

O METASSOMATISMO DE INFILTRAÇÃO E SUA IMPORTÂNCIA NOS DEPÓSITOS DE ESMERALDA DO BRASIL

Gaston Giuliani — Departamento de Geociências-UNB/ORSTOM-Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération, França, CRPG-Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, Nancy, França

Pedro Couto — Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais/SGMA

ABSTRACT- Emeralds of Brazil forms an original Precambrian mineralization type. The main deposits are in the Bahia State (Carnaíba and Socotô prospecting pits, Minas Gerais State (Itabira - Belmont Mine) and Goiás State (Santa Terezinha de Goiás prospecting pits). The deposits are always located in a characteristic geological environment composed of : - a granitic-gneissic basement, - a volcanosedimentary serie with always basic to ultrabasic horizons, occurring as imbricated structures (Socotô) or affected by complex folding (Carnaíba) and deformations, - intrusives granitoids with their magmatic to tardi-magmatic equivalents. In all the cases, we can notice the evident association of emerald with pegmatites intruding basic and ultrabasic rocks. In Santa Terezinha, the lack of pegmatites at the level of observation, allow to open a real debate on syngensis versus epigenesis origin. The emerald mineralization is contained in phlogopitites resulting from metasomatic transformation developed in serpentinites, talc-schists or tremolitites, and is related to an infiltrational process. The metasomatic rocks show a regular zoning, each zone being of different mineral composition and separated by sharp and clear limits. This infiltrational metasomatism is evidently controlled by tectonic and lithologic factors; in Carnaíba, the subvertical fracture veins (frinchas) are well developed near the granite and form the channel of the ascending fluids while the contact veins (esteiras) are developed along the lithological contact quartzite-ultrabasic rocks. A tectonic control can be also advanced for Santa Terezinha de Goiás and Itabira. This metasomatism involves acid-base interactions i.e acid-magmatic solutions penetrating in basic rocks producing an increase of bases, specially the activity of the alkali-oxides as potassium and sodium. The different diffusion rates between these components will play also an important role in the formation of the desilicated pegmatites (Na rich pegmatoids), generally encountered in these deposits. The main process involved in the formation of the observed metasomatic columns is the infiltration of a fluid along opened fractures. The resulting rock assemblage could be referred to as an infiltrational metasomatic process, or considering that the ultrabasic rocks play the same basic role as carbonate formations, to as an "infiltrational metasomatic basic skarn".

INTRODUÇÃO

As principais províncias metalogenéticas do Brasil estão relacionada aos escudos precambrianos e incluem depósitos importantes, associados aos vários ambientes geológicos: séries vulcanossedimentares, complexos máficos e ultramáficos e cinturões de zonas granulíticas - granito-gnáissicas. Entre todas estas mineralizações, os jazimentos de gemas são de destacada importância e colocam o país, por sua produção e diversidade de gemas, como um dos primeiros produtores no mercado internacional. A produção de gemas vem sendo descrita em muitos estados da Federação e as gemas brasileiras estão associadas, principalmente, aos depósitos aluviais e zonas de pegmatitos. Água, ametista, água-marinha e topázio, assumem as mais importantes produções, em

quantidade, enquanto a esmeralda está caracterizada pelo seu alto valor comercial, representando a principal exportação de gemas brutas e lapidadas. Uma grande parte da produção de esmeralda não é controlada oficialmente e a exportação clandestina tem sido de grande monta; uma perda de 500 milhões de dólares/esmeralda/ano é estimada (Afinal, Set/1985; O Globo, 15/09/85; Isto É, 10/87). As estatísticas oficiais representam, somente, cerca de 5 a 20% da real produção de esmeralda.

DEPÓSITOS DE ESMERALDA DO BRASIL

Em 1961, a primeira ocorrência econômica de esmeralda foi descoberta em Salininhas, Bahia, o que renovou o interesse para prospecção desta gema no Estado. Após 1963, outras importantes ocorrências foram encontradas no Brasil, tornando este país um dos mais representativos produtores mundiais, em volume e qualidade de esmeralda. No momento atual, quatro depósitos de esmeraldas estão em produção, os garimpos de Carnaíba e Socotó (Bahia), Santa Terezinha (Goiás) e a mina de Itabira (Companhia de Gemas Belmont Ltda - Minas Gerais) (Fig. 1).

Os depósitos de Socotó, Carnaíba e Itabira pertencem ao tipo clássico das jazidas de esmeralda (Schwarz, 1986), i.e., associação de rochas máficas-ultramáficas (ou seus derivados metamórficos) com veios pegmatíticos. Para Santa Terezinha de Goiás, a existência de um pré-estrato contendo berílio é admitida; estes horizontes portadores de berílio intercalados em rochas vulcanossedimentares poderiam ter sido remobilizados durante uma "fase pneumatolítica - metassomática" (Schwarz, op. cit.).

O objetivo do estudo ora apresentado é lançar uma revisão das principais ocorrências de esmeralda do Brasil, sob a perspectiva das suas colocações geológicas, feições geométricas e paragêneses. Estas descrições permitem mostrar que os principais processos envolventes, geradores das rochas metassomáticas, biotitaxistos e outras encaixantes das mineralizações de esmeralda, podem ser referidos como "infiltração metassomática - tipo escarnito básico" de acordo com o sentido definido por Korzhinskii (1965). Por outro lado, este enfoque genético poderá contribuir para o entendimento do mecanismo da formação da mineralização e avaliar a importância relativa dos fluidos portadores de berílio.

A consequência da ação dos processos metassomáticos de infiltração são enfatizados no depósito de esmeralda de Santa Terezinha de Goiás. Esta discussão envolve a natureza da associação pegmatítica com o processo de formação da esmeralda e tenta definir uma denominação adequada para estas manifestações tardi - magmáticas.

GARIMPOS DE ESMERALDA DE CARNAÍBA E SOCOTÓ

Os maciços leucograníticos, à duas-micas, de idade proterozóica, de Campo Formoso e Carnaíba, intrudem terrenos metassedimentares/vulcânicos da serra de Jacobina e o embasamento gnaiss - migmatítico de idade arqueana. A estes granitos estão associados mineralizações de berilo, molibdenita e scheelita.

As escavações garimpeiras, conhecidas como GARIMPO DE SOCOTÓ, estão localizadas na parte nordeste do Granito de Campo Formoso, em rochas serpentiniticas, ocorrendo como estruturas imbricadas em contato com rochas do embasamento ou contidas neste. (Foto 1). O corpo ultramáfico, orientado N 150-180°, com mergulho de foliação 50 a 70°,

está intrudido por pegmatóides, grosseiros, albíticos e/ou turmalínicos, com veios, menores de quartzo, acompanhados ou não de plagiocásio e turmalina. Os pegmatóides, que consistem de um sucessivo enxame de veios paralelos, desenvolvidos em contato com serpentinitos, provocam zoneamento metassomático. Esta situação está caracterizada por uma regular sucessão de zonas com definidas frentes de substituição e diferentes mineralogias (Rudowski et al, 1987 a,b). A esmeralda está intimamente associada ao flogopitito, praticamente monomineralico, rico em F, formado simetricamente nos flancos dos pegmatóides; podendo, também, aparecer nos veios.

Além disso, o pegmatóide citado pode portar flocos de molibdenita, encontrada, especialmente, em níveis abaixo da superfície, nas escavações garimpeiras do setor da Mamona; aparecendo, ocasionalmente, scheelita, pirita, fenakita (também chamada esmeralda branca) e apatita, nos contatos com a rocha ultramáfica. Registra-se, também, a presença de powelita (mineral isomorfo da scheelita), com molibdênio (Couto et al, 1985).

As escavações que fazem parte do GARIMPO DE CARNAÍBA foram desenvolvidas em torno e no âmbito do granito de Carnaíba e são divididas em dois principais sub-distritos: Carnaíba de Cima, incluindo os poços e galerias dos setores garimpeiros - Trecho Velho, Trecho Novo, Bica e Cabra, situados acima de 1.000 metros de altitude; Carnaíba de Baixo, com escavações desenvolvidas, nos "roof pendants" de serpentinitos no seio do corpo granítico (setores - Bode, Gavião, Lagarta e Formiga) ou em rochas regionais migmatíticas e/ou gnaissicas, contendo ultramáficas (Setores - Marota e Bráulima), entre o Granito de Carnaíba e os quartzitos Jacobina.

A mineralização de esmeralda está relacionada aos pegmatóides intrusivos albíticos (albita - oligoclásio), quartzo - albítico ou quartzo que, em veios, cortam as rochas serpentiniticas. Duas espécies de veios, com esmeralda, são distinguidos pelos garimpeiros: os veios de fratura, chamados de "frinças" e veios de contato - "esteiras". O último desenvolveu-se ao longo dos contatos entre os quartzitos e as rochas serpentiniticas. Estes ocorrem, tipicamente, no Trecho Novo, Cabra e Bica, com importantes mineralizações de esmeralda (Foto 2); e ainda o setor - Arrozal, no extremo sul do distrito esmeraldífero de Carnaíba. O veio - frincha é, geralmente, vertical com uma espessura média de 0,5 metro e, às vezes mostra uma estrutura típica de zona de "riedel tension". Nenhum controle litológico é observado e, geralmente, a esmeralda se mostra de boa qualidade (cristalizada e de verde intenso), acompanhada, frequentemente de mineralizações de molibdenita. A presença de molibdenita, uma importante feição no sub-distrito de Carnaíba de Baixo, vem a ser, atualmente, a única fonte de produção de molibdenita no Brasil.

No setor - Marota, atualmente, a produção de esmeralda tornou-se insignificante. As escavações alcançam a profundidade de 80 a 100 metros ou mais e há evidências da presença de numerosos diques pegmatóides albíticos de grã grossa e fina, com importantes disseminações de molibdenita (Foto 3). Mineralogicamente, os pegmatóides albíticos consistem, principalmente, de lâminas feldspáticas com aspecto de clevelandita, com pouco ou nenhum quartzo, turmalina e biotita marron clara. Cristais de berilo, de coloração branca ou verde pálido, ocorrem em forma de pequenos cristais prismáticos, às vezes transparentes e intercrescidos com molibdenita. A molibdenita ocorre também em veios milimétricos, constituindo "ore shoot".

No setor - Bráulima, uma típica e completa sequência metassomática (Foto 4) pode ser

observada, no contato de um veio pegmatóide à turmalina e albita retrometamorfizada no interior da rocha serpentinitica, como anteriormente descrito por Rudowski et al (1978 a,b). Nesta área, típicos veios de berilo verde pálido a amarelado, portando quartzo e ainda com molibdenita e moscovita cortam os flogopititos, induzindo processos de cloritização e silicificação. Pode-se notar, também, a intercalação de tremolita xistos dentro dos serpentinitos, com disseminações de scheelita. Na escala do distrito de Carnaíba, uma repartição vertical da mineralização, em relação aos afloramentos de granito, pode ser registrada, apresentando um zoneamento de cerca de 400 metros em altura; onde há um notável enriquecimento de molibdenita e quartzo na Carnaíba de Baixo, com diminuição da quantidade e qualidade da esmeralda, relativamente. A execução de furos de sondagem efetuados na Carnaíba de Cima, mostrou, entre as cotas de 800 a 600 metros, a presença de "stockworks" - tipo fratura, constituindo por vezes zonas de 10 metros de espessura, enriquecida em quartzo, turmalina, berilo verde e molibdenita (Moreira & Santana, 1982).

DISTRITO DE ESMERALDA DE ITABIRA - A MINA BELMONT

As mineralizações, em escala regional, ocorrem entre o contato de um paragneiss arqueano e um corpo granítico, altamente deformado, chamado "leucognaisse". A sequência paragneissica é composta por metarenitos e metagrauvascas, com intercalações de formações metamórficas. O "leucognaisse" corresponde a suíte de intrusões graníticas chamada granitos tipo - Borrachudo (Schorscher et alii, 1982; Chemale, 1987). Os granitos Borrachudo e Santa Bárbara são ricos em fluor (0,3 a 0,5% de F), de composição alcalina a peralcalina, formados por "infiltrações K-feldspáticas sintactoclásticas, no período inicial sintectônico do Minas" (Schorscher e Leterrier, 1980). Até o momento não foi divulgado nenhum estudo detalhado no granito da Mina Belmont.

As formações máficas - ultramáficas do distrito esmeraldífero foram transformadas em biotita/talco-clorita xistos, e mantêm uma direção geral norte-leste, com uma largura de 750 a 1.000 metros. Estas rochas estão intrudidas por corpos pegmatíticos, que estão concentrados entre o "leucognaisse" e os xistos. Os pegmatitos foram intensamente intemperizados, até uma profundidade aproximada de 30 metros, resultando em massas caulinizadas com quartzo.

As mineralizações de esmeralda estão associadas aos veios ou às zonas metassomáticas - clorita xistos e flogopita xistos - com crisoberilo/alexandrita. Os veios de pegmatitos alterados parecem cortar o "leucognaisse" e os xistos. Os pegmatitos foram intensamente intemperizados, até uma profundidade aproximada de 30 metros, resultando em massas caulinizadas com quartzo.

As mineralizações de esmeralda estão associadas aos veios ou às zonas metassomáticas - clorita xistos e flogopita xistos - com crisoberilo/alexandrita. Os veios de pegmatitos alterados parecem cortar o "leucognaisse", que além de esmeralda podem conter outros berilos, até mesmo água-marinha (Hänni et alii, 1987).

GARIMPO DE ESMERALDA DE SANTA TEREZINHA DE GOIÁS

A área em garimpagem de Santa Terezinha está localizada na parte nordeste do "greens

tone belt" de Crixás. A sequência associada pertence ao Grupo Araxá, 1600 a 1.100 m.a., composta de mica xistos e quartzitos com intrusões "intercaladas" de rochas básicas e ultrabásicas e sills ácidos (Costa, 1986). A espessura total da série é de cerca de 2.000 metros.

Durante a orogênese Uruaçuana (Espinhaço - 1.200 a 1.00 m.a.), a ação do metamorfismo regional e a deformação resultaram em dobras de "trend" norte-sul, a formação de talco-clorita xistos carbonatados, tremolita-clorita xistos, metacherts, quartzitos ferruginosos e metamármores em intercalações e, ainda, a intrusão do granitóide de São José do Alegre.

As escavações garimpeiras ocorrem em uma estrutura sinformal afetada por três fases de deformação (Lima, et ali, 1984). O controle estrutural da mineralização parece importante: as zonas mineralizadas têm aspecto estratiforme, alcançando 60 metros de largura e extensões de 400 a 500 metros, com desenvolvimento de fraturas paralelas ao plano axial do dobramento secundário regional, orientado na direção $N 165^{\circ} - 175^{\circ}$, com mergulhos de 20 a 30° W. A principal mineralização está desenvolvida em uma charneira de dobra, geralmente verticalizada e chamada de "canoão" pelos garimpeiros. Este estilo tectônico está acompanhado por importantes fraturamentos nos flancos das dobras ("esteiras"), que às vezes estão relacionados com a presença, concentrada, de esmeraldas de melhor qualidade: os "frisos". Geralmente, as esmeraldas estão confinadas ao talco xisto carbonatado, ocorrendo como cristais disseminados com pirita, concordante com a xistosidade, (D'el Rey e Giuliani, no prelo) ou mesmo discordante. Estes talco xistos estão mais frequentemente associados a uma zona biotítica central - flogopitito rico em fluor, desenvolvida ao longo dos planos das fraturas e enriquecida de cristais idiomorfos de pirita (~ 2 cm), mas com uma diminuição da quantidade de esmeralda. Finalmente, assinala-se, também, que pode ser encontrada esmeralda nos níveis ferrosos ou manganêsíferos intercalados nos talco xistos.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os depósitos de esmeralda do Brasil formam um tipo significativo de mineralização pré-cambriana. Eles estão sempre localizados em característico ambiente geológico arqueano e proterozóico, variando, composicionalmente de associações de gnaisses tonalíticos, migmatitos - diatexitos ou granito-gnaisses, séries vulcanossedimentares com intercalações de formações ferrosas, horizontes básicos - ultrabásicos, cherts, quartzitos, pertencentes, às vezes, a "greenstone belt" (caso de Santa Terezinha de Goiás) e ocorrendo como estruturas imbricadas (Socotó) ou afetados por complexos dobrados (Carnaíba) ou deformados com uma incerta posição no embasamento (Santa Terezinha e Itabira) ou, finalmente, relacionados a granitóides e seus equivalentes magmáticos a tardi - magmáticos.

Realmente, todos os depósitos estão localizados próximos a granitóides em relação estreita com estes, como Carnaíba e Socotó, ou indiretamente como Santa Terezinha e Itabira. Em todos os casos pode-se evidenciar a associação de esmeralda com "pegmatitos" intrusivos em rochas básicas e ultrabásicas. Em Santa Terezinha, a ausência de "pegmatitos" ao nível de observação, abriu um debate contraditório acerca do modelo estratiforme e singênico. Por outro lado, em Itabira, a origem do en

xame de diques de "pegmatitos" levantou o debate - origem magnética ou metamórfica? A mineralização de esmeralda está contida em flogopititos, resultados da transformação metassomática desenvolvida nos serpentinitos, talco xistos ou xistos tremolíticos, de uma sequência vulcanossedimentar, geralmente do fácies xisto verde. Este típico metassomatismo está relacionado a processos de infiltração (Rudowski, em preparação), caracterizado por evidências geológica, geoquímica, textural e mineralógica.

As rochas metassomáticas mostram um zoneamento regular, com cada zona formada de diferentes composições minerais e separadas por marcantes e claros limites. O exemplo exposto em escavações no setor - Bráulia (Carnaíba - Bahia) é, particularmente, ilustrativo (Foto 4).

Estes zoneamentos metassomáticos descritos, anteriormente, com detalhes, por Korzinskii (1965 e 1970), resultam do fluxo de soluções através das rochas e da percolação por um sistema de porosidade fina; fenômeno devido às reações na intimidade das rochas, acompanhadas de troca na composição da solução, resultando na produção da descrita coluna metassomática (Rudowski, op. cit.).

Às vezes os efeitos metassomáticos parecem mais complicados, no caso de intercalações tremolíticas em talco xistos ou nos serpentinitos, como citado. Em todos os depósitos, a coluna metassomática exibe uma zona central monomineralica, desenvolvida simetricamente ao lado de veio de infiltração ou fissura fechada - descrita como, em geral, um típico flogopitito rico em fluor.

As infiltrações metassomáticas são, evidentemente, controladas por fatores tectônicos e litológicos. Em Carnaíba, os veios de fraturas sub-verticais são bem desenvolvidos próximos ao corpo granítico e formam os canais de ascendência para os fluidos, enquanto os veios de contato foram gerados ao longo dos contatos litológicos entre quartzitos e ultrabásicas. Neste caso, considerando um moderado nível de erosão, diferente do atual e sem o posicionamento do corpo granítico na situação hodierna, o famoso debate de depósitos estratiformes poderá ser reaberto, à semelhança do modelo dos depósitos estratiformes de tungstênio. Escavações prospectivas realizadas em Carnaíba evidenciaram, claramente, que o aspecto estratiforme está relacionado ao controle litológico dos fluidos de percolação, dados que reforçam a importância dos processos de infiltração no distrito mineiro de Carnaíba.

Um controle tectônico pode ser admitido para Santa Terezinha de Goiás, onde a mineralização está bem desenvolvida no plano axial ou na charneiras das dobras e associada ao fraturamento contemporâneo. Igualmente em Itabira, Minas Gerais, onde o depósito está locado adjacente ao granitóide Borrachudo e ao longo de importante falha de baixo ângulo ("overthrust").

O controle litológico é exercido, em geral, por formações geológicas de diferentes competências, ou no caso de Santa Terezinha, onde os quartzitos são de menor importância - pela impermeabilidade dos talco xistos e sua facilidade de serem deformados, conduzindo a geração de rochas tipo esteatito ("pedra-sabão") em "leitos" na série vulcanos sedimentar.

As diferentes feições encontradas em Carnaíba, isto é, infiltração K - metassomática, pegmatóide rico em Na, concentrações de Mo e W, sílica próximo ao granito e um zoneamento vertical da mineralização, resultados da infiltração e interação de fluidos ácidos magnéticos em tipos básicos - ultrabásicos, são fenômenos envolvendo intercâmbios ácido - básica como "uma onda ácida diretamente conectada com a cristalização de um

magma" intrudindo ambientes básicos (rochas carbonáticas ou básicas) ou como diferenciação hidrotermal ácida - alcalina (Korzhinskii, op. cit.).

Assim, a medida que as soluções magmáticas penetram nos serpentinitos ou nas rochas originais, a basicidade da solução aumenta - vinculada a dissolução de bases, especialmente magnésio das rochas das paredes. Então, a composição total de todas as outras bases aumenta a atividade dos óxidos alcalinos, como potássio e sódio, e também a alcalinidade é formada em torno das rochas básicas devido a alta difusão de potássio, induzindo o K - metassomatismo; observando-se que o potássio é mais eletropositivo do que o sódio, isto é mais básico, provando a predominância do desenvolvimento de infiltração neste processo.

A "onda ácida" pode resultar na produção de uma grande base de lixiviação na parte baixa do fluxo, com a concentração e precipitação de componentes menos móveis como W e Mo, caso da Marota e Bráulia - Carnaíba, explicitando que uma rica "cúpula" molibdenita - sílica pode se desenvolver em torno do granito. Na parte superior do sistema hidrotermal-fluido de circulação, a precipitação de bases irá predominar, também, produzir um zoneamento vertical como o observado em Carnaíba - com maiores concentrações de esmeralda.

No garimpo de Carnaíba, o berilo verde e a molibdenita estão relacionados ao pegmatóide de albitico e não a um típico pegmatito - granito ("sensu stricto"). Na literatura, muito frequentemente, existe uma grande omissão sobre as feições texturais e composicionais, destas rochas - são chamadas, simplesmente de "pegmatitos" (De Almeida, 1973; Anderson, 1978). Contudo, Robb & Robb (1986) referindo-se ao pegmatóide associado à mina Gravelotte, no Transvaal, cita: "o pegmatóide albitítico pode, originalmente, ter sido um típico pegmatito granítico" relatando a possível origem do potássio, através dos processos de alteração das rochas adjacentes, pela ação do fluido pegmatítico. Por outro lado, Beus (op. cit.) definiu-os como "pegmatitos graníticos de linha cruzada", enquanto Korzhinskii (1970) refere-se a "pegmatito dessilicatado". Phillip & Hess (1936) descreveu-os como resultado de "difusão interagida de ultrabásitos com rochas à feldspato, na presença de soluções hidrotermais". Korzhinskii (op. cit), que estudou os pegmatitos de substituição, descreve rochas metassomáticas com lazurita e nefelina em lago Baikal, associadas por reações bi-metassomáticas do tipo pegmatito - dolomita, isto é os componentes mais móveis são introduzidos por infiltração na zona de contato pegmatito - rocha básica ou por difusão destes elementos. No último caso, as razões de diferentes difusões entre os conteúdos dos componentes irão desempenhar um importante papel: o K sendo mais móvel do que o Na percolam na coluna, mas também Si que é mais móvel do que alumina. O resultado é um aumento da razão alumina - sílica, no pegmatito.

Cada pegmatito dessilicatado parece mais extremamente relacionado ao equilíbrio com o complexo mineral - fluido do que com a reativa natureza das rochas básicas. Em todos os depósitos estudados, a passagem entre um pegmatito "completo" para um dessilicatado, na zona de contato das rochas graníticas e básicas, não é claramente observada. Mas, um ilustrativo e convincente fenômeno pode ser visto na mineração de esmeralda de Anagé, no Estado da Bahia. Nas ocorrências das fazendas Pombos e Açude (nº 6 - Fig. 1) estão presentes intercalações de biotita - tremolita - talco xistos em biotita-augengnaisses, ambos cortados por um enxame de diques de pegmatitos. Quando os diques cortam os gnaisses, nenhuma alteração é observada, mas no talco xisto, o pegmatito está

transformado em pegmatóides esbranquiçado de grã-fina. O fenômeno pode ser visto em escala centimétrica (Foto 5), onde lentes do pegmatóide estão envelopadas por uma zona metassomática flogopítica.

Na ocorrência de esmeralda de Tauá, Estado do Ceará (nº 2, Fig. 2), a colocação geológica é a mesma, mas os corpos de rochas básica - ultrabásica são mais finos. Neste caso, o enxame de pegmatitos exibe uma típica textura gráfica, com enriquecimento local em plagioclásio. A produção de esmeralda é pobre e de fraca qualidade.

Componentes, tais como B, F, Be e P são envolvidos nestes procesos metassomáticos e este enriquecimento está expresso pela cristalização da turmalina, flogopita rica em F, apatita, berilo e uma suite de minerais hidrotermais.

Os efeitos do B e do F, no granito e na sua fase de evolução fluida, durante seu estágio pós-magmático tem sido investigado por Pichavant & Manning (1984) e Manning & Pichavant (1987). Os sistemas F e B irão produzir um estágio magmático residual rico em albita (normativa), bem como uma depressão da temperatura do sólido e líquido; consequentemente a adição de B acarretará um aumento de H_2O na fusão, enquanto o efeito contrário é observado no sistema rico em F.

Relativamente aos elementos alcalinos, o sistema portador de B terá uma fase fluida aquosa sílico-alcalina (especialmente rica em Na) e pobre em alumínio; enquanto os sistemas portadores de F serão fortemente enriquecidos em alumínio (Pollard et al., 1987). No caso dos pegmatitos envolvendo formação de esmeralda, é claro que o fluor e o boro, mais berílio e fósforo estão associados. Dados experimentais nos sistemas separados implica que os fluidos pegmatíticos podem ter uma alta concentração de soluções silicáticas e uma alta densidade.

Uma outra hipótese poderá considerar os efeitos, no tempo, do F e do B: o boro se destaca mais facilmente na fase vapor e poderá ser extraído progressivamente do magma em cristalização; e o F na fase aquosa, relacionado, somente, a fase final ou estágio tardi-magmático. Cada hipótese implica em uma série de fenômenos repetitivos, induzindo do fraturação (quando $P_f > P_s$), circulação de fluidos e cicatrização. Até o momento, nenhuma zona de brechas foi encontrada no granito ou nos contatos com rochas ultrabásicas, em Carnaíba, mas as respectivas fraturas poderão explicar os importantes enxames de diques encontrados neste distrito.

Outro importante resultado de estudos experimentais do B e do F é que ambos induzem a uma reorganização da cristalografia química dos componentes da fusão, promovendo uma "depolimerização" e criação de espécies complexas na fusão (Manning, op. cit.). Os complexos F, B e Be - Cl e (Li?) irão facilitar o transporte de elementos litófilos como o Mo e W associados com a esmeralda, em Carnaíba - Socotó.

Atualmente, é admitido, como mostra o ilustrativo exemplo do depósito de scheelita de Sangdong, na Coreia e de King Island, na Tasmânia que os processos de infiltração metassomática podem penetrar rochas com espessura quilométricas. O aspecto estratiforme da mineralização de berilo de Santa Terezinha de Goiás e a ausência de conexão direta com granito, tem conduzido a uma imediata interpretação singenética para o berílio. Esta tendência interpretativa utilizada nas bandas calcossilicáticas com scheelita em escarnitos, envolve conceitos "stratabound", em outros distritos.

Schwarz (op. cit.), Ribeiro e Lacerda (1985) admitiram uma hipótese referindo-se a atuação de uma "fase pneumatolítica metassomática", considerando o "stratabound" como fonte do Be. Até o momento, nenhum argumento é válido inteiramente, desde que a

ausência de estudos geológicos, geoquímicos e mineralógicos, detalhados, dificultam a interpretação. Contudo as evidências já apresentadas favorecem a se admitir a atuação de importantes processos de infiltração metassomática em Santa Terezinha de Goiás. A formação de biotita, talco xisto e flogopitito não é um fenômeno simples - mas podem refletir uma importante anomalia geotermal, implicada na colocação de plútons granitoides, não presentes, necessariamente, nos mesmos níveis das litologias mineralizadas em esmeralda. (Fig. 2), como demonstrado em Djebel Aouam, distrito polimetálico de W - Pb - Zn - Ag do Marrocos Central (Cheilletz & Isnard, 1985).

No controle regional das mineralizações de Be, tomando-se referências na literatura, seria importante considerar que estes depósitos, geralmente, estão associados a mineralizações de Mo e/ou W e/ou Bi; ressaltando-se, ainda, que se Santa Terezinha de Goiás pertence mesmo a uma estrutura tipo "greenstone belt" existirá perspectivas para ocorrerem associações auríferas. Os processos de infiltrações metassomáticas implicam em transporte e precipitação de diferentes metais durante as múltiplas e respectivas circulações de fluidos hidrotermais.

A questão relativa a origem dos pegmatitos associados aos depósitos de esmeralda, foi completamente discutida nos casos de Socotô, Carnaíba: uma procedência ígnea parece evidente. Em relação a Itabira, a situação é mais ambígua, pois os pegmatitos podem estar relacionados ao evento tecto-termal brasileiro (500 Ma) e descritos por Schorsch et al (op. cit.). Estes pegmatitos intrudem o complexo basal e as rochas das séries Rio das Velhas e Minas, sem sinais de metamorfismo regional ou de atuações tectônicas. Sua composição é relativamente comum para pegmatitos, com quartzo e feldspato, mas a presença de berilos azulados e/ou água-marinha nas redondezas do distrito esmeraldífero de Itabira, induz a relacioná-los à famosa e importante província pegmática, produtora de água-marinha, de Minas Gerais. As ocorrências de esmeralda de Tauá e Coque, no Ceará (Fig. 1) possuem o mesmo tipo de pegmatito com berilo esverdeado, granada, turmalina, columbo-tantalita e água-marinha. A mineralização de esmeralda de Coque pertence à província de Solonopole - Quixeramobim, também famosa por sua produção de água-marinha (Castelo Branco & Menezes, 1987).

Em conclusão, duas espécies de pegmatitos estão relacionados aos depósitos e ocorrências de esmeralda do Brasil: - pegmatitos caracterizados como de origem ígnea, diretamente relacionados a granitoides intrusivos, como Carnaíba e Socotô, ou, indiretamente como Santa Terezinha de Goiás (Fig. 2); - pegmatitos de origem incerta, mas provavelmente relacionados a enorme emissão de pegmatitos durante a orogênese brasileira, evento causador das províncias pegmatíticas de água-marinha (berilo) - turmalina - Nb e Ta, de Minas Gerais, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Ceará.

Em todos os casos, a formação de esmeralda necessita de circulação de fluidos pegmatíticos ácidos portadores de Be, enriquecidos, também, em F, B, Cl e CO₂ em canais desenvolvidos em rochas ultrabásicas ricas em Fe, V e Cr. Entretanto, a importância da mineralização de esmeralda irá depender de muitos fatores: interação de fluido-rocha, espessura dos corpos ultrabásicos, tempo de circulação do sistema hidrotermal e evolução termodinâmica das fases fluidas associadas ("boiling", processos de diluição, queda na pressão) que podem alterar a estabilidade dos complexos Be - metal, provocando a precipitação da mineralização.

O principal processo envolvendo a construção da coluna metassomática observada é a infiltração de um fluido ao longo de fraturas abertas. O resultado da assembléia li

tológica pode ser descrita como "uma infiltração de processo metassomático escarnítico-básico". Durante este metassomatismo uma zona de alcalinidade é formada em torno dos ultrabásitos, provocando um aumento de atividade de K e Na, e a difusão de todos os componentes alcalinos adjacentes às rochas. Então, um halo alcalino (K, Na) irá se formar nas rochas ultrabásicas. Esta dispersão geoquímica será de interesse primordial na procura de novas ocorrências de esmeralda, como também para perseguição de mineralizações de tungstênio e, principalmente, molibdênio; especialmente nas regiões adjacentes a serra de Jacobina, onde os berilos verdes (incluindo as esmeraldas) são tão estreitamente relacionados aos granitos intrusivos.

BIBLIOGRAFIA

- AFINAL - 1985 - "O Reino do Contrabando". p 5 - 15, 10/09/85. São Paulo - SP, Brasil. Rev. il.
- ANDERSON, S.M. - 1978 - Notas on the occurrence and mineralogy of emeralds in Rhodésia. Jour. Gemmology., XVI, (3), 177 - 185.
- CASTELO BRANCO, R.M.G. e MENEZES, J.S.D. - 1987 - Gems occurrences in the State of Ceará, Northeast Brazil. XXI Int. Gemmol. Conf. Rio de Janeiro, 8p.
- CHEILLETZ, A. e ISNARD, P. - 1985 - Contribution à la prospection des gisements hydrothermaux de tungstène sur l'exemple du district polymétallique W-pb-Zn-Ag du Jbel Aouam (Maroc Central). Miner. Deposita, 20, p 220 - 230.
- CHEMALE, F. Jr. - 1987 - Gênese das rochas graníticas do tipo Borrachudo. 1^o Congr. Bras. Geoquímica. Porto Alegre. V I, p 171 - 186.
- COSTA, S.A. de G. - 1986 - Correlação da sequência encaixante das esmeraldas de Santa Terezinha de Goiás com os terrenos do tipo "greenstone belt" de Crixás e tipologia dos depósitos. Anais XXXIV Congr. Bras. Geol., v.2, p 597-614. Goiânia.
- COUTO, P. et alii - 1985 - Relatório Anual do Projeto Ouro - Gemas. DNPM 7^o Distrito. Convênio DNPM/CPRM. 85p. Inédito, M.M.E. Brasil.
- DE ALMEIDA, B.J.C. - 1973 - Perfil analítico da esmeralda. Boletim n^o 12, 1-29. DNPM/SME. Rio de Janeiro.
- D'EL - REY SILVA, L.J.M. e GIULIANI, G. - 1988 - Controle estrutural da jazida de esmeraldas de Santa Terezinha de Goiás: implicações na gênese, na tectônica regional e no planejamento de lavra. XXXV Congr. Bras. Geol. Belém, novembro 1988. Inédito.
- HANNI, H.A., SCHWARTZ, D. e FISCHER, M. - 1987 - The emeralds of the Belmont mine, Itabira - Minas Gerais - Brazil. (em prelo).
- ISTO É - 1987 - "Caça às Esmeraldas". p 22 - 28, 21/10/1987. São Paulo - SP, Brasil. Rev. il.
- KORZHINSKII, D.S. - 1965 - The theory of systems with perfectly mobile components and processes of mineral formation. Am. Jour. Sci., v.263, p 193 - 205.
- KORZHINSKII, D.S. - 1970 - Theory of metasomatic zoning. Clarendon press Oxford, 162p.
- LIMA, J.E.A., TEIXEIRA, de D., W. e PRIORI, S.V. - 1984 - Gemas no estado do Goiás :

- ocorrências e estudos gemológicos, Anais XXXIII Congr. Bras. Geol., p 5027 - 5039, Rio de Janeiro. Sociedade Brasileira de Geologia.
- MANNING, D.A.C. e PICHAVANT, M. - 1987 - Volatiles and their bearing on the behaviour of metals in granitic systems. C.I.M. Spec. v.39.
- MOREIRA, M.D. e SANTANA, A.J. - 1982 - O garimpo de Carnaíba. Geologia e perspectivas. Anais do XXXII Congr. Bras. Geol., Salvador da Bahia, v.3, p 862 - 874.
- O GLOBO - 1985 - "Contrabando Incontrolável Bate Venda Legal de Pedras Baianas" p.10 - 2º clichê, 15/09/85. Rio de Janeiro - RJ, Brasil. Jornal il.
- PHILLIP, A.H. e HESS, H.H. - 1936 - Metamorphic differentiation at contacts between serpentinite and siliceous country rocks. Am. Mineral., v.21, nº 6, 333 - 362.
- PICHAVANT, M. e MANNING, D.A.C. - 1984 - Petrogenesis of tourmaline granites and to paz granites: the contribution of experimental data. Phys. Earth. Plan. Int. 35: 31 - 50.
- POLLARD, P.J., PICHAVANT, M. e CHAROY, B. - 1987 - Contrasting evolution of fluorine -and boron-rich tin systems. Mineral. Deposita, 22, 315 - 321.
- RIBEIRO, W.F. e DE LACERDA, J.V.F. - 1985 - Geologia da região de Santa Terezinha (Go). 2º Simp. Geol. Centro Oeste. Geologia do Pré-Cambriano. Goiânia. p 174 - 184. Sociedade Brasileira de Geologia - Núcleo Oeste.
- ROBB, L.J. e ROBB, V.M. - 1986 - Archean pegmatite deposits in the North. Eastern Trensvaal. Mineral. Deposits of Southern Africa, 437-449.
- RUDOWSKI, L., GIULIANI, G. e SABATÉ, P. - 1987a - The proterozoic granite massifs of Campo Formoso and Carnaíba (Bahia, Brazil) and their Be, Mo, W mineralizations. Int. Symp. Granites and associated Mineralizations. Salvador da Bahia, Extended Abstract, p 253 - 257.
- RUDOWSKI, L., GIULIANI, G. e SABATÉ, P. - 1987b - Les phlogopitites à émeraude au voisinage des granites de Campo Formoso et Carnaíba (Bahia, Brésil): un exemple de minéralisation protérozoïque à Be, Mo, et W dans des ultrabasites métasomatisées. C.R. Acad. Sci. Paris., t.301, Série 11, nº 18, p 1129 - 1134.
- RUDOWSKI, L. - 1988 - Etude des massifs granitiques de Campo Formoso et Carnaíba (Bahia, Brésil) et des minéralisations à Be (émeraude), Mo et W associées. Thèse Université Paris VI. Inédito.
- SCHORSCHER, H.D. e LETERRIER, J. - 1980 - Metasomatic formation of granitic rocks: Petrology and chemistry. - 26 TH Inter. Geol. Cong. Abstract, 1, p87. Paris.
- SCHORSCHER, H.D., SANTANA, F.C., POLONIA, J.C. e MOREIRA, J.M.P. - 1982 - Quadrilátero ferrífero. Minas Gerais State: Rio das Velhas greenstone belt and Proterozoic rocks. Int. Symp. Archean and Early Proterozoic geologic evolution and metallogenesis. Excursion Guides. p 1 - 43. Salvador da Bahia.
- SCHWARZ, D. - 1986 - Classificação genética das ocorrências de esmeralda. Anais do XXXIV Congr. Bras. Geol., Goiânia, v.4, p 1854 - 1862. Sociedade Brasileira de Geologia.

LEGENDAS DAS FIGURAS

Figura 1 - Principais ocorrências e jazidas de esmeralda do Brasil. A: Jazidas; B: ocorrências. Estado do Ceará: 1 - Coquê; 2 - Tauá. Estado da Bahia: 3 - Salininha; 4 - Socotó; 5 - Carnaíba; 6 - Anagé; 7 - Brumado. Estado de Minas Gerais: 8 - Itabira; 9 - Santana dos Ferros. Estado de Goiás: 10 - Itaberaí; 11 - Pirenópolis; 12 - Santa Terezinha de Goiás; 13 - Marã Rosa; 14 - Porangatu; 15 - Pela Ema.

Figura 2 Diagrama esquemático ilustrando os possíveis relacionamentos entre as intrusões granitóides e as séries vulcanossedimentares associadas, de algumas jazidas de esmeralda do Brasil. I: Jazida de esmeralda do tipo estratiforme encaixada em sericita-talco xistos (3), carbonato talco-xistos (2) e cherts (4) (Caso de Santa Terezinha de Goiás, Estado de Goiás). A - : possível situação hodierna mostrando a ausência de pegmatitos (9), e o aspecto estratiforme da mineralização. A formação dos biotita talco xistos e flogopititos não é um fenômeno simples, mas podem refletir uma importante anomalia geotermal, implicada na colocação de plutons granitóides (6). II: Jazida de esmeralda localizada em serpentinitos (5), ocorrendo como estruturas imbricadas (10) em contato com rochas gnáissicas (1) de um embasamento arqueano (caso de Socotó, Estado da Bahia). B - : nível de erosão atual: as mineralizações são associados veios pegmatóides dessilicatados (9), mas o granitóide referente está ausente (7): Distrito esmeraldífero desenvolvido em uma série vulcanossedimentar e composta de intercalações quartzíticas (4) - rochas básicas - ultrabásicas (5) (caso de Carnaíba, Estado da Bahia). C - : atual nível de observação mostrando a relação leucogranito (7), veios pegmatíticos com o seu metassomatismo hidrotermal (9) e a presença de uma "cúpula" mineralizada em molibdenita em torno do granito (8). Dois tipos de estruturas mineralizadas são evidenciadas: as mineralizações estratiformes associadas a veios de contato (esteiras) e as mineralizações de fraturas ("frinchas"), secantes relacionadas a veios.

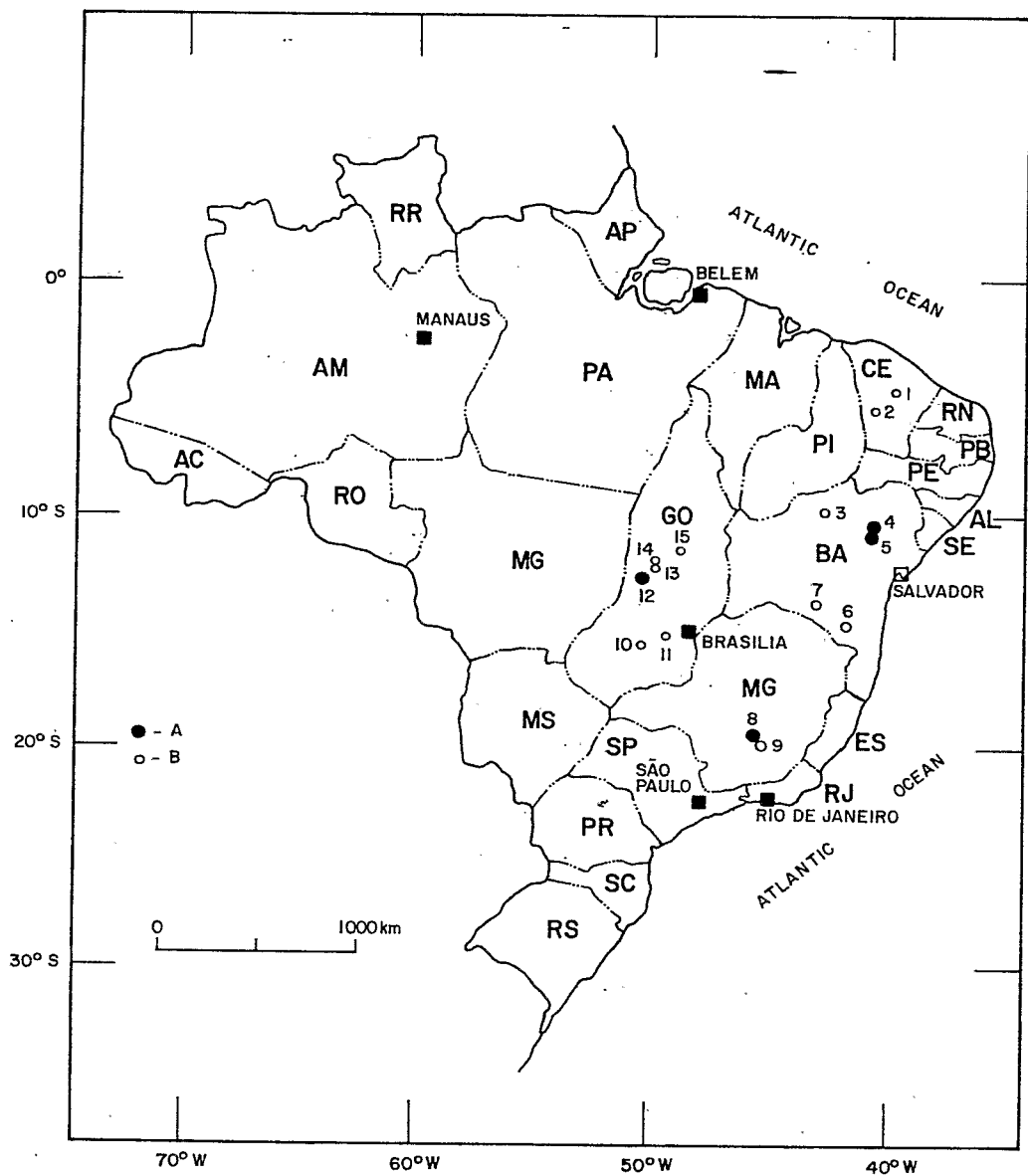


Figura 1

Neiva - 02/88

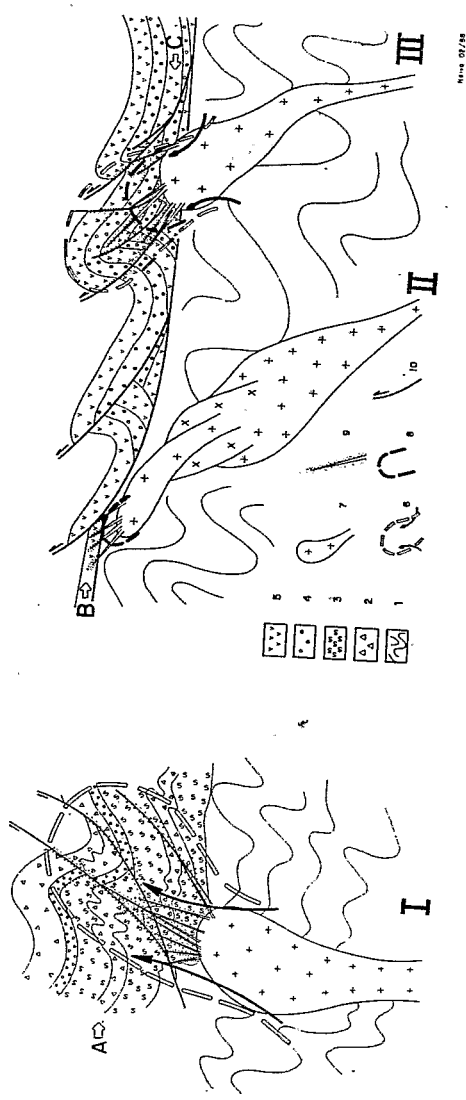


Figura 2

LEGENDAS DAS FOTOS

Foto 1 Vista parcial do garimpo de Socotó (Estado da Bahia), setor da Mamona, mostrando as rochas serpentiniticas (Sp), ocorrendo como estruturas imbricadas em contato com rochas do embasamento (Em). No fundo, a série vulcanossedimentar (vs) da Serra da Jacobina com as suas cristas de quartzitos.

Foto 2 Mineralização dásseminada de esmeralda (ES) encontrada em um veio de quartzo (Qz), do tipo "esteira", localizado no contato do quartzito com serpentinito, setor da Bica, Carnaíba de Cima (Estado da Bahia).

Foto 3 Aspecto de um veio pegmatóide (Fd), tipo "frincha" mineralizado em molibdenita (Mo), berilo verde (Be) do setor Marota, Carnaíba de Baixo (Estado da Bahia).

Foto 4 Zoneamento metassomático típico desenvolvido a partir da intrusão de um veio pegmatóide (A); o zoneamento é o seguinte: zona de flogopitito grosseiro (B); zona de flogopitito fino (C); zona composta de talco-flogopitito (D); serpentinito (E). Setor Bráulia, Carnaíba de Baixo (Estado da Bahia).

Foto 5 Lente de um pegmatito dessilicatado de composição fedspática (Fd), desenvolvido numa intercalação de rocha básica, biotitizada (Bi), situada em um gnaiss com biotita (Gr). Nota-se que o pegmatito (Pg) cortando o gnaiss não está substituído por o feldspato. Garimpo de Fazenda Açude (Anagé, Estado da Bahia).

