

# **Química mineral das rochas alcalinas da Província Amambay, Nordeste do Paraguai Oriental**

**Velázquez, V.F.<sup>1</sup>; Gomes, C.B.<sup>2</sup>; De Paula, G.S.<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Escola de Artes, Ciências e Humanidades, USP Leste, [vvf@usp.br](mailto:vvf@usp.br)**

**<sup>2</sup>Instituto de Geociências, USP, [cgomes@usp.br](mailto:cgomes@usp.br)**

## **Resumo**

O presente trabalho focaliza o estudo da química mineral de algumas ocorrências de rochas alcalinas silicáticas da Província Amambay na porção nordeste do Paraguai Oriental, cujo condicionamento tectônico é controlado pelo Arco de Ponta Porã, importante feição estrutural de direção NE-SW.

Feldspatos e piroxênios, mostrando variações químicas significativas, são as suas principais fases mineralógicas, enquanto feldspatóides, biotitas, magnetitas e granadas ocorrem subordinadamente.

As mudanças compostionais gradativas nos minerais, aliadas a feições texturais, sugerem que essas rochas tenham evoluído por cristalização fracionada a partir de magma parental mantélico.

## **Introdução**

Manifestando-se nas proximidades da cidade de Pedro Juan Caballero, divisa do Brasil (Mato Grosso do Sul) com o Paraguai, a atividade magmática da Província Amambay representa o evento alcalino eocretáceo mais distante associado com a borda ocidental da Bacia do Paraná. Embora a sua abrangência seja grande, estendendo-se por algumas dezenas de quilômetros para SSW, as ocorrências mais expressivas desse magmatismo correspondem aos complexos circulares dos Cerros Chiriguelo e Sarambí, ambos portadores de carbonatitos na sua porção central (Censi et al., 1989; Comin-Chiaromonti et al., 1997, 1999).

As intrusões alcalinas, que precedem os derrames toleíticos da Formação Serra Geral, estão associadas seja a rochas do embasamento precambriano, seja a sedimentos triássico-jurássicos ou permo-carboníferos da Bacia do Paraná (Fig. 1). Elas preenchem zonas de interseção de estruturas antiformais orientadas segundo NE-SW com falhas de direção NW-SE (Comin-Chiaromonti et al., 1999). À exceção dos corpos dos Cerros Guazú e Tayay, cujas relações com a tectônica regional não são muito claras, os dados geológicos sugerem que todas as demais ocorrências encontram-se sob a influência tectônica do Arco de Ponta Porã. Além das anomalias magnéticas e gravimétricas de intensidade elevada presentes nos extremos N e S dessa estrutura (Velázquez et al., 2005), a intensa deformação das rochas encaixantes, principalmente nas proximidades dos contatos das intrusões anelares, corroboram essa interpretação.

## **Petrografia**

Litologicamente, a Província Amambay é formada por uma suíte intrusiva consistindo em sienitos (com e sem feldspatóides), sienodioritos, fenitos, carbonatitos e piroxenitos, juntamente com uma extrusiva representada por diques de dimensões variadas de analcima fonolito, fonolito, fonotefrito, lamprófiro (minette), tefrifonolito, traquifonolito e traquito.

A grande maioria das rochas intrusivas exibe textura hipidiomórfica fanerítica de granulação média a grossa, ou mesmo pegmatítica. Os carbonatitos presentes no complexo anelar do Cerro Chiriguelo apresentam aspecto maciço e grande variação da granulação, que chega a alcançar dimensões centimétricas. Mineralogicamente, essas rochas são constituídas de calcita e flogopita em menor quantidade. Os cristais de calcita são subidiomórficos a xenomórficos, tendo como principais inclusões mica, apatita e por vezes opacos. Os fenitos associados mostram textura granoblástica heterogênea e contêm feldspato alcalino com extinção ondulante e borda parcialmente recristalizada, além de concentrações de grãos aciculares de egrína-augita fortemente orientados.

Por sua vez, as rochas extrusivas mostram invariavelmente textura holocrystalina porfirítica com mega, feno e microfenocristais de feldspato alcalino e piroxênio. Ao microscópio, elas exibem textura microporfirítica, tendo piroxênio como microfenocristais predominantes e, mais raramente, feldspato alcalino e biotita. A matriz consiste em finas lamelas de feldspato alcalino subidiomórfico e grãos xenomórficos de nefelina e piroxênio. Em algumas amostras os cristais tabulares de feldspato alcalino possuem ligeira orientação subparalela, caracterizando típica textura traquítica.

Excluídos os carbonatitos, tanto a associação intrusiva quanto a extrusiva têm feldspato alcalino como fase félsica majoritária, enquanto que piroxênio e biotita constituem os minerais máficos mais freqüentes; em algumas amostras melanita e analcima são também componentes importantes. Nefelina ocorre accidentalmente e apatita, titanita, opacos e zircão estão presentes como acessórios.

## **Química mineral**

As composições químicas foram obtidas na microssonda do IGc, um equipamento de fabricação JEOL, modelo JXA-8600S. As condições de trabalho obedeceram à rotina daquele laboratório. Foram efetuadas 191 análises nas principais fases mineralógicas dos litotipos mais representativos.

### *Feldspatos*

Os feldspatos constituem a fase mineralógica mais importante das rochas silicáticas, com a sua composição distribuindo-se ao longo do plano Or-Ab (Fig. 2). À exceção daqueles presentes nos traquitos de Cerro Apuá, observa-se que esses minerais estão enriquecidos no componente ortoclásio, que varia desde  $Or_{67}$  até  $Or_{95}$ . Os teores mais altos de Or são encontrados nos fenitos e tefrifonolitos. Os somatórios dos cátions são praticamente constantes e muito próximos ao valor da fórmula teórica (20,0). A baixa concentração de Ca, Sr, e Ba indica que esses minerais não sofreram transformações subsólidas significativas após a sua cristalização.

### *Feldspatóides*

Os feldspatóides estão representados principalmente por nefelina e analcima, com maior predomínio para o primeiro. Eles exibem com freqüência os efeitos de processos de alteração deutérica, sobretudo a nefelina por vezes inteiramente transformada em cancrinita.

A nefelina ocorre como fenocristal nos minettes e como agregado xenomórfico intersticial nos sienitos, fenitos e melassienitos, enquanto que analcima foi reconhecida apenas no fonolito de Cerro Jhú. À semelhança dos feldspatos, a nefelina contém teores uniformes de  $Na_2O$  e  $K_2O$ , respectivamente, em torno de 16 e 6% (8% nos fenitos), e baixo conteúdo de Ca, Sr e Ba.

A analcima se caracteriza por apresentar concentrações de  $K_2O$  (0,03-2,59%) acima do limite teórico esperado, sugerindo, assim, a incorporação de K residual na sua composição.

### *Piroxênios*

Os piroxênios, principal fase máfica, mostram ampla variação composicional – como mostrado na Fig. 3A caindo nos campos cárlico, sódico-cárlico e mais restritamente sódico de Morimoto (1989) -, que se reflete principalmente nas concentrações de  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $FeO$  ( $Fe_2O_3$ ) e  $Na_2O$ . As mudanças são muito notórias na passagem de um membro de um grupo para outro, como resultado da substituição progressiva de Mg por Fe ( $FeO$ ), seguida da diminuição de Ca, e aumento das concentrações de Fe ( $Fe_2O_3$ ) e Na (Fig. 3B).

De modo geral, os teores mais elevados de Wo são encontrados nos tefritos, melassienitos e fonotefritos, com o enriquecimento em Fs se dando mais acentuadamente nos traquifonolitos, como sugerido pelos teores crescentes do componente molecular acmita. Outra característica distintiva é o comportamento variável de  $TiO_2$  (0,11 a 3,18%), apresentando conteúdos mais altos junto aos tefrifonolitos.

### *Biotitas*

Nas rochas extrusivas, as biotitas aparecem em geral na forma de fenocristais individuais, mas podem também ocorrer como agregados xenomórficos na matriz. Análises químicas indicam que esses minerais correspondem a biotitas, mais ricas em Mg ou em Fe (Fig. 4) e, com base no conteúdo molar de Ti, classificadas no grupo da Ti-biotita (cf. Rock, 1982).

Todos os cristais analisados apresentam, indistintamente, teores insuficientes de Si e Al para o preenchimento das posições tetraédricas estruturais, sugerindo, assim, que pequenas quantidades de  $Fe^{2+}$ , ou mesmo de Ti, estejam ocupando a posição do Si.

### *Óxidos de Fe-Ti*

A fase opaca comum a todos os tipos petrográficos é a magnetita, estando a sua composição representada no diagrama  $FeO+Mn-TiO_2-Fe_2O_3$  (Fig. 5). Ao lado da grande variação no conteúdo de Fe, esses minerais têm também como característica distintiva a grande riqueza em Ti, sobretudo nos tefrinolitos, traquifonolitos e fonotefritos, quando chegam a atingir teores de até 10,55%, sendo então classificados como magnetitas titaníferas.

### *Granadas*

As granadas foram reconhecidas apenas em alguns litotipos. Nas rochas intrusivas (sienitos e fenitos) aparecem preenchendo espaços intersticiais, enquanto que nas extrusivas (analcima fonolitos e fonolitos) formam microfenocristais na matriz. Os cristais analisados são enriquecidos no componente andradita (Fig. 6) e possuem teores de  $TiO_2$  da ordem de 1,86 a 8,43%, o que permite a sua classificação como melanita.

### **Considerações finais**

A Província Amambay é constituída por uma associação litológica incluindo rochas mais primitivas, como os carbonatitos, até tipos silicáticos muito evoluídos, caso dos fonolitos, possivelmente representando pulsos e/ou fontes magmáticas diferentes. A intensa deformação rúptil das rochas sedimentares encaixantes e a presença de extensa área de rochas do embasamento apresentando evidências de fenitização sugerem para os carbonatitos uma formação supracrustal, enquanto as características texturais das rochas silicáticas apontam para ambientes de intrusão rasa ou mesmo condições subáreas.

Do ponto de vista genético, os carbonatitos associados ao sistema Paraná-Angola-Etendeka têm sido interpretados como resultantes de processos de imiscibilidade de líquidos. Já as rochas silicáticas

associadas são admitidas como originadas a partir de fonte mantélica heterogênea, de natureza possivelmente granada peridotito, submetida a baixo grau de fusão parcial e enriquecimento metassomático (Comin-Chiaromonti & Gomes, 1996, 2005; Comin-Chiaromonti et al., 2005).

Com base na variação composicional dos minerais, notadamente dos feldspatos e piroxênios, e em evidências de natureza textural, acredita-se que processos de cristalização fracionada a partir de fonte mantélica tenham exercido papel importante na formação das rochas silicáticas da Província Amambay.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP (Proc. 01/10714-3) pelo apoio financeiro.

#### Referências bibliográficas

- Censi, P., Comin-Chiaromonti, P., Longinelli, A., Demarchi, G. & Orué, D. (1989). Geochemistry and C-O isotopes of the Chiriguelo carbonatite (Northeastern Paraguay). *J. South Amer. Earth Sci.* **3**, 295-303.
- Comin-Chiaromonti, P. & Gomes, C.B. (1996). *Alkaline magmatism in central-eastern Paraguay. Relationships with coeval magmatism in Brazil*. Edusp/Fapesp, São Paulo, 464p.
- Comin-Chiaromonti, P., & Gomes, C.B. (2005). *Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform*. Edusp/Fapesp, São Paulo, 752pp.
- Comin-Chiaromonti, P., Cundari, A., DeGraff, J.M., Gomes, C.B. & Piccirillo, E.M. (1999). Early Cretaceous-Tertiary magmatism in Eastern Paraguay (western Paraná Basin): geological, geophysical and geochemical relationships. *J. Geodyn.* **28**, 375-391.
- Comin-Chiaromonti, P., Cundari, A., Piccirillo, E.M., Gomes, C.B., Castorina, F., Censi, P., De Min, A., Marzoli, A., Speziale, S. & Velázquez, V.F. (1997). Potassic and sodic igneous rocks from Eastern Paraguay: their origin from the lithospheric mantle and genetic relationship with the associated Paraná flood tholeiites. *J. Petrol.* **38**, 495-528.
- Comin-Chiaromonti, P., Gomes, C.B., Marques, L.S., Censi, P., Ruberti, E. & Antonini, P. (2005) Carbonatites from southeastern Brazil: geochemistry, O-C, Sr-Nd-Pb isotopes and relationships with the magmatism from the Paraná-Angola-Namibia Province. In: P. Comin-Chiaromonti & C.B. Gomes (eds.) *Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform*. Edusp/Fapesp, São Paulo, 657-688.
- Morimoto, N. (1989). Nomenclature of pyroxenes. *Mineral J.* **14**, 198-221.
- Rock, N.M.S. (1982) Chemical mineralogy of the Monchique alkaline complex, southern Portugal. *Contrib. Mineral. Petrol.* **81**, 64-68.
- Velázquez, V.F., Gomes, C.B., Riccomini, C., De Paula, G.S., Comin-Chiaromonti, P. (2005) Magmatismo alcalino eocretáceo da Província Amambay, nordeste do Paraguai Oriental: aspectos geoquímicos e implicações geodinâmicas. *VIII Congr. Geoq. PLOP, Aveiro*, p.75-78.
- Velázquez, V.F., Riccomini, C., Gomes, C.B., Figueiredo, L.B., Figueiredo, C., (1998) Relações tectônicas do magmatismo alcalino do Paraguai Oriental. *Rev. IG São Paulo* **19**, 43-49.

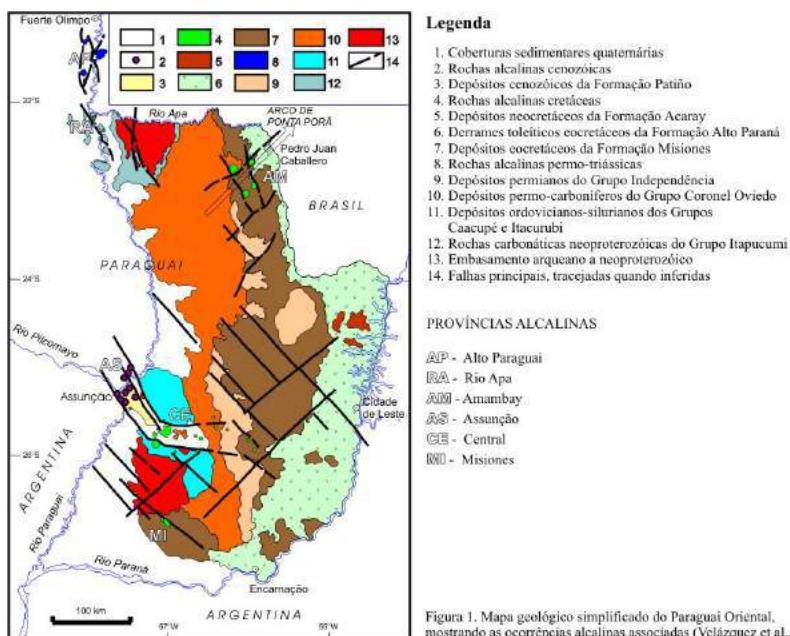


Figura 1. Mapa geológico simplificado do Paraguai Oriental, mostrando as ocorrências alcalinas associadas (Velázquez et al., 1998).

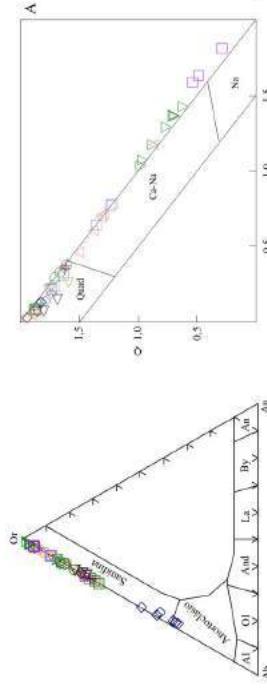


Figura 2. Variação composicional dos feldspatos.

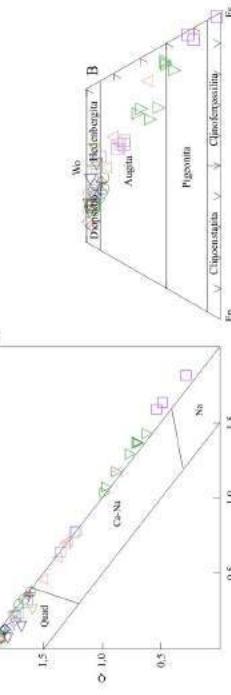


Figura 3 (A e B). Variação composta dos piroxénios nos diagramas de classificação do IMA (Morimoto, 1989).

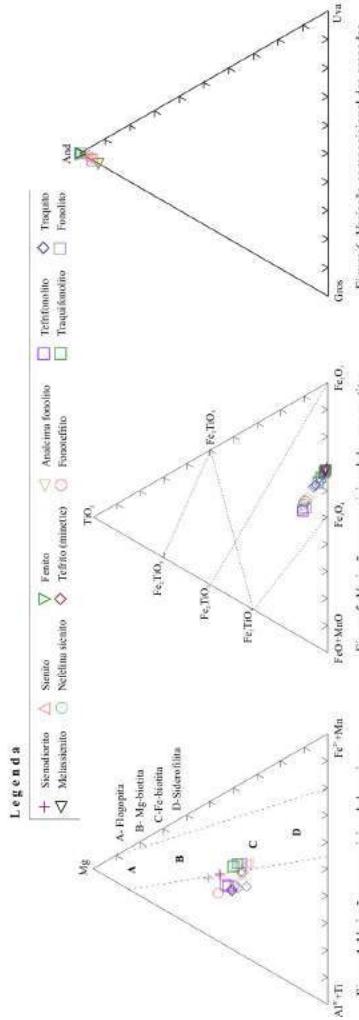


Figura 3. Variação composicional das magnetitas.



Figueroa, Vazquez-Gonzalez et al. / Endemic

# ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA DA DISTRIBUIÇÃO DE METAIS EM SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DE MANGUEZAIS NA PORÇÃO NORTE DA BAÍA DE TODOS OS SANTOS, BAHIA.

JACIARA BARRETO DOS SANTOS<sup>1</sup>

JOIL JOSÉ CELINO<sup>1</sup>

ANTÔNIO FERNANDO DE SOUZA QUEIROZ<sup>1</sup>

JOÃO LAMARCK ARGÔLO<sup>1</sup>

JUDIRON DOS SANTOS SANTIAGO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Núcleo de Estudos Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Rua Barão de Geremoabo, s/n, Sala 314A, Federação, CEP 40170-290, Salvador - Bahia – Brasil, e-mail: joil@ufba.br

## ABSTRACT

As part of the environmental assessment within Todos os Santos Bay, located in Recôncavo Bahiano, sediments samples of the mangrove were collected at six (06) locations to determine the spatial distribution of anthropogenic pollutants in the São Francisco do Conde Region. Muddy sediments with high organic matter content dominate the study area. The spatial distribution of 11 metals in the sediments has been assessed by use of the multivariate statistical techniques: cluster analysis and multidimensional scaling. The assessment can be divided into three regions, with different degree of environmental pollution. Even though the inner region is the most affected by human activities, most of the parameters investigated in this study indicate that the entire harbor area is impacted. Traces metal levels indicated that sediments were moderately polluted with Zn (overall mean:  $89 \pm 16 \mu\text{g. g}^{-1}$  dry sediment), Pb ( $20 \pm 8$ ), Cu ( $45 \pm 11$ ), Cr ( $62 \pm 10$ ), V ( $70 \pm 18$ ), Ni ( $29 \pm 7$ ) and Cd ( $0,3 \pm 0,5$ ). The results pointed out that almost all the area presented some substances that can cause adverse biological effects, especially in the inner region.

*Keywords:* multivariate statistics, metals, mangroves.

## 1. INTRODUÇÃO

O presente estudo visa avaliar, do ponto de vista da estatística descritiva e multivariada, a geoquímica do substrato lamoso das regiões de manguezal da região de São Francisco do Conde, norte da Baía de Todos os Santos, através da compreensão dos fatores que controlam a distribuição dos elementos químicos: chumbo, zinco, cromo, cobre, cádmio vanádio, níquel e bário; determinar os teores de alumínio, ferro, manganês, enxofre, matéria orgânica e a distribuição das frações granulométricas que compõem o substrato, a fim de auxiliar na compreensão dos processos geoquímicos analisados em associação aos parâmetros físico-químicos que caracterizam a distribuição destes elementos traços nos sedimentos.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A área perfazendo cerca de 80 km<sup>2</sup>, situa-se no setor norte da Baía de Todos os Santos (Figura 1) e integra a Bacia Hidrográfica do Rio Subaé. A principal via de acesso à região, a partir de Salvador, é a BR-324, seguindo-se da capital até o entroncamento com a BA-592, quando se deve tomar a direção para Candeias, chegando-se ao município de São Francisco do Conde, após se percorrer a distância de 80 Km desde a sede da Capital.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o auxílio de cartas planimétricas, tábuas de marés e de referências utilizadas para revisão bibliográfica, foram estabelecidas 05 (cinco) estações de amostragem em zonas de manguezal na Região de São Francisco do Conde, ao norte da Baía de Todos os Santos. Em Maragojipe, a estação foi denominada de Estação Controle, por estar em uma zona possivelmente livre dos problemas ambientais verificados na área pesquisada.

Foi realizada uma campanha de campo em março/abril de 2001, para o levantamento das condições gerais da área pesquisada, a coleta de amostras do substrato lamoso do manguezal, bem como a determinação de parâmetros não conservativos nas águas superficiais, em cada estação de amostragem. Os materiais e recipientes destinados a coleta foram tratados previamente no Laboratório de Estudos Ambientais (LEA) do Instituto de Geociências (IGEO) da Universidade Federal da Bahia (UFBA), onde passaram pela seguinte seqüência de lavagem: utilizando detergente não fosfatado, água corrente, ácido clorídrico a 10% e finalmente com água destilada e deionizada. Em cada estação foram determinados três pontos de amostragem, alinhados perpendicularmente à linha de costa (SANTOS, 2002). Em cada ponto de amostragem foi feita uma malha de cinco pontos, espaçados em torno de 0,5m um do outro. O sedimento foi coletado a uma profundidade de até 20 cm (sedimento superficial), com o auxílio de uma pás plástica. O material recolhido foi colocado num saco plástico de 100L, sendo misturado até obter uma homogeneidade e, por fim, foi retirada uma alíquota em torno de 2kg, compondo a amostra propriamente dita. Esse procedimento gerou 03 (três) amostras por estação e 18 (dezoito) no total (Figura 2).