

MINERAIS INDICADORES KIMBERLÍTICOS E PROSPECTIVIDADE DIAMANTÍFERA DA INTRUSÃO ALFEU-01 (CANGUÇU, RS)

Mario Luiz de Sá Carneiro CHAVES¹, Kerley Wanderson ANDRADE², Andrezza de Assis AZZI³, Francisco Valdir SILVEIRA⁴

- (1) Centro de Pesquisa Prof. Manoel Teixeira da Costa, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Pesquisador CNPq. Endereço eletrônico: mchaves@ufmg.br.
(2) GEOMIL - Serviços de Mineração Ltda, Belo Horizonte. Endereço eletrônico: kerley@geomil.com.br.
(3) Mestranda em Geologia Regional, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo. Endereço eletrônico: andrezzazzi@gmail.com.
(4) Serviço Geológico do Brasil – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Brasília, Distrito Federal. Endereço eletrônico: francisco.silveira@cprm.gov.br.

Introdução

A intrusão kimberlítica Alfeu-01

Aspectos Petrográficos

Geoquímica

Mineraloquímica e prospectividade dos indicadores kimberlíticos

Piropo

Ilmenita

Cromita

Diopsídio

Comparações com kimberlitos férteis de Minas Gerais

Considerações finais

Referências bibliográficas

RESUMO - A intrusão kimberlítica Alfeu-01 foi descoberta em 1994, ocorrendo encaixada em rochas granitóides do Complexo Pinheiro Machado, de idade neoproterozoica, no Escudo Sul-Riograndense. O kimberlito, melanocrático, possui uma matriz afanítica onde se podem observar xenólitos das rochas encaixantes, bem como macrocristais de flogopita, rutilo, granada e possivelmente diopsídio. As descrições petrográficas (basicamente flogopita + olivina + talco + serpentina) indicam que se trata de uma brecha explosiva, provavelmente da fácies diatrema. Em termos geoquímicos, destacam-se os altos conteúdos de TiO_2 , K_2O e MnO , contrastando com intrusões diamantíferas de Minas Gerais. As granadas foram divididas em três tipos, por suas colorações, observando-se uma forte associação das colorações com os conteúdos de Fe_2O_3 , MgO e Cr_2O_3 . Tais granadas, da espécie piropo, situam-se nos campos mineraloquímicos G4, G5 e G9, *trend* em geral relacionado a intrusões estéreis. Do mesmo modo, o elevado grau de oxidação presente na Mg-ilmenita não é condizente com a preservação de diamantes. As cromitas analisadas apresentaram-se fora do campo desse mineral como inclusão em diamante. O diopsídio da intrusão é pobre em cromo, e reconhecido como de associação à suíte de basaltos alcalinos. Todos os parâmetros mineralógicos enfocados divergem caracteristicamente dos encontrados em kimberlitos férteis de Minas Gerais e, desta maneira, desestimulam fortemente quaisquer trabalhos de prospecção mais detalhada sobre a intrusão.

Palavras chave: kimberlito, minerais indicadores, Escudo Sul-Riograndense.

ABSTRACT - The Alfeu-01 kimberlite intrusion was discovered in 1994, and is hosted by granitoid rocks of the Pinheiro Machado Complex, of Neoproterozoic age, in the Sul-Riograndense shield. This kimberlite is melanocratic, and has an afanitic matrix where xenoliths of the host rocks as well as macrocrysts of phlogopite, rutil, garnet and, possibly diopside can be observed. The petrographic descriptions (basically phlogopite + olivine + talc + serpentine) indicate that it is an explosive breccia, probably of diatrema facies. In geochemical terms, the high contents of TiO_2 , MnO and K_2O are characteristics, in contrast with diamondiferous intrusions of Minas Gerais. The garnets were divided into three different colors, a strong association of colors with the Fe_2O_3 , MgO and Cr_2O_3 contents having been observed. All garnets, identified as the pyrope type, are located in the mineral fields known as G4, G5 and G9, generally not associated to fertile intrusions. In the same way, the high oxidation grade in the Mg-ilmenite is not favorable for diamond preservation. Chromite data indicates that the mineral is out of the diamond inclusion field. Diopside of the intrusion is Cr-poor, and recognized as associated to an alkaline basalt suite. All mineralogical parameters characteristically diverge from the observed in fertile kimberlites of Minas Gerais; in this way, they strongly not encourage another prospecting works on the intrusion.

Keywords: kimberlite, indicator minerals, Sul-Riograndense shield.

INTRODUÇÃO

O Brasil possui intrusões kimberlíticas distribuídas por numerosas regiões, as mais bem conhecidas no âmbito dos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Rondônia. A grande maioria dessas intrusões foi descoberta pela SOPEMI, do grupo sul-africano De Beers, desde inícios dos anos 1968 até 2005, quando tal empresa se retirou do país. Devido às condições intempéricas prevalecentes, em geral as intrusões não afloram ou são subaflorantes e foram encontradas a partir do rastreamento aluvionar de minerais indicadores, conhecidos na literatura como KIMs (*kimberlite indicator minerals*). A localização exata dos kimberlitos, antes mantida sob severo sigilo, tornou-se progressivamente de domínio público, de modo que, na atualidade, cerca de 1300 intrusões deste tipo ou de rochas parentais estão razoavelmente cadastradas.

No Rio Grande do Sul, a pesquisa de kimberlitos por empresas mineradoras nunca foi estimulada por se acreditar em condições

pouco ideais, em termos geotectônicos, de possibilidade de ocorrência dessas intrusões. Entretanto, durante os trabalhos de integração e mapeamento geológico executados pelo SGB-CPRM na Folha Pedro Osório (1:250.000), foi descoberta uma intrusão ultramáfica, designada de “Diatrema de Canguçu”, nas proximidades da cidade homônima centrado nas coordenadas UTM X e Y, e desde então considerada um kimberlito (Caldasso & Sander, 1994). Recentemente este corpo foi amostrado visando seus minerais indicadores, como parte do “Projeto Diamante Brasil”, da mesma empresa, e rebatizado como Kimberlito Alfeu-01, em homenagem ao seu descobridor, o geólogo Alfeu Caldasso (Sander et al., 2010). O estudo químico detalhado desses minerais com microsonda eletrônica visando sua prospectividade para diamantes, incluindo também aspectos petrográficos e geoquímicos da rocha mãe, constituem os objetivos do presente trabalho.

A INTRUSÃO KIMBERLÍTICA ALFEU-01

A rocha aflora no leito e no corte da estrada vicinal que liga Canguçu à sua zona rural, 4 km a nordeste da cidade (Figura 1), que se localiza a cerca de 200 km ao sul de Porto Alegre (Ramgrab & Wildner, 2000). Caldasso & Sander (1994) descreveram o afloramento como bastante alterado, com cores que variam de preto/castanho escuro ao verde musgo, embora ainda preserve estrutura e textura primárias. Assim, na matriz afanítica é possível distinguir-se xenólitos das encaixantes (quartzito, granito, andesito e milonito), de dimensões centimétricas a decimétricas, bem como fenocristais de 3,0 mm até 2,5 cm. Ainda segundo esses autores, tanto os fragmentos de rocha como os fenocristais, individuais ou em agregados, mostram-se arredondados, como se tivessem sido movimentados por fluidização. Esses fenocristais, em ordem decrescente, são de: mica marrom (flogopita), rutilo, granada e, possivelmente, diopsídio alterado.

Segundo Sander et al. (2010), as observações de campo e amostras de mão indicam que o nível de erosão atual expõe, possivelmente, rochas relacionadas ao fácies

diatrema, conforme as feições texturais, estruturas primárias e mineralogia presentes, concordantes com as observações anteriores. A intrusão, de idade desconhecida, ocorre em sienogranito do Complexo Granito-Gnáissico Pinheiro Machado, componente do Escudo Sul-Riograndense (Figura 1), datado entre 780 e 575 Ma. Para Provenzano et al. (2010) este corpo encontra-se aparentemente isolado, distante cerca de 200 km a sudeste da “Província Kimberlítica Rosário do Sul”, onde há registro da presença de 31 corpos agrupados em cinco Clusters, 4 dos quais descobertos pela SOPEMI nos anos 80 e o último pela CPRM em 2010.

Aspectos Petrográficos

Pela análise petrográfica de duas amostras do kimberlito, as quais preferenciaram a matriz afanítica, observou-se uma composição estimada visualmente de: flogopita (20%), minerais opacos (20%), filossilicatos finos – flogopita + talco (20%), serpentina (10%), apatita (1%) e granada (traços). Cerca de 30% da massa é composta de fragmentos brechosos

de rocha granitóide, em cuja mineralogia predominam quartzo e microclínio. O quartzo encontra-se recristalizado e muitas vezes com grãos poligonalizados. O microclínio pode apresentar textura pertítica, ou ainda alteração para sericita. Aparece também biotita, embora em grande parte em lâminas muito alteradas.

As descrições corroboram que a rocha constitui uma brecha explosiva, possivelmente da zona de diatrema. Ela possui composição alcalina constituída praticamente por flogopita, e grande quantidade de opacos (óxidos e hidróxidos de ferro). Observam-se fragmentos

grandes de rochas granitóides (que se destacam na rocha) e inúmeros pseudomorfos de cristais de olivina, agora já alterados para serpentina, hidróxidos e material criptocristalino, aparecendo em meio a uma massa muito fina de filossilicatos. Entre outras características destacam-se: cristais de granada com flogopita nas bordas e aglomerados de pequenos cristais de apatitas (Figura 2A-D). Petrograficamente a rocha assemelha-se a um kimberlito (ou lamproíto) alterado, contudo seria necessária uma análise mais detalhada da mineralogia para melhor classificar o protólito.

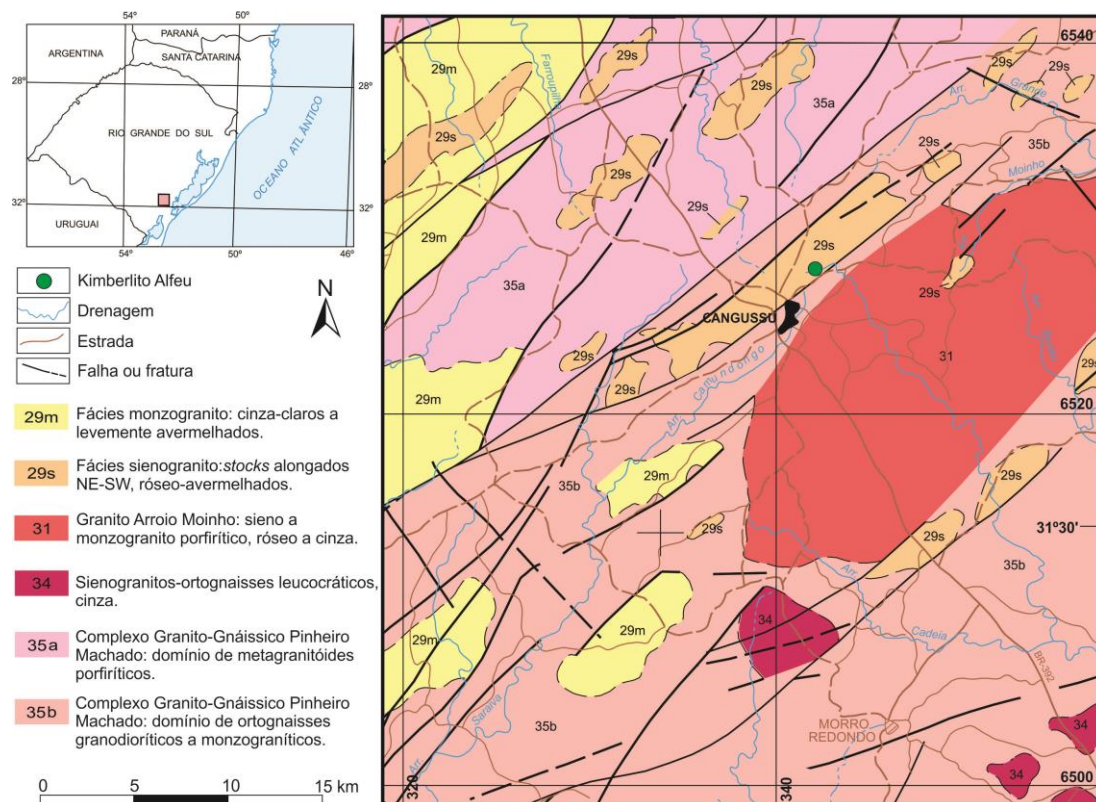


Figura 1. Geologia simplificada da região de Canguçu, Rio Grande do Sul (simplificada de Ramgrab & Wildner, 2000). A grafia “Cangussu” com dois “s” é uma incorreção do mapa original.

Geoquímica

No estudo, foram caracterizados em termos químicos os elementos maiores e menores/traços do corpo (Tabelas 1 e 2), onde também se comparam os dados em relação a algumas intrusões diamantíferas e não diamantíferas de Minas Gerais, a saber: Canastra-1 e Abel Régis (Chaves et al., 2012), Grotta do Cedro (Andrade & Chaves, 2011), Vargem-1, Grotão e Vandinho (dados inéditos). As análises, por fluorescência de raios X, foram efetuadas nos laboratórios do SGS-GEOSOL Ltda, em Vespasiano (MG).

Em relação aos elementos maiores, observam-se concentrações relativamente mais altas de TiO_2 , K_2O e MnO , e uma semelhança razoável com o Kimberlito Vandinho (estéril), de Carmo do Paranaíba, bem como diferenças marcantes com as intrusões diamantíferas Canastra-1 (São Roque de Minas), Abel Régis (Carmo do Paranaíba) e Vargem-1 (Coromandel). Em relação aos elementos traços (Tabela 2), mantém-se a relativa semelhança com o Kimberlito Vandinho, embora se destaque os expressivos valores de Ni, Zn e Zr nesta última intrusão em relação a todas as outras enfocadas.

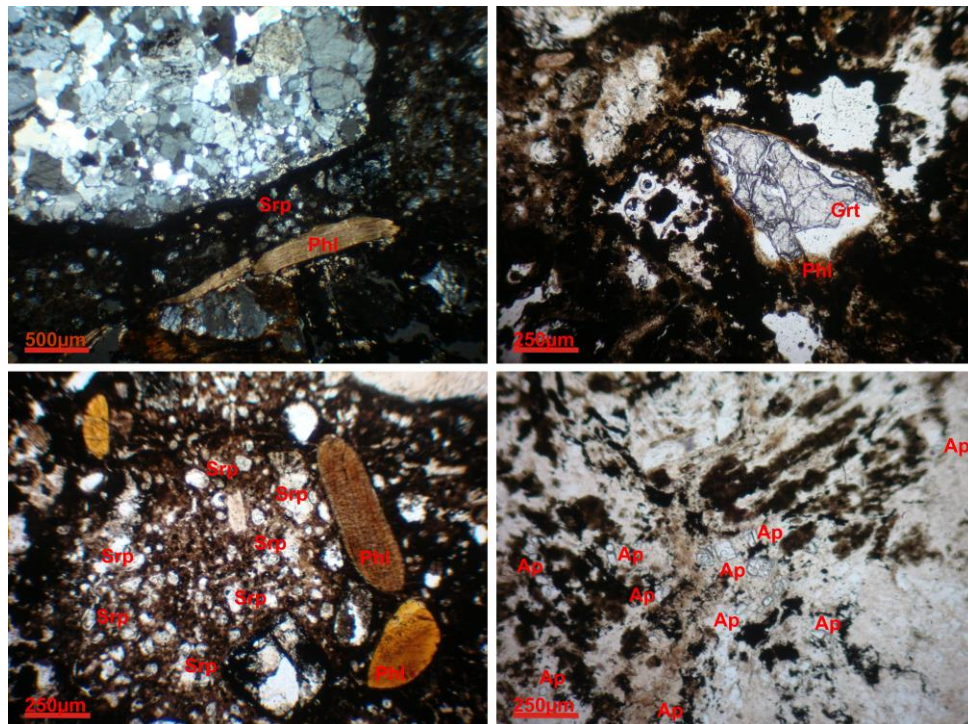


Figura 2. Aspectos petrográficos do Kimberlito Alfeu-01. (A) Xenólito de granitóide, com bordas irregulares e fragmento de flogopita (Phl), em matriz de pseudo-olivinas alteradas para serpentina (Srp) e, também compoendo a matriz, outros filossilicatos finos (nicóis cruzados). (B) Fragmento de cristal de granada (Grt), envolto por flogopita (Phl), observando-se uma grande quantidade de minerais opacos por toda a seção (nicóis paralelos). (C) Detalhe das pseudo-olivinas (transformadas em serpentina - Srp) e filossilicatos finos (nicóis paralelos). (D) Aglomeração intensa de cristais de apatita - Ap (nicóis paralelos).

Tabela 1. Análises químicas por fluorescência de raios X de elementos maiores e menores em amostras do Kimberlito Alfeu-01, comparadas a outros kimberlitos ou rochas parentais de Minas Gerais (dados em %). Intrusões: ALF, Alfeu; CAN, Canastra-1; ARE, Abel Régis; VAR, Vargem-1; GCE, Grota do Cedro; GRO, Grotão; VAN, Vandinho (Laboratório SGS-GEOSOL; Vespasiano, MG). Todo ferro contido como Fe_2O_3 . (*) Médias de quatro amostras; (**) Médias de três amostras.

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	PF	Total
ALF-a	41,51	6,13	11,70	21,90	0,63	4,32	1,85	0,39	4,77	1,11	6,26	100,56
ALF-b	40,62	5,99	11,60	23,40	0,65	3,80	1,63	0,44	4,67	1,01	5,80	99,79
CAN*	33,64	2,38	2,07	10,40	0,16	29,75	7,46	0,06	1,00	0,46	13,44	100,59
ARE*	43,78	3,42	5,64	10,52	0,17	17,56	6,82	1,59	2,20	0,55	6,92	99,17
VAR	38,70	1,77	4,88	9,27	0,16	17,20	8,19	<0,10	1,01	0,21	17,55	98,94
GCE**	37,20	3,02	5,36	10,10	0,18	15,00	8,83	0,17	3,38	0,97	14,96	99,17
GRO**	43,49	7,81	6,62	15,70	0,24	7,50	8,10	0,61	6,26	1,75	2,34	100,43
VAN*	38,63	8,89	8,26	22,70	0,36	6,30	0,78	<0,10	4,52	1,72	7,09	99,32

Tabela 2. Análises químicas por ICP-MS de elementos traços em amostras do Kimberlito Alfeu-01, comparadas a outros kimberlitos ou rochas parentais de Minas Gerais (dados em ppm). Intrusões: ALF, Alfeu; CAN, Canastra-1; ARE, Abel Régis; VAR, Vargem-1; GCE, Grota do Cedro; GRO, Grotão; VAN, Vandinho (Laboratório SGS-GEOSOL; Vespasiano, MG). (*) Médias de quatro amostras; (**) Médias de três amostras.

	As	Ba	Co	Cr	Cu	Ni	Sc	Sr	Th	U	V	Y	Zn	Zr
ALF-a	36	1364	144	284	137	326	19	358	<20	<20	172	58	271	594
ALF-b	31	1384	190	235	125	323	17	308	<20	<20	169	54	182	509
CAN*	<10	1088	65	975	102	771	14	400	<20	<20	273	05	51	130
ARE*	<10	908	50	470	44	491	<10	933	14	<20	143	12	60	238
VAR	<10	414	70	524	28	1029	08	583	<20	<20	87	13	73	166
GCE**	24	2975	52	423	71	451	22	1534	61	<20	121	51	90	719
GRO**	36	2124	48	130	145	192	33	1087	<20	<20	66	21	117	657
VAN*	40	1460	164	222	388	1480	42	405	40	<20	288	69	457	1091

MINERALOQUÍMICA E PROSPECTIVIDADE DOS INDICADORES KIMBERLÍTICOS

Sander et al. (2010) descrevem uma variação lateral da mineralogia, com enriquecimento de macrocristais de flogopita do centro para as bordas e, na direção oposta, um enriquecimento em macrocristais de ilmenita. A mineralogia principal consiste de macrocristais de flogopita (até 3 cm de diâmetro) e de ilmenita (até 1,5 cm), esta última às vezes encapada de leucocênio, com formas desde arredondadas até angulosas. A mineralogia acessória que ocorre na parte central do corpo, compreende granada nas cores laranja, rósea/avermelhada e lilás, um pouco corroídas e quebradas, por vezes com superfícies kelifíticas. Aparecem ainda, subordinadamente, Cr-espínélio, diopsídio e olivina, com até 3 mm de diâmetro, sendo os dois últimos muito alterados.

Os minerais foram amostrados pelo SGB-CPRM no âmbito do “Projeto Diamante Brasil” (Silveira & Britto, 2010), cujas seções polidas dos grãos foram analisadas pelo primeiro autor

do trabalho (MLSCC) com microsonda eletrônica, no Laboratório de Microanálises (LMA) do Departamento de Física do IDEX/UFMG.

Piropo

As granadas analisadas com microsonda eletrônica (cerca de 50 grãos) são de diversas colorações/matizes (Tabela 3), observando-se nítidas associações entre tais cores e seus aspectos mineraloquímicos, embora todas sejam caracterizadas como da espécie piropo $[Mg_3Al_2(SiO_4)_3]$. De tal modo, constatou-se que as granadas laranjas são muito pobres em cromo e relativamente mais ricas em FeO, que entra na estrutura do mineral substituindo o magnésio. As de colorações rósea e lilás são fortemente magnesianas ($MgO > 20\%$) além de cromíferas, ocorrendo ainda enriquecimento progressivo de Cr_2O_3 nas de coloração lilás em relação às róseas.

Tabela 3. Análises com microsonda eletrônica de diferentes variedades de piropo amostradas no Kimberlito Alfeu-01 (médias de três pontos por grão; todo ferro como FeO).

Nº	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	Na ₂ O	MnO	Total
Granadas de cor laranja										
Alf-G-1	42,30	23,83	8,65	4,35	21,05	0,25	0,15	0,03	0,33	100,95
Alf-G-2	42,00	23,42	7,52	4,52	21,41	0,30	0,40	0,06	0,37	100,00
Alf-G-3	41,61	23,34	11,29	4,05	18,87	0,28	0,18	0,04	0,37	100,02
Alf-G-4	41,31	23,40	11,23	4,76	18,28	0,20	0,32	0,06	0,41	99,96
Alf-G-5	41,93	23,31	9,31	4,08	19,84	0,24	0,31	0,03	0,38	99,42
Alf-G-6	41,34	23,05	9,69	4,56	19,39	0,27	0,09	0,03	0,33	98,75
Alf-G-7	41,83	23,15	9,49	4,20	19,80	0,31	0,54	0,06	0,24	99,62
Alf-G-8	41,52	23,18	10,20	4,01	19,88	0,25	0,49	0,03	0,40	99,95
Alf-G-9	41,88	23,19	10,21	4,21	19,94	0,35	0,53	0,07	0,28	100,64
Alf-G-10	40,67	22,48	15,79	4,59	15,55	0,53	0,02	0,06	0,39	100,08
Alf-G-11	40,02	22,06	16,96	4,96	14,05	0,60	0,01	0,08	0,41	99,15
Alf-G-12	40,59	22,31	16,91	4,84	14,72	0,62	0,01	0,05	0,38	100,42
Alf-G-13	40,37	22,04	17,06	4,78	14,38	0,63	0,02	0,07	0,44	99,79
Alf-G-14	39,68	22,30	17,60	4,84	14,73	0,71	0,00	0,08	0,45	100,40
Alf-G-15	40,14	22,39	17,57	4,85	14,60	0,57	0,01	0,09	0,41	100,62
Alf-G-16	41,51	23,26	9,82	4,14	20,08	0,33	0,53	0,04	0,27	99,99
Alf-G-17	39,97	21,95	16,76	4,95	13,88	0,63	0,00	0,08	0,42	98,64
Alf-G-18	40,60	22,31	16,80	4,98	14,30	0,61	0,00	0,08	0,49	100,17
Alf-G-19	40,60	22,31	17,00	4,92	14,73	0,69	0,01	0,06	0,41	100,74
Granadas de cores rósea ou avermelhada										
Alf-G-20	42,39	22,69	7,02	4,09	22,05	0,19	1,92	0,02	0,36	100,73
Alf-G-21	42,32	22,67	7,34	4,90	20,70	0,28	1,36	0,06	0,33	99,96
Alf-G-22	41,86	22,62	7,22	4,98	20,42	0,13	1,57	0,04	0,39	99,23
Alf-G-23	41,54	22,66	8,39	4,72	20,28	0,22	1,39	0,02	0,33	99,55
Alf-G-24	41,97	22,31	7,22	5,05	20,85	0,18	2,12	0,03	0,32	100,05
Alf-G-25	42,29	22,56	7,03	5,05	20,97	0,19	1,85	0,05	0,39	100,37
Alf-G-26	42,14	22,63	6,31	5,15	21,27	0,13	2,07	0,02	0,35	100,07

Alf-G-27	42,11	22,81	6,93	5,45	21,03	0,14	1,97	0,01	0,34	100,79
Alf-G-28	41,59	21,61	6,43	5,31	21,52	0,33	2,87	0,02	0,32	99,99
Alf-G-29	42,21	22,43	5,90	5,32	21,37	0,10	2,26	0,04	0,31	99,95
Granadas de cor lilás										
Alf-G-30	42,12	21,66	5,83	5,20	21,23	0,14	2,82	0,01	0,33	99,33
Alf-G-31	42,10	21,36	6,21	5,42	21,27	0,20	3,43	0,03	0,28	100,30
Alf-G-32	41,63	22,20	6,87	5,42	20,72	0,09	2,07	0,02	0,41	99,43
Alf-G-33	42,09	20,97	6,28	5,65	21,19	0,32	3,79	0,03	0,31	100,62
Alf-G-34	41,91	21,57	6,00	5,66	20,98	0,14	3,07	0,04	0,27	99,63
Alf-G-35	42,18	21,34	6,39	5,51	21,26	0,17	3,54	0,03	0,28	100,70
Alf-G-36	42,03	21,51	6,88	5,51	20,93	0,12	3,14	0,02	0,31	100,45
Alf-G-37	42,05	22,31	6,94	5,61	20,74	0,06	2,43	0,01	0,34	100,49
Alf-G-38	42,18	22,51	5,92	5,39	21,13	0,11	2,22	0,02	0,32	99,81
Alf-G-39	42,08	21,29	6,21	5,60	20,84	0,25	3,64	0,05	0,35	100,30
Alf-G-40	42,10	20,07	5,85	6,04	20,71	0,34	4,98	0,03	0,29	100,41
Alf-G-41	42,22	20,94	5,68	5,66	21,25	0,15	4,01	0,01	0,33	100,25
Alf-G-42	42,45	21,89	5,54	5,09	22,18	0,25	3,21	0,03	0,23	100,87
Alf-G-43	41,98	21,24	5,87	5,41	21,07	0,16	3,35	0,02	0,29	99,40
Alf-G-44	41,99	20,85	5,63	5,65	20,87	0,22	3,87	0,03	0,30	99,41
Alf-G-45	41,74	21,60	5,84	5,49	20,70	0,19	3,04	0,04	0,32	98,96
Alf-G-46	41,82	21,36	5,76	5,69	20,78	0,14	3,53	0,02	0,32	99,43
Alf-G-47	41,95	21,01	5,95	5,53	20,97	0,20	3,52	0,04	0,26	99,43
Alf-G-48	41,94	20,55	6,18	6,12	20,35	0,21	4,26	0,02	0,33	99,95

No diagrama CaO versus Cr₂O₃ (Figura 3), onde se inserem os campos mineraloquímicos propostos por Dawson & Stephens (1975) e depois detalhados por Grütter et al. (2004) para as granadas kimberlíticas, observa-se que os piropos de cor laranja plotam no campo G4, enquanto os róseos estão no G5 e os de cor lilás também situam-se neste último, porém com uma tendência discreta para os campos G9 e G12. Esses campos caracterizam a nível mundial intrusões estéreis ou pobres em mineralização diamantífera. Conforme observado em tal diagrama, em termos gerais as granadas apresentam-se segundo um *trend* com teores moderados de Cr₂O₃ e teores médios de CaO, condizente com uma composição predominante piroxenítica, websterítica e Eclogítica=G3, com suave tendência lherzolítica (G9) e wehrlítica (G12).

Quando tratadas de formas isoladas, as populações apresentam distribuições distintas. As granadas de coloração laranja possuem composições correspondentes ao grupo das granadas G4, com *trend* predominante horizontalizado e teores de CaO variando entre 0,15% e 0,53%, e de Cr₂O₃ entre 4,0% e 5,0%.

As granadas róseas apresentam um *trend* verticalizado e teores de CaO variáveis entre 4,0 e 5,3%, e de Cr₂O₃ entre 1,3 e 2,9%. Quanto às granadas de cor lilás, elas se concentram no campo de composição G5 e possuem teores de CaO que variam entre 5,0% e 6,2%, e de Cr₂O₃ entre 2,0% e 5,0%.

Essa distribuição indica a forte prevalescência de granadas de origem piroxenítica (G4 e G5), com tendências quase desprezíveis à lherzolítica (G9) e wehrlítica (G12). As granadas G5 possuem conteúdos moderados de cromo em relação às granadas G9 (1% <Cr₂O₃> 4%) e, segundo Gurney (1984), sua presença em intrusões kimberlíticas poderia ser significativa pela associação local com diamantes. No entanto, posteriormente reconheceu-se que a abundância de tais granadas com variações composicionais de baixo cromo constitui um importante indício da destruição dos diamantes, caso presentes, durante a ascensão da intrusão através da litosfera (Pokhilenko et al., 1999). Granadas G10, de composição harzburgítica sub-cálcica, as quais são típicas de intrusões férteis, não foram encontradas.

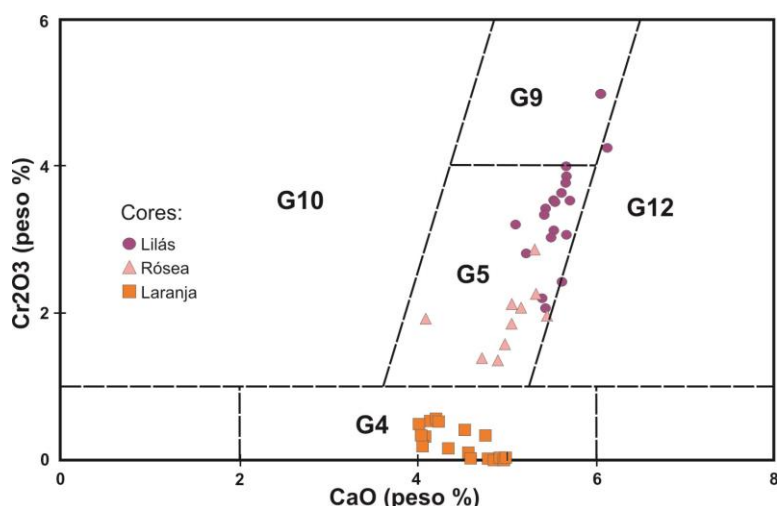


Figura 3. Diagrama da relação CaO x Cr₂O₃ para granadas kimberlíticas representativas do Kimberlito Alfeu-01, conforme os campos de classificação de Grütter et al. (2004).

Ilmenita

A ilmenita [Fe²⁺TiO₃] é o segundo mineral indicador em geral mais usado em campanhas de prospecção de kimberlitos diamantíferos. Os dados mineraloquímicos obtidos, quando plotados no diagrama estabelecido por Wyatt et al. (2004) para a composição MgO *versus* TiO₂, permite uma diferenciação quanto a composições kimberlíticas ou não

kimberlíticas. As análises com microsonda eletrônica efetuadas sobre 79 grãos (Tabela 4) mostraram nitidamente uma distribuição na faixa de transição entre os campos de composições kimberlítica a não kimberlítica, com forte tendência para este último (Figura 4A); são típicas ilmenitas magnesianas (pricioilmenitas), embora os teores de MgO possam ser considerados de médios a baixos.

Tabela 4. Análises com microsonda eletrônica de ilmenitas amostradas no Kimberlito Alfeu-01 (médias de três pontos por grão; todo ferro como FeO).

	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	FeO	ZnO	Total
Alf-Im-1	6,55	0,74	48,83	0,01	0,37	41,97	0,03	98,49
Alf-Im-2	4,87	0,77	48,50	0,03	0,55	43,78	0,01	98,51
Alf-Im-3	3,59	0,59	47,73	0,02	0,32	46,43	0,01	98,69
Alf-Im-4	6,86	0,51	50,14	0,08	0,24	41,09	0,07	98,97
Alf-Im-5	4,55	0,81	47,78	0,00	0,24	44,65	0,07	98,10
Alf-Im-6	4,54	0,78	48,24	0,02	0,25	44,31	0,02	98,16
Alf-Im-7	5,18	0,56	49,39	0,01	0,28	43,69	0,01	99,11
Alf-Im-8	4,89	0,73	48,74	0,01	0,30	45,11	0,00	99,79
Alf-Im-9	4,24	0,67	48,07	0,01	0,29	46,39	0,04	99,72
Alf-Im-10	6,02	0,74	49,42	0,01	0,26	42,25	0,03	98,73
Alf-Im-11	3,21	0,57	48,02	0,01	0,30	48,28	0,05	100,43
Alf-Im-12	4,38	0,76	48,12	0,00	0,28	45,71	0,00	99,25
Alf-Im-13	4,80	0,81	48,15	0,01	0,21	46,32	0,04	100,34
Alf-Im-14	4,09	0,65	48,00	0,02	0,30	46,00	0,02	99,08
Alf-Im-15	3,12	0,57	47,37	0,02	0,27	48,37	0,08	99,81
Alf-Im-16	3,19	0,59	47,79	0,02	0,28	48,01	0,04	99,92
Alf-Im-18	3,97	0,67	47,77	0,02	0,26	47,71	0,10	100,49
Alf-Im-19	3,21	0,55	47,19	0,02	0,35	48,68	0,07	100,07
Alf-Im-20	5,19	0,84	48,44	0,02	0,26	44,38	0,06	99,19
Alf-Im-21	3,91	0,63	48,42	0,01	0,25	45,89	0,05	99,15
Alf-Im-22	3,27	0,57	47,86	0,02	0,25	47,62	0,04	99,63
Alf-Im-23	3,72	0,63	47,52	0,00	0,32	45,64	0,00	97,84
Alf-Im-24	3,98	0,63	48,45	0,02	0,31	47,09	0,05	100,53
Alf-Im-25	5,04	0,79	48,30	0,01	0,25	45,46	0,06	99,92
Alf-Im-26	5,23	0,82	48,75	0,01	0,25	43,24	0,00	98,30

Alf-Im-28	1,62	0,78	53,43	0,02	2,62	31,64	0,00	90,10
Alf-Im-29	5,09	0,77	48,46	0,00	0,28	44,98	0,00	99,59
Alf-Im-30	4,13	0,73	47,78	0,02	0,25	45,57	0,06	98,52
Alf-Im-31	4,64	0,83	47,85	0,01	0,21	45,53	0,04	99,12
Alf-Im-32	5,17	0,84	47,99	0,01	0,24	44,67	0,02	98,94
Alf-Im-33	4,30	0,73	47,90	0,02	0,24	45,66	0,01	98,85
Alf-Im-34	4,29	0,64	47,08	0,01	0,29	47,79	0,03	100,13
Alf-Im-35	4,81	0,76	48,16	0,00	0,26	46,01	0,01	100,02
Alf-Im-36	3,41	0,57	47,44	0,04	0,27	46,61	0,02	98,36
Alf-Im-37	6,20	0,51	49,17	0,00	0,28	43,26	0,01	99,42
Alf-Im-38	3,04	0,52	46,82	0,03	0,34	48,59	0,06	99,40
Alf-Im-39	4,51	0,66	47,59	0,00	0,25	45,06	0,05	98,13
Alf-Im-40	3,40	0,53	46,84	0,02	0,29	48,01	0,05	99,14
Alf-Im-41	4,72	0,87	47,54	0,01	0,21	45,45	0,10	98,90
Alf-Im-42	4,46	0,66	47,68	0,02	0,22	45,54	0,11	98,69
Alf-Im-43	7,54	0,61	50,75	0,01	0,26	37,90	0,12	97,20
Alf-Im-44	4,49	0,90	47,76	0,03	0,24	44,71	0,08	98,21
Alf-Im-45	4,66	0,79	47,83	0,03	0,23	44,69	0,04	98,26
Alf-Im-47	4,99	0,77	48,15	0,01	0,24	44,06	0,06	98,28
Alf-Im-49	3,76	0,60	47,04	0,01	0,27	46,92	0,08	98,70
Alf-Im-50	4,87	0,74	47,81	0,01	0,23	45,24	0,02	98,92
Alf-Im-51	4,36	0,67	47,71	0,01	0,28	45,33	0,06	98,41
Alf-Im-52	3,54	0,54	46,95	0,03	0,26	47,36	0,05	98,73
Alf-Im-53	3,26	0,59	47,02	0,00	0,25	47,82	0,05	98,99
Alf-Im-54	4,07	0,71	47,57	0,03	0,27	45,56	0,06	98,25
Alf-Im-55	4,27	0,70	47,82	0,02	0,26	46,99	0,10	100,16
Alf-Im-56	3,65	0,65	47,80	0,03	0,32	46,09	0,04	98,57
Alf-Im-57	6,09	0,49	49,93	0,03	0,36	42,06	0,03	98,98
Alf-Im-58	4,42	0,73	47,90	0,00	0,24	45,58	0,04	98,90
Alf-Im-59	4,79	0,72	48,42	0,01	0,24	44,16	0,06	98,40
Alf-Im-60	4,33	0,76	47,94	0,01	0,25	46,46	0,06	99,80
Alf-Im-61	2,25	0,94	52,28	0,02	0,74	34,73	0,01	90,96
Alf-Im-62	4,83	0,66	47,88	0,00	0,29	45,28	0,01	98,95
Alf-Im-64	4,36	0,77	46,99	0,01	0,25	45,86	0,04	98,27
Alf-Im-65	5,15	0,76	48,23	0,02	0,28	45,55	0,01	99,99
Alf-Im-66	3,20	0,57	47,00	0,02	0,28	46,61	0,02	97,69
Alf-Im-67	4,38	0,82	47,85	0,01	0,26	45,01	0,03	98,36
Alf-Im-68	4,79	0,91	47,90	0,02	0,23	45,26	0,06	99,18
Alf-Im-69	7,68	0,64	50,65	0,62	0,23	39,15	0,00	98,98
Alf-Im-70	4,39	0,66	47,17	0,02	0,26	47,04	0,06	99,59
Alf-Im-71	4,92	0,84	48,26	0,02	0,20	44,82	0,00	99,06
Alf-Im-72	4,73	0,64	48,13	0,00	0,26	45,81	0,03	99,60
Alf-Im-73	4,41	0,67	48,01	0,03	0,28	45,54	0,08	99,02
Alf-Im-74	4,40	0,73	47,78	0,01	0,23	44,85	0,06	98,07
Alf-Im-76	4,89	0,77	48,52	0,01	0,25	44,61	0,03	99,08
Alf-Im-77	5,05	0,82	47,77	0,01	0,24	43,79	0,03	97,72
Alf-Im-78	4,78	0,83	49,10	0,03	0,26	44,18	0,00	99,18
Alf-Im-80	3,85	0,54	48,06	0,01	0,32	45,28	0,05	98,06
Alf-Im-81	3,33	0,56	47,17	0,00	0,26	47,02	0,06	98,39
Alf-Im-82	4,14	0,75	47,81	0,00	0,57	46,35	0,09	99,70
Alf-Im-85	4,10	0,69	47,56	0,02	0,30	46,49	0,05	99,21
Alf-Im-87	5,18	0,84	47,92	0,01	0,27	45,35	0,03	99,60
Alf-Im-88	5,22	0,80	48,41	0,03	0,25	44,91	0,09	99,71
Alf-Im-89	5,19	0,91	48,83	0,03	2,28	41,75	0,04	99,04
Média	4,48	0,70	48,18	0,02	0,34	45,05	0,04	

A abundância de ilmenitas na faixa de composição predominante $45\% < \text{Ti} > 52\%$ e $2\% < \text{Mg} > 8\%$ é um possível indicador de que a intrusão em princípio seja estéril, pois o elevado grau de oxidação presente ($\text{FeO} > 10\%$) não é condizente com a preservação de diamantes. Tal grau de oxidação elevado do mineral pode estar relacionado com a ascensão mais lenta da intrusão na litosfera, ou a uma menor espessura da raiz mantélica no ponto de colocação da mesma, ambos fatores não relacionados com as condições de estabilidade do diamante.

Ainda corroborando com tal hipótese, a tendência de colocação em ambiente oxidante

(crustal) para a intrusão é evidente no diagrama $\text{MgO} \times \text{Cr}_2\text{O}_3$ (Gurney & Moore, 1991) (Figura 4B). Todos os dados obtidos para esta relação encontram-se no campo da parábola correspondente ao ambiente oxidante, onde ocorrem processos de reabsorção do diamante, devido à ascensão lenta na crosta ou baixa espessura da raiz mantélica. De outro modo, Gurney & Zweistra (1995) sustentam que esta relação possa ter somente caráter qualitativo, uma vez que mesmo condições oxidantes localmente ainda possam permitir a preservação do mineral.

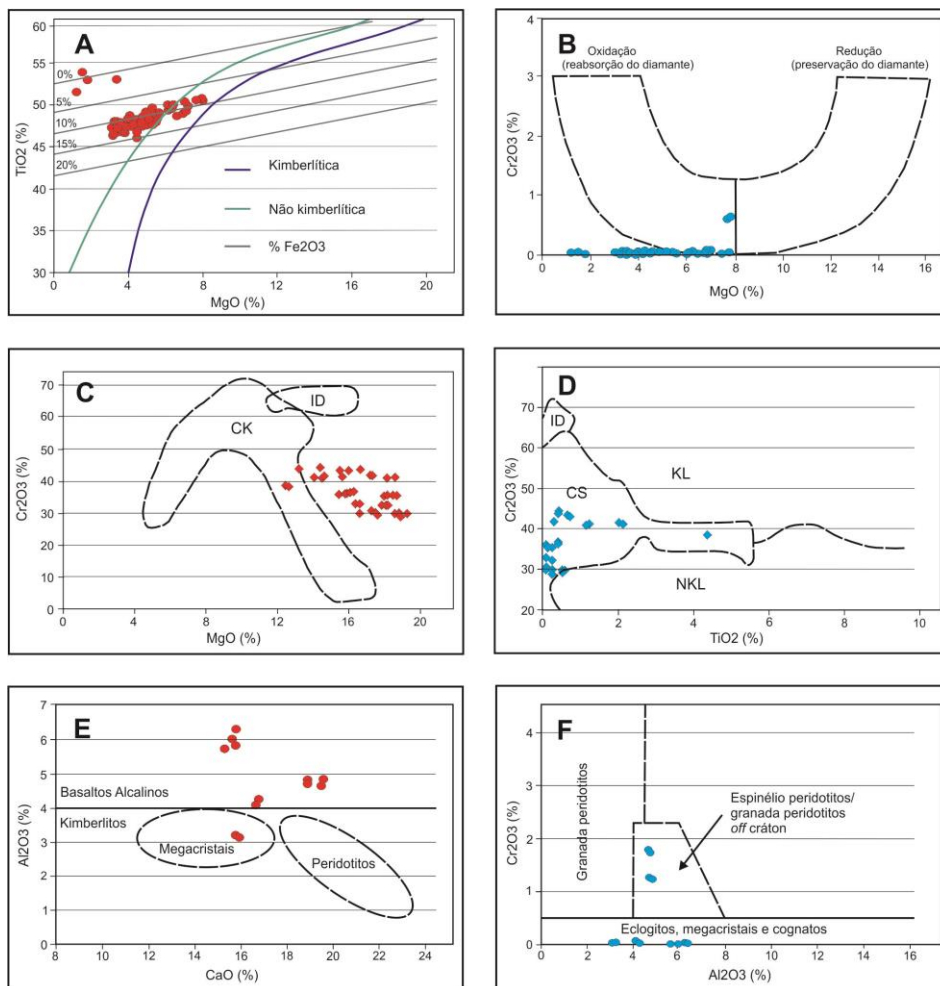


Figura 4. Diagramas representativos dos comportamentos químicos dos minerais indicadores do Kimberlito Alfeu-01.

(A) Diagrama $\text{MgO} \times \text{TiO}_2$ para classificação de ilmenitas do Kimberlito Alfeu (curvas de definição cf. Wyatt et al., 2004). (B) Diagrama $\text{MgO} \times \text{Cr}_2\text{O}_3$ de avaliação das condições de preservação e reabsorção de diamantes em ilmenitas (cf. Gurney & Moore, 1991). (C) Diagrama $\text{MgO} \times \text{Cr}_2\text{O}_3$ para classificação de Cr-espinélio (cf. Nowicki et al., 2007)

(ID, inclusão em diamante; CK, concentrados kimberlíticos). (D) Diagrama $\text{TiO}_2 \times \text{Cr}_2\text{O}_3$ em Cr-espinélio para a caracterização da fertilidade de intrusões kimberlíticas (cf. Fipke et al., 1995) (ID, inclusão em diamante; KL, afinidade kimberlítica e lamproítica; NKL, afinidade não kimberlítica ou lamproítica; CS, campo de afinidade indefinido). (E)

Diagrama $\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3$ para composição de clinopiroxênios (cf. O'Reilly & Griffin, 1987). (F) Diagrama $\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{Cr}_2\text{O}_3$ para composição e proveniência de clinopiroxênios (cf. Ramsay, 1992).

Cromita

Os dados mineraloquímicos referentes a amostras de cromita – $\text{Fe}^{2+}\text{Cr}_2\text{O}_4$ (16 grãos analisados, conforme a Tabela 5), permitem supor uma importante substituição do Cr_2O_3 por Al_2O_3 e valores bastante altos de MgO , que talvez o mineral seja melhor classificado como magnesiocromitas – MgCr_2O_4 . Esses dados, plotados no diagrama MgO versus Cr_2O_3 (Figura 4C), mostraram uma distribuição de

valores de cromo ($20\% < \text{Cr}_2\text{O}_3 > 44\%$) típica de kimberlitos do Grupo II, ou orangeítos (Figura 4C), e ainda que as análises estão inteiramente desassociadas ao restrito campo correspondente a inclusões do mineral em diamantes (cf. Gurney & Moore, 1991; Nowicki et al., 2007), ou seja, cogenéticos a eles. Segundo dados de Griffin et al. (1994) e Gurney & Zweistra (1995), tais grãos provavelmente constituem fenocristais na matriz da rocha.

Tabela 5. Análises com microsonda eletrônica de cromitas amostradas no Kimberlito Alfeu (médias de três pontos por grão; todo ferro como FeO).

	MgO	TiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	ZnO	Total
Alf-Cr-1	17,45	1,20	0,18	27,71	41,17	12,91	0,08	100,71
Alf-Cr-2	12,52	4,41	0,23	16,78	38,45	28,12	0,17	100,68
Alf-Cr-4	17,37	0,24	0,13	41,70	29,79	11,92	0,11	101,26
Alf-Cr-5	15,69	0,07	0,17	33,80	36,01	13,54	0,07	99,36
Alf-Cr-6	16,95	0,08	0,16	36,86	32,81	13,22	0,08	100,16
Alf-Cr-7	17,94	0,23	0,18	36,09	32,30	13,49	0,09	100,33
Alf-Cr-8	14,40	2,05	0,21	22,79	41,29	18,84	0,13	99,71
Alf-Cr-11	14,75	0,40	0,20	25,67	43,96	13,91	0,09	98,97
Alf-Cr-12	18,08	0,13	0,16	33,69	35,33	12,50	0,08	99,97
Alf-Cr-13	16,16	0,40	0,14	33,52	36,56	11,80	0,06	98,65
Alf-Cr-14	17,49	0,07	0,14	38,60	30,07	12,60	0,07	99,04
Alf-Cr-15	17,58	0,54	0,18	37,74	29,56	14,19	0,14	99,94
Alf-Cr-16	17,24	0,29	0,18	29,07	41,86	11,50	0,07	100,21
Alf-Cr-17	18,48	0,23	0,14	33,84	35,47	12,24	0,08	100,48
Alf-Cr-18	15,74	0,66	0,19	27,58	43,35	12,17	0,05	99,74
Alf-Cr-19	18,96	0,23	0,13	39,86	28,86	11,68	0,08	99,80
Média	16,68	0,70	0,17	32,21	36,05	14,04	0,09	

O diagrama que expressa a composição TiO_2 versus Cr_2O_3 em cromitas (Fipke et al., 1995), representa de forma mais evidente a prospectividade dos kimberlitos em geral (Figura 4D). Nesse contexto, baixos conteúdos de TiO_2 com altos valores de Cr_2O_3 apontam para um potencial diamantífero significativo. Entretanto, ainda que os dados obtidos para TiO_2 indiquem teores baixos (a médios), os valores moderados de Cr_2O_3 reforçam o baixo potencial desta intrusão, demonstrando uma composição no campo de afinidade mal definida.

Diopsídio

Análises sobre grãos verdes, típicos como de diopsídio – $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$, apresentaram valores

em dois grupos discrepantes, denotando a possibilidade de fontes diferenciadas (Tabela 6). Valores de óxido de ferro alto (8-10%) ou baixo (2-3%) caracterizam esses grupos. Os resultados obtidos, quando plotados no diagrama CaO versus Al_2O_3 (Figura 4E), indicam a provável presença de grãos originados de basaltos alcalinos (predominantes) e de megacristais em kimberlitos, podendo estar relacionados ao metassomatismo de xenólitos de basaltos alcalinos na matriz kimberlítica (O'Reilly & Griffin, 1987). As poucas análises que apresentam composição kimberlítica situam-se no campo de megacristais na matriz da rocha.

Tabela 6. Análises com microsonda eletrônica de diopsídios amostrados no Kimberlito Alfeu-01 (médias de três pontos por grão; todo ferro como FeO).

	MgO	TiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	Na ₂ O	SiO ₂	CaO	Total
Alf-Di-01	18,03	0,03	0,00	0,01	0,01	2,50	0,01	54,98	24,05	99,68
Alf-Di-02	16,34	0,31	0,15	4,79	1,75	2,29	1,65	52,29	18,87	98,46
Alf-Di-04	16,63	0,27	0,07	4,68	1,77	2,44	1,64	52,20	18,86	98,58
Alf-Di-05	16,27	1,04	0,10	4,67	1,23	2,70	1,33	51,94	19,46	98,78
Alf-Di-07	16,27	1,00	0,06	4,83	1,24	2,63	1,45	52,12	19,56	99,20
Alf-Di-09	12,53	0,87	0,14	4,11	0,01	8,82	2,57	52,58	16,63	98,26
Alf-Di-10	10,68	1,14	0,11	6,32	0,00	9,96	3,05	51,25	15,79	98,31
Alf-Di-12	14,96	0,72	0,17	3,21	0,02	8,83	2,11	53,03	15,77	98,86
Alf-Di-13	14,76	0,71	0,15	3,16	0,01	8,67	2,01	53,03	15,90	98,42
Alf-Di-14	11,89	1,07	0,18	5,57	0,02	9,45	2,94	50,70	15,24	97,12
Alf-Di-15	12,11	1,08	0,09	5,74	0,01	9,53	2,99	52,16	15,28	99,04
Alf-Di-16	10,13	1,07	0,12	5,97	0,00	10,29	3,27	51,92	15,76	98,52
Média	14,22	0,78	0,11	4,42	0,51	6,51	2,09	52,35	17,60	

Segundo a classificação proposta por Nimis et al. (2009), os grãos apresentam baixo conteúdo de Cr ($0,0 < Cr_2O_3 > 1,8\%$) e são considerados diopsídios do designado “Grupo Ib”, classificação ressaltada pelo elevado teor de alumínio em relação aos outros grupos ($3,1 < Al_2O_3 > 6,3\%$). Para tais autores, os diopsídios deste grupo resultam da diferenciação magmática por cristalização fracionada de líquidos kimberlíticos primitivos.

Quando os dados são plotados no diagrama de proveniência Al_2O_3 versus Cr_2O_3 (conforme Ramsay, 1992; Figura 4F), eles se distribuem em dois campos, correspondentes à presença do mineral como possíveis megacristais (campo “eclogitos, megacristais e cognatos”) ou como originados de espinélio peridotitos e granada peridotitos *off*-craton, não condizentes portanto com as condições ideais de preservação de diamantes.

COMPARAÇÕES COM KIMBERLITOS FÉRTEIS DE MINAS GERAIS

O Kimberlito Alfeu-01 apresenta aspectos geoquímicos não muito diferentes de outras intrusões brasileiras, particularmente de Minas Gerais, embora seu estado de alteração superficial seja um fator limitante a interpretações mais conclusivas. De tal modo, em termos de elementos maiores, menores e traços, poucas características marcantes foram observadas. Já os principais minerais indicadores, por seus excelentes estados de preservação, são úteis para comparações mais abrangentes, o que será aqui tentado para três intrusões diamantíferas mineiras; Canastra-1, Abel Régis e Vargem-1 (dados obtidos de Andrade, 2012). Entretanto, somente a primeira revelou concentração de diamantes a níveis econômicos (Chaves et al., 2008).

As granadas amostradas, todas da espécie piropo, apresentam um *trend* característico G4-

G5-G9 de origem principalmente peridotítica, mal relacionada a intrusões férteis. Em comparação com o campo de composição das granadas de kimberlitos de Minas Gerais (Andrade, 2012) observa-se uma sobreposição somente parcial entre os campos delimitados pelas duas regiões (Figura 5A). Este *trend* composicional indica que o Kimberlito Alfeu-01 possui granadas pertencentes à suíte de peridotitos lherzolíticos com fertilidade diamantífera inexpressiva, de modo diferente dos *trends* obtidos para as intrusões diamantíferas mineiras. Nestas, as intrusões apresentam duas faixas de distribuição bem marcadas, típicas de composições de corpos férteis e também não férteis em diamantes, o que deve refletir diferentes níveis mantélicos de origens.

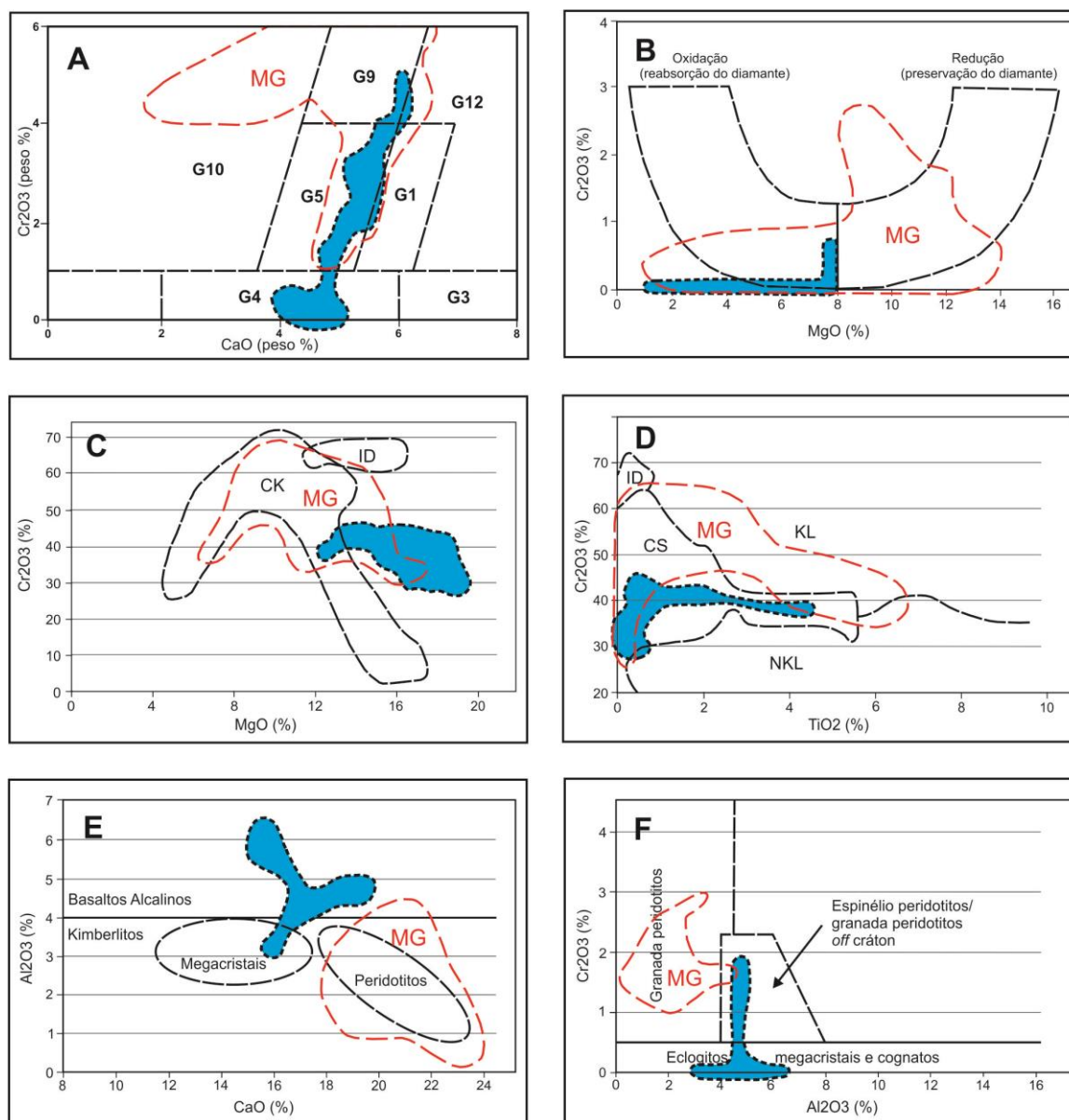


Figura 5. Comparações entre as faixas de composição encontradas para o Kimberlito Alfeu-01 (em azul) e as respectivas faixas composicionais de kimberlitos diamantíferos de Minas Gerais (MG - em vermelho) (cf. Andrade, 2012). (A) Diagrama MgO x TiO₂ para classificação de ilmenitas do Kimberlito Alfeu-01 (curvas de definição cf. Wyatt et al., 2004). (B) Diagrama MgO x Cr₂O₃ de avaliação das condições de preservação e reabsorção de diamantes em ilmenitas (cf. Gurney & Moore, 1991). (C) Diagrama MgO x Cr₂O₃ para classificação de Cr-espinélio (cf. Nowicki et al., 2007) (ID, inclusão em diamante; CK, concentrados kimberlíticos). (D) Diagrama TiO₂ x Cr₂O₃ em Cr-espinélio para a caracterização da fertilidade de intrusões kimberlíticas (cf. Fipke et al., 1995) (ID, inclusão em diamante; KL, afinidade kimberlítica e lamproítica; NKL, afinidade não kimberlítica ou lamproítica; CS, campo de afinidade indefinido). (E) Diagrama CaO x Al₂O₃ para composição de clinopiroxênios (cf. O'Reilly & Griffin, 1987). (F) Diagrama Al₂O₃ x Cr₂O₃ para composição e proveniência de clinopiroxênios (cf. Ramsay, 1992).

Do mesmo modo, o elevado grau de oxidação observado na ilmenita indica uma não associação com a zona de estabilidade do diamante. O diagrama que melhor expressa as condições de preservação do mineral nas intrusões é o de Gurney & Moore (1991). Neste diagrama (Figura 5B), a tendência de colocação em ambiente crustal (oxidante) para o kimberlito é evidente, pois todos os dados encontram-se no campo da parábola

correspondente, onde ocorrem processos relativos à absorção do diamante. Não obstante, tal situação também diverge das presentes nas províncias kimberlíticas mineiras, onde ilmenitas formadas tanto em condições ambientais oxidantes como reductoras foram observadas.

Na cromita, as comparações obtidas através dos diagramas MgO *versus* Cr₂O₃ (Figura 5C) e TiO₂ *versus* Cr₂O₃ (Figura 5D), expressam

também de modo nítido as diferenças entre o Kimberlito Alfeu-01 com as intrusões comparadas nas províncias mineiras. Tanto no primeiro diagrama como no segundo, as faixas de sobreposição com o campo mineraloquímico de inclusões do mineral em diamantes são nulas, além de bastante distanciadas em termos composicionais. Nas províncias de Minas Gerais, o maior espalhamento de tais valores de composição permitiu com que fosse alcançado inclusive o campo das cromitas inclusas, em ambos os diagramas apresentados.

Em relação ao diopsídio, comparando-se com os dados apresentados pelos kimberlitos diamantíferos de Minas Gerais (Andrade, 2012), são ressaltadas também as diferenças nítidas com o kimberlito ora estudado. No diagrama CaO versus Al_2O_3 (Figura 5E) observa-se nos primeiros a forte tendência do diopsídio a uma composição original essencialmente peridotítica, característica de granada peridotitos compatíveis com fontes mantélicas férteis. Correspondem a Cr-diopsídios do designado “Grupo III” (Nimis et

al., 2009), que se caracterizam por uma composição heterogênea de elementos maiores e conteúdos relativamente elevados de Cr ($3 < \text{Cr}_2\text{O}_3 > 4\%$); esta composição é típica de xenólitos metassomatizados de origem peridotítica.

A diferença entre essas regiões é reforçada quando os valores obtidos para o diopsídio são plotados no diagrama Al_2O_3 versus Cr_2O_3 (Figura 5F). No Kimberlito Alfeu, os dados distribuem-se nos campos correspondentes à presença deste mineral como megacristais (campo “eclogitos, megacristais e cognatos”) ou como de origem peridotítica (campo “espinélio peridotitos e granada peridotitos *off-crátón*”), fora das condições de presença e/ou preservação de diamantes. Nas províncias mineiras observa-se a nítida sobreposição do *trend* obtido com uma composição essencialmente peridotítica para os piroxênios, característica de granada peridotitos cratônicos, portanto compatível com a existência de fontes mantélicas férteis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ocorrência de rochas kimberlíticas no Rio Grande do Sul é um bom exemplo do ainda escasso conhecimento sobre essas rochas no país e, sobretudo, das suas prospectividades para a descoberta de mineralização em diamantes. Neste contexto, uma vez que as intrusões em geral se encontram em adiantado estado de intemperização, devido às condições de exposição tropical, o estudo dos minerais indicadores (KIMs) torna-se uma ferramenta essencial.

O estudo desses minerais, a nível mundial, apresenta-se sobremaneira avançado, em grande parte baseado nas províncias diamantíferas sul-africanas, russas e canadenses, sem dúvida as principais em termos econômicos. No Brasil, as províncias de Minas Gerais são as melhor conhecidas,

embora a maioria das informações seja restrita as empresas prospectoras. Estudos pioneiros tem sido efetuados nas últimas décadas e certamente o avanço nesta direção trará uma definição mais exata para a identificação precoce de intrusões férteis.

O projeto “Diamante Brasil”, ora executado pelo SGB-CPRM, tem como um dos seus objetivos a coleta de KIMs em todas as intrusões conhecidas do Brasil, bem como a obtenção de dados analíticos (rocha e minerais) sobre as mesmas. O exemplo dado pelo Kimberlito Alfeu-01 é bem significativo, na medida em que o presente estudo demonstrou sua prospectividade insignificante, não justificando assim pesquisas *in loco* de maior detalhe, mesmo assim, importante pra pesquisa que envolva estudos de manto subcontinental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRADE, K.W. **Química de minerais indicadores de intrusões kimberlíticas com ênfase na Província Diamantífera Serra da Canastra (MG): importância na prospecção de intrusões férteis.** Belo Horizonte, 2012. 153p., Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.

2. ANDRADE, K.W. & CHAVES, M.L.S.C. Geologia e mineralogia do kimberlito Grota do Cedro (Coromandel, MG). **Geonomos**, v. 18, p. 39-45, 2011.

3. CALDASSO, A.L. & SANDER, A. O diatrema de Canguçu e rochas alcalinas associadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, 1994, Balneário Camboriú. **Anais...**

- Balneário Camboriú: Sociedade Brasileira de Geologia, 1994, p. 59-60.
4. CHAVES, M.L.S.C.; BRANDÃO, P. R. G.; GIRODO, A. C.; BENITEZ, L. Kimberlito Canastra-1 (São Roque de Minas, MG): geologia, mineralogia e reservas diamantíferas. **Revista da Escola de Minas**, v. 61, p. 357-364, 2008.
5. CHAVES, M.L.S.C.; ANDRADE, K.W.; AZZI, A.A.; DUSSIN, I.A. Geologia, geoquímica e mineralogia comparativa entre as intrusões diamantíferas Canastra-1 e Abel Régis (Minas Gerais). **Geociências**, v. 31, p. 516-533, 2012.
6. DAWSON, J.B. & STEPHENS, W.E. Statistical analyses of garnets from kimberlites and associated xenoliths. **Journal of Geology**, v. 83, p. 589-607, 1975
7. FIPKE, C.E.; GURNEY, J.J.; MOORE, R.O. Diamond exploration techniques emphasizing indicator mineral geochemistry and Canadian examples. **Geological Survey of Canada Bulletin**, v. 423, p. 1-86, 1995.
8. GRIFFIN, W.L.; RYAN, C.G.; GURNEY, J.J.; SOBOLEV, N.V. Chromite macrocrysts in kimberlites and lamproites: geochemistry and origin. In: MEYER, H.O.A. & LEONARDOS, O.H. (Editors), **Kimberlites, Related Rocks and Mantle Xenoliths**. Rio de Janeiro: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Special Publication 1A, p. 366-377, 1994.
9. GRÜTTER, H.S.; GURNEY, J.J.; MENZIS, A.H.; WINTER, F. An update classification scheme for mantle-derived garnet for use by diamond explorers. **Lithos**, v. 77, p. 841-857, 2004.
10. GURNEY, J.J. A correlation between garnets and diamonds in kimberlites. In: GLOBER, J.E. & HARRIS, P.G. (Editors), **Kimberlite Occurrence and Origin: a Basis for Conceptual Models in Exploration**. Perth: University of Western Australia, Geology Dept., Publication 8, p. 143-166, 1984.
11. GURNEY, J.J. & MOORE, R.O. Kimberlite garnet, chromite and ilmenite compositions. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED MINERALOGY, 1, 1991, Pretoria. **Paper 21...** Pretoria: Mineralogical Association of South Africa, p. 1-25, 1991.
12. GURNEY, J.J. & ZWEISTRA, P. The interpretation of the major element composition of mantle minerals in diamond exploration. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 53, p. 293-309, 1995.
13. NIMIS, P.; ZANETI, A.; DENCKER, I.; SOBOLEV, N.V. Major and trace element composition of chromian diopsides from the Zagadochnaya kimberlite (Yakutia, Russia): metamorphic processes, termobarometry and diamond potential. **Lithos**, v. 112, p. 397-412, 2009.
14. NOVICKI, T.E.; MOORE, R.O.; GURNEY, J.J.; BAUMGARTNER, M.C. Diamonds and associated heavy minerals in kimberlite: a review of key concepts and applications. In: MANGE, M.A. & WRIGHT, D.T. (Eds), **Heavy Minerals in Use**. Amsterdam: Elsevier, p. 1235-1267, 2007.
15. O'REILLY, S.Y. & GRIFFIN, W.L. Eastern Australia – 4000 kilometers of mantle. In: NIXON, P.H. (Editor), **Mantle Xenoliths**. New York: John Wiley & Sons, p. 267-280, 1987.
16. POKHILENKO, N.P.; SOBOLEV, N.V.; KULIGIN, S.S.; SHIMUZU, N. Peculiarities of distribution of piroxenite paragenesis garnets in Yakutian kimberlites and some aspects of the evolution of the Siberian craton lithospheric mantle. In: KIMBERLITE INTERNATIONAL CONFERENCE, 7, 1999, Cape Town. **Proceedings...** Cape Town: p. 689-698, 1999.
17. PROVENZANO, C.A.S.; SILVEIRA, F.V.; SANDER, A.; CASTRO, J.H.W. Kimberlitos e/ou rochas relacionadas no Rio Grande do Sul. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DO DIAMANTE, 5, Tibagi. **Anais...** Tibagi: Sociedade Brasileira de Geologia, p. 119, 2010.
18. RAMGRAB, G.M. & WILDNER, W. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Folha Pedro Osório SH-22-Y-C, Escala 1:250.000**. Porto Alegre: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1 carta geológica, 2000.
19. RAMSAY, R.R. **Geochemistry of diamond indicator minerals**. Perth, 1992. 246 p., PhD Thesis – University of Western Austrália.
20. SANDER, A.; SILVEIRA, F.V.; PROVENZANO, C.A.S.; CASTRO, J.H.W. Ocorrência de kimberlitos no Escudo Sul Riograndense: caso da intrusão kimberlítica Alfeu-1, região de Canguçu – RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 45, 2010, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia, 2010, p. 121.
21. SILVEIRA, F.V. & BRITTO, R.S. Projeto Diamante e Brasil: estudo das províncias kimberlíticas e áreas diamantíferas do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DO DIAMANTE, 5, 2010, Tibagi. **Anais...** Tibagi: Sociedade Brasileira de Geologia, 2010, p. 13.
22. WYATT, B.A.; BAUMGARTNER, M.; ANCKAR, E.; GRÜTTER, H. Compositional classification of “kimberlitic” and “no-kimberlitic” ilmenite. **Lithos**, v. 77, p. 819-840, 2004.

*Manuscrito recebido em: 28 de Abril de 2014
Revisado e Aceito em: 28 de Outubro de 2014*