

O BERILO GEMOLÓGICO DA PROVÍNCIA PEGMATÍTICA ORIENTAL DO BRASIL

M.A. Kahwage & J.C. Mendes

Departamento de Geologia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Campus Morro do Cruzeiro s/n, CEP 35400-000, Ouro Preto, MG.

E-mail: mak@bol.com.br ; julio@degeo.ufop.br

Recebido em 05/2003, aceito para publicação em 11/2003

ABSTRACT

Most pegmatites of the “Província Pegmatítica Oriental do Brasil” were generated during neoproterozoic granitogenesis of the Brasiliano tectonothermal event that gave origin to the Araçuaí-West Congo Belt. The granitic suites were responsible for several pegmatites generations, with distinct ages, mineral assemblages and differentiation degrees. The study of beryl from various pegmatites, located in the areas of Medina, Itinga, Padre Paraíso, São José da Safira and Galiléia, revealed differences concerning physical properties as well as chemical composition. The content of minor elements, mainly alkaline metals (Li, Cs and Rb), have a direct influence on density and refraction indexes of beryl, besides being important indicators of generation and evolution processes of pegmatites. High concentrations of alkaline metals in beryl (Itinga and São José da Safira pegmatites) reflect the highly differentiated conditions of the pegmatites hosts. Li occurs in tetrahedral coordination in substitutions for Be and alkalis are concentrated in the open channels. The specimens from less differentiated pegmatites (Medina and Padre Paraíso) have low alkalis and high iron, indicating that octahedral substitutions of Fe for Al prevail over the tetrahedral substitutions. The presence of Fe in the octahedral site and filling out of the open channels is responsible for charge transfer effect responsible for the blue, green and yellow colors. In specimens of less differentiated bodies related to calc-alkaline granitoids of the I-type (Medina and Padre Paraíso) colors are more intense than in beryl from differentiated bodies (Itinga, São José da Safira and Galiléia) associated to S-type granites, due to the higher iron contents of the former. Mn is sufficient concentration to generate rosy color was detected only in samples from differentiated pegmatites. High gemological quality due to intense bluish, greenish and yellowish colors is more common for beryl from the less differentiated bodies related to post-tectonic I-type granitoids. In the other pegmatites only pink varieties are of gem-quality and the other color types must be submitted to color enhancement treatment whose success depends on the Fe-content, which has to be enough to enable the generation of yellowish tints.

RESUMO

A maioria dos pegmatitos da Província Pegmatítica Oriental teve origem na granitogênese neoproterozóica, gerada durante o processo orogênico brasileiro. As diversas suítes granitóides foram responsáveis por várias gerações de pegmatitos, com idade, assembléia mineral e grau de diferenciação distintos. O estudo de berilo proveniente de corpos pegmatíticos dessa província, localizados nas regiões de Medina, Itinga, Padre Paraíso, São José da Safira e Galiléia, identificou diferenças tanto nas propriedades físicas como na sua composição química. O comportamento de elementos menores, principalmente metais alcalinos (Li, Cs e Rb), tem influencia direta na densidade e índice de refração do berilo, além de ser importante indício do processo de geração e evolução do pegmatito. A presença de metais alcalinos em concentração elevada, devido à substituição tetraédrica de Li por Be e ao preenchimento dos canais abertos, no berilo de Itinga e São José da Safira, reflete condição diferenciada na formação do pegmatito. Baixo teor de álcalis e alto de FeO* em cristais de pegmatito pouco diferenciado (Medina e Padre Paraíso), indica substituição octaédrica de Fe por Al predominante sobre a tetraédrica. O Fe no sítio octaédrico ou preenchendo canais abertos, é responsável por transferências de carga que originam as cores azul, verde e amarelo. No berilo octaédrico de corpo menos diferenciado e relacionado a granitóide calcio-alcalinos

tipo “T” (Medina e Padre Paraíso), foram observadas cores mais intensas que no de corpo diferenciado (Itinga, São José da Safira, Galiléia) e associado a granito tipo “S”. O berilo octaédrico de pegmatito pouco diferenciado, possui grande potencial gemológico devido aos seus matizes intensos, enquanto no normal-tetraédrico de corpo muito diferenciado, a exceção da variedade rosa (com alto teor de Mn), devem ser aplicados melhoramentos de cor, cujo sucesso dependerá de teores de FeO* suficientes para serem geradas cores amareladas de aceitação comercial.

INTRODUÇÃO

O valor do berilo como mineral-gema está relacionado às suas propriedades mineralógicas, dentre as quais a cor tem um papel fundamental. A grande variedade de cor observada nesse mineral é condicionada pela presença de elementos de transição como Fe e Mn ou moléculas causadoras de centros de cor tipo maxixe.

A influência dos metais de transição na cor do berilo foi estudada por diversos autores, como Wood & Nassau (1968), Goldman *et al.* (1978), Loeffler & Burns (1976), Rossman (1981) e Mathew *et al.* (1998). Segundo Goldman *et al.* (1978), a transferência de carga intervalente entre Fe⁺² (canais do berilo) e Fe⁺³ (sítio octaédrico) corresponde ao principal processo físico responsável pela cor azul no berilo. Entretanto, nos casos em que Fe⁺³ e Fe⁺² estão presentes, a cor resultante depende da proporção Fe⁺³/Fe⁺² e por este motivo ocorrem matizes desde o azul até o verde-azulado (Goldman *et al.* 1978; Rossman 1981). A componente amarela é atribuída somente à transferência de carga entre Fe⁺³ e oxigênio do sítio octaédrico, sem a participação de Fe⁺² (Loeffler & Burns 1976; Mathew *et al.* 1998). Estudos em cristais róseos, levaram Wood & Nassau (1968) a sugerirem que o Mn⁺² e Mn⁺³ substituiriam o Al⁺³ no sítio octaédrico, porém os espectros de absorção óptica demonstraram que somente o Mn⁺² estaria envolvido. Aplicação de ressonância eletrônica paramagnética (EPR) em morganita rica em Cs confirmou o CO₃ como o principal responsável pelo centro de cor tipo maxixe (Anderson 1979) e identificou o NO₂, um novo radical, como o centro de cor maxixe (Krambrock *et al.* 2000).

A granitogênese na Província Pegmatítica Oriental, atuante tanto na fase

sintectônica como pós-tectônica do Ciclo Brasileiro (Bilal *et al.* 1998a; Bilal *et al.* 2000; Pedrosa-Soares *et al.* 2001), ocasionou gerações de pegmatitos de idade, mineralogia, estrutura e geoquímica distintas (Correia Neves 1986; Bilal *et al.* 2000), as quais refletem-se no comportamento dos metais alcalinos e de transição presentes no berilo. O estudo da concentração e distribuição de elementos menores em espécimes de onze pegmatitos (Angico, Urubu, Zé da Estrada, Mucaia, Sexta-Feira, Cavalo Morto, Marcelo, Candinho, Eduardo, Ciganinha e Morganita), distribuídos em contextos geológicos distintos na Província Pegmatítica Oriental (Figura 1), permitiu a correlação entre as suítes granitóides, o tipo pegmatítico e o potencial gemológico do berilo.



Figura 1 - Os corpos pegmatíticos portadores de berilo estão inseridos na Província Pegmatítica Oriental (modificada de Paiva 1946) e são denominados de Angico (1), Urubu (2), Zé da Estrada (3), Mucaia (4), Sexta-Feira (5), Cavalo Morto (6), Marcelo (7), Candinho (8), Eduardo (9), Ciganinha (10) e Morganita (11).

A Granitogênese na Província Pegmatítica Oriental

A maioria dos corpos portadores de berilo da Província Pegmatítica Oriental estão inseridos no Cinturão Araçuaí - Oeste Congolês, resultado da colisão entre os Crátons São Francisco e Oeste Congolês durante o Ciclo Brasileiro / Pan-Africano. Esse cinturão apresenta aproximadamente 700km de largura e mais de 1000km de comprimento, estendendo-se desde o sul da Bahia, passando pelo oeste do Espírito Santo e praticamente toda a porção nordeste e leste de Minas Gerais (Trompette 1994). A auréola externa desse cinturão possui espessura variável, estando os metassedimentos mais deformados e metamorfoseados do centro para as bordas. Os processos tectono-metamórficos e a granitogênese associada, afetaram o Grupo Macaúbas, o Supergrupo Espinhaço, os complexos ocidentais (Guanhães, Gouveia e Porteirinha) e os complexos do segmento setentrional do Cinturão Atlântico. As coberturas neoproterozóicas do Cráton São Francisco sofreram dobramentos, cavalgamentos, descolamentos basais e interestratais; induzidos pela deformação incidente sobre a Faixa Araçuaí (Fuck *et al.* 1993; Pedrosa-Soares *et al.* 1994b, c; Alkimin *et al.* 1993; Pedreira 1996, *in* Pedrosa-Soares & Martins-Neto 1997).

O domínio tectônico interno desse cinturão, no qual está inserida a Província Pegmatítica Oriental, é composto por extensos terrenos graníticos de idades neoproterozóicas a cambrianas, gerados no Ciclo Brasileiro (Wiedemann 1993; Campos-Neto & Figueiredo 1995; Nalini 1997; Oliveira *et al.* 1997; Pinto *et al.* 1997; Celino 1999; Pedrosa-Soares *et al.* 1999). Os corpos granitóides foram subdivididos em cinco grandes suítes (Pedrosa-Soares *et al.* 1999), baseado na forma de colocação, relações de contato, assembléias mineralógicas e assinaturas geoquímicas. Novos dados geocronológicos permitiram reagrupar esses granitóides em seis suítes (Figura 2), denominadas G1, G2, G3-I, G3-S, G4 e G5 por Pedrosa-Soares *et al.* (2001).

As Suítes G1 e G2 representam as fases magmáticas sincolisionais. A Suíte G1 engloba

corpos foliados de composição tonalítica a granodiorítica e em menor proporção granítica, que recebem denominações locais como Brasilândia, Estrela-Muniz Freire, Galiléia e São Vitor. Os corpos, em geral, apresentam-se deformados contendo grande quantidade de enclaves máficos orientados segundo a foliação, estando as texturas magmáticas primitivas preservadas nas porções mais internas (Pedrosa-Soares *et al.* 2001). Esses granitóides são cálcio-alcalinos, metaluminosos a levemente peraluminosos, formados em ambiente de arco vulcânico durante o estágio pré a sincolisional, com idades entre 625Ma e 575Ma (Söllner *et al.* 1991; Nalini 1997; Dussin *et al.* 1998; Paes 1999; Noce *et al.* 2000).

A Suíte G2, composta por granada-biotita-granitos, subalcalinos a cálcio-alcalinos, peraluminosos, tipo "S" e intensamente foliados, possui nomes locais como Buranhém, Montanha, Nanuque, São Paulino e Urucum. Nesses granitos, além de fragmentos de paragneisses e migmatitos, ocorrem cordierita e sillimanita como minerais acessórios comuns (Pedrosa-Soares *et al.* 1999). Söllner *et al.* (1991), Nalini (1997) e Noce *et al.* (2000) determinaram idades U-Pb e Pb-Pb variando entre 591 e 575Ma.

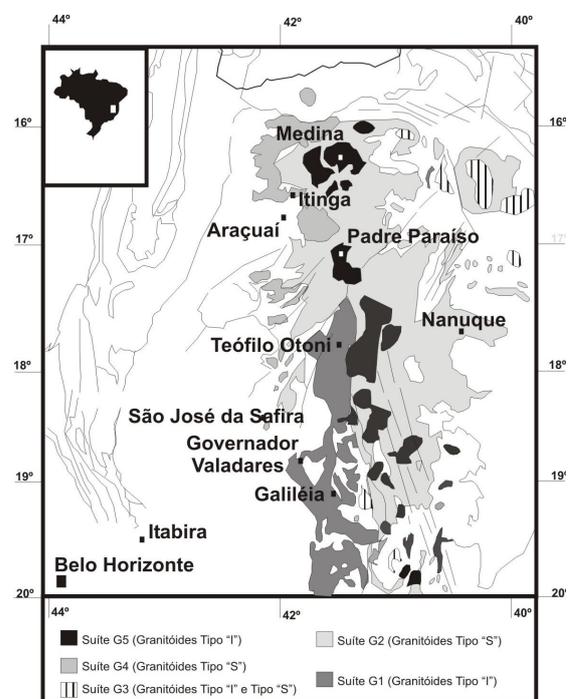


Figura 2 - As seis suítes granitóides brasileiras que deram origem a maioria dos corpos pegmatíticos da Província Pegmatítica Oriental (Modificado de Pedrosa Soares *et al.* 2001).

No período de relaxamento crustal (tardi a pós-colisional) foram geradas duas novas suítes graníticas (G3-I e G3-S), representando, respectivamente, pulsos magmáticos cálcio-alcalinos ao longo de zonas de cisalhamento transcorrentes e fusão da Suíte G2 e de metassedimentos. Os corpos G3-I ocupam a porção nordeste da Faixa Araçuaí e são denominados Itagimirim, Guaratinga, Lagoa Preta, Rubim, Salomão e Santo Antônio do Jacinto (Faria 1997; Vieira 1997; Uhlein *et al.* 1998b; Celino 1999). Predominam granitos e granodioritos, ricos em enclaves de rochas intermediárias a máficas, com fluxo magmático paralelo à foliação das encaixantes. Suas assinaturas geoquímicas sugerem magmatismo cálcio-alcalino de elevado teor de K (Faria 1997; Celino 1999) de idade entre 585 e 570Ma (Dussin *et al.* 1998; Siga Jr. 1986; Faria 1997). A suíte G3-S, chamada Almenara, trata-se de uma série de pequenos corpos de sillimanita-cordierita-granada-granitos peraluminosos, inseridos na Suíte G2 (Pedrosa-Soares *et al.* 1999). Para Siga Jr (1986), Sluiter & Weber-Diefenbach (1989) e Söllner *et al.* (1989), são corpos anatéticos de natureza autóctone a para-autóctone, com idade de 570 ± 10 Ma.

No Cambriano inicia-se o magmatismo pós-colisional, com a intrusão das Suítes G4 e G5. A Suíte G4, com idade de 535Ma (Basílio *et al.* 1998), corresponde a corpos graníticos peraluminosos, fonte de pegmatitos enriquecidos em lítio e boro, cujas assembléias minerais (petalita ou espodumênio) indicam profundidade de colocação entre 12 e 6km (Pedrosa-Soares *et al.* 1987; Grossi-Sad *et al.* 1997; Pinto *et al.* 1988). Os corpos mais representativos desta suíte recebem denominação de Coronel Murta, Itaporé, Mangabeiras e Santa Rosa. A Suíte G5 caracteriza-se por corpos que gradam de gabros a granitos que colocam-se preferencialmente em zonas de cisalhamento transcorrentes. Essa suíte foi gerada entre 520-500Ma (Bayer *et al.* 1986; Fernandes 1991; Söllner *et al.* 1991; Wiedemann, 1993; Wiedemann *et al.* 1997; Faria 1997; Noce *et al.* 2000), em ambiente de crosta inferior com grande contribuição mantélica (Medeiros 1999). Os granitóides porfiríticos, denominados Aimorés, Caladão, Padre Paraíso, Pedra Azul e Santa Angélica, são metaluminosos e cálcio-alcalinos de elevado potássio, sendo fonte de

pegmatitos ricos em berilo e pobres em turmalina (Pedrosa-Soares *et al.* 2001).

Os Pegmatitos da Província Pegmatítica Oriental

A Província Pegmatítica Oriental (Figura 1), constitui uma faixa NNE-SSW com cerca de 800km de comprimento e 100 a 150km de largura, desde o sul do Estado da Bahia, passando pelo oeste do Espírito Santo e nordeste e sudeste de Minas Gerais (Paiva 1946). Na extremidade nordeste é chamada Província Pegmatítica Itambé (Misi & Azevedo 1971) e no sul de Província Pegmatítica da Zona da Mata (Barbosa & Grossi-Sad 1983).

Com base na mineralogia acessória, enquadramento geológico e dados geoquímicos, Correia-Neves *et al.* (1986) e Lobato & Pedrosa-Soares (1993) subdividiram os pegmatitos dessa província nos Distritos Araçuaí, Governador Valadares, Santa Maria de Itabira, Caparaó e Juiz de Fora. Bilal *et al.* (2000), agrupou esses distritos em dois grandes grupos (Figura 3), onde o primeiro representa pegmatitos graníticos e o segundo corpos anatéticos. O primeiro grupo, encontrado nas regiões de Governador Valadares, Teófilo Otoni, Galiléia, Araçuaí, e São José da Safira, representa corpos zonados, ricos em lítio, com idade em torno de 582Ma, derivados de cristalização fracionada (550-700°C, 4-5kbar) e relacionados a granitóides sintectônicos (Bilal *et al.* 1998a). O segundo grupo, engloba pegmatitos simples portadores de berilo, localiza-se nas regiões de Caparaó, Espera Feliz, Marilac e Santa Maria de Itabira, associa-se a segunda fase deformacional brasileira (520 a 500Ma), sendo produto de fusão parcial de crosta (Bilal *et al.* 1998a).

Um terceiro grupo de pegmatitos pobres em turmalina e ricos em berilo foi descrito por Pedrosa-Soares *et al.* (2001). Esses corpos associam-se a diápiros pós-tectônicos que gradam de gabro a granitos pertencentes à Suíte G5, sendo fonte importante de berilo gemológico.

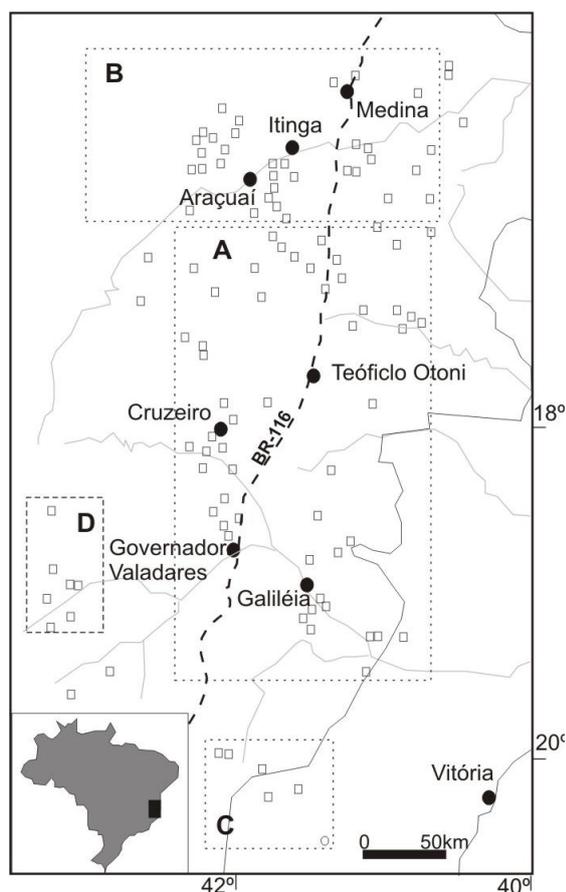


Figura 3 - Os dois grandes grupos de pegmatitos da Província Pegmatítica Oriental (Bilal *et al.* 2000). O primeiro grupo representa as áreas A e B e engloba pegmatitos das regiões de Governador Valadares, Teófilo Otoni, São José da Safira, Galiléia, Araçuaí, Itinga e Medina. O segundo grupo concentra pegmatitos nos retângulos C e D, que correspondem às regiões de Caparaó, Espera Feliz e Santa Maria de Itabira.

Pegmatitos Estudados

Os corpos das regiões de Itinga, São José da Safira e Galiléia inserem-se no grupo pegmatítico oriundo da granitogênese sintectônica (Bilal *et al.* 2000); já os das regiões de Medina e Padre Paraíso, ao derivado de granitóides pós-tectônicos tipo "I" (Pedrosa-Soares *et al.* 2001).

Na região de Itinga ocorrem tanto pegmatitos altamente diferenciados como corpos de menor diferenciação, ambos encaixados de forma intrafolial nos xistos da Formação Salinas ou preenchendo fraturas nos granitóides peraluminosos da Suíte G2. O Pegmatito Urubu, um dos mais bem conhecidos dessa região, é um corpo complexo, bastante diferenciado, com estrutura subdividida nas zonas: marginal (muscovita + feldspato + quartzo), mural

(microclina > albita + quartzo + muscovita + cassiterita), intermediária (petalita + microclina + berilo + polucita) e núcleo (quartzo + turmalina). Ao longo da zona intermediária ocorrem diversos corpos de substituição preenchidos por lepidolita, quartzo, albita e bolsões de ambligonita. No corpo que constitui a Lavra Zé da Estrada, devido ao baixo grau de diferenciação, não são observados minerais de lítio e o zoneamento restringe-se a três zonas; a marginal de composição granítica, a intermediária com feldspato gráfico + berilo + microclina + muscovita + turmalina e o núcleo essencialmente quartzoso.

Na região de São José da Safira, porção sudoeste da província, ocorrem os pegmatitos do Cruzeiro, Aricanga, Sexta-Feira, Cavalto Morto e Chiar, todos encaixados discordantemente nos metassedimentos que compõem a Serra do Cruzeiro. Os corpos são complexos, bastante diferenciados, cuja gênese possivelmente relaciona-se a Suíte G4. A Lavra do Marcelo é o único corpo estudado que está encaixado no Complexo Piedade, uma unidade constituída por rochas de alto grau metamórfico. Os pegmatitos Sexta-Feira e Cavalto Morto possuem forma tabular, estão colocados em fratura nos quartzitos da Serra do Cruzeiro, com zoneamento e mineralogia muito similar, onde são descritos quartzo + microclina + muscovita + berilo na zona mural, microclina + espodumênio na zona intermediária e quartzo leitoso e cristais de turmalina azul dispersos ao longo do núcleo. O pegmatito do Marcelo é concordante ao Complexo Piedade (N70°-65°E 35°-40°/SE), sendo possível definirem-se as zonas marginal, intermediária e núcleo. Na zona marginal com espessura em torno de 8m, ocorrem turmalinas pretas + quartzo + feldspato + muscovita; na intermediária observa-se microclina + muscovita + cassiterita + columbita-tantalita + corpos de substituição albitizados + berilo azul + pequenos caldeirões com turmalina gemológica e o núcleo composto por quartzo leitoso e pequenas proporções de variedade fumê.

Os pegmatitos da região de Conselheiro Pena e Galiléia, em grande parte oriundos da suíte intrusiva Urucum (Suíte G2), são concordantes quando encaixados nos xistos São Tomé e quase sempre preenchem fraturas no

Tabela 1- Análises químicas obtidas através de ICP e fluorescência de raios-X em 51 amostras de berilo provenientes dos pegmatitos da Província Pegmatítica Oriental.

Lavra	Cor	SiO ₂	Al ₂ O ₃	B	BeO	FeO	K ₂ O	Li ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	Cs ₂ O	Rb ₂ O	H ₂ O	Total
Candinho	azul claro	65,12	17,43	0,40	13,44	0,41	0,01	0,29	0,03	0,01	0,51	0,10	0,01	2,00	99,77
Candinho	azul claro	64,44	18,62	0,90	13,45	0,44	0,01	0,25	0,03	0,01	0,44	0,09	0,01	1,20	99,90
Candinho	azul claro	64,05	17,83	0,50	13,39	0,59	0,02	0,32	0,07	0,01	0,57	0,09	0,01	2,50	99,95
Candinho	azul claro	64,92	19,17	0,90	13,54	0,67	0,02	0,20	0,07	0,01	0,40	0,08	0,01	0,00	100,00
Candinho	azul claro	63,47	16,64	0,90	13,42	0,28	0,01	0,23	0,02	0,01	0,51	0,13	0,02	1,00	96,64
Candinho	azul claro	66,18	17,83	0,40	13,37	0,31	0,02	0,34	0,02	0,01	0,57	0,11	0,02	0,60	99,79
Candinho	azul claro	62,89	16,64	0,80	13,24	0,59	0,01	0,19	0,02	0,01	0,44	0,17	0,02	1,00	96,02
Candinho	azul claro	64,34	17,83	0,70	13,42	0,59	0,01	0,30	0,05	0,01	0,57	0,12	0,02	1,00	98,96
Ciganinha	azul claro	65,60	18,62	0,80	13,47	0,26	0,01	0,25	0,02	0,01	0,62	0,06	0,01	0,25	99,98
Ciganinha	azul claro	64,15	19,02	0,50	13,49	0,26	0,01	0,25	0,02	0,01	0,62	0,06	0,01	1,20	99,59
Ciganinha	azul claro	63,95	18,22	1,00	13,38	0,26	0,02	0,34	0,02	0,01	0,65	0,10	0,02	1,34	99,32
Ciganinha	azul claro	64,05	18,62	0,90	13,46	0,15	0,01	0,21	0,02	0,01	0,42	0,11	0,02	1,70	99,68
Eduardo	azul claro	64,83	17,83	0,50	13,53	0,49	0,01	0,19	0,02	0,01	0,38	0,08	0,02	2,00	99,89
Eduardo	azul claro	62,60	19,02	0,20	13,75	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	1,62	0,01	0,20	2,00	99,49
Eduardo	azul claro	62,60	19,02	0,20	13,75	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	1,62	0,01	0,20	1,00	98,49
Eduardo	verde claro	62,69	17,43	0,70	13,32	0,54	0,01	0,15	0,03	0,01	0,36	0,13	0,01	3,00	98,40
Eduardo	azul claro	62,89	17,83	0,70	13,38	0,39	0,02	0,29	0,02	0,00	0,50	0,14	0,01	2,50	98,66
Morganita	azul médio	63,95	17,83	0,80	13,47	0,41	0,01	0,26	0,02	0,02	0,46	0,13	0,01	2,00	99,37
Morganita	azul médio	63,95	18,62	0,10	13,47	0,59	0,04	0,22	0,02	0,01	0,40	0,13	0,01	2,00	99,56
Morganita	azul claro	66,86	17,43	0,50	13,43	0,51	0,01	0,22	0,02	0,01	0,39	0,12	0,01	0,23	99,74
Morganita	azul claro	62,11	18,22	0,80	13,41	0,46	0,00	0,18	0,02	0,01	0,36	0,13	0,01	3,50	99,22
Morganita	azul claro	64,92	19,02	0,70	13,46	0,26	0,02	0,26	0,02	0,01	0,88	0,10	0,02	0,20	99,86
Morganita	rosa	62,99	19,41	0,50	12,98	0,03	0,02	0,52	0,02	0,04	0,78	0,30	0,04	2,00	99,61
Morganita	rosa	65,02	19,02	0,50	12,95	0,26	0,04	0,51	0,02	0,05	0,89	0,31	0,02	0,20	99,78
Morganita	rosa	62,40	19,41	0,80	12,93	0,00	0,02	0,54	0,02	0,10	0,78	0,29	0,03	1,00	98,33
Cav.Morto	azul claro	63,37	16,64	0,80	13,35	0,46	0,01	0,22	0,02	0,01	0,46	0,24	0,03	3,00	98,61
Cav.Morto	azul claro	64,54	17,83	0,60	13,54	0,36	0,04	0,13	0,03	0,01	0,32	0,14	0,01	1,00	98,55
S. Feira	azul claro	64,63	17,83	0,70	13,49	0,33	0,00	0,06	0,03	0,01	0,23	0,04	0,01	2,00	99,38
S. Feira	azul claro	64,44	17,83	0,70	13,64	0,39	0,04	0,07	0,03	0,01	0,26	0,05	0,01	2,00	99,46
S. Feira	azul claro	62,99	18,22	0,50	13,50	0,44	0,01	0,10	0,05	0,01	0,27	0,28	0,02	3,00	99,38
Marcelo	verde médio	65,21	17,04	0,80	13,45	0,64	0,02	0,24	0,02	0,01	0,44	0,10	0,02	1,00	99,00
Marcelo	azul médio	65,31	18,22	0,40	13,38	0,54	0,02	0,38	0,03	0,01	0,62	0,11	0,02	0,53	99,58
Marcelo	azul médio	63,76	18,22	0,70	13,36	0,33	0,02	0,25	0,02	0,01	0,42	0,19	0,02	1,00	98,31
Angico	verde médio	65,12	17,83	0,60	13,78	0,54	0,01	0,00	0,02	0,01	0,05	0,00	0,00	1,00	98,96
Angico	azul claro	64,34	18,22	0,70	13,77	0,33	0,01	0,00	0,02	0,01	0,04	0,00	0,00	2,21	99,68
Angico	amarelo forte	63,28	16,24	0,70	13,74	0,77	0,01	0,04	0,02	0,01	0,24	0,04	0,01	3,00	98,10
Angico	azul médio	63,18	17,04	0,65	13,74	0,57	0,01	0,03	0,02	0,01	0,19	0,04	0,01	3,00	98,49
Angico	azul claro	63,86	18,22	0,80	13,50	0,28	0,01	0,10	0,02	0,01	0,24	0,10	0,01	2,30	99,46
Mucaia	verde amarelado	64,54	17,83	0,70	13,77	0,51	0,01	0,01	0,02	0,01	0,07	0,01	0,00	1,50	98,97
Mucaia	azul médio	63,95	17,83	0,80	13,73	0,54	0,01	0,00	0,02	0,01	0,07	0,01	0,00	2,00	98,97
Mucaia	azul forte	63,66	15,45	0,80	13,74	1,39	0,02	0,04	0,17	0,01	0,51	0,04	0,01	3,00	98,85
Mucaia	verde forte	63,76	15,25	0,90	13,68	1,36	0,02	0,05	0,15	0,01	0,54	0,06	0,01	3,00	98,80
Mucaia	verde amarelado	63,76	16,64	0,45	13,76	0,57	0,01	0,00	0,02	0,01	0,07	0,01	0,00	3,00	98,30
Urubu	azul claro	65,31	19,02	0,55	13,86	0,41	0,00	0,01	0,03	0,01	0,09	0,13	0,00	0,20	99,63
Urubu	azul claro	65,80	18,62	0,90	13,64	0,44	0,00	0,01	0,03	0,01	0,09	0,12	0,01	0,10	99,77
Urubu	incolor	63,57	19,60	0,40	12,94	0,00	0,02	0,43	0,02	0,02	0,71	0,45	0,08	1,00	99,24
Urubu	rosa	63,47	19,02	0,70	13,00	0,03	0,02	0,41	0,02	0,10	0,75	0,47	0,07	1,00	99,05
Urubu	rosa	62,79	19,41	0,50	12,94	0,03	0,02	0,39	0,02	0,09	0,77	0,46	0,08	1,00	98,50
Z. Estrada	azul claro	64,44	16,24	0,80	13,74	0,32	0,00	0,01	0,02	0,02	0,13	0,00	0,00	2,00	97,73
Z. Estrada	azul médio	65,31	16,04	1,00	13,73	0,85	0,00	0,02	0,02	0,02	0,15	0,01	0,00	1,67	98,82
Z. Estrada	incolor	65,60	16,24	1,50	13,76	0,27	0,01	0,01	0,10	0,02	0,13	0,03	0,02	0,21	97,90

domínio da Suíte Galiléia (Suíte G1). A maioria deles possui médio grau de diferenciação, sendo exceção as Lavras Itatiaia, Jonas e Morganita que estão associadas à fácies diferenciada a turmalina da Suíte Urucum (Nalini Jr. 1997). Os corpos Eduardo e Ciganinha são zonados, mediamente diferenciados, encaixados concordantes aos Xistos São Tomé e compostos por muscovita + microclina + feldspato gráfico + turmalina negra + quartzo + espodumênio + granada + berilo azulado + minerais fosfáticos. A Lavra do Candinho, encaixada em fraturas nos granitóides da Suíte Galiléia (G1), é pouco zonada (não possui núcleo de quartzo), de mineralogia composta por muscovita + quartzo + turmalinas pretas + feldspato gráfico + microclina + berilo. O corpo pegmatítico da Lavra da Morganita é complexo, bastante diferenciado, com a zona marginal de composição granítica, a mural com muscovita + feldspato gráfico + schorlita + quartzo, a intermediária com microclina + turmalinas pretas + muscovita + berilo azul e o núcleo de quartzo cortado por corpos de substituição preenchidos por albita + lepidolita + morganita.

As características similares entre pegmatitos pouco diferenciados associados à Suíte G5, permitem uma descrição conjunta dos corpos Angico (Medina) e Mucaia (Padre Paraíso). Ambos são interiores a um corpo granítico, possuem forma tabular, grandes dimensões e estrutura interna definida por zoneamento completo (marginal, mural, intermediária e núcleo). A zona marginal tem espessura em torno de 1,5m e composição granítica, enquanto na zona mural predomina mica preta e feldspato gráfico. A zona intermediária é composta por microclina + quartzo + topázio + mica preta + caldeirões preenchidos por berilo + topázio + quartzo fumê e o núcleo composto por quartzo leitoso.

Composição Química do Berilo

A partir de análises químicas obtidas por espectroscopia de emissão atômica por plasma (ICP) e fluorescência de raios X (Tabela 1), construiu-se uma matriz de correlação, que possibilitou a visualização das correlações existentes entre os elementos Al, B, Be, Fe, Li, Mg, Mn, Na, Cs, e Rb (Tabela 2), e o

Tabela 2 - Matriz de correlação entre as concentrações dos diversos elementos químicos analisados no berilo da Província Pegmatítica Oriental. Os campos vagos correspondem a baixos coeficientes de correlação (-0,55 - 0,55) e demais representam as correlações positivas e negativas significativas.

	Al	B	Be	Fe	Li	Mg	Mn	Na	Cs	Rb
Al	1,00									
B	-0,56	1,00								
Be			1,00							
Fe	-0,81	0,57		1,00						
Li		-0,58	-0,81		1,00					
Mg				0,67		1,00				
Mn							1,00			
Na			-0,56	0,63				1,00		
Cs					0,70		0,66		1,00	
Rb								0,75		1,00

entendimento das substituições isomórficas na estrutura do berilo. Os demais elementos analisados não apresentam correlações significativas, pois seus coeficientes estão situados entre -0,55 e +0,55.

Substituições Octaédricas de Al

Os elementos que possuem correlação negativa com o Al são Fe e B, entre os quais somente o Fe (Figura 4) está associado ao processo de substituição no sítio octaédrico (AlO_6^{-9}). A correlação negativa com B deve-se à variações no grau de diferenciação do pegmatito amostrado, pois os teores de boro aumentam com a diferenciação pegmatítica.

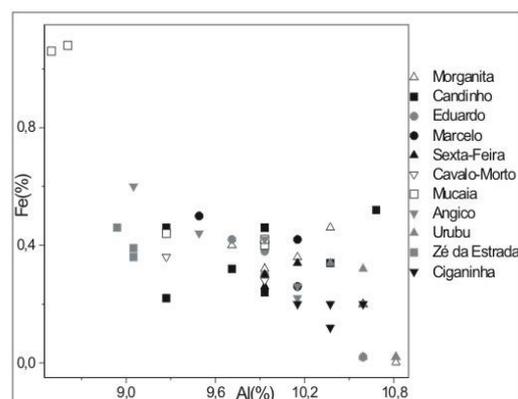


Figura 4 - A relação aproximadamente linear entre as percentagens de Fe e Al no berilo da Província Pegmatítica Oriental. A forte correlação negativa, observada principalmente no berilo de corpos pouco diferenciados do Angico e Mucaia, demonstra que o Fe é o principal agente substitucional do Al no sítio octaédrico.

O Mn não mostrou correlação significativa com o Al, entretanto nas amostras de pegmatitos muito diferenciados, a sua presença é marcante, sendo observada ainda uma forte correlação positiva deste elemento com o Cs (Figura 5).

Nas amostras de pegmatitos diferenciados, como Morganita e Urubu os teores de Mn e Cs são muito superiores aos das demais, o que demonstra a existência de uma relação entre o teor destes elementos e o grau de diferenciação do pegmatito (Figura 5).

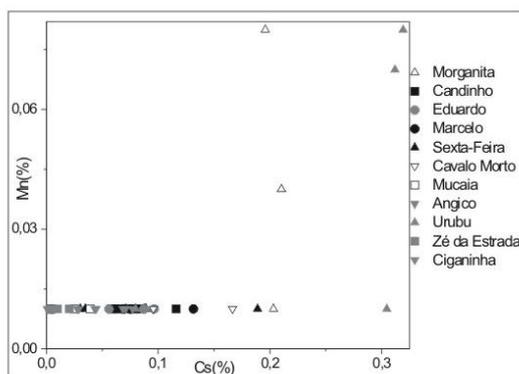


Figura 5 - A tendência exponencial entre as percentagens de Mn e Cs no berilo da Província Pegmatítica Oriental. Na maioria das amostras os teores de MnO se mostraram baixos (~100ppm), a exceção do berilo róseo rico em Cs das lavras Urubu e Morganita, onde estes teores chegam a 1.000ppm.

O Be mostra uma forte correlação negativa com o Li e em menor proporção com Na. A principal substituição de Be no sítio tetraédrico (BeO_4^{-6}) deve-se ao Li, seguido pelo Na (Figura 6).

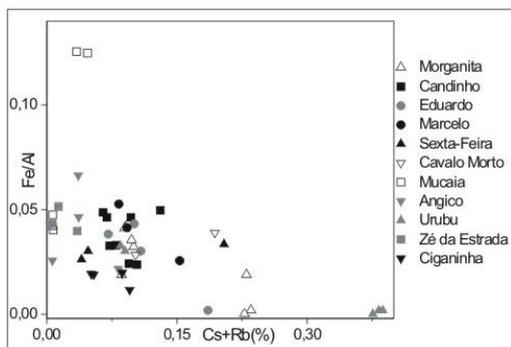


Figura 6 - A razão entre Fe/Al e as percentagens de Cs+Rb no berilo de pegmatitos da Província Pegmatítica Oriental. Nas amostras de pegmatitos muito diferenciados, ricos em Cs e Rb como Morganita e Urubu, a presença de substituições de Fe por Al é inferior à observada nos espécimes de corpos pouco diferenciados como Angico e Mucaia.

As amostras de corpos muito diferenciados como Urubu e Morganita, possuem altos teores de álcalis e intensa substituição de Li por Be, diferindo das amostras de pegmatitos pouco diferenciados como Mucaia e Angico, onde predomina a substituição de Be por Na (Figura 7). Este fato demonstra que os teores de álcalis e substituições tetraédricas estão condicionados ao grau de diferenciação do pegmatito amostrado.

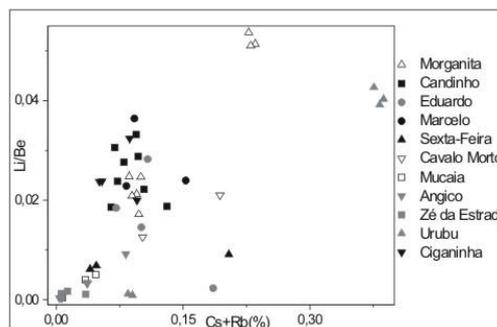


Figura 7 - A razão Li/Be e a somatória de Cs e Rb(%) no berilo de pegmatitos da Província Pegmatítica Oriental, mostra que as substituições de Li por Be no sítio tetraédrico são mais efetivas naqueles de corpos diferenciados (Morganita e Urubu)

Cátions nos Canais

Os canais abertos do berilo podem ser ocupados por cátions e/ou moléculas como Na, Cs, Rb, Fe^{+2} e H_2O , na forma de impurezas, não substituindo os constituintes principais (Bakakin & Belov 1962). Nas amostras estudadas o teor de alcalis aumenta quanto maior for o grau de diferenciação do pegmatito (Figura 8), entretanto, o preenchimento dos canais se deve principalmente a Cs e Rb, já que o Li e Na participam da substituição do Be.

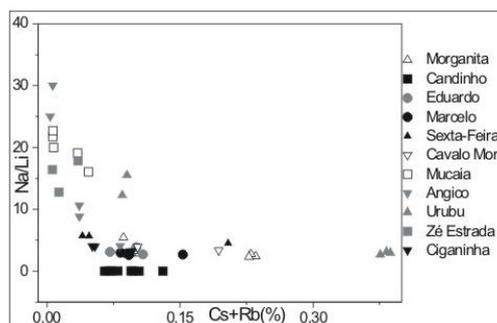


Figura 8 - O berilo da Província Pegmatítica Oriental posicionado no diagrama modificado de Trueman & Cerny (1982), revela que o Li está concentrado naqueles oriundos de pegmatitos muito diferenciados e ricos em álcalis (Cs e Rb), havendo um predomínio de Na nos de corpos pouco diferenciados.

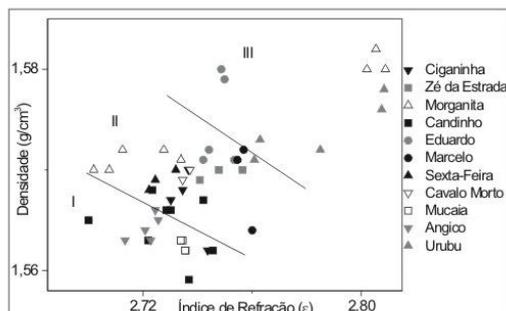


Figura 9 - A relação entre densidade e índice de refração (ϵ) no berilo da Província Pegmatítica Oriental. O campo I contém as amostras com os menores valores de densidade e índice de refração, devido aos baixos teores de álcalis nas de corpos pouco diferenciados. Nos campos II e III estão inseridas aquelas com os valores mais elevados de densidade e índice de refração, reflexo das condições diferenciadas dos pegmatitos.

O decréscimo na razão Na/Li em função da porcentagem de Cs (Trueman & Cerny 1982), revela que o Na predomina em pegmatitos menos evoluídos como Mucaia e Angico e que o Li está mais concentrado no berilo de corpos diferenciados, como Urubu e Morganita (Figura 8).

Propriedades Físicas do Berilo

No diagrama apresentado na figura 9 foram individualizados os campos I, II e III. O campo I corresponde a berilo das regiões de Padre Paraíso, Medina e Galiléia (Candinho), com os menores valores de densidade e índice de refração (ϵ), reflexo dos baixos teores de álcalis (Figuras 7) nos pegmatitos pouco diferenciados. O campo II engloba o berilo proveniente de Galiléia (Ciganinha e Eduardo) e São José da Safira (Sexta-Feira, Cavalito Morto e Marcelo), explotados em pegmatitos diferenciados, com teores médios de álcalis (Figuras 5, 6 e 7). Todavia, estão contidos neste campo amostras de borda dos pegmatitos Morganita e Urubu, devido ao grande zoneamento interno destes corpos. O berilo das regiões de Itinga (Urubu) e Conselheiro Pena (Morganita e Eduardo), posicionados no campo III, possuem os maiores valores de densidades e índice de refração (ϵ), que se devem as condições altamente diferenciadas dos corpos e presença de berilo nos corpos de substituição.

As propriedades físicas corroboram as características químicas, pois a concentração de

álcalis provoca aumento na densidade e índice de refração no berilo, devido a entrada destes metais como compensadores de carga que foram geradas pelas substituições isomórficas de Li por Be.

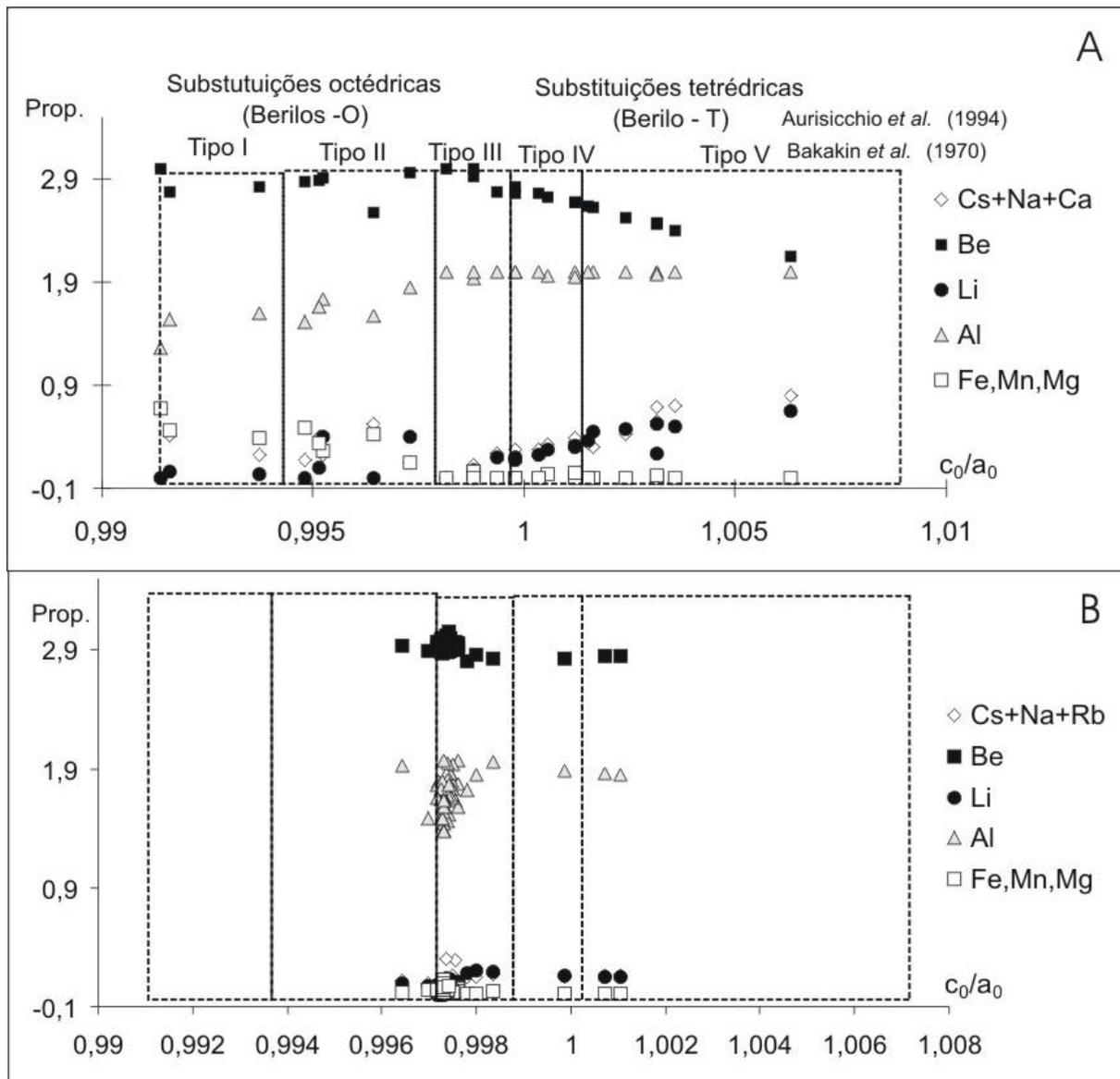
Classificação e Aspectos Genéticos

A grande variação composicional do berilo, possibilitou Bakakin *et al.* (1970) classificá-lo, baseado em cristalquímica, nos tipos I, II, III, IV e V. Para Aurisichio *et al.* (1994), os diversos picos nos espectros de infravermelho, indicam o tipo de substituição predominante, o que permite classificá-lo como octaédrico, normal e tetraédrico. A figura 10a, apresenta a relação entre a razão c_o/a_o e os índices de fórmula mínima calculados por Bakakin *et al.* (1970), enquanto a figura 10b representa a razão c_o/a_o obtida através do programa Unitcel (Holland & Redfern 1977) e índices calculados a partir das análises químicas, nos espécimes da Província Pegmatítica Oriental.

Na figura 10b observa-se uma grande concentração de amostras no tipo III (normal), devido a predominância de amostras com poucas substituições isomórficas, oriundas dos pegmatitos de Galiléia e São José da Safira, que possuem médio grau de diferenciação e estão associados aos granitóides das suítes G4 e G2.

O berilo do tipo tetraédrico ou IV e V, predomina na região de Araçuaí-Itinga, onde ocorrem pegmatitos muito diferenciados associados aos granitóides da suíte G4. Os espécimes possuem alcalinidade elevada e hábito tabular, devido à intensa substituição no sítio BeO_4^{-6} por Li e entrada de cátions alcalinos de raio iônico grande compensadores de carga. Uma outra região onde ocorre este tipo de berilo é na Lavra da Morganita, onde o pegmatito é uma anomalia e provavelmente está relacionado à fácies a turmalina mais diferenciada da Suíte Urucum (G2) (Nalini 1997). O campo octaédrico ou II inclui o berilo com intensa substituição no sítio (AlO_6^{-9}) como os de Medina (Angico) e Padre Paraíso (Mucaia), explotados em pegmatitos interiores pouco diferenciados associados a suítes granitóides calcio-alcalinos do tipo "I", pertencem a Suíte G5.

Figura 10 - Em A observa-se as classificações de berilo, baseadas nas substituições isomórficas e nas razões parâmetros de cela unitária c_0/a_0 (Bakakin *et al.* 1970; Aurisicchio *et al.* 1994), enquanto em B, estão posicionados os valores calculados nas cinquenta e uma amostras dos pegmatitos da Província Pegmatítica Oriental.



DISCUSSÃO

As diferenças marcantes na composição química do berilo da Província Pegmatítica Oriental indicam a existência de dois grupos distintos. O primeiro representado por berilo octaédrico rico em ferro, oriundo de pegmatitos pouco diferenciados e o segundo grupo, por espécimes normal a tetraédrico, com baixos teores de ferro e gênese relacionada à corpos diferenciados a muito diferenciados.

No primeiro grupo, representado por berilo das Lavras Mucaia e Angico, predominam substituições isomórficas de Fe por Al no sítio

octaédrico, estando as de Li por Be praticamente ausentes, fato demonstrado pelos altos teores de FeO* e baixos de álcalis. Essas características refletem as condições pouco diferenciadas dos pegmatitos, o que está diretamente relacionado com a história evolutiva dos granitóides da Suíte G5. No segundo grupo, existe pouca ou nenhuma substituição de Fe por Al, porém médios a altos teores de álcalis indicam a entrada do Li no sítio tetraédrico e a presença de Cs e Rb nos canais abertos. Estão inseridos no segundo grupo, as amostras de pegmatito diferenciado a muito diferenciado das regiões de Galiléia, São José da Safira e Itinga, geneticamente relacionados a granitóides das Suítes G2 e G4.

As cores azul, verde e amarelo, de intensa tonalidade, observadas nos cristais do primeiro grupo, podem ser atribuídas à presença de Fe no sítio octaédrico ou nos canais, a qual ativa as transferências de carga responsáveis pelas absorções no espectro visível. No segundo grupo, as cores azul, verde e amarelo são menos intensas, devido aos baixos teores de FeO* e ação reduzida das transferências de carga. Contudo, somente no berilo do segundo grupo (Lavras do Urubu e Morganita), ocorrem variedades tetraédricas róseas, cuja cor está relacionada ao Mn no sítio octaédrico.

CONCLUSÃO

Os pegmatitos estão geneticamente relacionados tanto às suítes graníticas sintectônicas como pós-tectônicas de Pedrosa-Soares *et al.* (2001). Na região de Galiléia, os pegmatitos foram originados a partir de granitóides sintectônicos da Suíte G2, ao passo que nas de Itinga e São José da Safira, os pegmatitos diferenciados a muito diferenciados estão relacionados aos granitóides pós-tectônicos da Suíte G4. Os pegmatitos interiores e pouco diferenciados das regiões de Medina e Padre Paraíso associam-se geneticamente aos granitóides pós-tectônicos da Suíte G5.

As substituições isomórficas, baseado nas análises químicas, possibilitaram subdividir o berilo da Província Pegmatítica Oriental nos grupos octaédrico e normal-tetraédrico. No octaédrico oriundo das Lavras Angico e Mucaia, predomina substituição isomórfica de Fe por Al no sítio octaédrico, enquanto no tipo normal-tetraédrico as principais substituições são de Li por Be. As cores azul, verde e amarelo intensas, observadas no tipo octaédrico, se devem às transferências de carga mais eficientes em função das altas concentrações de ferro nessa variedade.

Concluindo, o berilo octaédrico de pegmatito pouco diferenciado da Suíte G5 possui potencial gemológico bem superior ao normal-tetraédrico de corpo diferenciado das Suítes G2 e G4. Apesar de sua cor pouco atrativa, a variedade normal-tetraédrica não deve ser descartada, pois existe a possibilidade de aplicação de melhoramento de cor (*enhancement*), através de irradiação e tratamento térmico. Essas técnicas poderão ser aplicadas desde que exista Fe em concentração suficiente para serem obtidas cores comerciais, viabilizando inúmeros depósitos pegmatíticos antieconômicos nos dias atuais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, L. O. (1979) The difference between Maxixe beryl and Maxixe-type beryl: an electron paramagnetic resonance investigation. *Journal of Gemmology*. **16**(5):313-317.
- AURISICCHIO, C.; GRUBESSI, O.; ZECCHINI, P. (1994) Infrared spectroscopy and crystal chemistry of the beryl group. *Canadian Mineralogist*. **32**(1):55-68.
- BAKAKIN, V. V. & BELOV, N. V. (1962) Crystal chemistry of beryl. *Geochemistry*. **5**: 484-500.
- BAKAKIN, V. V.; RYLOV, G. M.; BELOV, N. V. (1970) X-ray diffraction data for identification of beryl isomorphs. *Geochemistry International*. **7**(6):924-933.
- BARBOSA, A. L. M. ; GROSSI SAD, J. H. (1983) Reinterpretação das 'séries' Juiz de Fora e Paraíba, em Minas Gerais e Rio de Janeiro. *In*: II Simpósio de Geologia de Minas Gerais, Belo Horizonte, SBG, Anais. **3**:1-15.
- BASÍLIO, M. S. ; DUSSIN, I. A. ; PEDROSA-SOARES, A. C. ; JORDT-EVANGELISTA, H. ; MACAMBIRA, M. ; VOLL, E. ; PIMENTA, V. B. (1998) Gênese dos depósitos de alexandrita de Malacacheta, Minas Gerais: evidências geológicas e geocronológicas. *In*: XL Congresso Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte, SBG, Anais. **1**:281.
- BAYER, P.; HORN, H. A.; LAMMERER, B.; SCHMIDT-THOME, R.; WEBER-DIEFENBACH, K. ; WIEDEMANN, C. (1986) The Brasiliano Mobile Belt in southern Espírito Santo (Brasil) and its igneous intrusions. *Zentralblatt für Geologie und paleontologie*. **9/10**:1429–1440.
- BILAL, E. ; CORREIA-NEVES, J. M. ; FUZIKAWA, K. ; HORN, A. H. ; MARCIANO, P. R. O. ; FERNANDES, M. L. S. ; MOUTTE, J. ; MELLO, F. M. ; NASRAOUI, M. (2001) Pegmatites in Southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*. **30**(2):234-237.

- BILAL, E. ; NALINI, H. A. ; HORN, H. A. ; CORREIA-NEVES, J. M. ; GIRET, A. ; FUZIKAWA, K. ; FERNANDES, M. L. ; MELLO, F. ; MOUTTE, J. (1998a) Neoproterozoic granitoid suites of Rio Doce Region, Brazil. *In: International Conference on Precambrian and Craton Tectonics, Ouro Preto, Brasil, Abstracts.* **1**:41-43.
- CAMPOS-NETO, M. C. & FIGUEIREDO, M. C. H. (1995) The Rio Doce Orogeny, Southeastern Brazil. *Journal of South American Earth Science.* **8**:143–162.
- CELINO, J. J. (1999) Variação composicional em suites de granitóides neoproterozóicos e sua implicação na evolução do Orógeno Araçuai (Brasil)-Oeste Congolês (África). Tese de Doutorado, Universidade de Brasília. 274p.
- CORREIA-NEVES, J. M. ; PEDROSA-SOARES, A. C. ; MARCIANO, V. R. P. R. O. (1986) A Província Pegmatítica Oriental do Brasil à luz dos conhecimentos atuais. *Revista Brasileira de Geociências.* **16**(1):106-118.
- DUSSIN, I. A. ; DUSSIN, T. M. ; VIEIRA, V. S. ; MACAMBIRA, M. J. B. (1998) Idade do Maciço Lagoa Preta (Suíte Aimorés, MGS): Determinação de $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ sobre zircões de hiperstênio granito. *In: XL Congresso Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte, SBG.* **1**:34.
- FARIA, L. F. (1997) Controle e tipologia de mineralizações de grafita flake do nordeste de Minas Gerais e sul da Bahia: uma abordagem regional. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 112p.
- FERNANDES, M. L. S. (1991) Geologia, petrografia e geoquímica de rochas granitóides da região de Pedra Azul, MG. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 191p.
- GOLDMAN, D. S.; ROSSMAN, G. R.; PARKIN, K.M. (1978) Channel constituents in beryls. *Physics and Chemistry of Minerals.* **3**: 225-235.
- GROSSI-SAD, J. H. ; LOBATO, L. M. ; PEDROSA-SOARES, A. C. ; SOARES-FILHO, B. S. (1997) Projeto Espinhaço em CD-ROM. Companhia Mineradora de Minas Gerais, 2693p.
- HOLLAND, T. J. B & REDFERN, S. A.T. (1977) Unit cell refinement from powder diffraction date: the use of regression diagnostics. *Mineralogical Magazine.* **61**: 65-77.
- LOBATO, L. M. ; PEDROSA-SOARES, A. C. (1993) Síntese dos recursos minerais do Cráton São Francisco e Faixas Marginais em Minas Gerais. *Geonomos.***1**: 51-64.
- LOEFFER, B. M. & BURNS, R. G. (1976) Shedding light on the color of gem minerals. *American Scientist.* **64**(6): 636-647.
- MATHEW, R. V.; KARANTH, T. K.; GUNDU, R.; DESPHANDE, R. S. (1998) Maxixe type colour center in natural colourless beryl from Orissa, Índia: an ESR and OA investigation. *Journal of Gemmology.* **26**(4): 238-251.
- MEDEIROS, S. R. (1999). Estudo mineralógico, petrológico, geoquímico e isotópico do Complexo Intrusivo de Várzea Alegre, ES. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 265p.
- NALINI, H. A. (1997) Caractérisation des suites magmatiques néoproterozoiques de la région de Conselheiro Pena et Galiléia (Minas Gerais–Brésil). Etude géochimique et structurale des suites Galiléia et Urucum et relation avec les pegmatites à éléments rares associées. These de Docteur. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 237p.
- NOCE, C. M.; MACAMBIRA, M. B.; PEDROSA-SOARES, A.C. (2000) Chronology of Late Proterozoic-Cambrian granitic magmatism in the Araçuai belt, Eastern Brazil, based on single zircon evaporation dating. *Revista Brasileira de Geociências.* **30**: 25–29.
- OLIVEIRA, M. J. R. ; PINTO, C. P. ; FÉBOLI, W. L. ; SANTOS, R. A. (1997) Projeto Leste: Geologia estrutural e tectônica - Etapa 1. CPRM, 47p.
- PAES, V.J.C. (1999) Geologia e Geoquímica da Região de Alvarenga, Minas Gerais: implicações geotectônicas e metalogenéticas. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 149p.
- PAIVA, G. (1946) Províncias Pegmatíticas do Brasil. *Boletim. DNPM/DFPM,* **78**:13-21.
- PINTO, C.P. ; DRUMOND, J.B. ; FEBOLI, W.L. (1997) Projeto Leste: mapeamento geológico, cadastramento de recursos minerais da região leste de Minas Gerais -Etapa 1. CPRM, 161p.

- PEDROSA-SOARES, A.C. ; MARTINS-NETO, M.A. (1997) Arcabouço Estratigráfico das Bacias Espinhaço (mesoproterozóico) e Macaúbas (neoproterozóico). *In*: IX Simpósio de Geologia de Minas Gerais, Ouro Preto, SBG. Guia de Excurção, 100p.
- PEDROSA-SOARES, A.C.; NOCE, C.M.; WIEDMANN, C.M.; PINTO, C.P. (2001) The Araçuaí-West-Congo Orogen in Brazil: an overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly. *Precambrian Research*. **110**: 307-323.
- PEDROSA-SOARES, A. C. ; WIEDMANN, C. M. ; FERNANDES, M. L. S. ; FARIA, L. F. ; FERREIRA, J. C. H. (1999) Geotectonic significance of the Neoproterozoic granitic magmatism in the Araçuaí belt. Eastern Brazil: a model and pertinent questions. *Revista Brasileira de Geociências*. **30**: 59-66.
- PEDROSA-SOARES, A.C.; MONTEIRO, R.L.B.P.; CORREIA-NEVES, J.M.; LEONARDOS, O.H.; FUZIKAWA, K. (1987) Metasomatic evolution of granites, northeast Minas Gerais, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*. **17**: 512-518.
- PINTO, C.P.; PEDROSA-SOARES, A.C.; WIEDEMANN, C. (1998) Mapa geológico da porção brasileira do Orógeno Araçuaí-Oeste do Congo. *In*: XL Congresso Brasileiro de Geologia. Belo Horizonte, SBG, Anais. **98**: 2199-2208.
- ROSSMAN, G. R. (1981) Color in Gems: the new techniques. *Gems & Gemology*. **17**: 60-71.
- SIGA JR., O. (1986) A evolução geocronológica da porção nordeste de Minas Gerais, com base em interpretações geocronológicas. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 140p.
- SLUITNER, Z.; WEBER-DIEFENBACH, K. (1989) Geochemistry of charno-enderbitic granulites and associated amphibolitic gneisses in the coast region of Espírito Santo. Brazil. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*. **5/6**: 917-931.
- SÖLLNER, H.S.; LAMMERER, B.; WEBER-DIEFENBACH, K. (1989) Brasiliano age of a charnoenderbitic rock suite in the Complexo Costeiro (Ribeira Mobile Belt), Espírito Santo, Brazil: Evidence from U-Pb Geochronology on Zircons. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*. **5/6**: 933-945.
- SÖLLNER, H.S.; LAMMERER, B.; WEBER-DIEFENBACH, K. (1991) Die Krustenentwicklung in der Küstenregion nördlich von Rio de Janeiro, Brasilien. *Müncher Geologische Hefte*. **4**: 1-100.
- TROMPETTE, R. (1994) Geology of Western Gondwana (2000-500Ma) Pan-African -Brasiliano, aggregation of South America and Africa. Editora Balkema, A.A., Roterdã, Holanda, 545p.
- TRUEMAN, D.L.; CERNY, P. (1982) Exploration for rare element granitic pegmatites. *Min. Assoc. Canada. Short Course Hadbook*. **8**: 463-493.
- UHLEIN, A.; TROMPETTE, R.; EGYDIO-SILVA, M. (1998b) Proterozoic rifting and closure, SE border of the São Francisco Craton, Brazil. *Journal of South Amererican Earth Sciece*. **11**: 191-203.
- VIEIRA, V.S. (1997) Geoquímica do Maciço Lagoa Preta, MGES: plutonismo no domínio do arco magmático Rio Doce. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 146p.
- WIEDEMANN, C. (1993) The evolution of the Early Paleozoic, late to postcollisional magmatic arc of the Coastal Mobile Belt, in the State of Espírito Santo, eastern Brazil. *Anais. Academia Brasileira de Ciências*. **65**: 163-181.
- WIEDEMANN, C.; MENDES, J.C.; MOURA, J.C.; COSTA-NASCIMENTO, R.C.; LUDKA, I.P. (1997) Granitoids of the Espírito Santo Magmatic Arc. *In*: II Int. Symp. Granites Associated Mineral. Salvador, SBG, Excursions Guide. **1**: 57-76.
- WOOD, D.L.; NASSAU, K. (1968) The cracterization of beryl and emerald by vizible and infrared absorption espectroscopy. *American Mineralogist*. **53**: 777-800.