

# METODOLOGIA GEOFÍSICA INTEGRADA APLICADA À PROSPEÇÃO DE KIMBERLITOS DA REGIÃO OESTE DE MINAS GERAIS

NICOLAU L. E. HARALYI\* e DARCY P. SVISERO\*\*

**ABSTRACT** Field magnetic, gammaspectrometric, natural potential, electroresistivity, thermometric as well as gravity surveys have been carried out on the Limeira, Indaiá and Sucuri kimberlites located in the Monte Carmelo District, Minas Gerais State, Brazil. The main purpose was to show how an integrated interpretation based on geophysics can improve the current prospecting of kimberlites. Magnetic surveys showed anomalies over 1,000 nT peak to peak; thermometric, gammaspectrometric and electroresistivity data defined the contacts between the kimberlites and the country rocks; gravity data, on the other hand, pointed out the low density of the kimberlites compared with other ultrabasic rocks. The utilization of this methodology led to the discovery of the Anil diatreme near Monte Carmelo, also characterized as another kimberlite.

**INTRODUÇÃO** O método clássico de prospecção de kimberlitos baseia-se principalmente no rastreamento de certos minerais de natureza kimberlítica, entre os quais os mais utilizados são granadas pirocromíferas, ilmenitas magnesianas, diopsídio e, eventualmente, cromioespinélio e/ou olivina forsterita. Paralelamente ao processo de rastreamento, utilizam-se também com certa freqüência métodos geofísicos e geoquímicos que, combinados, facilitam a localização das fontes dispersoras dos minerais kimberlíticos.

Esses métodos foram usados pela Sopemi a partir do final dos anos sessenta na região oeste de Minas Gerais, principalmente ao longo de drenagens portadoras de garimpos de diamantes. Esses trabalhos foram coroados de êxito e em pouco tempo conduziram à localização de uma série de corpos de natureza kimberlítica, sendo o primeiro identificado e caracterizado em 1968 (Bardet 1973). Algum tempo depois, a Prospec, a CPRM e outras empresas desenvolveram trabalhos semelhantes ampliando o número de corpos conhecidos. Entretanto, a maior parte desses resultados permanece sob a forma de relatórios internos, de modo que não são conhecidos pormenores relativos ao número e demais características desses kimberlitos.

Algumas informações gerais referentes a esses trabalhos foram divulgados primeiramente por Bardet (1973) e, posteriormente, por Barbosa *et al.* (1976) e Svisero *et al.* (1979a). Nos últimos anos, alguns desses corpos foram alvo de estudos pormenorizados envolvendo caracterização química, levantamentos geológicos e geofísicos. O Kimberlito Vargem (atualmente Vargem 1), localizado na Fazenda da Vargem, município de Coromandel, foi o primeiro kimberlito caracterizado por análises químicas e mineralógicas, e os resultados indicam que esse corpo é muito semelhante aos Kimberlitos clássicos da África do Sul (Svisero *et al.* 1977). Outros corpos estudados posteriormente incluem os Kimberlitos Limeira e Indaiá (Svisero *et al.* 1980), Sucuri (Svisero *et al.* 1982a), além das diatremas de Poço Verde, Santa Clara, Morungá, Vargem 2, Mamões e Japecanga (Svisero *et al.* 1979b, 1982b).

As primeiras informações de natureza geofísica dos kimberlitos do oeste mineiro foram apresentadas por Bardet

em 1973 e dizem respeito à anomalia magnética do Kimberlito Santa Rosa. Os trabalhos seguintes são devidos ao Convênio Geofísica Brasil-Alemanha (CGBA), que de um modo geral discutem anomalias que se correlacionaram a corpos intrusivos sob forma de chaminés, alguns possivelmente kimberlitos, como o caso da anomalia "F" de Coromandel, descrita por Ostwald *et al.* (1973, 1975) e Eberle & Heineck (1975). Mais recentemente, Haralyi *et al.* (1980) iniciaram a aplicação sistemática de métodos de investigação geofísica aos kimberlitos da região oeste de Minas Gerais. Este trabalho mostra a aplicação e integração de dados magnéticos, gamaespectrométricos, elétricos, térmicos e gravimétricos. Como alvos, foram selecionados os kimberlitos Limeira, Indaiá e Sucuri, localizados no município de Monte Carmelo, MG (Fig. 1), previamente caracterizados por análises químicas e mineralógicas. Os resultados obtidos nesses três corpos permitiram elaborar uma metodologia de prospecção cuja utilização na região de Monte Carmelo conduziu à descoberta do Kimberlito Anil.

**CONTEXTO GEOLÓGICO** Na área onde foram estudados os kimberlitos (Fig. 1) encontra-se um embasamento granito-gnáissico sobre o qual se superpõem as seqüências proterozóicas Araxá e Canastra, dobradas, metamorfizadas e perturbadas por falhamentos que em alguns casos têm expressão regional. A Sequência Bambuí somente aparece a N e NE da área (Barbosa *et al.* 1970, Eberle 1974). Diversas intrusões de natureza básica/ultrabásica e mesmo ultrabásica-alcalina se acham condicionadas a falhamentos antigos. A reativação destas falhas estaria relacionada aos movimentos epirogênicos juro-cretácicos que nesta ocasião estabeleceram na região o Soerguimento do Alto Paranaíba (Hasui *et al.* 1975, 1983). Este tipo de estrutura, bem como outras feições tectônicas maiores, que condicionaram a colocação dos kimberlitos, são em grande parte relacionados à estruturação dos blocos crustais arqueanos (Haralyi 1978, Hasui *et al.* 1976, Svisero *et al.* 1983, 1984). Embora parcialmente cobertas ou obliteradas por tectônica mais recente, essas estruturas antigas podem ser reconhecidas e delimitadas a partir da interpretação de dados gravimétricos e magnéticos (Haralyi 1978, 1980; Haralyi & Hasui

\* Engenharia de Minas I.C.M. Haralyi Ltda. Caixa Postal 19026, CEP 04599, São Paulo, SP, Brasil.

\*\* Instituto de Geociências, USP., Caixa Postal 20899, CEP 05508, Cidade Universitária, São Paulo, SP, Brasil.

1981, 1982, 1983a, 1983b; Hasui *et al.* 1983) e, ainda, da integração com outras informações geofísicas (Haralyi *et al.* 1983).

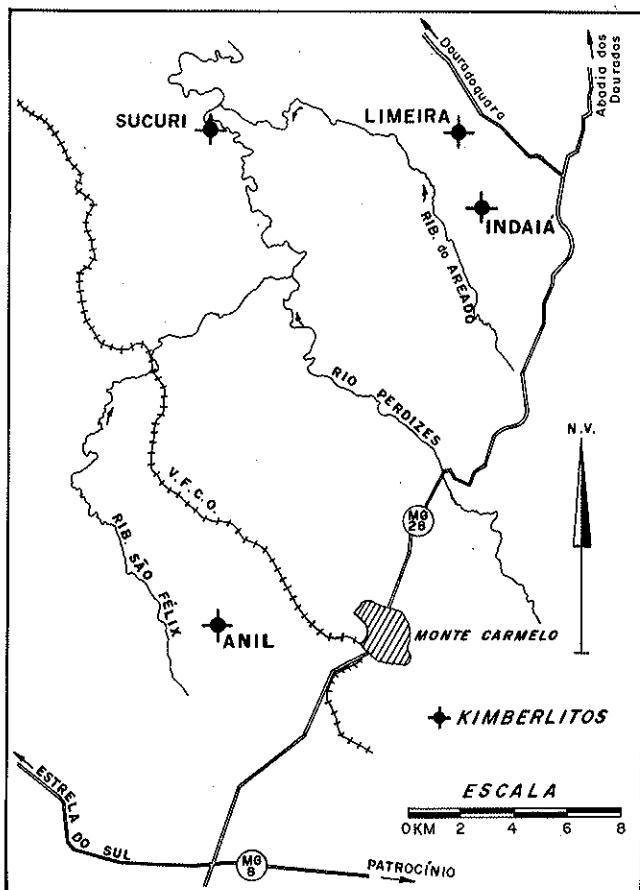


Figura 1 – Localização geográfica dos kimberlitos Limeira, Indaiá, Sucuri e Anil, na região oeste de Minas Gerais

**PROSPEÇÃO GEOFÍSICA** A aplicação de métodos geofísicos à pesquisa mineral sofreu um impulso extraordinário durante os anos setenta. Neste período, graças ao Convênio Geofísico estabelecido entre o Brasil e a Alemanha, foi executado um grande volume de levantamentos aerogeofísicos abrangendo os estados de Minas Gerais e Espírito Santo (Bosum 1973, Bosum & Mollat 1975, Ostwald *et al.* 1973). Embora parcialmente utilizados, os resultados tiveram grande repercussão e ampliaram consideravelmente os conhecimentos geológicos da Região Sudeste brasileira. As Figs. 2 e 3 mostram os levantamentos aeromagnéticos e radiométricos obtidos por este convênio na área estudada (Ostwald *et al.* 1975).

A grande importância dos métodos geofísicos, além de complementar as informações geológicas de superfície, é permitir o conhecimento da estruturação profunda. Por exemplo, o Kimberlito Limeira havia sido mapeado em 1977 (Svisero, inédito), e a planta resultante está apresentada na Fig. 4. Naquela ocasião, foi constatado no campo que a maior parte do referido corpo apresentava-se sob a forma de um solo argiloso de cor marrom (K), contendo um pequeno afloramento em um vale de drenagem no centro da estrutura. O mapeamento mostrou também a

existência de um segundo corpo na parte norte, sob a forma de uma pequena elevação (Kb). Os primeiros ensaios geofísicos sugeriram algumas mudanças na geometria do Kimberlito Limeira e nas suas relações com as encaixantes. Detalhamentos posteriores, combinando os vários métodos aqui discutidos, confirmaram a existência de duas diatremas distintas (Svisero *et al.* 1980, Haralyi *et al.* 1980), cujos contornos e dimensões foram modificados significativamente no decorrer dos trabalhos.

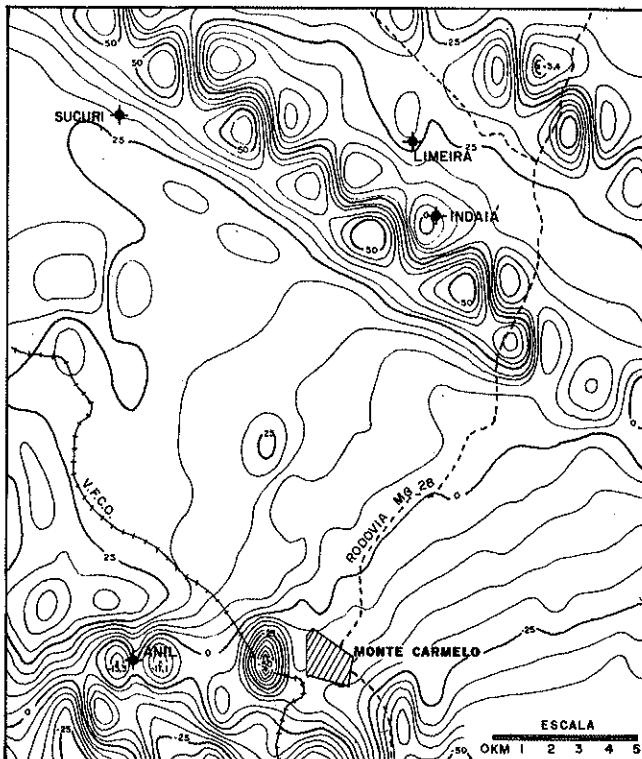


Figura 2 – Detalhe do mapa aeromagnético executado pelo Convênio Geofísico Brasil-Alemanha na região de Monte Carmelo (Ostwald *et al.* 1975), onde se destacam dois dos lineamentos magnéticos regionais do sistema oeste de Minas Gerais. Notar que as anomalias dos kimberlitos Limeira, Indaiá e Sucuri não são identificáveis neste levantamento. A anomalia do Kimberlito Anil está incluída na anomalia complexa associada ao Gabro de Monte Carmelo

**Magnetometria** A prospecção de kimberlitos baseada em métodos magnéticos foi desenvolvida com grande sucesso na Província Kimberlítica de Yakútia, na Sibéria. Nessa região, os kimberlitos são intrusivos em rochas carbonáticas exibindo anomalias de até 5 000 nT, conforme descrições de Litinskii citadas por Hause (1979). Anomalias magnéticas elevadas foram detectadas também em kimberlitos de Mali e de Lesottho (Hause 1979). No oeste do Quênia, na Província de Nyanza, recentemente foram perfurados kimberlitos localizados a partir de levantamentos aeromagnéticos (Ito *et al.* 1983). Em Angola apenas 27% dos corpos estudados apresentam anomalia magnética terrestre, geralmente entre 300 e 1 000 nT de amplitude, muitos dos quais passam despercebidos nos levantamentos aeromagnéticos (Reis 1966). Na Tanzânia e na Costa do Marfim, os kimberlitos não são detectáveis magneticamente (Bardet

1973). O mesmo ocorre com vários kimberlitos da área "State Line" em Wyoming e Colorado, EUA, o que, segundo Hause (1979), se deve ao fato de que não há contraste apreciável de suscetibilidade magnética entre os kimberlitos e as encaixantes. Paterson & MacFadyen (em MacNae 1979) interpretaram este fato como sendo devido a uma maior profundidade do topo da rocha sã.

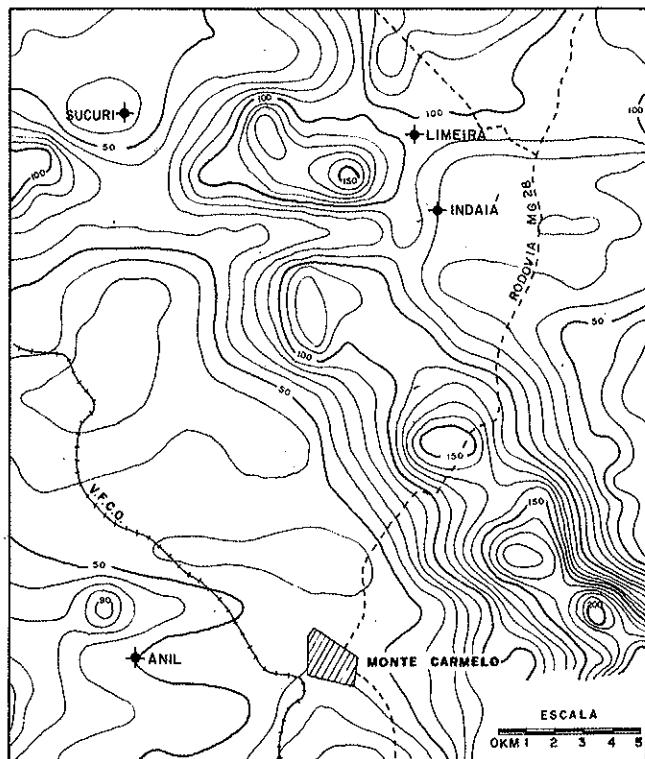


Figura 3 – Detalhe do mapa aeroradiométrico (contagem total) executado pelo Convênio Geofísica Brasil-Alemanha (Ostwald et al. 1975). Os kimberlitos Limeira, Indaiá, Sucuri e Anil não se destacam pelo fato de as linhas de voo não terem passado sobre os referidos corpos. Os valores mais elevados a norte de Monte Carmelo correspondem a exposições de granitos

No oeste de Minas Gerais, diversos kimberlitos típicos foram localizados pela Sopemi, dentre os quais a anomalia magnética do corpo Santa Rosa (do tipo complexo) foi apresentada por Bardet (1973) como exemplo de prospecção indireta de kimberlitos. Diversas anomalias relacionadas a corpos intrusivos foram detectadas pelo levantamento aeromagnético do Convênio Geofísica Brasil-Alemanha (Bosum 1973, Ostwald et al. 1975, Eberle & Heineck 1975). Dentre estas, a anomalia "F" foi estudada em detalhe com geofísica e geoquímica terrestre. A anomalia magnética encontrada é do tipo complexo com amplitude máxima pico a pico de 4 700 nT (Ostwald et al. 1975). Os trabalhos posteriores de sondagem revelaram um corpo de natureza kimberlítica (Eberle & Heineck 1975).

Dentre os kimberlitos estudados na região de Monte Carmelo, o Kimberlito Indaiá (Haralyi et al. 1980) apresenta uma anomalia máxima de 8 400 nT pico a pico, do tipo complexo, perturbada por anomalias secundárias sobrepostas a uma anomalia bipolar principal (Fig. 5). Anomalias

complexas também foram observadas por Paterson & MacFadyen (em MacNae 1979) e Burley & Greenwood (em Kamara 1981) em kimberlitos de Lesotho, e por Sharma & Nandi (em Kamara 1981) em um kimberlito na Índia. Tal complexidade, no Kimberlito Indaiá, pode em parte ser causada pelas concentrações superficiais de cangas mapeadas na parte SE do corpo, bem como por zoneamento no kimberlito. No contato SE do corpo com o granito encaixante, aparece uma anomalia linear bipolar sugerindo a presença de uma falha ou dique magnetizado, com rumo 30 graus NE e amplitude aproximada de 2 600 nT.

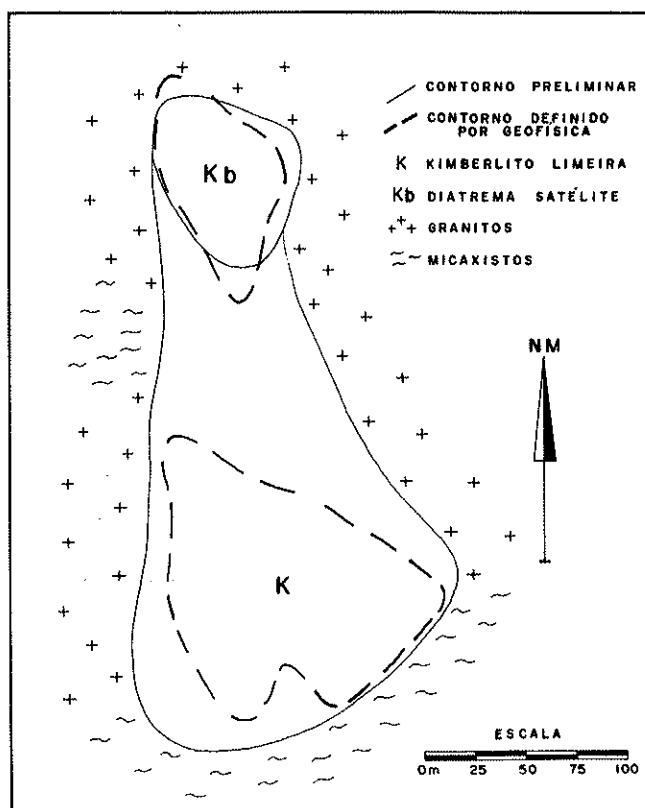


Figura 4 – Esboço geológico do Kimberlito Limeira (K) e de sua diatrema-satélite (kb). O contorno preliminar (Svisero 1977, não publicado) foi modificado posteriormente pela interpretação das informações geofísicas, cuja integração permitiu uma melhor delimitação das diatremas

O Kimberlito Sucuri (Svisero et al. 1982a) apresenta uma anomalia magnética bipolar alongada (Fig. 5), com amplitude máxima de pouco mais de 1 000 nT, sugerindo tratar-se de apófise de um dique kimberlítico de direção 60 NE.

O mapeamento magnético do Kimberlito Limeira (Haralyi et al. 1980) comprovou a existência de dois corpos distintos constituídos pelo kimberlito propriamente dito, e ao norte por uma diatrema-satélite de natureza ultrabásica alcalina (Figs. 4 e 6). A anomalia máxima medida no kimberlito foi de 8 500 nT pico a pico, do tipo bipolar normal, perturbada a oeste do corpo por um possível falhamento ou dique de rumo magnético NS. No contato SE do kimberlito com os micaxistos encaixantes há um alongamento das curvas magnéticas na direção aproximada 20º NE,

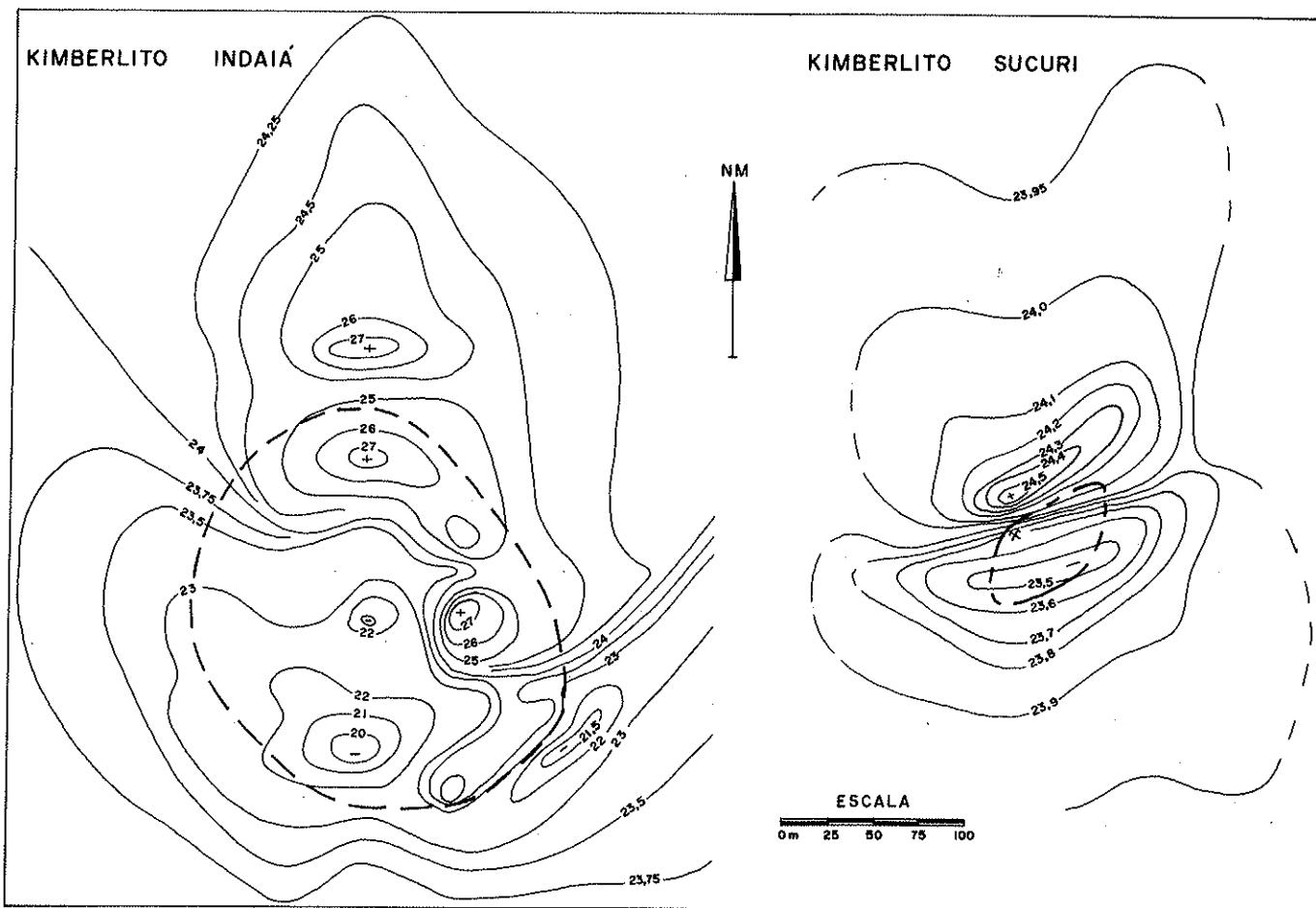


Figura 5 – Anomalias magnéticas terrestres dos kimberlitos Indaiá e Sucuri (esta última modificada de Svisero et al. 1982), mostrando os valores de campo total em nT (1 000 nT). As anomalias são de padrões distintos, sendo a do Indaiá do tipo complexo, e a do Sucuri, dipolar.

sugerindo que este contato seja por falha. A diatrema-satélite se destaca pelo seu pólo positivo com cerca de 1 800 nT, de vez que o pólo negativo se acha mascarado pelo pólo positivo do corpo principal.

A análise das medidas magnéticas dos corpos estudados mostra que eles não seriam detectados por este método se as linhas de medida de direção NS estivessem afastadas do corpo mais de 0,6-0,8 vez o seu diâmetro EW. Do mesmo modo, as linhas de medida de direção EW a distâncias superiores a 0,8-1,1 vez seu diâmetro NS não detectariam o kimberlito. Dessa forma, para se detectar anomalias de corpos com diâmetro de 100 metros, as linhas de medidas magnéticas terrestres devem ser espaçadas no máximo de  $(2 \times 0,6 + 1) \times 100 \text{ m} = 220 \text{ m}$  no sentido EW, e de  $(2 \times 0,9 + 1) \times 100 = 280 \text{ m}$  no sentido NS. Para a localização de kimberlitos com anomalias magnéticas similares às descritas, o ideal é dimensionar linhas espaçadas de 100 ou eventualmente 200 metros, com medidas ao longo do perfil de 20 ou 25 metros. Para levantamentos aeromagnéticos, a amplitude das anomalias decresce com a altitude. Bardet (1973) menciona que, a uma altura de 100 metros, a anomalia se reduz a 20-50% e, a 200 metros, a apenas 9-17%. Estes dados devem ser levados em conta no planejamento de prospecção aeromagnética para kimber-

litos. Como as linhas de vôo dos levantamentos aéreos do CGBA foram espaçadas de 2 km, com altura média de vôo de 200 m, a maior parte dos corpos não foi detectada por estes vôos. Considerando o intervalo de amostragem e o contorno das curvas de 5 nT, apenas 15-22% dos corpos de 200 m de diâmetro seriam detectados; para corpos de 100 m de diâmetro, esta proporção se reduz para 6-10%. Este é o motivo pelo qual os kimberlitos Limeira, Indaiá e Sucuri não são identificáveis nos mapas aeromagnéticos do Convênio Geofísico Brasil-Alemanha (Figs. 2 e 3). Os levantamentos de detalhe executados por helicóptero na área Monte Carmelo-Estrela do Sul-Romaria (Sengpiel & Eberle 1975), com espaçamento das linhas de vôo de 300 m e altura média de vôo de 100 m, mostraram vários corpos não detectados nos levantamentos anteriores feitos por avião.

**Gamaespectrometria** Neste método são efetuadas medidas da radiação gama dos fotópicos dos seguintes elementos radioativos: 1,46 MeV para o  $\text{K}_{40}$ , 1,76 MeV para o  $\text{Bi}_{214}$  da série de desintegração do urânio, e 2,62 MeV para o  $\text{Tl}_{208}$  da série de desintegração do tório. Uma quarta faixa de medida abrange a radiação total entre 0,4-0,5 a 4 MeV. Para poder compensar a amplitude do

sinal detectado das variações de temperatura e da tensão de alimentação, utiliza-se uma fonte de  $\text{Cs}_{137}$  ou  $\text{Ba}_{133}$  como referência. Os valores assim medidos devem ser corrigidos da contagem de fundo em cada uma das faixas medidas, e tais determinações devem ser feitas preferencialmente sobre uma lâmina de água superior a um metro de profundidade. Nessas condições, as concentrações superficiais de potássio (K), urânio (U) e tório (Th) podem ser estimadas a partir dos parâmetros instrumentais que dependem principalmente da geometria do detector de NaI (Tl) (Hansen 1975). O cálculo exato da concentração superficial, por outro lado, é mais difícil, uma vez que os teores de urânio e tório são calculados indiretamente a partir das intensidades dos fotópicos dos produtos da série de desintegração desses elementos, que em muitos casos não mantêm proporcionalidade com o elemento original. Tal é especialmente o caso do urânio, que na forma de  $\text{U}^{6+}$  é solúvel, podendo ser facilmente lixiviado dos solos de alteração dos kimberlitos.

Outros problemas que devem ser levados em conta são a contribuição da radiação da biomassa ao fotópico do  $\text{K}_{40}$  (Travassos 1981, Pereira & Nordemann 1983), a attenuação da radiação pelo conteúdo de água no solo (Carroll

1981) e, ainda, no caso dos levantamentos aeroportados, pela água contida na biomassa (Pereira & Nordemann 1983). Para diminuir as flutuações estatísticas e, consequentemente, aumentar a precisão das medidas, utilizamos um tempo de integração de 100 segundos para instrumentos com detectores de  $2 \times 2''$ , e de 20 segundos para detectores de  $3 \times 3''$ .

Os kimberlitos são rochas de natureza ultrabásica-alcalina, contendo mais tório e urânio que outras rochas ultramáficas (Muramatsu 1977, Wedepohl & Muramatsu 1977). Nos kimberlitos basálticos, os teores médios desses elementos variam de 0,5-5 ppm de U, 7-25 ppm de Th, enquanto a razão Th/U varia entre 4,5 a 5,5. Nos kimberlitos micáceos, por sua vez, esses valores são, respectivamente, 2,5-12,5 ppm U, 23-60 ppm Th e 4-11 para a relação Th/U (Gurney 1973, Brookins *et al.* 1977). O urânio parece estar associado principalmente à perovskita, ao zircão e à apatita, podendo localizar-se também em fraturas e em frações carbonáticas (Kleeman & Lovering 1973). As relações Th/K e U/K nos kimberlitos são significativamente superiores às das rochas ultramáficas em geral (Muramatsu 1977). Os teores de potássio variam de 0,3% a 4,7% e são mais baixos nos kimberlitos basálticos do que nos micáceos.

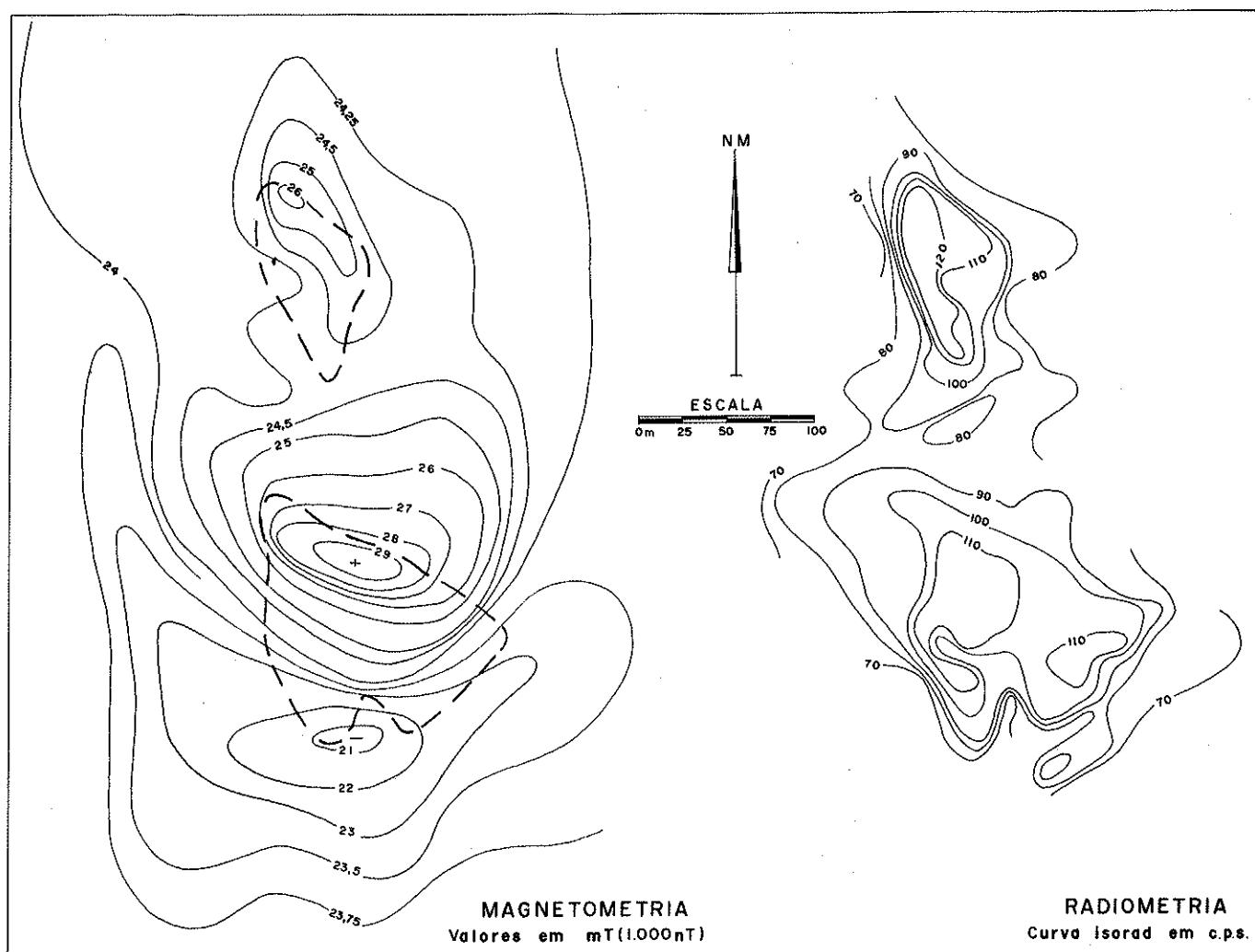


Figura 6 – Anomalia magnética de campo total e radiometria do Kimberlito Limeira. A curva de 100 c.p.s. do mapa radiométrico delimita aproximadamente o contorno das diatremas, que na magnetometria estão indicadas por linhas interrompidas.

(Gurney 1973). Embora o solo de alteração dos kimberlitos seja relativamente mais úmido, absorvendo parcialmente a radiação gama, contrariando a suposição de que correspondam a zonas de baixa radioatividade (Reis 1966), tais solos se caracterizam por anomalias bem definidas, sendo as mais destacadas as de contagem total e de tório. Paterson & MacFadyen (em MacNae 1979) utilizaram a radiometria como técnica secundária para a identificação de kimberlitos em Lesotho, porém sem sucesso em levantamentos aeroportados.

Os levantamentos aeroportados efetuados pelo Convênio Geofísica Brasil-Alemanha delinearam várias anomalias de radiação total e também de tório (Sengpiel & Eberle 1975), sendo algumas associadas a corpos de natureza ultrabásica. Dadas tais características, os autores realizaram levantamentos gamaespectrométricos nos kimberlitos Limeira e Indaiá. A Fig. 6 apresenta o mapeamento da contagem total de radiação sobre o Kimberlito Limeira (LK) e na sua diatremo-satélite (Kb). O contorno do kimberlito corresponde aproximadamente à curva de 100 c.p.s. Como a contagem da radiação total é elevada, necessita-se de um tempo menor de medida para obtenção de dados estatisticamente confiáveis. Esse fato facilita as operações de campo, mas pode originar problemas interpretativos, pois encaixantes pouco alterados, como, por exemplo, rochas graníticas, podem também apresentar contagens elevadas. Outro fator que deve ser levado em conta é a auréola de dispersão devida a colúvios. Elas podem também modificar a área da anomalia de radiação, e nestes casos é comum não se ter uma passagem brusca dos valores típicos do kimberlito para os valores da encaixante, conforme observamos na parte SW da diatremo-satélite e na parte norte do Kimberlito Limeira (Fig. 6).

A informação da concentração superficial de tório destaca melhor a anomalia do kimberlito, como pode ser visualizado nos perfis EW sobre o Kimberlito Indaiá (Fig. 7) e NS do Kimberlito Limeira (Fig. 8). O mesmo não é evidente nos perfis de concentração superficial de urânio, que ora se apresentam com valores altos, acima dos verificados nas encaixantes, como no caso da parte sul do Kimberlito Limeira (K1), e ora baixos, como na parte norte do mesmo corpo (K2) e também na diatremo-satélite (Kb). Já a razão Th/U é mais discriminante, como se pode observar na Fig. 8, onde as encaixantes apresentam razões inferiores a 3,0, destacando-se dos corpos intrusivos. A razão Th/U mostra-se mascarada somente na região situada entre o Kimberlito Limeira e sua diatremo-satélite, devido a colúvios do corpo Kb sobre a encaixante. Tal situação também é esclarecida pelos perfis de concentração superficial de potássio, cujos valores são mais altos nos solos das encaixantes (granito e micaxistos) do que nos corpos estudados. O perfil dos teores calculados de potássio no solo de alteração indica ainda uma diferença entre o Kimberlito Limeira e a diatremo-satélite, esta última com teores mais elevados. Tal fato era esperado em função de análises químicas efetuadas em amostras de rocha fresca (Svisero *et al.* 1980) e também porque a diatremo-satélite apresenta menor espessura de solo de alteração. Como não há um halo de dispersão muito acentuado da anomalia radiométrica, bem como de potássio e tório, o espaçamento das linhas de medida terrestre ou aérea não deve exceder ao diâmetro dos corpos prospectados.

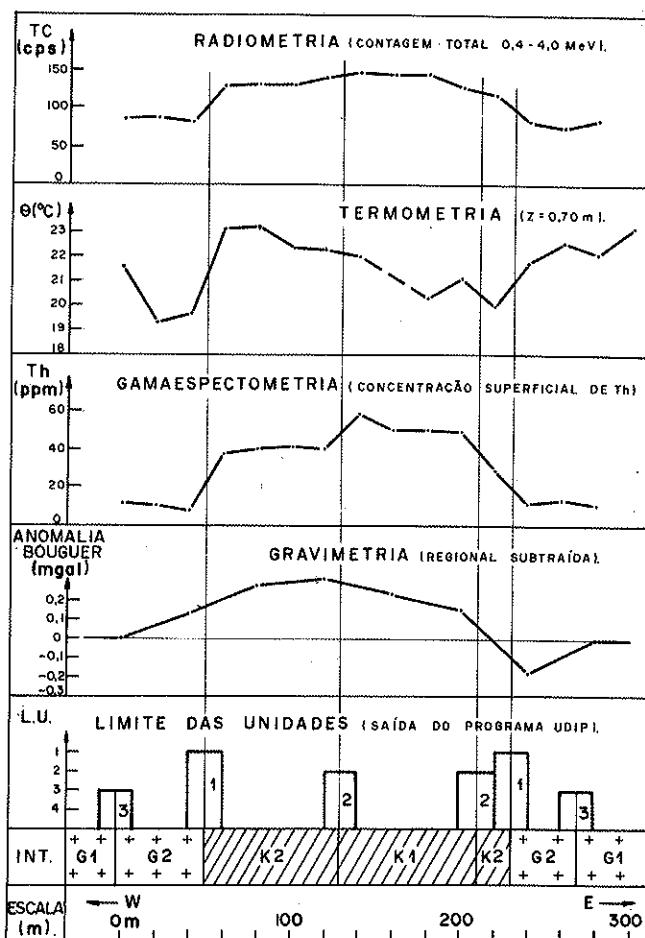
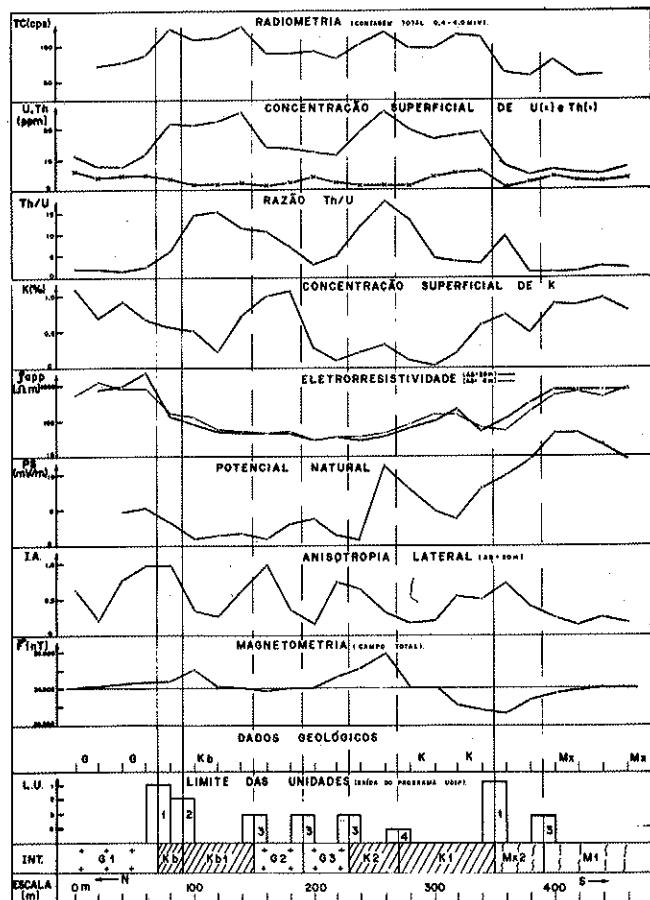


Figura 7 – Integração de informações geofísicas medidas no Kimberlito Indaiá em perfil EW. O contato kimberlito-granito (K-G) é nítido e concordante nos métodos ensaiados; as variações dos dados obtidos indicam zoneamentos internos no kimberlito (K1 e K2). A gravimetria destaca particularmente a zona de alteração da encaixante junto ao contato leste.

Nos levantamentos aeroportados em zonas de florestas, a atenuação da radiação proveniente do solo devido ao conteúdo de água da biomassa é função do ângulo entre a fonte e o detector, existindo um efeito de "focalização" (Travassos & Pires 1982). Tais fatos nos levam a sugerir que os levantamentos aerogamaespectrométricos sejam feitos em perfis espaçados de até  $D + A \cdot H$ , onde  $D$  é o diâmetro mínimo do corpo a ser detectado,  $H$  a altura do voo em relação ao solo e  $A$  um coeficiente que depende da altura, diâmetro e afastamento médio das árvores. Por exemplo, para levantamentos a uma altura do voo de  $H = 50$  a  $60$  m, o valor de  $A$  varia de  $0,4$  a  $0,5$ .

**Termometria** A medida da temperatura em subsuperfície foi testada nos kimberlitos Sucuri (Svisero *et al.* 1982a) e Indaiá (neste trabalho). O sistema termométrico desenvolvido pela Engenharia de Minas I.C.M. Haraly Ltda. consiste em um elemento sensor com sensibilidade de  $0,02^{\circ}$ , colocado a uma profundidade de  $0,60$ – $0,80$  m. Esta profundidade é determinada experimentalmente de modo que haja uma relativa independência da variação da temperatura no



**Figura 8 – Síntese das informações geofísicas e geológicas observadas no Kimberlito Limeira (K) e em sua diatremo-satélite (Kb), segundo perfil NS.** A geologia de superfície e alguns métodos geofísicos (elétricos) não destacam a separação entre as diatremas; a integração das informações, entretanto, delimita com precisão os contatos e, além disso, ressalta zoneamentos nas unidades

decorrer do dia. Para períodos longos são necessárias correções adicionais obtidas em épocas diferentes do ano. As anomalias de temperatura estão diretamente relacionadas com a umidade, que por sua vez é função do teor de argilominerais no solo. Deste modo, é de esperar temperaturas mais baixas sobre os kimberlitos e no contato com as encaixantes, bem como em zonas de falhas. Bardet (1973) menciona trabalhos de prospecção termométrica de kimberlitos no Botswana por meio de satélites; entretanto, não encontramos informações do uso deste método em prospecção terrestre de kimberlitos. O perfil térmico da Fig. 7 mostra temperaturas mais baixas na região de contato do Kimberlito Indaiá com os granitos encaixantes, bem como na parte leste do Kimberlito (K1). No caso do Kimberlito Sucuri (Svisero *et al.* 1982a), a anomalia termométrica negativa sobre o corpo é bem destacada, embora ocorra também uma anomalia similar sobre aluviões.

**Gravimetria** Dado que o kimberlito é uma rocha que possui densidade relativamente baixa no contexto das rochas de natureza ultrabásica, esta propriedade pode ser utilizada em prospecção gravimétrica. A densidade média dos

kimberlitos varia na faixa de 2,2 a 2,9 g/cm<sup>3</sup>. Por exemplo, a densidade do Kimberlito Mir é de 2,48 g/cm<sup>3</sup>, enquanto a média para os kimberlitos da Província Kimberlítica de Yakútia, na Sibéria, é de 2,39 g/cm<sup>3</sup> (Milashev 1965). Segundo Gerryts (citado por Bardet 1973), a densidade média dos kimberlitos da África do Sul é de 2,75 g/cm<sup>3</sup>. Na forma de diques, os kimberlitos se mostram menos porosos, alcançando valores acima de 3,1 g/cm<sup>3</sup>.

Na região oeste de Minas Gerais, mais especialmente na região de Monte Carmelo, as rochas regionais são granitos e micaxistas (Barbosa *et al.* 1970), com densidade de 2,6 a 2,65 g/cm<sup>3</sup>. Como a densidade do Kimberlito Indaiá é 2,73 g/cm<sup>3</sup>, temos um contraste muito pequeno, correspondendo a uma anomalia Bouguer residual medida de 0,3 mgal. Tal anomalia, sendo de pequena amplitude, exige um nivelamento custoso e moroso. Deste modo, a aplicação da gravimetria como método de pesquisa regional para kimberlitos não se justifica (Hausel 1979), a não ser para o detalhamento e caracterização de uma diatema já localizada por meio de geoquímica, sedimentos de corrente ou outros métodos geofísicos. O método gravimétrico pode ser de valia em corpos que não apresentam anomalias magnéticas, como no caso dos kimberlitos da Tanganica. No caso de kimberlitos cobertos por aluviões ou espessuras grandes de solo de alteração, ou com contrastes negativos de densidade em relação às encaixantes, a anomalia pode ser negativa. Esse é o caso do Kimberlito Mwadui, na Tanzânia, coberto por sedimentos no centro da cratera, onde os valores da anomalia Bouguer atingem -6mgal (Bardet 1973). No caso de diatremas com corpos mais densos, de que é exemplo o Kimberlito Prairie Creek, em Arkansas, foram medidas anomalias máximas pouco superiores a +0,8 mgal (Lewis 1977).

Na Fig. 7, os autores apresentam o primeiro perfil de anomalia Bouguer em kimberlito, no Brasil. As medidas sobre o Kimberlito Indaiá foram efetuadas com precisão de 0,02 mgal e o nívelamento com precisão de 0,05 m. Removida a anomalia regional, o kimberlito se apresenta com uma anomalia máxima de +0,3 mgal e uma anomalia negativa de 0,2 mgal no contato leste com o granito encaixante. Essa anomalia negativa corresponde a uma zona mais alterada, com maior espessura de solo, constituindo uma pequena depressão na topografia local.

**Métodos elétricos** O fundamento da aplicação dos métodos elétricos à prospecção e delimitação de kimberlitos se baseia no fato de que esses corpos apresentam baixa resistividade aparente, especialmente na parte mais próxima à superfície, geralmente alterada. Hausel *et al.* (1979) apontam resistividades aparentes de 20 ohm-m para os kimberlitos da região de Kasai, no Congo, em contraste com 400 ohm-m para os calcários encaixantes. Na África do Sul, resistividades aparentes de 3-4 ohm-m dos kimberlitos podem ainda ser diferenciadas de folhelhos e de dioritos encaixantes com 12-15 ohm-m. Na Tanzânia, o contraste de resistividade aparente entre o kimberlito e a encaixante é de 5 a 10 vezes, enquanto em Lesotho os kimberlitos com 14-107 ohm-m se destacam das encaixantes de 240-1460 ohm-m. Ainda em Lesotho, Macnae (1979) observou resistividades de 3 a 40 ohm-m nos kimberlitos k-6 e k-11, em contraste com encaixantes de 120-1500 ohm-m. Similarmente, nos Estados Unidos da América (Hausel *et al.* 1979), os kimberlitos apresentam valores de 24-76 ohm-m, em contraste com granitos de 152-2250 ohm-m. No caso de

Serra Leoa (Bardet 1973), os kimberlitos têm resistividades aparentes de 15-23 ohm·m, e os granitos muito fraturados valores de 30-100 ohm·m.

Estas mesmas características foram verificadas por Haralyi *et al.* (1980) nos kimberlitos estudados no oeste de Minas Gerais. As medidas foram executadas por eletroresistividade, com disposição Schlumberger ( $AB = 6$  e  $20$  m), segundo um perfil EW sobre o Kimberlito Limeira, no qual foi medido um contraste médio de resistividade aparente de 11,2 vezes (granito = 700 ohm·m; kimberlito fresco em afloramento = 150 ohm·m; e kimberlito alterado valores baixos de até 16 ohm·m). Já em perfil NS (Fig. 8), verificamos que a diatremo-satélite mostra-se pouco alterada, apresentando resistividade aparente ao redor de 50 ohm·m, ao passo que os granitos encaixantes a norte do mesmo corpo se mostram com 1000 ohm·m. Entre o kimberlito e a diatremo-satélite há uma zona de granitos cataclásados e profundamente alterados, com resistividades aparentes entre 30 e 50 ohm·m. A sul do Kimberlito Limeira há uma passagem gradual para resistividades aparentes de 500-600 ohm·m dos micaxistas encaixantes. O fato de que os granitos cataclásados apresentaram baixa resistividade aparente indica que os métodos elétricos devem ser utilizados em conjunto com outros métodos de pesquisa a fim de dirimir dúvidas interpretativas.

Os valores de potencial natural em audio freqüência (correntes telúricas), medidos segundo a direção de canalização das correntes, foi de 0,25 a 0,40 mV/m nas rochas encaixantes, e de 0,01-0,02 mV/m no Kimberlito Limeira (Haralyi *et al.* 1980). Este resultado sugere a possibilidade dos métodos AFMAG, EM e, eventualmente, VLF virem a ser utilizados com sucesso na prospecção e na delimitação de kimberlitos no Brasil. Resultados semelhantes foram reportados por Carlson *et al.* (1982) para kimberlitos da Província kimberlítica do Colorado-Wyoming. Burley & Greenwood (em MacNae 1979) obtiveram anomalias HLEM características (método eletromagnético com *loop* horizontal), tanto em fase como em quadratura nos kimberlitos K-3, K-4, K-6, K-7 e H-38 de Lesotho, também verificadas em levantamentos EM aeroportados.

Potencial natural em corrente contínua foi medido no Kimberlito Limeira, onde foi notada uma anomalia significativa nos micaxistas (Fig. 8) e valores menos destacados nos granitos.

**INTERPRETAÇÃO INTEGRADA** Conforme mostrado acima, os métodos empregados permitem definir as diferentes características dos kimberlitos em relação às rochas encaixantes. Entretanto, estas propriedades podem variar ligeiramente de corpo para corpo, de modo que a interpretação dos limites e da natureza dos kimberlitos nem sempre é precisa, restando dúvidas interpretativas. Para contornar este problema, devem-se utilizar diferentes métodos de pesquisa e integrá-los juntamente com as informações geológicas de superfície. No presente trabalho, essa integração foi feita pela utilização do software denominado UDIP, desenvolvido pela Engenharia de Minas I.C.M. Haralyi Ltda., destinado à delimitação e à interpretação de unidades geofísicas e litológicas (Haralyi & Haralyi 1981).

O programa UDIP pode ser utilizado para integrar dados geológicos, geofísicos, geoquímicos, geobotânicos, geomorfológicos, sensoriamento remoto, etc., podendo utilizar

informações mono, bi ou tridimensionais. Outra aplicação possível do UDIP é a interpretação de dados de sondagens. O referido programa compõe-se de diversos módulos esquematizados no diagrama de blocos da Fig. 9, descritos a seguir: 1) *consistência dos dados*: nesta etapa são verificados eventuais erros de transcrição de dados; 2) *transformação e normalização dos dados*: são feitas as correções necessárias das variações do campo natural, dos valores de fundo, e demais interferências que distorcem os dados correspondentes às anomalias. Em seguida estes dados são transformados

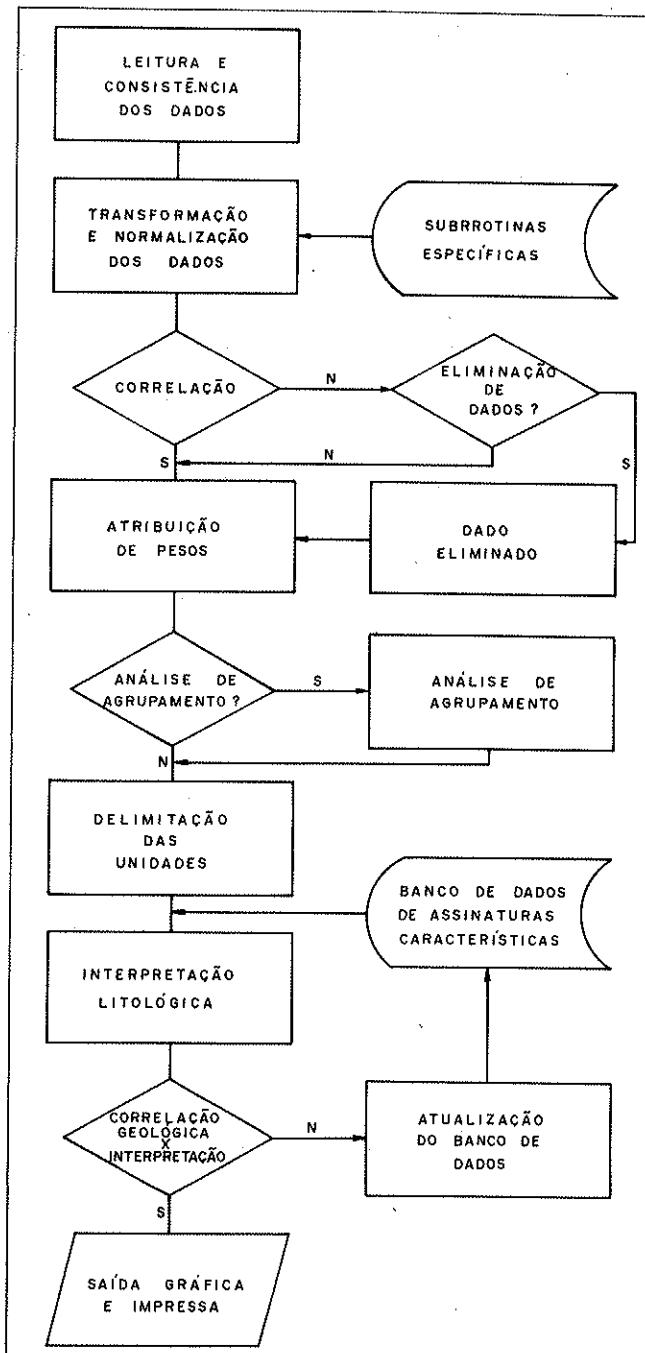


Figura 9 – Diagrama de blocos do programa UDIP utilizado para a delimitação de unidades, aplicado na integração das informações geofísico-geológicas dos kimberlitos da região oeste de Minas Gerais

por funções de transferência, específicas para cada tipo de dado, como, por exemplo, análise espectral e redução ao pólo dos dados magnéticos; correções do efeito Compton e cálculo dos teores equivalentes da concentração superficial dos elementos K, U e Th em gamaespectrometria; inversão de sondagens elétricas, etc. Em seguida, normalizam-se as informações transformadas, tornando-as adimensionais; 3) *análise de correção*: verifica a coincidência dos limites dos intervalos das anomalias transformadas, além da eventual existência de ruído ou erro de transcrição de dados não detectados anteriormente. Define ainda o grau de correlação entre os dados normalizados; 4) *atribuição de pesos*: são calculados em decorrência do grau de correlação entre os dados normalizados. Eventualmente, os pesos podem ser preestabelecidos; 5) *análise de agrupamento*: é feita em diversos níveis de hierarquia, por correlação multivariada; 6) *delimitação das unidades*: efetuada a partir dos resultados da análise de agrupamento ou diretamente da análise de correlação, definindo hierarquicamente diversas unidades; 7) *interpretação litológica*: para cada unidade e subunidade interpretadas são feitas comparações com as assinaturas características de unidades típicas da região estudada, possibilitando uma interpretação preliminar; 8) *correlação geológica x interpretação*: é feita a comparação da interpretação preliminar com as informações disponíveis no banco de dados. Havendo boa correlação, o programa passa para a etapa de saída, imprimindo os resultados sob forma gráfica e listando os parâmetros interpretados. Não havendo boa correlação, o banco de dados é atualizado com as novas informações, reiniciando o processo. Caso persistam dúvidas interpretativas, o programa solicita novos dados.

As Figs. 7 e 8 ilustram de forma resumida exemplos de aplicação do programa acima discutido. Ele foi utilizado com sucesso na caracterização dos Kimberlitos Limeira, Indaiá e Sucuri, e na delimitação dos contatos destes corpos e suas respectivas encaixantes. As referidas figuras mostram como um procedimento de interpretação integrado pode, além de delimitar os corpos, definir também subunidades. Estas subunidades podem corresponder a zoneamentos internos nos kimberlitos, fases intrusivas diferentes ou, ainda, zonas de alteração das encaixantes próximas dos contatos com os kimberlitos.

Esta metodologia foi aplicada com sucesso nas proximidades de Monte Carmelo, propiciando a localização e caracterização do Kimberlito Anil (Fig. 10), constituído também por duas diatremas distintas, tal como observado no Kimberlito Limeira. Nos levantamentos aeromagnéticos do CGBA (Ostwald *et al.* 1975), o referido corpo constitui uma pequena anomalia embutida num contexto regional anômalo relacionado ao Gabro de Monte Carmelo. Contudo, nos levantamentos de detalhe por helicóptero (Sengpiel & Eberle 1975), aparece a anomalia magnética do pólo negativo do corpo sul, bem como a correspondente anomalia de resistividade equivalente ao levantamento eletromagnético. Por outro lado, as medidas gamaespectrométricas feitas por avião e por helicóptero não detectaram as anomalias correspondentes às diatremas Anil.

O programa de integração de informações UDIP pode também ser aplicado na prospecção regional, objetivando definir alvos para detalhamento posterior. Para tal fim podemos utilizar informações de sensores remotos (McCallum

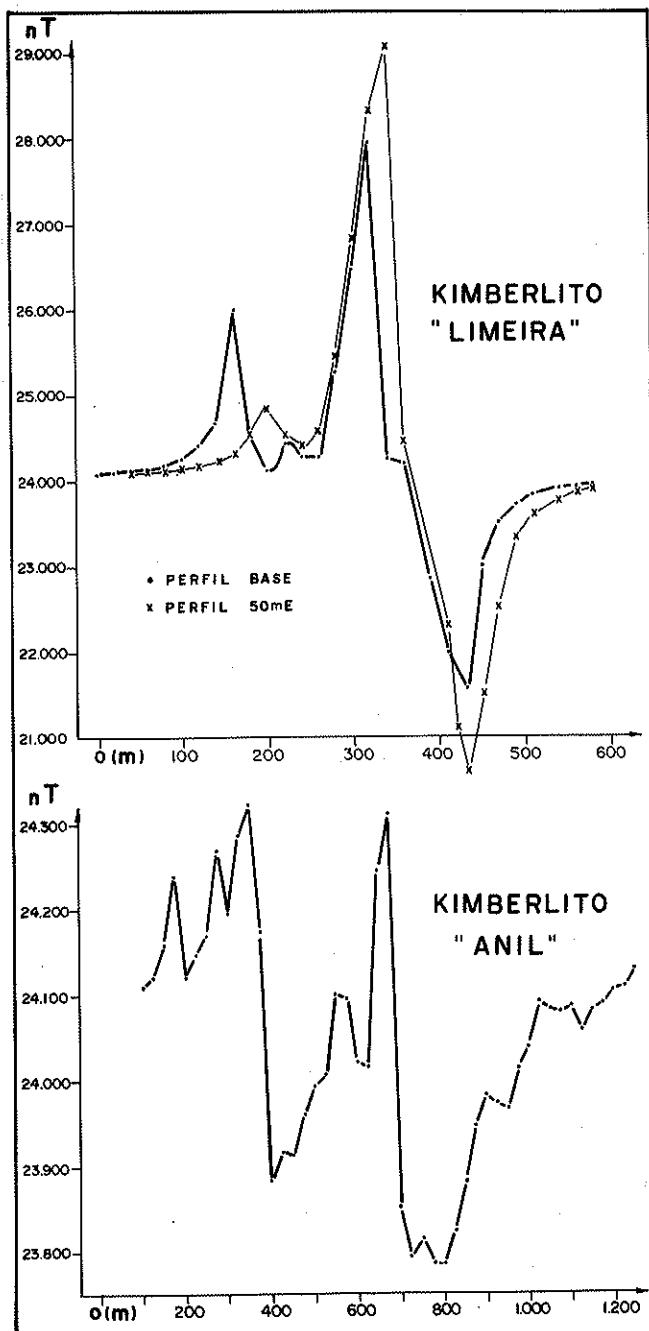


Figura 10 – Perfil de anomalia magnética de campo total do Kimberlito Anil comparado com perfis do Kimberlito Limeira (Haralyi *et al.* 1980). O Kimberlito Anil, apesar de ser maior em diâmetro, apresenta anomalia de menor amplitude e mais complexa.

1974, Woodzick & McCallum 1982), informações geoquímicas (Milashev 1965, Bardet 1973, Parra 1974, Hausel 1979), geomorfológicas (Haralyi & Haralyi 1981) e geobotânicas (Parra 1974, Fragomeni 1976, Shrivastava & Alexander 1982).

**CONCLUSÕES** Os ensaios geofísicos levados a efeito nos Kimberlitos Limeira, Indaiá e Sucuri, previamente caracterizados por análises químicas e mineralógicas, permiti-

ram estabelecer uma metodologia de prospecção geofísica integrada para este tipo de rocha. Dentre os métodos utilizados, a magnetometria permite a localização do corpo intrusivo, enquanto os métodos termométricos, elétricos e radiométricos permitem definir os seus contatos com as rochas encaixantes; a gamaespectrometria caracteriza a natureza ultrabásica diferenciada do corpo, enquanto a gravimetria destaca a densidade relativamente baixa do kimberlito em relação às demais ultrabásicas. Finalmente, a

integração das informações permite dirimir dúvidas interpretativas originadas por um ou outro método aplicado e, ainda, coloca em evidência uma série de feições secundárias particulares de cada uma das unidades mapeadas.

**Agradecimentos** Os autores agradecem ao Dr. Yociteru Hasui pelas proveitosas discussões sobre tectônica regional, e ao geólogo Vitor M.N. Feitosa e ao Sr. Norberto S. Rangel pela colaboração prestada nos trabalhos de campo.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, O.; BRAUN, O.P.G.; DYER, R.C.; CUNHA, C.A.B.R. – 1970 – *Geologia da região do Triângulo Mineiro*. Rio de Janeiro, DNPM, 140 p. (Boletim 136.)
- BARBOSA, O.; SVISERO, D.P.; HASUI, Y. – 1976 – Kimberlitos da região do Alto Paranaíba, Minas Gerais. In: CONGR. BRAS. GEOL., 29, Ouro Preto-Belo Horizonte, 1976. *Resumos...* Belo Horizonte, SBG, p. 323.
- BARDET, M.G. – 1973 – *Geologie du diamant*. Paris, B.R.G.M., 227 p. (*Mémoires du B.R.G.M.* 83.)
- BOSUM, W. – 1973 – O levantamento aeromagnetométrico de Minas Gerais e Espírito Santo e sua seqüência quanto à estrutura geológica. *Rev. Bras. Geoc.*, 3: 149-159.
- BOSUM, W. & MOLLAT, H. – 1975 – *Interpretação do levantamento aerogeofísico sistemático de Minas Gerais e Espírito Santo*. Belo Horizonte, Conv. Geof. Brasil-Alemanha, 1 e 2, 60 p.
- BROOKINS, D.G.; DELLA VALLE, R.S.; BOLIVAR, S.L. – 1977 – Significance of Uranium abundance in United States kimberlites. In: BOYD, F.R. & MEYER, H.O.A. eds., *Kimberlites, Diamonds and Diamonds: Their Geology, Petrology and Geochemistry*. Washington, A.G.U., p. 280-288.
- CARLSON, J.A.; JOHNSON, R.B.; McCALLUM, M.E.; PADGET, J.P. – 1982 – Evaluation of geophysical techniques for diatreme delineation in the Colorado-Wyoming kimberlite province. *Terra Cognita*, 2: 203.
- CARROLL, T.R. – 1981 – Airborne soil moisture measurements using natural terrestrial gamma radiation. *Soil Science*, 123: 358-366.
- EBERLE, W.G. – 1974 – *Relatório de reconhecimento geológico Patos de Minas-Coromandel-Monte Carmelo, Minas Gerais*. Belo Horizonte, Conv. Geof. Brasil-Alemanha, 34 p.
- EBERLE, W.G.; HEINECK, C.A. – 1975 – *Relatório de prospecção geoquímica de detalhe e sondagens, anomalia F, Coromandel, Minas Gerais*. Belo Horizonte, Conv. Geof. Brasil-Alemanha, 32 p.
- FRAGOMENI, P.R.P. – 1976 – Controle tectônico da Província Quimberlítica de Paranatinga. *Bol. Inf. Núcleo Centro-Oeste, Goiânia*, SBG, p. 3-10. (Boletim 5.)
- GURNEY, J.J. – 1973 – Potassium, thorium and uranium in some kimberlites from South Africa. In: INTERNATIONAL KIMBERLITE CONFERENCE, 1, Cape Town, 1973. *Extended Abstracts...* Cape Town Univ., p. 143-146.
- HANSEN, D.A. – 1975 – *Geological applications manual for portable gamma ray spectrometers*. Preliminary Edition, Sunnyvale, Geometrics Publ. (Preliminary copy.)
- HARALYI, N.L.E. – 1978 – *Carta gravimétrica do oeste de Minas Gerais, sudeste de Goiás e norte de São Paulo*. Tese de Doutorado, Inst. Geoc. Univ. São Paulo, São Paulo, 359 p.
- HARALYI, N.L.E. & HARALYI, A.M.D.A. – 1981 – Computer aided enhancement and integration of geophysical-geochemical data for delimitation of lithological units. In: COGEODATA IAMG MEETING FOR SOUTH AMERICA, Rio de Janeiro, 1981. *Abstracts...* Rio de Janeiro, CENPES/Petrobrás, p. 11.
- HARALYI, N.L.E. & HASUI, Y. – 1981 – Anomalias gravimétricas e estruturas maiores do sul de Goiás. In: SIMP. GEOL. CENTRO-OESTE, Goiânia, 1981. *Atas...* Goiânia, SBG, p. 73-92.
- HARALYI, N.L.E. & HASUI, Y. – 1982 – Compartimentação geotectônica do Brasil oriental com base na informação geofísica. In: CONGR. BRAS. GEOL., 31, Salvador, 1982. *Analys...* Salvador, SBG, v. 1, p. 374-385.
- HARALYI, N.L.E. & HASUI, Y. – 1983a – The gravimetric information and the archean-proterozoic structural framework of eastern Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*, 12: 160-166.
- HARALYI, N.L.E. & HASUI, Y. – 1983b – Interpretation of gravity and magnetic data of old cratonic areas in east-central Brasil. In: SEG INT. MEETING AND EXPOSITION, 52, Dallas, 1983. *Abstracts and Biographies...* Dallas, 1983, p. 276-278.
- HARALYI, N.L.E.; HASUI, Y.; MIOTO, J.A.; HAMZA, V.M. – 1983 – Ensaio sobre a estruturação crustal pré-cambriana do Estado de Minas Gerais com base na informação geofísica e geológica. In: SIMP. GEOL. DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte, 1983. *Resumos...* Belo Horizonte, SBG (inédito).
- HARALYI, N.L.E.; SVISERO, D.P.; FEITOSA, V.M.N. – 1980 – Características geofísicas dos kimberlitos Limeira 1, 2 e Indaiá, região de Monte Carmelo, Minas Gerais. In: CONGR. BRAS. GEOL., 31, Balneário Camboriú, 1980. *Analys...* Balneário Camboriú, SBG, v. 2, p. 1161-1165.
- HASUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M. de; HARALYI, N.L.E.; DAVINO, A.; SVISERO, D.P. – 1976 – O contexto tectônico dos carbonatitos do Oeste de Minas Gerais e sul de Goiás. In: INT. SYMP. ON CARBONATITES, 1, Poços de Caldas, 1976. *Abstracts...* Poços de Caldas.
- HASUI, Y.; HARALYI, N.L.E.; SVISERO, D.P. – 1983 – Descontínuidades crustais pré-cambrianas e sua importância no desenvolvimento da província do Alto Paranaíba. In: SIMP. GEOL. DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte, 1983. *Resumos...* Belo Horizonte, SBG (inédito).
- HASUI, Y.; SADOWSKI, G.R.; SUGUIO, K.; FUCK, G.F. – 1975 – The Phanerozoic tectonic evolution of the western Minas Gerais State. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, 47: 431-438.
- HAUSEL, W.D.; McCALLUM, M.E.; WOODZICK, T.L. – 1979 – Preliminary report on exploration for diamondiferous kimberlites, Colorado-Wyoming. In: NATIONAL WESTERN MINING CONFERENCE AND EXHIBITION, Denver, 1979, Preprint, 32 p.
- ITO, M.; SUWA, K.; SEGERO, A.S. – 1983 – Petrographical studies on the YA17, Y1B3 and UC4 kimberlite prospecting boring core specimens from Nyanza Western Kenya. *Prelim. Rept. Afr. Studies*, Nagoya Univ., p. 181-196 (Bulletin 8).
- KAMARA, A.Y.S. – 1981 – Review: Geophysical methods for kimberlite prospecting. *Bull. Aust. Soc. Explor. Geophys.*, 12: 43-51.
- KLEEMAN, J.D. & LOVERING, J.F. – 1973 – Uranium partitioning in kimberlites and their deep-seated inclusions. In: INTERNATIONAL KIMBERLITE CONFERENCE, 1, Cape Town, 1973. *Extended Abstracts...* Cape Town Univ., 1973, p. 189-190.
- LEWIS, R.D. – 1977 – *Mineralogy, petrology and geophysical aspects of Prairie Creek kimberlite, near Murfreesboro, Arkansas*. M. Sc. Thesis, West Lafayette, Indiana, Purdue Univ.
- MACNAE, J.C. – 1979 – Kimberlites and exploration geophysics. *Geophysics*, 44: 1395-1416.
- McCALUM, M.E. – 1974 – *Infrared detection of kimberlite diatreme in northern Colorado and southern Wyoming*. Cheyenne, Wyoming Univ., p. 16-17 (Wyoming Univ. Control. Geol. 13).
- MILASHEV, V.A. – 1965 – *Petrochimie des kimberlites de Yakoutie et les facteurs de leur mineralization diamantifère*. (Trudy nauchno-issl. Inst. Geol. Arktiki gos. geol. komit. SSSR.). Trad. BRGM, Paris, BRGM, 188 p. (Trad. 5256).
- MURAMATSU, Y. – 1977 – *Geochemische Untersuchungen an*

- Kimberliten einem Granatperidotit und einem Eklogit Einschluss aus Kimberley, Südafrika.* Ph. D. Thesis, Georg-August Univ., Göttingen, 88 p.
- OSTWALD, J.; EBERLE, W.; PAULINO, J. - 1973 - Prospecção geofísica, geoquímica e geológica de anomalias aeromagnéticas isoladas na área de Coromandel, oeste de Minas Gerais. In: CONGR. BRAS. GEOL., 27, Aracaju, 1973. *Anais...* Aracaju, SBG, v. 1, p. 297-306.
- OSTWALD, J.; PAULINO, J.; JINNO, K.; GEIPEL, H.; BOSUM, W.; EBERLE, W.; HAGEN, D.; ZIMMERMANN, K. - 1975 - *Prospecção geofísica e geológico-geoquímica em áreas geomagnéticas anômalas, Coromandel, Minas Gerais.* Belo Horizonte. Conv. Geof. Brasil-Alemanha, 2 v., 80 p.
- PARRA, P. - 1974 - Prospecção geoquímica de quimberlitos nas bacias fluviais do Lufule e do Cacuilo. *Bol. Serv. Geol. e Minas*, 25: 37-47.
- PEREIRA, E.B. & NORDEMANN, D.J.R. - 1983 - The effects of a tropical rain forest on airborne gamma-ray spectrometry. *Rev. Bras. Geof.*, 1: 99-108.
- REIS, B. - 1966 - Considerações sobre a aplicação de métodos de prospecção geofísica de estruturas quimberlíticas no norte da Luanda (Angola). *Bol. Serv. Geol. e Minas*, 14: 49-60.
- REIS, B. - 1971 - The use of aeromagnetometry in the determination of deep seated structure and its importance to kimberlite exploration. *Bol. Serv. Geol. e Minas*, 3: 12-20.
- SENGPIEL, K.P. & EBERLE, W. - 1975 - *Detalhamento aerogeofísico por helicóptero, área de Monte Carmelo 1, Minas Gerais.* Belo Horizonte, Conv. Geof. Brasil-Alemanha, 72 p.
- SHRIVASTAVA, U.K. & ALEXANDER, P.O. - 1982 - Geobotanical expression of a blind kimberlite, Central India. *Terra Cognita*, 2: 203.
- SVISERO, D.P.; HARALYI, N.L.E. & GIRARDI, V.A.V. - 1980 - Geologia dos kimberlitos Limeira 1, Limeira 2 e Indaiá, município de Douradoquara, MG. In: CONGR. BRAS. GEOL., 31, Balneário Camboriú, 1980. *Anais...* Balneário Camboriú, SBG, v. 3, p. 1789-1801.
- SVISERO, D.P.; HARALYI, N.L.E.; FEITOSA, V.M.N. - 1982a - Geologia e geofísica do Kimberlito Sucuri, Monte Carmelo, Minas Gerais. In: CONGR. BRAS. GEOL., 32, Salvador, 1982. *Anais...* Salvador, SBG, v.2, p. 465-474.
- SVISERO, D.P.; HARALYI, N.L.E.; HASUI, Y.; ALGARTE, J.P. - 1983 - Aspectos geológicos e estruturais das ocorrências diamantíferas da região de Franca, São Paulo. In: SIMP. REG. DE GEOL., 4, São Paulo, 1983. *Resumos...* São Paulo, SBG, p. 21.
- SVISERO, D.P.; HASUI, Y.; DRUMOND, D. - 1979a - Geologia de kimberlitos do Alto Paranaíba, MG. *Miner. Metal.*, 43: 34-38.
- SVISERO, D.P.; MEYER, H.O.A.; HARALYI, N.L.E.; HASUI, Y. - 1984 - A note on the geology of some Brazilian kimberlites. *Journal of Geology* (no prelo).
- SVISERO, D.P.; MEYER, H.O.A.; HARALYI, N.L.E.; HASUI, Y. - 1982b - Geology of Brazilian kimberlites. *Terra Cognita*, 2: 246-247.
- SVISERO, D.P.; MEYER, H.O.A.; TSAI, H.M. - 1979b - Kimberlites in Brazil: An initial report. In: BOYD, F.R. & MEYER, H.O.A. eds., *Kimberlites, diatremes and diamonds: Their geology, petrology and geochemistry*. Washington, A.G.U., p. 90-100.
- SVISERO, D.P.; MEYER, H.O.A.; TSAI, H.M. - 1977 - Kimberlite minerals from Vargem (Minas Gerais) and Redondão (Piauí) diatremes; and garnet lherzolite xenolith from Redondão. *Rev. Bras. Geoc.*, 7: 1-13.
- TRAVASSOS, J.M. - 1981 - *Distorção do campo gama primário na camada atmosférica superficial causada pela biomassa aérea de uma floresta.* Tese de mestrado, Univ. Fed. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 120 p.
- TRAVASSOS, J.M. & PIRES, A.C.B. - 1982 - On near surface effect of a tropical forest in airborne gamma-ray spectrometry. In: INT. SYMP. ON APPLIED GEOPHYSICS IN TROPICAL REGIONS, Belém 1982. *Res...* Belém, SBG, p. 29-30.
- WEDEPOHL, K.H. & MURAMATSU, Y. - 1977 - The chemical composition of kimberlites compared with that of three basaltic magma types. In: BOYD, F.R. & MEYER, H.O.A. eds., *Kimberlites, diatremes and diamonds: Their geology, petrology and geochemistry*. Washington, A.G.U. p. 300-312.
- WOODZICK, T.L. & McCALLUM, M.E. - 1982 - A teledetective study of kimberlite regions in N. America, E. Africa, and Siberia. *Terra Cognita*, 2: 203.

## MANUSCRITO

Recebido em 30 de dezembro de 1983  
Revisado aceita em 30 de janeiro de 1984

Nosso conhecimento pode ser apenas finito, ao passo que nossa ignorância tem que ser necessariamente infinita.

Karl Popper