

Boletim IG. Instituto de Geociências, USP, V. 5: 85-116, 1974
CORRELAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA DE ARENITOS DA BACIA DO PARANÁ

por

Kenitiro Suguio

Armando Márcio Coimbra

Departamento de Paleontologia e Estratigrafia

Lincoln Rumenos Guardado

Atualmente geólogo da Petrobras S/A (RENOR - Belém - Pará)

ABSTRACT

This paper deals with the sedimentological analysis carried on the sandstones from the Furnas Formation (Paraná Group - Lower Devonian), Rio Bonito Formation (Tubarão Group - Permocarboneous) - and Botucatu Formation *sensu lato* (São Bento Group - Lower Cretaceous) of the Paraná Sedimentary Basin in the Northern-Central part of the Paraná State, Brazil.

The results of the grain size analysis, the roundness grades and the heavy minerals studies were statistically treated to prove the occurrence of the *canibalism* (successive reworking) during the deposition of these sandstones. At same time, the depositional environments of these sediments were established by sedimentological techniques.

As the textural and mineralogical (numerical frequency) features of these sandstones are not sufficiently individualized, the authors propose the analysis of the heavy minerals in terms of shape/roundness/weathering grade classes as a valuable tool in the correlation and differentiation problems of these sediments.

RESUMO

Arenitos que constituem a Formação Furnas (Grupo Paraná - Devoniano Inferior), Formação Rio Bonito (Grupo Tubarão - Permocarboneo) e Formação Botucatu *sensu lato* (Grupo São Bento - Cretáceo Inferior) da Bacia Sedimentar do Paraná na porção centro-norte do Estado do Paraná constituem o objeto desta pesquisa.

Pelas análises granulométricas, grau de arredondamento e composição em minerais pesados, e, aplicando-se tratamentos estatísticos a estes resultados, foi testada e confirmada a hipótese inicial da existência de retrabalhamentos sucessivos (canibalismo) na sedimentação desses arenitos. Ao mesmo tempo foram estabelecidos os ambientes de deposição para esses materiais, segundo técnicas sedimentológicas.

Como ficou provado por este trabalho, as características texturais e mineralógicas (frequência numérica) não definem estes arenitos, no entanto, as análises de frequências de tipos de forma/arredondamento/grau de alteração dos minerais pesados transparentes prometem ser um instrumento eficiente de correlação e diferenciação desses arenitos.

INTRODUÇÃO

A Bacia do Paraná é, sem dúvida, a melhor estudada entre as bacias intracratônicas brasileiras. Segundo SANFORD e LANGE (in FÚLFARO, 1971) existiam 1364 publicações a respeito das várias unidades desta bacia até o ano de 1960.

A despeito de todo este acervo bibliográfico, poucos artigos tratam da integração global dos dados geológicos. Entre estes merecem menção os trabalhos de NORTHFLEET et al. (1969) e de FÚLFARO (1971), em época mais recente.

Este trabalho tem a pretensão de fornecer mais alguns subsídios para melhor caracterizar os arenitos desta bacia.

A hipótese inicial de trabalho foi que tivesse havido, durante a sedimentação das unidades arenosas sucessivas, uma contribuição de materiais derivados de depósitos mais antigos que passaram para os sedimentos mais novos.

Os arenitos da Formação Furnas (Grupo Paraná), da Formação Rio Bonito (Grupo Tubarão) e da Formação Botucatu *sensu latu* (Grupo São Bento) são aqui estudados e comparados entre si. A Formação Botucatu, *sensu strictu*, abrange somente os sedimentos da fase eólica e, alguns autores como SOARES (1973) já estabeleceram uma nítida separação entre a Formação Botucatu, superposta (ambiente subaéreo eólico) e a Formação Pirambóia, sotoposta (ambiente subaquático predominantemente fluvial). As idades geológicas dessas formações seriam, Devoniano Inferior, Permocarbonífero e Cretáceo Inferior, respectivamente.

Como boas localidades para amostragem de arenitos, visando os objetivos supra mencionados, foram selecionados trechos da rodovia BR-376 (*Rodovia do Café*) entre Apucarana e Ponta Grossa e ao longo da rodovia PR-11 en-

tre Ponta Grossa e Jaguariaíva e na cidade de Palmeira, todas situadas no Estado do Paraná.

As amostras coletadas foram submetidas a estudos de laboratório com o intuito de caracterizá-las textural e mineralogicamente (por assembléias de minerais pesados transparentes). As propriedades texturais foram definidas em função da distribuição granulométrica e de graus de arredondamento dos grãos de quartzo.

Estudos mineralógicos prévios de arenitos da Formação Furnas e da Formação Rio Bonito são inexistentes. A petrografia dos arenitos da Formação Botucatu tem sido objeto de alguns estudos feitos por BIGARELLA (1949), VEIRA de CARVALHO (1954) e GOÑI e DELANEY (1961).

O presente trabalho foi executado com auxílio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, através de uma bolsa de iniciação científica concedida ao Sr. Lincoln Rumenos Guardado, um dos autores deste trabalho, pelo processo geologia 72/044. Os autores agradecem à colaboração do Prof. Dr. Paulo Milton Barbosa Landim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro (SP) na fase de computação de dados e ao Prof. Dr. José Moacyr Viana Coutinho do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo na determinação de minerais pesados.

AMOSTRAGEM

Foram coletadas 38 amostras de arenitos que ficaram distribuídas pelas unidades estratigráficas em estudo do seguinte modo:

Amostras 1 a 12 – Formação Botucatu

Amostras 13 a 25 – Formação Rio Bonito

Amostras 26 a 38 – Formação Furnas

As localizações geográficas das amostras

e os respectivos afloramentos são os seguintes (Figura 1):

Afloramento 1: amostras 1,2 e 3 – rodovia BR-376 (55 km a partir de Apucarana rumo Ponta Grossa; altitude local – 1137 m).

Afloramento 2: amostras 4,5,6,7,8 e 9 – rodovia BR-376 (58 km a partir de Apucarana rumo Ponta Grossa; altitude local 1064 m).

Afloramento 3: amostras 10,11 e 12 – rodovia BR-376 (59,8 km a partir de Apucarana rumo Ponta Grossa; altitude local – 972 m).

Afloramento 4: amostras 13,14,15,16,17 e 18 – BR-376 (128,5 km de Apucarana rumo Ponta Grossa; altitude local – 787 m).

Afloramento 5: amostras 19 e 20 – rodovia BR-376 (182,3 km de Apucarana rumo Ponta Grossa; altitude local – 757 m).

Afloramento 6: amostras 21 e 22 – rodovia BR-376 (227,8 km de Apucarana rumo Ponta Grossa; altitude local – 885 m).

Afloramento 7: amostras 23,24 e 25 – cidade de Palmeira (51,6 km de Ponta Grossa; altitude local – 850 m).

Afloramento 8: amostras 26,27 e 28 – rodovia PR-11 (12,7 km de Ponta Grossa rumo Jaguariaíva; altitude local – 1102 m).

Afloramento 9: amostras 29,30 e 31 – rodovia PR-11 (24,3 km de Ponta Grossa rumo Jaguariaíva; altitude local – 1102 m).

Afloramento 10: amostras 32,33 e 34 – rodovia PR-11 (96,2 km de Ponta Grossa rumo Jaguariaíva; altitude local – 1080 m).

Afloramento 11: amostras 35, 36 e 37 – PR-11 (106,3 km de Ponta Grossa rumo Jaguariaíva; altitude local – 1085 m).

Afloramento 12: amostra 38 – rodovia PR-11 (12,6 km de Jaguariaíva rumo Itararé, SP; altitude local – 834 m).

As amostras da Formação Botucatu exibem cores que variam entre 10 YR 8/6 (amarelo) até 5 YR 4/4 (marrom moderado). Os arenitos da Formação Rio Bonito são de cores mais claras, com tonalidades entre N8 (cinza muito claro) a 10 YR 8/2 (laranja pálido). A Formação Furnas também apresenta, em geral, cores muito claras, entre N9 (branco) a N7 (cinza claro). Estas são as cores das amostras sem ou com pouco intemperismo em estado seco.

CARACTERÍSTICAS TEXTURAIIS

Distribuição granulométrica

As análises para o estudo da distribuição granulométrica das amostras foram realizadas pelos processos convencionais, adotando-se o método do peneiramento para as partículas maiores que 0,062 mm de diâmetro, com intervalo entre as peneiras de 1/2 ϕ . As frações mais finas foram estudadas pelo processo de pipetagem.

Foram construídas curvas acumulativas com os valores de frequências porcentuais de peso das diferentes frações granulométricas para as 38 amostras. Pôde ser constatado que não há um determinado tipo padrão de curva de distribuição para cada unidade, o que torna impraticável a caracterização de qualquer uma das formações estudadas a partir de suas curvas granulométricas (Figuras 2,3 e 4).

Para o estudo estatístico realizado nessas 38 amostras, além dos gráficos que mostram a distribuição da amostra global (areia – silte – argila) foi construído, para cada amostra, outro gráfico correspondente somente à fração areosa sendo, neste caso, a parte fina (menor que

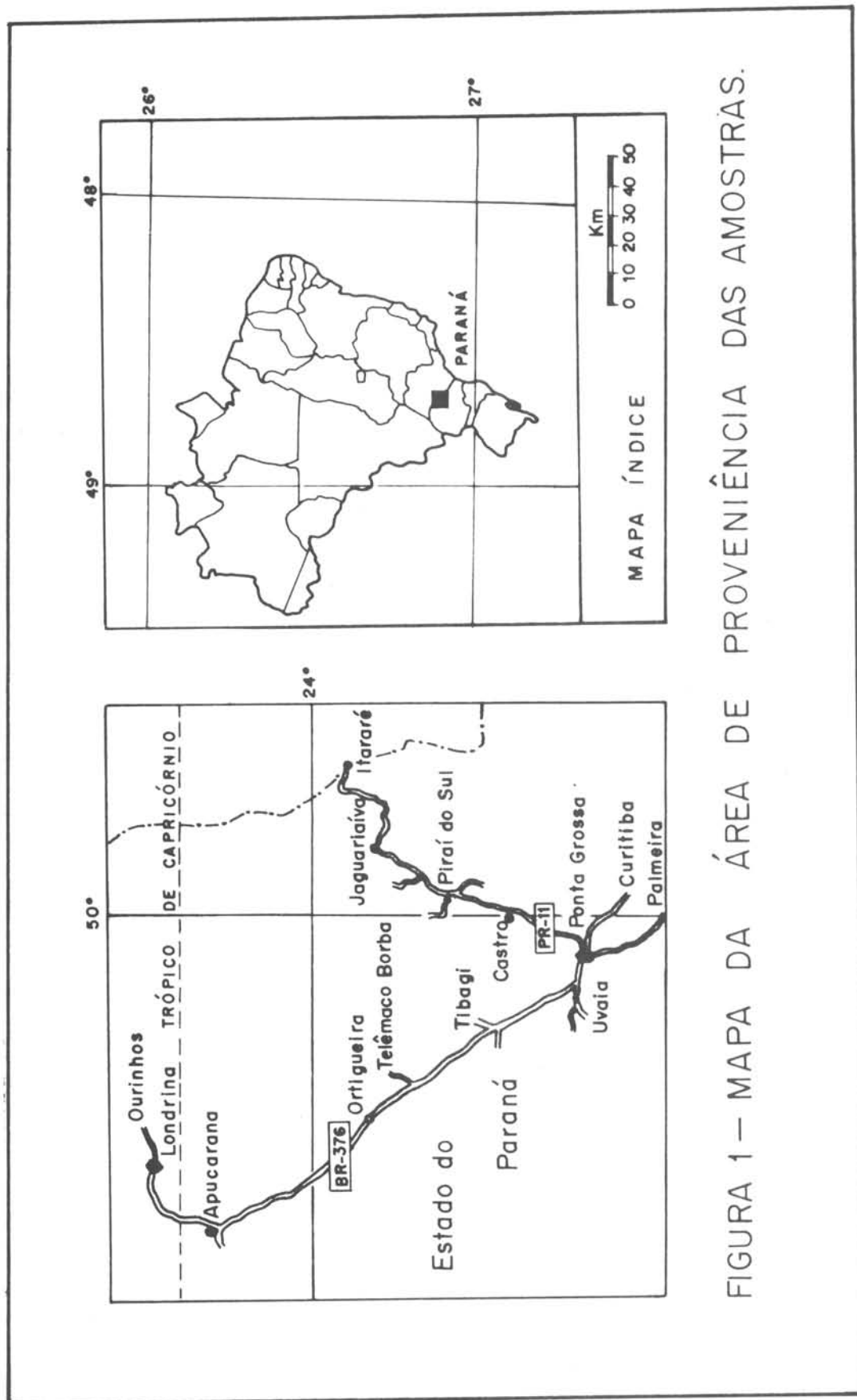
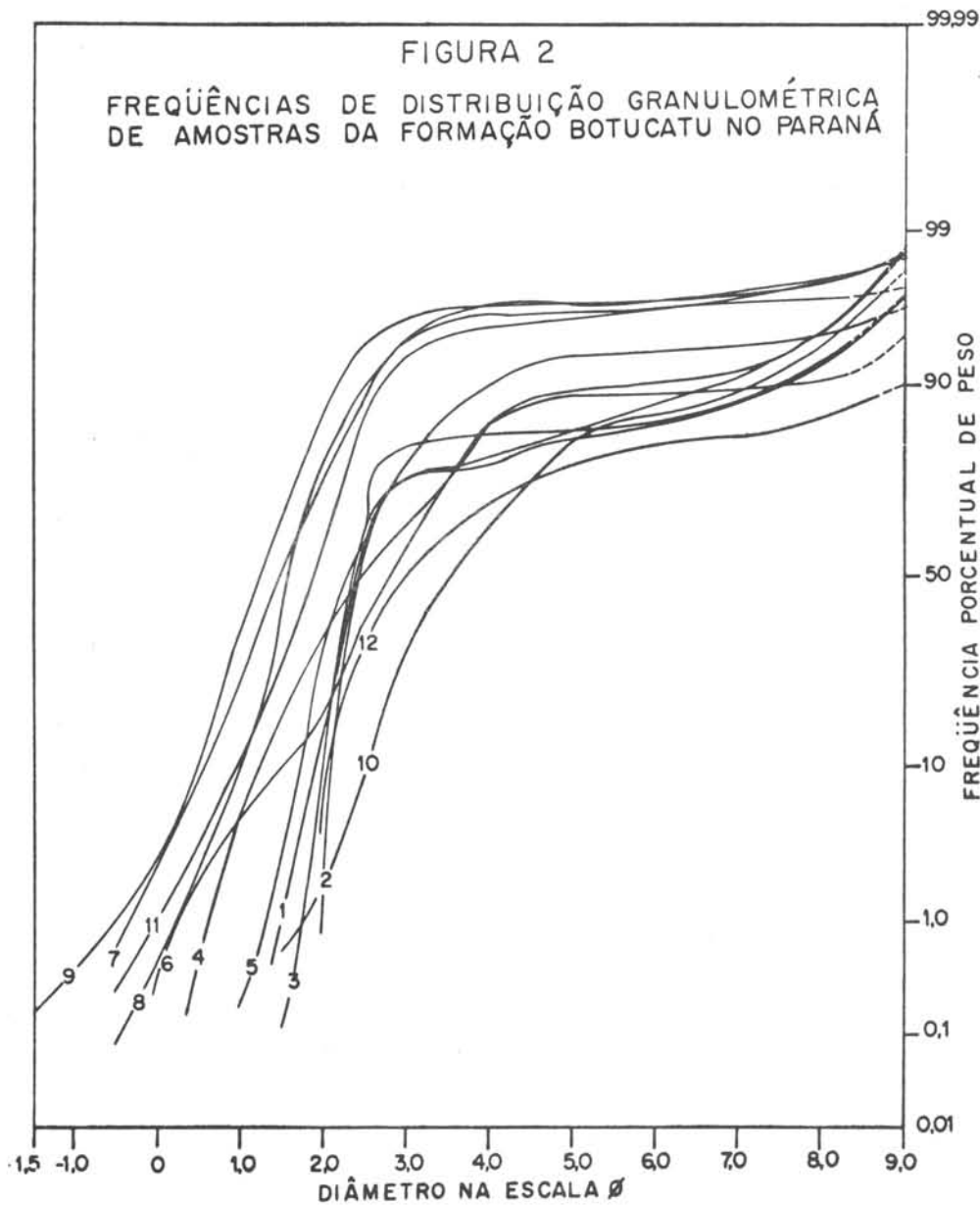


FIGURA 1 — MAPA DA ÁREA DE PROVENIÊNCIA DAS AMOSTRAS.

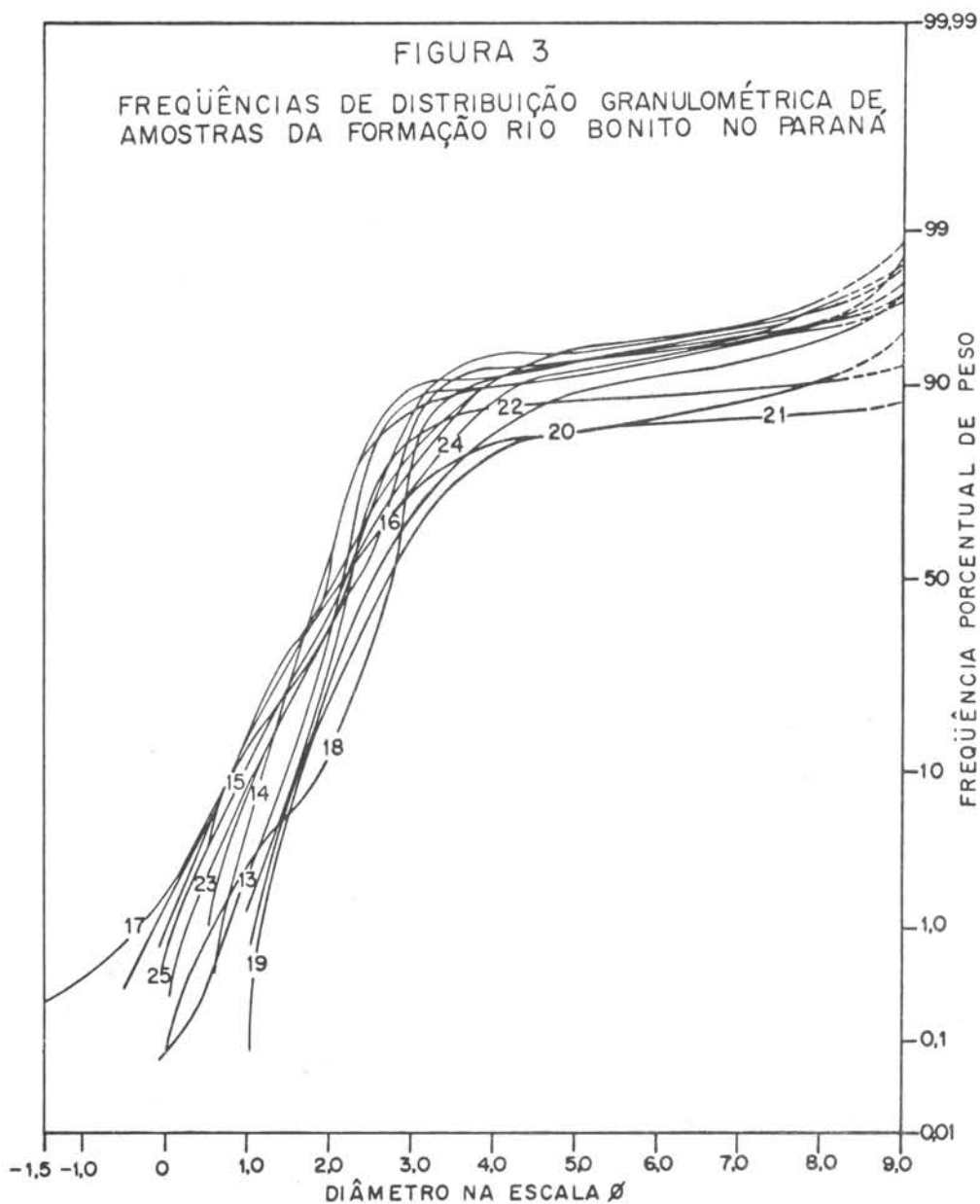


0,062 mm) excluída dos cálculos percentuais. Dessas curvas obtiveram-se os diâmetros para os cálculos estatísticos dos parâmetros de FOLK e WARD (1957) em uma tentativa de se encontrar valores padrões característicos para cada formação.

Os resultados dessas análises estão mostrados nas tabelas I e II, considerando-se as distribuições para a amostra bruta e para areia, res-

pectivamente. Com os resultados da tabela II foi efetuado o teste de SAHU (1964), que fornece as características ambientais de deposição, quanto à energia e viscosidade, para os grupos de amostras provenientes de diferentes afloramentos.

A tabela I mostra que em geral as amostras da Formação Botucatu apresentam diâmetro médio menor, seguindo em ordem crescente

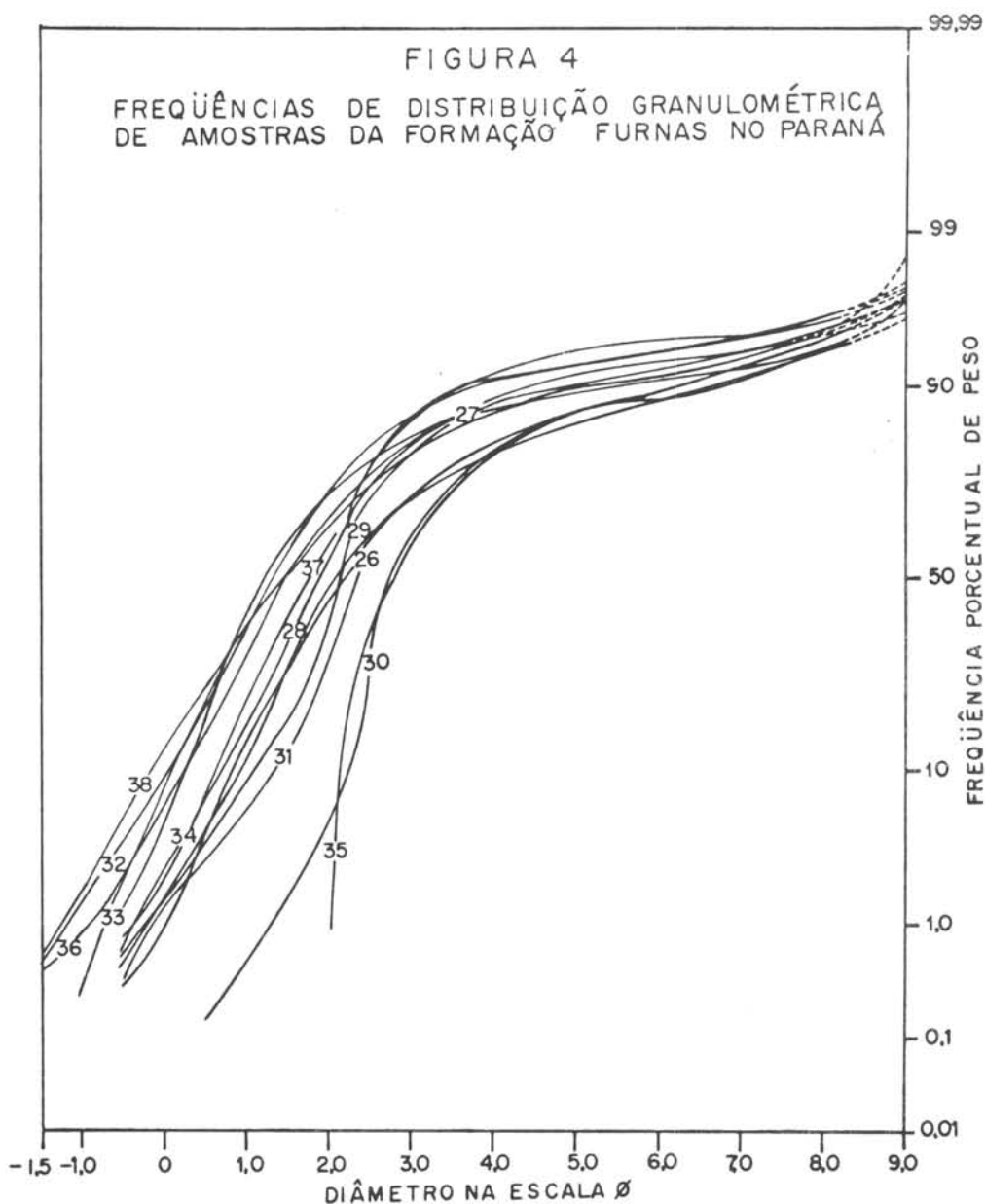


aos arenitos das Formações Rio Bonito e Furnas. Mas, em amostras dessas formações a média dos diâmetros médios de distribuição granulométrica indicam sempre areia fina (diâmetro médio entre 2,00 a 3,00 ϕ).

Os graus de seleção, expressos pelos valores de desvio padrão de distribuição granulométrica, mostram também uma tendência para a diminuição dos valores a partir da Formação

Furnas para a Formação Botucatu, sugerindo seleção cada vez maior para sedimentos mais novos. Os valores médios de desvios padrões apontam, no entanto, para sedimentos sempre *pobremente selecionados* (desvio padrão entre 1,00 e 2,00).

Os graus de assimetria para os arenitos das tres formações exibiram valores positivos, mostrando que as frações finais das amostras



são de seleção mais baixa. As médias dos graus de assimetria mostraram *assimetria muito positiva*, não sendo possível notar qualquer tendência para modificação destes valores nas diferentes unidades geológicas.

Os valores de curtose, que retratam o grau de agudez dos picos de distribuição de frequência, apresentam-se em geral altos. As mé-

dias desses valores para as três unidades estudadas foram similares entre si, indicando curvas *muito leptocúrticas* (curtose gráfica entre 1,50 e 3,00).

Em prosseguimento aos processos estatísticos as amostras foram submetidas ao teste de SAHU (op. cit.) para discriminação das possíveis diferenças de mecanismos dos ambientes

TABELA I: Parâmetros de FOLK e WARD calculados para amostras brutas de arenitos

Amostra	Diâmetro médio	Desvio padrão	Assimetria	Curto-se
1	3,203	1,828	0,773	6,334
2	3,443	1,715	0,852	2,791
3	3,207	1,704	0,840	2,351
4	2,610	1,670	0,413	1,661
5	2,480	1,322	0,592	2,614
6	2,907	1,745	0,334	2,537
7	1,533	0,801	0,103	1,163
8	1,843	0,745	0,032	1,477
9	1,270	0,698	0,133	1,097
10	3,873	1,516	0,508	1,488
11	1,630	0,641	0,301	1,708
12	4,217	2,427	0,695	1,337
13	2,190	1,244	0,359	4,460
14	1,927	1,352	0,435	3,438
15	1,880	1,473	0,177	2,893
16	2,243	1,385	0,160	2,230
17	2,100	1,375	0,106	2,428
18	2,720	1,090	0,130	3,811
19	2,803	1,616	0,534	2,117
20	3,283	2,014	0,583	2,077
21	2,817	2,388	0,545	2,074
22	2,360	1,530	0,539	4,887
23	2,170	1,503	0,305	1,911
24	2,483	1,636	0,303	1,956
25	2,280	1,401	0,275	1,705
26	2,500	1,936	0,434	1,668
27	1,633	1,879	0,566	2,062
28	2,650	2,074	0,559	1,699
29	2,280	1,542	0,400	3,037
30	3,173	1,410	0,704	2,294
31	2,857	1,849	0,550	2,602
32	1,483	1,765	0,375	2,138
33	1,893	2,034	0,500	2,163
34	2,093	1,813	0,414	2,560
35	3,133	1,500	0,633	1,917
36	1,450	1,206	0,207	1,145
37	1,833	1,517	0,316	2,131
38	1,700	2,118	0,379	1,685

TABELA II: Parâmetros de FOLK e WARD calculados para amostras de arenitos considerando-se a fração areia.

Amostra	Diâmetro médio	Desvio padrão	Assimetria	Curto-se
1	2,267	0,340	-0,108	1,190
2	2,323	0,264	0,221	0,964
4	2,303	0,338	0,275	1,429
4	2,323	0,912	0,118	0,769
5	2,313	0,609	0,336	1,218
6	2,620	0,823	0,119	1,012
7	1,460	0,731	0,037	1,027
8	1,770	0,578	0,133	1,082
9	1,213	0,656	0,073	1,002
10	3,057	0,514	0,107	0,903
11	1,590	0,569	0,178	1,438
12	2,677	0,594	0,264	0,686
13	2,043	0,439	0,079	1,206
14	1,770	0,559	-0,067	1,003
15	1,790	0,675	-0,316	0,940
16	2,157	0,767	-0,225	0,746
17	1,950	0,773	-0,394	1,009
18	2,597	0,528	-0,247	1,495
19	2,413	0,679	0,073	0,916
20	2,400	0,698	0,022	0,962
21	1,743	0,899	0,377	0,907
22	2,110	0,498	-0,048	1,073
23	1,990	0,902	0,058	0,960
24	2,203	0,881	-0,040	0,913
25	2,073	0,954	-0,077	1,052
26	1,853	0,847	-0,055	0,885
27	1,220	0,918	0,243	1,066
28	1,910	0,861	0,034	1,114
29	1,970	0,757	-0,104	1,482
30	2,673	0,478	0,282	1,406
31	2,107	0,699	-0,189	1,421
32	1,253	1,036	0,043	1,061
33	1,477	1,042	0,115	1,157
34	1,707	0,819	-0,020	1,114
35	2,653	0,552	0,222	0,865
36	1,203	1,040	0,101	1,080
37	1,690	0,877	0,078	0,957
38	1,226	1,190	0,050	0,947

deposicionais.

Os vários grupos de amostras que foram considerados para este teste são os seguintes:

Formação Botucatu

Grupo I = amostras 1,2 e 3

Grupo II = amostras 4 a 9

Grupo III = amostras 10, 11 e 12

Formação Rio Bonito

Grupo I = amostras 13 a 18

Grupo II = amostras 19 e 20

Grupo III = amostras 21 e 22

Grupo IV = amostras 23,24 e 25

Formação Furnas

Grupo I = amostras 26,27 e 28

Grupo II = amostras 29,30 e 31

Grupo III = amostras 32,33 e 34

Grupo IV = amostras 35 a 38

A seguir foram obtidos tres pontos, agrupando-se as diferentes amostras segundo as unidades geológicas de onde provieram as amostras.

Grupo A = Formação Botucatu (amostras 1 a 12)

Grupo B = Formação Rio Bonito (amostras 13 a 25)

Grupo C = Formação Furnas (amostras 26 a 38)

Para os vários grupos de amostras de uma mesma formação, de maneira geral, os pontos apresentaram-se bastante dispersos, sugerindo grandes variações de energia e menores variações de viscosidade e enquadrados dentro do campo que define o ambiente fluvial (Figura 5).

À primeira vista não parece existir um padrão, que defina as variações dos grupos de acordo com as diversas formações em estudo, mas um exame pormenorizado mostra algumas peculiaridades. As amostras da Formação Botu-

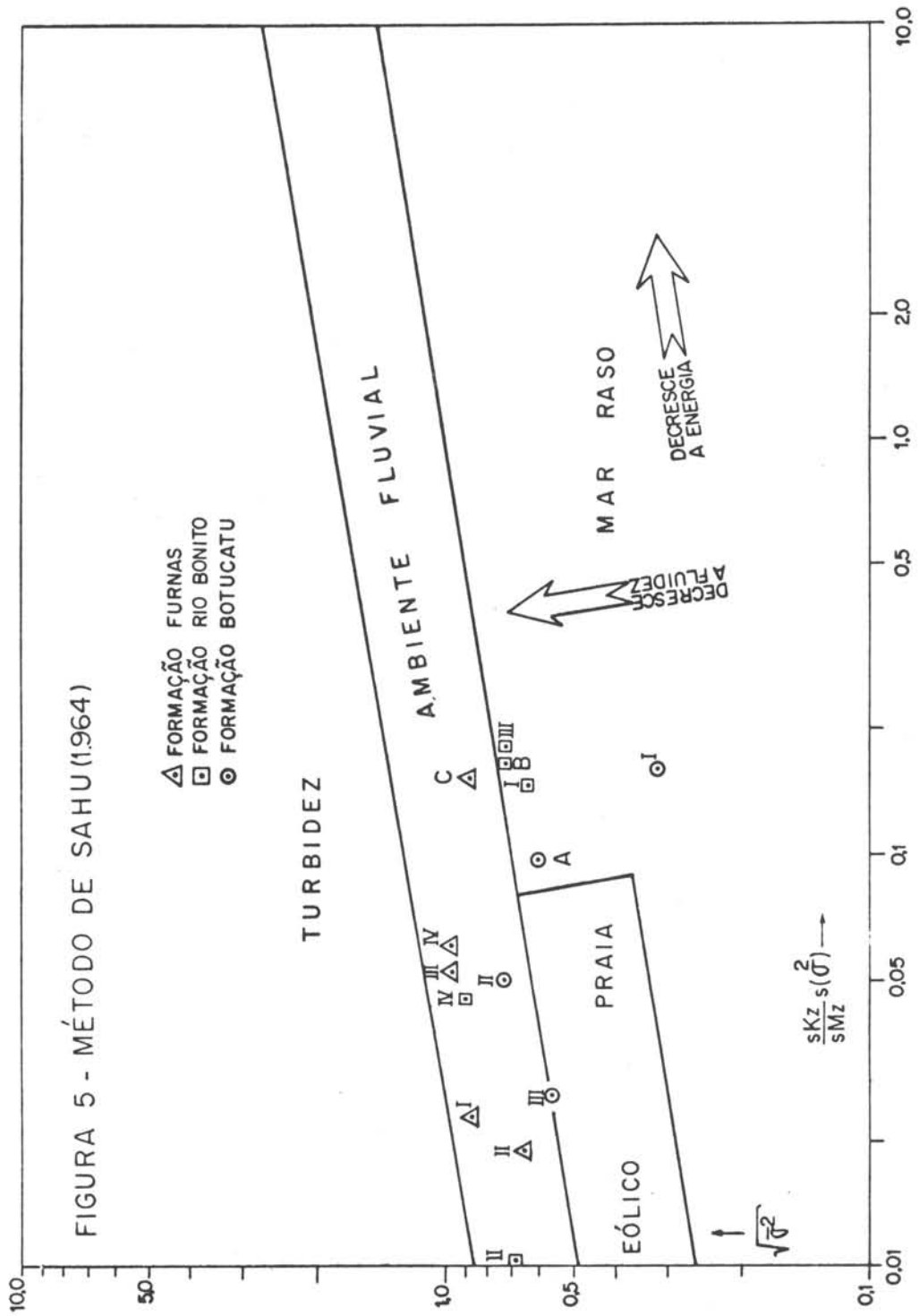
catu localizam-se dentro ou nas proximidades do ambiente fluvial, indicando que estes sedimentos pertencem à Formação Pirambóia de SOARES (op. cit.). Os arenitos da Formação Rio Bonito, sendo pós-glaciais, parecem ter sofrido processos sedimentares também com características predominantemente fluviais. Segundo a maioria dos autores os arenitos da Formação Furnas teriam sido depositados em ambiente marinho de águas rasas, caracterizando uma seqüência transgressiva. Mas, segundo geólogos da Petrobrás S/A, as areias que constituem esta formação teriam sido depositadas em ambiente continental em uma depressão alongada na direção NNW-SSE (NORTHFLEET et al., op.cit.: 324). Os dados obtidos em nossos estudos parecem corroborar com esta origem fluvial para o Furnas, pois os grupos correspondentes as suas amostras, apesar de mostrarem variações de energia, localizaram-se todos em ambiente fluvial.

Os pontos designados por A, B e C, correspondentes à toda a amostragem efetuada em cada unidade estratigráfica, mostraram o seguinte:

O ponto A, correspondente às amostras da Formação Botucatu, representam condições de energia relativamente baixa para se tratar de ambiente eólico, pois este é fortemente energético, e ainda uma viscosidade bastante pequena para se tratar de um ambiente fluvial típico, situando-se então em zona de transição, mas estando mais próximo ao ambiente fluvial.

Para a Formação Rio Bonito, ponto B, observa-se um ligeiro decréscimo de energia e fluidez, em relação ao ponto A, situando-se muito próximo ao ambiente fluvial.

Para o arenito da Formação Furnas, ponto C, nota-se também um decréscimo de ambos os fatores, que leva tal ponto a situar-se no campo dos sedimentos nitidamente fluviais, como sucederam com os 4 subgrupos de amos-



tras desta formação (amostras 26 a 38).

Outro tratamento aqui utilizado foi proposto por FRIEDMAN (1961 e 1967) para distinção de diferentes ambientes de deposição de areias. Este autor também mostrou a existência de íntima relação entre parâmetros granulométricos e os ambientes de deposição. Assim é que, relacionando-se vários parâmetros texturais, dois a dois, na forma de diagrama, o autor obteve zonas de concentração mais elevada que caracterizam determinados ambientes.

Pela análise do diagrama que envolve o desvio padrão (\sqrt{I}) nas abcissas e assimetria (SkI) nas ordenadas, FRIEDMAN pôde estabelecer uma linha divisória que separaria zonas, onde se localizariam as areias de praia de um lado e areias de rio do outro lado. Este diagrama indicou que as areias de praia possuem uma assimetria, em geral, negativa e valores de desvio padrão não excedendo 0,80, enquanto que as areias de rio apresentavam um alto desvio padrão (acima de 0,80) e valores de assimetria geralmente positivos.

Cumprе ressaltar aqui que o autor supra citado obteve vários diagramas, combinando os diferentes parâmetros granulométricos, fossem tais parâmetros obtidos diretamente das curvas acumulativas (método gráfico) e computados segundo as fórmulas de FOLK e WARD (op. cit.), ou por processos analíticos com o auxílio do computador (método dos momentos).

O diagrama acima descrito, que utiliza desvio padrão versus assimetria, foi aqui escolhido pois se apresentou com bons resultados nos trabalhos de FRIEDMAN, tanto usando os parâmetros obtidos pelo método dos momentos, quanto os obtidos diretamente das curvas acumulativas.

No presente trabalho, os dados envolvidos na obtenção do diagrama desvio padrão versus assimetria são aqueles mostrados na tabela

I e os resultados podem ser vistos na figura 6. Neste diagrama foram lançados os dados referentes às três unidades geológicas envolvidas, para o confronto deste com o diagrama original de FRIEDMAN e com o de SAHU, este por nós obtido.

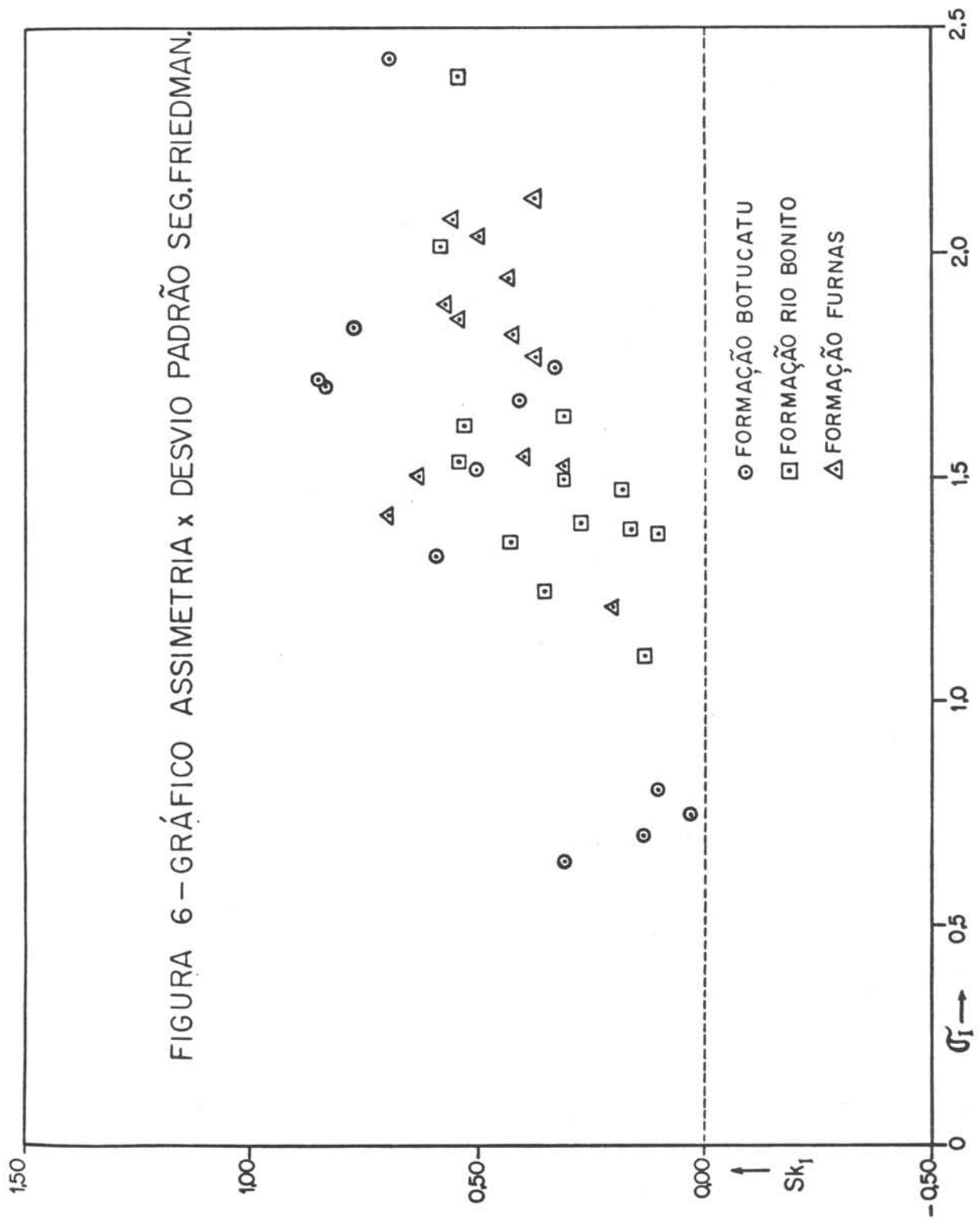
O que se observa é que para a Formação Botucatu os resultados são pouco significativos, uma vez que os pontos estão muito dispersos. Já para a Formação Rio Bonito e Furnas, nota-se grande coincidência com o estabelecido por FRIEDMAN, com ambas as unidades indicando ambientes fluviais. Assim é que, tanto o Rio Bonito como o Furnas, apresentam altos valores de desvio padrão (maior que 1,0), sendo o grau de assimetria sempre positivo, o que caracteriza sedimento de origem fluvial.

GRAU DE ARREDONDAMENTO

A determinação dos graus de arredondamento dos grãos de quartzo que constituem os arenitos foi feita pelo método da comparação visual com a carta de KRUMBEIN (1941). A análise consiste em comparar o grão em questão com imagens de partículas arranjadas em grupos de acordo com os graus de arredondamento. Este método permite estudar um grande número de partículas, tornando a determinação mais padronizada e, portanto, mais significativa.

Os estudos foram desenvolvidos nas frações 0,250-0,125 mm e 0,125-0,062 mm, usando-se lupa estereoscópica (aumento de 25X) e um microscópio (aumento de 100 X), respectivamente. Para cada intervalo granulométrico de de cada amostra foram efetuadas 100 determinações.

Após a obtenção dos graus de arredondamento foram construídos histogramas de arredondamento x frequência (%) para cada amostra, nas duas classes granulométricas, das três unidades em estudo (Figuras 7a – 7d).



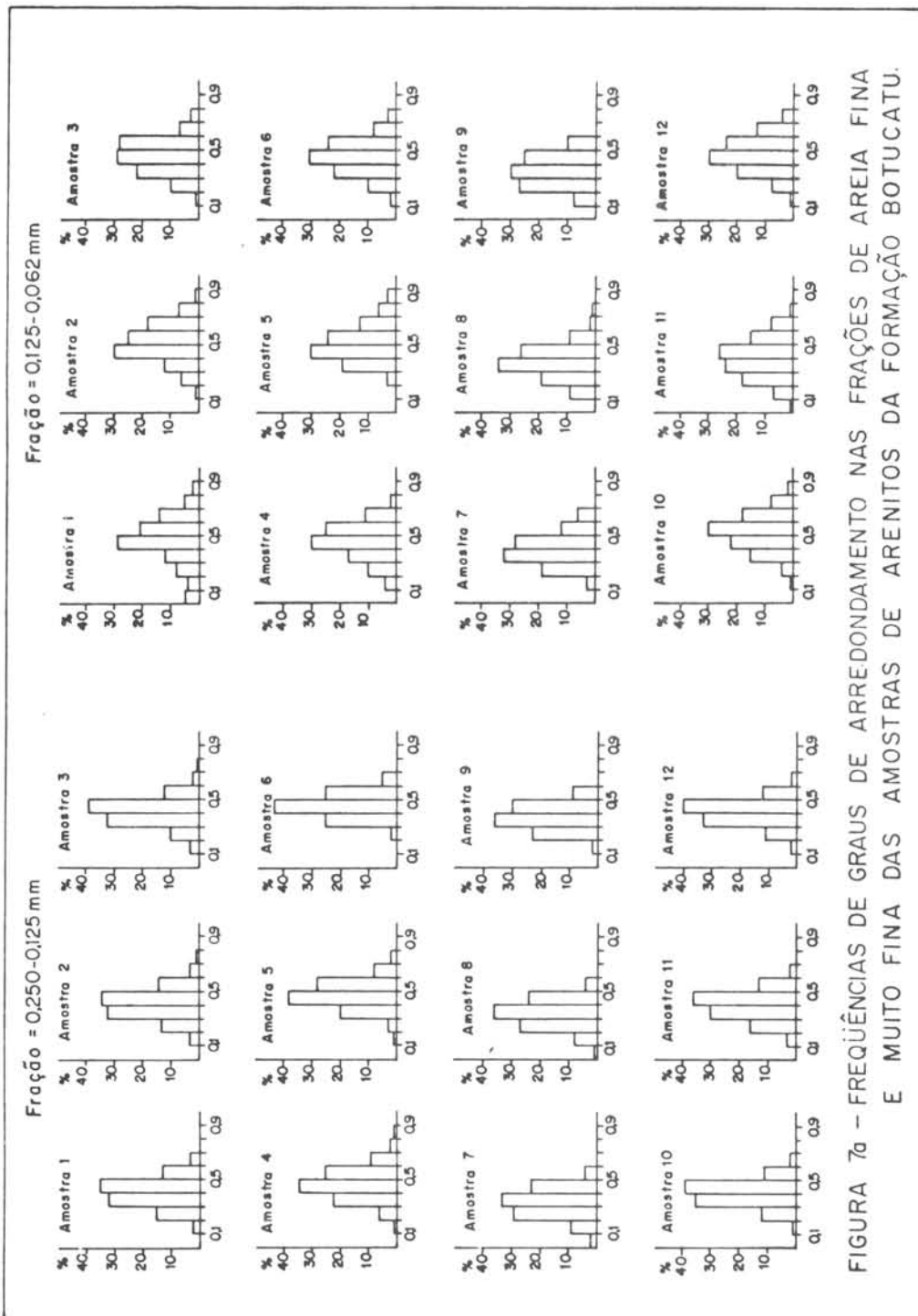


FIGURA 7a - FREQUÊNCIAS DE GRAUS DE ARREDONDAMENTO NAS FRAÇÕES DE AREIA FINA E MUITO FINA DAS AMOSTRAS DE ARENITOS DE FORMAÇÃO BOTUCATU.

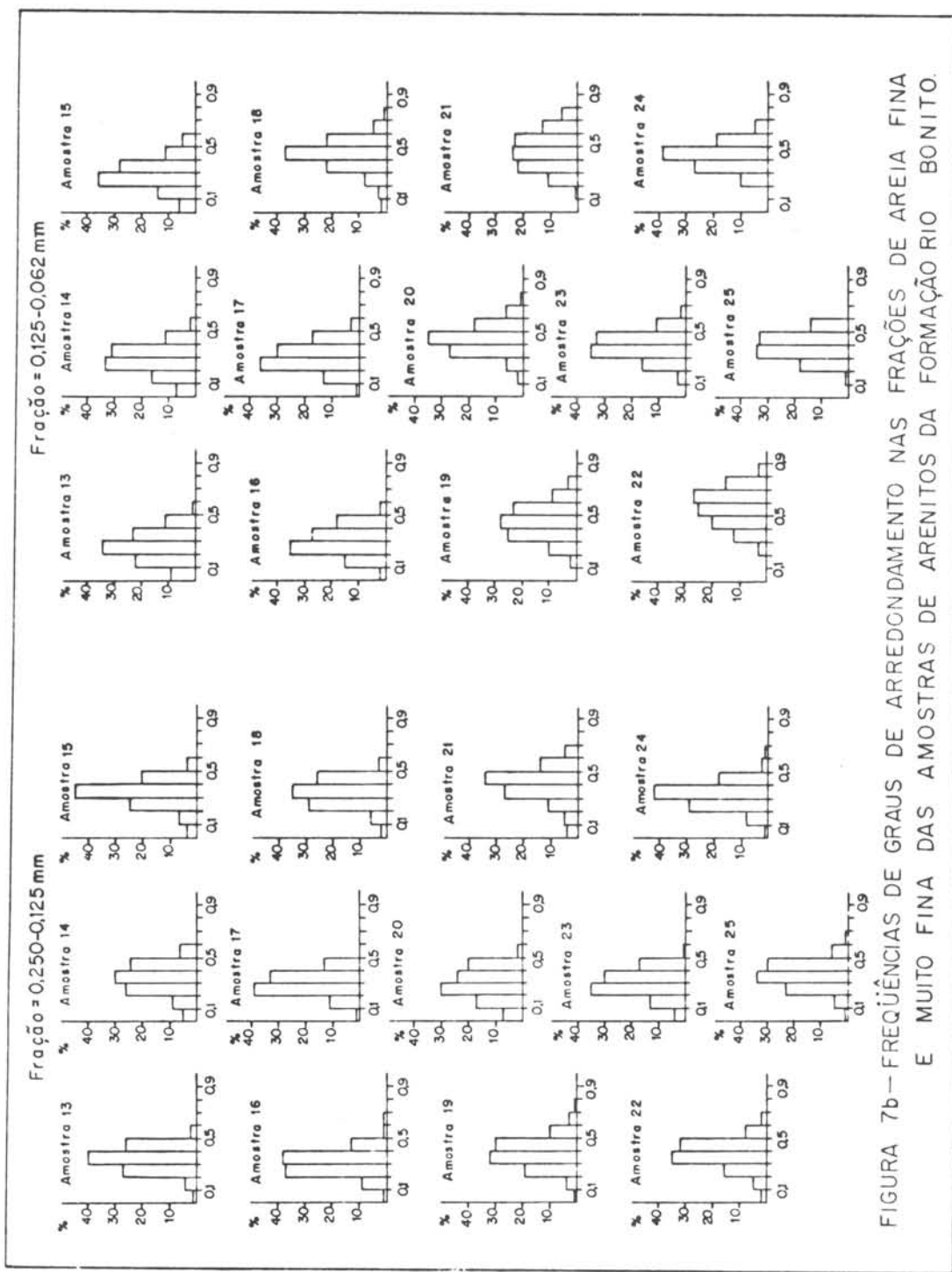
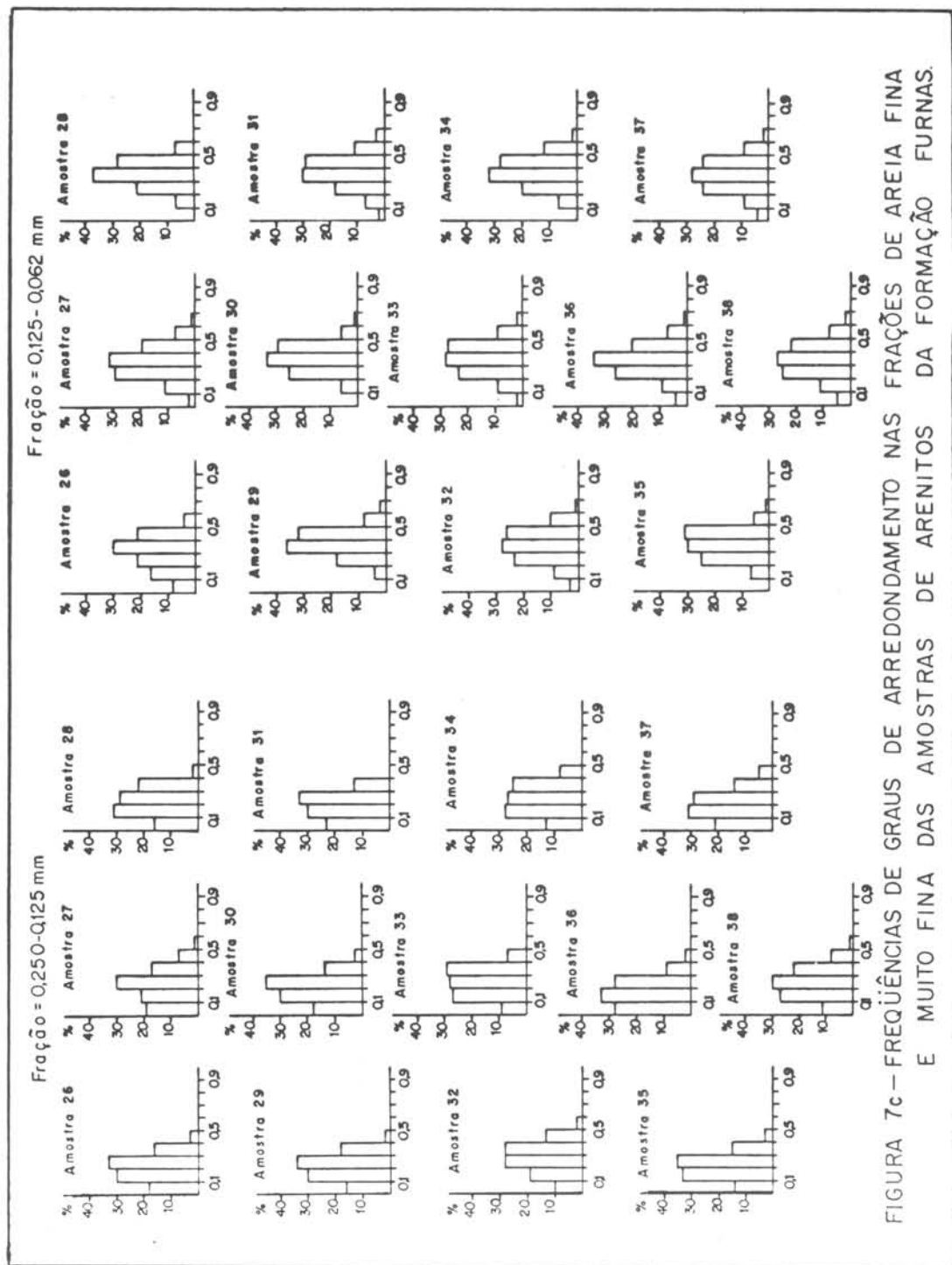
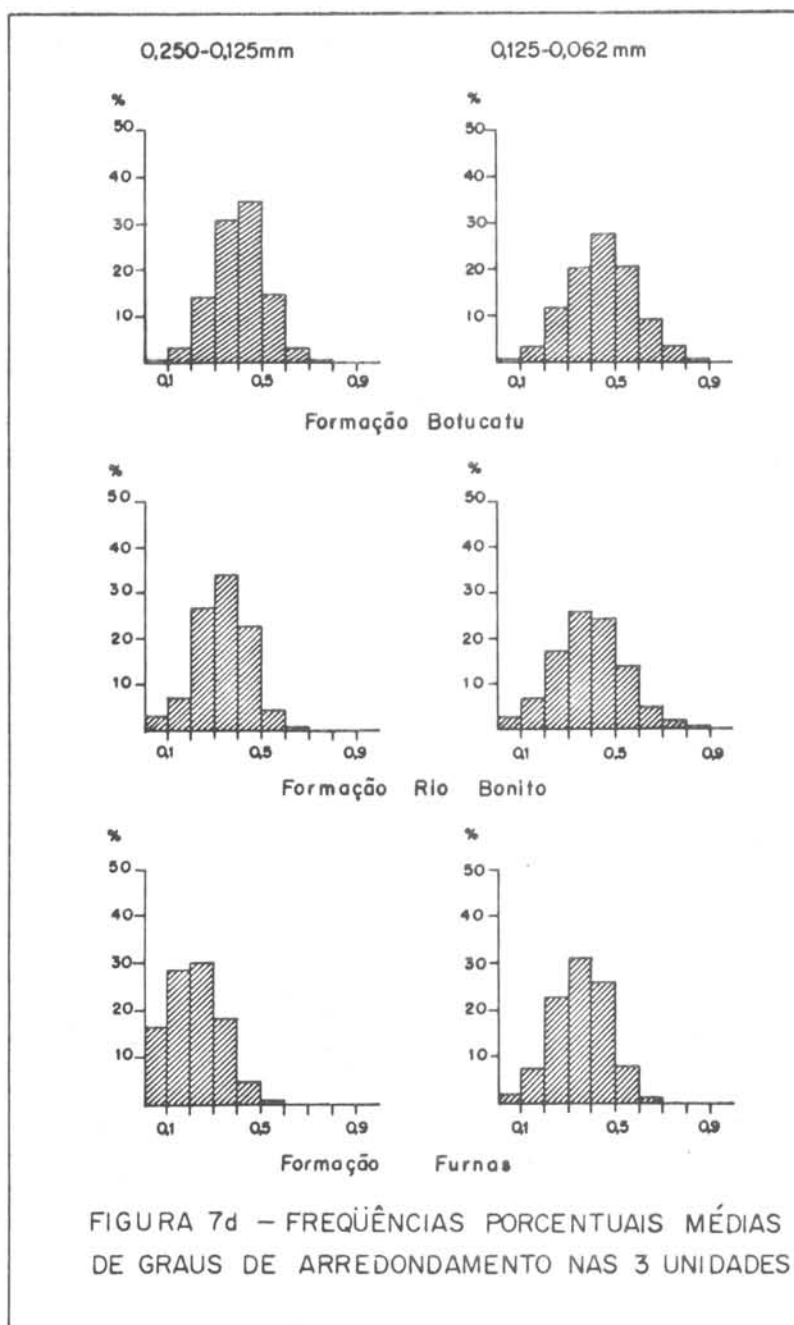


FIGURA 7b—FREQUÊNCIAS DE GRAUS DE ARREDONDAMENTO NAS FRAÇÕES DE AREIA FINA E MUITO FINA DAS AMOSTRAS DE ARENITOS DA FORMAÇÃO RIO BONITO.





A figura 7a corresponde às amostras da Formação Botucatu (amostras 1 a 12). Percebe-se nitidamente, que na fração 0,250-0,125 mm, a moda situa-se entre 0,4 a 0,5, sendo pequeno o espalhamento dos valores, variando em sua maioria entre 0,2 e 0,6. Para a fração 0,125 a

0,062 mm a moda ainda se localiza entre 0,4 a 0,5, com porcentagem menor que aquela vista na fração anterior. Verifica-se aqui um maior espalhamento dos valores, sendo mais significativa a influência dos graus de arredondamento maiores.

Na figura 7b estão expressos os resultados de amostras da Formação Rio Bonito (amostras 13 a 25). Na fração 0,250-0,125mm observa-se uma diminuição do grau de arredondamento em comparação à Formação Botucatu, estando na sua maioria entre 0,3 a 0,4. Nesta o grau de espalhamento também não é muito acentuado, estando a zona de influência entre 0,2 a 0,5, mas nitidamente mais concentrada em torno dos valores 0,3 a 0,4. Os histogramas da fração 0,125-0,062 mm para a Formação Rio Bonito indicam sensíveis mudanças em relação aos resultados anteriores. Não está muito claro o padrão geral mas as modas concentram-se em torno dos intervalos 0,2 a 0,3 e 0,4 a 0,5.

Os resultados da análise da Formação Furnas estão expressos na figura 7c. Na fração 0,250-0,125 mm nota-se uma acentuada influência de arredondamentos mais baixos, sendo 0,50 O limite superior de arredondamento. A moda localiza-se entre 0,2 a 0,3. Para a fração 0,125-0,062 mm tem-se novamente o padrão similar ao anterior, com a moda deslocando-se para arredondamentos mais altos, estando entre 0,3 a 0,4 e apresentando mais espalhamento. Aqui o limite máximo está no valor 0,7.

É sintomático que não podemos olvidar a influência do meio de transporte, mas se observarmos que existe a possibilidade de grande parte das amostras da Formação Botucatu serem fluviais, as energias de transporte para as 3 unidades não difeririam muito, fato aliás demonstrado pelo diagrama de SAHU (Figura 5), sendo de importância maior o retrabalhamento das areias, ou a duração de tempo que o meio agiu, hipótese básica para explicar o crescente aumento do grau de arredondamento das unidades mais antigas para as mais novas. Este fato pode ser resumido e realçado pela figura 7d, onde as diferenças de graus de arredondamento médio para as tres unidades geológicas são apresentadas nas duas frações granulométricas em exame. Os graus de arredondamento aumentam nitidamente, como acontece na fração 0,250-

0,125 mm, ou ainda as porcentagens correspondente aos intervalos de maior grau de arredondamento sofrem um acréscimo, fato este verificado na fração 0,125-0,062 mm, quando se sobe na coluna estratigráfica. O segundo fato é bastante estranho, levando-se em conta que o inverso deveria normalmente ocorrer, isto é, as frações de granulações menores deveriam ser menos arredondadas. É provável que a explicação esteja na possível dissolução química parcial desses grãos mais finos, o que contribuiria para arredondamento maior dos mesmos.

Desta maneira, os graus de arredondamento das areias nas duas frações examinadas, vem de encontro à hipótese inicial de trabalho, pois, caso as unidades mais novas fossem originadas, pelo menos em parte, das mais velhas, dever-se-ia esperar que ocorresse um acréscimo no grau de arredondamento em virtude dos retrabalhamentos sucessivos. Porém, a caracterização de uma formação somente a partir de seus graus de arredondamento é impossível, pois a variação no arredondamento dos grãos de areia dentro de amostras provenientes de uma mesma formação é maior do que aquela existente entre amostras de diferentes formações.

COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA

Quanto à composição mineralógica foram analisados apenas os minerais pesados transparentes das amostras provenientes das tres unidades. Apesar de reconhecida a sua presença, as vezes em quantidades apreciáveis, os minerais pesados opacos não foram considerados.

Após a separação em bromofórmio e eliminação dos opacos magnéticos, por imã de bolso, os minerais pesados foram montados em lâminas de vidro para microscópio. Em seguida foram identificados e contados 200 grãos por amostra, ou sejam 100 grãos no intervalo granulométrico de areia fina e outros 100 grãos na areia muito fina.

As primeiras dificuldades surgiram em virtude da existência de quantidades reduzidas de minerais pesados nas tres unidades, principalmente na Formação Rio Bonito. Então, o único recurso foi repetir todas as operações que conduzem à separação dos pesados até a fase de bromofórmio. Em alguns trabalhos recentes efetuados na Formação Botucatu, este fato tem sido ressaltado pelos autores, chegando mesmo a impedir a adoção de tratamentos estatísticos em virtude de frequências não representativas.

Embora GOÑI e DELANEY (1961) façam referência a uma porcentagem de 1 a 5% de fração pesada em amostras da Formação Botucatu do Rio Grande do Sul e Uruguai, no nosso caso, a frequência desses minerais era, em geral, inferior ou no máximo igual a 1%.

Essa deficiência em fração pesada, por sua vez, não nos possibilitou a eliminação adequada de minerais magnéticos, com riscos de torná-la ainda mais reduzida nessa operação pela perda de alguns transparentes. Mas, de modo geral os minerais magnéticos tem frequência baixa.

Feitas as identificações e as contagens foram constatados os seguintes minerais pesados (Tabelas IIIa - IIIc).

Formação Botucatu:

Minerais pesados mais frequentes

Turmalina — O arredondamento é muito bom sendo, em algumas, total o desaparecimento das arestas (Figura 8a), sendo raras as prismáticas (Figura 8b). Encontram-se ainda muitas com inclusões que, por vezes, são prismas menores da própria turmalina. Concentram-se na fração 0,250-0,125 mm.

Zircão — Apresenta-se com hábitos muito variados, podendo estar bem arredondado (Figura 8c) e mais raramente com cantos mais agudos (Figura 8d). Apresentam comumente *zoneamento* e inclusões. Concentram-se na fração 0,125-0,062 mm.

Estauroлита — Apresenta-se, em algumas amostras, com bom arredondamento e exibindo invariavelmente um *serrilhado* nas bordas, paralelo ao eixo *c*. São comuns também evidências de dissolução, conferindo à superfície do mineral um padrão reticulado, sugerindo escamas (Figura 8e).

Rutilo — É bem arredondado, às vezes prismático e raramente com geminação *em coração* (Figura 8f). As cores presentes são o vermelho e o amarelo. Concentram-se na fração 0,125-0,062 mm.

Minerais pesados acessórios

Monazita — Arredondada, com pleocroísmo amarelo e alto relevo. Às vezes apresenta figura de eixo óptico perfeita. A monazita é rara e encontra-se preferencialmente na fração 0,125-0,062 mm.

Anatásio — Aparece com bases retangulares perfeitas, de cores amarelo e azul, com alto relevo e figura de eixo óptico centrada. Cristais bem formados, não mostrando indícios de sua neoformação (mineral autógeno?) como mostra no Furnas.

Epídoto, cianita, hornblenda e granada — Frequência limitada, com alguns cristais para todas as amostras estudadas.

Formação Rio Bonito

Minerais pesados mais frequentes

Turmalina — Aparece nas cores parda

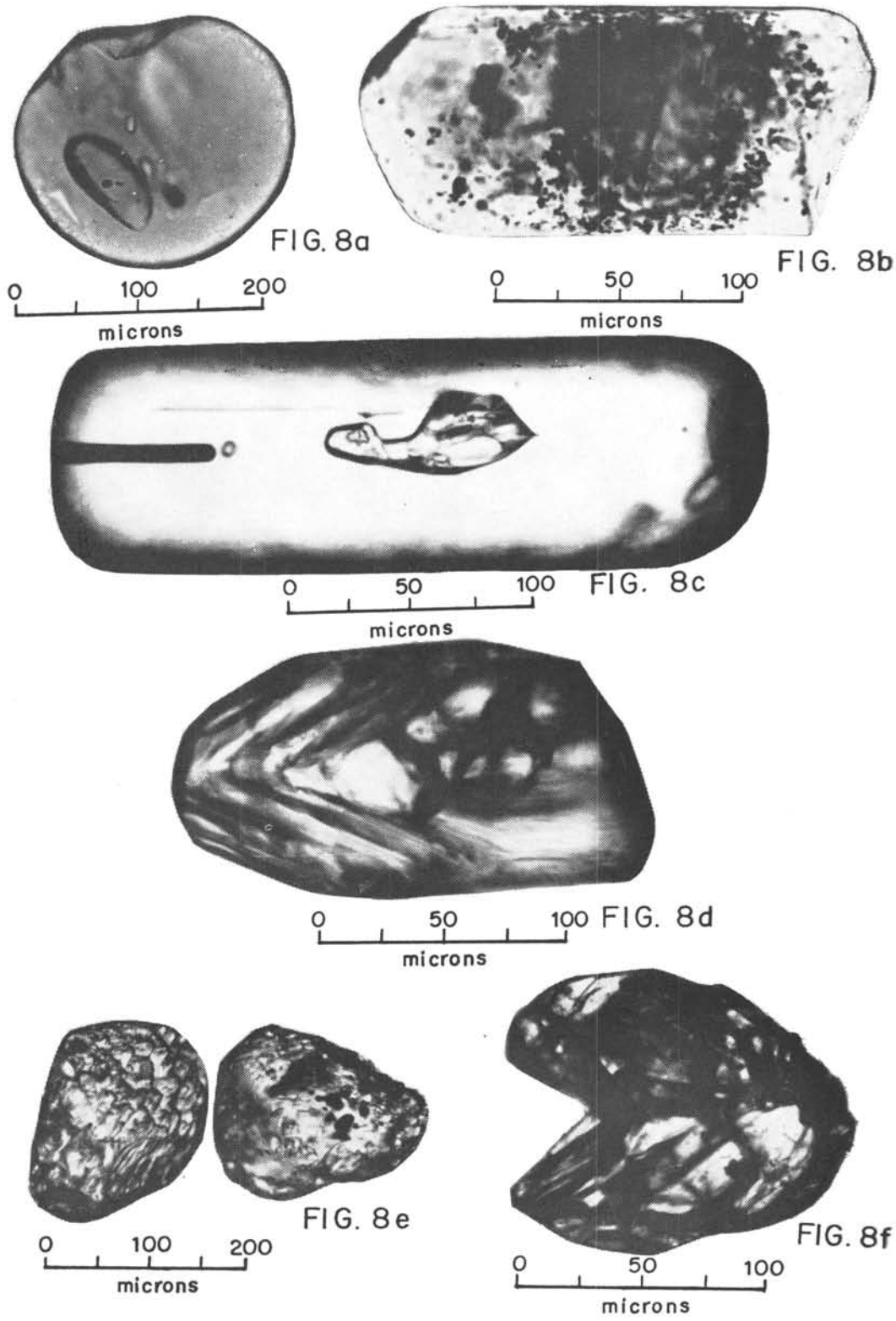


FIGURA 8 - MINERAIS PESADOS TRANSPARENTES DA FORMAÇÃO BOTUCATU
 8a = Turmalina bem arredondada; 8b = Turmalina prismática com manchas; 8c = Zircão prismático; 8d = Zircão prismático zonado; 8e = Estauroлита com corrosão química; 8f = Rutilo amarelo geminado "em coração".

(dravita), verde (cromo-turmalina) e azul (indigolita). O arredondamento é muito variável (0,2 a 0,9) e também o seu hábito. Dessa maneira têm-se cristais arredondados prismáticos (Figura 9a), cristais quase esféricos e outros com superfícies e bordas irregulares sugerindo placas superpostas escalonadas, conferindo assim péssimo arredondamento (Figura 9b).

Zircão — Pode ser prismático (quebrado ou não) e apresentar ótimo arredondamento, porém, prismas com faces agudas e *zoneamento* são comuns (Figura 9c), propiciando grandes variações de arredondamento. As inclusões são comuns (Figura 9d).

Rutilo — Arredondamento variável e de cores amarelo e vermelho, geralmente prismáticos irregulares ou não (Figura 9e). A geminação *em joelho* esteve presente em algumas lâminas. Concentram-se na fração 0,125-0,062 mm.

Anatásio — Apresenta-se com cristais euhedrais (Figura 9f), na forma de cubos e também com terminações piramidais e outros pouco desenvolvidos, sugerindo um *estágio precoce* de formação do mineral (autígeno?). São de cores amarelo e azul, mostrando ainda alguns com superfície manchada escura. Concentra-se na fração 0,125-0,062 mm.

Minerais pesados acessórios

Hornblenda — Muito mal arredondada; a sua porcentagem é praticamente referente a uma amostra (amostra 17) na fração 0,250-0,125 mm.

Estaurolita — Aparece em grãos irregulares e *serrilhados* nas bordas, com arredondamento variável entre 0,4 a 0,8 (Figura 9g). Apresentam dissolução superficial sugerindo escamas tal como na figura 8e.

Monazita — Muito bem arredondada, às

vezes quebrada na forma de *meia lua* e de cor amarelo.

Granada, epidoto, sillimanita e cianita — Frequência muito baixa em relação aos demais minerais, com poucos cristais observados para toda a Formação Rio Bonito. É, porém, interessante notar que suas porcentagens são maiores do que aquelas observadas tanto para o Furnas como para o Botucatu.

Formação Furnas:

Minerais pesados mais frequentes

Turmalina — Geralmente mal arredondada nas duas frações granulométricas (Figura 10a), podendo ser prismática e comumente com inclusões de turmalina em cristais minúsculos (Figura 10b). São de cores também verde e azul, porém a parda predomina. Concentram-se na fração 0,250-0,125 mm.

Zircão — Apresenta-se sob a forma mais variada possível, estando bem arredondado, por vezes quebrado e também prismático exibindo faces *bem vivas* (Figuras 10c e 10d). Seu arredondamento é inferior aos do Botucatu e Rio Bonito. Concentram-se na fração 0,125-0,062 mm.

Rutilo — Mal arredondado, geralmente prismático sugerindo terminações piramidais, exibindo por vezes geminação *em joelho* (Figura 10e). Os grãos de rutilo são de cores amarelo a vermelho (padrão muito similar ao do Botucatu).

Minerais pesados acessórios

Monazita — Apresenta-se bem arredondada, até esférica, com pleocroísmo bem característico (Figura 10f). Sua distribuição nas lâ-

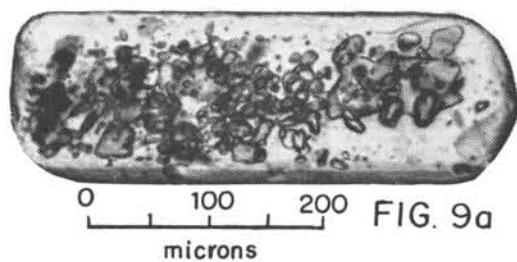


FIG. 9a

microns

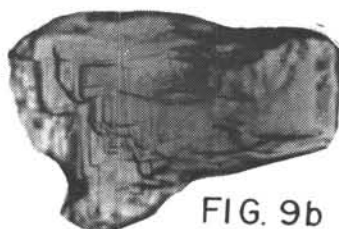


FIG. 9b

microns

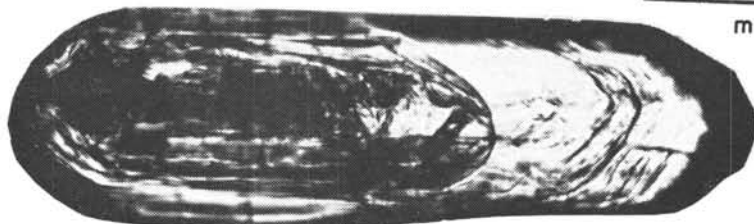


FIG. 9c

microns

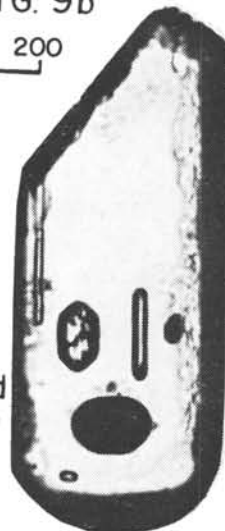


FIG. 9d

microns

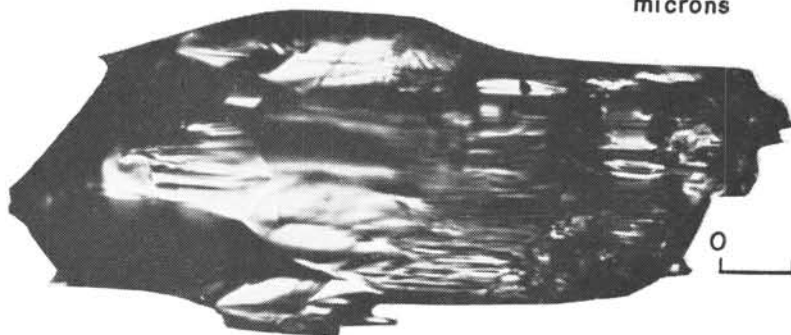


FIG. 9e

microns

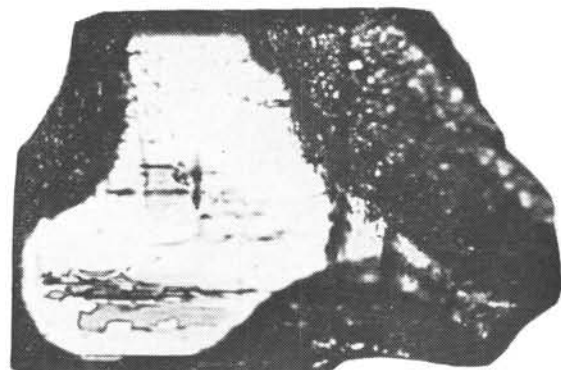


FIG. 9f

microns

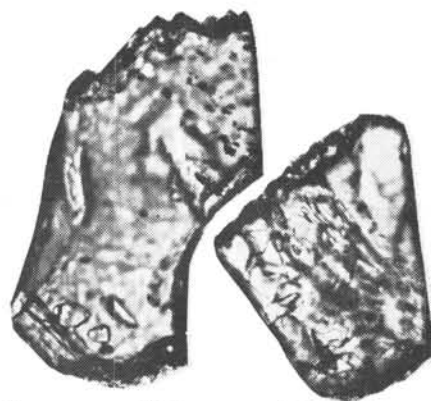


FIG. 9g

microns

FIGURA 9 - MINERAIS PESADOS TRANSPARENTES DA FORMAÇÃO RIO BONITO
 9a = Turmalina com inclusões e figuras de corrosão; 9b = Turmalina parda com fraturas; 9c = Zircão prismático zonado; 9d = Zircão prismático com inclusões; 9e = Rutilo fibroso; 9f = Anatásio com bordos corroídos; 9g = Estaurolita com bordos "serrilhados".

minas é muito variável, com porcentagem bem inferior a outros minerais vistos anteriormente.

Anatásio — Alguns cristais apresentam-se bem formados (euhedrais) como o mostrado na figura 10g, contrastando com outros ainda em processo talvez de neoformação, sendo nítido em muitos deles a existência de um mineral opaco interno (leucoxênio?). São de cores amarelo e azul. Concentram-se geralmente na fração

0,125-0,062 mm.

Estauroлита — Aparece nas mais variadas formas, sendo algumas muito bem arredondadas sem *serrilhado* paralelo ao eixo *c* e outras apresentando formas diferentes com *serrilhado* pronunciado. Na superfície dos grãos aparecem sinais de dissolução evidenciados também na Formação Botucatu. Sua frequência é significativa apenas na lâmina da amostra 28

TABELA IIIa — Frequência porcentual numérica de minerais pesados transparentes nos arenitos da Formação Botucatu

0,250–0,125mm

Amostra	Turm.	Zirc.	Mon.	Est.	Horn.	Epíd.	Gran.	Rutilo	Anat.
1	25	1	—	73	—	1	—	—	—
2	20	7	—	73	—	—	—	—	—
3	Não foi analisada (só opacos)								
4	22	11	4	58	—	—	—	5	—
5	26	36	—	1	—	—	—	32	5
6	52	9	—	38	—	—	—	1	—
7	54	21	—	9	1	1	1	13	—
8	65	17	—	9	1	—	—	8	—
9	37	27	—	28	—	—	—	9	—
10	70	24	—	3	—	—	—	1	2
11	62	16	—	16	—	2	—	4	—
12	50	44	—	5	—	—	—	—	1

0,125–0,062mm

Amostra	Turm.	Zirc.	Cian.	Mon.	Est.	Horn.	Epíd.	Gran.	Rutilo	Anat.
1*	17	26	—	—	50	—	—	—	1	—
2	14	38	—	—	44	1	2	—	1	—
3	14	52	—	8	23	—	—	—	3	—
4	15	54	—	5	12	—	—	—	14	—
5	26	57	—	3	8	—	—	—	6	—
6	17	69	—	—	12	—	—	—	3	—
7	4	75	1	—	1	1	2	—	15	1
8	26	57	—	1	1	—	—	—	15	—
9	15	63	—	1	5	—	—	1	15	—
10	30	44	—	—	3	—	—	—	23	—
11	21	64	—	—	2	2	—	—	11	—
12	11	77	—	—	1	—	1	—	10	—

* = Contados 95 grãos.

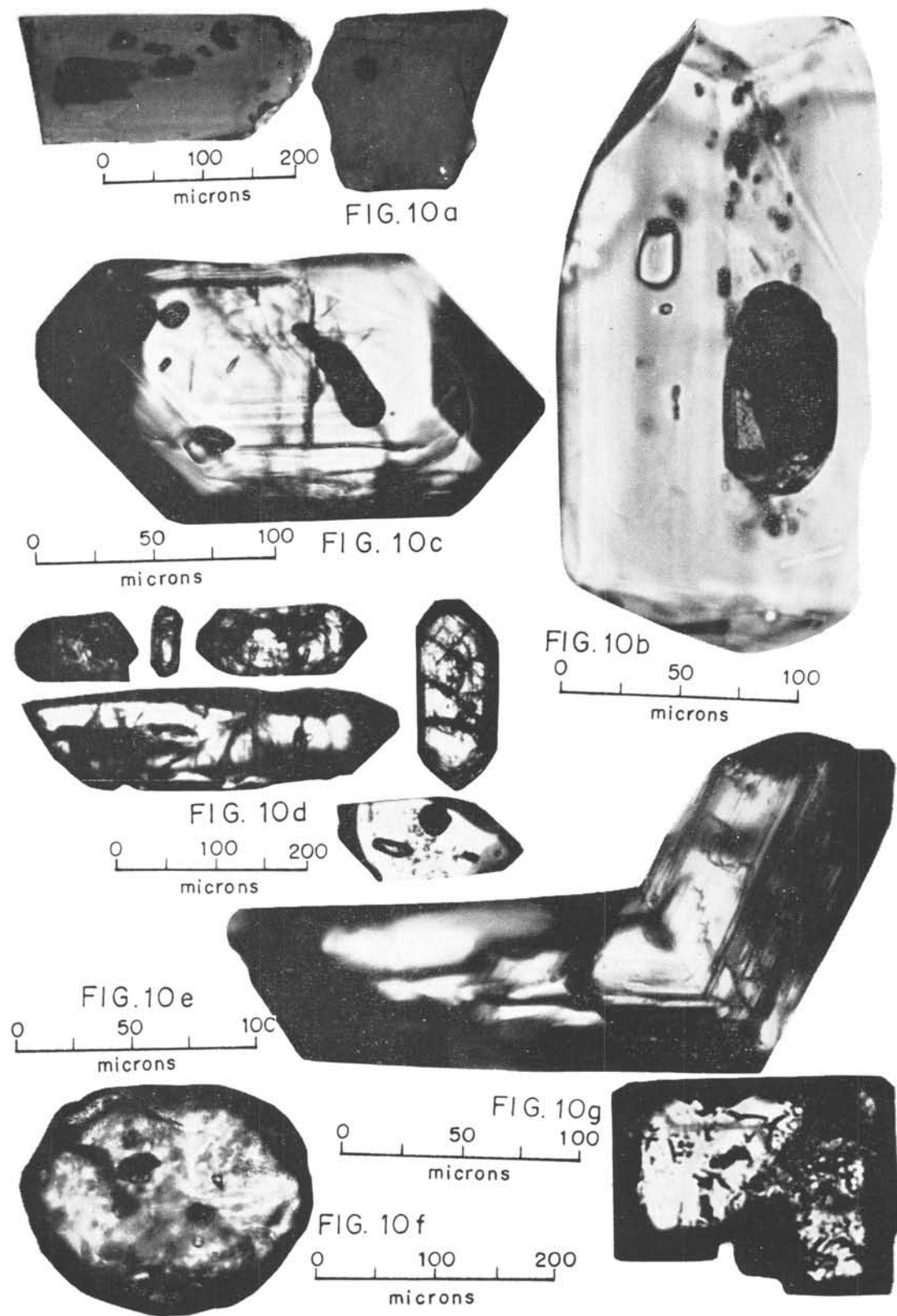


FIGURA 10 - MINERAIS PESADOS TRANSPARENTES DA FORMAÇÃO FURNAS
 10a = Turmalina prismática quebrada; 10b = Turmalina com inclusões; 10c = Zircão prismático com inclusões; 10d = Zircão de várias formas e tamanhos; 10e = Rutilo com geminação "em joelho"; 10f = Monazita esférica; 10g = Anatásio bem euhedral.

TABELA IIIb — Frequência porcentual numérica de minerais pesados transparentes nos arenitos da Formação Rio Bonito

0,250–0,125mm											
Amostra	Turm.	Zirc.	Est.	Horn.	Epíd.	Gran.	Rut.	Anat.	Sill.	Cian.	Mon.
13	94	—	—	—	—	—	1	5	—	—	—
14	25	40	1	5	8	1	7	10	—	—	3
15	73	9	1	7	8	—	2	—	—	—	—
16	80	6	8	—	—	—	—	6	—	—	—
17	25	2	—	61	4	5	—	1	2	—	—
18	86	5	—	1	3	—	—	4	—	1	—
19	23	57	—	2	5	1	7	3	—	—	2
20	27	54	—	—	—	—	19	—	—	—	—
21	73	20	—	—	1	—	5	1	—	—	—
22	69	20	—	—	—	—	9	2	—	—	—
23	50	25	11	—	—	1	6	—	—	7	—
24	53	27	—	—	—	—	18	2	—	—	—
25	32	42	—	—	—	—	23	2	—	2	—

0,125–0,062mm									
Amostra	Turm.	Zirc.	Mon.	Est.	Horn.	Epíd.	Gran.	Rut.	Anat.
13	62	12	3	—	—	—	1	21	1
14	10	45	2	—	—	3	—	26	14
15	34	37	—	—	—	2	—	18	9
16	33	38	—	—	—	—	—	19	10
17	29	36	1	—	—	1	—	14	19
18	42	26	2	—	—	1	—	7	23
19	16	50	18	—	—	1	—	15	—
20	3	85	—	—	—	—	—	10	2
21	6	69	—	—	—	—	—	10	15
22	16	58	1	—	1	—	—	13	11
23	21	51	—	1	1	—	20	—	6
24	6	49	—	42	—	—	—	3	—
25	38	26	—	1	—	3	—	32	—

(0,125-0,062 mm), sendo anômala para esta formação, com 67%.

Epídoto, cianita, sillimanita e hornblenda
Frequências muito baixas, encontrando-se poucos grãos em todas as lâminas estudadas para a formação.

É interessante ressaltar, neste ponto, a grande similaridade com os resultados obtidos

por GOÑI e DELANEY (op. cit.) para os minerais pesados essenciais da Formação Botucatu.

Comparação entre as amostras

A seguir é apresentada, em termos de porcentagem numérica, a integração dos resultados de todas as lâminas examinadas em cada unidade geológica. Esta tabela fornece uma visão das

TABELA IIIc – Frequência porcentual numérica de minerais pesados transparentes nos arenitos da Formação Furnas

0,250–1,125mm							
Amostra	Turm.	Zirc.	Cian.	Sill.	Mon.	Rutilo	Anat.
26	15	29	1	–	1	47	7
27	43	17	–	–	1	39	–
28 *	30	15	–	–	–	50	5
29	87	5	–	–	–	8	–
30	82	11	–	–	2	5	–
31	66	16	–	1	2	15	–
32	84	14	–	–	–	2	–
33	88	9	–	–	3	–	–
34	95	4	–	–	–	1	–
35	70	12	–	–	2	16	–
36	54	23	–	–	3	20	–
37	50	24	–	–	8	18	–
38	8	39	–	–	14	39	–
0,125–0,062mm							
Amostra	Turm.	Zirc.	Mon.	Est.	Epfd.	Rutilo	Anat.
26	6	56	–	–	–	30	8
27	12	34	1	–	2	27	24
28	26	7	–	67	–	–	–
29	13	56	2	–	–	26	3
30	44	43	6	–	–	7	–
31	15	51	28	–	–	6	–
32	44	32	18	–	–	2	4
33	38	55	3	1	1	2	–
34	49	45	–	6	–	–	–
35	63	32	4	1	–	–	–
36	2	77	2	–	–	19	–
37	11	70	6	–	–	13	–
38	22	53	4	–	–	21	–

* contados apenas 20 grãos.

variações quantitativa e qualitativa de minerais pesados transparentes das tres formações da área estudada (Tabela IV).

Para a Formação Botucatu observa-se uma total predominância do zircão – turmalina estauroлита – rutilo (nesta ordem) sobre os demais minerais, representando 97,87% dos mine-

rais analisados. A assembléia é representada basicamente pelos minerais ultra-estáveis (zircão, turmalina e rutilo); sendo a estauroлита classificada como semi-estável.

Para o Rio Bonito o mesmo pode ser dito, somente que a estauroлита é substituída pelo anatásio, e a turmalina passa a predominar, po-

TABELA IV – Frequências percentuais numéricas médias de minerais pesados transparentes nos arenitos das Formações Botucatu, Rio Bonito e Furnas (diâmetro = 0,250 – 0,062 mm).

Minerais	Formação Botucatu	Formação R.Bonito	Formação Furnas
Zircão	38,72%	34,69%	32,50%
Turmalina	30,18	38,71	43,33
Estaurolita	20,69	2,38	2,98
Rutilo	8,28	11,20	14,80
Anatásio	0,39	5,62	1,87
Hornblenda	0,26	3,04	–
Monazita	0,96	1,25	4,37
Epídoto	0,35	1,56	0,12
Sillimanita	–	0,08	0,04
Cianita	0,04	0,35	0,04
Granada	0,13	1,13	–

rém a assembléia é representada pelos ultra-estáveis (90%).

No Furnas o padrão se mantém, com relação à assembléia, havendo predominância da turmalina, zircão, rutilo e monazita (semi-estável) perfazendo 95,06%.

Observa-se, portanto, que as assembléias são praticamente as mesmas para as tres unidades no tocante aos minerais mais freqüentes.

É conveniente salientar a maior diversificação ocorrida no Arenito Rio Bonito. Assim é que, apesar desta unidade apresentar a mesma assembléia das demais unidades, é sintomática a maior freqüência, apesar de ainda baixa, dos demais minerais acessórios, tais como, hornblenda, epídoto, sillimanita, cianita e anatásio, quando comparada com o Furnas e o Botucatu.

Estas variações de freqüência são sensivelmente maiores que aquelas observadas para os minerais pesados mais freqüentes. Isto se deve, possivelmente, à diversificação das fontes, pro-

ximidade maior da fonte ou mesmo à sedimentação mais complexa a que este depósito esteve condicionado.

Para os minerais mais freqüentes, de modo geral, observa-se um decréscimo de zircões do Botucatu para o Furnas (cerca de 10% de decréscimo), situação que é normal se admitirmos mecanismos de retrabalhamentos sucessivos.

A turmalina aumenta do Botucatu para o Furnas, apresentando maiores variações de porcentagens, o que é explicado pela sua estabilidade, sendo plenamente compreensível a sua alta porcentagem em sedimentos mais antigos. Isto é observado também para o rutilo, que aumenta de porcentagem quando se desce na coluna estratigráfica, podendo ser a sua estabilidade também a responsável pela freqüência maior no Furnas.

A maior variação observada é a da estaurolita que, de 20,69% no Botucatu, passa para 2,38% no Rio Bonito e 2,98% no Furnas, fato que pode ser um reflexo de relativa baixa estabilidade, podendo ter sido eliminada nas formações mais antigas, ou porque, tenha havido contribuição também de fonte estranha às duas outras formações para a origem do Arenito Botucatu.

O anatásio, de praticamente traços no Botucatu (0,39%) passa para 5,62% no Rio Bonito, caindo novamente no Furnas (1,89%). Este aumento no Rio Bonito está ligado fatalmente a sua autigênese, como são vistas lâminas com muitas partículas deste mineral ainda em processo de formação.

Observa-se também um aumento da monazita, sendo a sua porcentagem no Botucatu de 0,96% de 1,25% no Rio Bonito e 4,37% no Furnas.

Análise de agrupamento

Foi empregado o método de análise de agrupamento para tentar caracterizar as assembléias de minerais pesados das tres unidades geológicas estudadas.

Tal metodologia, que pode empregar várias medidas de similaridade, é bem explicada e exemplificada por SOKAL e SNEATH (1963) e PARKS (1966).

No presente trabalho foi usado, como medida de similaridade, o coeficiente de distância, que expressa o grau de similaridade como distâncias em um espaço n-dimensional. Quanto menor a distância, maior o grau de similaridade e vice-versa.

Para o cálculo da distância entre duas amostras considerando-se n variáveis, a fórmula é:

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{i1} - X_{i2})^2}$$

Para que os valores de D se distribuam entre 0 (semelhança máxima) e 1 (semelhança mínima) usa-se a transformação da expressão supra para:

$$D = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{i1} - X_{i2})^2}$$

Assim foram obtidos os graus de similaridade entre as amostras.

Depois de calculadas as distâncias, foi construída a matriz de similaridade entre as amostras, sendo escolhido o menor valor de distância entre as mesmas, e estas foram agrupadas em uma só amostra (Tabela V). Reagrupando-se e reorganizando-se sucessivamente as amostras, e montando as matrizes de similaridade, obteve-se uma matriz final (2x2).

Baseado nessa seqüência de reagrupamento foi construído um dendrograma, que é a forma gráfica mais usada para apresentação desses agrupamentos hierárquicos (Figura 11).

A análise do dendrograma obtido permite interpretar os seguintes fatos:

a) As distâncias entre as amostras provenientes dos arenitos das tres formações geológicas são pequenas, indicando alto grau de correlação entre elas.

b) Apesar de existirem vários agrupamentos definidos pelos conteúdos em minerais pesados, esses grupos não caracterizam uma determinada unidade geológica.

Conclui-se que a partir de simples análises de minerais pesados transparentes não se pode distinguir as tres unidades pois, em uma análise de variância, tem-se que as variâncias entre amostras provenientes de uma formação são maiores que as variâncias entre amostras de várias unidades geológicas em estudo.

VARIAÇÃO DE MATURIDADE

As tres unidades se caracterizam por um bom grau de maturidade, principalmente no que diz respeito à maturidade mineralógica. No que concerne à composição em minerais pesados transparentes, algumas discrepâncias (hornblenda no Rio Bonito e estaurolita no Furnas) podem estar ligadas a um detalhe de variação que não reflete, de modo algum, os comportamentos regionais dos arenitos estudados.

Foi construído um gráfico (Figura 12), envolvendo os resultados das tres unidades geológicas, que relaciona a maturidade textural, definida neste caso só pelos graus de arredondamento dos grãos de quartzo, com a maturidade mineralógica, que foi dada pelo índice ZTR

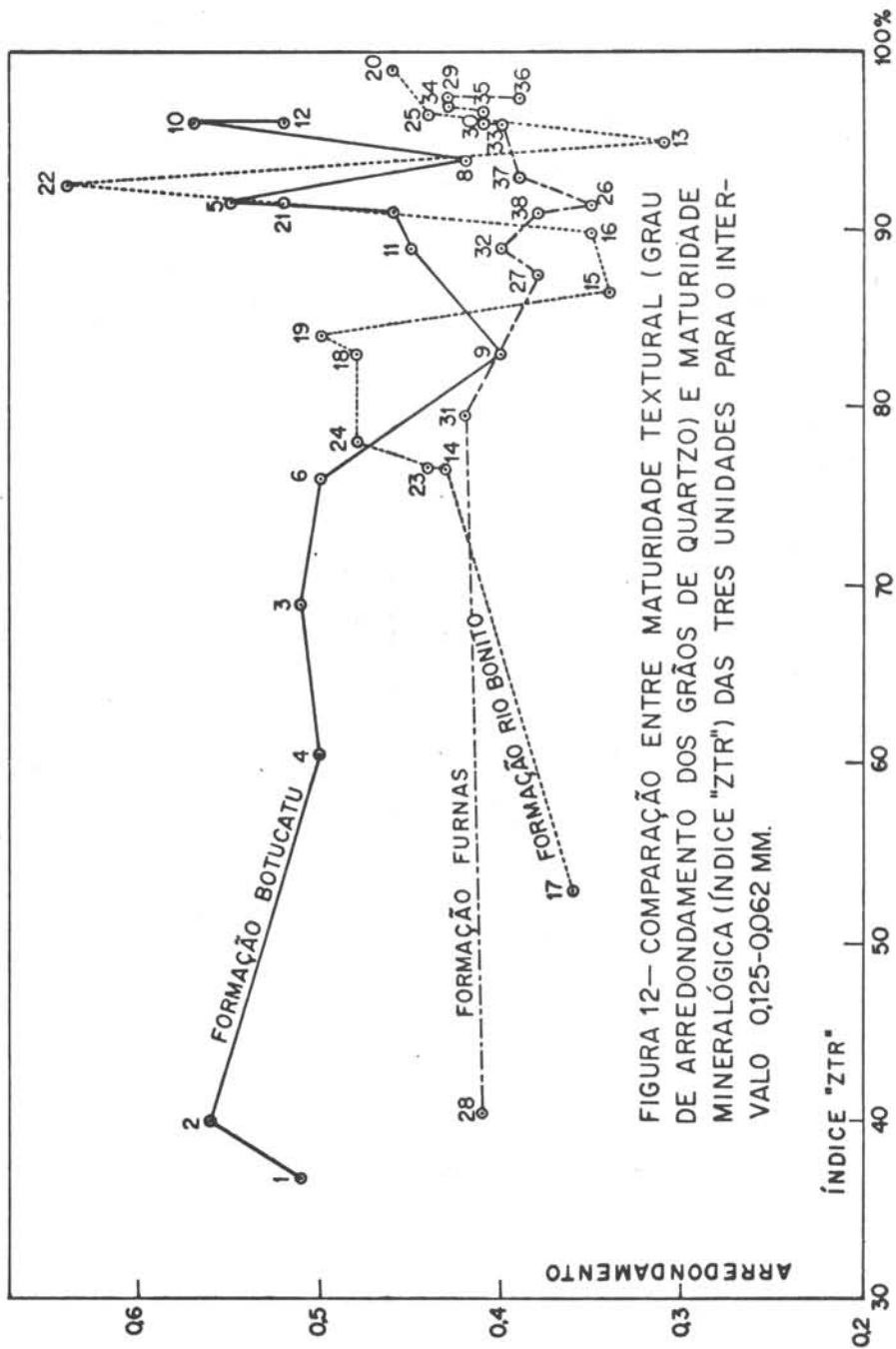
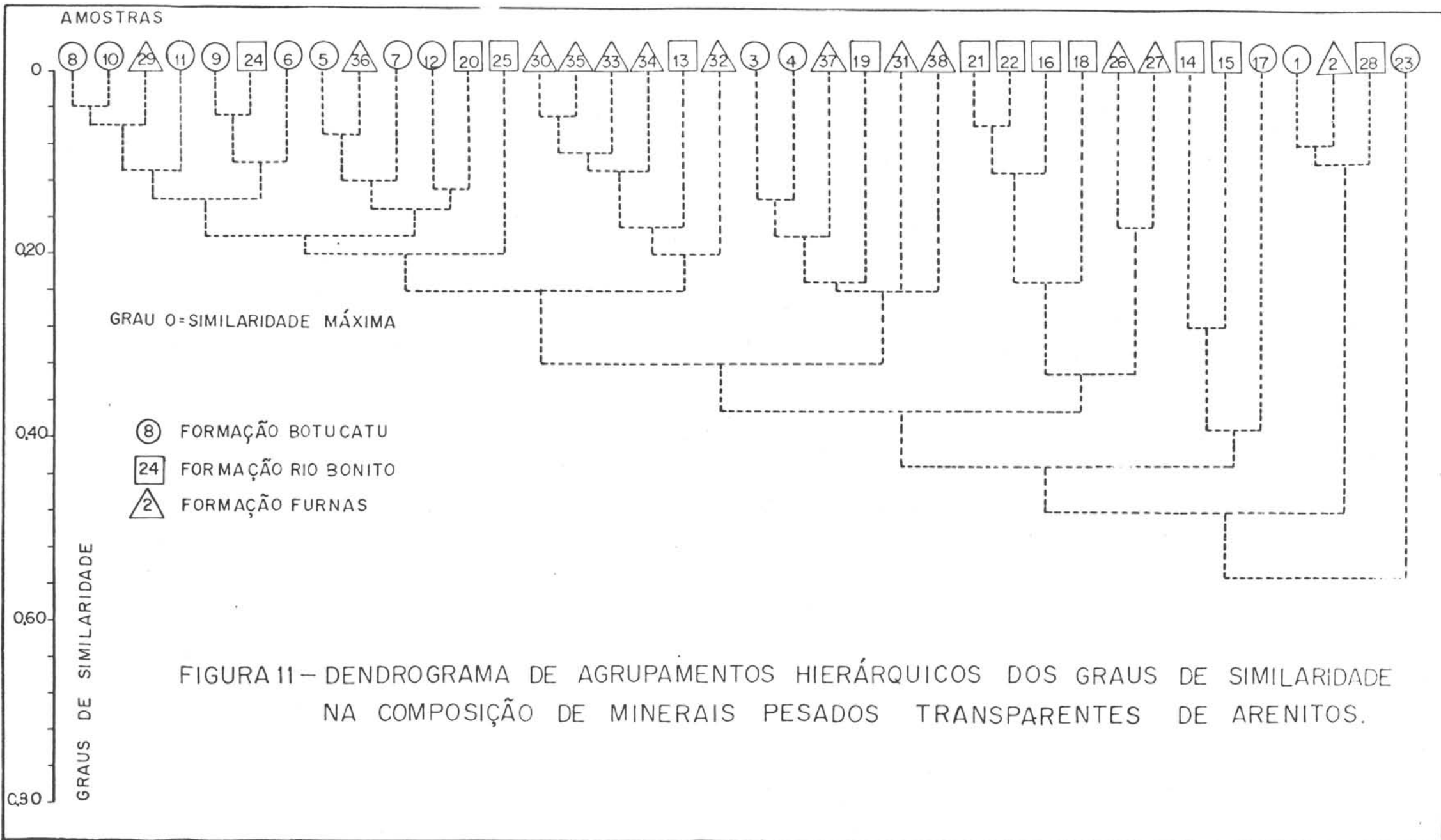


FIGURA 12— COMPARAÇÃO ENTRE MATURIDADE TEXTURAL (GRAU DE ARREDONDAMENTO DOS GRÃOS DE QUARTZO) E MATURIDADE MINERALÓGICA (ÍNDICE "ZTR") DAS TRÊS UNIDADES PARA O INTERVALO 0,125-0,062 MM.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
L-1	.00	.08	.33	.21	.38	.24	.37	.36	.30	.36	.33	.39	.43	.46	.46	.41	.54	.50	.46	.44	.39	.40	.55	.26	.40	.51	.52	.08	.38	.38	.48	.42	.37	.39	.37	.40	.40	.47
L-2	.08	.00	.29	.18	.35	.21	.32	.32	.26	.34	.29	.34	.44	.51	.43	.39	.51	.49	.41	.40	.38	.37	.54	.23	.38	.49	.50	.12	.37	.37	.45	.42	.36	.38	.37	.37	.37	.45
L-3	.33	.29	.00	.15	.23	.24	.24	.26	.19	.28	.24	.25	.43	.47	.44	.36	.51	.48	.23	.24	.31	.29	.51	.21	.32	.40	.45	.33	.30	.29	.24	.30	.27	.36	.31	.22	.15	.26
L-4	.21	.18	.15	.00	.21	.14	.23	.21	.15	.23	.21	.25	.37	.46	.39	.31	.48	.45	.28	.28	.30	.27	.49	.13	.26	.36	.42	.19	.25	.27	.30	.30	.27	.33	.28	.23	.20	.27
L-5	.38	.35	.23	.21	.00	.20	.12	.14	.11	.15	.16	.15	.33	.39	.35	.21	.44	.38	.26	.15	.18	.15	.47	.13	.15	.22	.28	.34	.12	.24	.32	.30	.25	.30	.25	.07	.16	.20
L-6	.24	.21	.24	.14	.20	.00	.18	.14	.11	.16	.11	.16	.31	.46	.35	.26	.47	.40	.32	.24	.23	.21	.46	.08	.26	.39	.42	.23	.20	.21	.35	.28	.18	.22	.22	.21	.21	.34
L-7	.37	.32	.24	.23	.12	.18	.00	.14	.12	.16	.11	.12	.33	.37	.29	.26	.42	.40	.24	.16	.20	.19	.43	.14	.14	.29	.34	.34	.16	.24	.34	.32	.22	.28	.25	.12	.18	.26
L-8	.36	.32	.26	.21	.14	.14	.14	.00	.12	.04	.07	.15	.23	.45	.32	.21	.45	.36	.30	.22	.20	.15	.46	.12	.17	.33	.36	.31	.07	.13	.32	.23	.11	.17	.14	.13	.17	.28
L-9	.30	.26	.19	.15	.11	.11	.12	.12	.00	.15	.11	.13	.33	.43	.36	.26	.45	.42	.28	.16	.22	.17	.45	.05	.19	.31	.32	.27	.17	.22	.33	.30	.22	.28	.24	.12	.17	.26
L-10	.36	.34	.28	.23	.15	.16	.16	.04	.15	.00	.09	.17	.18	.44	.31	.18	.45	.34	.32	.25	.19	.14	.46	.13	.18	.33	.35	.31	.05	.12	.33	.23	.13	.15	.12	.16	.19	.30
L-11	.33	.29	.24	.21	.16	.11	.11	.07	.11	.09	.00	.12	.27	.41	.28	.25	.43	.36	.27	.22	.20	.17	.46	.11	.18	.36	.38	.30	.13	.16	.33	.25	.14	.18	.17	.16	.18	.31
L-12	.39	.34	.25	.25	.15	.16	.12	.15	.13	.17	.12	.00	.36	.40	.37	.28	.47	.42	.28	.13	.20	.19	.47	.15	.24	.35	.40	.37	.21	.24	.35	.31	.21	.27	.27	.15	.17	.30
L-13	.43	.44	.43	.37	.33	.31	.33	.23	.33	.18	.27	.36	.00	.51	.33	.22	.47	.29	.43	.44	.29	.25	.51	.30	.30	.45	.39	.37	.19	.17	.38	.21	.20	.15	.13	.34	.33	.43
L-14	.46	.51	.47	.46	.39	.46	.37	.45	.43	.44	.41	.40	.51	.00	.28	.37	.39	.35	.33	.45	.34	.37	.60	.43	.37	.38	.32	.52	.44	.49	.51	.50	.48	.52	.50	.43	.44	.46
L-15	.46	.43	.44	.39	.35	.35	.29	.32	.36	.31	.28	.37	.33	.28	.00	.32	.38	.29	.32	.43	.30	.31	.55	.34	.29	.45	.38	.42	.31	.32	.45	.36	.31	.33	.32	.37	.38	.45
L-16	.41	.39	.36	.31	.21	.26	.26	.21	.26	.18	.25	.28	.22	.37	.32	.00	.39	.20	.37	.33	.12	.09	.48	.23	.24	.29	.23	.35	.17	.23	.39	.27	.25	.25	.23	.26	.28	.36
L-17	.54	.51	.51	.48	.44	.47	.42	.45	.45	.45	.43	.47	.47	.39	.38	.39	.00	.39	.46	.51	.39	.39	.51	.45	.44	.47	.42	.51	.44	.47	.53	.48	.45	.47	.46	.45	.46	.51
L-18	.50	.49	.48	.45	.38	.40	.40	.26	.42	.34	.36	.42	.29	.35	.29	.20	.39	.00	.43	.50	.24	.26	.55	.39	.40	.45	.32	.46	.33	.35	.48	.34	.35	.34	.34	.43	.43	.52
L-19	.46	.41	.23	.28	.26	.32	.24	.30	.28	.32	.27	.28	.43	.33	.32	.37	.46	.43	.00	.30	.32	.31	.53	.30	.29	.38	.40	.44	.31	.32	.24	.32	.31	.40	.35	.25	.20	.24
L-20	.44	.40	.24	.28	.15	.24	.16	.22	.16	.25	.22	.13	.44	.45	.43	.33	.51	.50	.30	.00	.26	.25	.48	.21	.25	.31	.40	.42	.26	.32	.38	.39	.31	.37	.35	.14	.20	.26
L-21	.39	.38	.31	.30	.18	.23	.20	.20	.22	.19	.20	.20	.29	.34	.30	.12	.39	.24	.32	.26	.00	.06	.47	.21	.25	.30	.27	.38	.19	.25	.38	.29	.24	.27	.26	.23	.25	.35
L-22	.40	.37	.29	.27	.15	.21	.19	.15	.17	.14	.17	.19	.25	.37	.31	.09	.39	.26	.31	.25	.06	.00	.46	.18	.22	.28	.26	.35	.14	.21	.35	.26	.26	.24	.22	.19	.22	.31
L-23	.55	.54	.51	.49	.47	.46	.43	.46	.45	.46	.46	.47	.51	.60	.55	.48	.51	.55	.53	.48	.47	.46	.00	.46	.47	.54	.47	.55	.35	.48	.53	.51	.48	.49	.49	.48	.48	.55
L-24	.26	.23	.21	.13	.13	.08	.14	.12	.05	.13	.11	.15	.30	.43	.34	.23	.45	.39	.30	.21	.21	.18	.46	.00	.19	.32	.35	.23	.16	.21	.34	.29	.20	.24	.22	.15	.19	.28
L-25	.40	.38	.32	.26	.15	.26	.14	.17	.19	.18	.18	.24	.30	.37	.29	.24	.44	.40	.29	.25	.25	.22	.47	.19	.00	.23	.28	.34	.15	.25	.36	.33	.27	.30	.25	.16	.24	.24
L-26	.51	.49	.40	.36	.22	.39	.29	.33	.31	.33	.36	.35	.45	.38	.45	.29	.47	.45	.38	.31	.30	.28	.54	.32	.23	.00	.17	.45	.30	.42	.44	.46	.44	.47	.42	.26	.34	.27
L-27	.52	.50	.45	.42	.28	.42	.34	.36	.32	.35	.38	.40	.39	.32	.38	.23	.42	.32	.40	.40	.27	.26	.47	.35	.28	.17	.00	.45	.31	.41	.46	.43	.43	.45	.41	.31	.39	.35
L-28	.08	.12	.33	.19	.34	.23	.34	.31	.27	.31	.30	.37	.37	.52	.42	.35	.51	.46	.44	.42	.38	.35	.55	.23	.34	.45	.45	.00	.33	.35	.44	.39	.34	.35	.33	.36	.37	.43
L-29	.38	.37	.30	.25	.12	.20	.16	.07	.17	.05	.13	.21	.19	.44	.31	.17	.44	.33	.31	.26	.19	.14	.35	.16	.15	.30	.31	.33	.00	.13	.31	.22	.16	.18	.13	.15	.19	.27
L-30	.38	.37	.29	.27	.24	.21	.24	.13	.22	.12	.16	.24	.17	.49	.32	.23	.47	.35	.32	.32	.25	.31	.48	.21	.25	.42	.41	.35	.13	.00	.27	.12	.08	.11	.05	.23	.19	.33
L-31	.48	.45	.24	.30	.32	.35	.34	.32	.33	.33	.33	.35	.38	.51	.45	.39	.53	.48	.24	.38	.38	.35	.35	.34	.36	.44	.46	.44	.31	.27	.00	.21	.30	.37	.30	.29	.19	.24
L-32	.42	.42	.30	.30	.30	.28	.32	.23	.30	.23	.25	.31	.21	.50	.36	.27	.48	.34	.32	.39	.29	.26	.51	.29	.33	.46	.43	.39	.22	.12	.21	.00	.15	.20	.15	.29	.22	.35
L-33	.37	.36	.27	.27	.25	.18	.22	.11	.22	.13	.14	.21	.20	.48	.31	.25	.45	.35	.31	.31	.24	.21	.48	.20	.27	.44	.43	.34	.16	.08	.30	.15	.00	.10	.09	.24	.21	.35
L-34	.39	.38	.36	.33	.30	.22	.28	.17	.28	.15	.18	.27	.15	.52	.33	.25	.47	.34	.40	.37	.27	.24	.49	.24	.30	.47	.45	.35	.18	.11	.37	.20	.10	.00	.10	.29	.28	.43
L-35	.37	.37	.31	.28	.25	.22	.25	.14	.24	.12	.17	.27	.13	.50	.32	.23	.46	.34	.35	.35	.26	.22	.49	.22	.25	.42	.41	.33	.13	.05	.30	.15	.09	.10	.00	.25	.22	.35
L-36	.40	.37	.22	.23	.07	.21	.12	.13	.12	.16	.16	.15	.34	.43	.37	.26	.45	.43	.25	.14	.23	.19	.48	.15	.16	.26	.31	.36	.15	.23	.29	.29	.24	.29	.25	.00	.12	.18
L-37	.40	.37	.15	.20	.16	.21	.18	.17	.17	.19	.18	.17	.33	.44	.38	.28	.46	.43	.20	.20	.25	.22	.48	.19	.24	.34	.39	.37	.19	.19	.19	.22	.21	.28	.22	.12	.00	.19
L-38	.47	.45	.26	.27	.20	.34	.26	.28	.26	.30	.31	.30	.43	.46	.45	.36	.51	.52	.24	.26	.35	.31	.55	.28	.24	.27	.35	.43	.27	.33	.24	.35	.35	.43	.35	.18	.19	.00

TABELA V: MATRIZ DE GRAU DE SIMILARIDADE DE COMPOSIÇÃO EM MINERAIS PESADOS TRANSPARENTES NO INTERVALO GRANULOMÉTRICO 0,250-0,062 MM ENTRE 38 AMOSTRAS DE ARENITOS DA BACIA DO PARANÁ

(zircão — turmalina — rutilo).

Este gráfico mostra também uma variação errática no comportamento das tres unidades, não sendo possível estabelecer propriedades características para cada formação.

ANÁLISES DE TIPOS DE FORMA / ARREDONDAMENTO DE MINERAIS PESADOS ESTÁVEIS

Foi visto anteriormente que a análise quantitativa dos tipos dominantes de minerais pesados transparentes não possui um bom poder de resolução na distinção e caracterização das unidades geológicas.

De forma análoga às classes de forma/arredondamento estabelecidas por MACKENZIE e POOLE (1962:65) para turmalinas, os autores deste trabalho examinaram em detalhes a forma (esfericidade) e arredondamento de zircão, turmalina e estauroлита das tres formações considerando-se também os seus graus de alteração.

Os diferentes tipos, que predominam nas suas assembléias de minerais pesados transparentes, foram estabelecidos conforme os esquemas da figura 13. Em resumo, os diferentes tipos podem ser definidos do seguinte modo:

Turmalina e zircão

Botucatu — Grãos esféricos e bem arredondados, às vezes com pequenas indentações.

Rio Bonito — Partículas prismáticas com bordos arredondados ou ligeiramente *serrilhados*.

Furnas — Formas prismáticas com bordos angulosos e terminações piramidais (o zircão pode apresentar freqüentes intercrescimen-

tos).

Estauroлита

Botucatu — Eqüidimensional com pouca alteração superficial.

Rio Bonito — Alongada com alteração superficial (*em escamas*).

Furnas — Bordas *serrilhadas* e com alteração superficial (*em escamas*).

As formações sedimentares paleozóicas das Bacias do Paraná e Parnaíba se caracterizam pela freqüência muito pequena de minerais pesados transparentes e, além disso, as variedades encontradas são praticamente minerais que definem o índice ZRT. Os autores acreditam que a detida observação das peculiaridades, dos tipos aqui descritos, pode permitir o reconhecimento de tipos particulares de zircão, turmalina ou rutilo em cada unidade geológica, constituindo-se, portanto, em um instrumento muito interessante na correlação e diferenciação de camadas sedimentares. O resultado pode ser mais prontamente visualizado se forem feitas contagens dos diferentes tipos de zircão, turmalina e rutilo e construindo-se um gráfico (por exemplo: diagrama triangular) como fizeram MACKENZIE e POOLE (Op. cit.).

CONCLUSÕES

a) Os graus de seleção, expressos pelos valores de desvio padrão, e os diâmetros médios das distribuições granulométricas, exibem uma tendência de variação do Arenito Furnas para o Arenito Botucatu, a medida que se sobe na coluna estratigráfica, os quais apoiam a hipótese inicial dos retrabalhamentos sucessivos dos sedimentos.

b) As amostras de arenitos das tres forma-

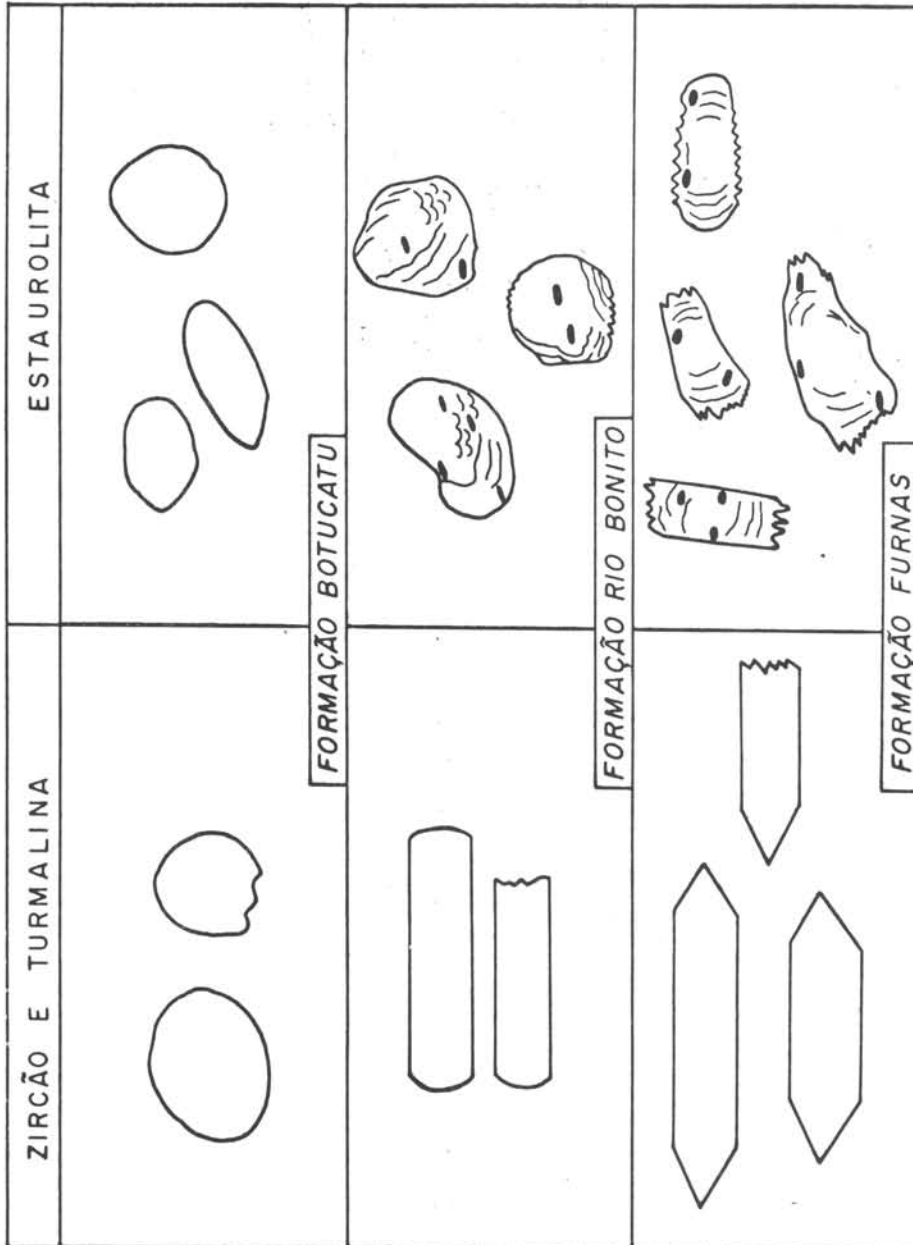


FIGURA 13 – CLASSES DE FORMA/ARREDONDAMENTO DE ALGUNS MINERAIS PESADOS TRANSPARENTES COMUNS ÀS TRES UNIDADES

ções apresentam distribuições granulométricas que indicam, através do teste de SAHU, características de deposição em ambiente fluvial.

c) As variações dos graus de arredondamento dos grãos de quartzo, que aumentam para unidades cada vez mais novas, reforçam a hipótese inicial de retrabalhamentos sucessivos na área pesquisada.

d) As variações de frequência numérica dos minerais pesados transparentes estáveis (zircão e turmalina) e semi-estáveis (estauroлита) parecem também corroborar com idéia expressa na hipótese inicial desta pesquisa.

e) As variações de frequência numérica

dos minerais pesados transparentes estáveis definem um padrão de distribuição, cuja variância é maior entre as amostras de uma mesma formação do que entre as amostras de formação diferentes não servindo, portanto, como instrumento de correlação e distinção desses sedimentos.

f) As análises de tipos de forma/arredondamento/grau de alteração de minerais pesados estáveis e semi-estáveis prometem ser um instrumento bastante eficiente, com possibilidade de aplicação em todos os casos onde as frequências numéricas puras das espécies de minerais pesados presentes não constituem um caráter distintivo entre as formações geológicas.

BIBLIOGRAFIA

- BIGARELLA, J.J., 1949, *Contribuição à petrografia dos arenitos da Série São Bento* – Arquivos de Biol. e Tecnol., vol. IV, Art. 17: 141-214, Curitiba.
- FOLK, R.L. and WARD, W.C., 1957, *Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters* – *Journal of Sed. Petrol.*, 27: 3-27.
- FRIEDMAN, G.M., 1961, *Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics* – *Journal of Sed. Petrol.*, 31: 514-524.
- FRIEDMAN, G.M., 1967, *Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands* – *Journal of Sed. Petrol.*, 37: 327-353.
- FÚLFARO, V.J., 1971, *A evolução tectônica e paleogeográfica da Bacia Sedimentar do Paraná pelo trend surface analysis* – Escola de Engenharia de São Carlos da Univ. de São Paulo, Geol. nº 14, 112 p.
- GOÑI, J.C. e DELANEY, P.J.V., 1961, *Estudos estatísticos dos minerais pesados da Formação Botucatu* – Bol. Univ. do Paraná, Geol. nº 6, 27 p.
- KRUMBEIN, W.C., 1941, *Measurement and geologic significance of shape and roundness of sedimentary particles* – *Journal of Sed. Petrol.*, 11: 64-72.
- MACKENZIE, D.B. and POOLE, D.M., 1962 – *Provenance of Dakota Group Sandstones of the Western Interior* – Wyoming Geological Association Symposium on Early Greataceous Rocks 17 th Annual Field Conference: 62-71.
- NORTHFLEET, A.A.; MEDEIROS, R.A. e

- MUHLMANN, H., 1969, *Reavaliação dos dados geológicos da Bacia do Paraná* – Bol. Técn. Petrobrás, 12(3): 292-346.
- PARKS, J.M., 1966, *Cluster analysis applied to multivariate geologic problems* – Journal of Geol., 74: 703-715.
- SAHU, B.K., 1964, *Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments* – Journal of Sed. Petrol., 34: 78-83.
- SOARES, P.C., 1973, *O Mesozóico Gondwânico no Estado de São Paulo*-Tese de Doutorado (inérita) – Fac. Filo. Ciên. e Letras de Rio Claro, SP.
- SOKAL, R.R. and SNEATH, P.H.A., 1963, *Principles of numerical taxonomy* – W.H. Freeman and Co.
- VIEIRA DE CARVALHO, A.M., 1954, *Contribuição ao estudo petrográfico do Arenito Botucatu no Estado de São Paulo* – Bol. Soc. Bras. Geol., 3(1): 51-72.