

# VARIAÇÃO REGIONAL DE TEOR DE ALGUNS ELEMENTOS TRAÇOS NA PROVÍNCIA BASÁLTICA DA BACIA DO PARANÁ

N. R. Rüegg \*

## RESUMO

*Com base em dados de teor em alguns elementos traços e utilizando-se da técnica de análise de tendência de superfícies, foi determinado em que extensão se reproduzem entre as rochas basálticas da Bacia do Paraná, os padrões de variação química regional obtidos em trabalho recentemente realizado, com base no estudo de variação regional de teor em elementos principais. Os resultados são consistentes com os padrões já obtidos e constituem evidências adicionais de que a província basáltica do Brasil Meridional pode ser interpretada como constituída por três subprovíncias magmáticas que correspondem a regiões mais ou menos delimitadas na Bacia do Paraná e adjacências igualmente abarcadas pelo vulcanismo. São fornecidos o conteúdo médio de vários elementos traços para as três possíveis subprovíncias.*

## ABSTRACT

*On the basis of the content of some trace elements and by way of the trend surface analysis technique is has been determined in which extension are reproducible the patterns of regional chemical variation observed in the Parana Basin basaltic province, based on a recent study of the behavior of major elements. The results are consistent with the patterns already obtained and constitute aditional evidences that the basaltic province in Southern Brazil may be interpreted as formed by three magmatic subprovinces. These correspond to regions more or less defined in the Parana Basin and surroundings equally envolved by the vulcanism. Average contents of several trace elements for the three possible subprovinces are presented.*

## I. INTRODUÇÃO

Foi demonstrado recentemente, RÜEGG e AMARAL, 1976, que a variação de teor em elementos principais na composição química das rochas basálticas da Bacia do Paraná, ocorre, aparentemente, segundo padrões consistentes na região abrangida pela província magmática do Brasil Meridional. Tais padrões, obtidos por meio de técnica de análise de superfícies de tendência, com base em amplo repertório de análises químicas, permitiu isolar, na área de ocorrência, quatro anomalias de composição, anomalias estas definidas em relação ao teor médio de cada um dos elementos estudados característicos para a província. As referidas anomalias dividem a área de ocorrência dessas rochas em quatro compartimentos geoquímicos que correspondem a regiões mais ou menos determinada da área envolvida pelo vulcanismo basáltico, conforme esquematizado na Figura 1.

De acordo com os dados revelados, essas regiões diterem, em termos de composição em elementos principais de maneira variável. As regiões correspondentes às denominadas Anomalias II e III são semelhantes. Estas em conjunto, contrastam em composição com as Anomalias I e IV. As últimas diferem das primeiras por seus altos teores em  $\text{SiO}_2$  e  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ . Distinguem-se, porém, uma da outra, por diferenças consideráveis no teor médio de Fe - total e  $\text{TiO}_2$ . Assim sendo, surgem na província pelo menos três regiões com diferenças consideráveis na geoquímica de elementos principais, tendo sido, por isso, sugerido que a província fosse tratada como formada por três subprovíncias magmáticas que retratariam diferentes regiões ígneos-tectônicos do vulcanismo basáltico no Brasil Meridional.

---

\*Departamento de Mineralogia e Petrologia  
Instituto de Geociências — Universidade de São Paulo

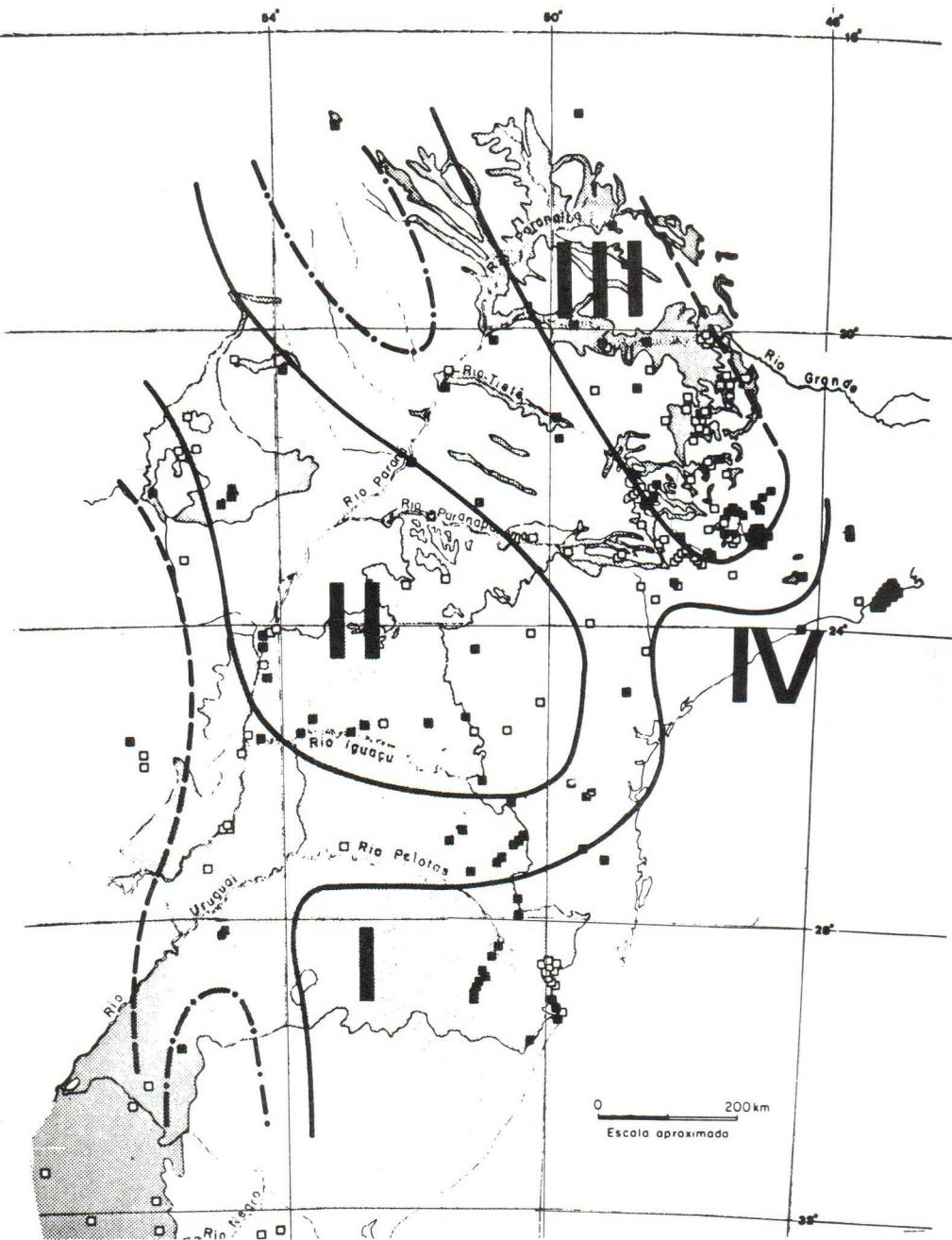


FIGURA 1

Considerável documentário analítico complementar, referente a elementos traços dosados nas mesmas rochas que serviram de base para o estudo acima mencionado, foi reunido por RÜEGG, 1975, 1976 b. Com esse repertório diferente de análises, são apresentados agora ensaios semelhantes aos realizados com os elementos principais, sendo o intuito principal verificar em que extensão, a variação regional de elementos traços reproduzem os padrões anteriormente obtidos e quais as características de teor desses elementos para as admitidas subprovíncias magmáticas do vulcanismo basáltico na região.

## II. OS DADOS: NATUREZA, ORIGEM E TRATAMENTO

O conjunto de análises químicas utilizadas no presente estudo foi obtido por RÜEGG, 1975, e divulgado por RÜEGG, 1976 b. Constituem 155 análises dos elementos Ba, Cu, Ni, Rb, Sr, Zn e Zr, conduzidas por fluorescência de raios - X, e 109 análises de Cr, Co e V, obtidas por espectrografia fotelétrica de emissão (quantometria), todos elementos estes dosados em amostras de rochas basálticas da Bacia do Paraná que ocorrem ao longo de toda a província do Brasil Meridional. Seus locais de ocorrência encontram-se esquematizados na Figura 1 e demais ilustrações deste trabalho. Outros pormenores quanto a natureza e localização das amostras, e ainda os relacionados a métodos analíticos utilizados podem ser obtidos em RÜEGG, 1975, 1976 a.

O mesmo procedimento utilizado no estudo da variação regional de elementos principais já mencionado, foi adotado no tratamento dos dados referentes aos elementos traços. Dessa forma, com base nos dados analíticos e nas respectivas localizações das amostras analisadas, foram produzidos os mapas de tendência de superfícies reproduzidos nas figuras 2 a 6. Estes mapas foram obtidos por método automático de lançamento de dados por meio de programa de computador especialmente concebido para estudos desta natureza. O programa utilizado é de autoria do Dr. Gilberto Amaral, do Instituto de Geociências da USP. É escrito em linguagem FORTRAN para computador Burroughs 6 700 e foi totalmente corrido no Centro de Pesquisas Espaciais de São José dos Campos, SP, onde tem o nome de PIREND. Por ocasião do desenvolvimento do presente estudo, o programa fornece matrizes para superfícies de até 60° grau — atualmente se encontra ampliado para superfícies de 80° grau — e os resultados foram gerados na forma de mapa de símbolos sobre os quais puderam ser traçadas linhas, correspondentes a isosuperfícies que representam diretamente os valores das variáveis em estudo, no caso, teores de elementos traços, e suas respectivas distribuições em área. Vários testes estatísticos são fornecidos simultaneamente aos mapas de isosuperfícies e são destinados a avaliar a "força" ou grau de ajuste aos dados das várias superfícies obtidas. Mais pormenores com relação às bases teóricas do método e procedimentos para a sua utilização, podem ser obtidos entre nós em FÚLFARO e AMARAL, 1970, e FÚLFARO, 1971, onde se encontram também outras informações bibliográficas pertinentes ao assunto.

## III. VARIAÇÃO REGIONAL DE TEOR DOS ELEMENTOS TRAÇOS

As variações regionais de teor de elementos traços em rochas basálticas da Bacia do Paraná e regiões adjacentes, estão representadas nas Figuras 2 e 6. Estes mapas foram escolhidos com base nos parâmetros estatísticos das seis superfícies geradas pelo programa PIREND para cada elemento. Adotou-se, respectivamente, o mapa que possuía o maior grau de ajuste para as superfícies de tendência. As ilustrações constituem, por isso, superfícies de 60° grau no caso da maior parte dos elementos traços, ou seja, Ba, Ni, Rb, Sr, Zn e Zr. Os elementos Co, Cr, Cu e V são representados por superfícies de 50° grau uma vez que as de 60° grau, nestes casos, resultaram indeterminadas.

O número de análises referentes aos elementos traços é menor que o número utilizado de dados equivalentes no estudo de variação regional de elementos principais; por isso, esperava-se que, as superfícies de tendência para eles obtidas, fossem menos representativas. Contudo, verificou-se que de modo geral, os coeficientes de correlação obtidos são maiores para os traços do que para os elementos principais. Assim, são relativamente altos os valores desses coeficientes no caso do Ba, Co, Cr, Rb, Sr e V, salientando-se os três últimos com coeficientes de correlação, respectivamente, de 0,69, 0,72 e 0,71, numa escala que varia de 0 a 1. O Ni, Zn e Zr apresentam valores mais baixos para esses coeficientes, porém, comparáveis aos obtidos para os elementos principais.

Examinando-se os mapas de tendência de superfícies ilustrados nas Figuras 2 a 6, verifica-se que, em comparação com as figurações alcançadas para os elementos principais, conforme aparecem em RÜEGG e AMARAL, 1976, os elementos traços oferecem maior variedade de padrões de distribuição regional. Entretanto, embora variando segundo esquemas diferentes dos obtidos anteriormente, algumas das feições notáveis da distribuição dos elementos principais reproduzem-se nos mapas de distribuição de elementos traços. Este é por exemplo, o caso da Anomalia I, situada no centro-leste rio-grandense, que aparece com extensão variável, delineada em todos os diagramas de variação regional dos elementos traços. Salienta-se particularmente, com grandes afas-

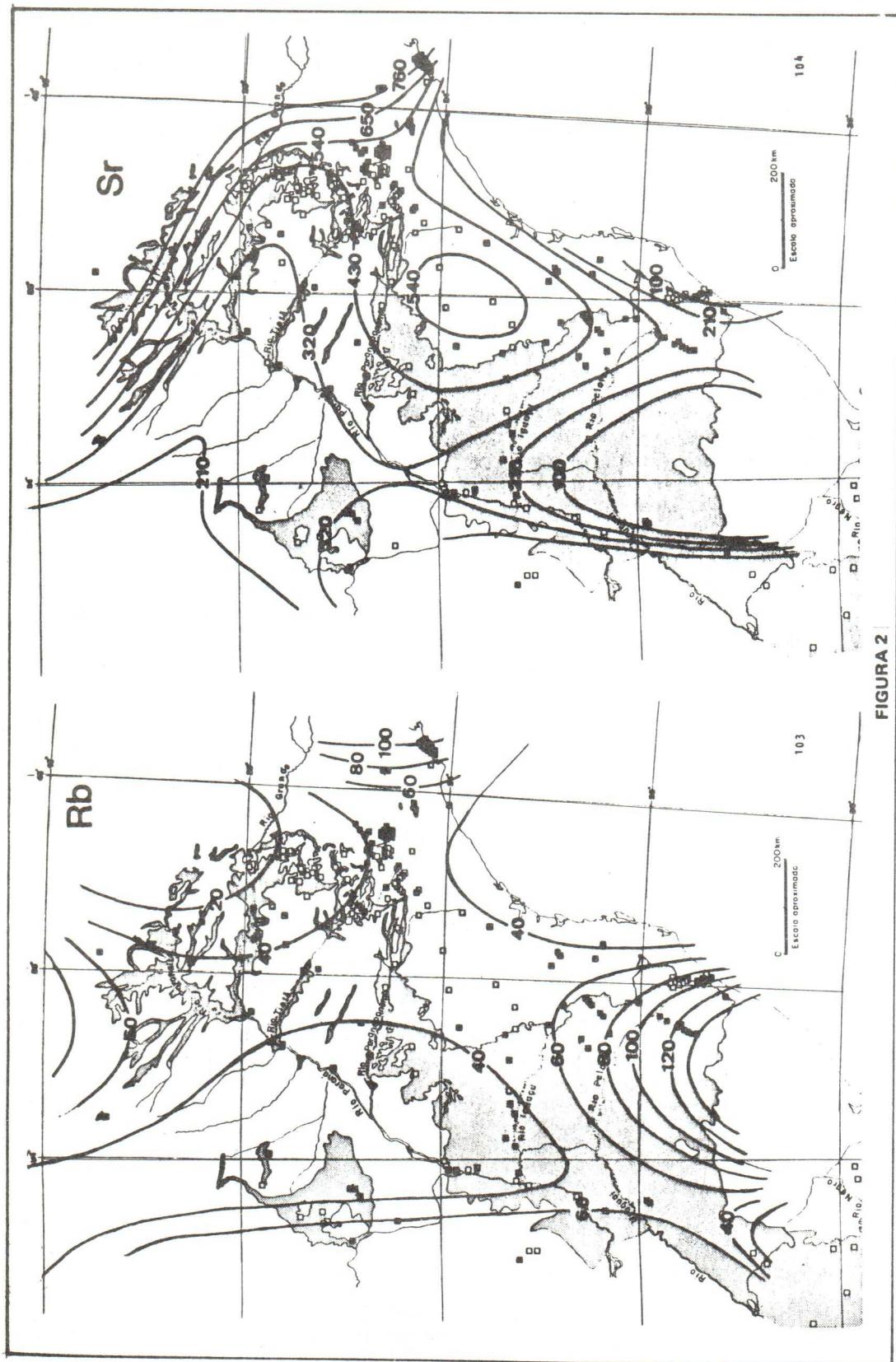


FIGURA 2

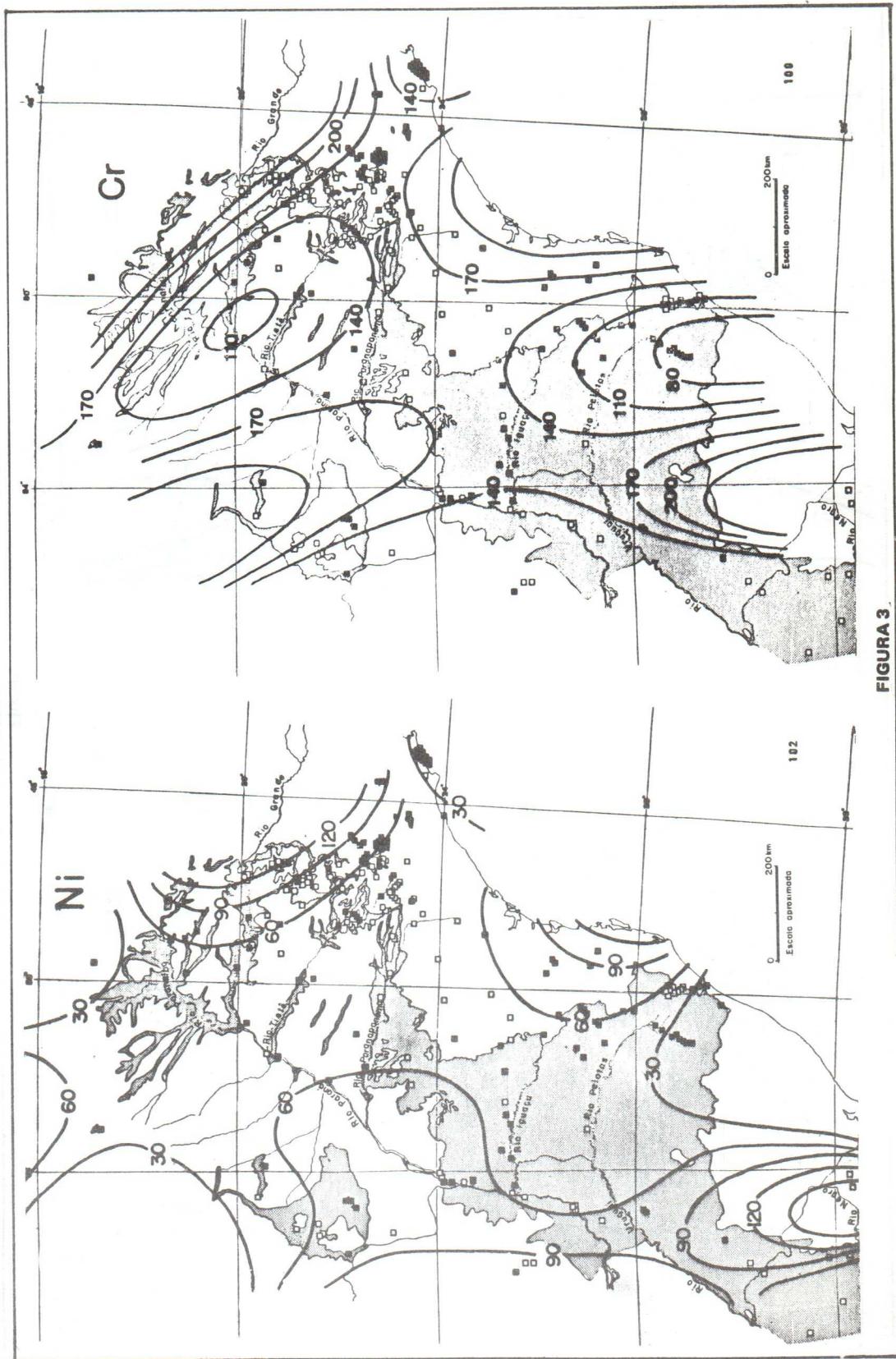


FIGURA 3

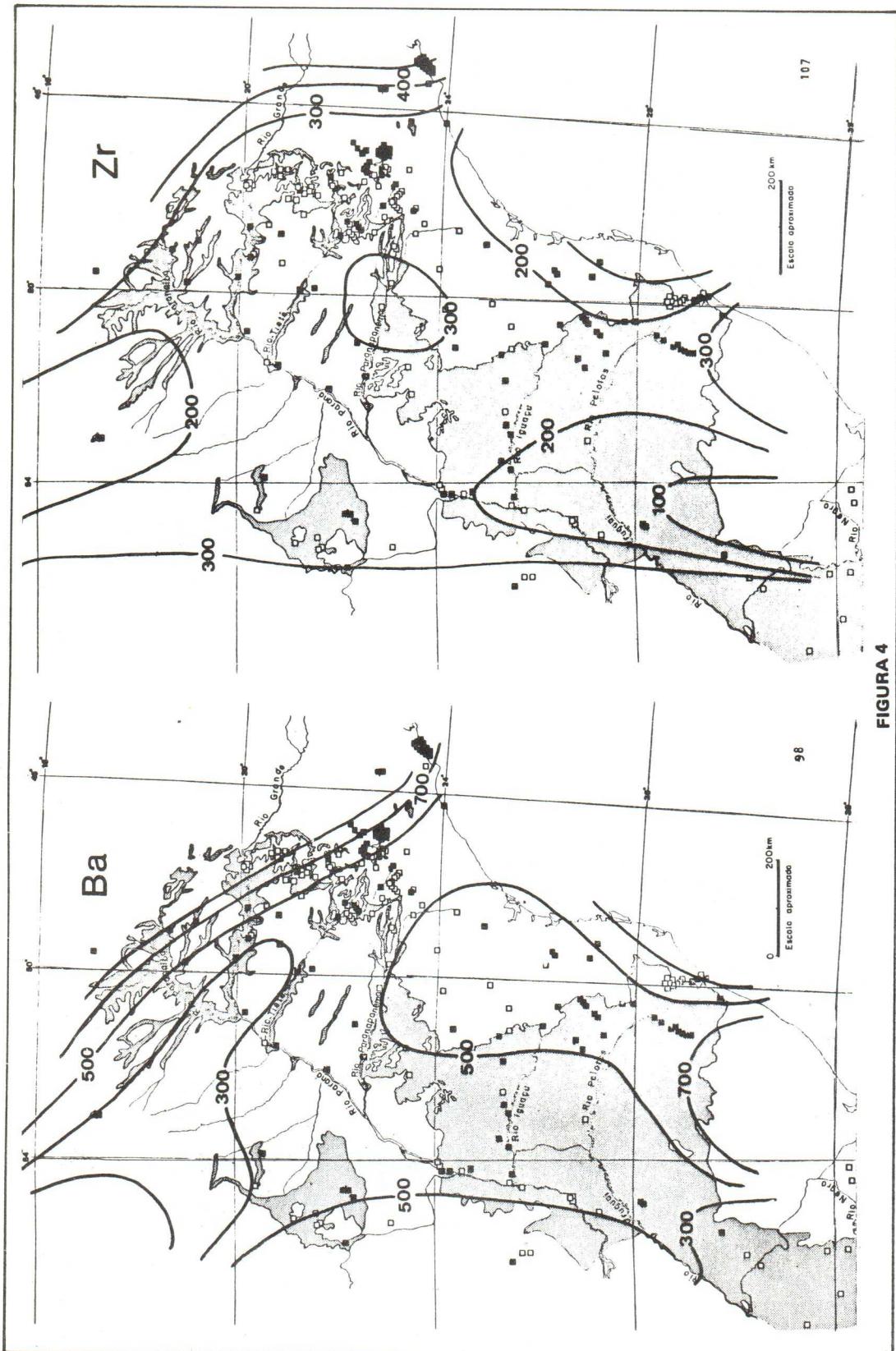


FIGURA 4

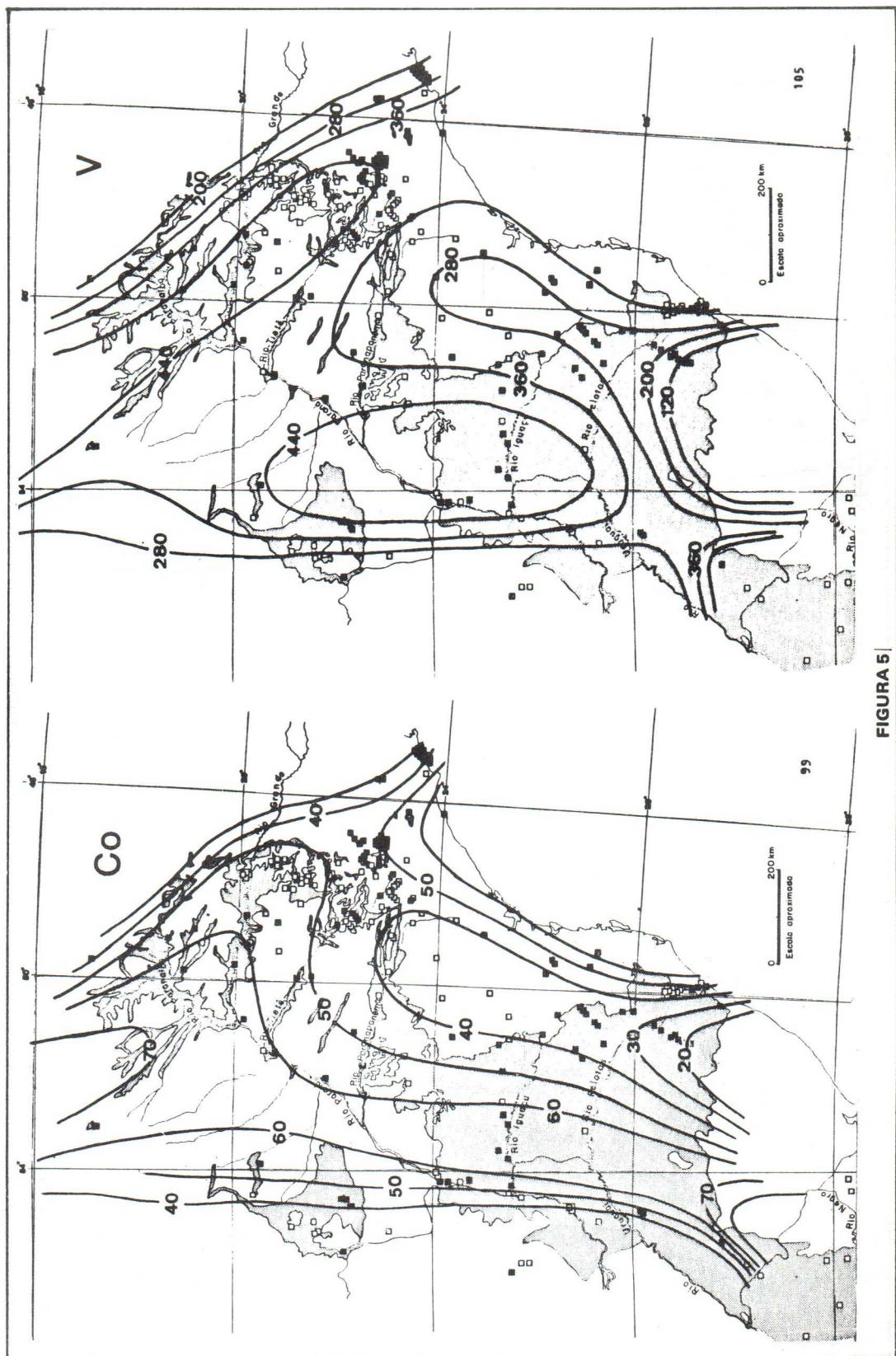
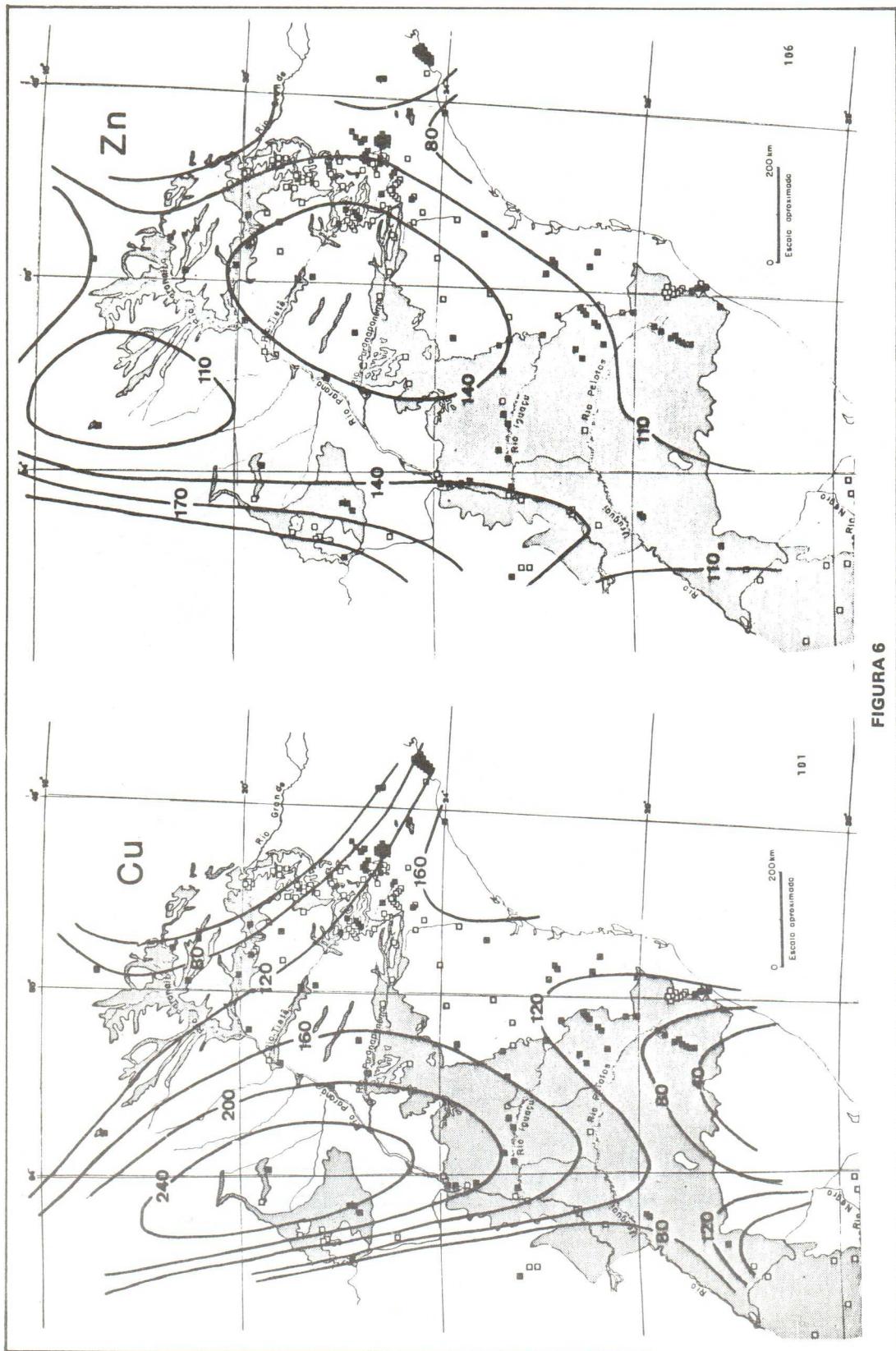


FIGURA 5 |



tamentos do correspondente teor médio característico para a província, conforme relatados por RÜEGG, 1975, 1976 b, (ver Figuras 2 a 6), nos mapas de tendência de superfícies relativos ao Cr, Cu, Rb e V. No mapa do Rb (Figura 2) que, aliás, é, entre os elementos traços estudados, o que melhor reproduz as configurações descritas para os elementos principais, a anomalia do centro-leste rio-grandense aparece como foi anteriormente descrita (ver Figura 1). O mapa de tendência de superfícies do Rb, juntamente com os referentes ao Cr, Cu e V, reproduzem também, com considerável semelhança, os padrões da Anomalia II, situada no centro-oeste paranaense, indicando da mesma forma a Anomalia III, situada no centro-leste paulista.

As anomalias referidas na Figura 1 como subsidiárias, da mesma maneira, em grau variável, estão presentes nos mapas de tendência dos elementos traços. A subsidiária sul, situada na região do oeste rio-grandense, está registrada na prática em todos os mapas. A subsidiária norte, situada ao oeste do rio Paranaíba, aparece fracamente nos mapas do Co, Ni, Rb, Zn e Zr.

A variação de Zn e Zr, juntamente com a do Co, é a que mostra a menor discriminação entre as Anomalias II e III. Exibem mesmo relativa homogeneidade de teor ao longo de toda a Bacia do Paraná. A variação do Sr (Figura 2) é a que resulta em mapa de tendência de superfícies com configuração diferente, quer em relação aos demais elementos traços, quer em relação aos padrões fornecidos pelos elementos principais. Mesmo a Anomalia I, notável em todos os mapas de variação, no caso do Sr não encontra feição correspondente, embora os teores registrados na área de anomalia para esse elemento, se situem bem abaixo da média para a província.

#### IV. CONCLUSÕES

Dos elementos traços analisados, apenas o Rb possui forte coerência específica com um dos elementos principais, o K, o qual ele substitui, diadoquicamente, principalmente nos feldspatos potássicos. Por isso, é significativo o fato de que o mapa de tendência de superfícies do Rb, Figura 2, reproduza com considerável equivalência os padrões e anomalias em relação a média obtidas para a distribuição e variação dos elementos principais já descritos e resumidos na Figura 1. Apenas as tendências do Rb seriam suficientes para confirmar os padrões de distribuição geográfica sugeridos pelos elementos principais. Nas rochas basálticas, os demais elementos traços analisados possuem coerência mais fraca e variável com os elementos principais ou determinadas fases mineralógicas. Mesmo assim, entretanto, as anomalias descritas reproduzem-se nos mapas de variação, em conjunto, ou pelo menos, uma ou outra isoladamente.

Uma vez que, em linhas gerais, as variações observadas para os elementos traços são equivalentes aos padrões descritos para os elementos principais, a mesma divisão em área elaborada na Figura 1 será adotada para a caracterização química de teor em elementos traços das várias anomalias. Essa caracterização será realizada com base em composições médias, calculadas a partir dos dados analíticos obtidos em exemplares contidos exclusivamente no interior das anomalias, conforme delineadas na Figura 1. As análises assim arroladas, fornecem os teores médios reunidos na Tabela I.

TABELA 1

Composição média, elementos traços, calculada a partir de análises das amostras que se situam exclusivamente no interior das anomalias, ilustradas na Figura 1.											
	N	Ba	Co	Cr	Cu	Ni	Rb	Sr	V	Zn	Zr
I	17	518	28	79	79	34	117	240	215	92	213
II	15	375	50	154	192	82	37	328	433	142	261
III	24	400	43	150	115	82	33	410	427	137	248
IV	13	815	36	118	70	66	74	657	268	150	383

De acordo com a Tabela 1, verifica-se que em termos de teores de elementos traços, as anomalias relacionam-se da mesma forma que a descrita com base nos elementos principais, conforme dados relatados por RÜEGG, 1975, 1976 a. Assim, de modo geral, de um lado, as Anomalias I e IV, e de outro, as Anomalias II e III, caracterizavam-se por teores que, em relação à média geral da província, variam em oposição. As primeiras caracterizam-se por teores semelhantes ou inferiores a média geral de Co, Cr, Cu, V e Zn, e por teores semelhantes ou mais elevados de Ba e Rb. O oposto ocorre com as Anomalias II e III.

Algumas interessantes exceções entre os dados obtidos, distinguem, uma da outra, as Anomalias I e IV. Trata-se do caso do Ni, Sr e Zr que exibem teores inferiores a média geral da Anomalia I, enquanto que na IV esses teores são mais elevados do que a média de referência. No caso das

Anomalias II e III, elas se distinguem entre si, apenas no que diz respeito aos teores de Cu, mais elevados do que a média geral na primeira, e mais baixos na segunda.

Os dados ora reunidos, referente à variação regional de teor em elementos traços nas rochas basálticas da Bacia do Paraná, conforme resumido na Tabela 1, mostra que, com base em critérios de semelhança de conteúdo, as Anomalias II e III devem ser tratadas em conjunto. Ambas, por sua vez, distinguem-se quer da Anomalia I, quer da Anomalia IV. As últimas, por outro lado, distinguem-se uma da outra de várias maneiras e em extensão variada. Estas circunstâncias indicam que a exemplo do que ocorre com os elementos principais, os elementos traços permitem delimitar três regiões com fortes características geoquímicas específicas. Somam-se, dessa forma, evidências de que é apropriado tratar-se a província basáltica da Bacia do Paraná como sendo formada por três subprovíncias geoquímicas distintas, conforme sugeriram RÜEGG, 1975, e RÜEGG e AMARAL, 1976. As três subprovíncias, conforme sublinhado nesses estudos, retratariam regimes ígneos-tectônicos diferentes na área interessada pelo vulcanismo basáltico na Bacia do Paraná, regimes estes a serem analisados em outro contexto.

## V. AGRADECIMENTOS

Registro agradecimentos a instituições que direta ou indiretamente prestaram auxílios de várias naturezas para a realização deste estudo. Entre elas se situam o Conselho Nacional de Pesquisas, a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de S. Paulo, o Ministério das Relações Exteriores da França, ao Centro de Pesquisas Petrográficas e Geoquímicas, de Nancy, França, o Centro de Pesquisas Espaciais de S. José dos Campos, SP, o Centro de Pesquisas Geocronológicas do Instituto de Geociências e o Centro de Computação Eletrônica, os dois últimos da Universidade de São Paulo. Pela colaboração pessoal emprestada esses agradecimentos devem ser estendidos também ao Dr. H. de La Roche, Dr. U. Cordani, Dr. M. Berenholc e G. Amaral.

## BIBLIOGRAFIA

- FÜLFARO, V. J. — 1971 — *A evolução tectônica e paleogeográfica da bacia sedimentar do Paraná pelo "trend surface analysis"*. Esc. Eng. S. Carlos, USP, Geol. 14 : 112 p., S. Paulo, Brasil.
- FÜLFARO, J. V. e AMARAL, G. — 1970 — "Trend surface analysis" das areias de Praia do Tenório, Ubatuba, SP. Anais XXIV Cong. Bras. Geologia, Soc. Bras. Geol., 299 - 305, Brasília.
- RÜEGG, N. R. — 1975 — Modelos de variação química na província basáltica do Brasil Meridional. Características de teor, distribuição geográfica e diferenciação. Tese Livre Docêncie, Instituto de Geociências, USP, 2 vol. 309 p. (inédito).
- RÜEGG, N. R. — 1976 a — Características de distribuição e teor em elementos principais de rochas basálticas da Bacia do Paraná. Bol. IG, Instituto de Geociências, USP, 7 : 81 - 106, S. Paulo, Brasil.
- RÜEGG, N. R. — 1976 b — Características de distribuição e teor de elementos traços dosados em rochas basálticas da Bacia do Paraná. Naturalia. Fac. Fil. Ci. Letras de S. J. do Rio Preto, UNESP, 2 : (no prelo), S. Paulo, Brasil.
- RÜEGG, N. R. e AMARAL, G. — 1976 — Variação regional da composição química das rochas basálticas da Bacia do Paraná. Bol. IG. Instituto de Geociências, USP, 7: (no prelo), S. Paulo, Brasil.

## LEGENDAS DAS FIGURAS

- Figura 1** — As quatro regiões anômalas em relação ao teor médio dos elementos principais dosados em rochas basálticas da Bacia do Paraná, segundo RÜEGG, 1975, 1976b. No mapa estão assinalados os locais em que foram coletadas as amostras analisadas. Quadrados preenchidos representam, com algumas exceções, amostras analisadas para elementos principais e traços. Quadrados em branco, amostras analisadas apenas para elementos principais. Mais pormenores quanto a amostragem, referir-se aos trabalhos acima mencionado.
- Figura 2** — Superfícies de tendência ( $6^{\circ}$  grau) que representam a variação regional de teor em Rb e Sr, ao longo de toda a área de ocorrência das rochas basálticas da Bacia do Paraná. Os números representam conteúdo em ppm. Teor médio para a província, segundo RÜEGG, 1975, 1976 c : Rb = 54 ppm, Sr = 429 ppm. Medianas : Rb = 30 ppm, Sr = 350 ppm.
- Figura 3** — Superfícies de tendência (respectivamente,  $6^{\circ}$  e  $5^{\circ}$  graus) que representam a variação regional de teor em Ni e Cr, ao longo de toda a área de ocorrência das rochas basálticas da Bacia do Paraná. Os números representam conteúdo em ppm. Teor médio para a província, segundo RÜEGG, 1975, 1976 c : Ni = 48 ppm, Cr = 136 ppm. Medianas : Ni = 38 ppm, Cr = 125 ppm.
- Figura 4** — Superfícies de tendência ( $6^{\circ}$  grau) que representam a variação regional de teor em Ba e Zr, ao longo de toda a área de ocorrência das rochas basálticas da Bacia do Paraná. Os números representam conteúdo em ppm. Teor médio para a província, segundo RÜEGG, 1975, 1976c: Ba = 535 ppm, Zr = 254 ppm. Medianas: Ba = 385 ppm, Zr = 215 ppm.

*Figura 5 — Superfícies de tendência, 5º grau) que representam a variação regional de teor em Co e V, ao longo de toda a área de ocorrência das rochas basálticas da Bacia do Paraná. Os números representam conteúdo em ppm. Teor médio para a província, segundo RÜEGG, 1975, 1976 c: Co = 43 ppm, V = 343 ppm. Medianas : Co = 38 ppm, V = 325 ppm.*

*Figura 6 — Superfícies de tendência (respectivamente, 5º e 6º graus) que representam a variação regional de teor em Cu e Zn, ao longo de toda a área de ocorrência das rochas basálticas da Bacia do Paraná. Os números representam conteúdo em ppm. Teor médio para a província, segundo RÜEGG, 1975, 1976 c: Cu = 149 ppm, Zn = 149 ppm. Medianas : Cu = 120 ppm, Zn = 112 ppm.*