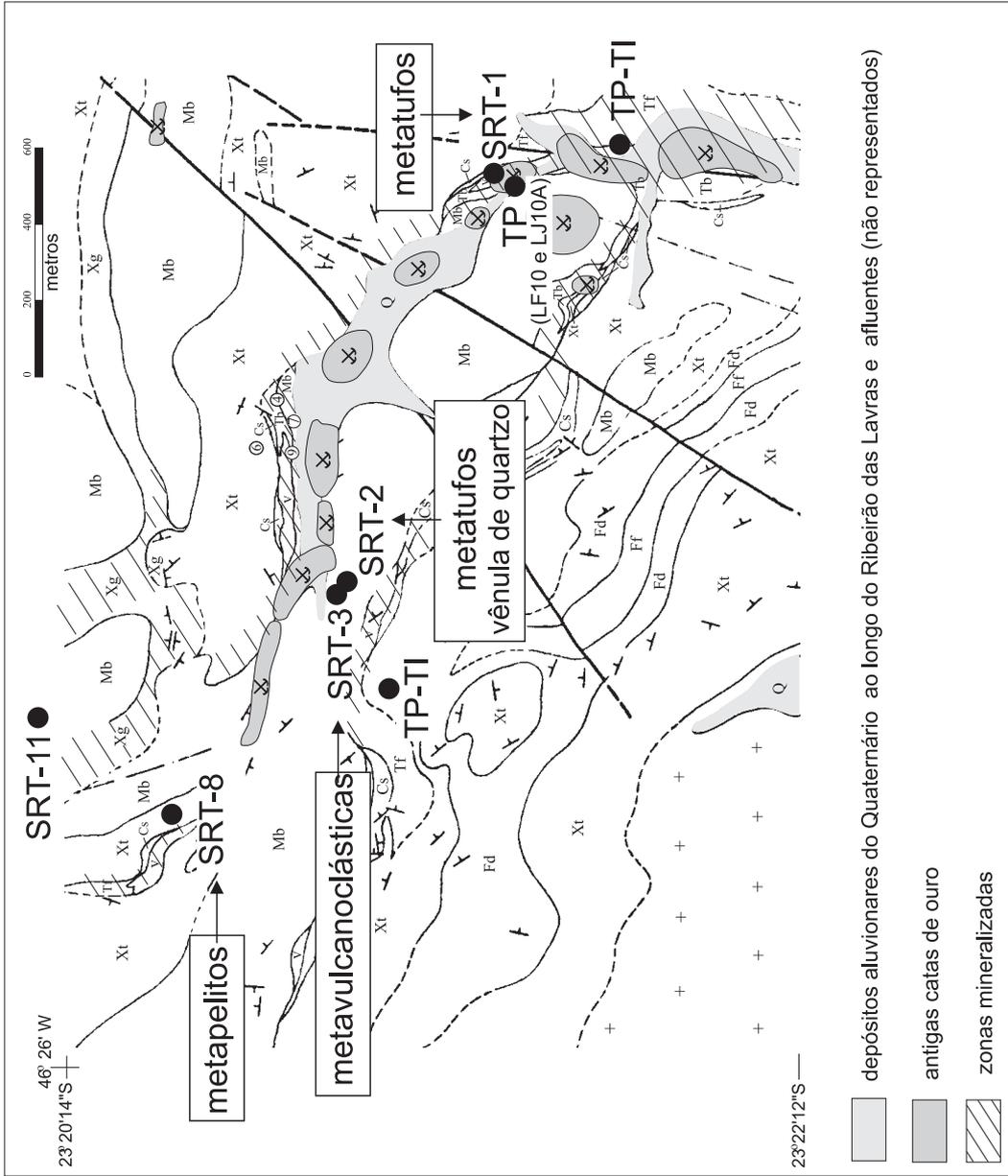


Figura 2. Mapa geológico simplificado do prospecto Tapera Grande, com a localização dos furos de sondagem (SRT1, SRT2, SRT3 e SRT8), correspondentes às rochas ricas em turmalina deste estudo, e dos turmalinitos proximais (TP) e intermediários (TI) de Beljavsikis et al. (2005). + = granitóide neoproterozóico Pau Pedra. Grupo Serra do Itaberaba: **Xt** = xistos finos bandados; **Ff** = formação ferrífera com grafita xistos e filitos; **Fd** = formação ferrífera com xistos bandados; **Tf** = metapelitos tufoíticos; **Xg** = grafita xistos; **Tb** = metatufos básicos. Rochas: **v** = metavulcanoclásticas; **Cs** = calciossilicáticas; **Mb** = metabásicas.

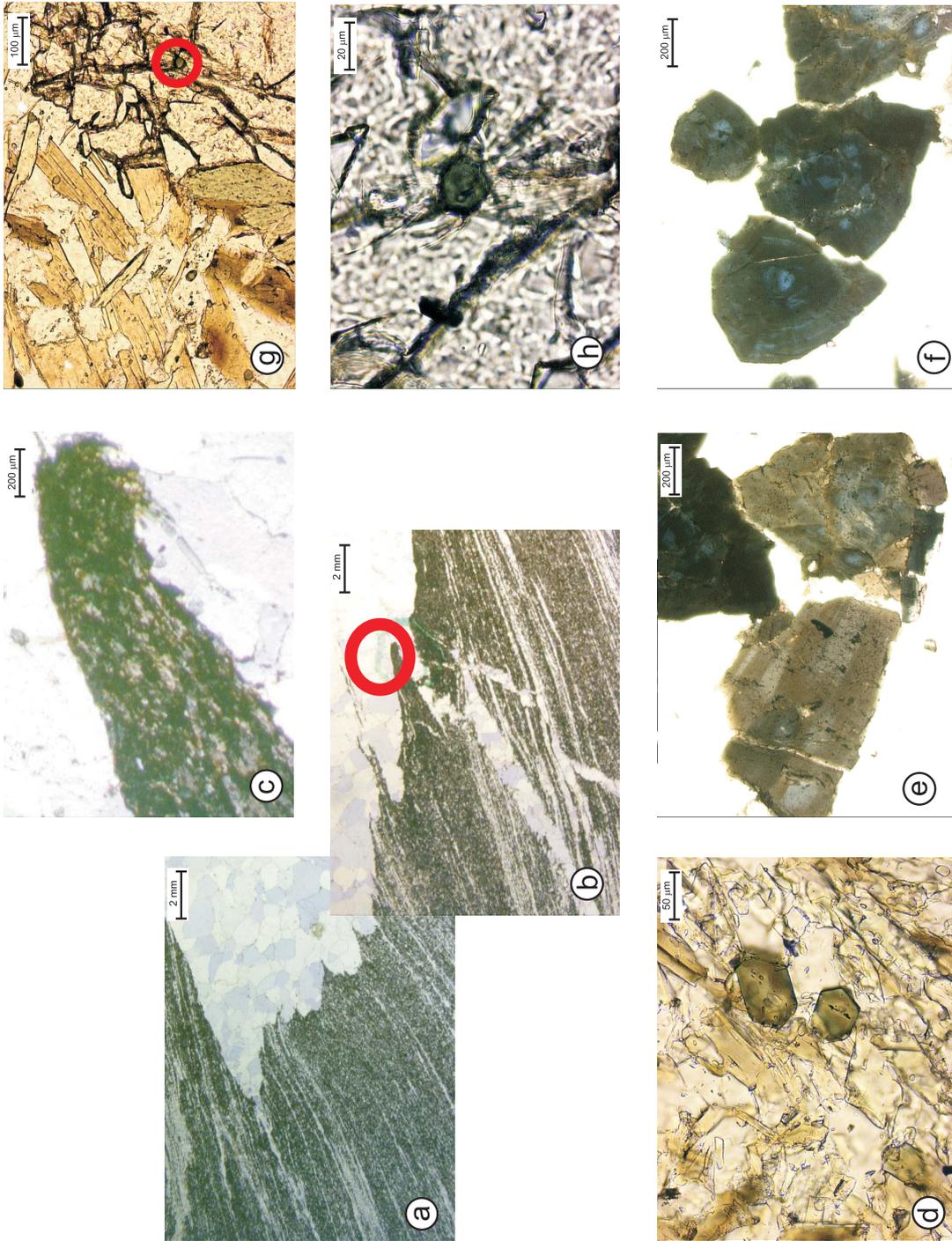


Figura 3. Fotomicrografias de rochas ricas em turmalina do prospecto Tapera Grande. Turmalinito proximal, finamente bandado, com clasto rip-up de metachert (a e b). Detalhe de camada dobrada, rica em turmalina, no contato com o metachert (c). Metatufo básico cortado por vênula de quartzo. A turmalina disseminada na matriz é de granulação muito fina (d), ao passo que a próxima à vênula (e) na vênula de quartzo (f) é grossa, zonada, sobrecrecida àquela da matriz. Metapelite, apresentando turmalina na matriz (g) e incluída em granada (h). Nicóis des cruzados.

Anfibólio de granulação média predomina nas três amostras. Os minerais opacos de granulação muito fina (ilmenita ou titanomagnetita) e envoltos por titanita aparecem alinhados ou “salpicando” os demais minerais. Pirita, pirrotita e calcopirita, de granulação mais grossa e menos frequentes que os minerais opacos finos, aparecem dispersos.

Há indícios de potassificação, silicificação e carbonatização incipientes na seção SRT1-30. Biotita e anfibólio formam uma trama fechada, em meio à qual ocorrem pequenos bolsões de quartzo. A turmalina encontra-se em uma porção da seção onde predomina anfibólio. Apresenta bordas difusas e concentra-se em “manchas” escuras; é zonada, mas o zoneamento é bastante irregular. A turmalina entremeia-se ao anfibólio.

Na amostra SRT2-42, a biotita concentra-se em faixas, onde encontra-se turmalina de granulação muito fina a fina. É invariavelmente zonada. A seção SRT2-42 apresenta indícios de carbonatização e silicificação.

A seção SRT2-97 corresponde a um anfibólio biotita xisto carbonatizado e silicificado, contendo três tipos de turmalina. O primeiro tipo apresenta pleocroísmo de verde a marrom; a turmalina é fina a muito fina, podendo conter inclusões, e ocorre disseminada na rocha (Figura 3d). O segundo é representado por cristais incompletos de turmalina, mais grossos, sobrecrescidos à turmalina do primeiro tipo (Figura 3e). O terceiro tipo ocorre nas proximidades de uma vênula de quartzo e caracteriza-se pela granulação grossa e por ser poiquilítico. No contato da vênula com a rocha e dentro da vênula, a turmalina tem cor e pleocroísmo mais intensos, variando de azul escuro a marrom (Figura 3f). É zonada, geralmente apresentando borda mais escura que o núcleo. Próximo à vênula de quartzo ocorre um nível com carbonatos.

Metavulcanoclásticas intermediárias a ácidas ricas em turmalina

As amostras de metavulcanoclásticas ricas em turmalina provêm dos trechos de 50,50 m a 50,80 m (SRT3-92) e de 60,60 m a 61,10 m (SRT3-112) do furo de sondagem SRT3 (Figura 2). Nesse furo, são frequentes intercalações com metatufos básicos e rochas calciossilicáticas.

As metavulcanoclásticas intermediárias a ácidas incluem hornblenda gnaisses tonalíticos, quartzo dioritos gnáissicos, biotita-hornblenda gnaisses e hornblenda-biotita gnaisses, que não apresentam mais texturas primárias preservadas. A foliação metamórfica, por sua vez, foi transposta e submetida a deformações mais tardias (Juliani, 1993). Em geral, as vulcanoclásticas constituem corpos lenticulares situados nos topos de derrames básicos ou pequenas lentes intercaladas em xistos. São maciças

ou bandadas a laminadas, quando anfibólio e plagioclásio concentram-se preferencialmente em leitos. Esses minerais também podem formar agregados lenticulares. Há sempre predomínio de feldspato sobre o anfibólio e a granulação é fina a média.

A amostra SRT-3-92 corresponde a um quartzo diorito gnáissico, em que se alternam faixas mais ricas em quartzo (de granulação mais grossa) e faixas com quartzo e feldspato. A turmalina constitui uma banda centimétrica rica em opacos. Predominam cristais com pleocroísmo variando desde marrom claro a marrom escuro; subordinadamente ocorre turmalina azul com bordas castanhas. Os opacos, próximo a essa banda, preenchem espaços entre grãos de quartzo, oligoclásio e microclínio.

A amostra SRT-3-112 é um hornblenda gnaisse tonalítico fracamente silicificado e carbonatizado, em contato com rochas calciossilicáticas. É laminada e, ao microscópio, observa-se que os níveis máficos são formados por hornblenda, biotita, minerais opacos e turmalina. A turmalina apresenta núcleos azulados e bordas castanhas, podendo concentrar-se em níveis que seguem a deformação das demais camadas. Os minerais opacos entremeiam-se com os cristais de turmalina. Os níveis félsicos são formados por plagioclásio de granulação mais grossa que a dos demais minerais. Apresenta-se coalhado de inclusões muito finas de provável mica. Quartzo apresenta abundantes inclusões fluidas.

Metapelitos ricos em turmalina

É frequente a ocorrência de turmalina na seqüência de metapelitos do furo de sondagem SRT8 (Figura 2), em especial no intervalo entre 45 e 52 m, onde também se observam intercalações de metatufos básicos. As amostras estudadas correspondem aos trechos de 47,85 m a 48,35 m (SRT8-77) e de 48,85 m a 49,35 m (SRT8-79).

Os metapelitos são finos e constituídos predominantemente por quartzo e biotita, esta podendo ocorrer em proporções variadas ao longo do perfil de sondagem. Clorita, sericita/muscovita, granada e estauroлита poiquiloblástica são minerais que caracterizam o metamorfismo e a alteração dos metapelitos.

A amostra SRT8-77 é um clorita biotita quartzo xisto com granada, apresentando faixas centimétricas cloritizadas onde o quartzo aparece com granulação mais grossa. Segundo Juliani (1993), a clorita deriva da biotita por retrometamorfismo sin-cataclástico ou daquele ocorrido durante o desenvolvimento das clivagens de crenulação. Feldspato (raro) ocorre em alguns leitos mais quartzosos, com clorita associada.

Turmalina é em geral verde claro, muito fina e encontra-se dispersa na rocha ou concentrada em finas bandas.

A granada da amostra SRT8-77, que se concentra em uma camada fina, é de granulação sempre mais grossa que os demais minerais e pode incluir turmalina (Figuras 3g e 3h). Por sua vez, turmalina muito fina também pode se concentrar ao redor da granada (na zona de sombra de pressão), o que indica que a formação de turmalina é anterior à da granada.

A amostra SRT8-79 é de estauroлита biotita quartzo xisto. A seção apresenta uma faixa centimétrica, composta por quartzo de granulação grossa, dobrada. Na parte interna da dobra, próximo ao ápice, concentra-se biotita bem mais grossa do que a que predomina na seção. A biotita dispõe-se nos planos que delineiam a crenulação. Os porfiroclastos de estauroлита são poiquilíticos e também aparecem deformados. Feldspato aparece de forma irregular na seção.

A turmalina da SRT8-79 é muito fina, esverdeada, e está disseminada. Quando um pouco maior, é possível observar um zoneamento de cor, de tons mais e menos escuros de verde.

QUIMISMO DA TURMALINA

A química mineral foi realizada por meio da microsonda eletrônica JEOL Superprobe, modelo JXA-8600, do Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. As condições de operação foram: diâmetro do feixe de 1-2 μm , corrente de 15 nA e tensão de aceleração de 15 kV. As seções delgadas polidas analisadas foram confeccionadas a partir de amostras de testemunhos de sondagem e foram recobertas por carbono.

O grupo da turmalina configura-se como uma série de soluções sólidas de silicatos de boro complexos, normalmente descritos pelas proporções dos membros finais constituintes e fórmula geral (e.g. Fonseca-Zang et al., 2002):



onde:

X = Na, Ca, K, Bi, podendo ocorrer vacância nesta posição;

Y = Al, Li, Mg, Fe²⁺, Fe³⁺, Mn²⁺, Mn³⁺, Cr, V, Cu;

Z = Al, Fe³⁺, Cr, V, Mg, Fe²⁺, Ti;

B = B;

T = Si, Al, B.

A Tabela 1 apresenta os resultados das análises de turmalina por microsonda eletrônica. Para o cálculo da fórmula unitária adotou-se o seguinte procedimento:

1. assumem-se 3 átomos de B;
2. preenche-se a posição T com Si e Al, até completar 6 átomos;
3. preenche-se a posição Z com Al e Fe³⁺, até completar 6 átomos;
4. preenche-se a posição Y com Al e Si excedentes de (2) e (3) e Mg, Fe, Mn, Cr, V, Ti e Li;
5. preenche-se a posição X com Ca, Na e K.

Alerta-se para o fato de que o procedimento adotado pode acarretar vacância na posição X (vacX), uma vez que o total de átomos nessa posição não atinge 1. O procedimento também não leva em consideração a ocupação da posição Y por Fe³⁺ e da posição Z por Fe³⁺, fazendo com que Fe³⁺ seja subestimado (Slack, 1996).

Para efeito de comparação, na Figura 4 são indicados os campos de composições da turmalina dos turmalinitos de Beljavskis et al. (2005). Os valores de Mg# [= Mg/(Mg + Fe_{total})] em átomos por fórmula unitária – apfu] para a turmalina dos metatufos básicos variam entre 0,5 e 0,7, ao passo que para aquela das vulcanoclásticas intermediárias a ácidas Mg# < 0,5. Para a turmalina dos metapelitos e da vênula de quartzo da amostra SRT2-97, Mg# > 0,7. As composições da turmalina dos metatufos básicos são intermediárias entre a schorlita e dravita, tendendo à dravita. São intermediárias entre as composições da turmalina dos turmalinitos de Beljavskis et al. (2005).

As composições da turmalina das metavulcanoclásticas intermediárias a ácidas tendem para schorlita e posicionam-se à esquerda do campo TP (Figura 4). Tanto as composições da turmalina dos metapelitos como aquelas da vênula de quartzo da amostra SRT2-97 tendem à dravita.

Os diagramas de Henry e Guidotti (1985) são bons indicadores das associações litológicas e ambientes de formação de turmalina. Apesar de não incluírem rochas como turmalinitos e metatufos básicos, dão a indicação do ambiente de formação da turmalina constituinte dessas rochas. Assim, a Figura 5a indica que a turmalina dos metatufos básicos formou-se em ambientes análogos aos dos metapelitos e metapsamitos sem minerais formados pela saturação em Al (campo 5) e das rochas com quartzo, com turmalina rica em Fe³⁺, associadas a rochas calciossilicáticas e metapelitos (campo 6). O mesmo ocorre com as metavulcanoclásticas, cujas composições da turmalina equivalem às dos granitos hidrotermalizados ricos em quartzo, sendo a turmalina rica em Fe³⁺ (campo 3). A correspondência para os metapelitos é mais adequada (campos 4 e 5), prevendo, inclusive a existência de minerais formados pela saturação em Al. O mesmo pode ser visto na Figura 5b, onde as composições da turmalina dos metapelitos equivalem àquelas dos metapelitos e metapsamitos pobres em Ca e rochas com quartzo e turmalina (campo 4).

Tabela 1. Composição química (% em peso) obtida por microsonda eletrônica de turmalina de rochas da Formação Morro da Pedra Preta. Íons calculados na base de 31 átomos de oxigênio e 3 átomos de boro.

Amostra	Metatufos básicos																																								
	S1-30-1	S1-30-2	S1-30-3	S1-30-5	S1-30-6	S2-42-1	S2-42-2	S2-42-3	S2-42-4	S2-42-5	S2-42-6	S2-42-7	S2-42-8	S2-42-9	S2-42-10	S2-97-1	S2-97-2	S2-97-7	S2-97-8	S2-97-9																					
SiO ₂	35,30	35,44	35,88	35,27	34,92	35,47	35,55	35,18	35,73	35,51	35,61	35,16	35,49	35,20	35,32	36,13	35,92	36,25	35,85	36,06	35,30	35,44	35,88	35,27	34,92	35,47	35,55	35,18	35,73	35,51	35,61	35,16	35,49	35,20	35,32	36,13	35,92	36,25	35,85	36,06	
TiO ₂	1,01	0,52	1,15	1,10	1,16	0,50	0,54	0,44	0,55	1,66	0,57	1,17	0,76	0,56	0,55	0,48	0,33	0,97	0,42	0,59	1,01	0,52	1,15	1,10	1,16	0,50	0,54	0,44	0,55	1,66	0,57	1,17	0,76	0,56	0,55	0,48	0,33	0,97	0,42	0,59	
Al ₂ O ₃	27,39	29,50	29,51	29,30	28,39	30,87	30,94	31,69	31,67	28,20	31,51	30,53	31,42	31,44	31,84	30,53	30,55	28,95	30,40	30,04	27,39	29,50	29,51	29,30	28,39	30,87	30,94	31,69	31,67	28,20	31,51	30,53	31,42	31,44	31,84	30,53	30,55	28,95	30,40	30,04	
FeO	11,89	9,63	8,50	9,26	10,28	7,88	7,67	7,20	7,39	11,23	7,71	8,17	7,34	7,72	7,54	9,46	9,35	9,60	8,80	8,57	11,89	9,63	8,50	9,26	10,28	7,88	7,67	7,20	7,39	11,23	7,71	8,17	7,34	7,72	7,54	9,46	9,35	9,60	8,80	8,57	
MnO	0,04	0,03	0,04	0,03	0,00	0,00	0,06	0,00	0,06	0,00	0,02	0,02	0,00	0,04	0,00	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,04	0,03	0,04	0,03	0,00	0,00	0,06	0,00	0,06	0,00	0,02	0,02	0,00	0,04	0,00	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	
MgO	6,40	7,05	7,76	7,11	6,82	7,19	7,07	7,30	7,10	5,93	7,04	7,16	7,11	6,95	7,11	6,03	5,90	6,52	6,33	6,78	6,40	7,05	7,76	7,11	6,82	7,19	7,07	7,30	7,10	5,93	7,04	7,16	7,11	6,95	7,11	6,03	5,90	6,52	6,33	6,78	
CaO	0,78	1,11	1,63	1,65	2,32	1,31	1,32	1,41	1,01	0,44	1,39	1,52	1,31	1,39	1,36	0,64	1,01	0,80	0,91	0,91	0,78	1,11	1,63	1,65	2,32	1,31	1,32	1,41	1,01	0,44	1,39	1,52	1,31	1,39	1,36	0,64	1,01	0,80	0,91	0,91	
Na ₂ O	2,33	2,03	1,71	1,68	1,30	2,00	1,81	1,85	1,91	2,49	1,79	1,74	1,91	1,86	1,85	2,17	2,20	2,15	2,25	2,25	2,33	2,03	1,71	1,68	1,30	2,00	1,81	1,85	1,91	2,49	1,79	1,74	1,91	1,86	1,85	2,17	2,20	2,15	2,25	2,25	
K ₂ O	0,05	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,04	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,02	0,05	0,02	0,00	0,02	0,02	0,05	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,04	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,02	0,05	0,02	0,00	0,02	0,02	
F	0,20	0,11	0,23	0,14	0,16	0,00	0,03	0,07	0,11	0,17	0,08	0,12	0,00	0,13	0,20	0,18	0,11	0,11	0,03	0,26	0,20	0,11	0,23	0,14	0,16	0,00	0,03	0,07	0,11	0,17	0,08	0,12	0,00	0,13	0,20	0,18	0,11	0,11	0,03	0,26	
Total	85,39	85,42	86,43	85,52	85,35	85,24	84,99	85,13	85,56	85,66	85,75	85,61	85,35	85,31	85,82	85,77	85,00	85,60	84,80	85,49	85,39	85,42	86,43	85,52	85,35	85,24	84,99	85,13	85,56	85,66	85,75	85,61	85,35	85,31	85,82	85,77	85,00	85,60	84,80	85,49	
B	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
F	0,110	0,057	0,122	0,072	0,087	0,000	0,014	0,035	0,055	0,088	0,040	0,064	0,000	0,069	0,104	0,096	0,056	0,060	0,015	0,137	0,110	0,057	0,122	0,072	0,087	0,000	0,014	0,035	0,055	0,088	0,040	0,064	0,000	0,069	0,104	0,096	0,056	0,060	0,015	0,137	
Si total	6,012	5,950	5,918	5,911	5,908	5,914	5,929	5,843	5,899	5,998	5,885	5,848	5,887	5,850	5,823	6,005	6,016	6,061	6,007	5,977	6,012	5,950	5,918	5,911	5,908	5,914	5,929	5,843	5,899	5,998	5,885	5,848	5,887	5,850	5,823	6,005	6,016	6,061	6,007	5,977	
Al total	5,500	5,840	5,738	5,789	5,761	6,066	6,082	6,206	6,164	5,616	6,140	5,987	6,144	6,161	6,190	5,982	6,032	5,708	6,005	5,870	5,500	5,840	5,738	5,789	5,761	6,066	6,082	6,206	6,164	5,616	6,140	5,987	6,144	6,161	6,190	5,982	6,032	5,708	6,005	5,870	
Fe total	1,693	1,352	1,172	1,297	1,454	1,098	1,070	1,000	1,020	1,586	1,066	1,136	1,018	1,073	1,040	1,315	1,310	1,342	1,233	1,189	1,693	1,352	1,172	1,297	1,454	1,098	1,070	1,000	1,020	1,586	1,066	1,136	1,018	1,073	1,040	1,315	1,310	1,342	1,233	1,189	
SiT	6,000	5,950	5,918	5,911	5,908	5,914	5,929	5,843	5,899	5,998	5,885	5,848	5,887	5,850	5,823	6,000	6,000	6,000	6,000	5,977	6,000	5,950	5,918	5,911	5,908	5,914	5,929	5,843	5,899	5,998	5,885	5,848	5,887	5,850	5,823	6,000	6,000	6,000	6,000	5,977	
AlT	0,000	0,050	0,082	0,089	0,092	0,086	0,071	0,157	0,101	0,002	0,115	0,152	0,113	0,150	0,177	0,000	0,000	0,000	0,000	0,023	0,000	0,050	0,082	0,089	0,092	0,086	0,071	0,157	0,101	0,002	0,115	0,152	0,113	0,150	0,177	0,000	0,000	0,000	0,000	0,023	
AlZ	5,500	5,790	5,656	5,700	5,669	5,980	6,000	6,000	6,000	5,614	6,000	5,835	6,000	6,000	6,000	5,982	6,000	5,708	6,000	5,847	5,500	5,790	5,656	5,700	5,669	5,980	6,000	6,000	6,000	5,614	6,000	5,835	6,000	6,000	6,000	6,000	5,982	6,000	5,708	6,000	5,847
AlY	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,049	0,063	0,000	0,025	0,000	0,031	0,011	0,013	0,000	0,032	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,049	0,063	0,000	0,025	0,000	0,031	0,011	0,013	0,000	0,032	0,000	0,005	0,000	
SiY	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,061	0,000	0,000	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,061	0,000	0,000	0,000	0,000	
Ti	0,130	0,065	0,143	0,138	0,150	0,063	0,067	0,055	0,068	0,211	0,070	0,147	0,094	0,070	0,068	0,059	0,042	0,121	0,053	0,073	0,130	0,065	0,143	0,138	0,150	0,063	0,067	0,055	0,068	0,211	0,070	0,147	0,094	0,070	0,068	0,059	0,042	0,121	0,053	0,073	
Mg	1,625	1,765	1,908	1,775	1,748	1,787	1,756	1,806	1,747	1,494	1,733	1,774	1,757	1,720	1,746	1,471	1,624	1,581	1,675	1,675	1,625	1,765	1,908	1,775	1,748	1,787	1,756	1,806	1,747	1,494	1,733	1,774	1,757	1,720	1,746	1,471	1,624	1,581	1,675	1,675	
Fe2	1,193	1,142	0,828	0,997	1,123	1,078	1,070	1,000	1,020	1,200	1,066	0,971	1,018	1,073	1,040	1,297	1,310	1,050	1,233	1,036	1,193	1,142	0,828	0,997	1,123	1,078	1,070	1,000	1,020	1,200	1,066	0,971	1,018	1,073	1,040	1,297	1,310	1,050	1,233	1,036	
Fe3	0,500	0,210	0,344	0,300	0,331	0,020	0,000	0,000	0,000	0,386	0,000	0,165	0,000	0,000	0,000	0,000	0,292	0,000	0,153	0,153	0,500	0,210	0,344	0,300	0,331	0,020	0,000	0,000	0,000	0,386	0,000	0,165	0,000	0,000	0,000	0,292	0,000	0,153	0,153		
Mn	0,006	0,005	0,006	0,004	0,000	0,000	0,008	0,000	0,008	0,000	0,003	0,003	0,000	0,005	0,000	0,002	0,004	0,001	0,001	0,001	0,006	0,005	0,006	0,004	0,000	0,000	0,008	0,000	0,008	0,000	0,003	0,003	0,000	0,005	0,000	0,002	0,004	0,001	0,001		
Ytotal	3,466	3,187	3,229	3,214	3,352	2,948	2,912	2,910	2,906	3,291	2,897	3,060	2,900	2,879	2,867	2,875	2,873	3,152	2,880	2,938	3,466	3,187	3,229	3,214	3,352	2,948	2,912	2,910	2,906	3,291	2,897	3,060	2,900	2,879	2,867	2,875	2,873	3,152	2,880	2,938	
Ca	0,143	0,199	0,288	0,296	0,428	0,233	0,236	0,251	0,179	0,079	0,245	0,271	0,233	0,248	0,241	0,134	0,114	0,182	0,143	0,162	0,143	0,199	0,288	0,296	0,428	0,233	0,236	0,251	0,179	0,079	0,245	0,271	0,233	0,248	0,241	0,134	0,114	0,182	0,143	0,162	
Na	0,769	0,662	0,547	0,546	0,431	0,648	0,584	0,596	0,612	0,815	0,575	0,562	0,615	0,600	0,592	0,700	0,713	0,697	0,697	0,723	0,769	0,662	0,547	0,546	0,431	0,648	0,584	0,596	0,612	0,815	0,575	0,562	0,615	0,600	0,592	0,700	0,713	0,697	0,697	0,723	
K	0,010	0,000	0,005	0,000	0,000	0,006	0,006	0,000	0,008	0,007	0,002	0,002	0,006	0,004	0,010	0,004	0,000	0,003	0,004	0,004	0,010	0,000	0,005	0,000	0,000	0,006	0,006</														

(Tabela 1 - Continuação)

Amostra	Vênula de quartzo						Metavulcanoclásticas intermediárias ácidas											
	S2-97-3	S2-97-4	S2-97-5	S2-97-6	S3-92-1	S3-92-2	S3-92-3	S3-92-4	S3-92-5	S3-92-6	S3-112-1	S3-112-2	S3-112-3	S3-112-4	S3-112-5	S3-112-6		
SiO ₂	37,09	37,28	37,17	37,05	35,20	35,16	34,81	34,42	34,42	34,51	36,10	34,67	35,00	35,36	35,64	35,13		
TiO ₂	0,51	0,40	0,45	1,01	1,10	0,88	1,19	1,21	1,32	1,26	0,11	1,31	0,77	0,80	0,33	0,84		
Al ₂ O ₃	30,74	31,83	31,75	30,18	28,96	27,91	27,82	25,12	25,71	25,57	30,39	28,33	28,50	27,70	29,88	27,05		
FeO	3,95	3,87	3,72	5,43	14,42	16,88	15,72	18,48	18,00	17,90	10,62	14,10	13,39	12,99	11,52	14,49		
MnO	0,06	0,00	0,02	0,02	0,01	0,04	0,02	0,09	0,08	0,06	0,00	0,03	0,03	0,01	0,04	0,03		
MgO	9,44	8,82	8,88	8,76	3,37	2,77	3,29	3,01	3,04	3,04	5,09	3,88	4,20	5,10	5,29	4,43		
CaO	1,22	1,02	1,17	1,41	0,85	0,25	1,03	1,45	1,26	1,33	0,51	0,62	0,92	1,20	0,87	0,64		
Na ₂ O	2,04	1,91	1,80	2,09	2,03	2,62	2,10	2,03	2,05	2,12	2,19	2,32	2,27	2,11	2,26	2,52		
K ₂ O	0,04	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,04	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02		
F	0,14	0,25	0,20	0,26	0,09	0,14	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,12	0,00	0,11		
Total	85,24	85,38	85,18	86,22	86,04	86,69	86,04	85,83	85,88	85,80	85,02	85,29	85,09	85,40	85,82	85,25		
B	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
F	0,073	0,126	0,103	0,135	0,047	0,075	0,028	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,062	0,001	0,060		
Si total	6,038	6,023	6,017	6,012	6,006	6,035	5,993	6,072	6,052	6,066	6,085	5,975	6,028	6,053	6,005	6,068		
Al total	5,900	6,063	6,061	5,773	5,826	5,648	5,646	5,223	5,329	5,299	6,038	5,756	5,785	5,591	5,935	5,506		
Fe total	0,538	0,522	0,504	0,736	2,057	2,423	2,263	2,725	2,646	2,631	1,496	2,033	1,928	1,860	1,624	2,093		
SiT	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	5,993	6,000	6,000	6,000	6,000	5,975	6,000	6,000	6,000	6,000		
AlT	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000		
AlZ	5,900	6,000	6,000	5,773	5,826	5,648	5,639	5,223	5,329	5,299	6,000	5,731	5,785	5,591	5,935	5,506		
AlY	0,000	0,063	0,061	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,038	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
SiY	0,038	0,023	0,017	0,012	0,006	0,035	0,000	0,072	0,052	0,066	0,085	0,000	0,028	0,053	0,005	0,068		
Ti	0,063	0,048	0,055	0,123	0,141	0,113	0,154	0,160	0,175	0,167	0,014	0,170	0,099	0,103	0,041	0,109		
Mg	2,291	2,124	2,144	2,118	0,857	0,709	0,843	0,790	0,789	0,796	1,278	0,996	1,078	1,301	1,328	1,139		
Fe2	0,438	0,522	0,504	0,509	1,883	2,071	1,902	1,948	1,975	1,930	1,496	1,764	1,713	1,451	1,559	1,599		
Fe3	0,100	0,000	0,000	0,227	0,174	0,352	0,361	0,777	0,671	0,701	0,000	0,269	0,215	0,409	0,065	0,494		
Mn	0,008	0,000	0,002	0,002	0,001	0,006	0,003	0,014	0,012	0,008	0,000	0,005	0,004	0,001	0,006	0,004		
Total	2,938	2,780	2,783	2,991	3,062	3,286	3,263	3,761	3,674	3,668	2,911	3,204	3,137	3,318	3,004	3,413		
Ca	0,213	0,176	0,203	0,245	0,156	0,047	0,190	0,273	0,238	0,250	0,092	0,115	0,170	0,219	0,156	0,119		
Na	0,644	0,598	0,564	0,656	0,672	0,872	0,701	0,693	0,697	0,723	0,717	0,776	0,757	0,700	0,737	0,843		
K	0,009	0,001	0,003	0,004	0,003	0,006	0,003	0,009	0,004	0,004	0,002	0,004	0,005	0,005	0,001	0,004		
vacX	0,134	0,225	0,230	0,095	0,169	0,075	0,106	0,025	0,061	0,023	0,189	0,105	0,068	0,076	0,106	0,034		
Total Cátions	15,704	15,555	15,553	15,669	15,719	15,859	15,796	15,959	15,942	15,944	15,722	15,830	15,854	15,833	15,833	15,885		
Mg/(Fe+Mg)	0,810	0,803	0,810	0,742	0,294	0,226	0,271	0,225	0,230	0,232	0,461	0,329	0,359	0,412	0,450	0,352		

(continua...)

(Tabela 1 - Continuação)

Amostra	Metapelitos																	
	S8-77-1	S8-77-2	S8-77-3	S8-77-4	S8-77-5	S8-77-8	S8-77-9	S8-77-10	S8-77-11	S8-77-12	S8-77-13	S8-77-14	S8-79-3	S8-79-4	S8-79-5	S8-79-6	S8-79-7	S8-79-8
SiO ₂	35,22	35,90	35,66	36,42	35,88	35,57	36,39	36,82	36,25	36,65	37,10	36,54	36,74	36,15	36,90	38,58	36,47	37,26
TiO ₂	0,07	0,16	0,16	0,07	0,12	0,07	0,18	0,10	0,10	0,18	0,12	0,15	0,16	0,11	0,09	0,06	0,11	0,09
Al ₂ O ₃	32,85	31,66	31,67	32,47	32,44	32,46	31,81	30,71	31,88	30,58	32,26	31,24	30,99	32,22	30,56	31,52	32,52	32,39
FeO	5,69	5,66	5,93	5,54	5,64	5,22	5,82	5,78	5,11	6,00	6,10	5,59	4,95	5,17	4,85	5,69	5,63	5,24
MnO	0,08	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,22	0,19	0,02	0,01	0,16	0,20	0,00	0,02	0,00	0,03	0,04	0,00
MgO	7,72	8,10	8,06	7,84	7,96	7,88	8,58	9,05	8,30	7,96	8,02	8,90	9,12	8,09	9,28	7,66	7,83	8,27
CaO	0,84	0,96	1,08	0,06	0,94	0,72	1,33	0,32	0,85	1,59	0,11	0,77	0,54	0,59	0,46	0,49	0,57	0,44
Na ₂ O	1,69	1,87	1,84	2,09	1,88	1,89	1,75	2,44	1,88	2,03	2,07	2,08	2,17	1,94	2,20	1,87	1,81	1,97
K ₂ O	0,03	0,02	0,03	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,04
F	0,27	0,36	0,32	0,16	0,19	0,42	0,23	0,27	0,41	0,34	0,44	0,43	0,29	0,28	0,26	0,29	0,36	0,45
Total	84,45	84,71	84,78	84,69	85,08	84,27	86,31	85,69	84,82	85,35	86,38	85,91	84,97	84,58	84,60	86,18	85,36	86,15
B	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
F	0,142	0,186	0,166	0,084	0,098	0,218	0,117	0,140	0,210	0,175	0,221	0,220	0,150	0,144	0,134	0,145	0,186	0,227
Si total	5,815	5,903	5,868	5,976	5,884	5,860	5,895	6,007	5,910	6,013	5,958	5,922	6,006	5,929	6,053	6,193	5,934	5,985
Al total	6,395	6,137	6,143	6,281	6,271	6,304	6,077	5,906	6,127	5,916	6,109	5,969	5,972	6,231	5,909	5,965	6,237	6,135
Fe total	0,785	0,778	0,816	0,760	0,774	0,719	0,788	0,789	0,697	0,823	0,819	0,758	0,677	0,709	0,666	0,764	0,766	0,704
Sr	5,815	5,903	5,868	5,976	5,884	5,860	5,895	6,000	5,910	6,000	5,958	5,922	6,000	5,929	6,000	6,000	5,934	5,985
Alr	0,185	0,097	0,132	0,024	0,116	0,140	0,105	0,000	0,090	0,000	0,042	0,078	0,000	0,071	0,000	0,000	0,066	0,015
Alz	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	5,972	5,906	6,000	5,916	6,000	5,891	5,972	6,000	5,909	5,965	6,000	6,000
AlY	0,210	0,040	0,011	0,257	0,155	0,164	0,000	0,000	0,037	0,000	0,067	0,000	0,000	0,160	0,000	0,000	0,171	0,120
AlY	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,013	0,000	0,000	0,006	0,000	0,053	0,193	0,000	0,000
Ti	0,008	0,020	0,020	0,009	0,014	0,009	0,021	0,013	0,012	0,022	0,014	0,018	0,019	0,013	0,011	0,007	0,014	0,011
Mg	1,899	1,986	1,976	1,918	1,946	1,936	2,073	2,201	2,016	1,946	1,920	2,150	2,221	1,978	2,268	1,832	1,899	1,980
Fe2	0,785	0,778	0,816	0,760	0,774	0,719	0,760	0,695	0,697	0,739	0,819	0,649	0,649	0,709	0,575	0,729	0,766	0,704
Fe3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,028	0,094	0,000	0,084	0,000	0,109	0,028	0,000	0,091	0,035	0,000	0,000
Mn	0,011	0,003	0,005	0,002	0,003	0,004	0,031	0,026	0,003	0,002	0,021	0,027	0,000	0,002	0,000	0,004	0,006	0,000
Ytotal	2,913	2,827	2,828	2,946	2,892	2,832	2,913	3,036	2,765	2,806	2,841	2,953	2,923	2,862	2,998	2,800	2,856	2,815
Ca	0,149	0,169	0,190	0,011	0,165	0,127	0,231	0,055	0,149	0,279	0,018	0,133	0,094	0,104	0,080	0,084	0,100	0,076
Na	0,540	0,596	0,587	0,666	0,599	0,602	0,550	0,770	0,595	0,644	0,646	0,653	0,688	0,618	0,701	0,583	0,572	0,613
K	0,006	0,004	0,006	0,003	0,001	0,003	0,001	0,002	0,005	0,005	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003	0,002	0,004	0,008
vacX	0,305	0,231	0,217	0,320	0,235	0,268	0,218	0,173	0,251	0,072	0,333	0,211	0,215	0,274	0,216	0,331	0,324	0,303
Total Cations	15,608	15,596	15,611	15,626	15,657	15,564	15,667	15,769	15,514	15,650	15,508	15,633	15,680	15,588	15,691	15,434	15,532	15,512
Mg/(Fe+Mg)	0,708	0,719	0,708	0,716	0,715	0,729	0,725	0,736	0,743	0,703	0,701	0,739	0,766	0,736	0,773	0,706	0,713	0,738

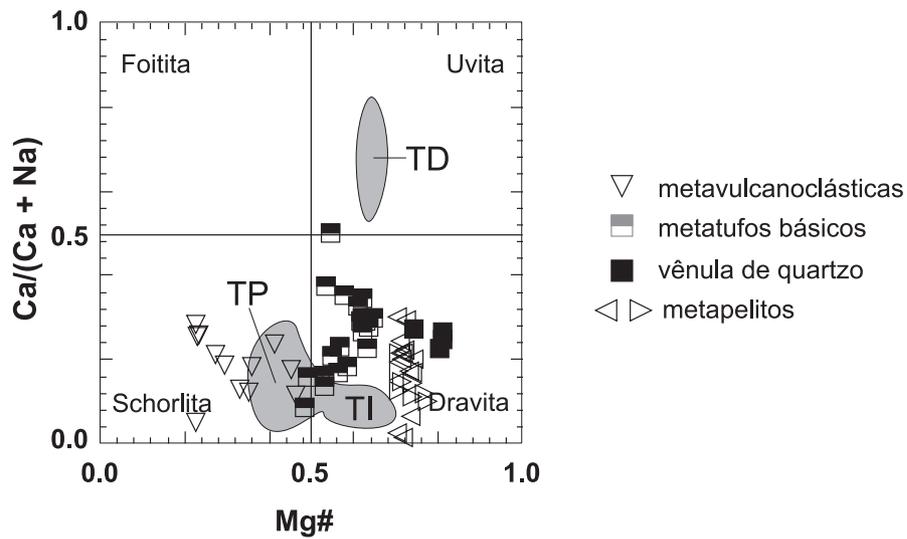


Figura 4. Classificação da turmalina das rochas ricas em turmalina do prospecto Tapera Grande pelo diagrama $Ca/(Ca+Na)$ vs. $Mg\#$. **TP** = turmalinitos proximais. **TI** = turmalinitos intermediários. **TD** = turmalinitos distais ao centro de atividade vulcano-exalativa (Beljavskis et al., 2005).

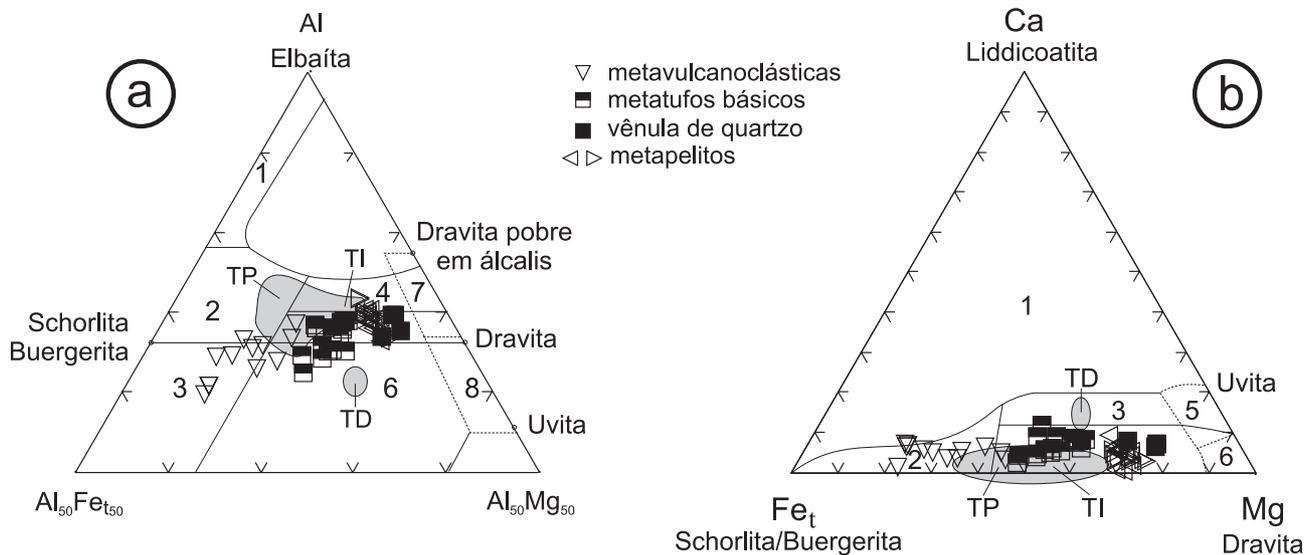


Figura 5. Diagramas de Henry e Guidotti (1985) para a classificação de ambientes de formação de turmalina (proporções atômicas). Os campos em (a) correspondem à turmalina de: **1.** pegmatitos e aplitos de granitóides ricos em Li; **2.** granitóides pobres em Li e pegmatitos e aplitos associados; **3.** granitos hidrotermalizados ricos em quartzo, sendo a turmalina rica em Fe^{3+} ; **4.** metapelitos e metapsamitos com minerais indicadores de saturação em Al; **5.** metapelitos e metapsamitos sem minerais formados pela saturação em Al; **6.** rochas com quartzo, sendo turmalina rica em Fe^{3+} , associadas a rochas calciossilicáticas e metapelitos; **7.** rochas metaultramáficas (baixo Ca) e metassedimentares ricas em Cr e V; **8.** rochas carbonáticas metamorfizadas e metapiroxenitos. Em (b): campos **1** e **2** como em (a); **3.** metapelitos, metapsamitos e rochas calciossilicáticas ricas em Ca; **4.** metapelitos, metapsamitos pobres em Ca e rochas com quartzo e turmalina; **5.** rochas carbonáticas metamorfizadas; **6.** rochas metaultramáficas. **TP** = turmalinitos proximais. **TI** = turmalinitos intermediários. **TD** = turmalinitos distais ao centro de atividade vulcano-exalativa (Beljavskis et al., 2005).

A turmalina dos metatufos básicos e das metavulcanoclásticas intermediárias a ácidas

A Figura 6 mostra as principais variações das composições (em apfu) da turmalina dos metatufos básicos e das metavulcanoclásticas intermediárias a ácidas. Retomando a fórmula geral da turmalina, algumas considerações podem ser feitas quanto ao preenchimento das posições T e Z.

No caso dos metatufos básicos, quando a turmalina apresenta valores de $Mg\# > 0,6$, pode ocorrer a insuficiência em Si para o preenchimento da posição T (Figura 6a). Assim, completada a posição Z (Figura 6c) e havendo excesso de Al, a posição T é preenchida com o Al excedente. Quando $Mg\# < 0,6$, apesar de haver Si suficiente para o preenchimento da posição T (Figura 6a), pode ocorrer insuficiência de Al para o preenchimento da posição Z (Figura 6c), que é, então, completada com Fe, assumido como Fe^{3+} (Figura 6g). Nessa situação está a turmalina que apresenta $Ti > 0,12$ (Figura 6e), sugerindo que, além de Fe, Ti pode também completar a posição Z. A turmalina do metatufos básico com vênula de quartzo (SRT2-97), por sua vez, praticamente não apresenta insuficiência de Si para o preenchimento da posição T ou de Al para o preenchimento da posição Z e os valores de Ti correspondentes são os mais baixos ($< 0,08$) entre aqueles da turmalina de metatufos básicos (Figura 6e).

A turmalina das metavulcanoclásticas intermediárias a ácidas não apresenta insuficiência de Si para o preenchimento da posição T (Figura 6a). Entretanto, os valores de Al abaixo de 6 são predominantes (Figura 6c), correspondendo a valores elevados de Fe e, em parte, Ti, relativamente à turmalina dos metatufos (Figuras 6e e 6g), indicando a participação de Fe e possivelmente de Ti no preenchimento da posição Z.

Os valores de Na são relativamente altos ($> 0,7$) na turmalina das metavulcanoclásticas intermediárias a ácidas e não definem uma tendência em relação a $Mg\#$ (Figura 6i). Por outro lado, os valores de Ca tendem a diminuir com o aumento de $Mg\#$ (Figura 6l), o contrário do que acontece com a turmalina dos metatufos básicos.

A vacância em X, tanto na turmalina dos metatufos básicos como na das vulcanoclásticas intermediárias a ácidas, não excede 0,2 (Tabela 1).

A turmalina dos metapelitos

A insuficiência em Si para preencher a posição T é comum na turmalina dos metapelitos (Figura 6b). Por outro lado, apresenta excesso em Al para o preenchimento da posição Z (Figura 6d), o que faz com que Fe^{3+} fique abaixo de 0,1. Os

valores de Ti são muito baixos ($< 0,02$ – Figura 6f). A turmalina de SRT8-77 apresenta valores mais elevados de Fe (em média 0,776 apfu) e mais baixos de Mg (em média 1,997 apfu) relativamente à turmalina de SRT8-79.

Em geral, os valores de Mn estão abaixo de 0,01 apfu, exceto para a turmalina inclusa em granada (Figuras 3g, 3h e 6h).

Os valores de Ca variam entre 0 e 0,3 apfu. Nota-se na Figura 6m que boa parte das análises relativas à amostra SRT8-77 tende a apresentar valores de Ca mais elevados do que os da amostra SRT8-79. Os valores de Na também apresentam ampla variação, de 0,5 a 0,8 apfu, havendo uma tendência de serem mais elevados na amostra SRT8-79 (Figura 6j). Conseqüentemente, os valores da vacância em X variam entre 0,05 a 0,35.

AMBIENTES DEPOSICIONAIS INDICADOS PELOS TURMALINITOS DA FORMAÇÃO MORRO DA PEDRA PRETA

Beljavskis et al. (2005) e Beljavskis, Garda e Tassinari (2005) utilizaram as composições químicas da turmalina dos turmalinitos do Grupo Serra do Itaberaba como indicador de ambiente deposicional, caracterizando, dessa forma, os tipos de sistemas hidrotermais operantes e a potencialidade para mineralizações de ouro (Figura 7). Observaram que a turmalina que caracteriza os turmalinitos proximais ao centro vulcano-exalativo, em especial aqueles associados à formação ferrífera e a *metachert* do prospecto Tapera Grande, têm composições tendendo para o membro extremo schorlita, ao passo que as composições da turmalina dos turmalinitos intermediários a distais tendem ao membro extremo dravita (em Tapera Grande) e uvita (ponto SI-1611 da Figura 1). Nos turmalinitos proximais, a turmalina é mais rica em Fe, Na e Al, ao passo que nos intermediários a distais, a turmalina é mais rica em Mg e Ca. A potencialidade para ouro é indicada pelos turmalinitos proximais e intermediários do prospecto Tapera Grande.

A turmalina das rochas ricas em turmalina deste estudo também mostra tendências semelhantes. A turmalina das metavulcanoclásticas – rochas próximas ao centro exalativo – é mais rica em Fe e Na e mais pobre em Mg e Ca. É interessante notar que os teores de Al são mais baixos que os dos turmalinitos proximais (Figura 5a). A análise de rocha total da amostra SRT3-112 (Tabela 2) mostra que o teor de Al_2O_3 é um pouco mais baixo do que aquele do metatufos básico SRT1-30.

Os metatufos básicos ocupam tanto posições proximais a intermediárias, como posições intermediárias a distais, onde a relação fluido/rocha é menor. O metatufos básico com vênula de quartzo (amostra SRT2-97) enquadra-se na primeira situação: os valores de $Mg\#$ da turmalina da matriz são

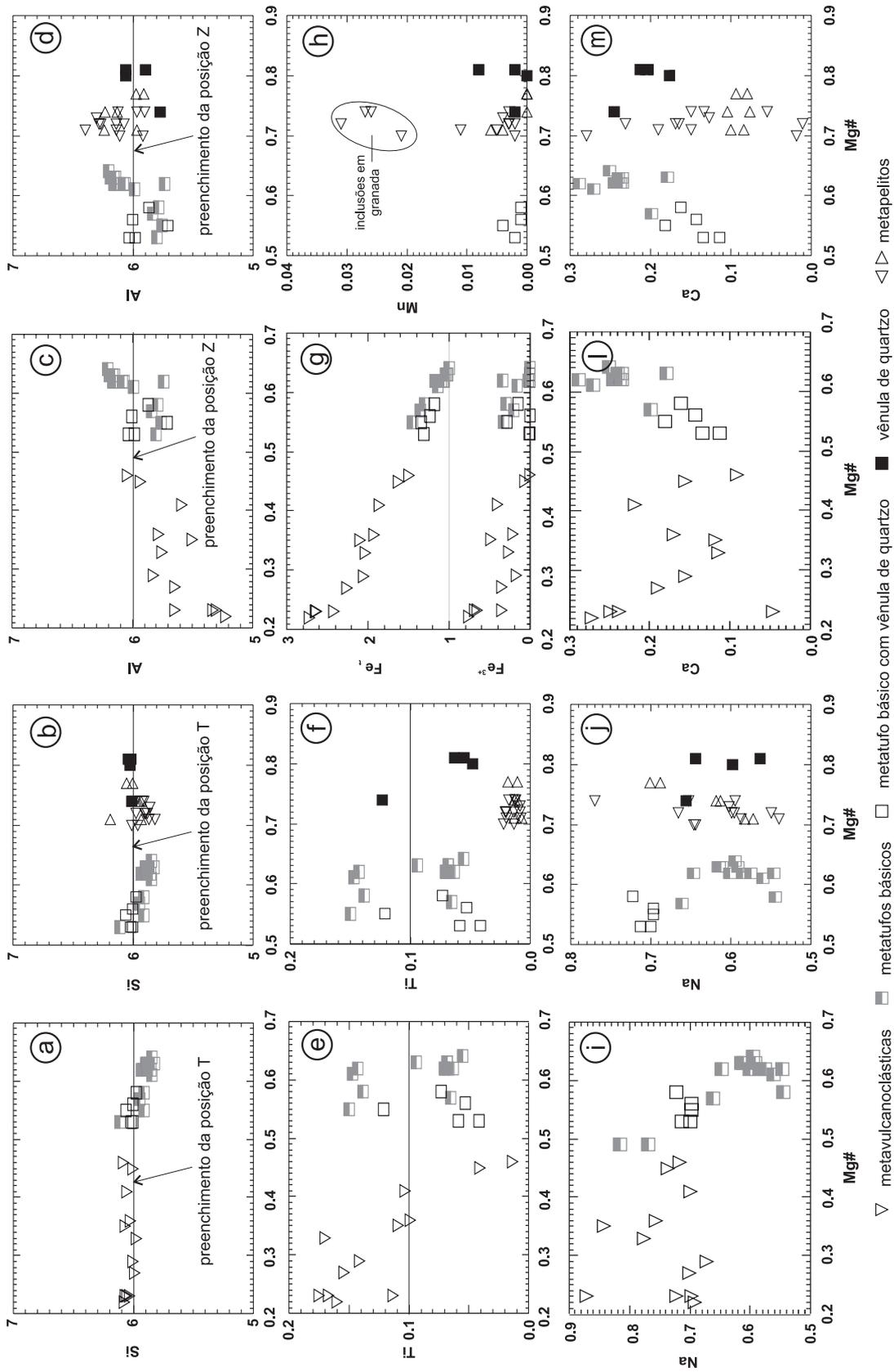


Figura 6. Diagramas de variação das proporções atômicas da fórmula unitária (apfu) em relação a Mg# [= Mg/(Mg + Fe_{total})].

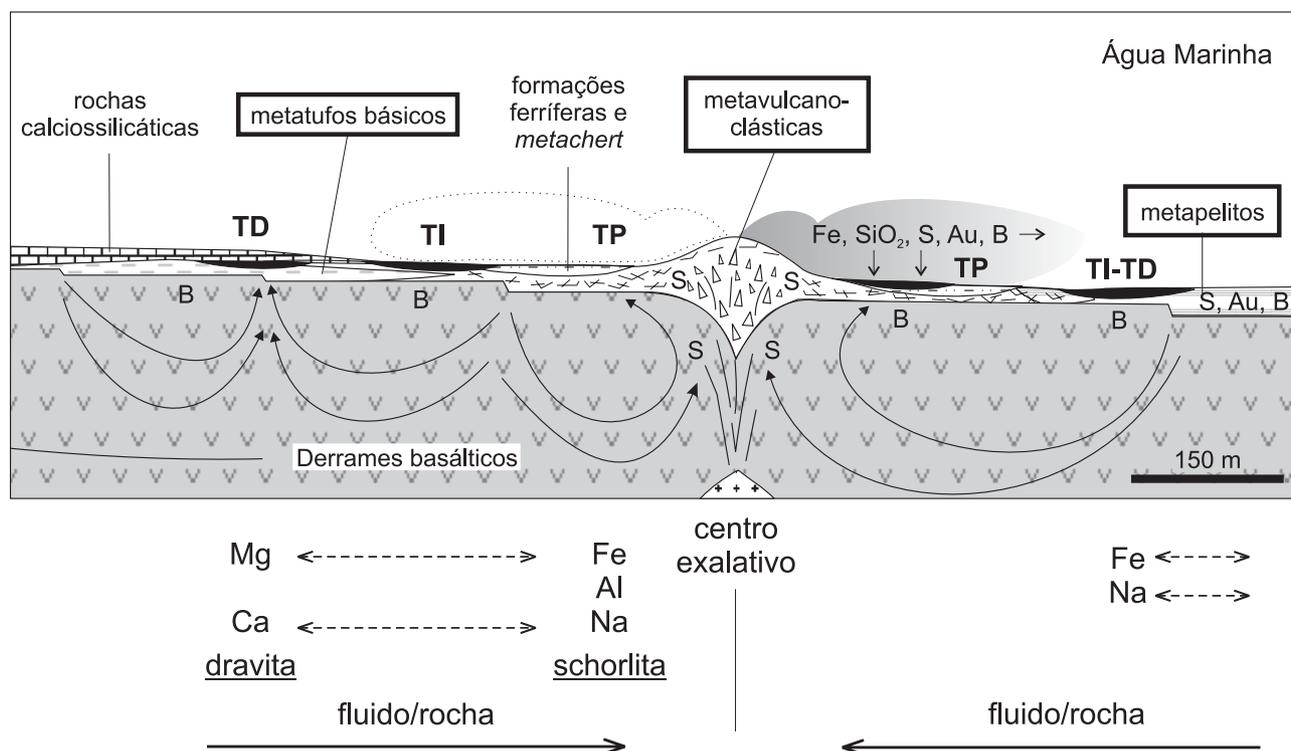


Figura 7. Representação esquemática de um sistema hidrotermal, com a localização dos turmalinitos (TP = proximais; TI = intermediários; TD = distais) e rochas ricas em turmalina em relação ao centro de atividade vulcano-exalativa (mod. de Beljavskis et al., 2005).

Tabela 2. Análises de rocha total por ICP-MS de algumas rochas ricas em turmalina do Prospecto Tapera Grande (Beljavskis, 2003). Valores em % em peso.

Amostra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _t	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	PF
SRT1-30	49,25	1,47	12,27	15,77	0,30	6,37	8,72	1,44	0,68	0,05	0,17	1,25
SRT3-112	60,91	0,82	11,90	13,35	0,18	0,96	4,40	4,73	0,20	0,22	0,32	1,75
SRT8-77	61,19	0,53	15,64	5,87	0,16	5,65	2,13	3,26	1,77	0,06	0,05	2,80
SRT8-79	61,29	0,60	19,13	5,93	0,10	5,67	0,77	1,67	2,75	0,08	0,02	2,19

inferiores a 0,6, sendo mais rica em Fe (Figura 6g) e Na (Figura 6j) e mais pobre em Ca (Figura 6m) do que a turmalina dos demais metatufos. A turmalina da vênula de quartzo contém Si (Figura 6b), Al (Figura 6d) e Ti (Figura 6f) em valores de apfu semelhantes aos daquela do metatufo SRT2-97. Os valores de Na (Figura 6j) e Ca (Figura 6m), entretanto, variam dentro dos intervalos de valores de Na e Ca correspondentes à turmalina dos metatufos de características intermediárias a distais. A turmalina da vênula de quartzo é muito pobre em Fe ($3,72\% < \text{FeO}_t < 5,43\%$) e rica em MgO ($8,76\% < \text{MgO} < 9,74\%$), resultando nos elevados valores de Mg# (ca. 0,8).

As análises de rocha total (Tabela 2) mostram que há diferenças na composição dos metapelitos SRT8-77 e SRT8-79, em especial em relação ao Al₂O₃ (15,64 % e 19,13 %); MnO (0,16% e 0,10%); CaO (2,13% e 0,77%); Na₂O (3,26 e 1,67%) e K₂O (1,77 e 2,75%). Os teores mais elevados de Al₂O₃ e K₂O em SRT8-79 refletem a presença de estauroлита e a maior quantidade de biotita nessa amostra em relação à SRT8-77. Por outro lado, o teor mais elevado de MnO de SRT8-77 reflete a presença de granada com Mn [Fe_{1,6}Mg_{0,5}Mn_{0,7}Ca_{0,2}(Al_{1,9}Fe_{0,1})₂Si₃O₁₂].

Em relação às composições da turmalina, o que chama a atenção são os valores em apfu mais elevados de Ca na amostra

SRT8-77, em relação à SRT8-79 (Figura 6m). Para os demais elementos, há praticamente uma superposição dos intervalos de valores desses elementos para a turmalina dos metapelitos.

Uma vez que as composições da turmalina dos metapelitos estão próximas àquelas dos turmalinitos intermediários (Figuras 4 e 5), os metapelitos foram posicionados próximos aos turmalinitos intermediários-distais da Figura 7. Como sugerem os diagramas de Henry e Guidotti (Figura 5), a fonte de Al para a geração da turmalina dos metapelitos e dos turmalinitos associados é o próprio metapelito aluminoso. A rocha pode também ter sido fonte de Mg, uma vez que apresenta teores de MgO relativamente elevados (Tabela 2), e de boro. Assim, as composições da turmalina dos metapelitos representam mais a composição da própria rocha hospedeira, do que propriamente a do fluido hidrotermal.

Os metapelitos provenientes do furo de sondagem SRT8 localizam-se próximos ao grafita xisto amostrado pelo furo de sondagem SRT11 (Figura 2). Beljavskis, Garda e Sayeg (1999) localizaram em seção polida dessa rocha, por imagens de elétrons retroespalhados, partículas de ouro tido como singenético, uma vez que a rocha também contém sulfetos do Estágio I, sin-sedimentares, conforme Garda et al. (2002). Beljavskis (2003) obteve teores de ouro relativamente elevados para a amostra SRT8-77, o que pode indicar a capacidade desses fluidos de remobilizar ouro, além de Fe, Mg, Ca e Na.

Estudos de inclusões fluidas em *metachert* associado aos turmalinitos proximais do prospecto Tapera Grande indicaram que a composição dos fluidos é aquo-carbônica e de baixa salinidade (Beljavskis, 2003). Os raros cristais de halita encontrados em algumas inclusões fluidas em *metachert* e os dados de isótopos estáveis obtidos para turmalina de turmalinito proximal-intermediário ($\delta^{18}\text{O}$: 12,9 a 13,5‰ e δD : -104 a -103‰; Garda et al., 2003), apontando para uma origem sedimentar, mostram que os fluidos analisados por microtermometria resultaram da mistura de fluidos salinos e águas conatas. A competência desses fluidos para mobilizar metais deve ter sido relativamente baixa, pois o ouro encontra-se tipicamente disseminado ou remobilizado nas rochas hospedeiras e não concentrado, por exemplo, em veios de quartzo.

A origem desses fluidos deve ter sido hidrotermal-metamórfica, uma vez que a turmalina da SRT8-77 ocorre não só disseminada no metapelito, mas também inclusa em granada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo comparativo entre as composições da turmalina dos turmalinitos e das rochas ricas em turmalina de Tapera Grande mostrou que as condições para a formação desse mineral foram muito semelhantes.

No caso das rochas ricas em turmalina, os fluidos de origem hidrotermal-metamórfica promoveram a redistribuição de ouro e proporcionaram boro para a geração de turmalina que apresenta as características da rocha hospedeira, mais do que propriamente as características do fluido, o que mostra que a razão fluido/rocha também foi baixa em porções mais proximais do centro exalativo.

A composição desses fluidos primários (aquo-carbônica e de baixa salinidade), que remobilizaram ouro sin-sedimentar ou singenético, não foi favorável à formação de depósitos de sulfetos maciços (Beljavskis, 2003).

Ressalta-se, no entanto, que situação diferente ocorreu durante o Neoproterozóico, quando não somente ouro, mas também sulfetos foram remobilizados por fluidos relacionados aos eventos de cisalhamento que afetaram o Grupo Serra do Itaberaba (Garda et al., 2003; Beljavskis, 2003).

IN MEMORIAM

Este trabalho reúne as duas comunicações orais apresentadas no X Congresso Brasileiro de Geoquímica e II Simpósio de Geoquímica dos Países do Mercosul (Garda, Beljavskis e Mansueto, 2005; Beljavskis, Garda, Tassinari, 2005). Assim como as apresentações, este trabalho é dedicado à memória de Charles V. Guidotti, falecido em 19/05/2005.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELJAVSKIS, P. *Caracterização das mineralizações e os ambientes deposicionais dos sulfetos, turmalinas e ouro no contexto da Formação Morro da Pedra Preta do Grupo Serra do Itaberaba, SP*. 2003. 158 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- BELJAVSKIS, P. *Prospecção geoquímica experimental na ocorrência de ouro Tapera Grande – Guarulhos (SP)*. 1988. 161 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988.
- BELJAVSKIS, P.; GARDA, G. M.; TASSINARI, C. C. G. Turmalinitos e as mineralizações de ouro e sulfetos na seqüência vulcanossedimentar mesoproterozóica do Grupo Serra do Itaberaba- SP (Brasil). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 10., 2005, Porto de Galinhas. *Anais...* [S.l.]: SBG, 2005. 1 CD-ROM. Resumo 12-505.pdf.
- BELJAVSKIS, P.; GARDA, G. M.; MANSUETO, M. S.; SILVA, D. Turmalinitos vulcanogênicos da Formação Morro da Pedra Preta do Grupo Serra do Itaberaba (SP): petrografia, composição química da turmalina e implicações metalogenéticas. *Geologia USP. Série Científica*, v. 5, p.1-18, 2005.

- BELJAVSKIS, P.; GARDA, G. M.; SAYEG, I. J. Application of SEM in the study of gold mineralizations in the Morro da Pedra Preta Formation, Grupo Serra do Itaberaba – São Paulo, Brazil. *Acta Microscópica*, v. 8, (Supplement A), p. 125-126, 1999.
- FONSECA-ZANG, W. A.; ZANG, J. W.; HOFMEISTER, W. Characterization of ferric iron tourmaline from Germany. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 54., 2002, Goiânia. [Anais/resumos...]. Disponível em: <http://www.quimica-industrial.com/ferric_iron_tourmaline.html>. Acesso em: 3 fev. 2006.
- GARDA, G. M.; BELJAVSKIS, P.; MANSUETO, M. S. Rochas ricas em turmalina da Formação Morro da Pedra Preta: Relações com os turmalinitos portadores de ouro do Grupo Serra do Itaberaba, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 10, 2005, Porto de Galinhas. *Anais...* [S.l.]: SBG, 2005. 1 CD-ROM. Resumo 12-501.pdf.
- GARDA, G. M.; BELJAVSKIS, P.; JULIANI, C.; SILVA, D. Geochemistry of tourmalines associated with iron formation and quartz veins of the Morro da Pedra Preta Formation, Serra do Itaberaba Group (São Paulo, Brazil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 75, p. 209-234, 2003.
- GARDA, G. M.; BELJAVSKIS, P.; JULIANI, C.; BOYCE, A. J. Sulfur stable isotope signatures of the Morro da Pedra Preta Formation, Serra do Itaberaba Group, São Paulo State, Brazil. *Geochimica Brasiliensis*, v. 16, p. 79-97, 2002.
- HENRY, D. J.; GUIDOTTI, C. V. Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: an example from the staurolite-grade metapelites of NW Maine. *American Mineralogist*, v. 70, p. 1-15, 1985.
- JULIANI, C. *Geologia, petrogênese e aspectos metalogenéticos dos grupos Serra do Itaberaba e São Roque na região das serras do Itaberaba e da Pedra Branca, NE da cidade de São Paulo, SP*. 1993. 2 v. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- JULIANI, C.; HACKSPACHER, P. C.; DANTAS, E. L.; FETTER, A. H. The Mesoproterozoic volcano-sedimentary Serra do Itaberaba Group of the central Ribeira Belt, São Paulo State, Brazil: implication for the age of overlying São Roque Group. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, p. 82-86, 2000.
- JULIANI, C.; PÉREZ-AGUILAR, A.; MARTIN, M. A. B. Geotermobarometria e evolução metamórfica P-T-d do Grupo Serra do Itaberaba (SP). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 69, p. 441-442, 1997.
- JULIANI, C.; BELJAVSKIS, P. Revisão da litoestratigrafia da faixa São Roque/Serra do Itaberaba (SP). *Revista do Instituto Geológico*, v. 16, p. 33-58, 1995.
- PLIMER, I. R. Tourmalines associated with Australian Proterozoic submarine exhalative ores. In: FRIEDRICH G. H.; HERZIG, P. M. *Base metal sulfide deposits in sedimentary and volcanic environments*. Berlin: Springer-Verlag, 1988. p. 255-283.
- PLIMER, I. R. The association of tourmaline with stratiform scheelite deposits. *Mineral Deposita*, v. 22, p. 282-291, 1987.
- PLIMER, I. R. Tourmalinites from the Golden Dyke Dome, Northern Australia. *Mineral Deposita*, v. 21, p. 263-270, 1986.
- PLIMER, I. R. The association of tourmaline-bearing rocks with mineralization at Broken Hill, N.S.W. In: ANNUAL AUSTRALIAN INSTITUTION OF MINING AND METALLURGY CONFERENCE, 7., 1983. *Proceedings...* [S.l.: s.n.], 1983. p. 157-176.
- SLACK, J. F. Tourmaline associations with hydrothermal ore deposits. In: Boron: mineralogy, petrology and geochemistry. *Reviews in Mineralogy*, v. 33, p. 559-643, 1996.
- SLACK J. F. Tourmaline in Appalachian-Caledonian massive sulphide deposits and its exploration significance. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy*, v. 91, p. B81-B89, 1982.
- SLACK, J. F.; HERRIMAN, N.; BARNES, R. G.; PLIMER, I. R. Stratiform tourmalines in metamorphic terranes and their geologic significance. *Geology*, v. 12, p. 713-716, 1984.
- TAYLOR, B. E.; SLACK, J. F. Tourmalines from the Appalachian-Caledonian massive sulfide deposits: textural, chemical, an isotopic relationships. *Economic Geology*, v. 79, p. 1703-1726. 1984.
- WILLNER, A. P. Tourmalines from the stratiform peraluminous metamorphic suite of the Central Namaqua Mobile Belt (South Africa). *Mineral Deposita*, v. 27, p. 304-313, 1992.
- YAVUZ, F. TOURMAL: Software package for tourmaline, tourmaline-rich rocks and related ore deposits. *Computers & Geosciences*, v. 23, p. 947-959, 1997.