

4 LITOGEOQUÍMICA

4.1 Dados das Análises

Das 68 amostras coletadas em campo, 43 amostras abrangendo todos os litotipos relatados anteriormente foram selecionadas para a realização da análise litogeoquímica. A preparação das amostras foi realizada no Laboratório Geológico de Preparação de Amostras (LGPA-UERJ). A análise litogeoquímica multi-elementar foi realizada pelo Activation Laboratories Ltd no Canadá. Foram obtidas assim as concentrações dos elementos maiores (SiO_2 , Al_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{T}}$, MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 e P_2O_5) em porcentagem de peso na forma de óxidos, além das concentrações dos elementos traços móveis (Ba, Rb, Sr, U e Th), imóveis (Zr, Y, Nb e Hf), os elementos Ni, Cr, V e Co bem como os elementos terras raras (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Eu, Tb, Dy e Ho) em partes por milhão. Nesta análise também foram obtidos dados de perda ao fogo (LOI - Loss On Ignition) (Anexo 1). O método de análise utilizado pelo laboratório para a dosagem dos elementos maiores bem como dos elementos Sc, Be, V, Ba, Sr, Y e Zr foi o Plasma Induzido (ICP-AOS), e para os demais elementos foi usada espectrometria de Massa (ICP-MS). O ferro foi analisado como ferro total ($\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{T}}$).

Durante o processo de pulverização das amostras foi utilizado moinho com bolas de tungstênio (W) e sendo assim, na confecção dos diagramas litogeoquímicos este elemento não foi utilizado bem como também não foram utilizados Nb e Ta, já que os três elementos citados podem ter teores discrepantes devido à contaminação inerente ao processo de moagem. Além dos elementos supracitados foram descartados aqueles elementos que não apresentam valor petrogenético quais sejam: Cu, Co, Ag, Bi, Zn, Ga, Be, Ge, As, Mo, In, Sn, Sb, Cs, Tl.

A soma dos óxidos maiores mais os valores de perda ao fogo (*LOI - Loss On Ignition*) estão entre 100,5 e 98,2 em porcentagem de peso. Das 43 amostras analisadas 20 apresentam soma dos óxidos inferior 99,0 % peso (MAR-15, MAR-31B, MAR-01A, MAR-13C, MAR-22C, MAR-35, MAR-10B, MAR-19B, MAR-32, MAR-19A, MAR-38B, MAR-17B, MAR-20, MAR-39, MAR-05A, MAR-34B, MAR-31C, MAR-30, MAR-06A, MAR-18), sendo que destas, as nove ultimas (MAR-17B, MAR-

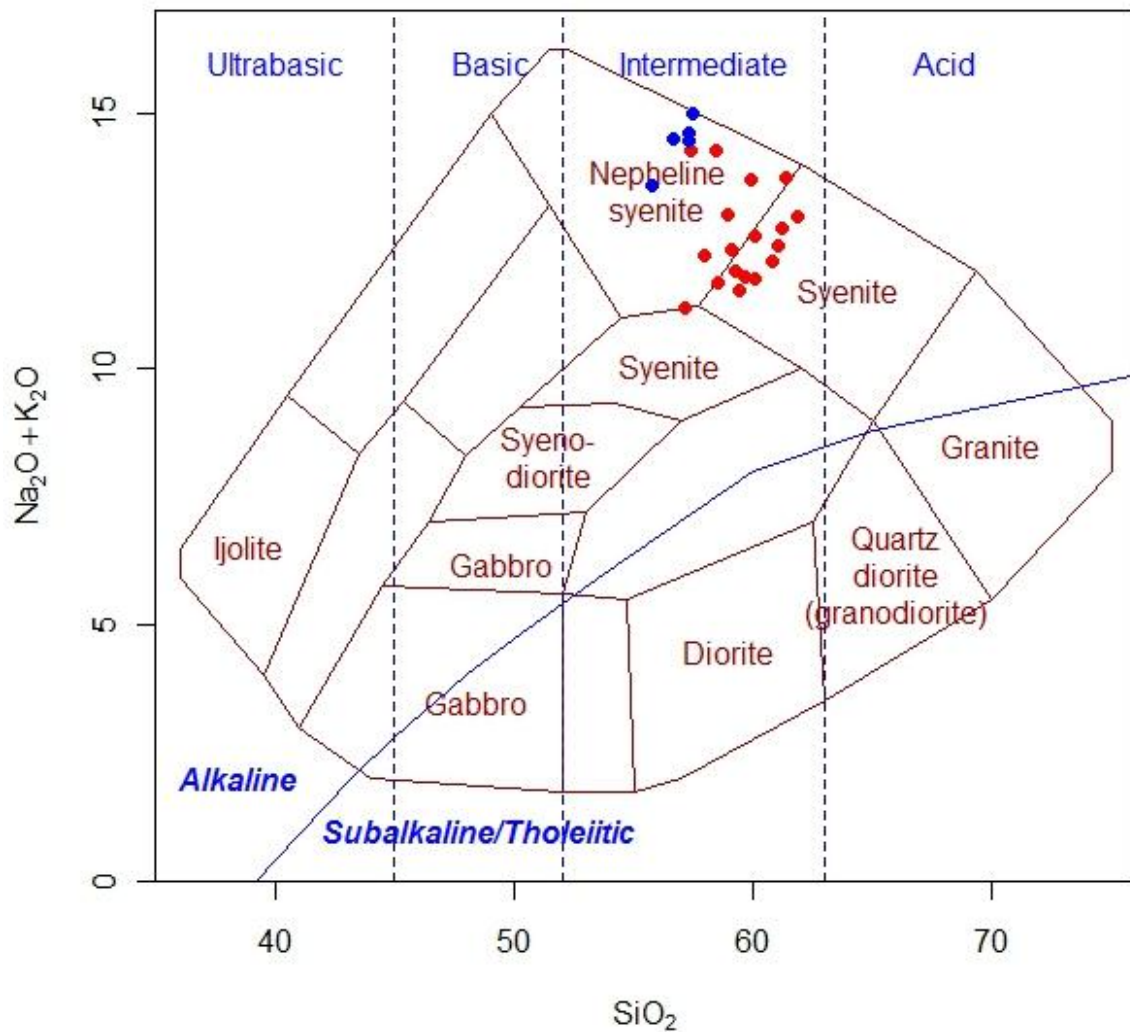
20, MAR-39, MAR-05A, MAR-34B, MAR-31C, MAR-30, MAR-06A, MAR-18) apresentam soma igual ou inferior a 98,5 % peso. Embora nem todas as amostras analisadas apresentem um valor ideal para a soma dos óxidos, todas foram usadas na confecção dos diagramas litogeoquímicos e para as amostras listadas acima foi dada uma atenção especial para possíveis discrepâncias que pudessem ocorrer.

Os diagramas que serão apresentados a seguir foram construídos utilizando-se o programa gratuito para manipulação e cálculo de dados geoquímicos para rochas ígneas e metamórficas *GCDkit 3.00 (Geochemical Data Toolkit)*, que roda na plataforma R. Para a inserção legendas e todo tipo de informação adicional aos diagramas foi utilizado o programa *CorelDRAW Graphics Suíte X5*.

4.2 Classificação Química

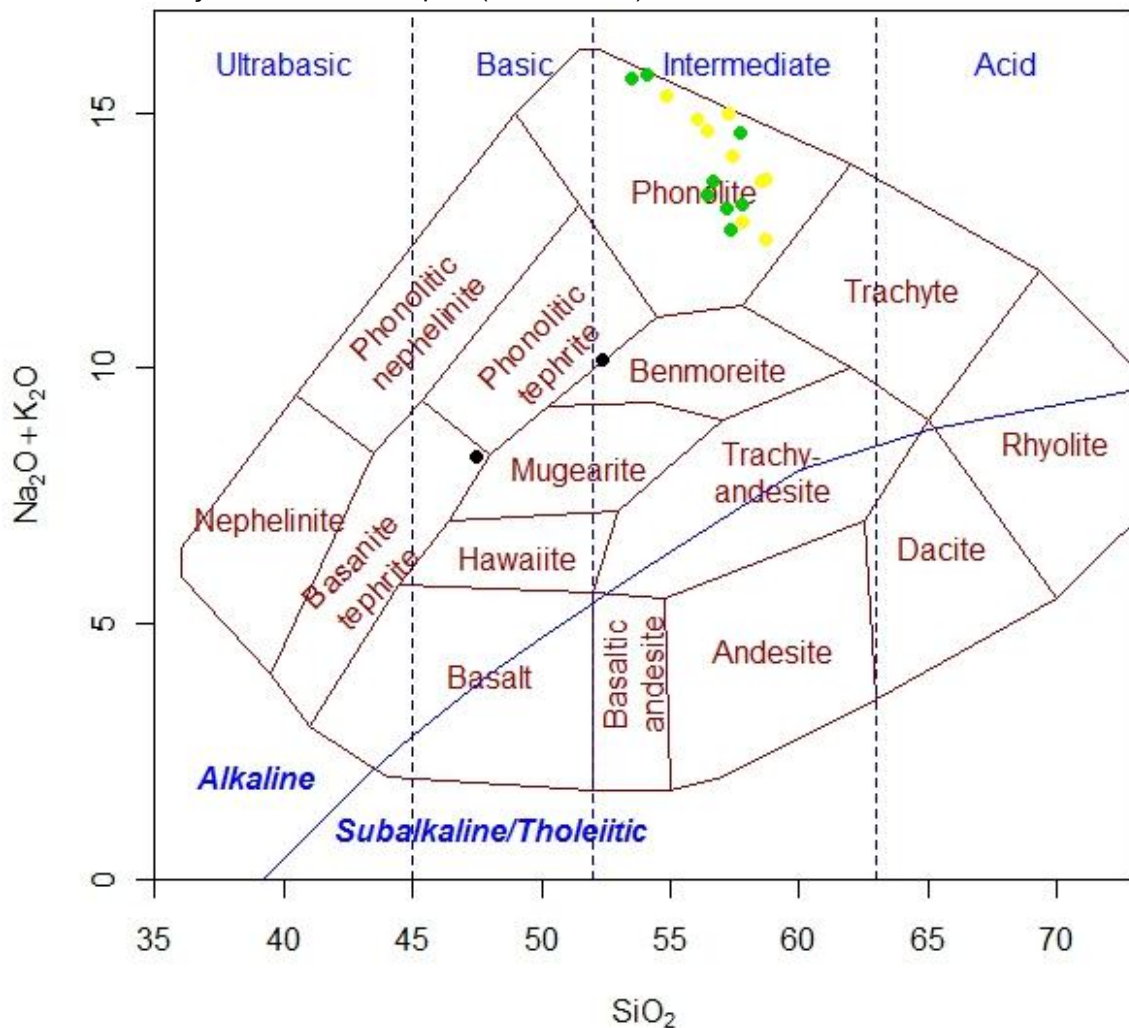
O diagrama do tipo TAS (SiO_2 vs. $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) de Cox *et al.*, (1979) foi utilizado na classificação química das rochas em estudo. Neste diagrama a curva de discriminação entre as séries alcalina e subalcalina é aquela proposta por Irvine e Baragar (1971). A análise dos diagramas mostra que o maciço Marapicu é composto por uma série alcalina na qual as rochas plutônicas são classificadas como nefelina sienitos e sienitos (figura 15) enquanto as rochas vulcânicas são classificadas como fonolitos (figura 16). Esta série tem caráter intermediário em relação à sílica com conteúdo variando de 53.46 % a 61.87 % em peso. A amostra MAR-28C (lamprófiro) tem composição básica e seu teor de SiO_2 é de 47.5 % em peso, esta amostra também possui alto teor de $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\dagger}$ (8.24 %), MgO (7.02 %), e CaO (8.51 %) elementos que entram na formação de minerais máficos como biotita, piroxênios e anfibólios. Além disso, a amostra supracitada ainda possui alto teor de Ni (130 ppm) e Cr (370 ppm) de modo que seria o melhor candidato a magma parental da série dentre as amostras coletadas. A amostra MAR-24 (tefrito fonolítico) também possui alto teor de $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\dagger}$ (9.01%), MgO (2.5 %) e CaO (5.66 %).

Figura 15 - Classificação química segundo Cox *et al.* (1979) dos litotipos plutônicos analisados do maciço alcalino do Marapicu (23 amostras).



Nota: A curva de discriminação entre as séries alcalina e subalcalina é aquela proposta por Irvine e Baragar (1971). No diagrama os nefelina sienitos com sodalita são indicados pela cor azul.
 Fonte: O autor 2015.

Figura 16 - Classificação química segundo Cox *et al.*, (1979) dos litotipos vulcânicos analisados do maciço alcalino do Marapicu (19 amostras).



Nota: A curva de discriminação entre as séries alcalina e subalcalina é aquela proposta por Irvine e Baragar (1971). Em verde os fonolitos do grupo A (com fenocristais de K-feldspato, nefelina e hornblenda), em amarelo os fonolitos do grupo B (com fenocristais de nefelina e sanidina). Em preto as amostras MAR-28C (lamprófito) e MAR-24 (fonolito tefrítico).

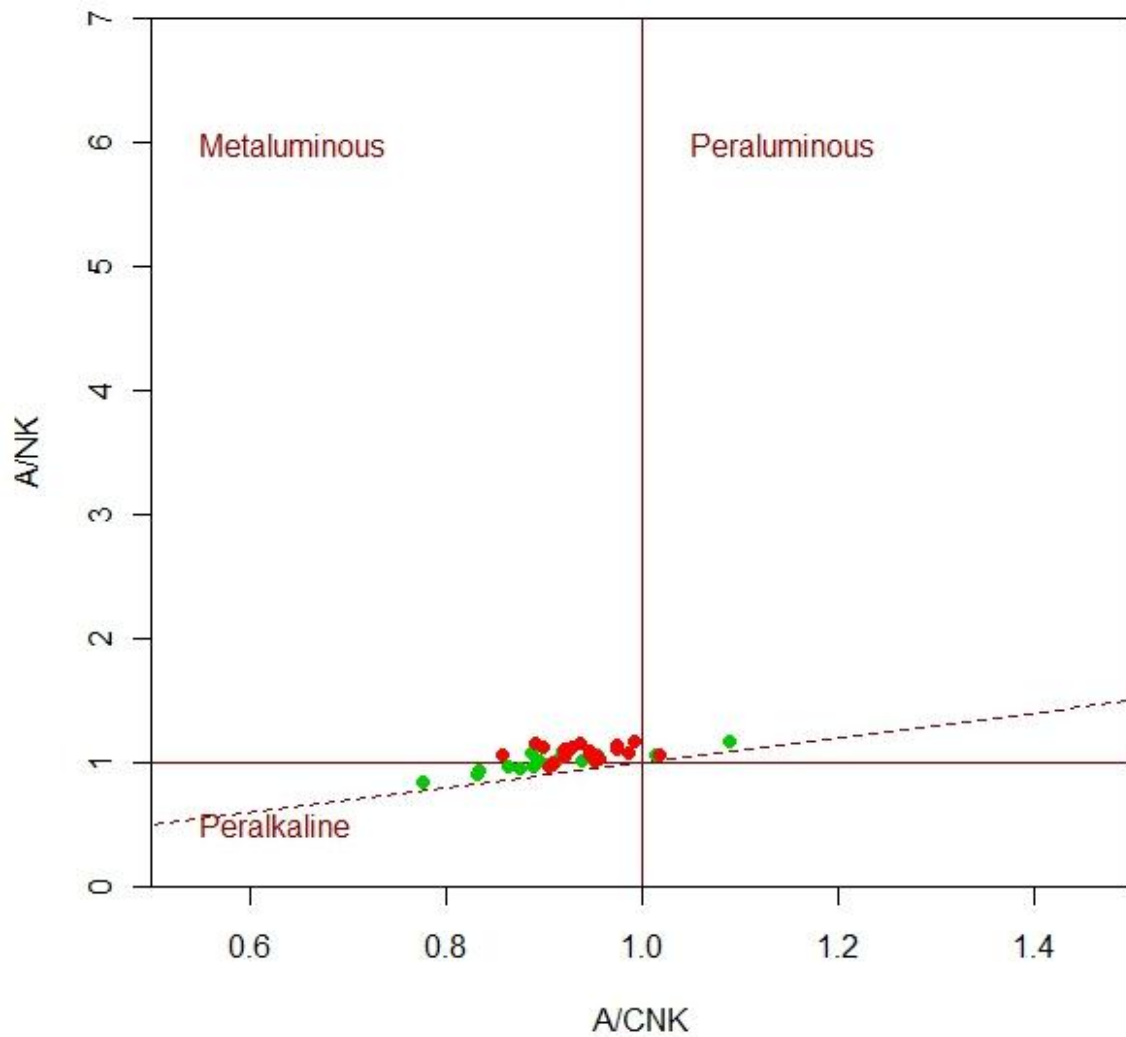
Fonte: O autor 2015.

Esta série tem caráter predominantemente miaskítico ($Al_2O_3/Na_2O+K_2O > 1$ em proporção molecular) e em menor proporção agpaítico ($Al_2O_3/Na_2O+K_2O < 1$ em proporção molar). O diagrama A/CNK vs. A/NK ($Al/2Ca+Na+K$ vs. $Al/Na+K$ em proporção molar) de Shand (1943) (figura 11) foi usado para discriminar o grau de saturação em alumínio da série. De acordo com este diagrama a maior parte das amostras é metaluminosa, indicando que há um excesso de cálcio após a alumina acumular nos feldspatos, o que é condizente com a assembleia formada por hornblenda e biotita observada na petrografia. Um grupo menor de amostras caem no campo das peralcalinas (MAR-15, MAR-31B, MAR-02B, MAR-09A, MAR-37,

MAR-38B, MAR-22C e MAR-31A) indicando que há excesso de álcalis em relação a alumina e mais álcalis do que o necessário para formar feldspatos. Além disso, três amostras (MAR-19A, MAR-31C e MAR-32) apresentam caráter peraluminoso.

O diagrama binário Na_2O vs. K_2O % peso de Middlemost (1975) (figura 12) é usado para discriminar a série alcalina em subséries de alto potássio, baixo potássio e sódica. O diagrama mostra que o Marapicu apresenta duas suítes sendo uma potássica e outra sódica com predomínio da primeira. Dessa forma, todas as 10 amostras de sienito caem na subsérie potássica, assim como, a amostra de melanita fonolito. Todas as 5 amostras de nefelina sodalita sienito além de três amostras de nefelina sienito (MAR-10B, MAR-29A e), 3 amostras de fonolito A (MAR-02B, MAR-15, MAR-31A) e 6 amostras de fonolito B (MAR-09A, MAR-18, MAR-22C, MAR-28B, MAR-31B, MAR-31C) caem na subsérie sódica ou na transição entre esta e a subsérie potássica. Parte das amostras da subsérie sódica (MAR-15, MAR-31B, MAR-02B, MAR-09A, MAR-37, MAR-38B, MAR-22C e MAR-31A) apresentam caráter peralcalino.

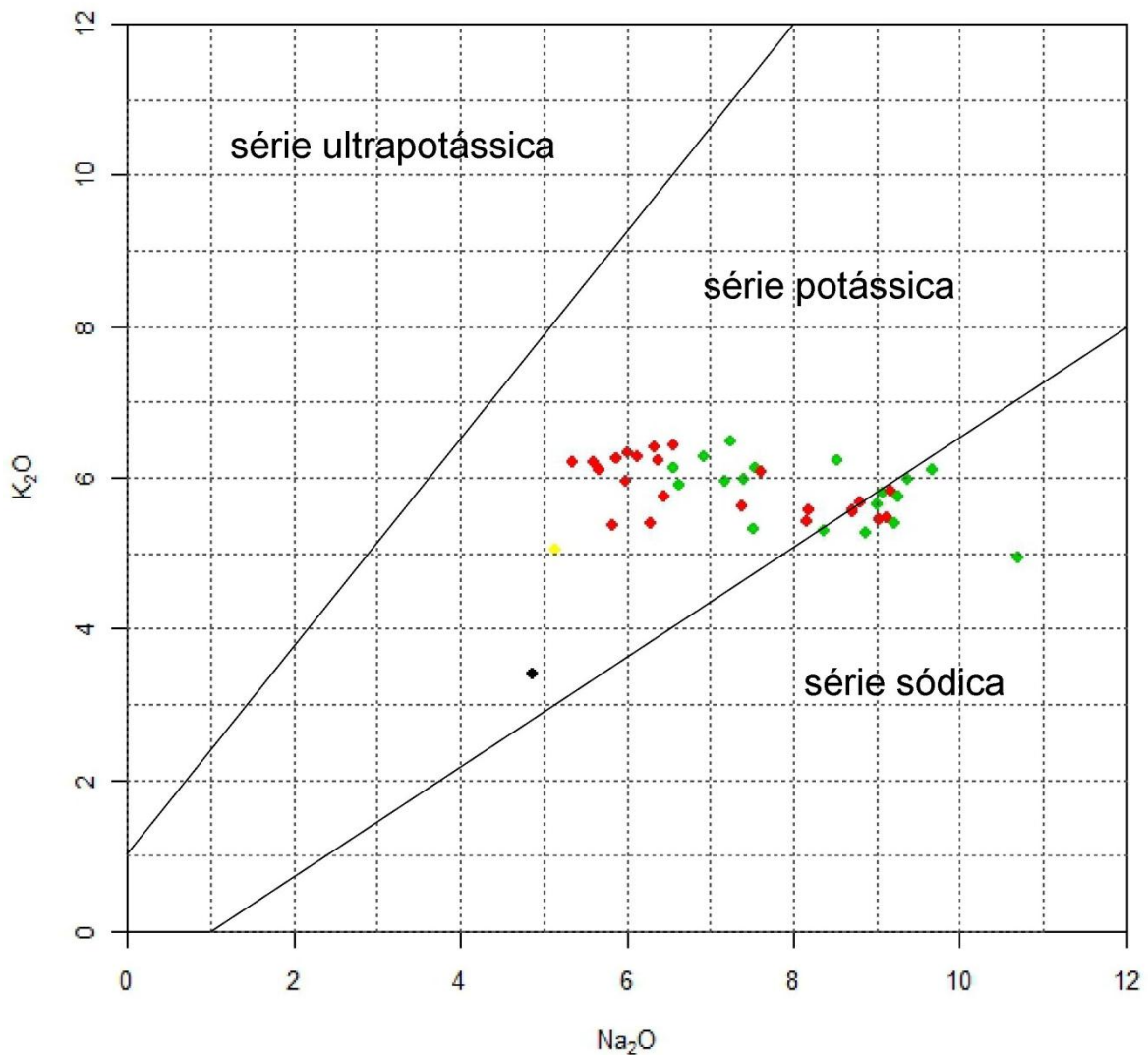
Figura 17 - Diagrama de aluminosidade de Shand (1943) usado para as 43 amostras analisadas do maciço alcalino do Marapicu.



Nota: A linha de ordenada 1 divide o diagrama entre suíte miaskítica (acima de 1) e suíte agpaítica (abaixo de 1). No diagrama os pontos vermelhos representam as rochas plutônicas (nefelina sienitos, sienitos e sodalita sienito) enquanto os pontos em verde representam as rochas vulcânicas (fonolito A, fonolito B e melanita fonolito).

Fonte: O autor 2015

Figura 18 - Diagrama discriminante entre séries ultrapotássica, potássica e sódica de Middlemost, 1975 com as 43 amostras analisadas do maciço alcalino do Marapicu.



Nota: A maior parte das amostras caem na série potássica enquanto um grupo menor cai na série sódica. No diagrama os pontos vermelhos representam as rochas plutônicas (nefelina sienitos, sienitos e sodalita sienito) enquanto os pontos em verde representam as rochas vulcânicas (fonolito A, fonolito B e melanita fonolito). O ponto preto representa a amostra MAR-28C e o ponto amarelo representa a amostra MAR-24 ambas citadas no texto.

Fonte: O autor 2015.

4.3 Norma CIPW

A norma CIPW foi aplicada a esse conjunto de dados com o intuito de caracterizar o grau de saturação em sílica e se possível agrupar as amostras de acordo com a saturação em sílica observada. De acordo com o cálculo da norma

(Anexo 2) as amostras do maciço Marapicu são insaturadas em sílica possuindo uma assembleia normativa composta de $Or+Ab+An+Ne\pm Di\pm Ol$. Apenas duas amostras (MAR-33 e MAR-34B) possuem caráter saturado em sílica com quartzo e hyperstênio na norma embora os teores sejam baixos e não se justifique separar essas amostras das demais.

4.4 Diagramas de Variação

O uso de diagramas de variação em petrogênese magmática é importante, pois através deles se obtém informações acerca do provável processo evolutivo ocorrido na série em estudo bem como da assembleia mineral envolvida. No presente trabalho foram construídos diagramas de variação para os elementos óxidos maiores (K_2O , Na_2O , CaO , TiO_2 , P_2O_5 , $Fe_2O_3^t$, MgO) e também para os seguintes elementos traço: Ba, Rb, Sr, U, Th, Pb, Y e Eu. Os diagramas foram confeccionados de acordo com as litologias observadas no Marapicu, ou seja, fonolitos, nefelina sienitos e sienitos.

Em cada diagrama foi aplicada a regressão pelo método dos mínimos quadrados de y em x Rollinson (1993) e os valores de R^2 são apresentados, as tabelas 5 e 6 apresentam os valores de R^2 juntamente com seus respectivos níveis de confiabilidade. Os diagramas apresentados não mostram hiatos composicionais o que é indicativo de evolução por meio de cristalização fracionada com ou sem assimilação concomitante o que não se pode concluir pelo uso desses diagramas isoladamente.

Em rochas da série subalcalina é comum o uso de diagramas do tipo Harker (1909) nos quais se usa sílica na abcissa como índice de diferenciação e é apropriado para as rochas desta série. Entretanto, em rochas da série alcalina que incluam fonolitos e nefelina sienitos sílica não é o índice de diferenciação mais apropriado, já que esta série se caracteriza pela perda de sílica e ganho de álcalis como pode ser observado no diagrama TAS das figuras 15 e 16. Pelo exposto acima, será usado aqui como índice de diferenciação o Índice de Diferenciação normativo ($I.D. = Q+Ab+Or+Ne+Ns$).

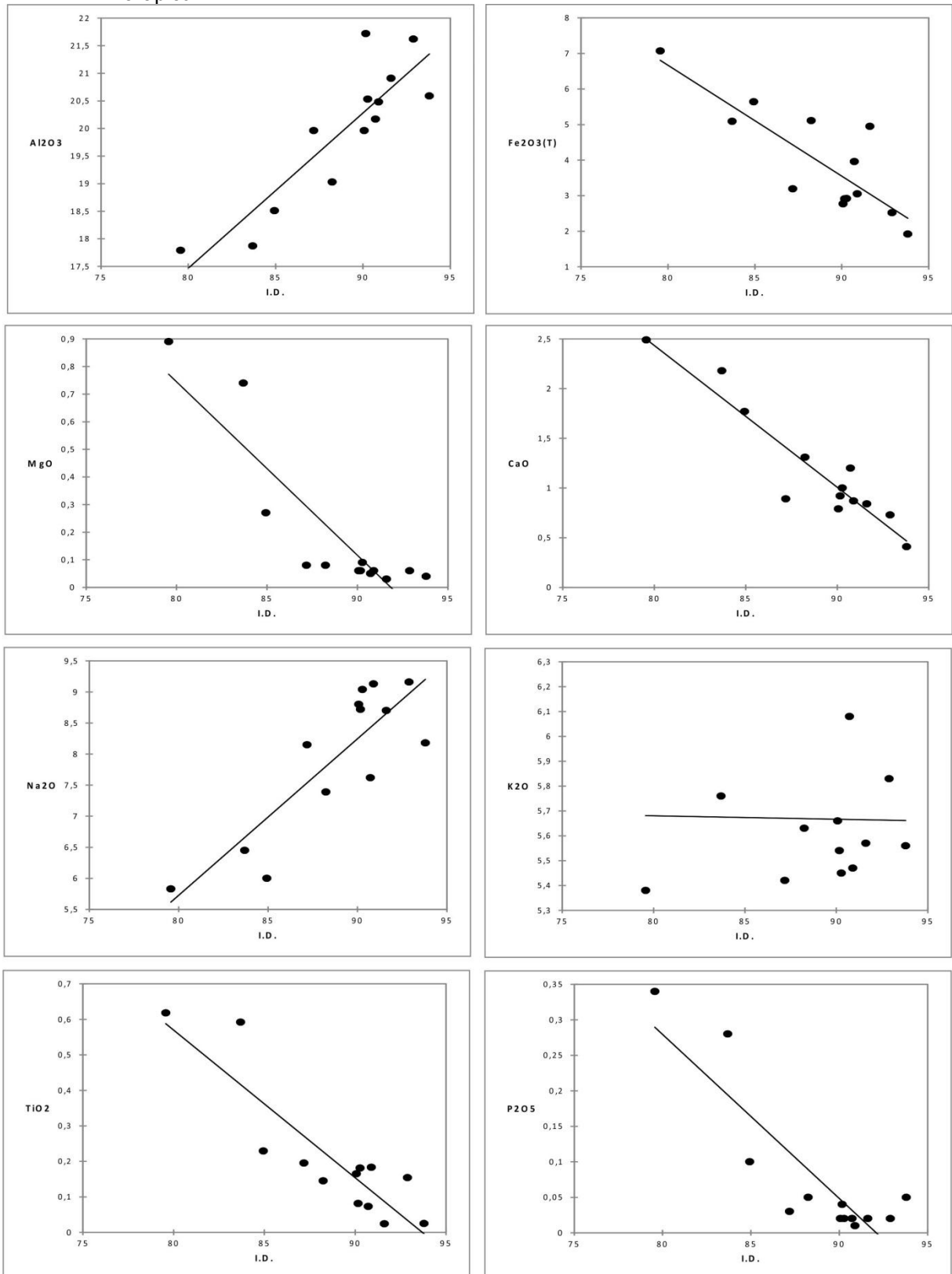
4.5 Diagramas de variação para nefelina sienitos

As 13 amostras de nefelina sienito analisadas incluindo aquelas que possuem sodalita azul como feldspatóide foram plotadas em diagramas binários de Índice de Diferenciação normativo contra óxidos maiores (figura 19) e também contra elementos traço (figura 20). A análise dos diagramas da figura 19 mostra que os nefelina sienitos analisados apresentam correlações lineares negativas para os seguintes óxidos: Fe_2O_3 , MgO , CaO , TiO_2 e P_2O_5 . Dois óxidos (Al_2O_3 e Na_2O) apresentam correlação linear positiva. O único óxido analisado que não apresenta correlação linear é o K_2O , sendo ele também o único a apresentar baixos valores de R^2 (tabela 5) indicando dispersão dos dados. Os demais óxidos possuem ótimas correlações lineares com níveis de confiabilidade acima de 99,9 % (tabela 5). O decréscimo nos teores de CaO e P_2O_5 é coerente com o fracionamento de apatita, observada na petrografia como fase acessória, já o decréscimo nos teores de Fe_2O_3 e MgO são coerentes com o fracionamento dos minerais máficos biotita, hornblenda e magnetita também observados na petrografia. O declínio dos teores de TiO_2 está relacionado ao fracionamento de titanita e o aumento nos teores de Al_2O_3 indica que plagioclásio teve uma participação menor no fracionamento magmático.

Os diagramas da figura 20 foram confeccionados com os elementos traço Ba, Rb, Sr, U, Th, Pb, Y e Eu. Os valores de R^2 e níveis de confiança associados mostram correlações robustas para Ba, Sr e Eu, pouco robustas para Rb e dispersão para os demais elementos (ver tabela 6). Os teores de Ba, Sr e Eu decaem enquanto os teores de Rb aumentam com o decorrer da diferenciação. O decréscimo nos teores de Ba indica fracionamento de K-feldspato, fase essencial observada na petrografia, já que, Ba substitui o K nesse mineral. O decréscimo nos teores de Sr indica fracionamento de plagioclásio observado na petrografia em quantidades subordinadas em relação ao K-feldspato.

Os diagramas apresentados nas figuras 19 e 20 não possuem intervalos composicionais indicando que os nefelina sienitos evoluíram por meio de processos como cristalização fracionada ou AFC (*Assimilation and Fractional Crystalization*). A similaridade dos valores de R^2 polinomial e linear indica que não houve mudança da assembleia fracionante.

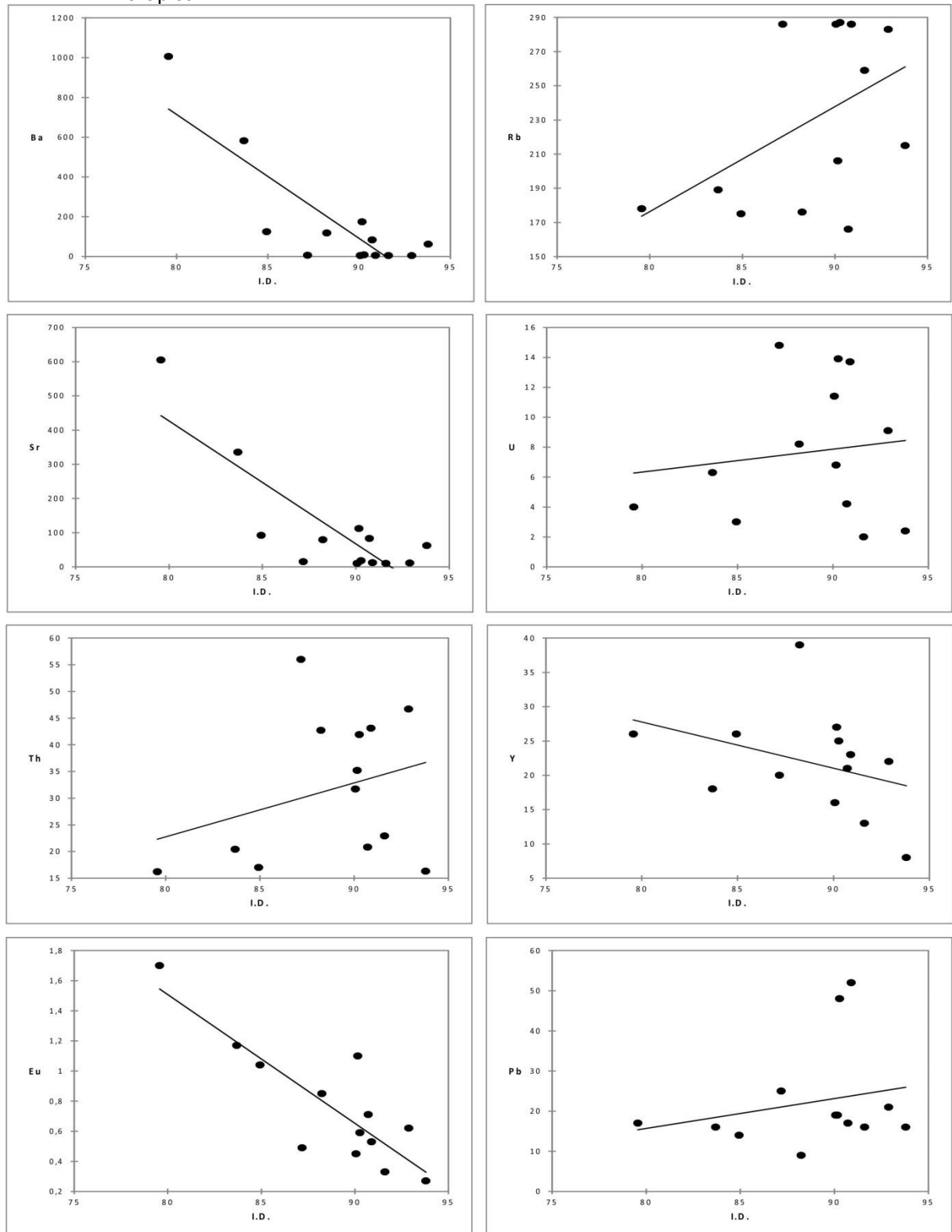
Figura 19 - Diagramas binários de óxidos maiores contra Índice de Diferenciação normativo (I.D. = $Q+Ab+Or+Ne+Ns$) das 13 amostras analisadas de nefelina sienito do maciço alcalino do Marapicu.



Nota: As linhas nos gráficos indicam as correlações lineares.

Fonte: O autor 2015.

Figura 20 - Diagramas binários de elementos traço contra Índice de Diferenciação normativo (I.D. = $Q+Ab+Or+Ne+N_s$) das 13 amostras analisadas de nefelina sienito do maciço alcalino do Marapicu.



Nota: As linhas nos gráficos indicam as correlações lineares.

Fonte: O autor 2015.

Tabela 5 - Valores de R^2 polinomial e linear para os diagramas binários apresentados na figura 20 com suas respectivas correlações e nível de confiabilidade associado considerando um conjunto de 13 análises de nefelina sienito.

I.D. contra	R^2 Polinomial	R^2 Linear	Correlação	Confiabilidade
Al ₂ O ₃	0,7700	0,7687	Linear Positiva	> 99,9 %
Fe ₂ O ₃	0,6889	0,6861	Linear Negativa	> 99,9 %
MgO	0,8919	0,7860	Linear Negativa	> 99,9 %
CaO	0,8886	0,8850	Linear Negativa	> 99,9 %
Na ₂ O	0,7266	0,7206	Linear Positiva	> 99,9 %
K ₂ O	0,0672	0,0004	Dispersão	< 80 %
TiO ₂	0,8129	0,7781	Linear Negativa	> 99,9 %
P ₂ O ₅	0,8864	0,7521	Linear Negativa	> 99,9 %

Legenda: I.D = Q+Ab+Or+Ne+Ns.

Fonte: O autor 2015.

Tabela 6 - Valores de R^2 polinomial e linear para os diagramas binários apresentados na figura 21 com suas respectivas correlações e nível de confiabilidade associado considerando um conjunto de 13 análises de nefelina sienito.

I.D. contra	R^2 polinomial	R^2 linear	Correlação	Confiabilidade
Ba	0,9037	0,7080	Linear Negativa	> 99,9 %
Rb	0,2355	0,2301	Linear Positiva	90,0-95,0 %
Sr	0,9091	0,6975	Linear Negativa	> 99,9 %
U	0,2069	0,0178	Dispersão	< 80,0 %
Th	0,2667	0,0893	Dispersão	< 80,0 %
Y	0,2683	0,1268	Dispersão	< 80,0 %
Pb	0,0622	0,0533	Dispersão	< 80,0 %
Eu	0,7431	0,7210	Linear Negativa	> 99,9 %

Legenda: I.D = Q+Ab+Or+Ne+Ns.

Fonte: O autor 2015.

4.6 Diagramas de variação para sienitos

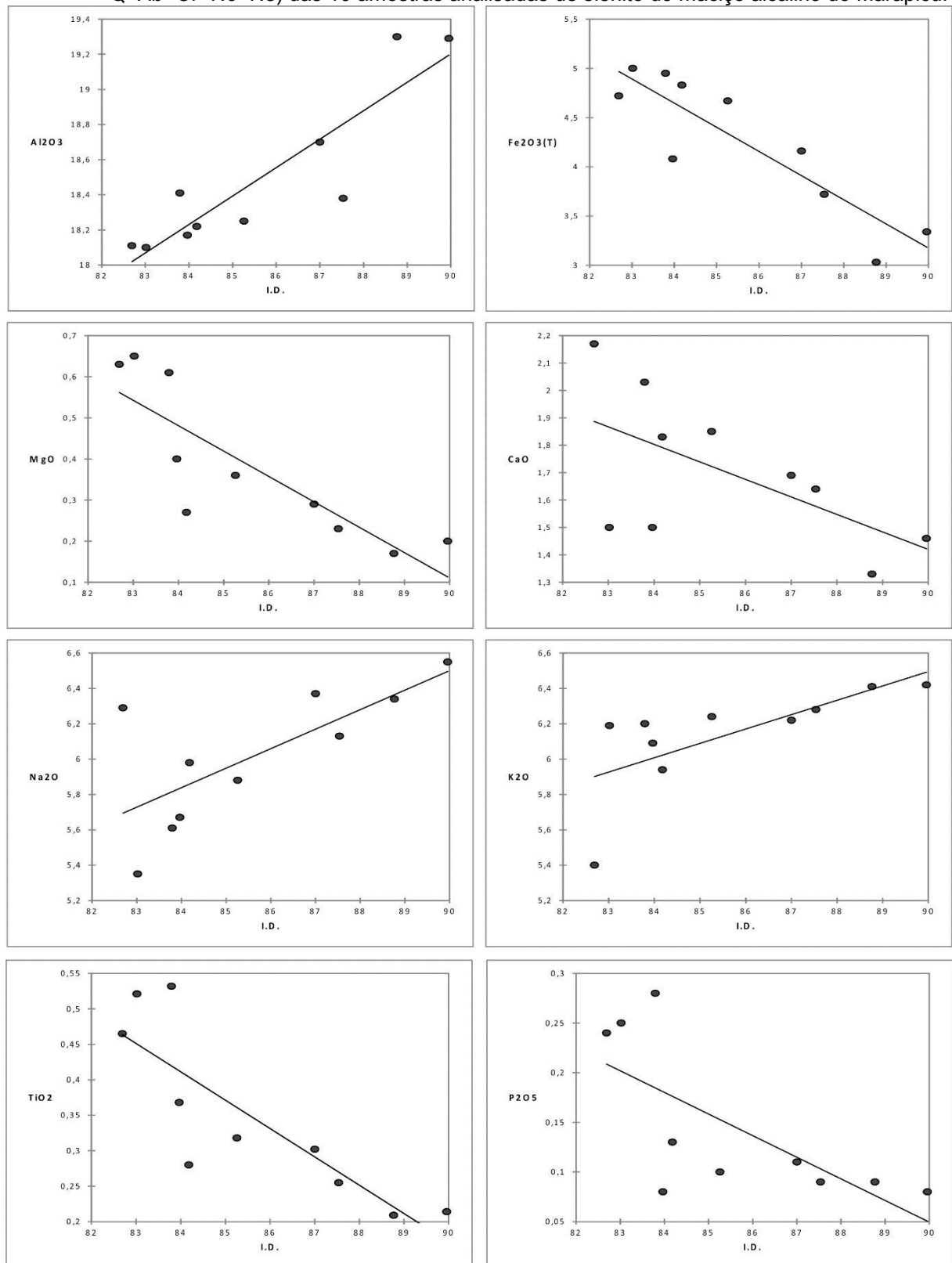
As 10 amostras de sienitos analisadas foram plotadas em diagramas binários cujo índice de diferenciação normativo é cruzado com os elementos óxidos maiores (figura 21) bem como, com elementos traço (figura 22). Observando os diagramas

da figura 21 nota-se que cinco óxidos apresentam correlação negativa são eles: Fe_2O_3 , MgO , CaO , TiO_2 e P_2O_5 . Todos esses óxidos apresentam correlações robustas a exceção do CaO que possui valores de R^2 pouco robustos (ver tabela 7). Os óxidos restantes, ou seja, Al_2O_3 , Na_2O e K_2O correlacionam-se positivamente com o Índice de Diferenciação, todos os três, apresentando valores robustos para R^2 (tabela 7). Os decréscimos nos teores de Fe_2O_3 e MgO indicam o fracionamento de minerais máficos tais como hornblenda, biotita e magnetita coerente com o observado na petrografia. Os decréscimos nos teores de TiO_2 e P_2O_5 é coerente com o fracionamento de titanita e apatita respectivamente tal como observado na petrografia. Aumento nos teores de Al_2O_3 indica que plagioclásio teve uma participação menor no fracionamento magmático.

Os diagramas da figura 22 foram confeccionados com elementos traço Ba, Rb, Sr, U, Th, Pb, Y e Eu dos sienitos analisados. Os valores de R^2 e níveis de confiança associados mostram que Ba, Rb, Sr, Th, Y e Pb apresentam correlações pouco robustas enquanto U e Eu apresentam dispersão dos dados (tabela 8). Os teores de Rb, Th, Y e Pb decaem enquanto os teores de Ba e Sr aumentam. O decréscimo nos teores de Y indica fracionamento apatita que é uma fase acessória observada na petrografia. O decréscimo nos teores de Rb indica o fracionamento de K-feldspato, já que, o Rb substitui o K nesse mineral essencial observado na petrografia.

Os diagramas apresentados nas figuras 21 e 22 não possuem intervalos composicionais indicando que os nefelina sienitos evoluíram por meio de processos como cristalização fracionada ou AFC (*Assimilation and Fractional Crystalization*). A similaridade dos valores de R^2 polinomial e linear indica que não houve mudança da assembleia fracionante.

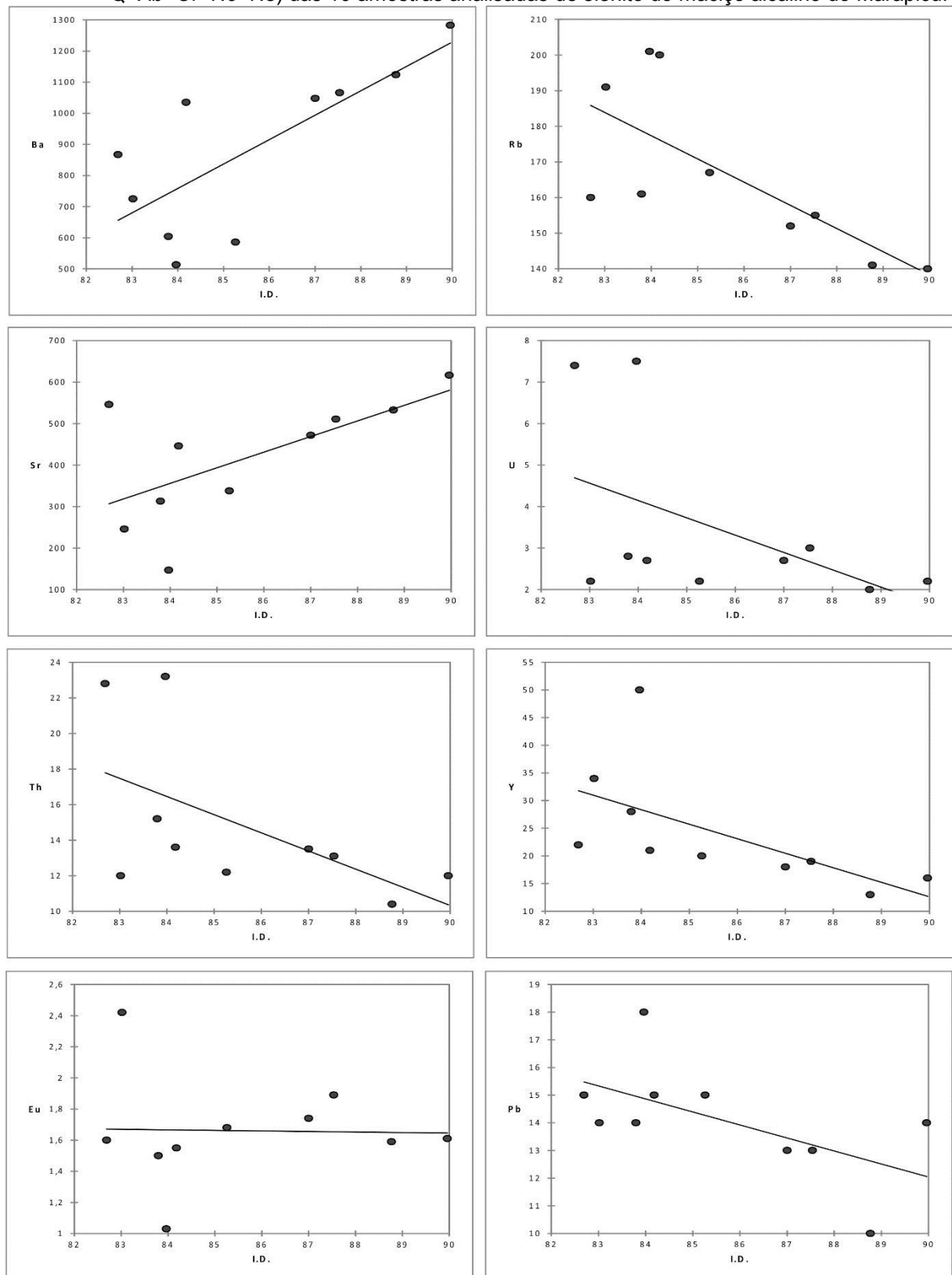
Figura 21 - Diagramas binários de óxidos maiores contra Índice de Diferenciação normativo (I.D. = $Q+Ab+Or+Ne+N_s$) das 10 amostras analisadas de sienito do maciço alcalino do Marapicu.



Nota: As linhas nos gráficos indicam as correlações lineares.

Fonte: O autor 2015.

Figura 22 - Diagramas binários de elementos traço contra Índice de Diferenciação normativo (I.D. = $Q+Ab+Or+Ne+N_s$) das 10 amostras analisadas de sienito do maciço alcalino do Marapicu.



Nota: As linhas nos gráficos indicam as correlações lineares.

Fonte: O autor 2015.

Tabela 7 - Valores de R^2 polinomial e linear para os diagramas binários apresentados na figura 22 com suas respectivas correlações e nível de confiabilidade associado considerando um conjunto de 10 análises de sienito.

I.D. contra	R^2 Polinomial	R^2 Linear	Correlação	Confiabilidade
Al ₂ O ₃	0,8585	0,8040	Linear positiva	> 99.9 %
Fe ₂ O ₃	0,8006	0,7917	Linear negativa	> 99.9 %
MgO	0,8096	0,7159	Linear negativa	99.0-99.9 %
CaO	0,3692	0,3658	Linear negativa	90.0-95.0 %
Na ₂ O	0,5433	0,5214	Linear positiva	95.0-99.0 %
K ₂ O	0,5476	0,4878	Linear positiva	95.0-99.0 %
TiO ₂	0,7500	0,7032	Linear negativa	99.0-99.9 %
P ₂ O ₅	0,6092	0,4883	Linear negativa	95.0-99.0 %

I.D = Q+Ab+Or+Ne+Ns.

Fonte: O autor 2015.

Tabela 8 - Valores de R^2 polinomial e linear para os diagramas binários apresentados na figura 23 com suas respectivas correlações e nível de confiabilidade associado considerando um conjunto de 10 análises de sienito.

I.D. contra	R^2 polinomial	R^2 linear	Correlação	Confiabilidade
Ba	0,6232	0,5649	Linear Positiva	95,0-99,0 %
Rb	0,5499	0,5255	Linear Negativa	95,0-99,0 %
Sr	0,4850	0,4059	Linear Positiva	95,0-99,0 %
U	0,2892	0,2491	Dispersão	80,0-90,0 %
Th	0,3624	0,3310	Linear Negativa	90,0-95,0 %
Y	0,3737	0,3734	Linear Negativa	90,0-95,0 %
Pb	0,3475	0,3470	Linear Negativa	90,0-95,0 %
Eu	0,0136	0,0006	Dispersão	< 80,0 %

Nota: I.D = Q+Ab+Or+Ne+Ns.

Fonte: O autor 2015.

4.7 Diagramas de variação para os fonolitos

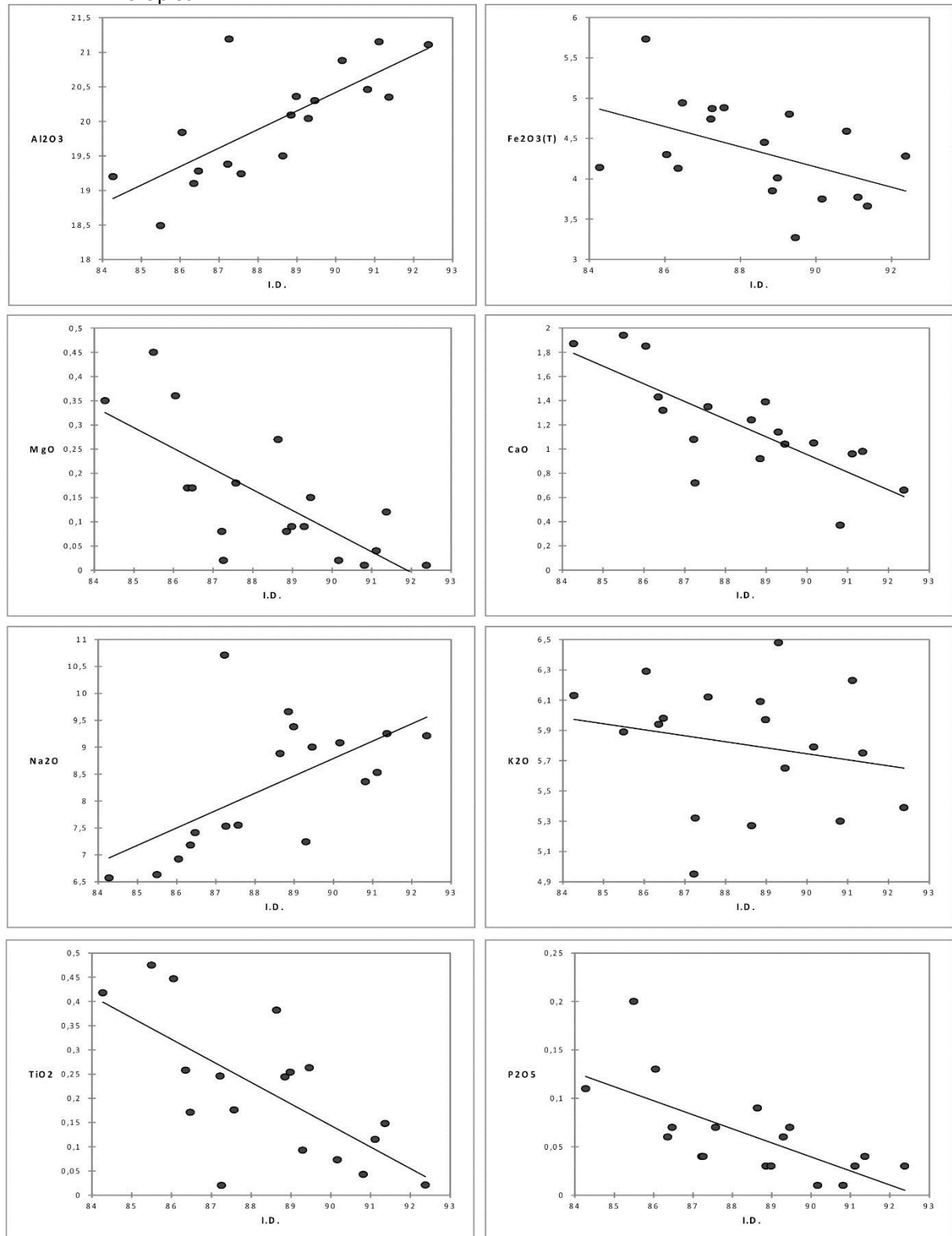
As 18 amostras de fonolito analisadas foram plotadas em diagramas binários cujo índice de diferenciação normativo é cruzado com os elementos óxidos maiores (figura 23) bem como, com elementos traço (figura 24). Observando os diagramas

da figura 23 nota-se que cinco óxidos apresentam correlação negativa são eles: Fe_2O_3 , MgO , CaO , TiO_2 e P_2O_5 . Os valores de R^2 para MgO e CaO mostram correlações robustas enquanto para Fe_2O_3 , TiO_2 e P_2O_5 as correlações são pouco robustas (tabela 9). Al_2O_3 e Na_2O correlacionam-se positivamente com o Índice de Diferenciação com correlações robustas para o Al_2O_3 e pouco robustas para Na_2O (tabela 9). O único óxido que apresenta dispersão dos dados é o K_2O (tabela 9), que possui valores de R^2 baixos indicando dispersão (ver tabela 9). Os decréscimos nos teores de CaO e P_2O_5 indicam o fracionamento de apatita que é uma fase acessória observada na petrografia nos dois grupos de fonolitos. Os decréscimos nos teores de Fe_2O_3 e MgO indicam o fracionamento de minerais máficos como hornblenda e biotita presente nos dois grupos de fonolito na matriz ou como fenocristais.

Os diagramas da figura 24 foram confeccionados com os elementos traço Ba, Rb, Sr, U, Th, Y, Pb e Eu dos fonolitos analisados. Os valores de R^2 e níveis de confiança associados mostram que apenas o Eu tem correlação robusta, Ba, Rb e Sr tem correlação pouco robusta e U, Th, Y e Pb apresentam dispersão dos dados (tabela 10). Ba, Sr e Eu correlacionam-se negativamente com Índice de Diferenciação enquanto Rb correlaciona-se positivamente. O decréscimo nos teores de Ba está de acordo com o fracionamento de K-feldspato, observado nos dois grupos de fonolito tanto na matriz como na forma de fenocristais.

Os diagramas apresentados nas figuras 23 e 24 não possuem intervalos composicionais indicando que os nefelina sienitos evoluíram por meio de processos como cristalização fracionada ou AFC (*Assimilation and Fractional Crystalization*). A similaridade dos valores de R^2 polinomial e linear indica que não houve mudança da assembleia fracionante.

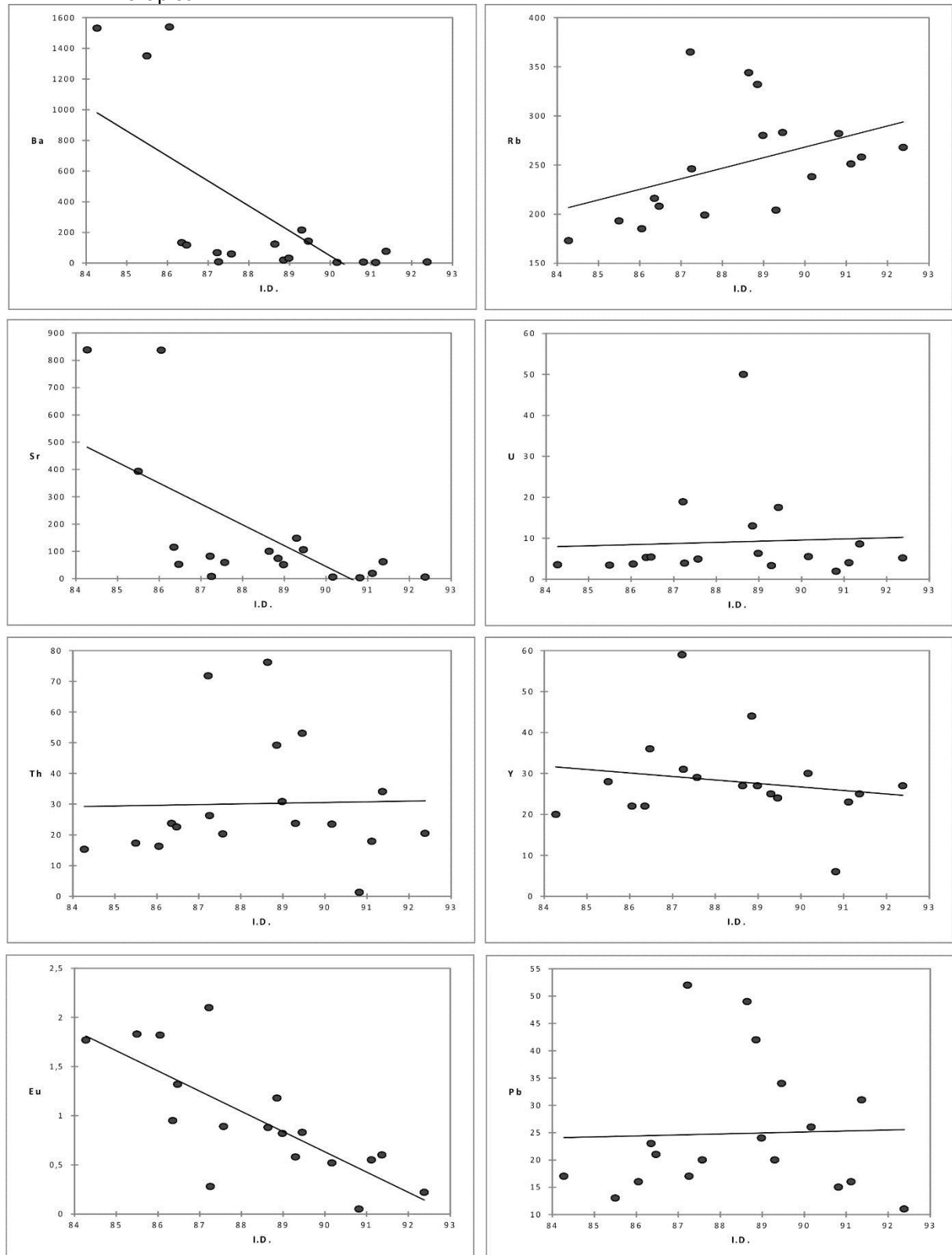
Figura 23 - Diagramas binários de óxidos maiores contra Índice de Diferenciação normativo (I.D. = $Q+Ab+Or+Ne+N_s$) das 18 amostras analisadas de fonólito do maciço alcalino do Marapicu.



Nota: As linhas nos gráficos indicam as correlações lineares.

Fonte: O autor 2015.

Figura 24 - Diagramas binários de elementos traço contra Índice de Diferenciação normativo (I.D. = $Q+Ab+Or+Ne+N_s$) das 18 amostras analisadas de fonolito do maciço alcalino do Marapicu.



Nota: As linhas nos gráficos indicam as correlações lineares.

Fonte: O autor 2015.

Tabela 9 - Valores de R^2 polinomial e linear para os diagramas binários apresentados na figura 24 com suas respectivas correlações e nível de confiabilidade associado considerando um conjunto de 18 análises de fonólito do maciço alcalino do Marapicu.

I.D. contra	R^2 Polinomial	R^2 Linear	Correlação	Confiabilidade
Al ₂ O ₃	0,5730	0,5726	Linear positiva	> 99.9 %
Fe ₂ O ₃	0,2233	0,2224	Linear negativa	95.0-99.0 %
MgO	0,5908	0,5428	Linear negativa	> 99.9 %
CaO	0,6330	0,6086	Linear negativa	> 99.9 %
Na ₂ O	0,4460	0,3712	Linear positiva	99.0-99.9 %
K ₂ O	0,0487	0,0460	Dispersão	< 80 %
TiO ₂	0,4822	0,4759	Linear negativa	99.0-99.9 %
P ₂ O ₅	0,5251	0,4787	Linear negativa	99.0-99.9 %

Legenda: I.D = Q+Ab+Or+Ne+Ns.

Fonte: O autor 2015.

Tabela 10 - Valores de R^2 polinomial e linear para os diagramas binários apresentados na figura 25 com suas respectivas correlações e nível de confiabilidade associado considerando um conjunto de 18 análises de fonólito do maciço alcalino do Marapicu.

I.D. contra	R^2 polinomial	R^2 linear	Correlação	Confiabilidade
Ba	0,6807	0,4533	Linear Negativa	99.0-99.9 %
Rb	0,3399	0,1858	Linear Positiva	90,0-95,0 %
Sr	0,6317	0,4317	Linear Negativa	99.0-99.9 %
U	0,1309	0,0031	Dispersão	< 80,0 %
Th	0,2265	0,0007	Dispersão	< 80,0 %
Y	0,1523	0,0319	Dispersão	< 80,0 %
Pb	0,2730	0,0011	Dispersão	< 80,0 %
Eu	0,5938	0,5897	Linear Negativa	> 99,9 %

Legenda: I.D = Q+Ab+Or+Ne+Ns.

Fonte: O autor 2015.

4.8 Elementos Traço e Terras Raras

O diagrama de elementos terras raras normalizado ao condrito de **Boyton (1984)** (figura 25) foi aplicado as amostras analisadas do maciço alcalino do Marapicu e confeccionado de acordo com as litologias observadas para esta intrusão. Dessa forma, foram produzidos diagramas para as rochas plutônicas (nefelina sienito, sienito e sodalita sienito), bem como para as rochas vulcânicas (fonolito A, fonolito B, melanita fonolito). A normalização ao condrito se deve ao fato de sua composição química ser considerada próxima aquela da terra primordial. Os padrões observados serão relatados a seguir.

No diagrama da figura 25A é apresentado o padrão de elementos terras raras de 8 amostras de nefelina sienito (exceto aquelas que apresentam sodalita como feldspatóide e tratadas separadamente) em relação ao condrito. Os nefelina sienitos apresentam um padrão geral de enriquecimento moderado dos terras raras leves em relação aos pesados (La_N/Yb_N varia de 19,17 a 26,00) além de anomalia negativa de Eu de grau fraco a moderado ($[Eu/Eu^*]_N$ varia de 0,29 a 0,77).

No diagrama da figura 25B é apresentado o padrão de elementos terras raras de todas as 10 amostras de sienito analisadas em relação ao condrito. Os sienitos apresentam um padrão geral de enriquecimento moderado dos terras raras leves em relação aos pesados (La_N/Yb_N varia de 15,83 a 24,75) com anomalia negativa de Eu de grau fraco ($[Eu/Eu^*]_N = 0,72-0,93$). Observa-se também que a amostra MAR-34B apresenta uma pequena anomalia negativa de Ce, além disso, três amostras apresentam leve anomalia positiva de Eu: MAR-16A ($[Eu/Eu^*]_N = 1,35$), MAR-01A ($[Eu/Eu^*]_N = 1,12$) e MAR-13C ($[Eu/Eu^*]_N = 1,04$).

No diagrama da figura 25C é apresentado o padrão de elementos terras raras das 5 amostras de nefelina sienito que apresentam sodalita como feldspatóide, em relação ao condrito. Os sodalita sienitos apresentam um padrão de terras raras homogêneo semelhante aquele observado nos nefelina sienitos sem sodalita na moda. Dessa forma, todas as amostras apresentam enriquecimento moderado dos terras raras leves em relação aos pesados (La_N/Yb_N varia de 16,97 a 30,47) e anomalia negativa de Eu de grau moderado ($[Eu/Eu^*]_N = 0,45-0,50$).

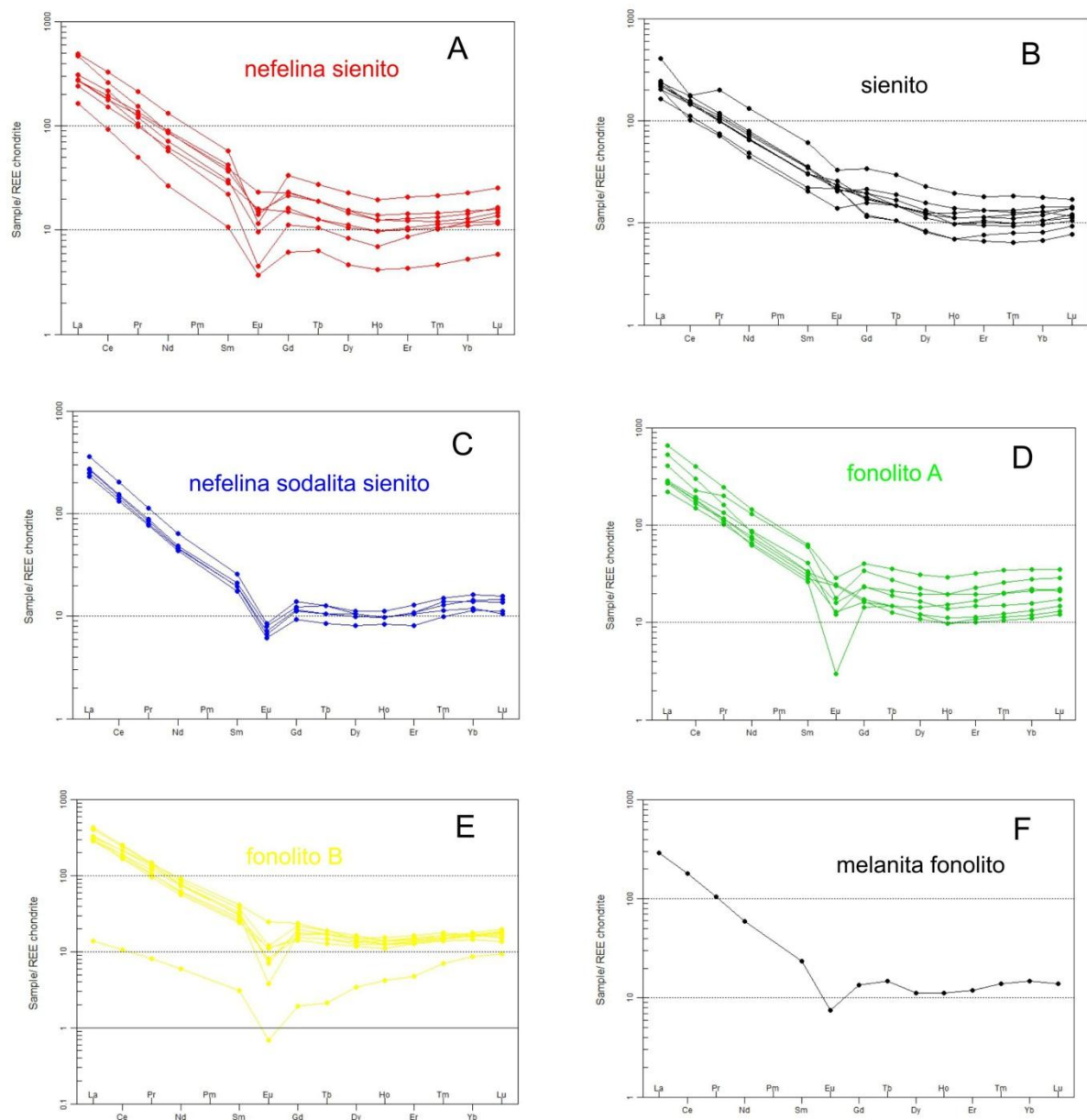
O diagrama da figura 25D mostra o comportamento dos elementos terras raras dos fonolitos do grupo A em relação ao condrito. O padrão geral observado é

de enriquecimento moderado dos elementos terras raras leves em relação aos elementos terras raras pesados (La_N/Yb_N varia de 12,75 a 22,55) juntamente com anomalia negativa de Eu de grau moderado ($[Eu/Eu^*]_N = 0,15-0,58$) exceto para as amostras MAR-06A ($[Eu/Eu^*]_N = 1,11$) e MAR-07 ($[Eu/Eu^*]_N = 1,04$) que apresentam fracas anomalias positivas de Eu.

O diagrama da figura 25E mostra o comportamento dos elementos terras raras dos fonolitos do grupo B em relação ao condrito. O padrão geral observado é de enriquecimento moderado dos elementos terras raras leves em relação aos elementos terras raras pesados (La_N/Yb_N varia de 16,46 a 24,23) juntamente com anomalia negativa de Eu de grau fraco a moderado ($[Eu/Eu^*]_N = 0,17-0,79$). A amostra MAR-31C apresenta um padrão mais contrastante em relação às demais no qual os terras raras médios são mais empobrecidos em relação aos leves e pesados e se observa uma anomalia negativa de Eu de grau moderado ($[Eu/Eu^*]_N = 0,28$).

O diagrama da figura 25F mostra o comportamento dos elementos terras raras da amostra de melanita fonolito (MAR-30) em relação ao condrito. O padrão observado é o mesmo dos demais fonolitos, ou seja, enriquecimento moderado dos elementos terras raras leves em relação aos elementos terras raras pesados ($La_N/Yb_N = 19,70$) juntamente com anomalia negativa de Eu de grau moderado ($[Eu/Eu^*]_N = 0,42$).

Figura 25 - Diagrama de elementos terras raras normalizado ao condrito de Boyton (1984) apresentando os padrões das litologias observadas no maciço alcalino do Marapicu.



Legenda: (A) 8 amostras de nefelina sienito, (B) 10 amostras de sienito, (C) 5 amostras de sodalita sienito, (D) 8 amostras do fonolito A, (E) 9 amostras do fonolito B, (F) amostra de melanita fonolito (MAR-30). Todas as litologias apresentam um padrão geral de enriquecimento dos terras raras leves em relação aos pesados, além disso, com exceção dos sienitos todos os grupos apresentam anomalia negativa de Eu.

Fonte: O autor 2015.

O diagrama multielementar de Sun e McDonough (1989) normalizado ao manto primitivo (figura 26) foi aplicado às amostras analisadas do maciço alcalino do Marapicu e confeccionado de acordo com as litologias observadas para esta

intrusão. Dessa forma, foram produzidos diagramas para as rochas plutônicas (nefelina sienito, sienito e sodalita sienito), bem como para as rochas vulcânicas (fonolito A, fonolito B, melanita fonolito). A normalização ao manto primordial foi feita considerando-se que as rochas aqui estudadas derivam de uma fonte mantélica enriquecida. Os padrões observados serão relatados a seguir.

Na figura 26A é apresentado o diagrama multielementar de 8 amostras de nefelina sienito (exceto aquelas que apresentam sodalita como feldspatóide e tratadas em separado) em relação ao manto primordial. Os nefelina sienitos apresentam um padrão geral no qual os elementos incompatíveis (Cs, Rb, Th, U, Nb, K, La, Ce, Pb) são enriquecidos em relação aos elementos menos incompatíveis (posicionados mais à direita do diagrama) com exceção do Zr que é enriquecido em menor grau. Em geral se observam anomalias negativas em Ba, Sr, P e Ti.

Na figura 26B é apresentado o diagrama multielementar de todas as 10 amostras de sienito analisadas em relação ao manto primordial. Os sienitos apresentam um padrão geral no qual os elementos relativamente mais incompatíveis (Cs, Rb, Ba, Th, U, Nb, K, La, Ce, Pb) são enriquecidos em relação aos elementos menos incompatíveis (posicionados mais à direita do diagrama) com exceção do Zr que é enriquecido em menor grau. Além disso, são observadas anomalias negativas de Sr, P e Ti.

Na figura 26C é apresentado o diagrama multielementar das 5 amostras de nefelina sienito que apresentam sodalita como feldspatóide em relação ao manto primordial. Todas as amostras de sodalita sienito apresentam um padrão com enriquecimento dos elementos mais incompatíveis (Cs, Rb, Th, U, Nb, K, La, Ce, Pb) em relação aos elementos menos incompatíveis (posicionados mais à direita do diagrama) com exceção do Zr que é enriquecido em menor grau. São observados notáveis picos positivos em Cs, Rb, Th, U e Pb. Anomalias negativas são observadas em Ba, Sr, P e Ti.

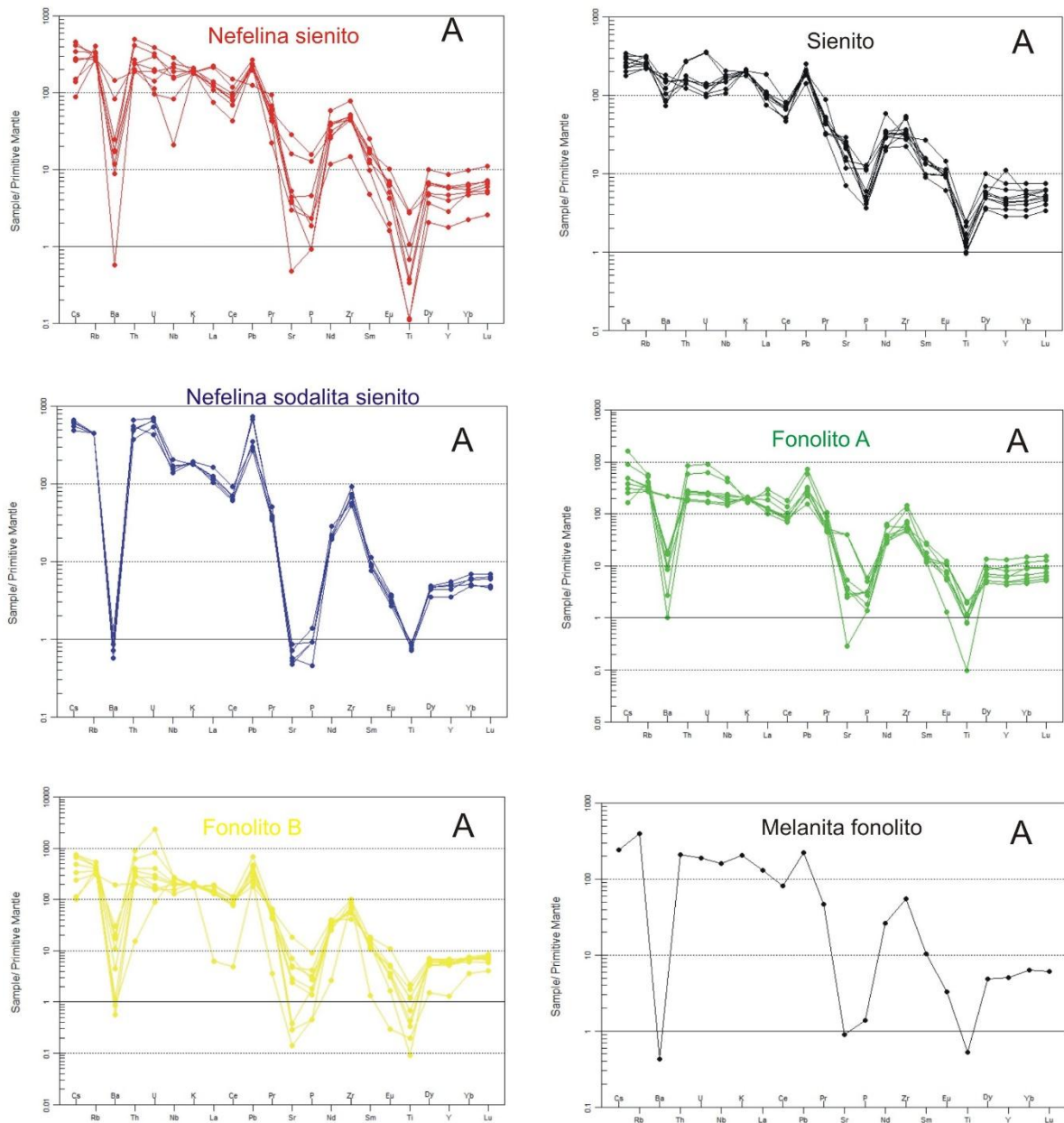
Na figura 26D é apresentado o diagrama multielementar das 8 amostras de fonolito do grupo A analisadas em relação ao manto primordial. O padrão geral observado é de enriquecimento dos elementos mais incompatíveis (Cs, Rb, Th, U, Nb, K, La, Ce, Pb) em relação aos menos incompatíveis (mais à direita do diagrama) com exceção do Zr que é enriquecido em menor grau. O enriquecimento dos elementos incompatíveis nos fonolitos do grupo A é mais acentuado em especial

para Cs, Rb, Th e U em relação aos litotipos plutônicos anteriormente relatados. Além disso, se observa o empobrecimento dos elementos Ba, Sr, P e Ti.

Na figura 26E é apresentado o diagrama multielementar das 9 amostras de fonolito do grupo B analisadas em relação ao manto primordial. O padrão observado é semelhante aquele dos fonolitos do grupo A, ou seja, há um enriquecimento dos elementos incompatíveis (Cs, Rb, Th, U, Nb, K, La, Ce, Pb) em relação aos menos incompatíveis (mais à direita do diagrama) com exceção do Zr que é enriquecido em menor grau. O enriquecimento dos elementos incompatíveis dos fonolitos do grupo B é menos acentuado em relação aos fonolitos do grupo A se assemelhando aqueles dos litotipos plutônicos. Nesse grupo também se observam anomalias negativas de Ba, Sr, P e Ti.

Na figura 26F é apresentado o diagrama multielementar da amostra de melanita fonolito (MAR-30) em relação ao manto primordial. O padrão observado é semelhante ao dos demais fonolitos, ou seja, de enriquecimento dos elementos mais incompatíveis (Cs, Rb, Th, U, Nb, K, La, Ce, Pb) bem como do Zr em menor grau, em relação aos menos incompatíveis (mais à direita do diagrama). Se observa um pico positivo em Rb além de anomalias negativas dos elementos Ba, Sr, P e Ti.

Figura 26 - Diagramas multielementares normalizados ao manto primordial de Sun e McDonough (1989) apresentando os padrões das litologias observadas no maciço alcalino do Marapicu.



Legenda: (A) 8 amostras de nefelina sienito, (B) 10 amostras de sienito, (C) 5 amostras de sodalita sienito, (D) 8 amostras do fonolito A, (E) 9 amostras do fonolito B, (F) amostra de melanita fonolito (MAR-30). Os grupos apresentam em geral empobrecimento de Ba, Sr, P e Ti com exceção dos sienitos que são mais enriquecidos em Ba.

Fonte: O autor 2015.

A figura 27 apresenta os diagramas de elementos terras raras normalizados ao condrito de Boyton (1984) e também os diagramas multielementares normalizados ao manto primordial de Sun e McDonough (1989) para as amostras de caráter básico (lamprófiro e fonolito tefrítico) coletadas no maciço alcalino do Marapicu.

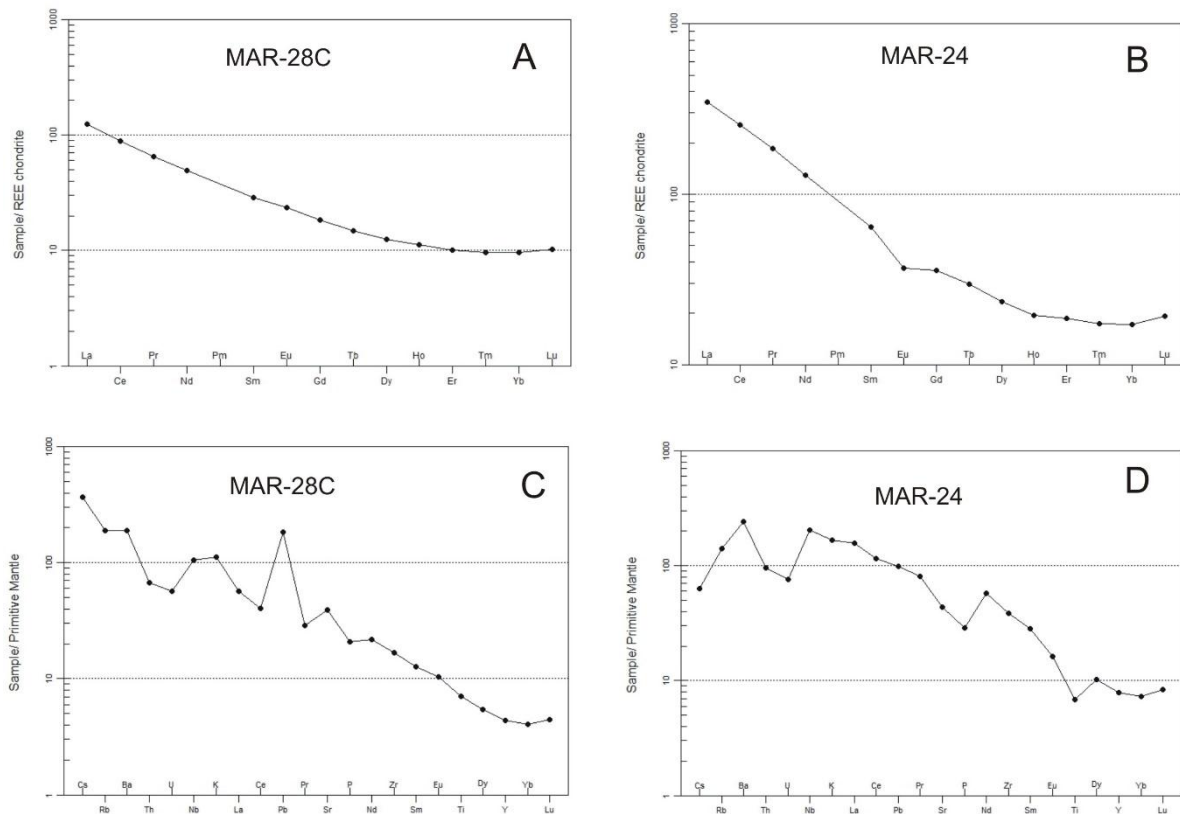
O diagrama da figura 27A mostra o padrão de elementos terras raras normalizado ao condrito do lamprófiro (MAR-28C). O padrão observado para esta amostra é de enriquecimento moderado ($La_N/Yb_N = 13,11$) dos elementos terras raras leves em relação aos elementos terras raras pesados com uma fraca anomalia positiva de Eu ($[Eu/Eu^*]_N = 1,03$).

O diagrama da figura 27B mostra o padrão de elementos terras raras normalizado ao condrito do fonolito tefrítico (MAR-24). O padrão observado para esta amostra é de enriquecimento moderado ($La_N/Yb_N = 20,23$) dos elementos terras raras leves em relação aos elementos terras raras pesados com uma fraca anomalia negativa de Eu ($[Eu/Eu^*]_N = 0,77$).

Na figura 27C é apresentado o diagrama multielementar normalizado ao manto primordial do lamprófiro (MAR-28C). O padrão observado nesse diagrama é de enriquecimento dos elementos mais incompatíveis (Cs, Rb, Ba, Th, U, Nb, K, La, Ce, Pb) em relação aos elementos menos incompatíveis (mais à direita do diagrama) com picos em Cs, Rb, Ba, K e Pb.

Na figura 27D é apresentado o diagrama multielementar normalizado ao manto primordial do tefrito fonolítico (MAR-24). O padrão, apresentado para esta amostra é de enriquecimento dos elementos mais incompatíveis (Cs, Rb, Ba, Th, Nb, K, La, Ce, Pb) em relação aos elementos menos incompatíveis (mais à direita do diagrama). Além disso, se observa anomalias negativas em U, Sr, P e Ti.

Figura 27. Diagramas de elementos terras raras normalizados ao condrito de Boyton (1984) apresentando os padrões dos litotipos básicos observados no maciço alcalino do Marapicu.



Legenda: (em A e B) e diagramas multielementares normalizados ao manto primordial de Sun e McDonough (1989) (em B e C) Lamprófirio em A e C; fonolito tefrítico em B e D.
Fonte: O autor 2015.

A análise dos diagramas de variação mostra que para todos os litotipos analisados não há intervalos composicionais, o que é indicativo de uma evolução através de cristalização fracionada ou AFC (*Assimilation and Fractional Crystalization*), além disso, as correlações lineares nos diagramas indicam que não houve mudança na assembleia mineral fracionante. A análise dos diagramas de elementos terras raras tal como exposta acima, mostrou que todos os litotipos estudados apresentam enriquecimento em terras raras leves (elementos relativamente mais incompatíveis) em relação aos terras raras pesados. As anomalias negativas em Ba, Sr, P, e Ti indicam o fracionamento respectivo de K-feldspato, plagioclásio, apatita e titanita fases que são observadas na assembleia

modal estudada. As anomalias negativas de Eu indicam a remoção de plagioclásio do líquido magmático, corroborado pelo comportamento compatível do Sr. Os altos teores de Ba e Rb especificamente nos sienitos pode ser indicativo de algum processo de contaminação crustal já que é um elemento concentrado nesse reservatório. Os litotipos básicos amostrados nessa intrusão apresentam concentrações de elementos terras raras similares aquelas observadas nas rochas plutônicas e vulcânicas. É esperado que magmas parentais apresentem concentrações de elementos terras raras inferiores aquelas dos magmas derivativos, desse modo, as rochas básicas citadas não devem ter parentesco com os demais litotipos da intrusão.

5 GEOCRONOLOGIA $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ e U-Pb

5.1 Introdução

Segundo Amaral *et al.* (1967) o tempo de colocação das rochas alcalinas é difícil de determinar usando relações de campo. A maioria dos corpos alcalinos está localizado em áreas onde não existem outras rochas mais velhas que o Pré-Cambriano. Em poucos lugares onde elas cortam rochas sedimentares um limite mais velho pode ser colocado para a idade desses corpos. É o caso, por exemplo, das intrusões de Ipanema e Lages, que cortam rochas sedimentares do Carbonífero e Permiano. Talvez a mais clara evidência de idade de um corpo alcalino é encontrada em Poços de Caldas, onde o complexo intrude arenitos não fossilíferos que já eram cortados por diabásio. O arenito foi correlacionado com o arenito Botucatu (Björnberg, 1959) de suposta idade do Triássico Superior (Huene, 1933). Amaral *et al.* (1966) mostraram que a idade das rochas diabásicas brasileiras é Jurássico Superior a Cretáceo Inferior. As rochas alcalinas foram subsequentemente erodidas durante peneplanização da região que deve ter ocorrido no Cretáceo Superior (Freitas, 1947a). Esta evidencia restringe o tempo de colocação das rochas de Poços de Caldas entre o Jurássico Superior e o Cretáceo Superior.

De acordo com o exposto acima, dada à dificuldade encontrada em datações relativas de corpos alcalinos, se faz necessário então à utilização de ferramentas mais robustas para tal, sendo assim, a datação radiométrica ou absoluta vem sendo empregada nas rochas alcalinas brasileiras com esse fim. A determinação de idades radiométricas das rochas alcalinas brasileiras teve início na década de 60 (Amaral *et al.*, 1967), estes autores apresentaram cinco idades K-Ar para o Pico Marapicu, sendo três delas obtidas em barkevikita (ferro hornblenda) extraída de nefelina sienitos, uma obtida de álcali-feldspato e uma obtida em matriz ambas extraídas de tinguaito. A média dessas idades é de 72 Ma. Dados obtidos a partir do método K-Ar em biotita, anfibólio, rocha total, plagioclásio e K-feldspato (este trabalho não apresenta dados da intrusão abordada aqui) mostram um decréscimo nas idades dos corpos no sentido de Poços de Caldas até Cabo Frio, ou seja, de oeste para leste o que corroborado pela linearidade dos corpos sugerem a passagem da placa

Sul-Americana por sobre um *hot-spot* (Thomaz Filho & Rodrigues, 1999). No entanto idades mais recentes obtidas através do método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ indicam uma discrepância dessas idades não corroborando a hipótese de um *hot-spot* ser o gerador desses corpos alcalinos. Não há na literatura registro de datações pelo método U-Pb nas rochas alcalinas do sudeste brasileiro.

5.2 Dados $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ em hornblenda do Maciço Alcalino do Marapicu

A datação $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (Silva, 2011) foi realizada na Universidade de Curtin da Austrália onde as hornblendas da amostra MPC-11 foram carregadas dentro de um disco de alumínio com grandes cavidades de 1,9 cm de diâmetro e 0,3 cm de profundidade. Essas cavidades foram preenchidas por pequenos tubos que incluíam *Fish Canyon sanidine* (FCs) usado como um monitor de fluência de nêutron para o qual uma idade de $28,294 \pm 0,036$ Ma foi adotada (Renne *et al.*, 2011). Os discos foram Cd-blindados (para minimizar reações de interferência nuclear indesejáveis) e irradiados por 2 horas no reator nuclear da Universidade de Hamilton MacMaster (Canadá) na posição 5C. As medidas dos valores de J computadas dos grãos padrão dentro dos pequenos orifícios e determinadas como a média e desvio padrão dos valores de J dos pequenos orifícios do disco de irradiação são apresentadas junto com os dados brutos no Anexo 3. A discriminação de massa é dada no Anexo 4 para cada amostra e foi monitorada usando-se uma pipeta de ar automática e calculada em relação a uma razão de ar de $298,56 \pm 0,31$ (Lee *et al.*, 2006). Os fatores de correção para isótopos de interferência foram $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 7,30 \times 10^{-4}$ ($\pm 11\%$), $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 2,82 \times 10^{-4}$ ($\pm 1\%$) e $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 6,76 \times 10^{-4}$ ($\pm 32\%$).

As análises $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ foram realizadas na Western Australian Argon Isotope Facility da Universidade de Curtin. A amostra foi aquecida por etapas no forno Pond Engineering® de duplo vácuo e alta frequência. O gás foi purificado em uma linha de extração de aço inoxidável usando dois AP10 e um GP50 SAES getters e um condensation trap de nitrogênio líquido. Os isótopos de Ar foram medidos em modo estático usando um espectrômetro de massa MAP 215-50 (resolução de aproximadamente 400 e sensibilidade de 4×10^{-4} mol/V) com um multiplicador de elétrons Balzers SEV 217 usando 9 a 10 ciclos de peak-hopping.

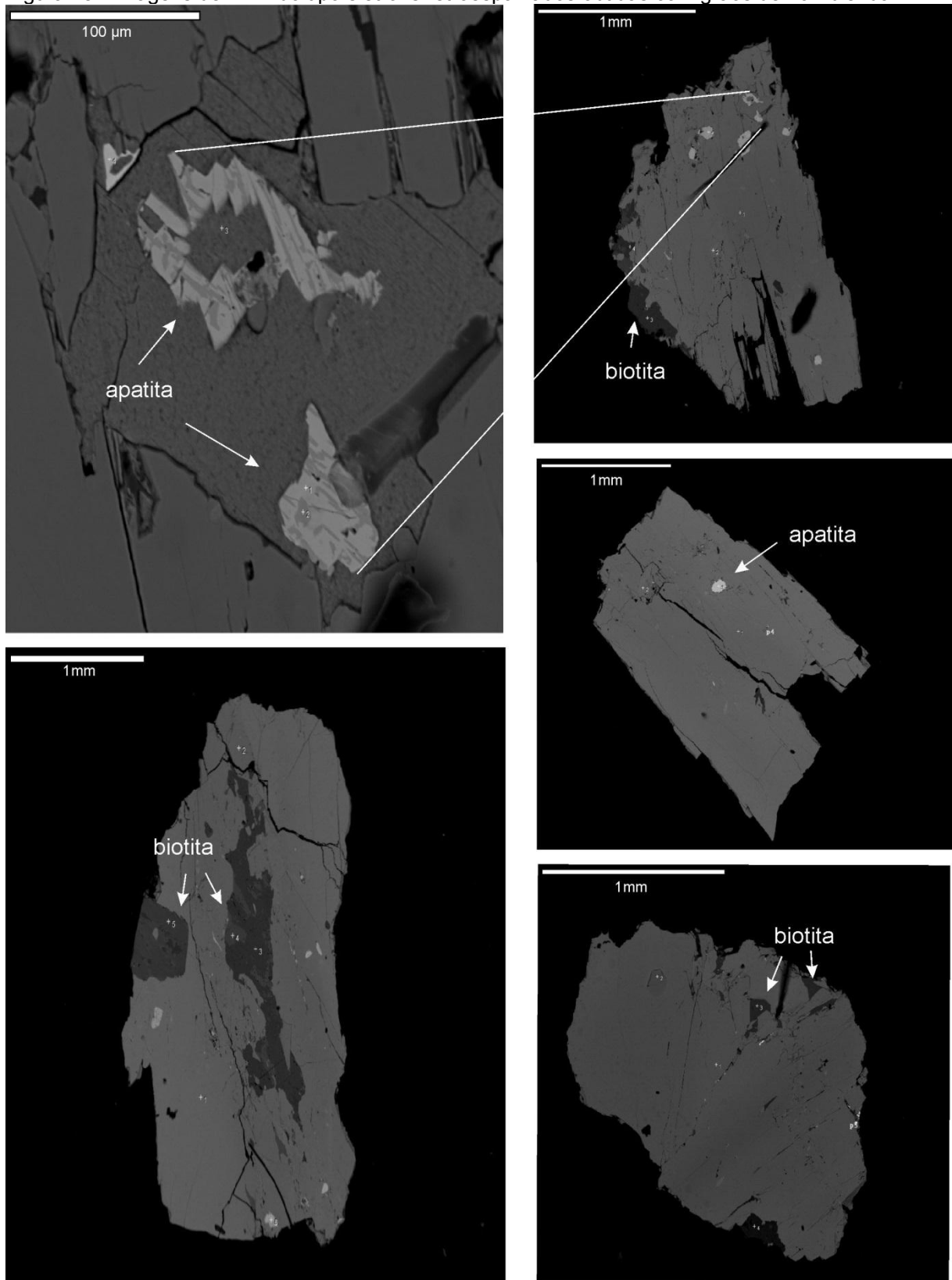
A aquisição de dados foi obtida com o programa Argus desenvolvido por M.O. McWilliams e rodou em um ambiente LabView. Os dados brutos foram processados usando o software ArArCALC (Koppers, 2002) e as idades foram calculadas usando as constantes de decaimento recomendadas por Renne *et al.* (2011). Os brancos foram monitorados em cada 3 a 4 etapas e o branco de ^{40}Ar típico varia de 1×10^{-16} a 2×10^{-16} mol. Dados isotópicos de Ar corrigidos para o branco, discriminação de massa e decaimento radioativo são dados no Anexo 5. Os brancos do laboratório são dados no anexo 7. Erros individuais no Anexo 5 são dados no nível de 1 sigma. Os critérios adotados para a determinação do *plateau* foram os seguintes: o plateau deve incluir pelo menos 70% de ^{39}Ar ; o plateau deve ser distribuído sobre um mínimo de 3 passos consecutivos concordando a 95% de nível de confiança e satisfazendo uma probabilidade de ajuste (P) de pelo menos 0,05. Idades plateau são dadas ao nível de sigma 2 e são calculadas usando a medida de todas as etapas do plateau, cada uma ponderada pela variância inversa de seu erro analítico individual. Isócronas inversas incluem o número máximo de etapas com uma probabilidade de ajuste $\geq 0,05$. O valor do intercepto $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ é fornecido. Todas as fontes de incerteza são incluídas no cálculo.

Na análise com MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura) dos grãos de hornblenda foram obtidas as imagens da Figura 28, onde os diferentes tons de cinza representam as inclusões de biotita e apatita (mais frequentes) presentes na hornblenda. Nas imagens se observam basicamente três tons de cinza, o tom de cinza intermediário e predominante é a própria hornblenda, o tom de cinza mais escuro representa inclusões de biotita e o tom de cinza mais claro representa inclusões de apatita. Além de biotita e apatita a hornblenda em geral ainda apresenta inclusões de zircão, opacos, muscovita e escapolita, inclusões estas que foram observadas na análise petrográfica. O fato de a hornblenda apresentar inclusões de biotita e apatita pode explicar as porções do diagrama de idades com maior erro.

O aquecimento teve início com uma temperatura de 600 °C, que foi progressivamente aumentada de 100 em 100 °C até a temperatura de 1000 °C. A partir desta temperatura o aquecimento se deu com aumentos sucessivos de 25 °C até a temperatura de 1175 °C totalizando assim, 12 etapas de aquecimento (Tabela 11). Ao final do procedimento obteve-se o espectro de idades abaixo (Figura 29) com uma idade plateau de $80,46 \pm 0,58$ Ma.

O diagrama K/Ca (Figura 30) foi usado para indicar as fases minerais presentes como inclusões sólidas na amostra analisada que poderiam ser desgaseificadas ao longo do aquecimento. Dessa forma uma alta relação K/Ca pode indicar uma fase com teor relativamente alto de potássio ou um teor relativamente baixo de Ca. Seguindo o mesmo raciocínio, uma relação baixa pode indicar uma fase com teor relativamente alto de Ca ou com teor relativamente baixo de K. O diagrama K/Ca apresentado mostra a influência de inclusões de biotita e apatita presentes no grão de hornblenda datado. Nas primeiras etapas a biotita que possui K na sua estrutura é consumida, o que torna a relação K/Ca alta com pico acima de 1,6. No decorrer do aquecimento é consumida a apatita que possui Ca na sua estrutura assim como a própria hornblenda tornando a relação K/Ca baixa nas etapas posteriores. A isócrona inversa (Figura 31) mostra um arranjo linear dos pontos analisados fornecendo a idade de $80.27 \pm 0,62$ com MSWD de 0,83 (concordante com a idade plateau), além disso, a razão $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ é de $325,8 \pm 35,5$.

Figura 28 - Imagens de MEV do tipo elétrons retroespalhados obtidas com grãos de hornblenda.



Nota: Notar que os tons de cinza mais claro e mais escuro representam inclusões de apatita e biotita respectivamente.

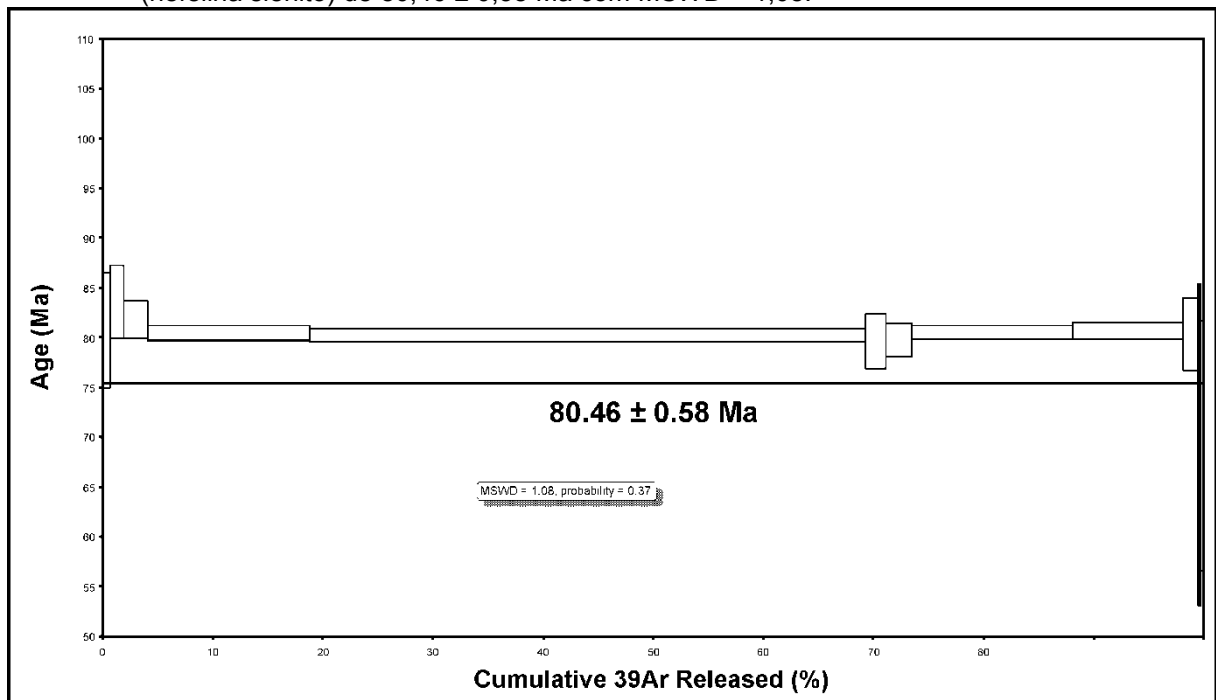
Fonte: Silva (2011).

Tabela 11 - Dados do aquecimento por etapas realizado em hornblenda da amostra MPC-11.

Temperatura	36Ar(a)	37Ar(ca)	38Ar(cl)	39Ar(k)	40Ar(r)	Age (Ma) $\pm$ 2s		40Ar(r) (%)	39Ar(k) (%)	K/Ca	$\pm$ 2s
600 °C	0,000056	0,009019	0,000039	0,027463	0,135544	80,70	$\pm$ 5,76	89,05	0,67	1,309	$\pm$ 0,337
700 °C	0,000332	0,021482	0,000188	0,052323	0,267687	83,59	$\pm$ 3,69	73,20	1,27	1,047	$\pm$ 0,109
800 °C	0,000171	0,049748	0,000280	0,090133	0,451279	81,84	$\pm$ 1,88	89,94	2,19	0,779	$\pm$ 0,068
900 °C	0,000290	1,229999	0,004410	0,603973	2,969755	80,41	$\pm$ 0,75	97,18	14,66	0,211	$\pm$ 0,015
1000 °C	0,000447	5,654463	0,021060	2,082239	10,221809	80,28	$\pm$ 0,64	98,71	50,54	0,158	$\pm$ 0,011
1025 °C	0,000040	0,214505	0,000689	0,075966	0,370165	79,70	$\pm$ 2,75	96,89	1,84	0,152	$\pm$ 0,011
1050 °C	0,000050	0,275759	0,000994	0,093739	0,457060	79,75	$\pm$ 1,70	96,84	2,28	0,146	$\pm$ 0,011
1075 °C	0,000152	1,854233	0,005902	0,602129	2,965516	80,53	$\pm$ 0,68	98,50	14,61	0,140	$\pm$ 0,010
1100 °C	0,000052	1,588297	0,003773	0,416832	2,055986	80,65	$\pm$ 0,87	99,25	10,12	0,113	$\pm$ 0,008
1125 °C	0,000027	0,242502	0,000571	0,052251	0,256844	80,38	$\pm$ 3,65	97,01	1,27	0,093	$\pm$ 0,007
1150 °C	0,000046	0,043352	0,000076	0,011748	0,049608	69,26	$\pm$ 16,19	78,35	0,29	0,117	$\pm$ 0,011
1175 °C	0,000061	0,041620	0,000130	0,011476	0,048346	69,10	$\pm$ 12,52	72,95	0,28	0,119	$\pm$ 0,011

Fonte: Silva (2011).

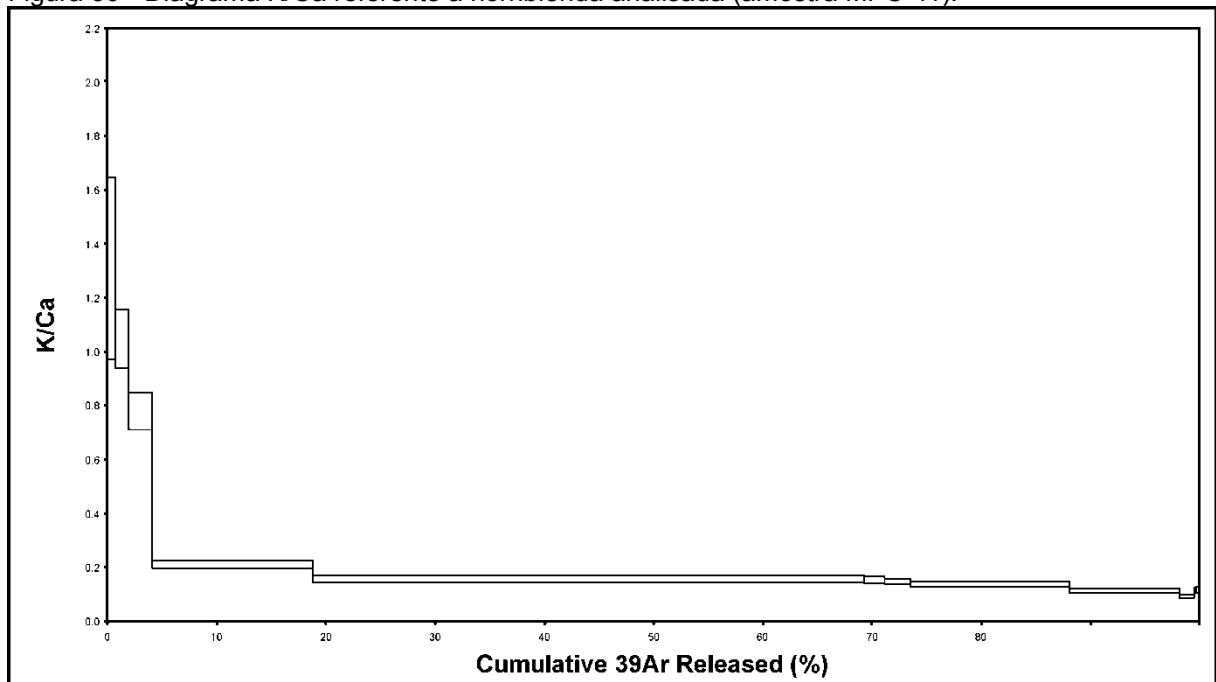
Figura 29 - Espectro de idade mostrando idade *plateau* em hornblenda extraída da amostra MPC-11 (nefelina sienito) de $80,46 \pm 0,58$ Ma com MSWD = 1,08.



Nota: Observa-se que 100 % do gás liberado apresenta a mesma idade o que mostra um alto nível de confiança da idade.

Fonte: Silva (2011).

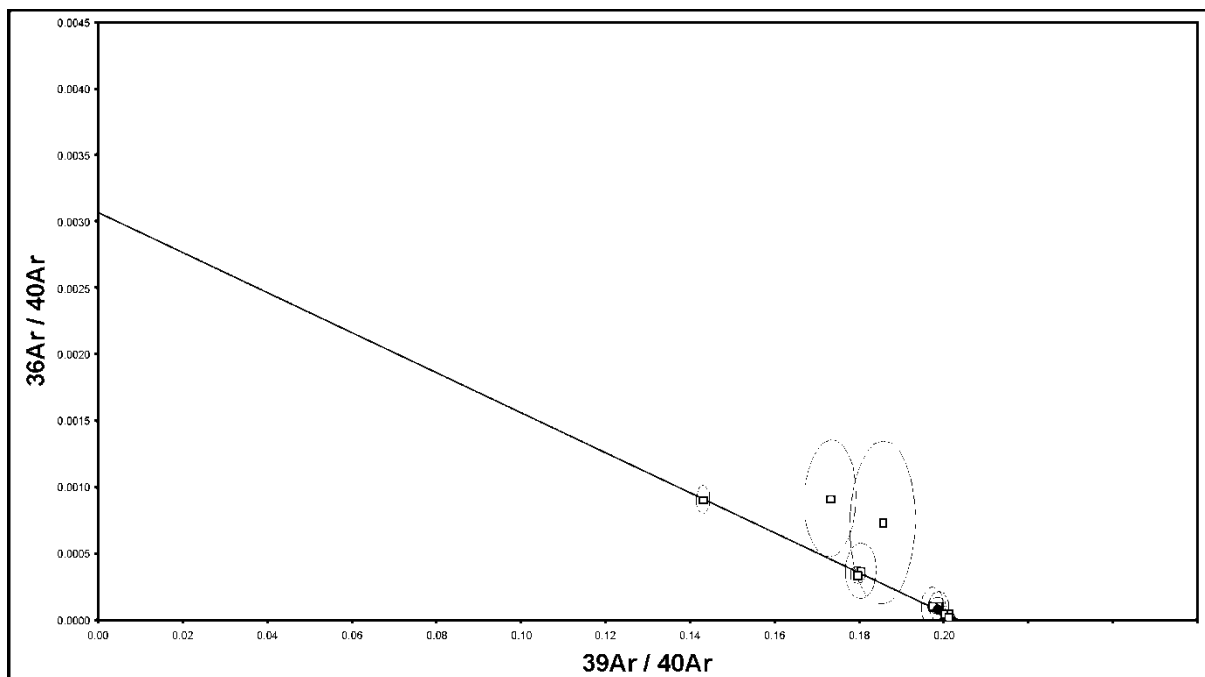
Figura 30 - Diagrama K/Ca referente à hornblenda analisada (amostra MPC-11).



Nota: observa-se uma alta razão desses elementos nas etapas iniciais de aquecimento e posterior estabilização em razões mais baixas. A alta razão K/Ca nas etapas iniciais do aquecimento pode estar associada a inclusões de biotita e apatita observadas na petrografia.

Fonte: Silva (2011).

Figura 31 - Isocrônica invertida com dados *step-heating* de hornblenda da amostra MPC-11.



Nota: O arranjo linear fornece a mesma idade (80.27 ± 0.62), e razão $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ de 325.8 ± 35.5 .
 Fonte: Silva (2011).

5.3 Dados U-Pb em zircão do Maciço Alcalino do Marapicu

A datação U-Pb foi realizada no laboratório MultiLab da UERJ com a utilização de abrasão a laser com espectrometria de massa por plasma induzido (LA-ICP-MS) e o aparelho usado foi o Neptune da Thermo Scientific. As condições do laser utilizadas nas análises foram entre 30 e 50 μm para o diâmetro dos tiros com frequência respectiva das repetições entre 10 e 8 Hz, tempo de abrasão em cada tiro de 50 segundos, 60% de energia e gás hélio a 0,770 ml/min. O fluxo de Ar utilizado foi o sample gas Ar = 0,800 ml.

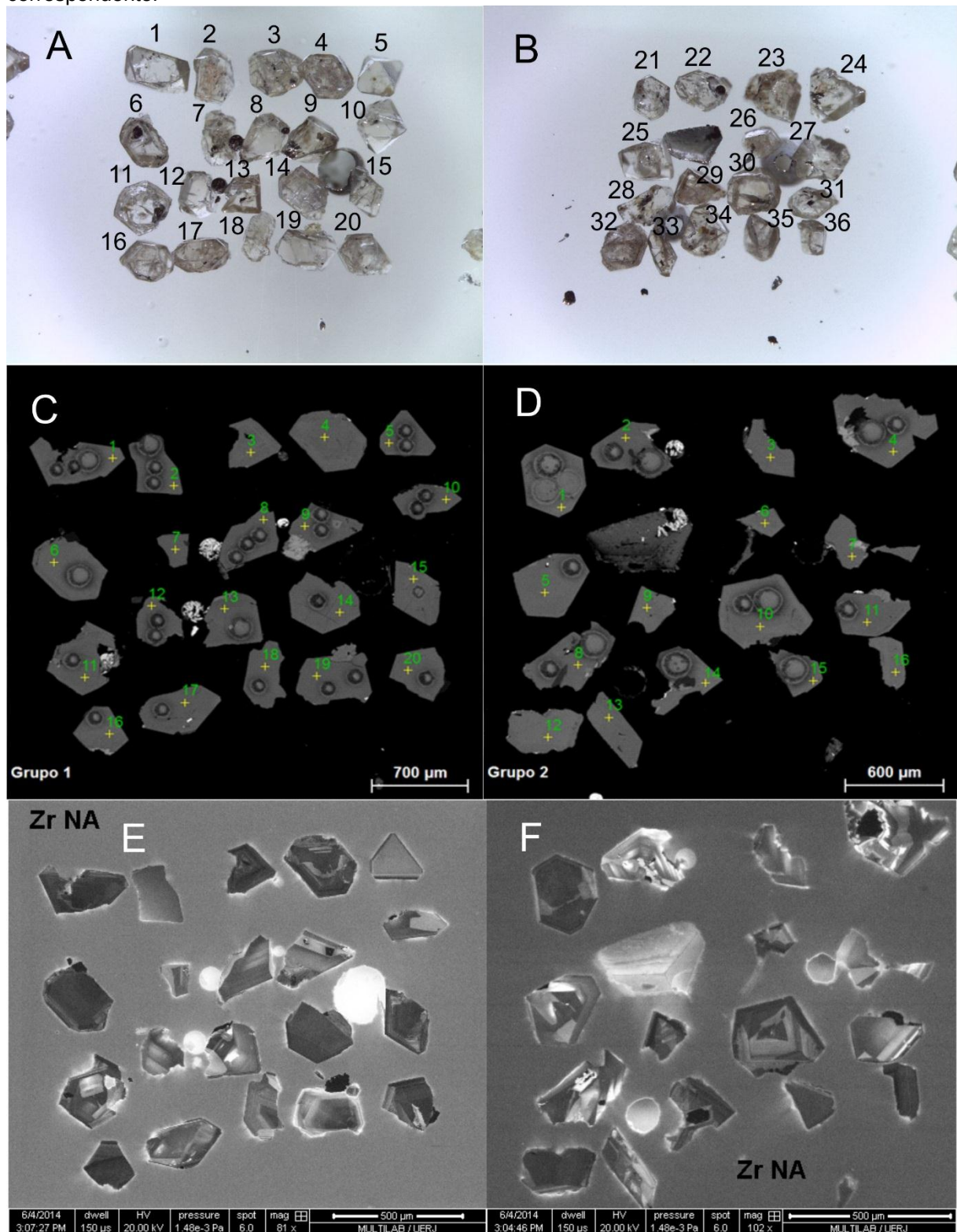
Os grãos extraídos da amostra MAR-37 foram arranjados na resina de modo a formar dois grupos, o primeiro contendo 20 grãos postos em fileiras paralelas de 5 grãos cada (figura 32C), o segundo grupo foi arranjado da mesma forma, porém devido a perdas no processo de confecção da resina apresenta apenas 16 grãos (2 fileiras de 4 grãos, 1 fileira de 3 grãos e 1 fileira de 5 grãos) (figura 32D). Os grãos foram numerados da esquerda para direita e de cima para baixo de 1 até 36 de

acordo com a figura 32 A e B. A observação dos zircões em lupa (Figura 32 A e B) mostra que eles têm forma romboidal e idiomórfica com vértices semi arredondados, sua coloração varia de incolor a um tom de marrom bem claro.

As imagens de elétrons retroespalhados (figura 32 C e D) mostram que os zircões têm o mesmo tom ou nível de cinza, porém, apresentam pequenos pontos com tonalidade diferente o que indica a presença de inclusões como a de magnetita entre outros minerais. As imagens de catodo luminescência dos zircões amostrados (figura 32 E e F) revela zoneamento resultado do crescimento magmático onde porções de tons de cinza claro e escuro representam variações de composição de U e Th. Estas feições indicam que não houve qualquer tipo de sobre crescimento dos grãos, não sendo identificado nenhum evento posterior a cristalização dos grãos de zircão.

Todos os dados U-Pb foram manipulados através do programa Isoplot/Ex (Ludwing, 2000) e plotados em uma concórdia do tipo Tera e Wasserburg (1972). Neste tipo de concórdia as razões $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ são plotadas no eixo X enquanto que as razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ são plotadas no eixo Y de modo que essa concórdia é designada como inversa. Além disso, esta concórdia é sempre usada em rochas Fanerozóicas como a do presente trabalho (idade Cretácea Superior) Silva (2006). A idade é calculada pela interseção da discórdia com o eixo X, sendo esta, uma idade de intercepto inferior. Todos os pontos analisados mostram dados isotópicos U-Pb caindo próximo à curva da concórdia e com probabilidade acima de 0,05%. As razões Th/U dos pontos analisados variam de 0,38 a 16,7.

Figura 32 - (A e B) Imagens em lupa dos zircões datados (amostra MAR-37) com sua numeração correspondente.



Legenda: (C e D) imagens de MEV do tipo elétrons retroespalhados. (E e F) imagens de MEV do tipo catodo luminescência.

Fonte: O autor 2015.

Foram realizadas quatro baterias de tiros (A, B, C e D) utilizando o mesmo procedimento padrão e gerando uma tabela de dados para cada bateria. O procedimento utilizado nas análises começou com a análise do branco, em seguida, foi analisado o padrão GJ1 e então foram feitos 9 spots (exceto para a bateria B na qual foram feitos 7 spots), na sequência, foi feita uma análise do padrão 91500, outra análise do padrão GJ1, finalizando cada bateria com outra análise do branco. Este procedimento foi repetido em cada uma das quatro baterias de análise, gerando assim, uma tabela final com 34 análises (Anexo 8).

A partir da tabela gerada com os 34 (anexo 8) pontos analisados ao todo, foi construída a concórdia (Figura 33) utilizando-se de 11 pontos selecionados (Tabela 12). A idade calculada com base nesses pontos foi de 78.0 ± 2.1 Ma com MSWD = 0.34, idade é perfeitamente concordante com a previamente apresentada através do método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ na qual foi obtido um platô de 80.46 ± 0.58 Ma com MSWD = 1.08.

A idade $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ apresentada aqui possui um excelente platô no qual 100 % do espectro de gás liberado tem a mesma idade. Isto mostra que o dado tem uma alta confiabilidade, e mostra ainda que, mesmo as inclusões (principalmente biotita e apatita entre outras) observadas nos grãos de hornblenda via petrografia interferiram na qualidade da datação, já que, como observado no diagrama K/Ca essas inclusões estariam restritas as bordas do grão analisado. Entretanto, a razão $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ para amostras terrestres é de 296,5, sendo assim, a isócrona inversa revelou que poderia haver um excesso de Ar atmosférico na amostra datada, já que, a razão $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ é de 325 ± 35 . Um excesso de Ar atmosférico implicaria que a idade obtida seria maior do que a idade real do grão, um problema a ser sanado.

Desse modo, a datação pelo método U-Pb mostrou-se muito conveniente, já que, utiliza um laser com alta resolução espacial capaz de analisar o grão de forma pontual, o que aumenta sua precisão. Outro ponto forte deste método é o fato dele utilizar zircão que é um mineral com alta temperatura de bloqueio, e dessa forma, capaz de suportar condições extremas sem que seu sistema seja aberto. Comparando as duas idades se observa uma ótima concordância entre elas levando em consideração os erros analíticos.

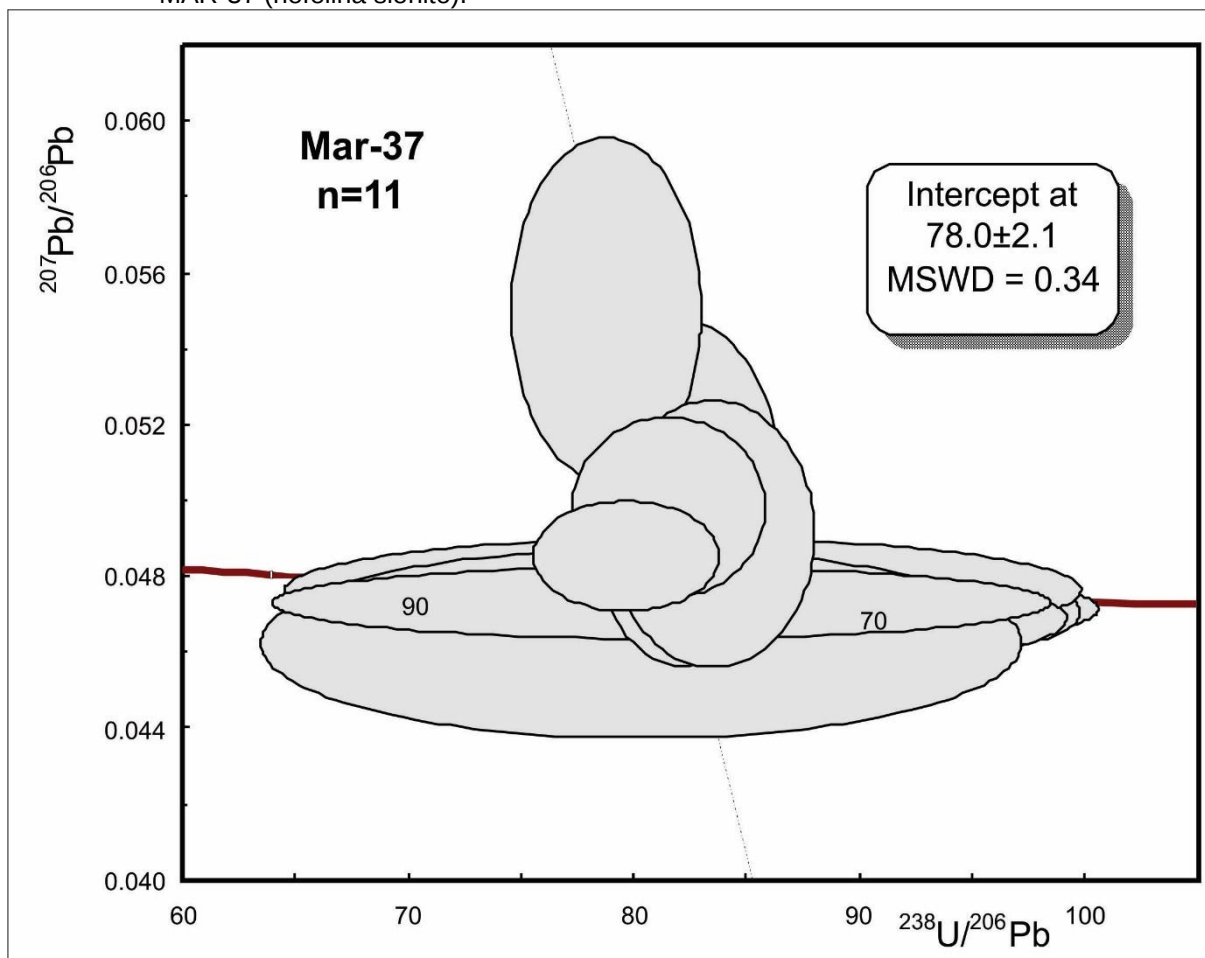
Tabela 12 - Dados U-Pb obtidos com zircões da amostra MAR-37.

Zircões	Th ppm	U ppm	Th/U	207Pb/235U	1 s[%]	206Pb/238U	1 s[%]	Rhod	207Pb/206Pbe	1 s[%]	206Pb/238U	1 s abs	207Pb/235U	1 s abs	207Pb/206Pb	1 s abs	% Concl
8	2496,543	186,9628	13,35315	0,084106	8,625697	0,012165	4,373963	0,507085	0,050143	7,434453	77,94852	3,409439	81,99811	7,072909	201,6181	14,98921	38,66146
1	8118,886	2447,534	3,31717	0,096265	8,022664	0,012691	4,364984	0,544082	0,055014	6,731274	81,29578	3,548548	93,32253	7,486953	412,8	27,7867	19,69374
12	801,1078	272,6134	2,938623	0,08411	5,809608	0,012259	4,281423	0,736956	0,04976	3,926953	78,54876	3,363005	82,00213	4,764003	183,7905	7,217369	42,7382
2	1800,734	224,5044	8,020932	0,081023	7,34077	0,011972	4,422537	0,602462	0,049082	5,859016	76,72062	3,392998	79,10582	5,806976	151,7573	8,891484	50,55482
11	1170,906	745,1632	1,571342	0,083898	4,884831	0,01255	4,229253	0,865793	0,048485	2,444381	80,3997	3,400306	81,80328	3,995952	122,9826	3,006165	65,37484
10	346,7105	191,721	1,808412	0,081274	69,17592	0,012775	68,4177	0,989039	0,04614	10,214	81,83366	55,98871	79,34193	54,8855	4,935322	0,504094	1658,122
2	4443,174	378,2015	11,74816	0,079325	73,08822	0,01205	72,49707	0,991912	0,047744	9,277036	77,21569	55,97911	77,50969	56,65045	86,58364	8,032396	89,18046
24	1201,519	288,2144	4,168839	0,078327	71,81543	0,012309	70,97218	0,988258	0,046151	10,97296	78,86527	55,9724	76,57044	54,98939	5,514666	0,605122	1430,101
30	1090,518	2269,159	0,480582	0,079961	73,49258	0,011973	72,96387	0,992806	0,048437	8,799612	76,72329	55,98028	78,10802	57,4036	120,6801	10,61938	63,57576
16	1721,621	751,2808	2,291581	0,07846	17,79607	0,012085	17,67444	0,993165	0,047087	2,077131	77,43763	13,68667	76,69569	13,64882	53,636	1,11409	144,3762
14	2222,71	678,6961	3,274971	0,078951	17,64359	0,012229	17,46128	0,989667	0,046823	2,529777	78,35721	13,68217	77,15855	13,61354	40,18777	1,016661	194,9778

Nota: A concórdia foi construída com os dados dos 11 grãos apresentados.

Fonte: O autor 2015.

Figura 33 - Concordia Tera Wasserburg (1972) produzida com dados U-Pb de 11 pontos da amostra MAR-37 (nefelina sienito).



Nota: O gráfico mostra intercepto em $78,0 \pm 2,1$ Ma com $\text{MSWD} = 0,34$. Note que os dados isotópicos caem todos próximos a curva da concórdia.

Fonte: O autor 2015.

6 DISCUSSÕES

Os dados apresentados mostram que o maciço Marapicu é formado por uma série alcalina constituída principalmente de nefelina sienitos e fonolitos. As rochas plutônicas são representadas por nefelina sienitos e sienitos com características petrográficas semelhantes e tendo nefelina como feldspatóide. O outro litotipo plutônico presente é o nefelina sodalita sienito, ele apresenta características macroscópicas e microscópicas semelhantes aquelas do outro grupo, porém, possui nefelina e sodalita azul como feldspatóide. As rochas vulcânicas (fonolíticas) foram subdivididas em três grupos, todos eles com textura porfírica e cujo os quais a distinção é feita pelos fenocristais presentes. O grupo A apresenta fenocristais de K-feldspato, nefelina e hornblenda enquanto o grupo B apresenta fenocristais de sanidina e nefelina, o terceiro grupo (representado por apenas uma amostra MAR-30) apresenta fenocristais de granada melanita e hornblenda e foi denominado melanita fonolito. Duas amostras de caráter básico em relação à sílica, MgO e Fe_2O_3 foram coletadas: lamprófiro (MAR-28C) e fonolito tefrítico (MAR-24), porém, como observado nos diagramas de elementos terras, essas amostras não possuem relação genética com as demais.

Os diagramas binários das amostras do maciço Marapicu apresentam correlações lineares e não se observam grandes hiatos composicionais o que indica que o magma evoluiu por cristalização fracionada com ou sem assimilação concomitante. As amostras MAR-28C (lamprófiro) e MAR-24 (fonolito tefrítico) não tem relação genética com as demais amostras analisadas o que é evidenciado pelo seu inesperadamente alto teor de elementos terras raras em comparação como os demais litotipos.

Baseando-se em dados de assinaturas isotópicas de Sr e Nd, Sichel *et al.* (1997) trabalhando com as intrusões ao longo do lineamento de Cabo Frio e Mota (2012) especificamente com as intrusões do Morro Redondo, Mendanha, e Morro de São João, propõem que há uma similaridade de seus dados com os de Tristão da Cunha, ou seja, que o reservatório mantélico responsável pela gênese dos corpos estudados tem correspondência das assinaturas de Sr e Nd com a ilha oceânica de Tristão da Cunha.

Courtillot *et al.* (2003) defenderam que não são todos os *hot spots* que tem origem no manto profundo tal como foi proposto por Morgan (1972), e para os autores acima citados, entre os candidatos a terem relação direta com o alinhamento magmático de Cabo Frio, o único que possui as características compatíveis com uma origem em profundidade (ou pluma primaria) é Tristão da Cunha, de modo que, o *hot spot* de Trindade seria uma resposta passiva a quebra litosférica com origem na astenosfera (Anderson, 2000; Matton e Jébrak, 2009).

A idade $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ obtida em grão de hornblenda do Marapicu apesar de apresentar um excelente platô possui uma incerteza associada devido a possibilidade de haver excesso de Ar atmosférico na amostra dada a sua razão $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar} = 325 \pm 35$, isso implicaria que esta idade seria maior do que a idade real do grão datado. Dessa forma, a datação pelo método U-Pb se mostrou muito conveniente, uma vez que este método utiliza zircão que é um mineral com alta temperatura de bloqueio tornando o método bastante robusto. De fato quando as duas idades são comparadas se observa a ótima concordância entre elas tomando em conta os erros analíticos.

Muitos trabalhos geocronológicos com foco nas rochas alcalinas do sudeste brasileiro foram elaborados desde a década de 60 e tendo por base as características mineralógicas dessas rochas, foi possível a utilização dos métodos K/Ar Ar/Ar e Rb-Sr. Por outro lado características como a relativa raridade de zircões bem como a baixa concentração de U e Th em rochas alcalinas dificultou as análises através do método U-Pb nessas rochas. Porém, a análise química dos sodalita sienitos amostrados para esse trabalho revelou uma concentração anômala de U entre (9,1 e 14,8 ppm).

Dessa forma, foram empreendidos esforços para coletar zircões da amostra MAR-37. A coleta foi bem sucedida e foram separados 37 grãos de zircão possibilitando assim a datação U-Pb. A utilização da técnica LA-ICP-MS foi bem sucedida na datação de zircões de idade Cretácea e forneceu dados consistentes. A idade U-Pb obtida no presente trabalho ($78,0 \pm 2,1$ Ma) é plenamente concordante com a idade $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de $80,46 \pm 0,58$ Ma obtida anteriormente e mostra um grande potencial para futuras investigações geocronológicas acerca da geração dos corpos alcalinos do lineamento Poços de Caldas-Cabo Frio.

Os dados de isótopos de neodímio (Nd), estrôncio (Sr) nas rochas alcalinas do sudeste brasileiro reportados na literatura (Morbidelli *et al.*, 1995 e Ubrich *et al.*,

1981) sugerem magmas originados no manto litosférico ou astenosférico. Tais estudos isotópicos também indicam preferencialmente fontes enriquecidas de manto tipo EM1 ou EM2 (EM = enriched mantle). Os resultados isotópicos de Pb sugerem um alinhamento variando entre MORB, OIB e EM II, indicando uma provável mistura de dois componentes mantélicos.

Os estudos de Geologia Estrutural e Geofísica (por exemplo Mota, 2008) indicam que tais intrusões alcalinas guardam pouca relação geométrica com as feições estruturais do embasamento, com contatos formando limites arredondados além de textura isotrópica observada nas amostras. Por outro lado, as intrusões alcalinas apresentam uma distribuição geográfica que sugere um alinhamento concordante com as feições estruturais regionais do cinturão Ribeira e (em adição) guardam relação geográfica com os sedimentos cenozóicos. Esta correlação pode ser interpretada geneticamente onde os esforços extensionais para a formação das bacias seriam também os responsáveis para a formação de intrusão dos magmas alcalinos.

CONCLUSÕES

Diante do exposto, os modelos geodinâmicos podem ser resumidos em dois principais: O primeiro modelo leva em conta a existência de uma pluma mantélica originada na astenosfera a partir de fontes enriquecidas (provavelmente de subduções profundas de slabs de crosta oceânica em eventos pretéritos). Os caminhos do hotspot deixaram marcas na crosta continental, apesar de ser menos marcado do que na crosta oceânica, devido a maior espessura da mesma, como é o caso em questão. Geralmente a trajetória dos pontos quentes são marcadas pela geração de corpos kimberlíticos e lamproíticos, além dos complexos alcalinos e carbonatíticos. Corroboram com este modelo os dados petrológicos, isotópicos e geoquímicos, além das idades K/Ar. Por outro lado os dados isótopos e geoquímicos de Trindade não permitem relacionar as rochas alcalinas do continente com as rochas alcalinas desta ilha.

O segundo modelo proposto, coerente com os dados isotópicos mais recentes, é baseado na hipótese de flexura crustal e considera que os sedimentos depositados na plataforma continental exerceriam um esforço de forma a flexurar a crosta continental produzindo fraturas profundas que permitiriam a entrada de magmas mantélicos. Desta forma, futuros trabalhos de geocronologia U-Pb nas rochas alcalinas, complementando os dados aqui reportados, poderão fornecer informações fundamentais para a elucidação das questões levantadas sobre a gênese das rochas alcalinas do SE brasileiro.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M. Origem e evolução da plataforma brasileira. In: SEMANA DE ESTUDOS GEOLÓGICOS, 2., 1966, Porto Alegre. **Anuário...** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1966. p. 45-128.

_____. The system of continental rifts bordering the Santos basin, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 48 (suplemento), p. 15-26, 1976.

_____ et al. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth-Science Review**, v. 17, p. 1-21, 1981.

_____. Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da Plataforma Sul-Americana. **Revista Brasileira de Geociências**, v.13, n.3, p. 139-158, 1983.

_____. et al. Tectônica da Formação Itaquaquetuba na Grande São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, 1984. v. 4, p.1794-1808.

_____. Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo pós-Paleozóico no Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v.16, p. 325-349, 1986.

_____. O alinhamento magmático de Cabo Frio. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2., 1991. **Atas...** [S. l.]: SBG/Núcleos SP e RJ, 1991. p. 423-428.

_____; CARNEIRO, C. D. R.; MIZUSAKI, A.M.P. Correlação do magmatismo da margem continental brasileira com o das áreas emersas adjacentes. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 26, n. 3, p. 125-138, 1996.

ALMEIDA, J. C. H. et al. Geometric and kinematic analysis at the Central Tectonic Boundary of the Ribeira belt, Southeastern Brazil. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**, 39., 1998. **Anais...** SBG, 1998. p. 32.

AMARAL, G. et al. Potassium-argon dates of basaltic rocks from Southern Brasil. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 30, p. 159-189, 1966.

AMARAL, G. et al. Potassium-argon ages of alkaline rocks from Southern Brasil. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 31, p. 117-142, 1967.

ANDERSON, D. L. The thermal state of the upper mantle: no role for mantle plumes. **Geophysics Research Letters**, v. 27, p. 3623-3626, 2000.

ARENA, M. C. 2005. Geologia e petrologia dos traquitos e sienitos da Pedreira Vigné, Nova Iguaçu, RJ. In: SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 3., 2005, Cabo Frio. **Boletim de Resumos...** Cabo Frio: Sociedade Brasileira de Geologia, 2005. p. 109-114.

ASMUS, H. E. Geologia das Bacias Marginais Atlânticas Mesosedimentares del Jurasico y Cretácico de America del Sur. **Comite Sud Americano del Jurasico y Cretácico**, v. 1, p. 127-155, 1981.

_____. Significado geotectônico das feições estruturais das bacias, marginais brasileiras e áreas adjacentes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., 1982, Salvador. **Anais...** Salvador: SBG, 1982. v. 4. p. 1547-1557.

_____; FERRARI, A. L. Hipótese sobre a causa do tectonismo cenozóico na região sudeste do Brasil. In: PETROBRÁS. **Aspectos estruturais da margem continental leste e sudeste do Brasil**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS/CENPES/DINTEP, 1978. p.75-88. (Projeto REMAC, 4).

_____; PORTO, R. Diferenças nos estágios iniciais da evolução da margem continental brasileira: possíveis causas e implicações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., 1980, Camboriú. **Anais...** Camboriú: SBG, 1980. v. 1. p. 225-239.

AUSTIN, J. A.; UCHUPI, E. Continental-oceanic crustal transition off southwest Africa. **American Association of Petroleum Geologists (Bulletin 66)**, p. 1328-1347, 1982.

BJÖRNBERG, A. J. S. Rochas clásticas do planalto de Poços de Caldas. **Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo**, v. 237, Geologia n.18, p. 64-123. 1959.

BRISTOW, J. W.; SAGGERSON, E.P. A general account of Karoo volcanic activity in Southern Africa. **Geol. Rundsch**, v. 72, p. 1015-1060, 1983.

BOYNTON, W. V. Cosmochemistry of the rare-earth elements: meteorite studies. In: HENDERSON, P. **Rare-Earth Elements Geochemistry**. Amsterdam: Elsevier, 1984. p. 63-114.

COMIN-CHIARAMONTI, et al. A review of carbonatitic magmatism in the Paraná-Angola-Namibia (PAN) system. **Periodico di Mineralogia**, Roma: Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi La Sapienza, v. 76, p. 2-3 e p. 5-78, 2007.

CONDIE, K. C. **Plate tectonics and crustal evolution**. [S.l.]: Oxford, 1997. 282 p.

COURTILLOT, V. et al. Three distinct types of hotspots in the Earth's mantle. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 205, p. 295-308, 2003.

COUTO, C. P. **A bacia calcária de Itaboraí e a tectônica da costa sudeste do Brasil**. Rio de Janeiro: Divisão de Geologia e Mineralogia, DNPM, 1953. 12p. (Notas Preliminares e Estudos, 75).

DINGLE, R. V.; SIESSER, W. G.; NEWTON, A. R. **Mesozoic and Tertiary geology of Southern Africa**. Rotterdam: Balkena, 1983.

DUARTE B. P. **Evolução tectônica dos ortognaisses dos complexos Juiz de Fora e Mantiqueira na região de Juiz de Fora, MG: geologia, petrologia e geoquímica.** 1998. 280f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

ESTRELLA, G. O. O estagio rift nas bacias marginals do Leste Brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26., 1972, Belém. **Anais...**, Belém: [s.n.], 1972. v.3. p. 29–34.

FAINSTEIN, R.; SUMMERHAYES, C.P. Structure and origin of marginal banks off eastern Brazil. **Marine Geology**, v. 46, p. 199-215, 1982.

FERREIRA, C. S.; SANTOS, A.S. Novos dados sobre a geocronologia da Formação Tremembé, Vale do Paraíba, SP, com base palinologica. **Anais da Academia brasileira de Ciências** (Resumos), v. 54, n.1, p. 264, 1982.

FERREIRA, E. O.; ANGEIRAS, A.G.; ARAÚJO, G.G. Roteiro geológico ao maciço do Gericinó. **Avulso do DNPM/DFPM**, v. 38, p.3-41, 1965.

FODOR, R. V.; MCKEE, E. H.; ASMUS, H. E. K-Ar ages and the opening of the South Atlantic ocean: Basaltic rock from the Brazilian margin. **Marine Geology**, v. 54, p. 111-118, 1983.

FONSECA, A. C.; POUPEAU, G. Datação por traços de fissão de algumas rochas metamórficas na região da cidade do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SGB, 1984. v. 2, p. 321–332.

FONSECA, M.G. **Mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro (1:400.000):** texto explicativo. Rio de Janeiro: DRM-RJ/CPRM, 1998. 141p.

FOUCHÉ, J.; BATE, K. J.; VAN DER MERWE, R. Plate tectonic setting of the Mesozoic basins, southern offshore, South Africa. In: DE WIT, M. J.; RANSOME, I. F. D. (eds.). **Inversion tectonics of the Cape Fold Belt, Karoo an Cretaceous basins of Southern Africa.** Balkema: Ashgate Publishing Company, 1992. p. 33-48.

FREITAS, R. O. Jazimentos de rochas alcalinas da ilha de São Sebastião. **Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo**, v. 85, Geologia n. 3, 1947. 244 p.

FREITAS, R. O. de. Geologia e petrologia da ilha de São Sebastião. **Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo**, v. 85, Geologia n.3, 1947a.

FÚLFARO, V. J. et al. Compartimentação e evolução tectonica da Bacia do Parana. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 12, p. 590-611, 1982.

GERALDES, M. C. Métodos Termocronológicos. In: GERALDES, M. C. **Introdução à Geocronologia.** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2010. Cap. 2, p. 30-39.

GERALDES, M. C. O Método U-Th-Pb. In: GERALDES, M.C. **Introdução à Geocronologia**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2010. Cap. 5, p. 50-61.

GIBSON, S. A. et al. The Late Cretaceous impact of the Trindade mantle plume: Evidence from large-volume, mafic, potassic magmatism in SE Brazil. **Journal of Petrology**, v. 36, p. 189-229, 1995a.

GORINI, M. A.; BRYAN, G. M. The tectonic fabric of the equatorial Atlantic and adjoining continental margins: gulf of Guinea to northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 48 (Suplemento), p. 101-119, 1976.

HART, S. R. Heterogeneous mantle domains: Signatures, genesis and mixing chronologies. **Earth and Planetary Science Letter**, v. 90, p. 273-296, 1988.

_____. et al. Mantle plumes and entrainment: Isotopic evidence. **Science**, v. 256, p. 517-519, 1992.

HARKER, A. **The natural history of igneous rocks**. New York: Macmillan, 1909.

HASUI, Y.; SADOWSKI, G. R. Evolução geológica do Pré-Cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. **Boletim IG**, São Paulo: Instituto de Geociências, USP, v. 6, p.180-200, 1976.

_____; ALMEIDA, F. F. M.; BRITO NEVES, B. B. As estruturas brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978, Recife. **Anais...**, Recife: SBG, 1978. v. 6, p. 2423-2437.

HASUI, Y. A Grande Colisão Pré-Cambriana do Sudeste Brasileiro e a Estruturação Regional. **Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 29, n. 2, p. 141-169, 2010.

HEILBRON, M. et al. Geologia do Cabo dos Búzios. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 54, n. 3, p. 553-562, 1982.

_____. **O Segmento Central da Faixa Ribeira**: compartimentação tectônica e ensaio evolutivo. 1995. 115p. Tese (Doutorado em Livre Docência) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1995.

_____. et al. From collision to extension: the roots of the southeastern continental margin of Brazil. In: W. Mohriak; M. Talwani, (eds.): Atlantic Rifts and Continental Margins. **American Geophysical Union Geophysical Monograph**, v. 115, p. 1-31, 2000.

_____.; MACHADO, N. Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic- Paleozoic Ribeira orogen (SE Brazil). **Precambrian Research**, v. 125, p. 87-112, 2003.

_____. et al. Província Mantiqueira. In: MANTESSONETO, V. et al. (eds.) **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Editora Beca, 2004. p.203-234.

HELMBOLD, R. Resumo da geologia do Estado da Guanabara. **Relatório da Comissão Especial do CNPq**, v. 5, p. 31-34, 1967.

_____. Basic and alkaline intrusions in the State of Guanabara, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 40 (suplemento), p. 183-185, 1968.

HERZ N. Timing of spreading in the South Atlantic: Information from Brazilian alkali rocks. **Geological Society of America Bulletin**, v. 88, p. 101-112, 1977.

HUENE, F. V. Zur Stratigraphie Brasiliens. **Zbl. F. Min. Geol. Palaeont. Abt. B.**, v. 7, p. 418-423, 1933.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A – IPT. **Estudos geológico-tectônicos na Bacia de Resende (RJ) e sedimentos terciários de Volta Redonda (RJ) e Bacia de Taubaté (área de Cruzeiro-SP)**. Relatório 17.737, IPT, São Paulo, 1983.124 p.

IRVINE, T. N.; BARAGAR, W. R. A. A guide to the chemical classification of common volcanic rocks. **Canadian Journal of Earth Sciences**, v. 8, p. 523-547, 1971.

KLEIN, V. C.; VIEIRA, A. C. Vulcões do Rio de Janeiro: breve geologia e perspectivas. **Mineração e Metalurgia**, v. 419, p. 44-46, 1980a.

_____. Chaminé vulcânica na Serra de Madureira, município de Nova Iguaçu, Rio de Janeiro. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 52, p. 200, 1980b.

_____.; VALENÇA, J.G. Mecanismo de colocação de brechas fluidizadas na área de Cabuçu (complexo alcalino do Mendanha), Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG/RJ, 1984b, p. 4355-4361.

_____. **O Vulcão Alcalino de Nova Iguaçu (Estado do Rio de Janeiro): Controle Estrutural e Processo de Erupção**. 1993. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1993.

_____.; MONTALVANO, J.L. Hackmanita das rochas alcalinas das Serras do Mendanha e de Madureira, Rio de Janeiro. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 57, p. 169-173, 1985.

_____.; VALENÇA, J.G. Estruturas almofadadas em derrame ankaramítico na Bacia de São José de Itaboraí, Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, 1984. p. 4335-4345.

_____.; VIEIRA, A.C. Ignimbritos do vulcão de Nova Iguaçu e da “Chaminé do Lamego”, Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, 1984. p. 4346-4354, 1984.

KOPPERS, A.A.P. ArArCALC-software for $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age calculations. **Computers and Geosciences**, v. 28, p. 605–619, 2002.

LEE, J.-Y. A redetermination of the isotopic abundance of atmospheric Ar. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 70, p. 4507-4512, 2006.

LEITE, C. A. S. Folha SF.23 - Rio de Janeiro. In: SCHOBENHAUS, C. et al. (eds.). **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo**. Brasília, DF: CPRM, 2004. CD-ROM. (Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil)

LIMA, M.A.; AMADOR, E.S. Análise palinológica de sedimentos da Formação Resende, Terciário do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 8., 1983, Rio de Janeiro. **Coletânea de Trabalhos...** Rio de Janeiro: [s.n.], p.371-378, 1983.

LUDWING, K.R. Calculation of uncertainties of U-Pb isotope data. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 46, p. 212-220, 1980.

MACHADO, N. et al. U-Pb geochronology of the Central Ribeira Belt (Brazil) and implications for the evolution of the Brazilian Orogeny. **Precambrian Research**, v. 79, p. 347-361, 1996.

MATTON, G.; JÉBRAK, M. The Cretaceous Peri-Atlantic Alkaline Pulse (PAAP): Deep mantle plume origin or shallow lithospheric break-up? **Tectonophysics**, v. 469, p. 1-12, 2009.

MENEZES, S.O.; KLEIN, V.C. Ocorrências de barita em áreas adjacentes a maciços de rochas alcalinas no Estado do Rio de Janeiro. **Mineração e Metalurgia**, v. 345, p. 12-16, 1973.

MERRIHUE, C.; TURNER, G.. Potassium-argon dating by activation with fast neutrons. **Journal of Geophysical Research**, v. 71, p. 2852-2857, 1966.

MIDDLEMOST, E. A. K. The basalt clan. **Earth Science Reviews**, v. 11, p. 337-364. 1975.

MORGAN, W.J. Convection plumes in the lower mantle. **Nature**, v. 230, p. 42-43, 1971.

_____. Plate motion and deep convections. **Geological Society of America Memoirs**, v. 132, p. 7-22, 1972.

MOTA, C. E. M. **Estudos geológicos e gravimétricos do complexo marapicu-gericínio-mendanha**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2008.

_____.; GERALDES, M.C. Classificação de brechas magmáticas e sua implicação na evolução do Complexo Alcalino de Nova Iguaçu - RJ. **Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 25, n. 1, p. 37-48, 2006

MOTA, C.E.M. **Petrogênese e geocronologia das intrusões alcalinas de Morro Redondo, Mendanha e Morro de São João**: Caracterização do magmatismo alcalino no Estado do Rio de Janeiro e implicações geodinâmicas. 2012. 161 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

O'CONNOR, J.M.; E DUNCAN, R.A. Evolution of the Walvis Ridge-Rio Grande Rise Hot Spot System: Implications for African and South American Plate Motions Over Plume. **Journal of Geophysical Research**, v. 95, n. B11, p. 17, 475-17, 502, 1990.

PEATE, D.W. et al. Mantle plumes and flood-basalt stratigraphy in the Paraná, South America. **Geology**, v. 18, p. 1223-1226, 1990.

PICCIRILLO, E.M. et al. Lower Cretaceous tholeiitic dyke systems from the Ponta Grossa Arch (southeast Brazil): Petrology, Sr-Nd isotopes and genetic relationships with the Paraná flood volcanics. **Chemical Geology**, v. 89, p. 19-48, 1990.

PIRES, F.R.M.; MIANO, S.C. Alteração hidrotermal no Maciço Alcalino do Gericinó-Mendanha, Serra do Marapicu, RJ. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 6., 1999, São Pedro. **Boletim de Resumos**. Rio de Janeiro: SBG, 1999. p.63.

RABINOWITZ, P.D.; LA BRECQUE, J. The Mesozoic South Atlantic Ocean and evolution of its continental margin. **Journal of Geophysical Research**, v. 84, p. 5973-6002, 1979.

RENNE, P.R. et al. Joint determination of ^{40}K decay constants and $^{40}\text{Ar}^*/^{40}\text{K}$ for the Fish Canyon sanidine standard, and improved accuracy for $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 74, p. 5349–5367, 2011.

RICCOMINI, C. et al. Sobre a ocorrência de um derrame de ankaramito na Bacia de Volta Redonda (RJ) e sua importância na datação das bacias tafrogênicas continentais do sudeste brasileiro. In: SBG, SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 4., 1983, São Paulo. **Resumos**, São Paulo: SBG, 1983. p. 23-24.

ROLLINSON, H.R. **Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation**. [S.l.]: Longman Scientific e Technical, 1993. 352 p.

SCHMITT, R.S. **A Orogênia Búzios**: um evento tectono-metamórfico Cambro-Ordoviciano caracterizado no Domínio Tectônico de Cabo Frio, Faixa Ribeira-Sudeste do Brasil. 2001. 273f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

_____. et al. Late amalgamation in the central part of Western Gondwana: new geochronological data and the characterization of a Cambrian collision orogeny in the Ribeira Belt (SE Brazil). **Precambrian Research**, v.133, p. 29–61, 2004.

SHAND, S. J. **Eruptive Rocks: Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite**. New York: John Wiley & Sons, 1943

SIGOLO, J.B.; KLEIN, V.C. Classificação e gênese das concentrações bauxíticas no maciço alcalino do Mendanha, Rio de Janeiro. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 59, p. 25-35, 1987.

SILVA, D. A. **Estudos petrográficos, litogeoquímicos e isotópicos (Ar-Ar) do Maciço Alcalino do Marapicu-RJ**. 2011. 98f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Geologia) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

SILVA, L. C. **Geocronologia aplicada ao mapeamento regional, com ênfase na técnica U-Pb SHRIMP e ilustrada com estudos de casos brasileiros**. Brasília: CPRM, 2006. 150 p. (Publicações Especiais do Serviço Geológico do Brasil; 1) Disponível em: < www.cprm.gov.br >.

SMITH, W. H.; SANDWELL, D.T. Global seafloor topography from satellite and ship depth soundings. **Science**, v. 277, p. 1957-1962, 1997.

SONOKI, I. K.; GARDA, G.M. Idades K-Ar de rochas alcalinas do Brasil Meridional e Paraguai Oriental: Compilação e adaptação às novas constantes de decaimento. **Boletim do IG-USP**, Série Científica, v. 19, p. 63-85, 1988.

STEIGER, R. H.; JAGER, E. Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geochronology and cosmochronology. **Earth Planetary Science Letters**, v. 36, p. 359-362, 1977.

SUN, S.; MCDONOUGH, W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saunders A. D., Norry M. J., eds. **Magmatism in the ocean basins**. Boston: Blackwell Scientific, 1989. p. 313–345.

TERA, F.; WASSERBURG, G. J. U-Th-Pb systematics in three Apollo 14 basalts and the problem of the initial Pb in lunar rocks. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 14, p. 281-284, 1972.

THOMPSON, R. N. et al. Migrating Cretaceous-Eocene magmatism in the Serra do Mar Alkaline Province, SE Brazil: Melts from the deflected Trinidad mantle plume? **Journal of Petrology**, v. 39, p.1493-1526, 1998.

THOMAZ FILHO, A.; RODRIGUES, A. L. O alinhamento de rochas alcalinas Poços de Caldas-Cabo Frio (RJ) e sua continuidade na cadeia Vitória Trindade. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 29, n. 2, p. 275-280, 1999.

_____. et al. Rifting and magmatism associated with the South America and Africa breakup. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, p. 17-19, 2000.

_____. et al. K-Ar and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of dikes emplaced in the onshore basement of the Santos Basin, Resende area, SE Brazil: implications for the south Atlantic opening and Tertiary reactivation. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 18, n. 3-4, p. 371-382, mar. 2005.

TROUW, R.A.J. et al. The central segment of the Ribeira Belt. In: CORDANI, U.G. et al. (eds.) **Tectonic Evolution of South America**. Rio de Janeiro: [s.n.]: 2000. p. 287-310.

TUPINAMBÁ, M.; HEILBRON, M. Reconstituição da Fase Pré-colisional Neoproterozóica da Faixa Ribeira: o Arco Magmático e as Bacias de Ante-Arco e Retro-arco do Terreno Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., João Pessoa. Anais... João Pessoa: Sociedade Brasileira de Geologia, 2002. v.1, p.345.

UCHUPI, E. The Tectonic style of the Atlantic Mesozoic rift system. **Journal of African Earth Science**, v. 8, p. 143-164, 1989.

ULBRICH, H. H. G. J.; GOMES, C. B. Alkaline rocks from continental Brazil. **Earth-Science Reviews**, v. 17, p. 135-154, 1981.

VALLADARES, C.S., **Evolução geológica do complexo Paraíba do Sul, no segmento central da faixa Ribeira, com base em estudos de geoquímica e geocronologia U-Pb**. 1996. 147f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

____; RAGATKY, D.; SOUZA, S. F. M.. The Quirino Complex: a Transamazonian Magmatic Arc of the Central Segment of the Brasiliano/Pan-Africano Ribeira Belt, SE Brasil. **Journal of Conference**, European Union of Geosciences, Strasbourg, França, v. 11, p. 606, 2001a. (Abstracts, Cambridge Publications).

WEDEPOHL, K. L. **Handbook of Geochemistry**. Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg, parte II, v. 5, 1978

WETHERILL, G. W. Discordant Uranium-Lead ages I. **Transaction of the American Geophysics Union**, v. 37, p. 320-326, 1956.

WILSON, J. T. Evidence from islands on the spreading of the ocean floor. **Nature**, v. 197, p. 536-538, 1963.

ZALÁN, P. V. et al. **Evolução fanerozóica das bacias sedimentares brasileiras**. In: MANTESSONETO, V. et al. (eds.) **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Editora Beca, 2004. p. 203-234.

Anexo A - Litogeoquímica das 43 amostras analisadas do Maciço Marapicu

Amostras	Classificação	(Na+K)/Al mol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ ¹	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI	Total	Ba	Rb	Sr	Sn
MAR_28C	Lamprófiro	0,751797178	47,5	15,55	8,24	0,157	7,02	8,51	4,87	3,39	1,541	0,45	2,01	99,238	1316	120	833	2
MAR_24	Fonolito tefrítico	0,829214192	52,35	16,78	9,01	0,274	2,5	5,66	5,14	5,03	1,493	0,63	1,08	99,947	1693	90	920	3
MAR_06A	Fonolito	0,909396448	57,35	19,2	4,14	0,149	0,35	1,87	6,57	6,13	0,418	0,11	2,09	98,377	1531	173	838	3
MAR_07	Fonolito	0,917834439	57,75	19,84	4,3	0,155	0,36	1,85	6,92	6,29	0,447	0,13	2,1	100,142	1539	185	837	3
MAR_22B	Fonolito	0,93557036	58,72	18,49	5,73	0,238	0,45	1,94	6,63	5,89	0,475	0,2	0,92	99,683	1350	193	393	6
MAR_19B	Fonolito	0,955905235	57,15	19,1	4,13	0,169	0,17	1,43	7,18	5,94	0,258	0,06	3,16	98,747	133	216	115	5
MAR_05A	Fonolito	0,968857953	56,4	19,28	4,94	0,209	0,17	1,32	7,41	5,98	0,171	0,07	2,5	98,45	117	208	52	5
MAR_04C	Fonolito	0,990739023	56,63	19,24	4,88	0,204	0,18	1,35	7,55	6,12	0,176	0,07	2,84	99,24	59	199	59	4
MAR_18	Fonolito	1,016323299	56,06	20,88	3,75	0,198	0,02	1,05	9,08	5,79	0,073	0,01	1,28	98,191	4	238	6	6
MAR_22C	Fonolito	1,031394221	56,41	20,3	3,27	0,134	0,15	1,04	9	5,65	0,263	0,07	2,61	98,897	142	283	106	5
MAR_28B	Fonolito	1,042438097	57,44	19,5	4,45	0,19	0,27	1,24	8,88	5,27	0,382	0,09	1,56	99,272	123	344	100	10
MAR_09A	Fonolito	1,054403127	57,23	20,35	3,66	0,175	0,12	0,98	9,25	5,75	0,148	0,04	1,57	99,273	76	258	62	6
MAR_02B	Fonolito	1,119987852	54,09	20,09	3,85	0,233	0,08	0,92	9,66	6,09	0,244	0,03	3,95	99,237	19	332	74	11
MAR_15	Fonolito	1,186323737	53,46	19,38	4,74	0,285	0,08	1,08	10,71	4,95	0,246	0,04	4,01	98,981	67	365	82	11
MAR-29B	Fonolito	0,94523239	58,67	20,04	4,8	0,186	0,09	1,14	7,24	6,48	0,093	0,06	0,88	99,679	215	204	148	4
MAR-30	Fonolito	0,983141304	56,92	21,15	3,77	0,187	0,04	0,96	8,53	6,23	0,115	0,03	0,46	98,392	3	251	19	4
MAR-31A	Fonolito	0,994820412	57,71	21,11	4,28	0,226	< 0,01	0,66	9,21	5,39	0,021	0,03	0,63	99,267	7	268	6	6
MAR-31B	Fonolito	1,076114833	54,83	20,36	4,01	0,193	0,09	1,39	9,38	5,97	0,254	0,03	2,41	98,917	31	280	51	5
MAR-31C	Fonolito	0,953304605	58,52	20,46	4,59	0,176	< 0,01	0,37	8,36	5,3	0,043	< 0,01	0,61	98,429	6	282	3	5
MAR-32	Fonolito	0,857047214	57,82	21,19	4,87	0,287	0,02	0,72	7,53	5,32	0,02	0,04	0,92	98,737	8	246	8	7
MAR_27	Nefelina sienito	0,867294135	57,17	17,79	7,07	0,223	0,89	2,49	5,83	5,38	0,618	0,34	2,17	99,971	1006	178	605	4

Anexo A - Continuação 1 de 5

Amostras	Classificação	(Na+K)/Al mol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ [†]	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI	Total	Ba	Rb	Sr	Sn
MAR_03	Nefelina sienito	0,904945554	59,07	18,51	5,64	0,206	0,27	1,77	6	6,34	0,229	0,1	1,41	99,545	124	175	92	4
MAR_10B	Nefelina sienito	0,937260397	57,43	21,72	2,91	0,127	0,06	0,92	8,72	5,54	0,081	0,04	1,23	98,778	174	206	112	5
MAR_19A	Nefelina sienito	0,946605675	61,36	20,59	1,92	0,051	0,04	0,41	8,18	5,56	0,025	0,05	0,48	98,666	62	215	62	2
MAR_01D	Nefelina sienito	0,94861556	59,94	20,17	3,96	0,161	0,05	1,2	7,62	6,08	0,073	0,02	1,11	100,384	83	166	83	7
MAR_17B	Nefelina sienito	0,959899678	58,94	19,03	5,11	0,204	0,08	1,31	7,39	5,63	0,145	0,05	0,69	98,579	118	176	79	8
MAR-29A	Nefelina sienito	0,973550731	58,46	20,91	4,95	0,269	0,03	0,84	8,7	5,57	0,024	0,02	0,78	100,55	4	259	10	7
MAR-35	Nefelina sienito	0,943564806	57,94	17,87	5,09	0,165	0,74	2,18	6,45	5,76	0,592	0,28	1,72	98,787	582	189	335	3
MAR-36	Ne sodalita sienito	0,989632175	57,48	21,62	2,52	0,111	0,06	0,73	9,16	5,83	0,154	0,02	2,86	100,55	4	283	11	3
MAR-37	Ne sodalita sienito	1,023235083	57,35	20,48	3,05	0,135	0,06	0,87	9,13	5,47	0,183	0,01	3,11	99,848	5	286	12	4
MAR-38A	Ne sodalita sienito	1,012473836	56,7	20,53	2,92	0,135	0,09	1	9,04	5,45	0,181	0,02	3,02	99,086	8	287	18	5
MAR-38B	Ne sodalita sienito	1,033022118	57,3	19,96	2,77	0,114	0,06	0,79	8,8	5,66	0,165	0,02	3,02	98,659	4	286	10	3
MAR-39	Ne sodalita sienito	0,966399855	55,75	19,96	3,19	0,148	0,08	0,89	8,15	5,42	0,195	0,03	4,68	98,493	6	286	15	4
MAR-33	Sienito	0,877070027	60,05	18,17	4,08	0,142	0,4	1,5	5,67	6,09	0,368	0,08	2,79	99,34	513	201	147	3
MAR-34B	Sienito	0,857371349	59,46	18,1	5	0,161	0,65	1,5	5,35	6,19	0,521	0,25	1,26	98,442	725	191	246	2
MAR_20	Sienito	0,89372099	59,26	18,22	4,83	0,171	0,27	1,83	5,98	5,94	0,28	0,13	1,6	98,511	1035	200	446	4
MAR_26	Sienito	0,894955217	58,49	18,11	4,72	0,148	0,63	2,17	6,29	5,4	0,465	0,24	2,35	99,013	867	160	546	3
MAR_06B	Sienito	0,900821476	61,18	19,3	3,03	0,096	0,17	1,33	6,34	6,41	0,209	0,09	0,95	99,105	1124	141	533	2
MAR_16C	Sienito	0,901074642	60,8	18,25	4,67	0,155	0,36	1,85	5,88	6,24	0,318	0,1	0,72	99,343	586	167	338	3
MAR_01A	Sienito	0,919439978	61,02	18,38	3,72	0,128	0,23	1,64	6,13	6,28	0,255	0,09	1,08	98,953	1066	155	511	3
MAR_16A	Sienito	0,919760987	61,87	19,29	3,34	0,109	0,2	1,46	6,55	6,42	0,214	0,08	0,69	100,223	1283	140	617	2
MAR_13C	Sienito	0,92133899	60,06	18,7	4,16	0,141	0,29	1,69	6,37	6,22	0,302	0,11	0,86	98,903	1048	152	472	3
MAR-34A	Sienito	0,86675798	59,66	18,41	4,95	0,151	0,61	2,03	5,61	6,2	0,532	0,28	1,57	100	604	161	313	2

Anexo A - Continuação 2 de 5

Amostras	Classificação	U	Th	Y	Nb	Hf	(Zr/Y)N	(La/Yb)N	Eu/Eu*	(Sm/Yb)N	La	Ce	Pr	Nd	Zr	Sm	Eu	Ti
MAR_28C	Lamprófito	1,2	5,7	20	75	4,3	2,74854	13,113065	1,03	3,0344828	38,9	72,1	7,97	29,7	188	5,6	1,74	0,4
MAR_24	Fonolito tefrítico	1,6	8,2	36	145	10,4	3,50065	20,225806	0,77	3,7629995	108	206	22,5	77,9	431	12,5	2,71	0,1
MAR_06A	Fonolito	3,5	15,3	20	104	10,1	7,55848	20,167181	1,11	2,5915614	68,8	122	12,4	39,3	517	5,5	1,77	0,4
MAR_07	Fonolito	3,7	16,3	22	114	10,6	7,25678	22,545032	1,04	2,7743842	83,6	136	14,4	45,6	546	6,4	1,82	0,4
MAR_22B	Fonolito	3,4	17,3	28	140	11,6	4,78279	20,634409	0,79	2,6600985	101	175	17,4	55	458	8,1	1,83	0,3
MAR_19B	Fonolito	5,3	23,7	22	123	14,4	9,79532	20,755530	0,58	2,3223082	86,2	149	14,3	43	737	6	0,95	0,6
MAR_05A	Fonolito	5,4	22,6	36	170	13	4,92203	19,459677	0,40	2,8817734	127	184	24,5	78,5	606	11,7	1,32	0,5
MAR_04C	Fonolito	4,9	20,3	29	156	11,7	5,8782	18,244086	0,39	2,6272578	89,3	159	16,4	52,7	583	8	0,89	0,5
MAR_18	Fonolito	5,5	23,5	30	136	12,4	6,0039	19,840553	0,28	1,9817030	103	173	15,9	46,4	616	6,4	0,52	0,5
MAR_22C	Fonolito	17,5	53,1	24	191	18	12,4025	17,806641	0,61	1,4981165	89,8	136	11,7	33,6	1018	4,7	0,83	0,8
MAR_28B	Fonolito	50	76,2	27	183	21,3	12,3457	24,234525	0,42	2,1089069	133	206	18	50,6	1140	7,2	0,88	0,9
MAR_09A	Fonolito	8,6	34,1	25	151	14,8	9,11111	18,434378	0,41	1,5482055	95,7	149	13	35,8	779	5	0,6	0,6
MAR_02B	Fonolito	13	49,2	44	302	25,7	9,29692	19,179644	0,58	1,2145405	165	243	19,8	50,7	1399	6,5	1,18	0,7
MAR_15	Fonolito	18,9	71,8	59	353	29,5	8,21687	18,768091	0,57	1,801358	206	326	30,1	87,4	1658	12,3	2,1	0,7
MAR-29B	Fonolito	3,3	23,7	25	110	12,5	7,2865	20,360645	0,33	2,2036125	90,6	151	14,6	43,7	623	6,1	0,58	0,4
MAR-30	Fonolito	4	17,9	23	114	11,7	7,9202	19,703850	0,42	1,608136	90,6	145	12,9	35,5	623	4,6	0,55	0,5
MAR-31A	Fonolito	5,2	20,5	27	139	16,1	8,8586	12,751052	0,15	1,2015421	87	145	13,4	37,4	818	5,1	0,22	0,6
MAR-31B	Fonolito	6,3	30,8	27	146	13,9	7,8514	16,461559	0,53	1,6557198	87,9	138	12,8	37,6	725	5,5	0,82	0,7
MAR-31C	Fonolito	1,9	1,3	6	191	20,6	46,686	1,6105735	0,28	0,3612479	4,3	8,6	0,99	3,6	958	0,6	< 0,05	0,6
MAR-32	Fonolito	3,9	26,3	31	91	12,3	6,6874	24,078341	0,17	1,8268825	125	198	17,4	46,1	709	5,9	0,28	0,4
MAR_27	Nefelina sienito	4	16,2	26	154	11,4	6,21907	21,299522	0,77	3,0906769	85,3	143	15,8	51,8	553	7,7	1,7	0,5

Anexo A - Continuação 3 de 5

Amostras	Classificação	U	Th	Y	Nb	Hf	(Zr/Y)N	(La/Yb)N	Eu/Eu*	(Sm/Yb)N	La	Ce	Pr	Nd	Zr	Sm	Eu	Ti
MAR-03	Nefelina sienito	3	17	26	169	12,1	6,19658	19,169570	0,45	2,9622332	85,3	159	16,7	54,3	551	8,2	1,04	0,3
MAR_10B	Nefelina sienito	6,8	35,2	27	110	10,9	5,39311	30,760081	0,53	2,4384236	146	211	18,8	52,6	498	7,2	1,1	0,7
MAR_19A	Nefelina sienito	2,4	16,3	8	15	3,5	6,06725	31,503226	0,45	2,0689655	51,4	75,7	6,13	15,9	166	2,1	0,27	0,6
MAR_01D	Nefelina sienito	4,2	20,8	21	115	11,6	7,19855	25,996903	0,44	2,5576355	96,4	175	14,7	42,9	517	5,9	0,71	0,4
MAR_17B	Nefelina sienito	8,2	42,7	39	203	17,7	6,5752	21,630376	0,26	2,5513136	154	267	26,1	79,4	877	11,3	0,85	0,4
MAR-29A	Nefelina sienito	2	22,9	13	59	9,5	13,068	23,246194	0,29	1,8640394	86,2	145	12,8	34,8	581	4,3	0,33	0,4
MAR-35	Nefelina sienito	6,3	20,4	18	136	10,1	7,976	22,043198	0,77	2,5915614	75,2	123	12	37,4	491	5,5	1,17	0,4
MAR-36	Ne sodalita sienito	9,1	46,7	22	111	12,1	8,32	30,473548	0,45	2,1674877	113	165	13,9	38,4	626	5	0,62	0,6
MAR-37	Ne sodalita sienito	13,7	43,1	23	119	14,4	9,6237	19,435373	0,48	1,4200781	83,6	122	10,3	27,9	757	3,8	0,53	0,7
MAR-38A	Ne sodalita sienito	13,9	41,9	25	121	19,4	12,199	16,973814	0,50	1,3068676	85,6	126	10,8	29,4	1043	4,1	0,59	0,6
MAR-38B	Ne sodalita sienito	11,4	31,7	16	99	11,8	10,855	20,057258	0,48	1,5353038	71,4	108	9,49	26,3	594	3,4	0,45	0,7
MAR-39	Ne sodalita sienito	14,8	56	20	146	16,2	12,047	17,484086	0,45	1,3727422	77,8	114	9,79	27,4	824	3,8	0,49	0,8
MAR-33	Sienito	7,5	23,2	50	146	11,9	3,5322	15,831063	0,78	1,6055464	63,4	82,3	8,67	26,6	604	4	1,03	0,4
MAR-34B	Sienito	2,2	12	34	129	7,5	2,8724	23,141238	0,72	3,4855545	127	144	24,6	79,6	334	11,9	2,42	0,4
MAR_20	Sienito	2,7	13,6	21	118	9,3	5,69479	20,010065	0,79	3,0344828	74,2	141	14,6	47,6	409	7	1,55	0,4
MAR_26	Sienito	7,4	22,8	22	120	10,1	7,52259	17,054600	0,93	2,4083196	68,3	120	12	38,9	566	6	1,6	0,4
MAR_06B	Sienito	2	10,4	13	76	5,5	5,60054	24,752535	1,35	3,3286418	51,4	91,1	9,09	29,2	249	4,3	1,59	0,3
MAR_16C	Sienito	2,2	12,2	20	121	8,2	5,17544	20,624194	0,87	3,3990148	67,3	127	13,6	45,5	354	6,9	1,68	0,3
MAR_01A	Sienito	3	13,1	19	105	8,4	5,89412	21,758065	1,12	2,9064039	71	125	12,2	39,6	383	5,9	1,89	0,3
MAR_16A	Sienito	2,2	12	16	86	6,8	6,77997	20,265465	1,35	2,7412344	51,1	90,5	9,09	29,3	371	4,3	1,61	0,3
MAR_13C	Sienito	2,7	13,5	18	106	7,2	5,00325	21,506774	1,04	3,2512315	63,8	118	12,3	40,2	308	6	1,74	0,3
MAR-34A	Sienito	2,8	15,2	28	130	7,9	3,7281	17,079570	0,74	2,456486	76	118	13,1	43,9	357	6,8	1,5	0,3

Anexo A - Continuação 4 de 5

Amostras	Classificação	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	V	Sc	As	Cr	Cs	Ge	In	Mo	Ni	Pb	Sb
MAR_28C	Lamprófiro	4,8	0,7	4	0,8	2,1	0,31	2	0,33	183	20	< 5	370	2,9	1	< 0.2	2	130	13	< 0.5
MAR_24	Fonolito tefrítico	9,2	1,4	7,5	1,4	3,9	0,56	3,6	0,62	121	8	< 5	< 20	< 0.5	2	< 0.2	3	30	7	< 0.5
MAR_06A	Fonolito	4,3	0,6	3,5	0,7	2,1	0,34	2,3	0,39	< 5	< 1	< 5	< 20	2	1	< 0.2	3	< 20	17	< 0.5
MAR_07	Fonolito	4,5	0,7	3,9	0,7	2,3	0,37	2,5	0,42	6	< 1	< 5	< 20	2,4	1	< 0.2	3	< 20	16	< 0.5
MAR_22B	Fonolito	6,2	0,9	5,3	1	3,1	0,5	3,3	0,55	< 5	< 1	< 5	< 20	0,9	2	< 0.2	< 2	< 20	13	< 0.5
MAR_19B	Fonolito	4,2	0,7	3,9	0,8	2,4	0,4	2,8	0,48	< 5	< 1	< 5	< 20	3,9	1	< 0.2	10	< 20	23	< 0.5
MAR_05A	Fonolito	8,9	1,3	7,2	1,4	4,1	0,64	4,4	0,71	< 5	< 1	< 5	< 20	3,8	2	< 0.2	7	< 20	21	< 0.5
MAR_04C	Fonolito	6,1	0,9	5,3	1	3,1	0,49	3,3	0,56	< 5	< 1	< 5	< 20	3	2	< 0.2	5	< 20	20	< 0.5
MAR_18	Fonolito	5,1	0,8	5	1	3,2	0,53	3,5	0,58	< 5	< 1	< 5	< 20	2,7	1	< 0.2	2	< 20	26	< 0.5
MAR_22C	Fonolito	3,7	0,6	3,8	0,8	2,7	0,47	3,4	0,57	5	< 1	< 5	< 20	5,9	1	< 0.2	5	< 20	34	< 0.5
MAR_28B	Fonolito	5,7	0,9	4,8	0,9	2,9	0,49	3,7	0,64	10	1	< 5	< 20	6	2	< 0.2	< 2	< 20	49	0,5
MAR_09A	Fonolito	4	0,7	4	0,9	2,8	0,49	3,5	0,59	< 5	< 1	< 5	< 20	3,9	2	< 0.2	3	< 20	31	< 0.5
MAR_02B	Fonolito	6	1	6,3	1,4	4,8	0,84	5,8	0,93	< 5	< 1	8	< 20	7,1	2	< 0.2	13	< 20	42	0,6
MAR_15	Fonolito	10,5	1,7	10	2,1	6,7	1,12	7,4	1,14	< 5	< 1	11	< 20	12,7	2	< 0.2	21	< 20	52	0,8
MAR-29B	Fonolito	4,6	0,8	4,5	0,9	2,7	0,45	3	0,44	8	< 1	< 5	< 20	1,9	2	< 0.2	< 2	< 20	20	< 0.5
MAR-30	Fonolito	3,5	0,7	3,6	0,8	2,5	0,45	3,1	0,45	6	< 1	< 5	< 20	1,9	1	< 0.2	< 2	< 20	16	< 0.5
MAR-31A	Fonolito	3,7	0,7	4,6	1,1	3,5	0,65	4,6	0,68	6	< 1	< 5	< 20	1,3	2	< 0.2	< 2	< 20	11	< 0.5
MAR-31B	Fonolito	4	0,7	4,3	1	3	0,54	3,6	0,51	7	< 1	7	< 20	5,9	2	< 0.2	9	< 20	24	< 0.5
MAR-31C	Fonolito	0,5	0,1	1,1	0,3	1	0,23	1,8	0,3	7	< 1	< 5	< 20	5,3	2	< 0.2	< 2	< 20	15	< 0.5
MAR-32	Fonolito	4,3	0,8	4,9	1,1	3,4	0,57	3,5	0,49	6	< 1	< 5	< 20	0,8	2	< 0.2	< 2	< 20	17	< 0.5
MAR_27	Nefelina sienito	5,9	0,9	4,7	0,9	2,6	0,39	2,7	0,48	19	2	< 5	< 20	3,6	2	< 0.2	3	< 20	17	< 0.5

Anexo A - Continuação 5 de 5

Amostras	Classificação	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	V	Sc	As	Cr	Cs	Ge	In	Mo	Ni	Pb	Sb
MAR-03	Nefelina sienito	6	0,9	5	0,9	2,7	0,43	3	0,53	< 5	< 1	< 5	< 20	2,2	2	< 0.2	3	< 20	14	< 0.5
MAR_10B	Nefelina sienito	5,6	0,9	5	1	3	0,47	3,2	0,51	< 5	< 1	< 5	< 20	3,3	2	< 0.2	3	< 20	19	< 0.5
MAR_19A	Nefelina sienito	1,6	0,3	1,5	0,3	0,9	0,15	1,1	0,19	< 5	< 1	< 5	< 20	2,7	1	< 0.2	< 2	< 20	16	< 0.5
MAR_01D	Nefelina sienito	4,2	0,6	3,6	0,7	2,2	0,37	2,5	0,39	< 5	< 1	< 5	< 20	1,2	1	< 0.2	< 2	< 20	17	0,6
MAR_17B	Nefelina sienito	8,7	1,3	7,4	1,4	4,4	0,7	4,8	0,82	< 5	< 1	< 5	< 20	0,7	2	< 0.2	< 2	< 20	9	< 0.5
MAR-29A	Nefelina sienito	2,9	0,5	2,7	0,5	1,8	0,33	2,5	0,44	6	< 1	< 5	< 20	1,1	2	< 0.2	< 2	< 20	16	< 0.5
MAR-35	Nefelina sienito	3,9	0,6	3,4	0,7	2,1	0,34	2,3	0,37	34	2	< 5	< 20	2,1	2	< 0.2	3	< 20	16	< 0.5
MAR-36	Ne sodalita sienito	3,6	0,6	3,4	0,7	2,2	0,37	2,5	0,34	8	< 1	< 5	< 20	3,9	1	< 0.2	8	< 20	21	< 0.5
MAR-37	Ne sodalita sienito	3	0,5	3,4	0,7	2,3	0,45	2,9	0,44	8	< 1	< 5	< 20	4,4	1	< 0.2	6	< 20	52	< 0.5
MAR-38A	Ne sodalita sienito	3,2	0,6	3,6	0,8	2,7	0,49	3,4	0,51	9	< 1	< 5	< 20	4,9	2	< 0.2	4	< 20	48	< 0.5
MAR-38B	Ne sodalita sienito	2,4	0,4	2,6	0,6	1,7	0,32	2,4	0,36	6	< 1	< 5	< 20	4,8	1	< 0.2	3	< 20	19	< 0.5
MAR-39	Ne sodalita sienito	2,9	0,5	3,2	0,7	2,3	0,42	3	0,47	8	< 1	< 5	< 20	5,3	1	< 0.2	5	< 20	25	< 0.5
MAR-33	Sienito	4,1	0,7	4	0,9	2,8	0,41	2,7	0,37	10	< 1	< 5	< 20	1,9	2	< 0.2	4	< 20	18	< 0.5
MAR-34B	Sienito	8,9	1,4	7,4	1,4	3,8	0,6	3,7	0,55	23	2	< 5	< 20	2,7	2	< 0.2	< 2	< 20	14	< 0.5
MAR_20	Sienito	5,1	0,8	4,3	0,8	2,4	0,36	2,5	0,45	< 5	< 1	< 5	< 20	2,5	2	< 0.2	4	< 20	15	< 0.5
MAR_26	Sienito	4,6	0,7	3,9	0,8	2,4	0,39	2,7	0,45	19	2	< 5	< 20	2,4	1	< 0.2	4	< 20	15	< 0.5
MAR_06B	Sienito	3	0,5	2,6	0,5	1,4	0,21	1,4	0,25	< 5	< 1	< 5	< 20	1,4	1	< 0.2	3	< 20	10	< 0.5
MAR_16C	Sienito	5,1	0,7	4,1	0,7	2,2	0,32	2,2	0,39	< 5	< 1	< 5	< 20	1,8	1	< 0.2	< 2	< 20	15	< 0.5
MAR_01A	Sienito	4,5	0,7	3,6	0,7	2,1	0,32	2,2	0,36	< 5	< 1	< 5	< 20	2,1	1	< 0.2	2	< 20	13	< 0.5
MAR_16A	Sienito	3,1	0,5	2,7	0,5	1,6	0,26	1,7	0,3	< 5	< 1	< 5	< 20	1,6	1	< 0.2	6	< 20	14	< 0.5
MAR_13C	Sienito	4,4	0,7	3,6	0,7	2	0,3	2	0,34	< 5	< 1	< 5	< 20	1,8	1	< 0.2	3	< 20	13	< 0.5
MAR-34A	Sienito	5,6	0,9	5,1	1	2,8	0,43	3	0,46	21	2	< 5	< 20	2,3	1	< 0.2	< 2	< 20	14	< 0.5

Anexo B - Norma CIPW das 43 amostras analisadas do Maciço Marapicu

Amostras	Classificação	Q	C	Or	Ab	An	Ne	Ns	Di	Wo	Hy	Ol	Il	Tn	Pf	Ru	Ap	Sum
MAR_28C	Lamprófiro	0.000	0.000	20.034	16.421	10.557	13.428	0.000	18.658	0.000	0.000	6.192	0.336	0.000	2.323	0.000	1.066	89.015
MAR_24	Fonolito tefrítico	0.000	0.000	29.726	30.538	7.857	7.018	0.000	9.326	0.000	0.000	1.334	0.586	0.000	2.017	0.000	1.492	89.894
MAR_06A	Fonolito	0.000	0.000	36.226	39.133	4.792	8.917	0.000	1.881	0.200	0.000	0.000	0.319	0.000	0.426	0.000	0.261	92.155
MAR_07	Fonolito	0.000	0.000	37.172	37.442	4.495	11.438	0.000	1.934	0.167	0.000	0.000	0.332	0.000	0.464	0.000	0.308	93.751
MAR_22B	Fonolito	0.000	0.000	34.808	44.296	3.295	6.395	0.000	2.418	0.499	0.000	0.000	0.509	0.000	0.353	0.000	0.474	93.047
MAR_19B	Fonolito	0.000	0.000	35.104	40.018	2.342	11.234	0.000	0.913	1.232	0.000	0.000	0.362	0.000	0.115	0.000	0.142	91.462
MAR_05A	Fonolito	0.000	0.000	35.340	37.456	1.683	13.676	0.000	1.113	1.257	0.000	0.000	0.325	0.000	0.000	0.000	0.166	91.016
MAR_04C	Fonolito	0.000	0.000	36.167	36.654	0.532	14.752	0.000	1.134	1.787	0.000	0.000	0.334	0.000	0.000	0.000	0.166	91.526
MAR_18	Fonolito	0.000	0.000	34.217	33.241	0.000	22.710	0.389	0.573	1.872	0.000	0.000	0.139	0.000	0.000	0.000	0.024	93.164
MAR_22C	Fonolito	0.000	0.000	33.390	36.109	0.000	19.962	0.744	0.806	1.368	0.000	0.000	0.287	0.000	0.191	0.000	0.166	93.022
MAR_28B	Fonolito	0.000	0.000	31.144	41.579	0.000	15.916	0.973	1.451	1.300	0.000	0.000	0.406	0.000	0.286	0.000	0.213	93.269
MAR_09A	Fonolito	0.000	0.000	33.981	36.490	0.000	19.593	1.306	0.797	1.504	0.000	0.000	0.281	0.000	0.000	0.000	0.095	94.047
MAR_02B	Fonolito	0.000	0.000	35.990	27.029	0.000	22.969	2.866	0.487	1.567	0.000	0.000	0.464	0.000	0.000	0.000	0.071	91.442
MAR_15	Fonolito	0.000	0.000	29.253	31.844	0.000	21.820	4.306	0.662	1.789	0.000	0.000	0.467	0.000	0.000	0.000	0.095	90.237
MAR-29B	Fonolito	0.000	0.000	38.295	38.877	3.043	12.127	0.000	0.845	0.498	0.000	0.000	0.177	0.000	0.000	0.000	0.142	94.005
MAR-30	Fonolito	0.000	0.000	36.817	33.167	1.020	21.133	0.000	0.512	1.227	0.000	0.000	0.219	0.000	0.000	0.000	0.071	94.166
MAR-31A	Fonolito	0.000	0.000	31.853	39.955	0.339	20.573	0.000	0.725	0.804	0.000	0.000	0.040	0.000	0.000	0.000	0.071	94.361
MAR-31B	Fonolito	0.000	0.000	35.281	28.683	0.000	23.187	1.835	0.484	2.485	0.000	0.000	0.413	0.000	0.062	0.000	0.071	92.501
MAR-31C	Fonolito	0.000	0.297	31.321	46.207	1.836	13.290	0.000	0.000	0.000	0.000	0.198	0.082	0.000	0.000	0.000	0.000	93.231
MAR-32	Fonolito	0.000	1.830	31.440	46.480	3.311	9.338	0.000	0.000	0.000	0.000	0.422	0.038	0.000	0.000	0.000	0.095	92.953
MAR_27	Nefelina sienito	0.000	0.000	31.794	45.921	6.482	1.848	0.000	1.846	0.000	0.000	0.954	0.477	0.000	0.625	0.000	0.805	90.752
MAR_03	Nefelina sienito	0.000	0.000	37.467	43.566	4.848	3.903	0.000	1.460	0.587	0.000	0.000	0.435	0.000	0.000	0.000	0.237	92.503

Anexo B - Continuação 1 de 1

Amostras	Classificação	Q	C	Or	Ab	An	Ne	Ns	Di	Wo	Hy	Ol	Il	Tn	Pf	Ru	Ap	Sum
MAR_10B	Nefelina sienito	0.000	0.000	32.740	38.082	3.760	19.342	0.000	0.444	0.000	0.000	0.025	0.154	0.000	0.000	0.000	0.095	94.642
MAR_19A	Nefelina sienito	0.000	0.489	32.858	51.151	1.707	9.787	0.000	0.000	0.000	0.000	0.111	0.048	0.000	0.000	0.000	0.118	96.269
MAR_01D	Nefelina sienito	0.000	0.000	35.931	43.341	2.874	11.451	0.000	0.605	0.930	0.000	0.000	0.139	0.000	0.000	0.000	0.047	95.317
MAR_17B	Nefelina sienito	0.000	0.000	33.272	46.020	2.124	8.945	0.000	0.693	1.336	0.000	0.000	0.276	0.000	0.000	0.000	0.118	92.784
MAR-29A	Nefelina sienito	0.000	0.000	32.917	41.052	1.551	17.642	0.000	1.027	0.546	0.000	0.000	0.046	0.000	0.000	0.000	0.047	94.827
MAR-35	Nefelina sienito	0.000	0.000	34.040	43.824	2.795	5.826	0.000	3.718	0.000	0.000	0.084	0.353	0.000	0.692	0.000	0.663	91.994
MAR-36	Ne sodalita sienito	0.000	0.000	34.453	35.883	0.656	22.551	0.000	0.322	0.969	0.000	0.000	0.237	0.000	0.049	0.000	0.047	95.168
MAR-37	Ne sodalita sienito	0.000	0.000	32.326	39.279	0.000	19.289	0.552	0.322	1.557	0.000	0.000	0.289	0.000	0.053	0.000	0.024	93.690
MAR-38A	Ne sodalita sienito	0.000	0.000	32.208	37.752	0.000	20.316	0.288	0.484	1.715	0.000	0.000	0.289	0.000	0.049	0.000	0.047	93.149
MAR-38B	Ne sodalita sienito	0.000	0.000	33.449	39.441	0.000	17.179	0.770	0.322	1.356	0.000	0.000	0.244	0.000	0.062	0.000	0.047	92.872
MAR-39	Ne sodalita sienito	0.000	0.000	32.031	38.823	1.871	16.328	0.000	0.430	0.709	0.000	0.000	0.317	0.000	0.048	0.000	0.071	90.627
MAR-33	Sienito	0.345	0.000	35.990	47.978	6.140	0.000	0.000	0.042	0.000	0.977	0.000	0.304	0.511	0.000	0.000	0.189	92.476
MAR-34B	Sienito	1.172	0.470	36.581	45.270	5.808	0.000	0.000	0.000	0.000	1.619	0.000	0.344	0.000	0.000	0.340	0.592	92.197
MAR_20	Sienito	0.000	0.000	35.104	47.280	5.328	1.799	0.000	1.451	0.306	0.000	0.000	0.366	0.000	0.149	0.000	0.308	92.090
MAR_26	Sienito	0.000	0.000	31.912	47.897	5.231	2.886	0.000	2.279	0.000	0.000	0.359	0.317	0.000	0.508	0.000	0.568	91.958
MAR_06B	Sienito	0.000	0.000	37.881	47.627	5.271	3.262	0.000	0.302	0.000	0.000	0.199	0.205	0.000	0.172	0.000	0.213	95.131
MAR_16C	Sienito	0.000	0.000	36.876	48.386	4.973	0.742	0.000	1.934	0.237	0.000	0.000	0.332	0.000	0.244	0.000	0.237	93.960
MAR_01A	Sienito	0.000	0.000	37.113	48.721	4.087	1.706	0.000	1.236	0.621	0.000	0.000	0.274	0.000	0.189	0.000	0.213	94.159
MAR_16A	Sienito	0.000	0.000	37.940	47.998	4.271	4.023	0.000	1.075	0.314	0.000	0.000	0.233	0.000	0.155	0.000	0.189	96.199
MAR_13C	Sienito	0.000	0.000	36.758	45.927	4.060	4.320	0.000	1.558	0.461	0.000	0.000	0.302	0.000	0.244	0.000	0.261	93.891
MAR-34A	Sienito	0.000	0.000	36.640	47.156	6.739	0.170	0.000	0.188	0.000	0.000	1.004	0.323	0.000	0.616	0.000	0.663	93.500

Anexo C - Valores de J e dados brutos

Amostra	Material	Local	Temp	Idade do Padrão	%1s	J	%1s	MDF	%1s	Volume Razão	Sensibilidade	Irradiação	Padão
				(em Ma)							(mol/vol)		
MPC-11	Hbl	Forno	600 °C	28,305	0,13	0,009182	0,29	1,000554	0,32	1	4,020E-14	17t25h	FCs
MPC-11	Hbl	Forno	700 °C	28,305	0,13	0,009182	0,29	1,000554	0,32	1	4,020E-14	17t25h	FCs
MPC-11	Hbl	Forno	800 °C	28,305	0,13	0,009182	0,29	1,000554	0,32	1	4,020E-14	17t25h	FCs
MPC-11	Hbl	Forno	900 °C	28,305	0,13	0,009182	0,29	1,000554	0,32	1	4,020E-14	17t25h	FCs
MPC-11	Hbl	Forno	1000 °C	28,305	0,13	0,009182	0,29	1,000554	0,32	1	4,020E-14	17t25h	FCs
MPC-11	Hbl	Forno	1025 °C	28,305	0,13	0,009182	0,29	1,000554	0,32	1	4,020E-14	17t25h	FCs
MPC-11	Hbl	Forno	1050 °C	28,305	0,13	0,009182	0,29	1,000554	0,32	1	4,020E-14	17t25h	FCs
MPC-11	Hbl	Forno	1075 °C	28,305	0,13	0,009182	0,29	1,000554	0,32	1	4,020E-14	17t25h	FCs
MPC-11	Hbl	Forno	1100 °C	28,305	0,13	0,009182	0,29	1,000554	0,32	1	4,020E-14	17t25h	FCs
MPC-11	Hbl	Forno	1125 °C	28,305	0,13	0,009182	0,29	1,000554	0,32	1	4,020E-14	17t25h	FCs
MPC-11	Hbl	Forno	1150 °C	28,305	0,13	0,009182	0,29	1,000554	0,32	1	4,020E-14	17t25h	FCs
MPC-11	Hbl	Forno	1175 °C	28,305	0,13	0,009182	0,29	1,000554	0,32	1	4,020E-14	17t25h	FCs

Anexo D - Discriminação de massa em cada etapa

Temp	36Ar(a)	36Ar(c)	36Ar(ca)	36Ar(cl)	37Ar(ca)	38Ar(a)	38Ar(c)	38Ar(k)	38Ar(ca)	38Ar(cl)	39Ar(k)	39Ar(ca)	40Ar(r)	40Ar(a)	40Ar(c)	40Ar(k)
600 °C	0,000056	0,000000	0,000003	0,000000	0,009019	0,000011	0,000000	0,000341	0,000000	0,000039	0,027463	0,000007	0,135544	0,016653	0,000000	0,000019
700 °C	0,000332	0,000000	0,000006	0,000000	0,021482	0,000062	0,000000	0,000649	0,000000	0,000188	0,052323	0,000016	0,267687	0,097959	0,000000	0,000035
800 °C	0,000171	0,000000	0,000014	0,000000	0,049748	0,000032	0,000000	0,001118	0,000001	0,000280	0,090133	0,000036	0,451279	0,050443	0,000000	0,000061
900 °C	0,000290	0,000000	0,000347	0,000001	1,229999	0,000054	0,000000	0,007489	0,000028	0,004410	0,603973	0,000898	2,969755	0,085840	0,000000	0,000408
1000 °C	0,000447	0,000000	0,001595	0,000006	5,654463	0,000084	0,000000	0,025820	0,000129	0,021060	2,082239	0,004128	10,221809	0,132229	0,000000	0,001408
1025 °C	0,000040	0,000000	0,000060	0,000000	0,214505	0,000007	0,000000	0,000942	0,000005	0,000689	0,075966	0,000157	0,370165	0,011820	0,000000	0,000051
1050 °C	0,000050	0,000000	0,000078	0,000000	0,275759	0,000009	0,000000	0,001162	0,000006	0,000994	0,093739	0,000201	0,457060	0,014839	0,000000	0,000063
1075 °C	0,000152	0,000000	0,000523	0,000002	1,854233	0,000028	0,000000	0,007466	0,000042	0,005902	0,602129	0,001354	2,965516	0,044810	0,000000	0,000407
1100 °C	0,000052	0,000000	0,000448	0,000001	1,588297	0,000010	0,000000	0,005169	0,000036	0,003773	0,416832	0,001159	2,055986	0,015355	0,000000	0,000282
1125 °C	0,000027	0,000000	0,000068	0,000000	0,242502	0,000005	0,000000	0,000648	0,000006	0,000571	0,052251	0,000177	0,256844	0,007869	0,000000	0,000035
1150 °C	0,000046	0,000000	0,000012	0,000000	0,043352	0,000009	0,000000	0,000146	0,000001	0,000076	0,011748	0,000032	0,049608	0,013702	0,000000	0,000008
1175 °C	0,000061	0,000000	0,000012	0,000000	0,041620	0,000011	0,000000	0,000142	0,000001	0,000130	0,011476	0,000030	0,048346	0,017919	0,000000	0,000008

Anexo E - Dados isotópicos de Ar corrigidos para o branco e decaimento radioativo

Temp.	40(r)/39(k)	1s	40(r+a)	1s	40Ar/39Ar	1s	37Ar/39Ar	1s	36Ar/39Ar	1s	37Ar (decay)	39Ar (decay)	40Ar (moles)
600 °C	4,935491	0,18010	0,15220	0,00132	5,54120	0,05637	0,32832	0,04230	0,00214	0,00058	27,99711685	1,00119105	6,119E-15
700 °C	5,116062	0,11540	0,36565	0,00133	6,98685	0,03861	0,41045	0,02129	0,00645	0,00037	28,01709338	1,00119130	1,470E-14
800 °C	5,006840	0,05874	0,50172	0,00142	5,56493	0,02630	0,55172	0,02390	0,00205	0,00018	28,03708417	1,00119156	2,017E-14
900 °C	4,917031	0,02349	3,05559	0,00242	5,05232	0,01733	2,03349	0,07059	0,00106	0,00005	28,05670437	1,00119181	1,229E-13
1000 °C	4,909047	0,01985	10,35404	0,00881	4,96339	0,01732	2,71020	0,09362	0,00098	0,00002	28,07441280	1,00119203	4,163E-13
1025 °C	4,872760	0,08593	0,38198	0,00134	5,01869	0,02892	2,81788	0,10224	0,00132	0,00027	28,09444449	1,00119229	1,536E-14
1050 °C	4,875871	0,05313	0,47190	0,00130	5,02406	0,02434	2,93547	0,10679	0,00137	0,00016	28,11410483	1,00119254	1,897E-14
1075 °C	4,925050	0,02119	3,01033	0,00202	4,98893	0,01659	3,07255	0,10638	0,00112	0,00003	28,13377894	1,00119279	1,210E-13
1100 °C	4,932413	0,02733	2,07134	0,00176	4,95614	0,01793	3,79984	0,13165	0,00120	0,00006	28,15346681	1,00119304	8,328E-14
1125 °C	4,915601	0,11410	0,26471	0,00132	5,04978	0,03411	4,62545	0,16329	0,00182	0,00036	28,17316846	1,00119329	1,064E-14
1150 °C	4,222606	0,50306	0,06331	0,00125	5,37514	0,11364	3,68020	0,16580	0,00498	0,00166	28,19211048	1,00119353	2,545E-15
1175 °C	4,212596	0,38884	0,06626	0,00105	5,75936	0,10206	3,61702	0,16169	0,00629	0,00127	28,21183917	1,00119378	2,664E-15

Anexo F - Isócrona inversa

Temperatura	39(k)/40(a+r)	± 2s	36(a)/40(a+r)	± 2s	r.i.
600 °C	0,180445	± 0,003672	0,000370	± 0,000210	0,0261
700 °C	0,143097	± 0,001582	0,000907	± 0,000107	0,0404
800 °C	0,179646	± 0,001699	0,000340	± 0,000065	0,0177
900 °C	0,197661	± 0,001360	0,000095	± 0,000022	0,0016
1000 °C	0,201104	± 0,001409	0,000043	± 0,000013	0,0013
1025 °C	0,198872	± 0,002297	0,000105	± 0,000109	0,0041
1050 °C	0,198642	± 0,001930	0,000106	± 0,000064	0,0052
1075 °C	0,200021	± 0,001337	0,000050	± 0,000018	0,0008
1100 °C	0,201238	± 0,001465	0,000025	± 0,000028	0,0004
1125 °C	0,197386	± 0,002675	0,000101	± 0,000146	0,0051
1150 °C	0,185565	± 0,007851	0,000732	± 0,000617	0,0438
1175 °C	0,173192	± 0,006143	0,000915	± 0,000442	0,0584

Anexo G - Brancos da datação $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$

Temperatura	^{36}Ar	1s	^{37}Ar	1s	^{38}Ar	1s	^{39}Ar	1s	^{40}Ar	1s
600 °C	0,000093	0,000010	0,000439	0,000021	0,000025	0,000008	0,000027	0,000012	0,020027	0,001241
700 °C	0,000092	0,000010	0,000431	0,000021	0,000025	0,000008	0,000023	0,000012	0,021350	0,001241
800 °C	0,000098	0,000010	0,000435	0,000021	0,000026	0,000008	0,000022	0,000012	0,023058	0,001241
900 °C	0,000105	0,000010	0,000447	0,000021	0,000026	0,000008	0,000023	0,000012	0,024449	0,001241
1000 °C	0,000112	0,000010	0,000464	0,000021	0,000026	0,000008	0,000026	0,000012	0,025631	0,001241
1025 °C	0,000113	0,000010	0,000468	0,000021	0,000026	0,000008	0,000028	0,000012	0,025984	0,001241
1050 °C	0,000114	0,000010	0,000472	0,000021	0,000026	0,000008	0,000029	0,000012	0,026400	0,001241
1075 °C	0,000116	0,000010	0,000475	0,000021	0,000026	0,000008	0,000031	0,000012	0,026905	0,001241
1100 °C	0,000117	0,000010	0,000477	0,000021	0,000026	0,000008	0,000032	0,000012	0,027527	0,001241
1125 °C	0,000119	0,000010	0,000478	0,000021	0,000026	0,000008	0,000034	0,000012	0,028298	0,001241
1150 °C	0,000120	0,000010	0,000478	0,000021	0,000026	0,000008	0,000036	0,000012	0,029254	0,001241
1175 °C	0,000115	0,000011	0,000465	0,000028	0,000037	0,000015	0,000043	0,000012	0,031833	0,001018

Anexo H - Dados das 34 análises U-Pb obtidas com zircões da amostra MAR-37

Zircão	Bateria	Th ppm	U ppm	Th/U	207Pb/ 235U	1 s[%]	206Pb/238 U	1 s[%]	Rhod	207Pb/206Pb e	1 s[%]	206Pb/238 U	1 s abs	207Pb/235 U	1 s abs	207Pb/206P b	1 s abs	Concf %
19	A	266,183	457,797	0,58144	0,08554	35,5245	0,0122	5,42476	0,1527	0,05085	35,1078	78,1658	4,24031	83,3365	29,6048	234,158	82,2078	33,3816
8	A	2496,54	186,9628	13,3531	0,08410	8,62569	0,012165	4,37396	0,50708	0,050143	7,43445	77,94852	3,40943	81,99811	7,07290	201,6181	14,9892	38,6614
1	A	8118,88	2447,534	3,31717	0,09626	8,02266	0,012691	4,36498	0,54408	0,055014	6,73127	81,29578	3,54854	93,32253	7,48695	412,8	27,7867	19,6937
12	A	801,107	272,6134	2,93862	0,08411	5,80960	0,012259	4,28142	0,73695	0,04976	3,92695	78,54876	3,36300	82,00213	4,76400	183,7905	7,21736	42,7382
2	A	1800,73	224,5044	8,02093	0,08102	7,34077	0,011972	4,42253	0,60246	0,049082	5,85901	76,72062	3,39299	79,10582	5,80697	151,7573	8,89148	50,5548
5	A	789,22	185,064	4,26459	0,09577	80,8507	0,01217	5,70097	0,07051	0,05708	80,6495	77,967	4,44487	92,8612	75,0789	494,666	398,945	15,7615
18	A	2220,69	429,159	5,17452	0,09063	20,6052	0,01226	4,53764	0,22022	0,0536	20,0994	78,5697	3,56522	88,0888	18,1509	354,348	71,2219	22,173
17	A	143,85	377,416	0,38114	0,0917	24,8812	0,01139	5,10293	0,20509	0,05839	24,3523	73,008	3,72554	89,0857	22,1656	544,504	132,599	13,4082
11	A	1170,90	745,1632	1,57134	0,08389	4,88483	0,01255	4,22925	0,86579	0,048485	2,44438	80,3997	3,40030	81,80328	3,99595	122,9826	3,00616	65,3748
10	B	346,710	191,721	1,80841	0,08127	69,1759	0,012775	68,4177	0,98903	0,04614	10,214	81,83366	55,9887	79,34193	54,8855	4,935322	0,50409	1658,12
9	B	2050,55	122,795	16,6989	0,07336	69,9003	0,01269	68,8764	0,98535	0,04194	11,9204	81,2628	55,9709	71,8865	50,2489	-229,917	-27,407	-35,344
2	B	4443,17	378,2015	11,7481	0,07932	73,0882	0,01205	72,4970	0,99191	0,047744	9,27703	77,21569	55,9791	77,50969	56,6504	86,58364	8,03239	89,1804
24	B	1201,51	288,2144	4,16883	0,07832	71,8154	0,012309	70,9721	0,98825	0,046151	10,9729	78,86527	55,9724	76,57044	54,9893	5,514666	0,60512	1430,10
30	B	1090,51	2269,159	0,48058	0,07996	73,4925	0,011973	72,9638	0,99280	0,048437	8,79961	76,72329	55,9802	78,10802	57,4036	120,6801	10,6193	63,5757
35	B	8987,76	1780,22	5,04868	0,08557	68,9601	0,01277	68,3915	0,99175	0,04858	8,83727	81,8252	55,9615	83,3662	57,4894	127,739	11,2886	64,0568
28	B	1913,16	824,042	2,32168	0,09199	68,3973	0,01291	67,6699	0,98937	0,05167	9,94855	82,7014	55,964	89,3559	61,117	270,938	26,9544	30,5241
19	C	698,452	561,425	1,24407	0,07979	17,7143	0,01216	17,5538	0,99094	0,04757	2,37947	77,9447	13,6822	77,9518	13,8086	78,1698	1,86002	99,712

Anexo H. Continuação 1 de 1

Zircão	Bateria	Th ppm	U ppm	Th/Ub	207Pb/ 235U	1 s[%]	206Pb/238U	1 s[%]	Rhod	207Pb/206Pbe	1 s[%]	206Pb/238U	1 s abs	207Pb/235U	1 s abs	207Pb/206Pb	1 s abs	Concf %
8	C	2085,53	159,256	13,0955	0,23983	37,0141	0,01532	17,9505	0,48496	0,11352	32,3701	98,0278	17,5965	218,28	80,7945	1856,47	600,942	5,28033
1	C	3756,69	245,516	15,3012	0,07926	17,73	0,01245	17,1685	0,96834	0,04618	4,42636	79,7421	13,6906	77,4453	13,731	7,13272	0,31572	1117,98
12	C	1612,88	665,434	2,4238	0,07888	17,8078	0,01217	17,5571	0,98592	0,04701	2,97777	77,9804	13,6911	77,088	13,7277	49,5097	1,47429	157,505
2	C	1333,38	1171,27	1,1384	0,08016	17,4255	0,01231	17,3491	0,99561	0,04724	1,63023	78,8517	13,6801	78,2938	13,6431	61,2987	0,99931	128,635
5	C	1519,2	427,927	3,55014	0,07064	44,8018	0,01159	20,405	0,45545	0,04419	39,8853	74,3103	15,163	69,3026	31,0488	-100,305	-40,006	-74,084
16	C	1721,621	751,280	2,29158	0,07846	17,7960	0,012085	17,6744	0,99316	0,047087	2,07713	77,43763	13,6866	76,69569	13,6488	53,636	1,11409	144,376
20	C	174,214	164,15	1,06131	0,10715	47,6983	0,01342	15,9391	0,33417	0,0579	44,9563	85,9419	13,6984	103,352	49,2974	526,063	236,499	16,3368
14	C	2222,71	678,696	3,2749	0,07895	17,6435	0,012229	17,4612	0,98966	0,046823	2,52977	78,35721	13,6821	77,15855	13,6135	40,18777	1,01666	194,977
10	D	3353,13	1901,36	1,7635	0,07881	20,1141	0,01034	19,9645	0,99257	0,05526	2,44801	66,3398	13,2444	77,0292	15,4937	422,75	10,349	15,6924
9	D	10012,7	539,417	18,562	0,24126	33,3726	0,0132	20,4765	0,61357	0,13257	26,3522	84,5273	17,3083	219,452	73,2369	2132,33	561,916	3,96409
8	D	18036,1	831,536	21,6901	0,08753	19,7124	0,01065	19,4166	0,98499	0,05963	3,40247	68,263	13,2543	85,1977	16,7945	590,228	20,0823	11,5655
24	D	7743,41	2253,58	3,43605	0,07693	20,2297	0,01031	20,0406	0,99065	0,05411	2,75978	66,1324	13,2533	75,2564	15,2242	375,645	10,367	17,605
30	D	6401,47	3966,58	1,61385	0,07549	19,8926	0,01042	19,8235	0,99653	0,05256	1,65641	66,801	13,2423	73,8949	14,6996	309,901	5,13324	21,5556
25	D	7293,64	1449,27	5,03264	0,07461	26,9566	0,0099	23,0301	0,85434	0,05463	14,0097	63,5325	14,6316	73,0601	19,6945	397,198	55,6462	15,9952
31	D	8265,49	2544,3	3,24863	0,0758	20,2863	0,01024	20,1738	0,99445	0,05369	2,13397	65,6727	13,2487	74,1929	15,051	358,175	7,64336	18,3354
22	D	836,2	555,991	1,50398	0,12337	38,7498	0,01166	17,7614	0,45836	0,07676	34,4394	74,7053	13,2687	118,118	45,7706	1114,98	383,993	6,70015
28	D	10671,3	2298,49	4,64273	0,07683	20,0614	0,01036	19,9293	0,99341	0,05378	2,299	66,4565	13,2443	75,1627	15,0787	361,663	8,31462	18,3753