

# QUIMISMO MINERAL DE ROCHAS KIMBERLÍTICAS E KAMAFUGÍTICAS DA PROVÍNCIA ÍGNEA DO ALTO PARANAÍBA, BRASIL

Excelso Ruberti, Rogério Guitarrari Azzone, & Celso de Barros Gomes

Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. R. do Lago, 562, 05508-080, São Paulo, SP, Brasil

## RESUMO

A Província Ígnea do Alto Paranaíba (Cretáceo) inclui carbonatitos, kimberlitos e kamafugitos. A paragênese e a composição mineral nas rochas de afinidade kamafugítica e kimberlítica (i.e., perovskita, piroxênio, olivina, flogopita e opacos) podem ser diagnósticas para a distinção dessas associações. São apresentados aqui dados de química mineral (*WDS e LAM-ICP-MS*) para algumas ocorrências, com as principais diferenças estando presentes em flogopitas ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  vs.  $\text{TiO}_2$ ) e em perovskitas ( $\text{La}/\text{Yb}$ )<sub>N</sub>.

## ABSTRACT

The Alto Paranaíba Igneous Province (Cretaceous) includes carbonatites, kimberlites and kamafugites. The paragenesis and mineral composition from rocks of kimberlitic and kamafugitic affinities (i.e. perovskite, pyroxene, olivine, phlogopite and opaques) can be diagnostic for the characterization of these associations. Mineral chemistry data (WDS and LAM-ICP-MS) of some occurrences are presented, being the main differences found in phlogopites ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  vs.  $\text{TiO}_2$ ) and perovskites ( $\text{La}/\text{Yb}$ )<sub>N</sub>.

## Introdução

A Província Ígnea do Alto Paranaíba (PIAP) acha-se situada na região centro-oeste do país e consiste em uma associação de ocorrências vulcânicas e intrusivas do Cretáceo Superior, representada por diatremas, *plugs*, lavas e tufos (rochas piroclásticas), de afinidade com kimberlitos, kamafugitos, lamproítos ou olivina melilititos; estruturas de porte maior contém carbonatitos.

Na sua porção oriental ocorrem pequenas intrusões, lavas e depósitos piroclásticos e epiclásticos de composição máfica/ultramáfica potássica pertencentes à Formação Mata da Corda (Leonards *et al.*, 1991) e tidos como representando a maior ocorrência de kamafugitos extrusivos do mundo (~4500 km<sup>2</sup>, 84-61 Ma, Read *et al.*, 2004).

As feições texturais, mineralógicas e geoquímicas das rochas que compõem essas ocorrências sugerem mais de uma litologia pertencente às linhagens acima citadas. Idades radiométricas para essas intrusões variam entre 80-90 Ma (Araújo *et al.*, 2001)

No presente trabalho são apresentadas as características químicas dos principais minerais de intrusões de afinidade kimberlíticas (Indaiá I, IN-1; Três Ranchos, TR) e kamafugíticas (Canas, CAN; Pântano, PAN; Presidente Olegário, PO; Santa Rosa, SR; e Veridiana, VER).

## Geologia e petrografia

A intrusão de *Indaiá I* localiza-se a ~25 km a W de Coromandel e tem dimensões aproximadas de 200 x 250 m (Svisero *et al.*, 1984). Encontra-se encaixada no embasamento, além de formada por rochas pretas, brechadas, com matriz fina de serpentina, calcita, piroxênio, perovskita, monticellita e opacos (Mg-ilmenita e espinélio), e macrocristais de olivina parcial ou inteiramente serpentinizados, flogopita e opacos. Com base em evidências várias, assemelham-se aos kimberlitos do Grupo I de Mitchell (1995), embora isotopicamente sejam diferentes.

A intrusão de *Três Ranchos* (*ou Fazenda Alagoinha*) situa-se a 5km a NE da cidade de Três Ranchos, e está igualmente encaixada no embasamento. A forma e as dimensões do corpo não são bem definidas, reconhecendo-se apenas pequenos blocos no solo argiloso. Compõe-se de macrocristais e fenocristais de olivina, granada e flogopita dispostos numa matriz de monticellita serpentinizada, flogopita, opacos, apatita, perovskita (Azzone & Ruberti, 2004), serpentina e calcita. Fragmentos xenólíticos arredondados a sub-angulosos de basaltos, granitos e peridotitos carbonatizados são também comuns. Segundo Danni *et al.* (1991), as características modais e texturais dessas rochas são comparáveis a kimberlitos, enquanto que Buzzi *et al.* (1991) tendem a compará-las aos kimberlitos sul africanos do Grupo I, diferindo de outros kimberlitos pela composição das micas e outros minerais da matriz (e.g., espinélios) e ainda pela natureza isotópica.

A intrusão de *Pântano* ocorre a cerca de 43 km a E de Coromandel. Apresenta forma sigmoidal e cobre área de ~0,15 km<sup>2</sup>, estando encaixada em xistos verdes proterozóicos do Grupo Canastra. São rochas escuras, com cristais maiores de olivina, flogopita, perovskita e espinélio imersos em matriz fina contendo proporções variáveis de olivina, monticellita, perovskita, espinélio, flogopita e *ocelli* de esférulas devitrificadas, além de diopsídio ocasionalmente. Essas rochas foram descritas originalmente como sendo olivina basalto. No entanto, suas feições petrográficas são comparáveis a diversos litotipos (Meyer *et al.*, 1991): kimberlito, ugandito, kamafugito ou ainda peridotito.

A intrusão de *Presidente Olegário* situa-se nas proximidades da cidade homônima na rodovia MG-410. Representa uma seqüência com lavas maciças e amigdaloidais, tufos (cinza e lapili), brechas tufíticas e diques pertencentes à associação vulcânica ultrabásica da Mata da Corda em contato com arenitos da Formação Areado ou ardósias e siltitos dobrados do Grupo Bambui. As lavas são ultramáficas porfíriticas com olivina e flogopita (xenocrstais de magnetita, perovskita e ilmenita) em matriz de diopsídio, perovskita, Mg-ilmenita, titanomagnetita, apatita, Ti-flogopita poiquilitica, Ti-K richterita e vidro, e considerada por Ulbrich & Leonards (1991) como sendo de caráter entre kamafugitos e lamproítos.

As intrusões de *Canas*, *Santa Rosa* e *Veridiana* são três ocorrências próximas, distantes entre si não mais que 6 km e situadas na porção S-SE da localidade de Coromandel. Ainda não foram detidamente estudadas, mas sabe-se que são constituídas de rochas potássicas ultrabásicas de afinidade kamafugítica, comparáveis às da Mata da Corda. São porfíriticas com micro e fenocristais de olivina e piroxênio em matriz fina de piroxênio prismático orientado, opacos e flogopita vermelha escura; ainda podem ocorrer monticellita (CAN) e, em quantidades apreciáveis, analcita intersticial (SR, CAN).

### Química Mineral

Análises dos elementos maiores e menores foram obtidas por microssonda eletrônica (*WDS*), enquanto que as referentes aos elementos traços e terras raras por *Laser Ablation Microprobe – Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer (LAM-ICP-MS)*.

A *olivina* contém elevado conteúdo de Fo e geralmente não apresenta diferenças significativas para o mg# médio dos tipos texturais dos grãos. Os valores mais elevados são encontrados nos cristais das intrusões TR (mg# 91,0) e PAN (macrocristais, mg# 91,0), estes últimos exibindo ainda composição bimodal (valores mais baixos para micro e fenocristais). Nas demais ocorrências, o mg# das olivinas varia de 82,9 a 88,9. O mineral mostra concentração expressiva em NiO nos diversos tipos texturais, sempre nos intervalos entre 0,14 e 0,50%. CaO é sempre inferior a 0,27%, com valores mais baixos (<0,1%) em IN-1 e TR. Cr (<600 ppm) e Al estão sempre próximos ao limite de detecção.

O *piroxênio* tem composição situada no campo do diopsídio, com alguns grãos passando a augita. Fenocristais zonados possuem núcleos enriquecidos em Fe<sup>2+</sup> (>0,1; valores sempre em a.f.u.) e empobrecidos em Ti (<0,03), com bordas mais ricas em Ca(>0,9), Mg (>0,8) e Ti (0,02-0,1). Os cristais da matriz são quimicamente similares às bordas de fenocristais. Com base nos elementos traços (valores em ppm), os piroxênios formam dois grupos: um com Mg# 0,44-0,70, apresentando teores mais altos de Y (~76) e mais baixos de Sr (~190), Cr (~274) e Ti (~2265); outro com Mg# 0,72-0,90, enriquecido em Sr (~343), Cr (1526) e Ti (8663), e empobrecido em Y (33). O padrão normalizado de distribuição dos ETR indica enriquecimento moderado dos leves (La/Yb=15) nos piroxênios da intrusão PO, variável nos de SR (La/Yb~1,2 a 36), e discreto (La/Yb=6) nos de CAN e VER, sendo os últimos marcados por fortes anomalias negativa de Eu (Fig. 1F).

A *flogopita* apresenta razões Mg/Fe entre 2 e 12,4, porém, campos compostionais variados para as diferentes ocorrências. No diagrama Al<sup>IV</sup>vs.Fe# (Fig. 1A), as micas situam-se em geral abaixo da linha flogopita-annita (Al<sup>IV</sup><2), indicando a existência do componente tetraferriflogopita. Elas possuem sistematicamente teor baixo em Si (5,6 a 6,2) e Al insuficiente para compensar a deficiência no sítio tetraédrico. Já parte das micas da intrusão PAN ocupa o campo acima da linha acima (Al<sup>IV</sup>>2).

No diagrama TiO<sub>2</sub>vs.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Fig. 1C) as micas estão distribuídas em dois grupos. Um com baixo TiO<sub>2</sub> (0,3-3,37%) corresponde a feno/microfenocristais e matriz de flogopitas de TR e IN-1; apresenta ainda alto mg# (0,84-0,92), BaO<0,4%, F 0,2-2,4% e Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> <0,1-0,57%. Outro com alto TiO<sub>2</sub> (3,2-6,3%) inclui as ocorrências PAN, SR, VER e PO, tendo valor mg# inferior (0,7-0,87), BaO até 3,4%, F de 0,4-4,8% e Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> muito baixo, <0,08%. As flogopitas de todas as ocorrências seguem uma tendência evolutiva segundo a tetraferriflogopita (Mitchell, 1995), com empobrecimento de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e variação na razão Fe/Mg (Fig. 1A); nota-se ainda que elas ocupam áreas distintas na Fig. 1C: parte no

campo dos orangeitos (TR e IN-1), parte concentrando-se ao redor da linha evolutiva de minette/almórito (PAN) e parte dispersa entre as várias linhas que definem a evolução de lamproítos (VER, SR, PO). O comportamento dos ETR é também variável para as distintas ocorrências em termos de concentração e fracionamento dos leves.

A perovskita tem composição próxima à da fórmula ideal, com os conteúdos mais baixos (81-92 %mol) encontrados nas amostras de TR e os mais altos (93-96 %mol) nas das demais ocorrências (Fig. 1B). A estrutura é completada com outros componentes moleculares (loparita, tausonita e lueshita), geralmente <8 %mol, à exceção do mineral de TR, chegando a 19 %mol. Outras características são os teores apreciáveis de  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  (0,2-3,2%),  $\text{Nb}_2\text{O}_3$  (0,17-0,40%),  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,19-0,7%),  $\text{SrO}$  (0,4-0,95%) e  $\text{FeO}$  (1,02-3,0%), e os conteúdos de Ba (32-3800 ppm) e Zr (349-2700 ppm). Já as amostras de TR se distinguem pelos teores mais elevados em  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  (4,0-8,2%),  $\text{Nb}_2\text{O}_3$  (0,5-1,8%),  $\text{Na}_2\text{O}$  (1,0-2,3%) e  $\text{FeO}$  (0,94-1,7%). As variações compostionais são notadas entre as diferentes amostras e cristais e, por vezes, num mesmo cristal, refletindo padrão de zoneamento químico, como indicado pelo aumento, do núcleo às bordas dos grãos, de  $\text{CaO}$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{SrO}$  e concomitante diminuição de ETR e  $\text{Na}_2\text{O}$ .

As perovskitas mostram forte enriquecimento dos ETR leves em relação aos pesados (Fig. 1E), com anomalia em Eu ( $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  entre 0,80 e 1,03) pouco expressiva. A razão média ( $\text{La/Yb}$ )<sub>N</sub> é mais elevada nas ocorrências kimberlíticas (TR, 1976; IN-1, 749) quando comparadas às kamafugíticas (SR, 346; PAN, 498), sendo as concentrações totais de ETR mais altas nas duas primeiras. Nota-se dois padrões de distribuição: o primeiro, respeitadas as particularidades acima, similar para os dois tipos de ocorrência e marcado por uma curvatura acentuada que se correlaciona aos elementos leves e médios, e com  $\text{Ce}_N > \text{La}_N$ ; o segundo comum apenas às rochas kamafugíticas (PAN e SR), com fracionamento dos leves em relação aos pesados, porém com  $\text{La}_N > \text{Ce}_N$ , e concentrações totais reduzidas.

As feições presentes no primeiro comportamento são comparáveis às dos kimberlitos Benfontein e Peuyuk, e às do orangeito Sydney-on-vaal (Mitchell, 1995). As altas razões ( $\text{La/Yb}$ )<sub>N</sub> nas perovskitas sugerem fracionamento dos ETR durante o processo de cristalização, enquanto as razões mais baixas nas rochas com afinidade kamafugítica seriam de caráter herdado, correlacionáveis às de seus magmas parentais.

Os opacos estão representados principalmente por magnetita, à exceção das amostras de TR e IN-1, onde estão presentes, respectivamente, cromita e ilmenita. O “trend” evolutivo é análogo ao da tetraferriflogopita, com perda progressiva de Al e Cr e aumento proporcional de  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  e Ti no sentido do estágio final de cristalização. Tais composições são correlacionáveis tanto ao “trend” de kimberlitos quanto aos de orangeitos e lamproítos reconhecidos na literatura (Fig. 1D).

## Referências Bibliográficas

- Araújo A. L. N., Carlson, R.W., Gaspar, J.C. & Bizzi, L.A., 2001. Petrology of kamafugites and kimberlites from the Alto Paranaíba alkaline province, Minas Gerais, Brazil. *Contr. Mineral. Petrol.*, 142, 163-177.
- Azzone, R.G., & Ruberti, E. (2004). Perovskites from intrusions of kimberlitic affinities, Alto Paranaíba Igneous Province, Brazil. 32<sup>nd</sup> Int. Geol. Congr., Florence, Abstracts, CD-ROM.
- Bizzi, L.A., Smith, C.B., de Wit, M.J., Armstrong, R.A. & Meyer, H.O.A. (1991). Mesozoic kimberlites and related alkaline rocks in south western São Francisco craton: a case for local mantle reservoirs and their interaction. 5th Int. Kimb. Conf., Araxá, Proceedings, pp.156-171.
- Boynton, W.B., 1984. Cosmochemistry of Rare Earth Elements: Meteorite Studies. In: Henderson, P. (Ed.) *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, pp.63-114.
- Danni, J.C.M., Gaspar, J.C., Gonzaga, G.M. (1991). The Fazenda Alagoinha Intrusion, Três Ranchos, Goiás. 5<sup>th</sup> Int. Kimb. Conf., Araxá, Field Guide Book, CPRM, Spec.Publ. 3/91, 31-35.
- Leonardos, O.H., Ulbrich, M.N., Gaspar, J.C. (1991). The Mata da Corda Volcanic Rocks. 5<sup>th</sup> Int. Kimb. Conf., Araxá, Field Guide Book, CPRM Spec. Publ. 3/91, pp. 65-73.
- Meyer, O.A., Garwood, B.L., Svisero, D.P., Smith, C.B. (1991). Alkaline ultrabasic intrusions in western Minas Gerais, Brazil. 5<sup>th</sup> Int. Kimb. Conf., Araxá, Proceedings, pp.140-155.
- Mitchell, R.N. (1995). Kimberlites, orangeites, and related rocks. Plenum Press, 410p.
- Mitchell, R.H., 1996. Perovskites: a revised classification scheme for an important rare earth element host in alkaline rocks. In: Jones, A.P., Wall, F. & Williams, C.T. (eds.), *Rare Earth Minerals - chemistry, origin and ore deposits*. The Mineralogical Society Series 7. Chapman & Hall, pp. 41-76.
- Read, G., Grutter, H., Winter, S., Luckman, N., Gaunt, F. & Thomsen, F. (2004). Stratigraphic relations, kimberlite emplacement and lithospheric thermal evolution, Quiricó Basin, Minas Gerais State, Brazil. *Lithos* 77, 803-818.
- Svisero, D.P., Meyer, H.O.A., Haralyi, N.L.E., Hasui, Y. (1984). A note on the geology of some brasilian kimberlites. *J. Geol.* 92, 331-338.
- Ulbrich, M.N.C. & Leonardos, O.H. (1991). The Ultrabasic Potassic rocks of Presidente Olegário, Serra da Mata da Corda, Minas Gerais, Brazil. 5<sup>th</sup> Int. Kimb. Conf., Araxá. Extended Abstracts, CPRM Special Publication 2/91, 437-439.

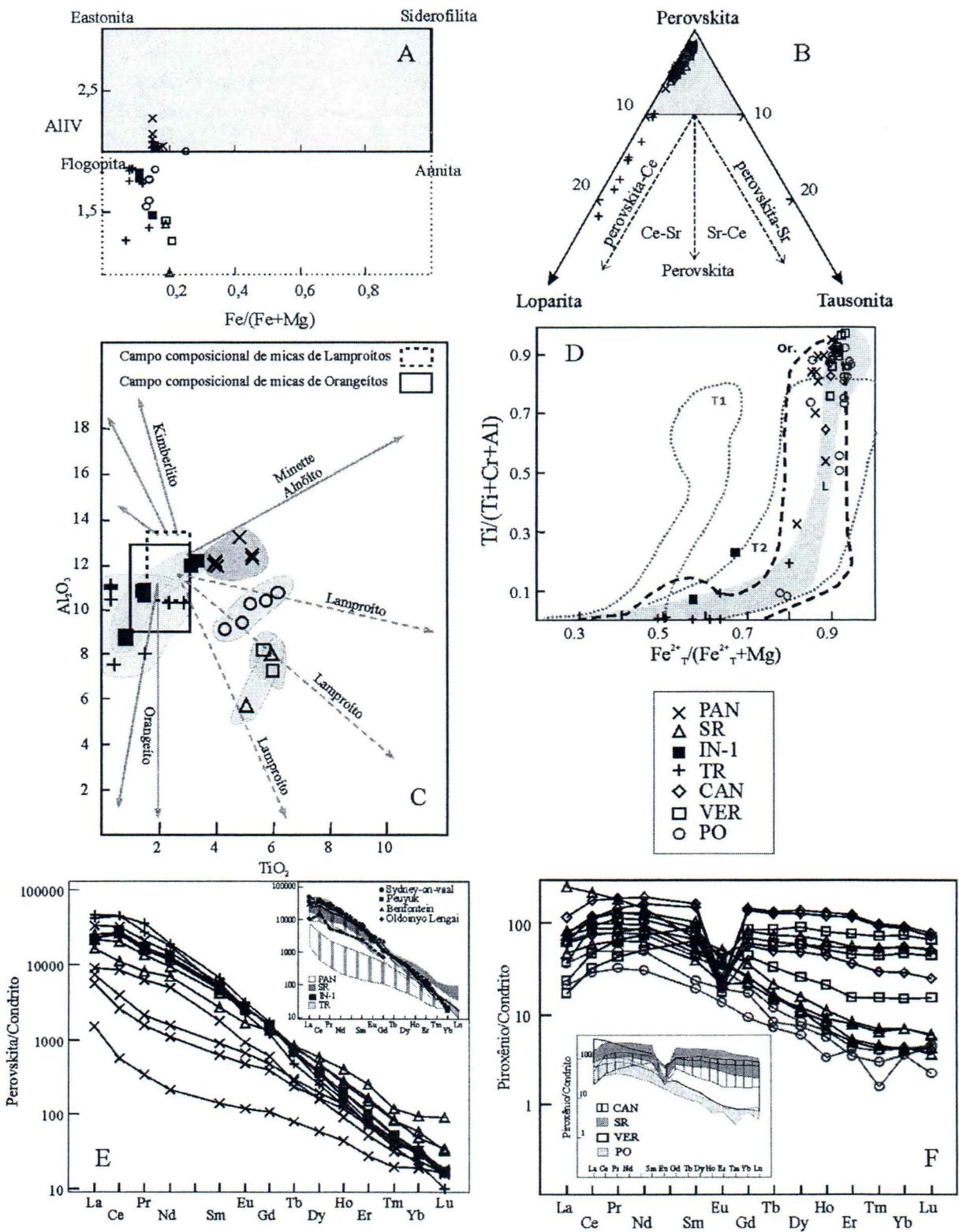


Figura 1. Gráficos de dispersão aplicados a minerais de rochas kimberlíticas e kamafugíticas da PIAP: A) Diagrama Mg-Al-Fe<sub>t</sub> para classificação de micas. B) Diagrama perovskita-loparita-tausonita para perovskitas (cf. Mitchell, 1995). C) Diagrama  $\text{Al}_2\text{O}_3$  vs.  $\text{TiO}_2$  para flogopitas, com linhas de “trend” compostional e campos de variação (cf. Mitchell, 1995). D) Diagrama  $\text{Ti}/(\text{Ti}+\text{Cr}+\text{Al})$  vs.  $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+}+\text{Mg})$  para opacos, incluindo os campos de variação de orangeito (Or.), kimberlitos (T1 e T2) e lamproíto (L) (cf. Mitchell, 1995). E) Padrão de distribuição de ETR em perovskitas normalizados para condritos (Boynton, 1984). No destaque, os campos de variação de perovskitas das ocorrências estudadas comparados com o padrão do mesmo mineral em ocorrências mundiais (cf. Mitchell, 1996). F) Padrão de distribuição de ETR em piroxênios normalizados para condritos (Boynton, 1984). No destaque, os campos de variação de piroxênios das várias ocorrências estudadas.

Título: **QUIMISMO MINERAL DE ROCHAS KIMBERLÍTICAS E  
KAMAFUGÍTICAS DA PROVÍNCIA ÍGNEA DO ALTO PARANAÍBA,  
BRASIL**

Modo de Apresentação: **POSTER**

Área Temática: **2- GEOQUÍMICA DE MINERAIS**

Autor: **EXCELSO RUBERTI**

Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Rua do Lago, 562, CEP: 05508-080, São Paulo, SP, Brasil

Tel. +55 11 3091-3994/4080 FAX +55 11 3091-4258

Email: [exrubert@usp.br](mailto:exrubert@usp.br)