



## **ROCHAS RICAS EM TURMALINA DA FORMAÇÃO MORRO DA PEDRA PRETA: RELAÇÕES COM OS TURMALINITOS PORTADORES DE OURO DO GRUPO SERRA DO ITABERABA, SP**

**Garda, G.M.<sup>1</sup>, Beljavskis, P.<sup>1</sup> e Mansueto, M.S.<sup>2</sup>**

1. Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental, Instituto de Geociências da USP, Rua do Lago 562, 05508-080 - São Paulo, SP, giagarda@usp.br, beljavskis@terra.com.br

2. Laboratório de Microsonda Eletrônica, Instituto de Geociências da USP, Rua do Lago 562, 05508-080 - São Paulo, SP, mansueto@usp.br

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

### **INTRODUÇÃO**

Pela sua ampla ocorrência como mineral autigênico em rochas sedimentares e metamórficas, vários autores alertam da importância da turmalina como indicador petrogenético (e.g. Henry & Guidotti, 1985; Plimer, 1986; Plimer, 1988; Yavuz 1997). Na prospecção mineral, a turmalina de composição dravítica pode associar-se a depósitos de sulfetos maciços e exalitos (Plimer, 1986, 1987, 1988; Slack, 1982, 1996; Slack et al. 1984; Taylor & Slack 1984; Willner 1992); a de composição schorlítica a rochas plutônicas (Taylor & Slack, 1984) e exalitos (Plimer, 1983), e a turmalina deficiente em álcalis a diversos ambientes (Hawthorne et al., 1999).

Nos séculos XVI e XVII, o Grupo Serra do Itaberaba foi alvo da exploração de ouro, que era encontrado nos depósitos aluviais do Ribeirão das Lavras (Noronha, 1960). A microscopia eletrônica de varredura permitiu a observação de ouro disseminado em turmalinitos e rochas associadas do prospecto Tapera Grande, que insere o Ribeirão das Lavras (Beljavskis et al., 1999), o que levou Beljavskis et al. (2005) a investigar as implicações metalogenéticas da turmalina dos turmalinitos vulcanogênicos da Formação Morro da Pedra Preta.

As rochas associadas aos turmalinitos também podem ser 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 sequência metavulcano-sedimentar, limitada pelas zonas de cisalhamento de Itu-Jundiuvira, Taxaquara e do Rio Jaguari (Juliani et al., 1986). Constituem o Grupo as formações Morro da Pedra Preta, Nhanguçu e Pirucaia (Juliani, 1993; Juliani & 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. Ocorrem subordinadamente metapelitos com intercalações de leitos de metachert e xistos grafitosos, rochas calciossilicáticas, formações ferríferas, marunditos e pequenas intrusões metamorizadas de composições entre intermediária a ácida.

A Formação Nhanguçu, formada em ambiente de retroarco, recobre a anterior e é formada por xistos ferro-manganesíferos, por vezes calciossilicáticos, com lentes de anfibolitos, rochas calciossilicáticas e mármore na base. 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 fácies 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 barroiano, ocorreu no Mesoproterozóico, indo da fácies xisto verde transicional para anfibolito (490°C, 4 kbar) na parte SW até a fácies anfibolito (650°C, 7 kbar) na extremidade NW (Juliani et al., 1997, 2000). O segundo evento foi de baixa pressão e ocorreu no Neoproterozóico. O grau metamórfico variou entre fácies xisto verde (500°C, 4 kbar) e fácies anfibolito (580°C, 4,7 kbar), sendo ainda responsável pelo retrometamorfismo em fácies xisto verde observado na maioria das rochas da área (Juliani et al., 1997, 2000).

### **ROCHAS RICAS EM TURMALINA DA FORMAÇÃO MORRO DA PEDRA PRETA**

No prospecto Tapera Grande ocorrem desde rochas com até 10% de turmalina até turmalinitos (Beljavskis, 2003; Beljavskis et al., 2005).

Entre as rochas ricas em turmalina, destacam-se os metatufos básicos, metavulcanoclásticas intermediárias a ácidas e metapelitos. Veios de quartzo ricos em turmalina também são abundantes na Formação Morro da Pedra Preta e serão tratados oportunamente. Neste trabalho incluem-se os resultados da análise química da turmalina de vênula de quartzo presente numa das amostras de metatifo básico.



#### 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. Seus minerais essenciais são anfibólio, plagioclásio, biotita e quartzo, em diferentes proporções relativas. Ilmenita e titanomagnetita muito finas, envoltas por titanita, aparecem alinhadas ou “salpicando” os demais minerais. Pirita, pirrotita e calcopirita mais grossas são menos frequentes e estão dispersas.

A turmalina ocorre em finas bandas constituídas de biotita. Em geral é muito fina a fina e sempre zonada. Também pode associar-se a níveis mais ricos em anfibólio; neste caso, a turmalina apresenta bordas difusas, formando “manchas” escuras. É também zonada, mas o zoneamento é bastante irregular.

A amostra de anfibólio biotita xisto que contém uma vênula de quartzo apresenta três tipos de turmalina. O pleocroísmo do primeiro tipo varia de verde a marrom, a granulação é fina a muito fina, os cristais podem conter inclusões e ocorrem disseminados na rocha. O segundo tipo caracteriza-se por cristais incompletos de turmalina, mais grossos, que cresce sobre aqueles do primeiro tipo. O terceiro tipo ocorre nas proximidades da vênula de quartzo; os cristais de turmalina são mais grossos e poiquilíticos. No contato da vênula com o xisto e na própria vênula, a turmalina tem cor e pleocroísmo mais intensos, variando de azul escuro a marrom. É zonada, geralmente apresentando bordas mais escuras que os núcleos. Próximo à vênula de quartzo ocorre um nível rico em carbonatos.

#### METAVULCANOCLÁSTICAS INTERMEDIÁRIAS A ÁCIDAS RICAS EM TURMALINA

As metavulcanoclásticas intermediárias a ácidas englobam hornblenda gnaisse tonalítico, quartzo diorito gnáissico, biotita-hornblenda gnaisse e hornblenda-biotita gnaisse. Comumente ocorrem como corpos lenticulares sobre os derrames básicos, ou como pequenas lentes intercaladas em xistos. Predomina feldspato sobre anfibólio. Subordinadamente ocorrem quartzo, carbonato, biotita, minerais opacos e turmalina.

A turmalina apresenta núcleos azulados e bordas castanhas, podendo concentrar-se em bandas. Predomina a turmalina com pleocroísmo que varia desde marrom claro a marrom escuro, sendo subordinada a turmalina azul com bordas castanhas.

#### METAPELITOS RICOS EM TURMALINA

Os metapelitos são finos e constituídos por quartzo e biotita. Clorita, sericita/muscovita, granada, estauroilita poiquiloblástica atestam a origem sedimentar clástica.

A turmalina é em geral verde claro e muito fina. Pode estar dispersa na rocha ou concentrada em bandas finas. Quando um pouco mais grossa, a turmalina mostra zoneamento de tons mais e menos escuros de verde.

A granada, em geral, concentra-se em camadas finas e a turmalina muito fina pode tanto estar nela inclusa, como concentrar-se ao seu redor, tratando-se, assim, de turmalina sin-sedimentar ou metamórfica, formada entre  $S_1$  e  $S_2$ .

#### QUÍMICA MINERAL

Para a química mineral utilizou-se a 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  $\mu\text{m}$ , 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.

Adotou-se o procedimento descrito em Beljavskis et al. (2005) para o cálculo da fórmula estrutural da turmalina:  $\text{XY}_3\text{Z}_6(\text{O},\text{OH})_3(\text{OH},\text{F})(\text{BO}_3)_3[\text{T}_6\text{O}_{18}]$ .

A Fig. 1a mostra que os valores de  $\text{Mg\#}$  [ $\text{Mg}/(\text{Fe}_{\text{total}} + \text{Mg})$ ], utilizando-se as proporções atômicas da fórmula unitária, apfu] para as turmalinas das vulcanoclásticas intermediárias a ácidas são inferiores a 0,5, ao passo que para aquelas dos metatufos básicos variam entre 0,5 e 0,7, e dos metapelitos e da vênula de quartzo superam 0,7. As composições das turmalinas das vulcanoclásticas intermediárias a ácidas são mais schorlíticas do que as dos metatufos básicos, que são intermediárias entre a schorlita e dravita, tendendo à dravita. Estas composições também são intermediárias entre aquelas das turmalinas dos turmalinitos de Beljavskis et al. (2005). Tanto as composições das turmalinas dos metapelitos como aquelas da vênula de quartzo tendem a dravíticas.

As Figuras. 1b a 1h mostram as variações composicionais (expressas em apfu) das turmalinas com  $\text{Mg\#} > 0,5$ , de interesse para a prospecção.

Parte das turmalinas dos metatufos básicos, com valores de  $\text{Mg\#} > 0,6$ , não contém Si suficiente para o preenchimento da posição T (Fig. 1b), o que é compensado pelo Al que, por sua vez, deve completar a posição Z (Fig. 1c). Não havendo Al suficiente, a posição Z é preenchida com Fe, quantidade que, pelo procedimento de cálculo da fórmula estrutural adotado, é assumida como  $\text{Fe}^{3+}$ . Considera-se o Fe restante como  $\text{Fe}^{2+}$  que, juntamente com os demais cátions (inclusive Mg), preenche a posição X. Entretanto, nota-se na Fig. 1e que há um campo de valores de Ti  $> 0,12$  que corresponde às turmalinas dos metatufos básicos com Al insuficiente para preencher a posição Z. O outro campo, com valores de Ti  $< 0,1$ , corresponde às turmalinas dos metatufos básicos com Al suficiente para preencher tanto a posição Z, como a posição T, juntamente com Si. Isto sugere que Ti também participa no preenchimento da posição Z, além do  $\text{Fe}^{3+}$ , quando há insuficiência de Al. O mesmo vale para as turmalinas da vênula de quartzo (Figs. 1c,e). Este comportamento do Ti é “herdado” da rocha hospedeira (cujo protólito foi de origem ígnea) e repete-se na



turmalina da vênula de quartzo. Além do Mg, esta turmalina praticamente só se diferencia daquela dos metatufos básicos pelos valores de Fe, que são os mais baixos, indicando a substituição de Fe por Mg na posição Y (Fig. 1f).

Os valores de Na nas turmalinas dos metatufos básicos e da vênula de quartzo variam entre 0,5 e 0,7 (Fig. 1h), correspondendo a valores de Ca entre 0,1 e 0,3 (Fig. 1g). Há um aparente aumento de Ca e decréscimo de Na com o aumento de Mg#, o que também denota “herança” ígnea. Ca e Na preenchem a posição X. Em geral, K não é suficiente para completar esta posição, o que gera a vacância na posição X. Mesmo que o

procedimento de cálculo da fórmula estrutural adotado tenda a superestimar o valor dessa vacância (Yavuz, 1997), para as turmalinas dos metatufos básicos e da vênula de quartzo, esse valor é baixo, limitado entre 0,1 e 0,2.

É interessante notar que a turmalina dos metapelitos apresenta valores de Ti (Fig. 1e) e Fe (Fig. 1f) muito mais baixos do que aqueles dos metatufos básicos. Por sua vez, a turmalina dos metapelitos pode não apresentar Si suficiente para preencher a posição T (Fig. 1b), mas há Al em excesso na posição Z para compensar esse déficit (Fig. 1c). Esta característica é “herdada” do protólito sedimenta

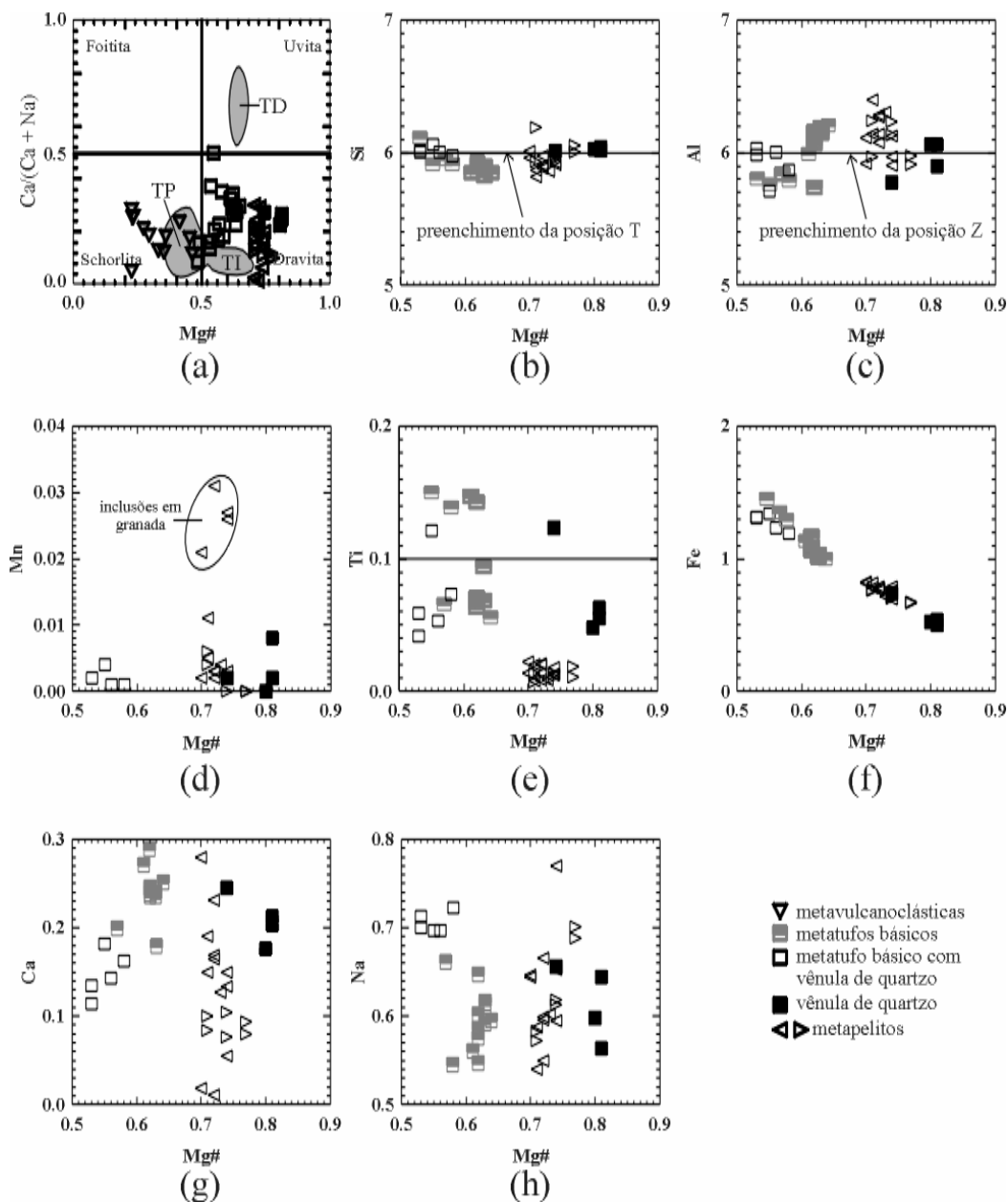


Figura 1. (a): Classificação da turmalina das rochas ricas em turmalina do prospeito Tapera Grande pelo diagrama  $\text{Ca}/(\text{Ca}+\text{Na})$  vs.  $\text{Mg\#}$ . TP = turmalinitos proximais; TI = turmalinitos intermediários; TD = turmalinitos distais ao centro de atividade vulcano-exalativa (Beljavskis et al. 2005). De (b) a (h): Diagramas de variação das proporções atômicas da fórmula unitária (apfu) em relação a  $\text{Mg\#}$  [ $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe} + \dots)$ ].



A Fig. 1d mostra que, em geral, os valores de Mn estão abaixo de 0,01 apfu. Entretanto, para as turmalinas inclusas em granadas dos metapelitos, esses valores encontram-se entre 0,02 e 0,03. A composição da granada é  $\text{Fe}_{1,6}\text{Mg}_{0,5}\text{Mn}_{0,7}\text{Ca}_{0,2}(\text{Al}_{1,9}\text{Fe}_{0,1})_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ .

Os valores de Ca e Na das turmalinas dos metapelitos independem de Mg# (Figs. 1g,h) e variam em intervalos mais amplos do que aqueles dos metatufos básicos. Conseqüentemente, os valores da vacância variam entre 0,05 a 0,35.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

A microscopia eletrônica de varredura detectou ouro micrométrico disseminado nos turmalinitos gerados nas porções mais proximais ao centro de atividade vulcano-exalativa de fundo oceânico, cuja turmalina é mais rica em Fe, e naqueles gerados em porções intermediárias, cuja turmalina apresenta valores de Mg# acima de 0,5 (Fig. 1a). De acordo com Beljavskis et al. (2005), nas porções intermediárias as razões fluido/rocha são mais baixas relativamente às zonas mais proximais. Sendo assim, as fontes de Al e B para a formação da turmalina dos turmalinitos dessas porções teriam sido principalmente os metapelitos e metatufos básicos hospedeiros. Como visto no caso do metatupo básico e da vênula de quartzo, substituições de Fe por Mg e Ca por Na são possíveis localmente, mas há características ígneas (e.g. o comportamento do Ti) que se preservam nas turmalinas do metatupo básico e da vênula de quartzo, o que indica que as composições dessas turmalinas são predominantemente ditadas pela composição rocha hospedeira, e não tanto pelos fluidos hidrotermais ou mesmo metamórficos.

Uma das amostras de metapelito destaca-se por conter 8413 ppm de ouro (Beljavskis, 2003), o que corrobora com o modelo de Beljavskis et al. (2005), em que a circulação de fluidos pela pilha vulcano-sedimentar mobiliza sílica (com a conseqüente formação de veios e vênulas de quartzo), elementos relativamente móveis, boro, enxofre e ouro. Entretanto, os sulfetos e o ouro estão, em geral, disseminados ou remobilizados nas rochas hospedeiras e não necessariamente em vênulas ou veios de quartzo. A composição desses fluidos primários (aquo-carbônica e de baixa salinidade) não é favorável à formação de depósitos de sulfetos maciços (Beljavskis, 2003), situação diferente daquela dos fluidos relacionados aos eventos de cisalhamento do Neoproterozóico que afetaram o Grupo Serra do Itaberaba.

ESTE TRABALHO É DEDICADO À MEMÓRIA DE CHARLIE V. GUIDOTTI.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Beljavskis, P., 2003. 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. IGcUSP, Tese de Doutorado, 158p.  
Beljavskis, P.; Garda, G.M.; Sayeg, I.J., 1999. Application of SEM in the study of gold mineralizations in the Morro da

Pedra Preta Formation, Grupo Serra do Itaberaba – São Paulo, Brazil. *Acta Microscopica* 8(Supplement A):125-126.  
Beljavskis, P.; Garda, G.M.; Mansueto, M.S.; Silva, D., 2005. Turmalinitos vulcanogênicos da Formação Morro da Pedra Preta do Grupo Serra do Itaberaba (SP): petrografia, composição química da turmalina e implicações metalogenéticas. *Geologia USP* (no prelo).  
Hawthorne, F.C.; Selway, J.B.; Kato, A.; Matsubara, S.; Shimizu, M.; Grice, J.D.; Vajdak, J., 1999. Magnesiofiteite,  $[(\text{Mg}_2\text{Al})\text{Al}_6(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_4]$ , a new alkali-deficient tourmaline. *Canadian Mineralogist* 37:1439-1443.  
Henry, D.J. & Guidotti, C.V., 1985. Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: an example from the staurolite-grade metapelites of NW Maine. *American Mineralogist* 70:1-15.  
Juliani, C., 1993. 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. IGcUSP, Tese de Doutorado, 2v.  
Juliani, C. & Beljavskis, P., 1995. Revisão da litoestratigrafia da faixa São Roque/Serra do Itaberaba (SP). *Revista do Instituto Geológico* 16:33-58.  
Juliani, C.; Beljavskis, P.; Schorscher, J.H.D., 1986. Petrogênese do vulcanismo e aspectos metalogenéticos associados: Grupo Serra do Itaberaba na região do Grupo São Roque – SP. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 34, 1986. Goiânia. Anais... Goiânia: SBG, 1986. v. 2, p. 730-745.  
Juliani, C.; Pérez-Aguilar, A.; Martin, M.A.B., 1997. Geotermobarometria e evolução metamórfica P-T-d do Grupo Serra do Itaberaba (SP). *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 69:441-442.  
Juliani, C.; Hackspacker, P.; Dantas, E.L.; Fetter, A.H., 2000. 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* 30:82-86.  
Noronha, A.V., 1960. Guarulhos, cidade símbolo. *História de Guarulhos*. São Paulo, Schmidt, 113p.  
Plimer, I.R., 1983. The association of tourmaline-bearing rocks with mineralization at Broken Hill, N.S.W. *Proceedings of the Australian Institute of Mining and Metallurgy* 287:157-176.  
Plimer, I.R., 1986. Tourmalinites from the Golden Dyke Dome, Northern Australia. *Mineral Deposita* 21:263-270.  
Plimer, I.R., 1987. The association of tourmaline with stratiform scheelite deposits. *Mineral Deposita* 22:282-291.  
Plimer, I.R., 1988. Tourmalines associated with Australian Proterozoic submarine exhalative ores. In: Friedrich, G.H. & Herzog, P.M. (Eds.) *Base metal sulfide deposits in sedimentary and volcanic environments*. Berlin: Springer-Verlag, p. 255-283.  
Slack, J.F., 1982. Tourmaline in Appalachian-Caledonian massive sulphide deposits and its exploration significance. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy* 91:B81-B89.  
Slack, J.F., 1996. Tourmaline associations with hydrothermal ore deposits. In: Grew, E.S. & Anovitz, L.M. (eds.) *Boron: mineralogy, petrology and geochemistry*. MSA Reviews in Mineralogy 33:559-643.  
Slack, J.F.; Herriman, N.; Barnes, R.G.; Plimer, I.R., 1984. Stratiform tourmalines in metamorphic terranes and their geologic significance. *Geology* 12:713-716.  
Taylor, B.E. & Slack, J.F., 1984. Tourmalines from the Appalachian-Caledonian massive sulfide deposits: textural,



chemical, an isotopic relationships. *Economic Geology* 79:1703-1726.

Yavuz, F., 1997. TOURMAL: Software package for tourmaline, tourmaline-rich rocks and related ore deposits. *Computers & Geosciences* 23:947-959.

Willner, A.P., 1992. Tourmalines from the stratiform peraluminous metamorphic suite of the Central Namaqua Mobile Belt (South Africa). *Mineralium Deposita* 27: 304-313.