



Petrogênese do granito Agudos, Serra do Mar, PR

P.F.T. Kaul¹ & S.C. Valente²

1 IBGE, Rua Tte. Silveira, 94, 11º, Florianópolis SC 88010-300, kaul@ibge.gov.br

2 UFRuralRJ, BR-465, km 7, Seropédica, RJ, 23890-000, sergio@ufrj.br

Abstract This paper presents field, petrographic and lithogeochemical data for the so-called Granito Agudos. This plutonic body comprises five rock units, named Serra do Tronco, Piador-Cabral, Palmito 1, Palmito 2, and Lavras. The lithogeochemical data considered in this paper are from the Serra do Tronco, Piador-Cabral and Palmito 1 units. These data showed that such rock units are not cogenetic. Moreover, major and trace element data indicated that the Serra do Tronco granitoids evolved by AFC (*Assimilation and Fractional Crystallization*). Finally, partial melting modelling has shown that the granitoids from the Serra do Tronco unit cannot be related to partial melting processes associated with the noritic gneisses that represent the commonest country rocks in the area.

Keywords: Agudos granite, petrogenesis.

INTRODUÇÃO O Granito Agudos é um dos maiores maciços graníticos da Serra do Mar, no Sul do País. Ele se localiza entre as cidades de Agudos do Sul e Tijucas do Sul, no leste do estado do Paraná, a cerca de 50 km a Sul de Curitiba, PR. Com um relevo relativamente arrasado e uma forma alongada na direção NNE-SSW, segundo a qual mede cerca de 40 km, e largura máxima de mais ou menos 15 km, esse maciço ocupa uma área de aproximadamente 300 km².

Neste trabalho, apresenta-se a petrogênese dessa manifestação plutônica da Serra do Mar, sendo a interpretação petrogenética feita com base em dados litogeoquímicos de elementos maiores e elementos-traço selecionados (incluindo elementos terras raras) obtidos em 15 amostras coletadas no maciço (Kaul 1997).

CONTEXTO REGIONAL O Granito Agudos está inserido no segmento meridional da Província Mantiqueira, encaixado em gnaisses granulíticos ortoderivados, geralmente de composição norítica, do Cráton de Luís Alves e, parcialmente, em granitóides cálcio-alcalinos deformados de uma importante zona transcorrente (Zona Transcorrente de Piên) e rochas gnáissico-migmatíticas de um embasamento rejuvenescido (Complexo Atuba). Ele é uma manifestação plutônica que surgiu em ambiente intraplaca, distensional, no final do Neoproterozóico, ambiente esse relacionado à aglutinação continental que levou à formação do supercontinente de Gondwana (Brito Neves & Cordani 1999). Posteriormente, o Granito Agudos foi expressivamente afetado por falhamentos transcorrentes de deslocamento destrai, ligados à Zona Transcorrente de Piên.

O Granito Agudos é constituído por diferentes tipos de granitóides, que foram reunidos em 5 unidades de rochas (Kaul, 1997):

- Unidade Serra do Tronco
- Unidade Piador-Cabral
- Unidade Palmito 1
- Unidade Palmito 2
- Unidade Lavras

A Unidade Serra do Tronco é a mais extensa de todas; cobre cerca de dois terços da área do maciço, ocorrendo de Norte a Sul, ao longo de toda a extensão do mesmo. É constituída por biotita sienogranitos e hornblenda biotita monzogranitos. A Unidade Piador-Cabral restringe-se à região central do corpo plutônico, estendendo-se por cerca de 20 km². É formada por hornblenda biotita sienogranitos. As unidades Palmito 1 e Palmito 2 estão restritas à região Sul do maciço, a primeira formando um corpo circular com aproximadamente 20 km² de área, constituídos por biotita sienogranitos a monzogranitos e biotita granodioritos; a segunda correspondendo a uma ocorrência de mais ou menos 1,5 km² de área, também circular, e formado por biotita monzogranitos e biotita granodioritos.

Todos os granitóides acima referidos se apresentam normalmente ístrópicos e maciços. Eventualmente, mostram foliação, que pode ser mais ou menos acentuada, nas proximidades de falhamentos. Associados a alguns deles, ocorrem pequenos corpos de sienitóides.

PETROGRAFIA As amostras estudadas do Granito Agudos, neste trabalho, consistem em: 9 amostras coletadas na Unidade Serra do Tronco, 3 na Unidade Piador-Cabral e 2 na Unidade Palmito 1. As rochas das unidades Palmito 2 e Lavras não foram estudadas.



A Unidade Serra do Tronco é constituída por biotita sienogranitos e hornblenda biotita monzogranitos. São rochas geralmente leucocráticas, equi a inequigranulares, raramente porfiríticas, de cor cinza clara, cinza rosada ou rosa clara, de granulação usualmente média, constituídas por feldspato alcalino, quartzo, plagioclásio e minerais máficos, além de minerais acessórios, apresentando texturas em geral do tipo granular hipidiomórfica, localmente granofírica. O feldspato potássio é pertítico, com geminação *tartan*, contendo inclusões de quartzo, plagioclásio e minerais acessórios diversos. O quartzo, em sua maior parte, é intersticial, representando, nesse caso, a última fase mineral a cristalizar; subsidiariamente, é precoce (quartzo subédrico) ou contemporâneo do feldspato potássio (quartzo anédrico dos intercrescimentos granofíricos). O plagioclásio (oligoclásio sódico a cálcico), sob a forma de cristais milimétricos ou de tamanho pouco inferior ao milímetro, com maclas Albita ou Albita-Carlsbad, seguidamente zonados, aparece em geral englobado por feldspato potássio, sendo, portanto, nesse caso (que é o mais comum), anterior a esse mineral. Os minerais máficos estão representados por biotita castanha (intersticial, com inclusões de minerais acessórios diversos), clorita (alteração da biotita) e, muito raramente, hornblenda e epídoto. Os minerais acessórios compreendem zircão (o mais freqüente), apatita, fluorita, minerais opacos, alanita e titanita, que se apresentam geralmente associados aos minerais máficos. Os inícios das cristalizações principais ocorreram, provavelmente, na seqüência: plagioclásio → feldspato potássio → biotita/hornblenda → quartzo.

Os hornblenda biotita monzogranitos são rochas em geral leucocráticas, equigranulares, de cor rosa clara, granulação grossa, constituídas por feldspato potássio, quartzo, plagioclásio, anfibólio, biotita e minerais acessórios diversos. O feldspato potássio comumente é pertítico, com geminação *tartan*; o quartzo é intersticial; o plagioclásio, seguidamente zonado, mostra saussuritização (incipiente) no núcleo dos seus cristais; o anfibólio (hornblenda) é moderadamente pleocróico; a biotita, em palhetas esparsas, é de cor castanha. Os minerais acessórios usualmente estão associados aos minerais máficos, consistindo em: alanita, titanita, zircão, apatita e fluorita.

A Unidade Piador-Cabral é constituída de hornblenda biotita sienogranitos. Trata-se de rochas leucocráticas, equigranulares, de cor cinza ligeiramente rosada, de granulação média eventualmente grossa, localmente cisalhadas, com planos de cisalhamento preenchidos por argilo-minerais provenientes da trituração de feldspatos. A

composição mineralógica das mesmas compreende quartzo, em duas gerações, feldspato potássio bastante pertítico, plagioclásio tipo oligoclásio em geral com ligeira argilização, biotita e hornblenda em percentagens muito pequenas, inferiores a 5% (conjuntamente), minerais de alteração e minerais acessórios. De acordo com Fiori (1984), a presença da hornblenda aumenta para o interior da unidade, chegando a ser relativamente abundante e ter a forma de cristais prismáticos de até 0,8 cm de comprimento. Os minerais acessórios, no geral, estão associados aos minerais máficos, consistindo em minerais opacos, titanita e apatita.

A Unidade Palmito 1 é constituída de biotita sienogranitos a monzogranitos e biotita granodioritos. Essas rochas são em geral equigranulares, de coloração cinza, raramente rosada, de granulação fina, apresentando os seguintes componentes minerais, todos em percentuais muito variados: plagioclásio, feldspato potássio, quartzo, biotita, anfibólio, clorita, epídoto e minerais acessórios diversos. O plagioclásio, seguidamente zonado (com núcleos mais cálcicos), não raro maclado pela lei Albita, se mostra ligeiramente saussuritizado, com cristalização que claramente antecedeu às do feldspato potássio e do quartzo. O feldspato potássio, com geminação *tartan*, é relativamente límpido, sempre como cristais intersticiais. O quartzo, como cristais muito finos e límpidos, raramente com extinção ondulante, é, da mesma forma que o feldspato potássio, de cristalização tardia. A biotita, em palhetas muito finas, disseminadas, está parcialmente cloritizada, e muito raramente associada a cristais de hornblenda. O epídoto se apresenta como cristais anédricos, intersticiais. Os minerais acessórios compreendem: titanita, apatita, zircão e, muito raramente, alanita e fluorita.

LITOGEOQUÍMICA Quatorze amostras do Granito Agudos foram analisadas para elementos maiores e elementos traço (Rb, Ba, Sr, Zr, Y, Nb, V e elementos terras-raras): 9 amostras foram coletadas na Unidade Serra do Tronco, 3 na Unidade Piador-Cabral e 2 na Unidade Palmito 1.

A soma dos óxidos (%peso) variou de 99,00% a 101,25% (média de $99,87 \pm 0,66$) e a perda ao fogo variou de 0,23% a 0,74%. Os valores relativamente baixos de perda ao fogo e as características petrográficas das rochas indicam que as amostras estudadas podem ser consideradas inalteradas.

As amostras estudadas inserem-se numa série subalcalina, de acordo com o diagrama de discriminação de séries TAS (*Total Alkalis versus Silica*) (Fig. 1).

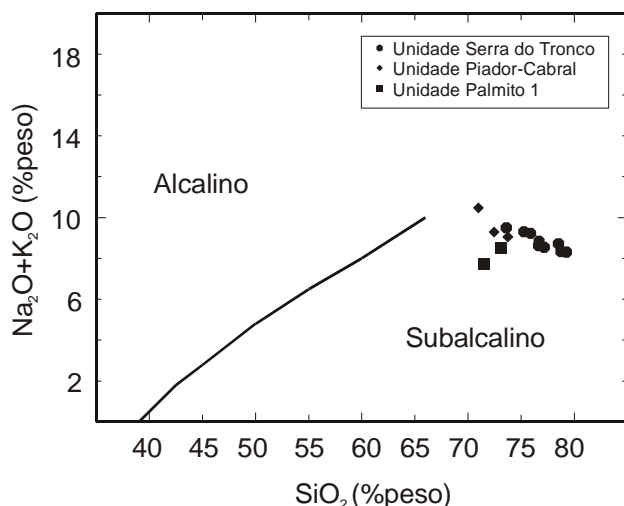


Figura 1. Amostras do Granito Agudos plotadas no diagrama TAS (Total Alkalies versus Silica) de discriminação de séries magmáticas (Irvine & Baragar 1971). Valores recalculados para 100% em base anídrica

As amostras do Granito Agudos plotam no campo cálcio-alcálico do diagrama AFM (Fig. 2). As mesmas amostras plotam no limite entre os campos das séries Peraluminosa e Metaluminosa no diagrama discriminante que utiliza o Índice de Shand (Fig. 3).

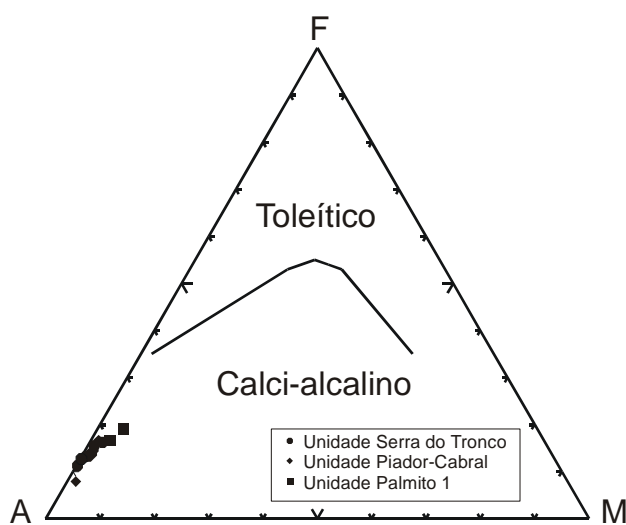


Figura 2. Amostras do Granito Agudos plotadas no diagrama AFM ($A=Na_2O + K_2O$; $F=FeO+0,8998Fe_2O_3$; $M=MgO$) de discriminação de séries magmáticas (Irvine & Baragar 1971). Valores recalculados para 100% em base anídrica

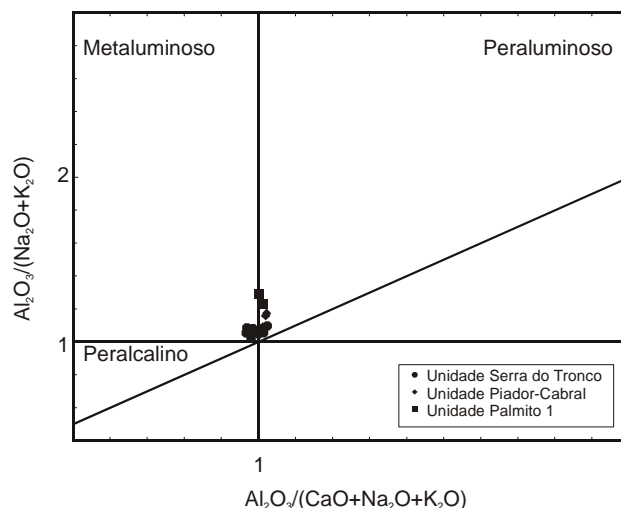


Figura 3. Amostras do Granito Agudos plotadas no diagrama discriminante com base no Índice de Shand ($Al_2O_3/(Na_2O + K_2O)$; proporções moleculares) (Maniar & Piccoli, 1989). Valores recalculados para 100% em base anídrica

As amostras estudadas são granitos e álcali-feldspato granitos, de acordo com a classificação em base química em diagrama TAS (Fig. 4).

Finalmente, as amostras dos granitóides das unidades Serra do Tronco e Piador-Cabral alinham-se regularmente no *trend* dos granitos pós-orogênicos, o que, no entanto, não é observado no caso dos granitóides da Unidade Palmito 1 (Fig. 5).

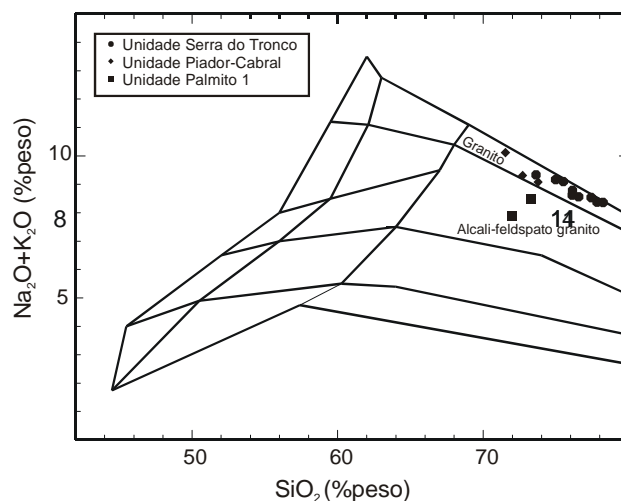


Figura 4. Amostras do Granito Agudos plotadas no diagrama TAS (Total Alkalies versus Silica) de classificação química de rochas plutônicas (Middlemost 1989). Valores recalculados para 100% em base anídrica

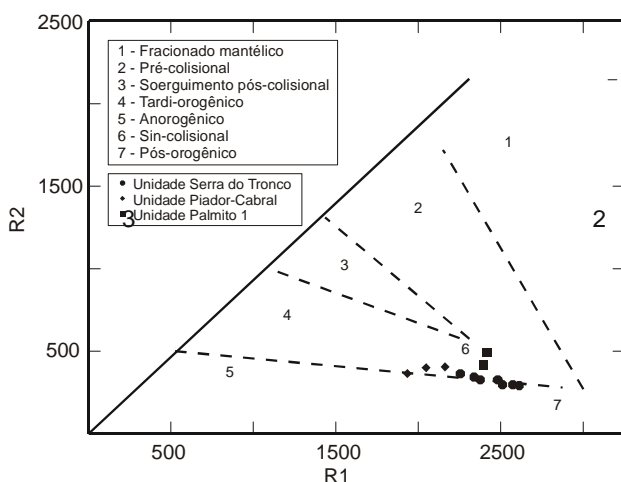


Figura 5. Amostras do Granito Agudos plotadas no diagrama $R1 (4Si-11(Na+K) - 2(Fe + Ti))$ versus $R2 (6Ca + 2Mg + Al)$ de discriminação de ambientes tectônicos (Batchelor & Bowden 1985). Valores recalculados para 100% em base anídrica

PETROGÊNESE O estudo petrogenético foi feito com base em diagramas de Harker e na regressão pelo método dos mínimos quadrados. O diagrama da Fig. 5 mostrou que as amostras da Unidade Palmito 1 parecem não estar associadas ao mesmo contexto geodinâmico das amostras das unidades Serra do Tronco e Piador-Cabral. Logo, as duas amostras dessa unidade foram excluídas da análise petrogenética.

Inicialmente, o estudo petrogenético foi feito considerando-se todas as 12 amostras das unidades Serra do Tronco e Piador-Cabral. Isto foi feito para testar-se a hipótese das amostras de granitóides da Unidade Piador-Cabral serem cogenéticas com as amostras da Unidade Serra do Tronco. Numa primeira análise, os níveis de confiança não variam muito, para vários elementos, considerando-se a hipótese de cogeneticidade. No entanto, no detalhe a hipótese de cogeneticidade perde sustentação. Por exemplo: muito embora os níveis de confiança para TiO_2 estejam entre 99% e 99,9%, sejam ou não incluídas as amostras da Unidade Piador-Cabral, os valores dos quadrados dos coeficientes de correlação de Pearson (R^2) são 0,73 e 0,52, respectivamente. Assim, no caso desse óxido, a análise regressiva, tendo como hipótese a não cogeneticidade, (excluindo-se as amostras da Unidade Piador-Cabral, ou seja, cálculo para um total de nove amostras) gera valores de R^2 mais próximos do valor mínimo associado a um nível de confiança de 99,9% (0,81) do que quando se considera a hipótese de cogeneticidade (incluindo-se as amostras da Unidade Piador-Cabral na análise regressiva, ou seja, cálculo para um total de doze amostras), cujo valor de R^2 (0,52) está mais próximo daquele mínimo associado aos níveis de confiança de 99% (0,50). O mesmo se

aplica aos outros óxidos, notando-se também que as correlações para os álcalis ficam em torno de 99,9%, para a hipótese de não cogeneticidade e abaixo de 80%, no caso de aceitar-se a hipótese de cogeneticidade. Os mesmos testes foram feitos para os elementos Zr, Y, Rb, Ba e Sr, gerando resultados semelhantes àqueles obtidos para os óxidos. Ademais, os elementos Zr e Y não geram correlação alguma quando as amostras da Unidade Piador-Cabral são incluídas na análise regressiva. Contrariamente, os níveis de confiança gerados para esses dois elementos ficam acima de 95% quando se considera a não cogeneticidade entre Piador-Cabral e Serra do Tronco. Finalmente, uma amostra da Unidade Piador-Cabral com $SiO_2=74,24\%$ e uma amostra da Unidade Serra do Tronco com $SiO_2=74,05\%$, ou seja, com o mesmo grau de diferenciação, têm razões Ba/Y com diferença superior a 21 vezes, o que não pode ser explicado no caso de evolução a partir dos mesmos processos (ou seja, cogeneticidade).

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES A análise regressiva pelo método dos mínimos quadrados indica que os granitos das unidades Serra do Tronco e Piador-Cabral não evoluíram a partir de um mesmo processo de equilíbrio cristal-líquido e, portanto, suas amostras não são cogenéticas, mas, sim, pertencem a suítes distintas do Granito Agudos. As funções lineares obtidas em diagramas de Harker construídos para óxidos e elementos traços para as amostras da Unidade Serra do Tronco e seus níveis de significância, em geral, acima de 99%, bem como a ausência de hiato composicional, indicam que a suíte Serra do Tronco deve ter evoluído por cristalização fracionada ou AFC (*Assimilation and Fractional Crystallisation*). Variações nas razões de elementos traço (p.ex.: Ba/Zr, Ba/Sr, Sr/Y e La/Yb) superiores a 50% entre os litotipos representativos de líquidos parentais e mais evoluídos da suíte indicam que o processo evolutivo mais provável foi AFC. Funções lineares com níveis de confiança comparáveis às funções polinomiais indicam que o processo ocorreu sem mudança de assembléia fracionante. As correlações negativas observadas em diagramas de Harker para TiO_2 , Al_2O_3 , $Fe_2O_3^t$, MgO, CaO, K_2O , Zr, Ba e Sr são condizentes com uma assembléia fracionante formada por feldspatos, biotita e hornblenda, com inclusões de zircão, sendo essas fases comumente observadas na assembléia de fenocristais dessas rochas, conforme descrito no item Petrografia deste trabalho.

Alternativamente, equações de fusão parcial em equilíbrio modal (Wood & Fraser 1976) foram utilizadas na elaboração de modelos geoquímicos na tentativa de conseguir-se gerar a ampla variação de



razões de elementos traços observada na Unidade Serra do Tronco por diferentes quantidades de fusão parcial a partir de uma mesma fonte (Fig.6).

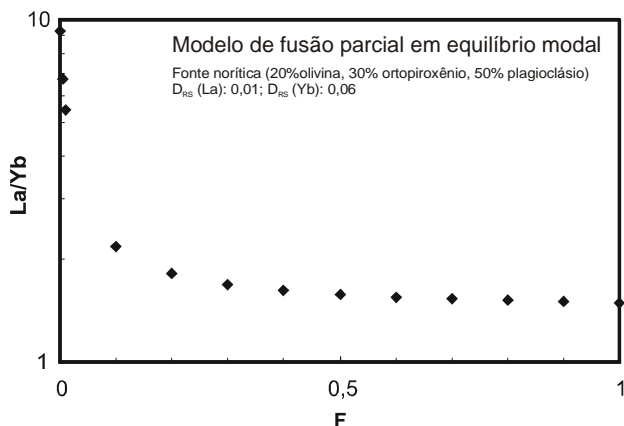


Figura 6. Variações das razões La/Yb para diferentes quantidades de fusão parcial para modelo do tipo equilíbrio modal (Wood & Fraser 1976)

Os modelos foram elaborados considerando-se uma fonte de composição norítica, uma vez que a principal rocha encaixante do Granito Agudos é um gnaiss norítico (Kaul 1997). Valores de coeficientes de partição cristal-líquido (K_d) disponíveis na literatura (p.ex.: Rollinson 1993) foram utilizados nos cálculos, considerando-se uma fonte constituída de

olivina, ortopiroxênio e plagioclásio. Os modelos foram elaborados para os elementos La e Yb, na tentativa de gerar a variação da razão entre esses dois elementos dentro da Unidade Serra do Tronco, que é da ordem de oito vezes, desde cerca de 3 (para os litotipos com maiores teores de SiO_2 , ou seja, representantes de líquidos gerados por menores quantidades de fusão parcial) até cerca de 27 (para os litotipos com menores teores de SiO_2 , ou seja, representantes de líquidos gerados por maiores quantidades de fusão parcial). A presença de uma fase (ortopiroxênio) retentora de Yb na fonte norítica ($K_d \sim 0,14$; Rollinson 1993), no entanto, não permite gerar um intervalo crescente de razões La/Yb nos líquidos modelos com o aumento da quantidade de fusão parcial (F) (Fig. 6). A presença de granada na fonte residual só piora o modelo, dado os elevados valores de K_d entre granada e fonte norítica (até 35; Rollinson 1993). Em conclusão, o gnaiss norítico encaixante do Granito Agudos não pode ser considerado uma possível fonte geradora dos granitóides estudados, por variações de quantidades de fusão parcial. Por outro lado, o modelo petrogenético mais satisfatório para os granitóides da Unidade Serra do Tronco, conforme se viu acima, é o de evolução por AFC, sem mudança de assembléia fracionante.

Referências

- BATCHELOR R.A. & BOWDEN P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using muticationic parameters. *Chemical Geology*, **48**:43-55.
- BRITO NEVES B.B. de & CORDANI U.G. 1991. Tectonic evolution fo South America during theLate Proterozoic. *Precambrian Research*, Amsterdam, **53**: 29-40.
- FIORI A.P. 1984. *Análise do caráter polidiapírico do granito Agudos na região de Agudos do Sul, PR*. Curitiba: Mineropar. 25 p. (Relatório Interno).
- IRVINE T.N. & BARAGAR W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **8**:523-547.
- KAUL P.F.T. 1997. O Magmatismo na Serra do Mar e adjacências (Sul do Brasil) no final do Neoproterozóico e seus condicionantes tectônicos. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, tese de doutoramento, 293 p.
- MANIAR P.D. & PICCOLI P.M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, **101**:635-643
- MIDDLEMOST E.A.K. 1989. Iron oxidation ratios, norms and the classification of volcanic rocks. *Chemical Geology*, **77**:19-26.
- WOOD B.J. & FRASER D.G. 1976. *Elementary thermodynamics for geologists*. Oxford:Oxford University Press. 303pp.