

## CONSIDERAÇÕES SOBRE A ORIGEM DO CARBONADO NO BRASIL

NICOLAU LADISLAU ERVIN HARALYI<sup>1</sup> & RAINER ALOYS SCHULTZ-GUTTNER<sup>2</sup>

**RESUMO** Carbonado é diamante natural policristalino e as suas ocorrências não são somente na República Africana Central ou na Chapada Diamantina da Bahia. Uma pesquisa na literatura mostra descrições de Carbonado na Venezuela, Rússia, China e Borneo, sempre junto com diamante macrocristalino. As suas características espectroscópicas mostram estados de agregação de nitrogênio comparável com diamantes formados no manto e a quantidade de espécies minerais inclusas nos poros mostra uma história geológica prolongada do Carbonado começando com a sua formação na zona da geração de magmas kimberlíticos, passando no soergimento rápido do magma, sofrendo eventos metamórficos e hidrotermais na rocha kimberlítica e afins, incorporando ainda mais inclusões durante o transporte e a deposição em depósitos secundários.

*Palavras-chave:* diamante, carbonado, distribuição, espectros de infravermelho, origem

**ABSTRACT** *CONSIDERATIONS ABOUT THE ORIGIN OF CARBONADO IN BRAZIL* Carbon, or Carbonado, as called in the Brazilian language, is polycrystalline natural diamond and its occurrence is not restricted only to the Central African Republic in Africa or to Bahia in Brazil, although these localities are, from an economic point of view, the most important. A literature research has shown Carbonado to occur also in Venezuela, Russia, China and Borneo, and it is always found together with macroscopic diamonds. Its spectroscopic characteristics show nitrogen aggregation comparable with diamonds formed in the mantle and the wide range of mineral inclusions, often called exotic, show a prolonged geological history of Carbonado beginning with its formation in the zone of kimberlitic magma generation, passing through rapid uplift to upper crustal levels, suffering autometamorphic and hydrothermal events in the kimberlite and taking up minerals in his pores by the prolonged transport and the subsequent deposition in secondary deposits.

*Keywords:* diamond, carbonado, distribution, infrared spectra, origin

**INTRODUÇÃO** Carbonados, agregados policristalinos de diamante em geral de contornos irregulares (Fig. 1), se apresentam com cristaltos de dimensões micrométricas, e incorporam poros ou vazios além de minerais exóticos (Trueb & De Wys 1969, 1971). Sua superfície, via de regra, é fosca ou brilhante, com coloração negra, cinzenta, marrom e mesmo com

cores claras como pardo amarelado. Quando fragmentado, no entanto, o carbonado exibe superfícies internas com coloração cinza clara, com brilho adamantino característico do diamante macrocristalino como pode ser observado na figura 2.

Além do contraste de cor entre as partes exteriores e interi-

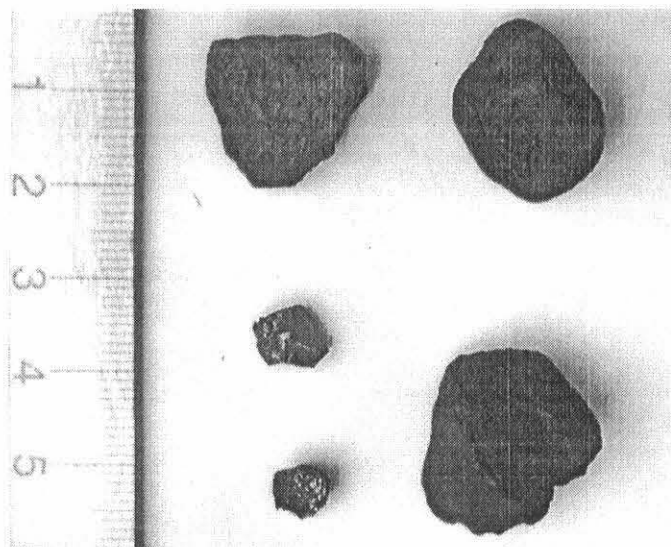


Figura 1 - Aspecto típico dos carbonados de Andaraí, Bahia.

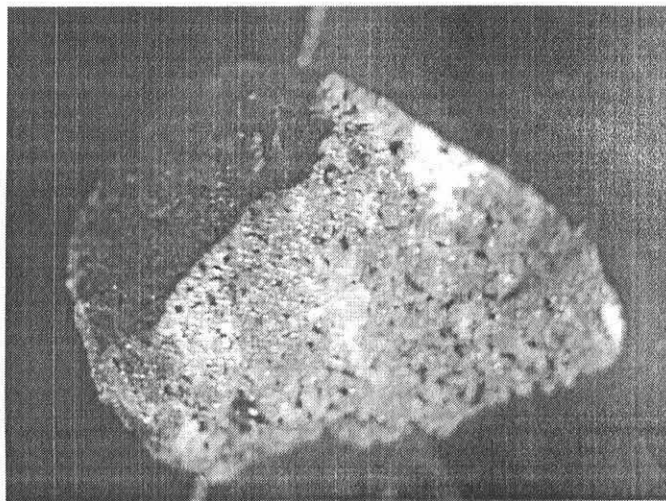


Figura 2 - Aspecto da superfície externa de carbonado de Andaraí, Ba, e da superfície recém quebrada. Tanto a superfície externa como os contornos dos poros possuem tonalidade de marrom escuro.

<sup>1</sup> IGCE-UNESP- Universidade Estadual Paulista, Rua 25-A, 1515, Bela Vista, Rio Claro, SP CEP 13506-900, e-mail: haralyi@uol.com.br ou nicolau@haralyi.com

<sup>2</sup> Instituto de Geociências Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 562 – Cidade Universitária São Paulo, SP CEP 05508-900, e-mail: rainersg@usp.br

ores percebe-se que os poros, mesmo na superfície recém fraturada, se apresentam com tonalidades marrons a cinza clara, indicando assim um possível relacionamento entre uma parte deles e o meio ambiente atuante também na superfície e modificando o aspecto geral do carbonado. Considerando a natureza do material, diamante de granulação fina, esta mudança na coloração pode tanto representar uma deposição de material nas paredes dos poros e na superfície externa quanto pode, possivelmente, corresponder a estágios intermediários na transformação dos microcristalitos incolores de diamante do carbonado para grafite ou carbono amorfo, de cor preta. Em apoio a esta hipótese, análises EDS basicamente identificaram o elemento carbono como predominante, ao lado de algumas inclusões de minerais exóticos preenchendo as cavidades. Se tanto os poros quanto a superfície do agregado foram afetadas e modificadas durante a história geológica da amostra é necessário admitir uma conectividade, no mínimo parcial, entre os poros e o meio ambiente. Esta descrição dos carbonados é semelhante daquela mencionada em muitos trabalhos, dos quais merecem destaque os de Kleteschka *et al.* (2000), Shelkov *et al.* (1997), Subarnarekha *et al.* (1998) e Titkov *et al.* (2001).

#### OCORRÊNCIA DE CARBONADO NO BRASIL E NO MUNDO

A ocorrência mais conhecida de carbonado no Brasil é na Bahia (Lençóis e Andaraí), e sua descoberta data do século XIX. No entanto em diversas outras localidades são descritas suas ocorrências, como em Roraima (Souza 1993), Gilbués no Piauí (Oliveira, 1984), Poxoréo em Mato Grosso (Ozima *et al.* 1991, Zollinger 2000), em Abaeté no Triângulo Mineiro e em Bocaiúva, próximo a Diamantina, MG (Haralyi 1991, Chaves 1997) além de carbonados de Juína em Mato Grosso, bem como os Frutal (MG) e de Patrocínio Paulista (próximo a Franca, SP). Outras referências citam genericamente achados de carbonado no Paraná (Kaminsky 1991).

Cabe lembrar que as ocorrências do Espinhaço, na Bahia e aqueles de Diamantina ao mesmo tempo que as de Roraima são encontrados em litologias do Proterozóico Inferior e as demais em rochas e sedimentos mesozóicos.

Segundo Kaminsky (1991) e outros (Trueb & De Wys 1969, Kerr *et al.* 1948, Kagi *et al.* 1994) carbonados ocorrem também na África, na República Centro Africana (Ubangui), no Zaire, no Leste Australiano e na região da Grande Savana Venezuelana. Há ainda registro de carbonados na Guiana Inglesa e na Ucrânia, enquanto Gorskov (1997) os descreve no norte da China, Titkov (2001) na Yakutia, Rússia, e Bauer (1968) em Borneo.

Essas diversas localidades mostram, com toda clareza, que apesar da rara ocorrência do carbonado no mundo comparado com o seu similar, o diamante macrocristalino, ele não somente é encontrado na Bahia e no Ubangui mas em outros lugares distantes do globo. Além do mais, devido ao seu aspecto terroso e pouco vistoso, é possível que em outros lugares sua presença não foi notada. Bauer já em 1896 descreve (Bauer 1968) que em Borneo, pouco depois de após sua descoberta, o depósito foi abandonado por ser um depósito pobre em diamantes gemológicos.

A síntese de diamantes de granulação fina em larga escala industrial desde os anos sessenta/setenta afetou também negativamente o interesse na exploração do carbonado e na sua procura.

#### DESCRIÇÃO DOS CARBONADOS Morfologia

Macroscopicamente os agregados de carbonado mostram se geralmente com contornos irregulares, aparecendo assim como fragmentos de agregados maiores. Raramente percebe-se uma forma mais regular indicando às vezes partes de octaedros ou de cubos. Bauer (1968) mostra um carbonado em um desenho numa forma perfeita de um cubo. Microscopicamente, o carbonado mostra-se heterogêneo, com cristais de dimensões de até 100-250 microns em uma matriz de dimensões menores. A forma dos cristalitos varia, mas predominam hábitos octaédricos às vezes levemente distorcidos. As figuras 3 e 4 mostram imagens feitas com um microscópio de varredura Leon 1450 (em demonstração no Instituto de Geociências da USP) na qual se destacam os contornos retangulares dos

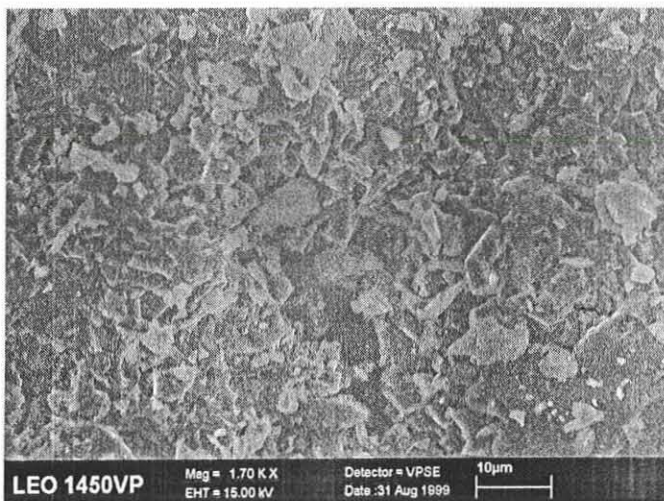


Figura 3 - Forma dos microcristais de diamante no carbonado. Fotomicrografia com Microscópio de Varredura Leon 1450 de baixo vácuo.

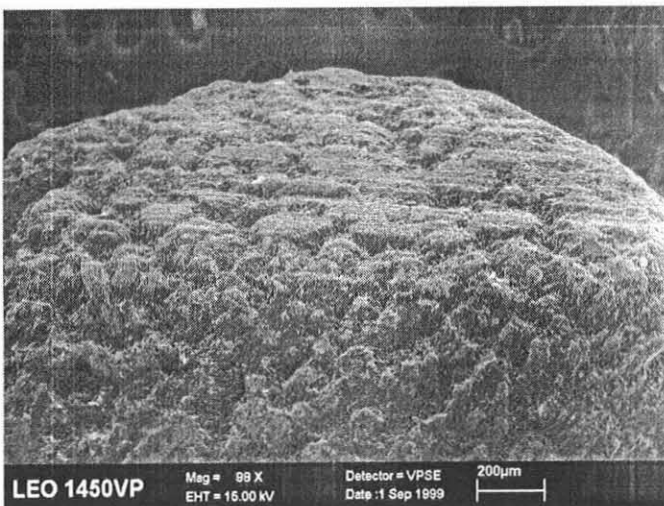


Figura 4 - Crescimento epitaxial de carbonado sobre um núcleo de diamante. Microscópio de Varredura Leon 1450 de baixo vácuo.

crystalitos de diamante. Estas fotos são obtidas por imagem de elétrons secundários sem metalização prévia da amostra para evitar qualquer interferência da película metálica na nitidez das feições.

**Espectro Infravermelho** O espectro de absorção no infravermelho (IR) de carbonados da Bahia (Andaraí) foi obtido com o método DRIFT, *Difuse Reflectance Infrared Fourier Transform*, já que a superfície das amostras não era plana e, assim, era impossível de obter espectros via os méto-

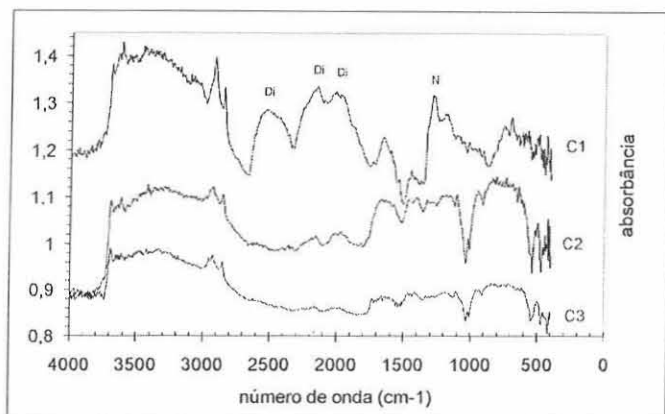


Figura 5 - Espectros de absorbância no Infravermelho de carbonados de Andaraí, Bahia.

dos normais de transmissão. Ademais, foi tomado o cuidado prévio de lavagem da amostra com HCl a fim de eliminar eventuais contaminações superficiais. A figura 5 mostra três espectros característicos de Infravermelho.

Os espectros podem ser divididos, no caso do diamante, em três intervalos de comprimentos de onda ou número de onda ( $\text{cm}^{-1}$ ) distintos. O primeiro, chamado de "zero phonon" abrange o intervalo de zero até  $1500 \text{ cm}^{-1}$  e inclui a área da atividade de absorção do Nitrogênio e de seus complexos contidos no diamante. O segundo, chamado "um phonon" inclui a representação das densidades do estado da estrutura do diamante e vai até  $2700 \text{ cm}^{-1}$ . No intervalo acima de  $2700 \text{ cm}^{-1}$ , observa-se a atividade de absorção de IR a em função da presença de impurezas do tipo hidrogênio, de hidrocarbonetos e, provavelmente, de defeitos estruturais no diamante tais como deformações plásticas. Analisando os espectros mostrados nota-se no primeiro (C1) as três bandas largas de absorção na região de "um phonon", aos  $2000$ ,  $2150$  e  $2550 \text{ cm}^{-1}$ , características da estrutura do diamante. As impurezas de nitrogênio (N), na região de "zero phonon", mostram características do tipo IaA, com incipiente estado de agregação para IaB.

A região de três phonon é caracterizada por ampla banda de absorbância, elevada em relação aos diamantes monocristalinos, indica elevada deformação plástica, como sugerido por diversos autores (Bhatia *et al.* 1998). Na região das impurezas, encontra-se uma larga banda de absorção entre  $550$  e  $970 \text{ cm}^{-1}$  e ainda uma banda larga de absorção entre  $1080$  e  $1760 \text{ cm}^{-1}$ . Comparando estes espectros com espectros de diamantes irradiados, com abundantes defeitos estruturais produzidos pelo bombardeamento (Bhatia *et al.* 1998), estas parecem ser rela-

cionadas aos estágios de transformação contínua do diamante para a grafita ou mesmo para carbono amorfo. Por vezes, em espectros de carbonado com superfície mais escura, preta (C3), as bandas de absorção do diamante praticamente não são mais reconhecíveis, predominando as da deformação plástica/ transformação do diamante para grafita.

Na região entre  $2800$  e  $2950 \text{ cm}^{-1}$  aparecem sistematicamente picos de absorção que tem sido relacionados na literatura com hidrocarbonetos complexos. Kaminky (1991) analisando, entre outros, os compostos policíclicos aromáticos em diamantes encontrou nos carbonados teores destes numa ordem de grandeza mais elevada que nos diamantes da mina de Mir. A intensidade de absorção dos complexos C-N-H nos diamantes brasileiros, quando existe, é muito baixa (Filemon, 2001) mas em algumas amostras de cristais de diamante de regiões onde também ocorrem carbonados como em Tibají (PR), e Juína

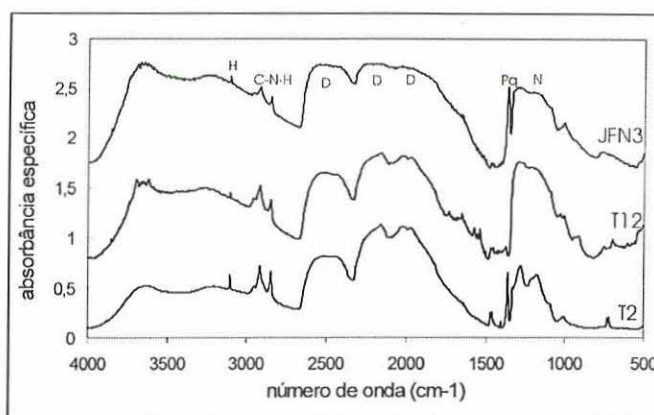


Figura 6 - Espectro de absorbância no Infravermelho de diamante de Juína, MT (JNF3) e de Tibají, PR (T2 e T12). Em ambos os espectros se pode notar os destacados picos de absorção na faixa de  $2800$ - $2950 \text{ cm}^{-1}$  correspondentes aos hidrocarbonetos e compostos C-N-H. Na região entre  $2700$  e  $3800$  encontramos nas três amostras progressivamente maior deformação plástica. Os picos de absorção devidos a estrutura do diamante são anotados com a letra **D**, o pico do hidrogênio pela letra **H** e o pico da plaqueta por **Pq**.

(MT) também foram encontradas características similares (figura 6). Essa similaridade opina por origens comuns para os diamantes e carbonados, porém em estágios de formação distintos.

**Inclusões** Muitos trabalhos tem sido publicados sobre as inclusões de minerais estranhos ou até exóticos nos carbonados (Trueb & De Wys 1969, 1971, Seliverstov *et al.* 1996, Subarnarekha *et al.* 1998, Gorshkov *et al.* 1995, 1996a e b, 1997 e outros).

Resultados iniciais neste trabalho mostram que não são inclusões, "sensu strictu", pois não estão incorporadas nos microdiamantes mas sim são localizadas nos interstícios e poros, encaixadas entre os cristalitos de diamante. Na imagem de elétrons secundários (VPSE), figura 7a (a esquerda e que mais se aproxima de uma imagem ótica) pode-se notar o vazio entre

os cristaltos de diamante contendo material mineral estranho incluso, melhor visualizado na imagem da direita, obtida com elétrons retro-espalhados (Fig. 7b). Nestas imagens notam-se manchas irregulares e glóbulos de tamanho variado, em escala micrométrica, com aspecto de material fundido aderente nas paredes das cavidades e nas superfícies lisas.

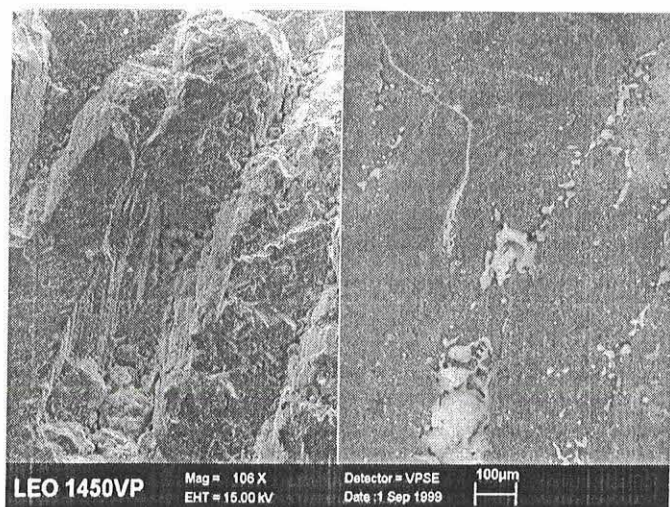


Figura 7 – Imagens microtexturais de carbonados por elétrons secundários (VPSE) a esquerda e elétrons retro-espalhados (QBSD) a direita.

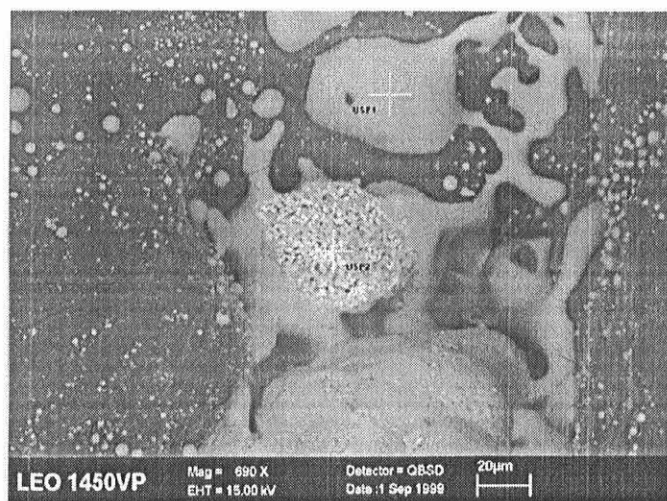


Figura 8 - Detalhe da imagem QBSD da figura 7b com a localização dos pontos analisados.

Análise química pontual (USP1) efetuada em uma inclusão da figura 7b (em detalhe na Fig. 8), pelo método de EDS acoplado ao microscópio de varredura, indica material sílico-aluminoso contendo adicionalmente potássio e ferro como mostrado na figura 9.

Nesta mesma imagem, figura 8, outras inclusões de aspecto mais claro (USP2) indicam a presença de ferro e titânio na

matriz sílico-aluminosa opinando por provável presença de ilmenita, que é descrita na literatura como inclusão comum em carbonados. Os glóbulos sílico-aluminosos mostram uma gradação no seu tamanho e estão distribuídos em toda parte da amostra. Este tipo de glóbulos em carbonados ainda não foi descrito na literatura sobre o tema, mas vale a pena frisar que o mesmo tipo de glóbulos, semelhante aos ora analisadas, foi reconhecido por Haralyi (1999, 2000) como inclusões nos planos de crescimento e de deformação plástica de diamantes leitosos e opalescentes encontrados em Juína, MT (Fig. 10) bem como em outros depósitos sugerindo o mesmo tipo de gênese tanto para o carbonado quanto para o diamante.

Outro mineral frequentemente encontrado como inclusão em carbonados é a calcita, a qual, em nossos estudos, se mostrou presente como um cristal bem desenvolvido dentro de uma cavidade (Fig. 11), comprovada por análise EDS (Fig. 12).

Durante este trabalho preliminar não foram encontrados outros minerais exóticos (Trueb & De Wys 1969, 1971, Titkov *et al.* 2001) tais como florencita e/ou goyazita, zircão, allanita, perovskita, anhidrita, cromoespinélio, esfalerita, rutilo, goetita, hematita e outros nos carbonados estudados, porém uma investigação mais detalhada está planejada para comprovar a presença ou ausência destas em outras amostras brasileiras.

A provável presença de conectividade entre os poros e o meio ambiente indicada pela coloração idêntica da superfície externa e dos contornos de poros maiores (Fig. 3) abre muitas possibilidades de contaminação com minerais secundários incluídos nas cavidades desde a formação e transporte e durante o tempo de residência dos carbonados nos sedimentos dos depósitos aluvionares antigos, os quais poderiam ter sofrido diagênese ou metamorfismo de baixo grau, bem como nos depósitos recentes com circulação de águas superficiais. Análise deste problema e a avaliação do conteúdo de poros fechados e de abertos estão sendo planejadas.

**DISCUSSÃO** Várias teorias tem sido propostas para a origem dos carbonados as quais podem ser classificadas em quatro principais grupos segundo a origem proposta em vista da interpretação de suas características:

- a - impactitos
- b - origem extraterrestre/meteoritos
- c - origem crustal/subducção
- d - origem mantélica

A hipótese de que os carbonados sejam formados por meio de impacto de meteoros (Smith & Dawson 1985) não condiz com as condições necessárias de manutenção de elevada temperatura e pressão por tempo suficientemente prolongado a fim de permitir o crescimento de carbonados de grande tamanho. Nas crateras de meteoros apenas tem sido encontrados microdiamantes com granulação nanométrica e geralmente intercrecidas com o polimorfo lonsdalita, de estrutura hexagonal.

Quanto à origem extraterrestre, alguns meteoritos têm, de fato, microdiamantes. Haggerty (1999) propôs este modelo para os carbonados da Bahia e de Ubanguí, baseado numa distribuição geográfica restrita, alta porosidade do material que seria indicativa de hélio, além de seu aspecto externo sugerindo fusão superficial, e idades entre 2,6 e 3,8 Ga. Tal modelo não condiz com a idade Proterozóica Inferior para os carbonados do Espinhaço, e ainda pelo fato de que carbonados tem sido também encontrados em várias regiões diamantíferas de idades comprovadas mesozóicas. Ademais como foi mostrado neste

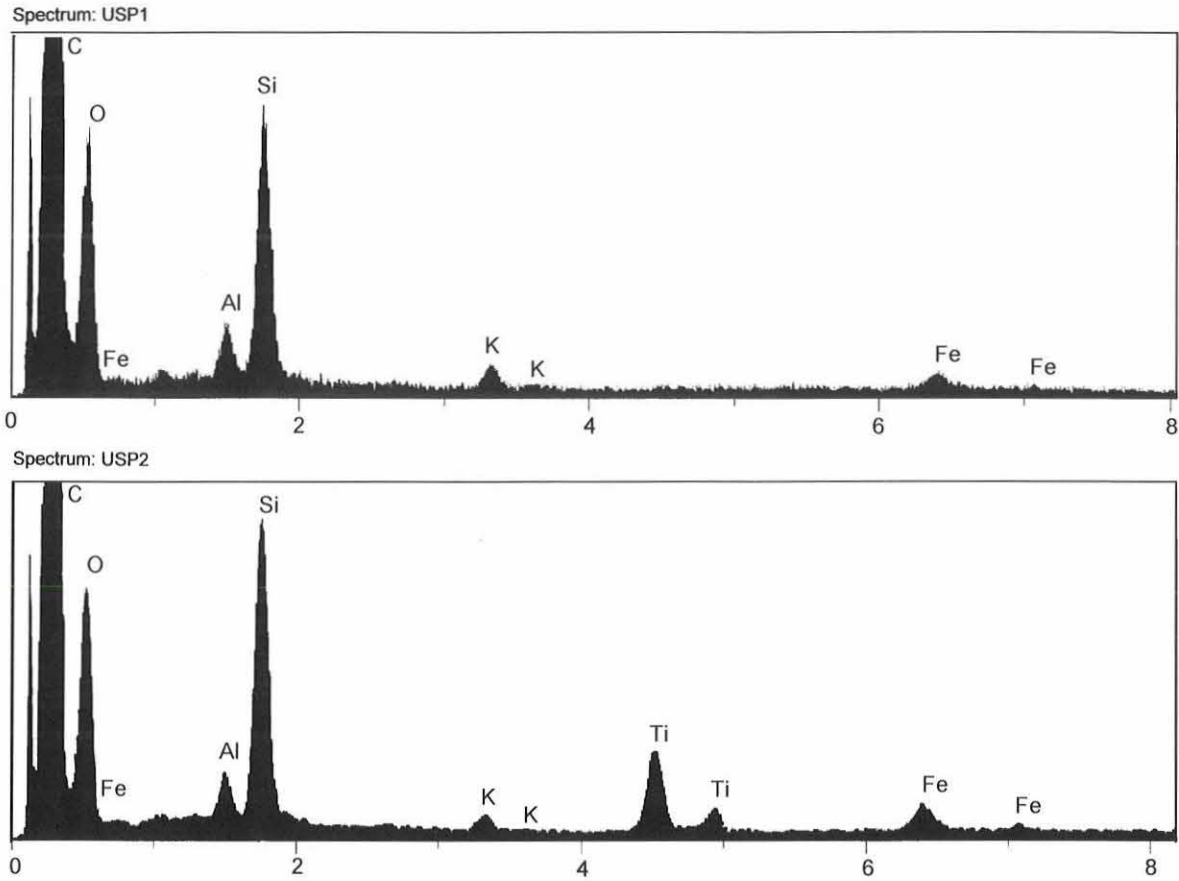


Figura 9 - Resultados de análises pontuais em materiais inclusos em poros de carbonado de Andaraí, Bahia. Método de EDS acoplado ao Microscópio Leon 1450 EDS.

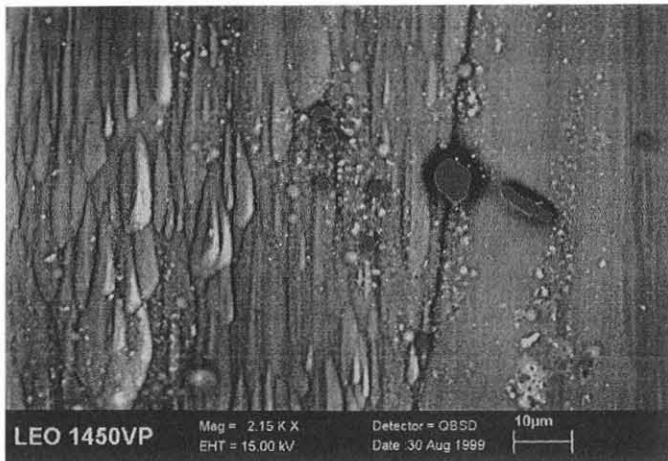


Figura 10 - Inclusões de glóbulos sílico-aluminosos (claros) nos planos de crescimento de diamante leitoso.

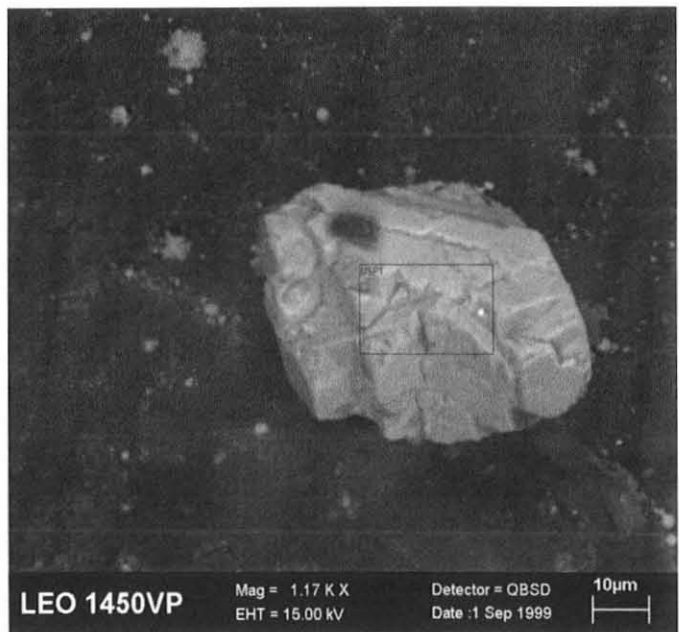


Figura 11 - Imagem de elétrons retro-espalhados de uma inclusão de calcita no carbonado de Andaraí, Bahia.

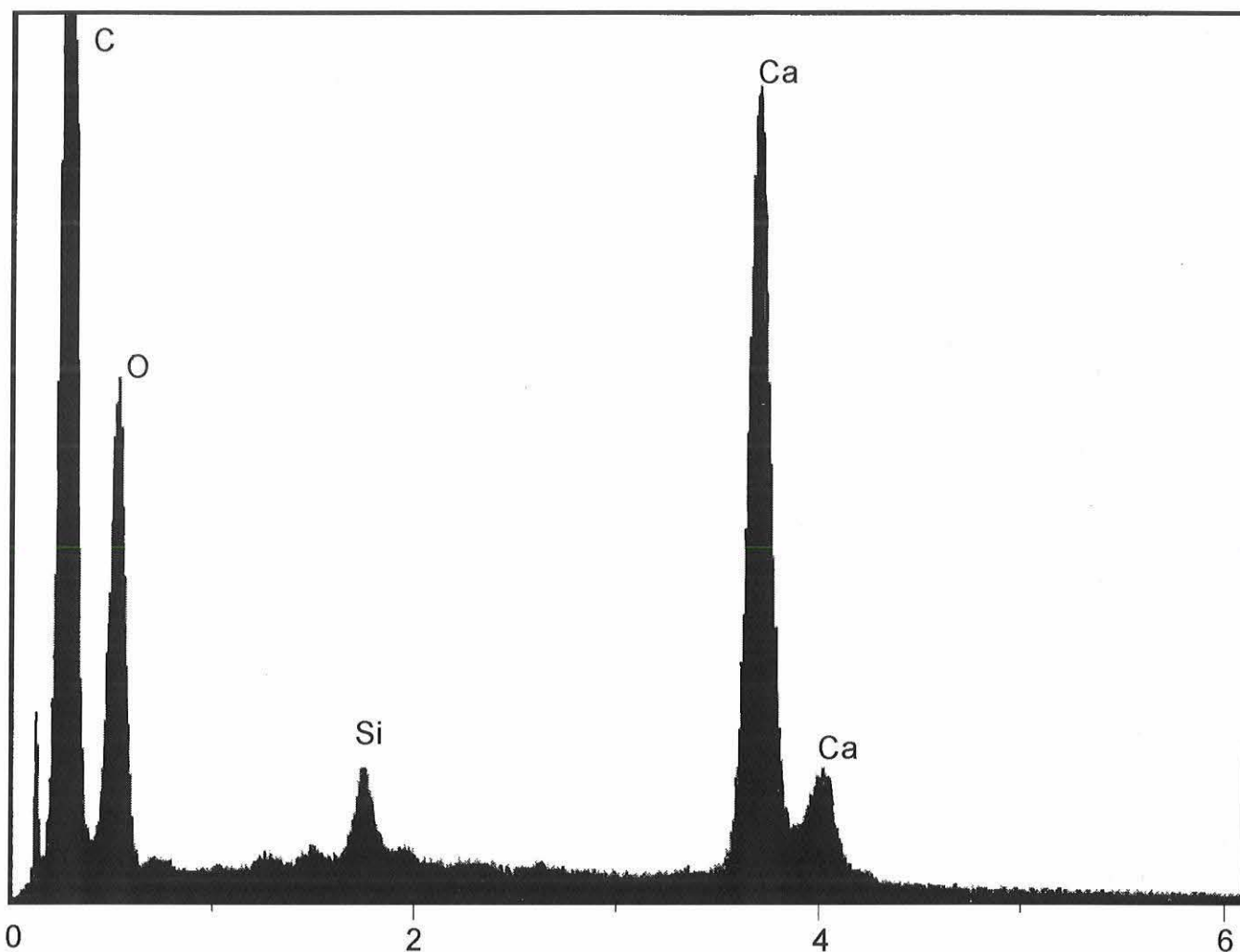


Figura 12 - Análise EDS da inclusão de calcita no carbonado.

trabalho, a distribuição geográfica do carbonado não é tão restrita como muitas vezes referido. Cumpre ressaltar que somente foram encontrados carbonados em áreas diamantíferas e nunca fora delas o que reforça a hipótese de uma ligação íntima entre o origem do diamante macrocristalino e do carbonado. Meteoros colidiram freqüentemente nos primórdios do tempo com a terra e deveriam ter deixado mais vestígios de ocorrências de carbonados isento de macrocristais de diamante em unidades geológicas mais antigas, sejam elas levemente metamorfisadas ou não.

O modelo de origem crustal do carbono seguida de subducção da placa litosférica e formação de diamantes foi estendido para os carbonados brasileiros por Sobolev (1989). Os diamantes estudados em rochas de alto grau de Kokchetav, no norte do Kazaquistão (Shatsky *et al.* 1989), são inclusões em granadas e tem características morfológicas predominantes cúbicas e cubo-octaédricas, ao lado de alguns diamantes policristalinos, mas todos de tamanho submilimétrico (10-20 microns). A hipótese de subducção de placa litosférica contendo carbono orgânico, e cristalização do diamante e carbonado em altas condições de temperatura e pressão não explica a presença de inclusões de elementos metálicos tais como a-Fe, Ni,

Cr, Ti, além de SiC citados por vários autores. A baixa susceptibilidade magnética dos carbonados (Kleteschka *et al.* 2000) quando lixiviados com HCl indica a ausência de magnetita e a presença de hélio também contradizem este modelo.

A hipótese da origem mantélica para os carbonados parece ter mais respaldo de todas as teorias (Kagi *et al.* 1994) por oferecer maior tempo de residência em temperaturas e condições de alívio de pressão e de resultante supersaturação de carbono requerida para sua formação tanto em magmas kimberlíticos e afins quanto a partir de dissociação de fluidos carbônicos em ambientes redutores (Sunagawa 1995).

A presença de diamantes recobertos por carbonado (Svisero 1971, Bauer 1968) e de diamantes octaédricos (e rombododecaédricos) recobertos epitaxialmente por carbonado (neste trabalho) sugerem uma história complexa de crescimento do diamante, sua corrosão e o posterior recobrimento por diamante policristalino.

O espectro infravermelho indicando a tipologia IaA para os microdiamantes do carbonado de Andaraí, Bahia, sugere um relativamente reduzido tempo de residência em altas temperaturas porém o bastante para permitir a transformação do tipo Ib, a tipologia de diamante recém-formado com distribuição

aleatória e singular de Nitrogênio na estrutura, para o tipo IaA. Chen *et al.* (1998), além do mais, identificaram a presença de plaquetas e de vazios microestruturais (voidites) em microdiamantes de carbonado, feições que podem ser relacionadas com um estado inicial de agregação e passagem para o tipo IaB.

A presença de material alumino-silicático fundido como inclusões opina por uma fase de alívio de pressão em temperaturas elevadas. Subarnarekha *et al.* (1998) sugerem a origem sinéctica das inclusões metálicas no carbonado.

**MODELO PROPOSTO** Arima *et al.* (1993) e Yamaoka *et al.* (2000) demonstraram a nucleação espontânea de cristaltos de diamante na reação de grafita tanto com material fundido kimberlítico quanto com água em condições de elevadas pressões e temperaturas. O processo de deposição a vapor CVD de produção de diamante sintético policristalino a partir de compostos hidrogenados de carbono apresenta estruturas similares às encontradas nos carbonados. Gases como  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ ,  $\text{C}_n\text{H}_{(2n-1)}\text{OH}$ , além de água foram regularmente constatados como retidos na estrutura dos diamantes (Melton & Giardini 1974, 1975) Deste modo o modelo mais plausível para a formação do carbonado é o de grande aporte de carbono, quer sob forma de carbono elementar e/ou seus compostos em curto intervalo de tempo, com formação maci-

ça de núcleos de cristais e crescimento ultra-rápido produzindo material de aspecto de coque ou de cerâmica. Tal cenário está em conformidade com o modelo de supersaturação proposto por Sunagawa (1995), em condições de alívio parcial de pressão que pode ocorrer na base da litosfera ou no estágio inicial de ascensão do kimberlito à superfície. Neste caso os agregados formados podem sofrer ruptura, dissolução parcial na superfície com corrosão subsequente durante a sua incorporação no magma e na ascensão, explicando o fato da forma geralmente irregular dos agregados de carbonado. A inclusão de material de aspecto fundido mostrado neste trabalho e idêntico ao material contido em diamantes opalescentes.

Minerais de cunho epigenético como calcita, hematita, filossilicatos, e/ou fosfatos de composição complexa podem ter sido formados durante a ascensão ou durante o autohidrotermalismo sofrido pelo kimberlito (ou rochas afins) na sua interação com material crustal durante a formação de diques e crateras, ou mesmo nos processos de transporte, de deposição e de repouso em depósitos secundárias.

**Agradecimentos** A Kelusodi Eduardo Filemon pela execução dos espectros de absorção no infravermelho. Aos revisores da RBG pelas sugestões ao manuscrito.

## Referências

- Arima M., Nakayama K., Akaishi M., Yamaoka S., Kanda H. 1993. Crystallization of diamond from a silicate melt of kimberlite composition in high pressure and high temperature experiments. *Geology*, **21**: 968-970.
- Bauer M. 1968. *Precious Stones*. Vol. I., Dover Publ. New York
- Bhatia K.L., Fabian S., Kalbitzer S., Klatt Ch., Krättschmer W., Stoll R., Sellschop J. F. P. 1998. Optical effects in carbon-ion irradiated diamonds. *Thin Solid Films*, **324**:11-18.
- Chaves M.L.S.C. 1997. *Geologia e Mineralogia do Diamante da Serra do Espinhaço em Minas Gerais*. Tese de Doutorado IGC- USP, 289 p.
- Chen J.H., Bernaerts D., Seo J.W., Van Tendeloo G., Kagi H. 1998. Voidites in polycrystalline natural diamond. *Philos. Mag. Lett.*, **77**:135-140.
- Filemon E.K. 2001. *Caracterização da tipologia dos diamantes brasileiros*. Dissertação de mestrado. IGCE-UNESP, 119p.
- Gorshkov A.I., Seliverstov V.A., Baikov A.I., Anikin L.P., Sivtsov A.V., Duninbarkovskii R.L. 1995. Crystallochemistry and genesis of carbonado from the melanocratic basaltoids of the Avacha Volcano, Kamtchatka Peninsula. *Geol. Ore Dep.*, **37**:44-55.
- Gorshkov A.I., Titkov S.V., Sivtsov A.V., Berskov L.V. 1996. Rare Earth minerals in carbonado from Yakutian diamond deposits. *Geokhimiya* **6**:501-506.
- Gorshkov A.I., Titkov S.V., Plehakov A.M., Sivtsov A.V., Bershov L.V. 1996. Inclusions of native metals and other mineral phases into carbonado from the Ubangi region (Central Africa) *Geol. Ore Dep.*, **38**:114-119.
- Gorshkov A.I., Bao Y.N., Bershov L.V., Ryabchikov I.D., Sivtsov A.V., Lapina M.I. 1997. Inclusions of native metals and other minerals in diamonds from Kimberlite pipe 50, Liaoning, China. *Geokhimiya*, **8**:794-804.
- Haggerty S. 1999. A diamond trilogy: superplumes, supercontinents, and supernovae. *Science*, **285**:851-860.
- Kagi H., Takahashi H., Hidaka H., Masuda A. 1994. Chemical properties of Central African carbonado and its genetic implications. *Geoch. Cosmoch. Acta*, **58**:2629-2638.
- Haralyi N.L.E. 1999. Fire opalescent diamonds. *Indian Gemmologist*, **8** (3&4): 34-35.
- Haralyi N.L.E. 2000. Opalescent diamonds from Juína, MT. In: Intern. Geol. Cong., 31, Rio de Janeiro, Brasil, Poster Section.
- Kaminsky F.V. 1991. Carbonado and Yakutiite: properties and probable genesis. In: Intern. Kimberlite Conf., 5, Araxá, Brasil, Proceedings, 2:136-143.
- Kerr D.F., Graf D.L., Ball S.H. 1948. Carbonado from Venezuela. *Amer. Miner.*, **33**:251-255.
- Kletetschka G., Taylor P.T., Wasilwski P.J., Hill H.G.M. 2000. Magnetic properties of aggregate polycrystalline diamond: implications for carbonado history. *Ear. Plan. Sci. Lett.*, **181**:279-290.
- Melton C.E., Giardini A.A. 1974. The composition and significance of gas released from natural diamonds from Africa and Brasil. *Amer. Miner.*, **59**:775-782.
- Melton C.E. & Giardini A.A. 1975. Experimental results and a theoretical interpretation of gaseous inclusions found in Arkansas natural diamonds. *Amer. Miner.* **60**:413-417.
- Oliveira J.F. 1984. Prospecção e garimpagem em aluviões diamantíferos na região Gilbués e Monte Alegre- Piauí. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 33, Rio de Janeiro, Anais, **8**:3380-3391.
- Ozima M., Zashu S., Tomura K., Matsuhisa 1991. Constraints from noble-gas contents on the origin of carbonado diamonds. *Letters to Nature* **351**:472-474.
- Seliverstov V.A., Gorshkov A.I., Shcheka S.A., Sivtsov A.V. 1996. Diamonds and carbonado of the Primorskii Krai: Mineralogy, crystalchemistry and genesis. *Geology of Ore deposits*, **38**:429-441.
- Shatsky V.S., Sobolev N.V., Yefimova E.S. 1989. Morphological features of accessory microdiamonds from metamorphic rocks of the earth's crust. In: Workshop on Diamonds, 28<sup>th</sup> International Geological Congress, Washington, USA, Ext. Abstr. 94-95.
- Sobolev N.V. 1989. Significance of diamonds in metamorphic rocks. Special Presentation, In: Workshop on Diamonds, 28<sup>th</sup> International Geological Congress, Washington, USA, 2p.
- Souza M.M. 1993. Geologia dos diamantes do Estado de Roraima. In: Simp. Bras. Geol. Diamante, 1, Cuiabá, Anais, pp.:17-31.
- Shelkov D., Verkhovsky A.B., Milledge H.J., Pillinger C.T. 1997. Carbonado: a comparison between Brazilian and Ubanguí sources with other forms of microcrystalline diamond based on carbon and nitrogen isotopes. *Rus. Geol. Geoph.*, **38**:332-340.
- Smith J.V. & Dawson J.B. 1985. Carbonado diamond aggregates from early impacts of crustal rocks?. *Geology*, **13**:342-343.

- Subarnarekha De, Heaney P J, Hargraves R B, Vicenzi E P, Taylor P T 1998  
Microstructural observations of polycrystalline diamond: a contribution to  
the carbonado conundrum. *Eur. Plan. Sci. Let.*, **164**:421-433.
- Titkov S V, Gorshkov A I, Vinokurov S F, Bershov L V, Solodov D I, Sivstov A  
V 2001 Geochemistry and genesis of carbonado from Yakutian diamond  
deposits. *Geochem. Internat.*, **39**:228-236.
- Trueb L.F. & De Wys E.Ch. 1971. Carbon from Ubangi- a microstructural study.  
*American Mineralogist* **56**:1252-1268.
- Trueb L.F. & De Wys E.Ch. 1969. Carbonado: natural polycrystalline diamond.  
*Science*, **165**:799-802
- Yamaoka S., Kumar M.D.S., Akaishi M., Kanda H. 2000. Reaction between  
carbon and water under diamond-stable high-pressure and high-temperature  
conditions. *Diamond and Related Materials*, **9**:1480-1486.
- Zollinger I. 2000. Aspectos mineralógicos e econômicos de diamantes das regiões  
de Chapada dos Guimarães, Poxoréu, Diamantino, Paranatinga e Alto  
Paraguai, Mato Grosso. Tese de Mestrado, IGC-USP, 194 p.

Manuscrito A-1305

Recebido em 25 de novembro de 2001

Revisão dos autores em 19 de dezembro de 2001

Revisão aceita em 20 de dezembro de 2001