

# **MINERAIS DE ELEMENTOS RAROS NO DISTRITO PEGMATÍTICO DE SÃO JOÃO DEL REI, MINAS GERAIS**

**RICARDO FRANCESCONI  
DARCY PEDRO SVISERO  
JOSÉ VICENTE VALARELLI**

Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo

## **ABSTRACT**

Several rare-element minerals as alvarolite, ixiolite, microlite, pyrochlore, zircon, xenotime, monazite, bityite, beryl, spodumene, and lepidolite from São João Del Rei, Minas Gerais State, Brazil; have been identified by optical microscopy and X-ray diffraction. These minerals occur in complex wea

thered pegmatites, dispersed in the kaolinic mass in association with others accessories as tantalite-columbite, cassiterite, magnetite, ilmenite, garnets, gahnite, samarskite, varlamorffite, stauroilite, rutile, tourmaline, epidote, brookite, goethite, hematite and amphiboles.

## **INTRODUÇÃO**

O distrito pegmatítico de São João Del Rei localiza-se a sudeste do estado de Minas Gerais, e abrange uma área de aproximadamente 2.000 Km<sup>2</sup> (Figura 1). Trabalhos geológicos realizados na área (Francesconi 1973) permitiram reconhecer pelo menos

duas centenas de pegmatitos, os quais se estendem por uma faixa de 70 Km de comprimento por 20 Km de largura, cortando a região de SW para NE, e formando concentrações maiores ao longo do rio das Mortes e ao norte do rio Carandaí.

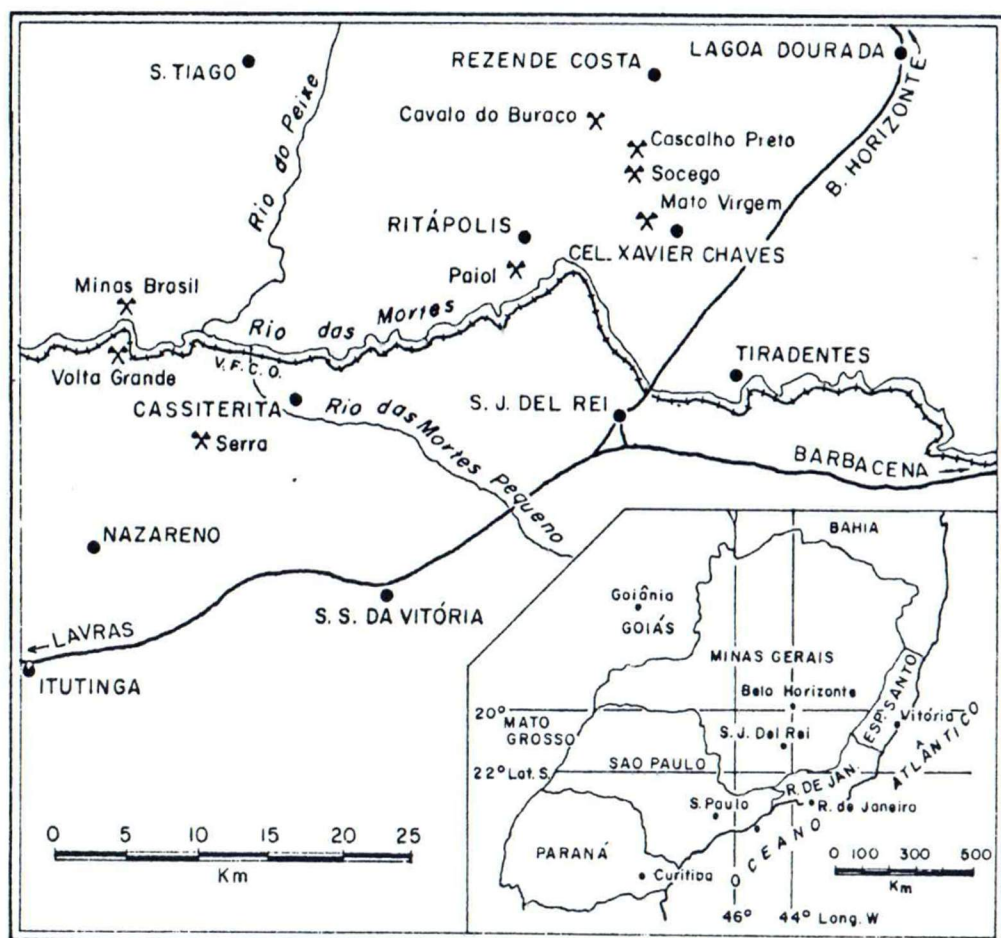


Fig. 1 Localização geográfica do distrito pegmatítico de São João Del Rei, Minas Gerais.

Com relação à composição mineralógica, além dos constituintes maiores feldspato, quartzo e mica, esses pegmatitos apresentam-se enriquecidos em uma série de minerais de elementos raros, compondo uma mineralogia interessante e diversificada. Assim, ao lado de espécies raras como a bityita, ocorrem minerais de interesse econômico como a tantalita-columbita e cassiterita.

Os corpos estão encaixados em rochas graníticas do embasa-

mento cristalino, em anfibólio xistos e em intrusivas ácidas. As dimensões, o modo de colocação e a composição mineralógica são variáveis, e aparentemente não obedecem a controles estruturais. Sua origem parece estar relacionada a corpos graníticos e grano-dioríticos de dimensões limitadas, intrusivos nas rochas do embasamento.

A província pegmatítica de São João Del Rei possui grande importância na economia mineral do país. Além dos minérios de.



tântalo, produz também cassiterita, muito embora a produção seja pequena comparada com a dos aluviões do Território de Rondônia, ou com o minério de Goiás.

Em função dessas singularidades, a região tem merecido a atenção de inúmeros pesquisadores nacionais e estrangeiros. Aspectos relacionados à mineralogia e gênese dos pegmatitos foram abordados por Guimarães (1948, 1950, 1956, 1956 a 1957), Belezkij (1956) e Heinrich (1959 a 1964). Problemas

relativos ao aproveitamento econômico dos pegmatitos foram discutidos por Rolff em uma série de trabalhos publicados entre 1945 e 1959.

Recentemente, Francesconi (1973) efetuou uma revisão da geologia da área, incluindo a descrição pormenorizada dos constituintes minerais dos pegmatitos. Devem ser mencionados ainda os trabalhos de Door et. al. (1958), Leonardos (1953) e Paiva (1946) os quais apresentam dados geológicos da área.

## AMOSTRAGEM E METODOLOGIA

A amostragem dos pegmatitos foi feita nas frentes de trabalho dos corpos em exploração, abrangendo as principais minas e garimpos da região. De um modo geral, a caulínização intensa dos corpos facilitou a obtenção das amostras. Estas foram inicialmente bateadas, e os concentrados, uma vez quarteados, submetidos a tratamentos de laboratório incluindo separação por líquidos pesados (bromofórmio), separação magnética e eletrostática. As fases de dimensões submicroscópicas, geralmente de ocorrência mais restrita, foram isoladas à lupa binocular.

A identificação de todos os minerais presentes nos pegma-

titos foi processada pelo emprego simultâneo de microscopia óptica e difração de raios X. As fases mais comuns foram identificadas por meio de registros difratométricos, e as mais raras através de diagramas de pó obtidos em câmara de 114,6 mm de diâmetro.

Completando a parte analítica, foram efetuadas algumas determinações quantitativas de Nb, Ta, Fe e Ti por meio de espectroscopia de raios X. Essas análises auxiliaram a caracterização das fases isoestruturais, especialmente no caso da alvarolita-tantalita e microlita-pirocloro.

## COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DOS PEGMATITOS

Os pegmatitos da região de São João Del Rei são do tipo complexo, e apresentam uma mineralogia extremamente variada. Os corpos não mostram zoneamento definido, e apesar do grau avançado de alteração, são visíveis os estágios hidrotermal e magmático.

Todos os pegmatitos amostrados apresentam-se em maior ou menor intensidade caulinizados. Consequentemente, além de quartzo e mica, a caulinita é um dos minerais predominantes nas partes alteradas dos corpos. Amostras de feldspato sem alteração podem ser encontradas nas partes mais profundas das frentes de exploração, e as propriedades ópticas indicam tratar-se de albita (5% An) contendo subordinadamente microclínio.

Os minerais acessórios geralmente apresentam cor escura, e ocorrem disseminados na massa caulínica de coloração branca. Os mais abundantes são tantalita-columbita, cassiterita, microlita, magnetita, ilmenita e granadas, os quais parecem ocorrer em todos os pegmatitos da área, e em teores variáveis. Outros acessórios menos frequentes, alguns de distribuição por vezes acidental

incluem berilo, ixiolita, alvarolita, zircão, espodumênio, lepidolita, bityita, monazita, xenotima, gahnita, estauroлита, turmalina, samarskita, varlamorffita, epidoto, rutilo, brookita, goethita, hematita e anfibólios.

Esse numero elevado de espécies minerais diferentes ilustra bem a complexidade dos pegmatitos de São João Del Rei. Alguns como a tantalita-columbita, microlita e cassiterita são importantes fontes de matéria prima mineral. Outros incluindo ixiolita, alvarolita, varlamorffita, bityita, xenotima e samarskita, são minerais de ocorrência rara.

Considerando que, tanto os minerais de interesse econômico como os mais abundantes nos concentrados serão objeto de trabalho em separado, são descritos a seguir, apenas os minerais de elementos raros.

Vlasov (1966a) divide os elementos raros em três grupos: litófilos, calcófilos e siderófilos. Os minerais estudados neste trabalho enquadram-se na primeira categoria, a qual abrange os seguintes elementos: lítio, berílio, escândio, vanádio, rubídio, estrôncio, ítrio, zircônio, nióbio, célio, háfnio, tântalo, tório, urânio e terras raras.



**ALVAROLITA:  $Mn(Ta,Nb)_2O_6$** 

A alvarolita, descrita por Távora em 1955, ocorre nos pegmatitos dos garimpos de Cascalho Preto e Mato Virgem perfazendo 3% dos concentrados, e na mina de Volta Grande onde chega a atingir 5%. O hábito e a cor são variáveis desde cristais pseudo-cúbicos, translúcidos e de coloração vermelha intensa; até formas tabulares ou mesmo irregulares, brancas e translúcidas.

Reduzida a dimensões microscópicas a alvarolita torna-se transparente, conservando a cor no caso de exemplares vermelhos. Ao microscópio apresenta relevo muito alto ( $n > 2,0$ ), caráter bi-axial (+) e valores de 2V próximos de  $40^\circ$ .

A alvarolita cristaliza-se no sistema monoclínico, e seu comportamento roentgenográfico é semelhante ao da tantalita. As principais reflexões do diagrama de pó e suas respectivas intensidades são: 2,987 (10), 1,736 (6), 3,69 (5), 1,547 (5), 7,23 (3), 1,844 (3), 1,782 (3) e 1,201 (3).

**IXIOLITA:  $(Fe,Mn)(Ta,Nb,Sn)_2O_6$** 

A presença de ixiolita foi constatada em pequenas quantidades nos pegmatitos da Mina da Serra em teores menores que 3% do concentrado, e ao redor de 6%

nos corpos de Volta Grande. Sua composição é semelhante à da tantalita-columbita, mas a molécula da ixiolita contém quantidades variáveis de estanho.

Algumas propriedades físicas da ixiolita como opacidade, cor cinza chumbo e traço castanho escuro permitem distingui-la rapidamente da tantalita-columbita. Esse procedimento só funciona para cristais de dimensões razoáveis, sendo necessário nos casos mais gerais empregar difração de raios X.

A ausência de reflexões maiores do que  $3,65 \text{ \AA}$  no diagrama de raios X da ixiolita permite diferenciá-la facilmente da tantalita-columbita e alvarolita, muito embora as demais reflexões sejam semelhantes. A ixiolita é ortorrômbica, e entre as inúmeras reflexões do seu diagrama de pó as mais intensas são as seguintes: 2,969 (10), 3,650 (6), 1,726 (5), 1,461 (5), 1,771 (4), 1,733 (4), 1,454 (4) e 1,098 (2).

**MICROLITA:  $(Ca,Na)_2Ta_2O_6(OH,F)$** 

Entre os minerais de elementos raros encontrados no distrito pegmatítico de São João Del Rei, a microlita é o mais abundante chegando a atingir teores



de até 15% nos concentrados mais ricos. Sua distribuição é ampla tendo sido identificada em todos os locais amostrados. Ocorre principalmente nas frações abaixo de 60 mesh, mas em casos excepcionais como nos pegmatitos de Volta Grande e Mato Virgem os cristais atingem até 2 cm de diâmetro.

A microlita apresenta-se comumente sob a forma de fragmentos, ocorrendo subordinadamente cristais octaédricos. A cor é variável e inclui exemplares castanhos, avermelhados, amarelos e verdes claros. Metamictização e hidratação emprestam à microlita aspecto terroso. Neste caso a coloração torna-se esbranquiçada com vênulas e manchas castanhas e amarelas indicando zoneamentos irregulares. As variações de cor e transparência podem ser inerentes à composição química ou resultantes de impregnações superficiais, ou ainda alteração ao longo das microfraturas.

Ao microscópio óptico os fragmentos são transparentes, isotropos e castanhos levemente esverdeados. Eventualmente alguns fragmentos mostram birrefringência anômala. O índice de refração medido pelo método de imersão é ligeiramente maior do que 2,0.

O parâmetro da cela unitária

( $a_0$ ) calculado a partir dos diagramas de pó é igual a  $10,40 + 0,01 \text{ \AA}$ . As principais reflexões do diagrama de raios X, por ordem de intensidade são: 2,991 (10), 1,838 (10), 1,570 (10), 1,750 (6), 1,159 (6), 3,124 (5), 2,597 (5) e 1,492 (4).

PIROCLORO:  $(\text{Na,Ca,U,Ce,Y})_{2-x}(\text{Nb,Ta,Ti})_2\text{O}_6(\text{OH,F})$

O pirocloro foi observado em todos os locais amostrados excetuando-se a Mina do Paiol e o Garimpo do Socêgo. A frequência nos concentrados varia de 1 a 6% e aumenta com a redução da granulometria do minério. Os cristais são translúcidos, de brilho vítreo, e a cor variável entre amarelo, castanho, creme ou ainda incolor.

O pirocloro forma associações frequentes com microlita e pandaita com os quais guarda grandes similaridades. A distinção entre esses três minerais é feita por microscopia óptica e difração de raios X. O índice de refração do pirocloro cujo valor é 2,15 e ligeiras diferenças no diagrama de pó deste mineral permite diferenciá-lo da microlita. Com relação à pandaita a diferença mais importante são os valores de  $a_0$ . O parâmetro da cela unitária da pandaita



é 10,55 Å enquanto o do pirocloro é da ordem de 10,29 Å. Seguem-se as principais reflexões do diagrama de pó do pirocloro, que por ordem de intensidade são: 3,005 (10), 1,838 (8), 1,568 (8), 2,601 (5), 0,866 (5), 1,195 (3), 1,164 (3) e 0,978 (3).

### ZIRCÃO: $\text{ZrSiO}_4$

O zircão é um acessório frequente em todos os pegmatitos no distrito de São João Del Rei, concentrando-se de preferência nas frações abaixo de 30 mesh onde perfaz, em média, 4% dos concentrados. Os cristais exibem hábito prismático bipiramidado e côres com tonalidades variando entre castanho pardo a castanho avermelhado.

Ao microscópio apresentam zoneamento concêntrico com ritmismo de côres (bandas claras e castanhas) perpendiculares ao eixo cristalográfico  $c$ . O relevo é alto e os índices de refração medidos por imersão são:  $n = 1,94 - 1,97$  e  $\omega = 1,90 - 1,92$ . Por vezes o zircão mostra caráter bi-axial anômalo com ZV oscilando em torno de 50.

Alguns cristais apresentam evidências de metamictização incluindo variações na transparência, zoneamentos e isotropia. Ocorre ainda nos veios pegmatíticos de Volta Grande, um tipo de zircão completamente diferente de to-

dos até agora descritos. Esses cristais apresentam dimensões centimétricas e hábito que lembra um rombododecaedro, como resultado do desenvolvimento equivalente das faces de um prisma e de uma bipirâmide tetragonais. Em geral são castanhos, e facilmente confundidos com microlita devido as semelhanças no hábito e na côr. A principal característica desses zircões é o teor elevado em  $\text{HfO}_2$ . Análises por espectrometria de raios X indicaram valores oscilando entre 31 a 40%, representando o maior valor para zircões até o presente momento (Francesconi et. al. 1974).

As principais reflexões dos diagramas de pó de amostras não metamictizadas são: 3,29 (10), 1,710 (8), 4,41 (6), 2,513 (6), 2,205 (4), 2,063 (4), 1,643 (4) e 0,890 (4).

### XENOTIMA: $(\text{Y}, \text{Er})\text{PO}_4$

É o fosfato de terras raras mais abundante na área, estando presente nos concentrados da Mina da Serra, Paiol, Cascelho Preto e Olaria. A frequência é baixa, situando-se ao redor de 2%, com maior incidência nas frações menores.

As características da xenotima, de um modo geral, são muito semelhantes as do zircão. Os cristais são transparentes,



de cores verde e castanho avermelhado. O hábito é prismático e resulta da combinação de um prisma tetragonal  $\{110\}$  com uma bipirâmide tetragonal  $\{111\}$ , havendo em adição, faces vicinais de um segundo prisma tetragonal  $\{100\}$ .

O comportamento óptico distingue facilmente a xenotima do zircão. Além de possuir índices de refração bem menores, a xenotima é pleocroica, variando de verde claro a verde médio segundo  $\epsilon$ , e de amarelo a incolor em  $\omega$ . Os índices de refração determinados com luz branca são  $\epsilon = 1,83$  e  $\omega = 1,71-1,72$ .

As principais reflexões do diagrama de raios X são por ordem de intensidade, as seguintes: 1,765 (10), 1,234 (10), 2,552 (5), 1,280 (4), 3,43 (3), 1,920 (3), 1,077 (3), e 0,912 (3).

#### MONAZITA: $\text{CePO}_4$

Mineral bastante raro na região estando presente nas Minas Brasil, Cascalho Preto e Cavalo do Buraco onde a frequência média atinge bem menos do que 1% da fração pesada.

A monazita apresenta-se bem formada, e os cristais euhédricos caracterizam-se pelo acentuado desenvolvimento das faces prismáticas. De um modo geral, os cristais são subtransparentes e de

côr castanha amarelada.

Os fragmentos microscópicos exibem côr amarela esverdeada, pleocroismo muito fraco, caráter bi-axial (+) e 2V pequeno ( $\sim 10^\circ$ ). Os índices de refração medidos com luz branca são  $\alpha = 1,784$ ,  $\beta = 1,788$  e  $\gamma = 1,835$ . As reflexões mais intensas do diagrama de pó são: 3,08 (10), 3,28 (8), 2,864 (7), 1,131 (5), 1,963 (3), 1,868 (3), 1,735 (3) e 0,866 (3).

#### BITYITA: $\text{CaAl}_2(\text{Li,H})(\text{OH})_2$ $\text{AlBeSi}_2\text{O}_{10}$

Outro mineral de ocorrência muito restrita na região aparecendo somente nos pegmatitos de Volta Grande e Cascalho Preto onde não chega a atingir 1% dos concentrados.

A bityita foi identificada pela primeira vez no Brasil por Guimarães e Belezkij nos pegmatitos de Volta Grande, por meio de ensaios ópticos e microquímicos (Guimarães e Belezkij, 1956). Segundo Vlasov (1966), são conhecidas apenas duas ocorrências deste mineral, uma no complexo pegmatítico de Maharitra, República de Malgache, e outra em um pegmatito de Londonderry no oeste australiano.

Os exemplares, transparentes e translúcidos, caracterizam-se pelo hábito micáceo e secção irregular ou pseudo-hexagonal. A côr é



branca e as dimensões muito reduzidas. Microscopicamente a bityita é bi-axial (—), e o valor de 2V variável entre 10 a 15°. Os índices de refração medidos nos fragmentos de clivagem são  $\gamma = 1,66$  e  $\beta = 1,65$ . As reflexões mais intensas do diagrama de pó são: 2,474 (10), 1,438 (9), 3,13 (8), 2,020 (8), 1,862 (6), 4,28 (5), 3,21 (5) e 2,342 (5).

## OUTROS MINERAIS

Devem ser mencionados ainda três minerais de elementos raros, descritos em conjunto por se tratarem de espécies relativamente comuns neste tipo de

paragênese. Trata-se de berilo ( $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$ ), espodumênio ( $\text{LiAl}(\text{SiO}_3)_2$ ) e lepidolita ( $\text{K}(\text{Li}, \text{Al})_3(\text{Al}, \text{Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$ ).

A lepidolita foi encontrada nas frações mais finas do concentrado da Mina da Serra e Volta Grande onde perfaz cerca de 3%. O espodumênio ocorre de maneira análoga a lepidolita na Mina da Serra e Mato Virgem, em cristais de tamanho variado, chegando a medir alguns decímetros em um corpo de Volta Grande. Quanto ao berilo, forma o núcleo de um dique pegmatítico nas Minas Brasil, onde seus cristais atingem 30 cm de comprimento.

## BIBLIOGRAFIA

- BELEZKIJ, W. (1956)– Mineralização tântalo-estanífera e uranífera do município de São João Del Rei, Minas Gerais. Dep. Nac. Prod. Min., Div. Fom. Boletim nº 99, pp. 1-42.
- DORR, J. V. N., HOREN, A. e COELHO, I. S. (1958)– Jazidas de manganês de Minas Gerais, Brasil. Dep. Nac. Prod. Min., Div. Fom. Boletim nº 105.
- FRANCESCONI, R. (1973)– Pegmatitos da região de São João Del Rei, Minas Gerais. Tese de doutoramento apresentada ao Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 101 pp. (inédita).
- FRANCESCONI, R., FUJIMORI, K. (1974) – Relações Zr/Hf em zircões de pegmatitos de Nazareno, MG. XXVIII Congr. Bras. Geol., Bol. Esp. Res. pp. 305-306.
- GUIMARÃES, D. (1948) – Age determinations of quartz veins and pegmatites in Brazil. Econ. Geol. 43, 100-118.
- GUIMARÃES, D. (1950)– A jazida de djalmaita de Volta Grande, Rio das Mortes, Minas Gerais. An. Acad. Bras. Ciênc. 22, 51-71.
- GUIMARÃES, D. (1956) – Concentrados estaníferos de São João Del Rei, Minas Gerais. Dep. Nac. Prod. Min., Div. Fom., Boletim nº 99, pp. 43-72.

- GUIMARAES, D. (1956 a) – Tratamento do granito estanífero de Volta Grande e Germinal Distrito de Nazareno, Minas Gerais. Dep. Nac. Prod. Min., Div. Fom., Boletim nº 99, pp. 73-84.
- GUIMARAES, D. (1957) – Ocorrência de um mineral raro no pegmatito de Germinal, Distrito de Nazareno, Minas Gerais, Rev. Esc. Min. Ouro Preto, Ano XXI, nº 2, 76-80.
- HEINRICH, E. W. (1959) – Lithium-tantalum pegmatites of the São João Del Rei District, Minas Gerais, Brazil. Geol. Soc. Am. Bull. 70, p. 1617.
- HEINRICH, E. W. (1964) – Tin-tantalum-lithium pegmatites of the São João Del Rei District, Minas Gerais, Brazil. Econ. Geol. 59, 982-1002.
- LEONARDOS, O. H. (1953) – A indústria brasileira do estanho. Eng. Min. e Met. v. XIX, nº 109, 3-5.
- PAIVA, G. (1946) – Províncias pegmatíticas brasileiras. Dep. Nac. Prod. Min., Div. Fom., Boletim nº 78.
- ROLFF, P. A. M. A. (1945) – A cassiterita de São João Del Rei. Eng. Min. e Met., v. X, nº 56, 83-84.
- ROLFF, P. A. M. A. (1947) – A província estanífera do Rio das Mortes, Minas Gerais. Rev. Esc. Min. Ouro Preto, Ano XII, nº 3, 25-26.
- ROLFF, P. A. M. A. (1947 a) – A monazita de São João Del Rei, Rev. Esc. Min. Ouro Preto, Ano XII, nº 6, p. 29.
- ROLFF, P. A. M. A. (1948) – A província estanífera do Rio das Mortes. Rev. Esc. Min. Ouro Preto, Ano XIII, nº 3, 5-10.
- ROLFF, P. A. M. A. (1948 a) – Possibilidades econômicas da muscovita de São João Del Rei. Rev. Esc. Min. Ouro Preto, Ano XIII, nº 4, 15-19.
- ROLFF, P. A. M. A. (1951) – Nota sobre alguns minerais radioativos de São João Del Rei. Rev. Esc. Min. Ouro Preto, Ano XVI, nº 6, 7-10.
- ROLFF, P. A. M. A. (1952) – Geologia da província estanho-litífera do Rio das Mortes, Minas Gerais. Rev. Esc. Min. Ouro Preto, Ano XVII, nº 6, 1-12.
- ROLFF, P. A. M. A. (1952 a) – Urânio e tório em São João Del Rei. Rev. Esc. Min. Ouro Preto, Ano XVII, nº 2, 11-14.
- ROLFF, P. A. M. A. (1953) – Os pegmatitos de Colônia e Prados, Minas Gerais, Rev. Esc. Min. Ouro Preto, Ano XVIII, nº 3, 1-5.
- ROLFF, P. A. M. A. (1957) – Notas sobre a geologia de São João Del Rei. Rev. Esc. Min. Ouro Preto, Ano XXI, nº 2, 64-72.
- ROLFF, P. A. M. A. (1959) – Minérios de lítio no Brasil. Rev. Esc. Min. Ouro Preto, Ano XXIII, nº 1, 29-34.



VLASOV, K. A. (1966) — Geochemistry and mineralogy of rare elements and genetic types of their deposits. 2 vols; Daniel Davey & Co. Inc., New York, N. Y.