

SAMPLE 13 — Oriented gray andesite with porphyritic texture. Masses of perthitic orthoclase up to 1 cm, carbonate, amphibole, biotite, and opaque minerals, up to 3 mm, occur in a trachytic and feldspathic matrix with some carbonate, quartz, apatite, opaque minerals and titanite.

Sample location — 3 km from Sapucaí towards Santa Isabel.

Collector — D. Comte

SAMPLE 14 — Diabase with ophitic texture, composed of plagioclase, pyroxene, opaque minerals and some chlorophite.

Sample location — 7 km from Colonia Independencia, N of Ybytyruzu Range.

Collector — D. Comte

SAMPLE 15 — Very fine grained holocrystalline diabase, ophitic texture, composed of plagioclase, pyroxene, opaque minerals and some chlorophite. Slightly weathered.

Sample location — Capitán Miranda, 22 km NE of Encarnación.

Collector — D. Comte

SAMPLE 16 — Porphyritic basalt with phenocrysts of pyroxene, olivine, opaque minerals in a very fine grained matrix of plagioclase, opaque minerals, pyroxene and some glass. Olivine is partially serpentinized.

Sample location — Cerro Tacambu Highway, Asunción.

Collector — D. Comte

SAMPLE 17 — Dark gray very fine grained holocrystalline phonolite, with porphyritic texture due to nepheline phenocrysts up to 2 mm, perthitic feldspars, amphibole, opaque minerals and biotite in a non-oriented matrix of the same minerals, besides apatite and titanite.

Sample location — Pão de Açúcar, about 25 km N of Pôrto Murinho, in the Paraguay River valley.

Collector — F. F. M. de Almeida (field number: MT-132).

OS ANFIBOLITOS DA REGIÃO MORRETES-ANTONINA (PR)

VICENTE A. V. GIRARDI

Departamento de Mineralogia e Petrologia
do Instituto de Geociências e Astronomia da
Universidade de São Paulo

ABSTRACT Two metamorphic zones have been established for rocks of the Morretes-Antonina area, State of Paraná, Brazil. The first one is composed chiefly of oligoclase-andesine gneisses interbedded with gneisses, oligoclase-andesine amphibolites, and andesine-labradorite amphibolites. The second, which has been affected by retrograde metamorphism exhibits albite gneisses, albite amphibolites, magnesian schists, chlorite schists, and magnetite quartzites. The mineral assemblages for those zones are consistent respectively with the amphibolite facies and greenschist facies of metamorphism.

The andesine-labradorite amphibolites, showing no evidence of retrogressive metamorphism, are composed essentially of brown hornblende and plagioclase An_{40-54} . The oligoclase-andesine amphibolites exhibit plagioclase An_{25-35} , as well as brown and green hornblende.

Albite (An_0-5), epidote, and actinolite are major minerals on the albite amphibolite group. Mineralogical breakdowns from hornblende to actinolite, or to biotite plus chlorite, and from calcic plagioclase to sodic plagioclase plus epidote, are common features of these rocks.

No significant chemical variations have been registered for the low and high-grade amphibolites. The Niggli numbers st , alk , and k are only slightly greater for the albite amphibolites than for the andesine amphibolites, whereas the mg value is lower for the former. The chemical data for major elements indicate that the amphibolites are of igneous parentage.

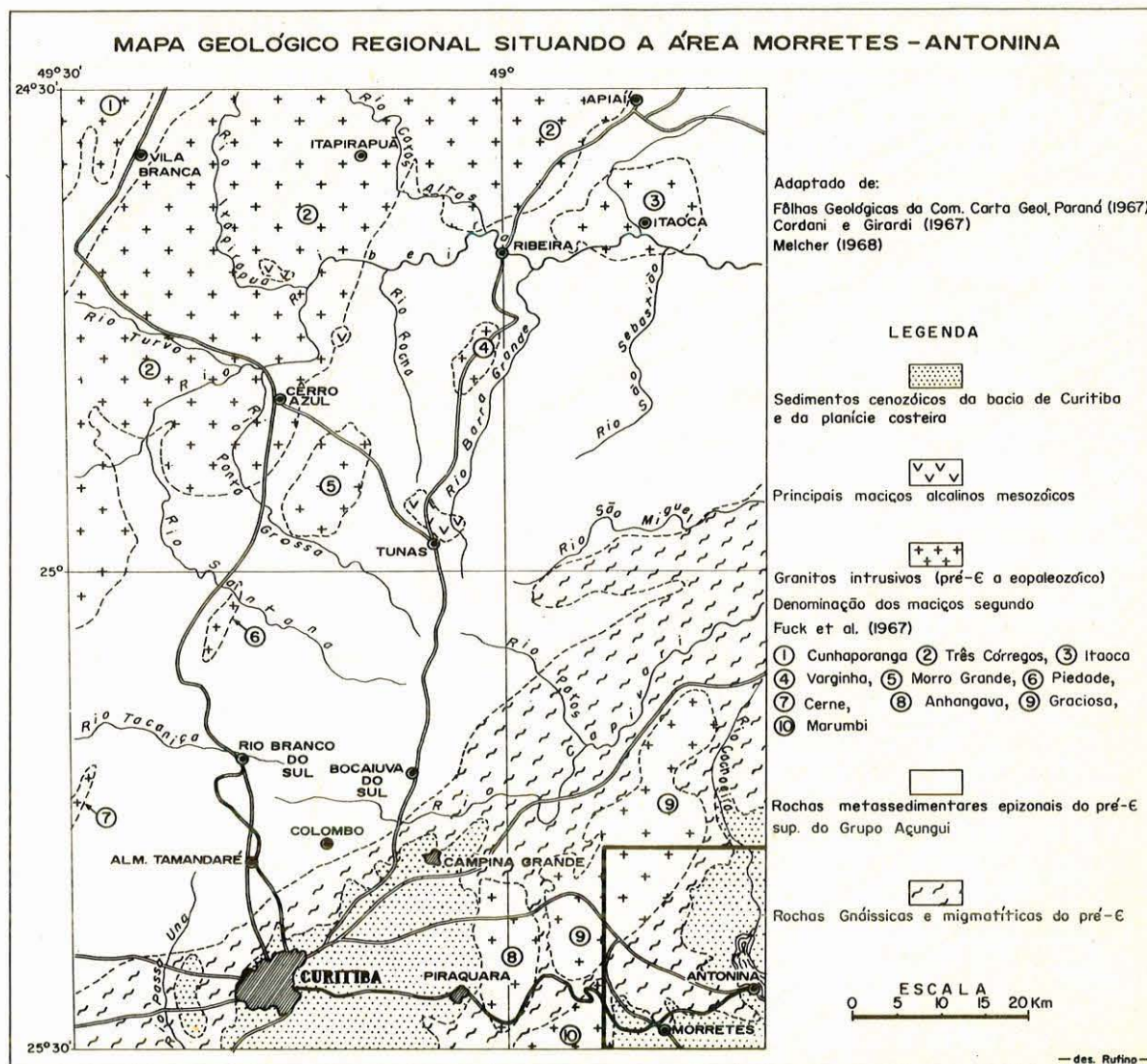


Figura 1

magnetita e clorita xistos (Girardi, 1969). Evidentemente a intensidade do fenômeno variou com litologia, permeabilidade, estrutura e tipo de mineral primário das rochas.

Em época bem posterior aos fenômenos acima mencionados ocorreu o vulcanismo básico, responsável pelo aparecimento de diques de diabásios e dioritos pórfiros. Tal evento ocorreu entre 117 e 147 m. a. (Amaral *et al.* 1966; Melfi, 1967).

Mineralogia No estudo mineralógico, serão tratados com maiores pormenores os minerais mais importantes, característicos das principais variedades de anfíbolitos.

Os anfíbólios cálcicos foram agrupados em diversas categorias, em decorrência de variações nos índices de refração, ângulos axiais, fórmulas pleocróicas, hábitos e cores. A divisão inicial foi efetuada em função do gráfico de Shidô e Miyashiro (1959), no qual

MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO DE MORRETES-ANTONINA, PR

Modificado e Ampliado de Cordani e Girardi (1967)

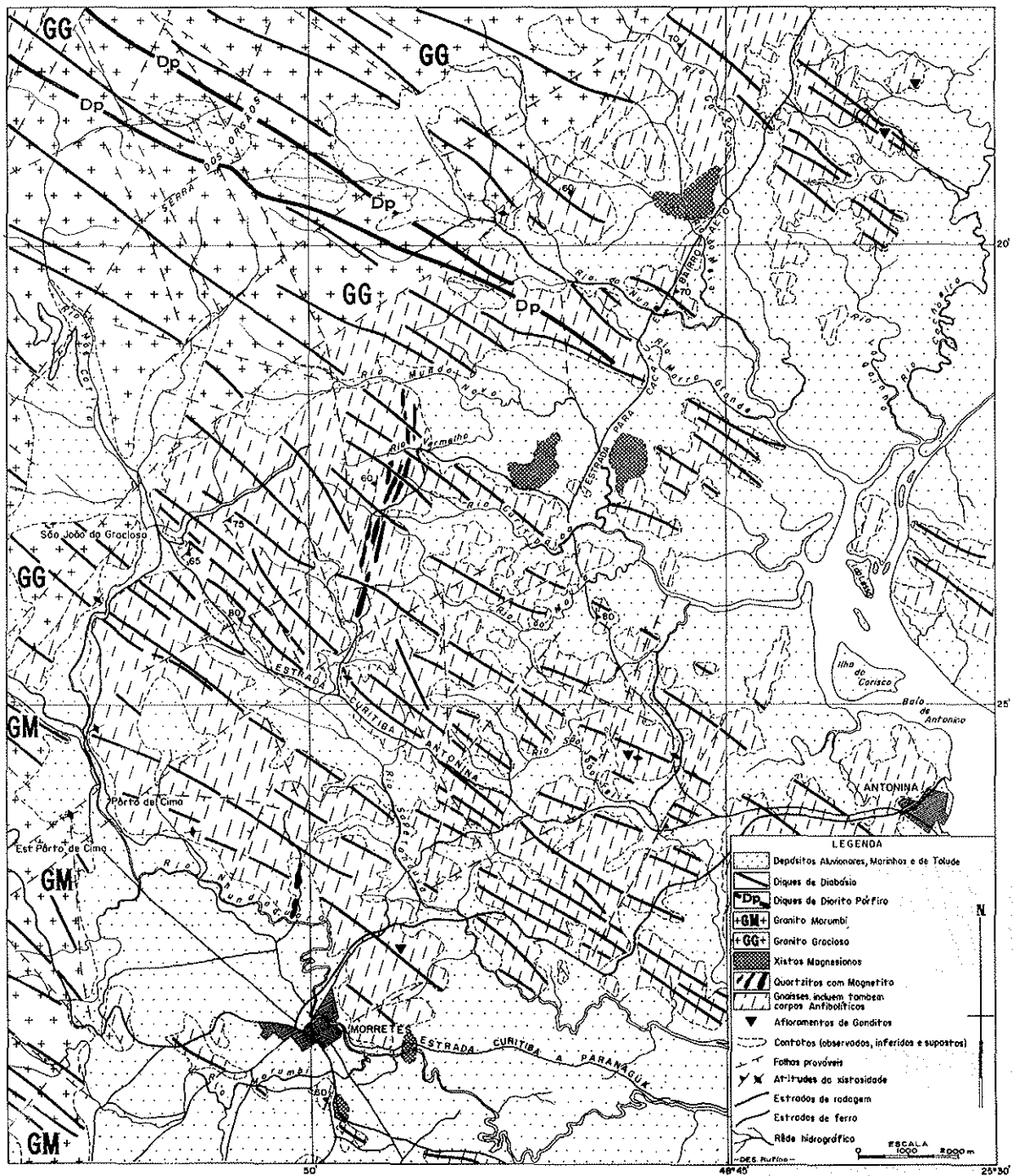


Figura 2 — Mapa geológico da região de Morretes-Antonina

a separação entre hornblendas e actinolitas fundamenta-se nos valores de $2V_x$ e N_y (Fig. 4). Segundo esse método, ambos os tipos de anfibólio ocorrem nos anfibólitos; e cada um deles pode ser subdividido.

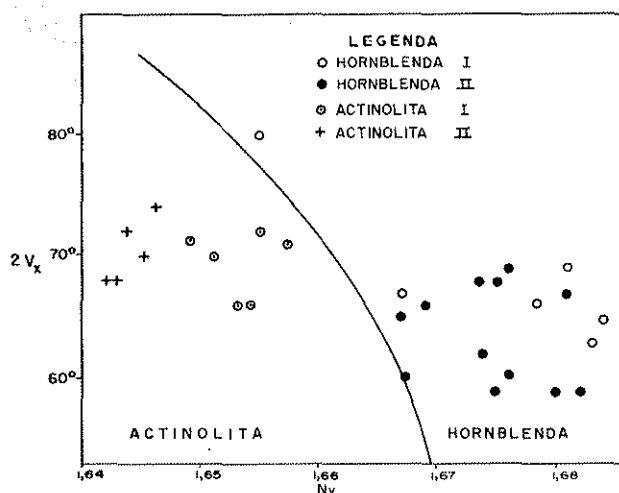


Figura 4 — Projeção dos índices N_y e dos ângulos $2V_x$ de actinolitas e hornblendas dos anfibólitos de Morretes-Antonina no diagrama de Shidô e Miyashiro (1959)

HORNBLENDA Foram observadas duas variedades de hornblenda, denominadas I e II, cujas cores e fórmulas pleocróicas são totalmente diferentes.

A hornblenda I tem pleocroísmo Z = castanho (por vezes com tons levemente esverdeados), Y = castanho (por vezes esverdeado) e X = amarelo. O tamanho dos cristais varia entre 0,4 e 3 mm, sendo que os maiores restringem-se aos anfibólitos de grau mais elevado, enquanto que os menores aparecem nos anfibólitos afetados pelo metamorfismo retrógrado. As medidas dos ângulos axiais situam-se, com exceção de uma amostra, entre 63° e 69°. N_y varia de 1,655 a 1,681 (Fig. 4 e Tab. 1), e Z A C de 16° a 19° (Tab. 1). Quando presentes em anfibólitos de grau metamórfico mais elevado, não atingidos pelo metamorfismo regressivo, esses minerais apresentam forte tendência ao idiomorfismo e não mostram transformações, quer para outros tipos de anfibólios, quer para outros minerais. Nos anfibólitos retrometamorfizados, as hornblendas castanhas, quando existentes, constituem restos, ora ocorrendo como núcleos de outros anfibólios, ora transformadas em associações de diversos minerais.

A hornblenda II apresenta pleocroísmo Z = verde-escuro (por vezes com leves tons castanhos), Y = verde, X = amarelo. O tamanho desses minerais varia entre 0,1 a 2,5 mm; N_y situa-se entre 1,667 e 1,682, Z A C entre 16° e 18° e $2V_x$ entre 58° e 69° (Tab. 1). Esse tipo de hornblenda ocorre em diversas situações texturais. Foi encontrada em uma amostra de anfibólito de alto grau metamórfico sob forma de mineral primário inalterado. Nos anfibólitos de baixo grau, aparece de diversos modos: a) como produto de transformação da hornblenda I; b) sob forma de núcleo remanescente em actinolitas; c) transformada quase inteiramente em associações de outros minerais secundários, nos quais se incluem clorita, biotita, quartzo, epidoto e titanita.

Vários estudos têm sido executados, visando a correlação entre propriedades físicas, composição química das hornblendas e grau do metamorfismo dos anfibólitos que as contêm. Deer (1938) observou que o aumento no conteúdo de titânio provoca a intensificação de cor castanha nesses minerais. Essa afirmativa foi corroborada por Binns (1965) e Engel e Engel (1962). Neste último trabalho os Autores observaram que os anfibólitos pertencentes à fácies almandina-anfibólito contêm hornblenda verde-azul. Com o aumento do grau

Tabela I
Propriedades ópticas dos anfibólios dos anfibolitos

Amostra	Tipo de Anfibólio	$2V_x$	N_y	Z A C
A - 184	Hornblenda I	80°	1,655	19°
Mo - 79	Hornblenda I	67°	1,667	17°
Mo - 42	Hornblenda I	66°	1,678	—
A - 500	Hornblenda I	69°	1,681	17°
Mo - 231	Hornblenda I	63°	1,683	16°
A - 420	Hornblenda I	65°	1,684	16°
A - 306	Hornblenda II	60°	1,667	—
A - 307	Hornblenda II	65°	1,667	—
A - 378	Hornblenda II	66°	1,669	—
A - 25a	Hornblenda II	— —	1,668	—
Mo - 42	Hornblenda II	— —	1,670	—
A - 467	Hornblenda II	62°	1,674	—
A - 413	Hornblenda II	68°	1,674	—
A - 337b	Hornblenda II	— —	1,674	—
A - 37a	Hornblenda II	58°	1,675	16°
A - 420	Hornblenda II	68°	1,675	16°
A - 370	Hornblenda II	60°	1,676	—
Mo - 267	Hornblenda II	69°	1,676	18°
A - 295a	Hornblenda II	58°	1,680	—
A - 269	Hornblenda II	67°	1,681	—
Mo - 249	Hornblenda II	58°	1,682	16°
A - 25a	Actinolita I	71°	1,649	16°
Mo - 267	Actinolita I	70°	1,652	17°
A - 337b	Actinolita I	66°	1,653	—
Mo - 249	Actinolita I	66°	1,654	16°
Mo - 42	Actinolita I	72°	1,655	18°
A - 37a	Actinolita I	71°	1,657	17°
A - 269	Actinolita II	68°	1,642	—
A - 337b	Actinolita II	68°	1,643	—
Mo - 249	Actinolita II	72°	1,644	14°
A - 500	Actinolita II	70°	1,645	—
Mo - 42	Actinolita II	74°	1,646	17°
A - 25a	Actinolita II	— —	1,646	—
A - 420	Actinolita II	— —	1,649	—

metamórfico essa cor se alterou, e na fácies hornblenda-granulito tais minerais exibem cor castanha. As mudanças químicas que ocorreram no advento do metamorfismo progressivo incluem aumento de Ti, Na, K, Cr, V e Sc e decréscimo de Mn, Zn, OH + F + Cl e nas relações Fe_2O_3/FeO e Fe/Mg .

Leake (1965) afirmou que em grande número de anfibolitos o conteúdo de titânio na hornblenda pode ser usado como medida de temperatura de cristalização.

No que diz respeito às hornblendas descritas, apesar de inexistência de análises químicas, fato que restringe sobremaneira o estudo, algumas observações podem ser efetuadas. Nos andesina-labradorita anfibolitos, cujo grau metamórfico é o mais elevado da região, as hornblendas são castanhas. A única exceção refere-se à amostra A-378, na qual a hornblenda presente é verde-escuro. Nos anfibolitos retrometamórficos é nítida a instabilidade das hornblendas, em especial da hornblenda I (castanha) que sempre aparece sob

forma de cristais remanescentes quase totalmente substituídos por actinolitas e por associações de outros minerais incluindo clorita, biotita, quartzo, epidoto e titanita. Deduz-se desses fenômenos que a hornblenda castanha é o mineral mais estável nas temperaturas mais elevadas, e a se julgar pelos trabalhos de Deer (1938), Binns (1965), Engel e Engel (1962) e Leake (1965) deve conter teor relativamente elevado de titânio.

ACTINOLITA Os minerais pertencentes ao grupo das actinolitas, definidos de acordo com a Fig. 4, de Shidô e Miyashiro (1959), foram subdivididos em actinolita I e actinolita II.

Actinolita I exhibe pleocroísmo Z = verde-claro (por vezes com tons azulados); Y = verde-claro e X = amarelo. Frequentemente apresenta inclusões de quartzo e opacos. As dimensões dos cristais variam, em média, entre 0,3 e 1,5 mm. Os índices de refração N_y exibem valores entre 1,649 e 1,657; os ângulos $2V$ e $Z \wedge C$ medem de 66° a 72° e de 16° a 18° , respectivamente (Tab. 1).

A actinolita II mostra geralmente hábito fibroso. As dimensões de seus cristais são comumente as menores dentre os anfibólios descritos, variando, em média, entre 0,1 e 0,3 mm. Exibe cores claras: Z = verde-pálido; Y = verde-amarelo pálido; X = amarelo a incolor. As medidas para N_y situam-se entre 1,642 e 1,649; $2V$ varia entre 74° e 68° , e $Z \wedge C$ entre 14° e 17° . Geminação é rara nesses minerais.

A ocorrência das actinolitas está restrita aos anfibólitos afetados pelo metamorfismo regressivo. Em várias secções as evidências texturais indicam sua proveniência a partir das hornblendas. São comuns os núcleos remanescentes de hornblendas cercados por actinolitas, que também estão presentes nas fendas e fraturas daqueles minerais. Em algumas amostras nota-se também a presença de pseudomorfos de anfibólio, possivelmente antigas hornblendas, completamente preenchidas por agulhas de actinolita II.

Cloritas, acompanhadas de titanita e por vezes de quartzo, são produtos de transformação das actinolitas.

O exame da Fig. 4 evidencia os índices mais altos e $2V$ mais baixos das hornblendas em relação às actinolitas. Essa correlação é comum em anfibólitos cálcicos e relaciona-se à diferenças nos teores de vários elementos nesses minerais, em particular ferro, alumínio, titânio, silício e magnésio. Enquanto as hornblendas verdes e castanhas não evidenciaram diferenças muito nítidas em relação ao índice de refração, nas actinolitas essa propriedade separa nitidamente as variedades I e II.

PLAGIOCLÁSIO As dimensões dos cristais de plagioclásio variam de 0,1 a 3 mm. Quando geminados obedecem geralmente à lei da albita. Albita-Carlsbad e periclínio são relativamente raros. Em várias secções, notou-se a ocorrência simultânea de albita e periclínio. A determinação do teor de anortita revelou a presença de três tipos de plagioclásios: An_{0-5} , An_{25-35} e An_{40-54} . Nas albitas, observou-se, em todos os casos, a presença de numerosas inclusões de epidoto. Essa feição foi também assinalada em vários plagioclásios de intervalo An_{25-35} . No grupo An_{40-54} porém, somente em uma amostra ocorrem raras inclusões de epidoto. A reação envolvendo plagioclásio e epidoto será analisada no item referente à petrogênese. Estrutura zonada e sericitização são fenômenos relativamente raros.

EPÍDOTO Os epidotos são geralmente alongados e exibem forte tendência ao idiomorfismo. Esses minerais apresentam vários modos de ocorrência:

a) estão presentes em quantidades pequenas, disseminados na rocha. Os epidotos desse grupo possuem dimensões relativamente grandes (0,1 – 0,4 mm) e muitas vezes são pleocróicos (X = incolor, Y = amarelo). Não parecem provir da alteração de outros minerais, sendo provavelmente primários;

b) aparecem incluídos nos plagioclásios. Esse grupo é formado por epídotos incolores de dimensões reduzidas (0,02 – 0,07 mm), e ocorrem em vários oligoclásio-andesina anfibolitos. O modo de ocorrência desses minerais indica sua proveniência a partir de plagioclásios cálcicos;

c) constituem um dos produtos da transformação de anfibólitos. Em numerosas secções de albita anfibolitos e em várias de oligoclásio-andesina anfibolitos notou-se a alteração retrometamórfica dos anfibólitos, produzindo, além de epídoto, clorita, biotita, titanita e, por vezes, quartzo associado;

d) ocorrem sob forma de veios, e são posteriores aos demais minerais da rocha.

A variedade pistacita predomina largamente sobre clinozoisita, que foi determinada somente em algumas secções. Os dados ópticos da pistacita são: $2V_x = 74^\circ$ e $N_y = 1,740$. No caso de clinozoisita os valores medidos são $2V_z = 89^\circ$ e $N_y = 1,710$. Segundo o diagrama de Tröger (1956) esses valores correspondem aproximadamente a teores de 23% e 7% da molécula de $Ca_2Fe_3^{3+}Si_3O_{12}(OH)$, respectivamente.

BIOTITA As dimensões das biotitas estão por volta de 0,1 – 0,3 mm. São fortemente pleocróicas (Z = castanho, por vezes com tons avermelhados e X = amarelo). O índice de refração N_y varia de 1,622 a 1,636 e $2V$ é 0° . Esse mineral ocorre por vezes em cristais isolados e comumente em íntima associação com anfibólitos e cloritas. A transformação anfibólio $\rightarrow$ biotita é evidenciada pelo fato deste último mineral ocupar fendas e fraturas dos anfibólitos.

CLORITA As cloritas existentes nos anfibolitos possuem, em geral, dimensões reduzidas, ao redor de 0,08 – 0,12 mm. São pleocróicas, e suas cores variam de verde a amarelo. Os valores de N_y situam-se entre 1,616 e 1,628; a birrefringência é baixa, e cores anômalas de interferência são comuns.

Quantidades significativas de cloritas restringem-se aos anfibolitos albiticos. Nos oligoclásio-andesina ou andesina-labradorita anfibolitos, esses minerais são inexistentes ou ocorrem em quantidades diminutas. Esse fenômeno prende-se ao fato de que cloritas são produtos retrometamórficos de anfibólitos ou biotitas e portanto aparecem em porcentagem considerável nos anfibolitos profundamente afetados pelo metamorfismo regressivo.

QUARTZO Está presente na maioria das amostras estudadas. Tem dimensões variáveis, entre 0,02 e 3 mm. Ocorre associado ao plagioclásio, em bandas alternadas com as de anfibólio, ou encontra-se disseminado na rocha. Além desses dois modos de ocorrência, notou-se a presença desse mineral incluído em actinolitas; ou, por vezes, associado a clorita, biotita, epídoto e titanita. Nestes dois últimos casos suas dimensões são geralmente muito reduzidas. Em algumas amostras exibe sinais de deformação (extinção ondulante e fraturamento).

TITANITA Apresenta diversos modos de ocorrência: a) sob forma de mineral isolado, disseminado na rocha; b) em pequenos agregados, cujos cristais são xenomorfos; c) associada a opacos; d) incluída em cloritas. Neste último caso parece ser subproduto da transformação de anfibólio em clorita. Sua origem dever-se-ia à liberação de titânio que não entrou na estrutura das cloritas.

OPACOS Para fins de identificação foram efetuados diversos difratogramas de resíduos opacos. Esses gráficos revelaram a presença de magnetita e ilmenita. Em todos os anfibolitos albiticos e em alguns a oligoclásio-andesina ocorrem núcleos residuais de ilmenitas cercados por titanitas (Fotomicrografia 1). Essa transformação é mais uma evidência do metamorfismo regressivo.



Fotomicrografia 1 — Cristal de ilmenita parcialmente transformado em titanita. Rocha albita anfibolito. Nícois des-cruzados. Aumento 200 ×

PIROXÊNIO Os piroxênios ocorrem em quatro amostras estudadas. Exibem cor verde muito clara ou são incolores. Suas dimensões giram em torno de 0,1 – 0,4 mm. Os valores de N_y , 1,709 a 1,720, e os de $2V_z$, 56° a 59°, respectivamente, indicam tratar-se de membro ferrosalítico da série diopsídio-hedenbergita (Hess, 1949). $Z \wedge C$ varia de 41° a 43°.

OUTROS MINERAIS Apatita é acessório relativamente comum. Geralmente idiomórfico, possui dimensões ao redor de 0,1 – 0,2 mm.

O zircão é muito raro. Aparece somente em duas amostras. Geralmente é arredondado.

Sericita é produto secundário, proveniente da alteração dos plagioclásios. Suas dimensões estão ao redor de 0,3 mm.

Granada foi determinada somente em um andesina-labradorita anfibolito. O tamanho dos cristais é 0,3 mm, em média.

Calcita está presente em uma única amostra, em quantidade insignificante. É intersticial e secundária.

Tabela II — ANÁLISES

	Andesina-Labradorita		Anfibolitos		Oligoclásio-Andesina		Anfibolitos	
	Mo-79	Mo-231	A-378	A-184	A-413	A-467	A-306	A-370
Actinolita	—	—	—	—	—	—	—	—
Hornblenda	67,0	34,4	74,8	60,2	68,8	75,5	53,7	39,6
Plagioclásio	29,6	40,4	12,6	28,2	17,4	2,6	25,3	24,0
Epidoto	Tr	3,8	7,2	8,7	6,2	1,2	12,0	11,3
Biotita	—	—	—	—	—	—	—	16,2
Clorita	0,8	Tr	—	—	—	—	—	—
Quartzo	0,8	8,0	4,4	1,7	3,5	10,2	3,2	5,2
Titanita	—	Tr	1,0	1,2	3,5	0,2	1,0	3,0
Opacos	Tr	7,4	Tr	—	0,5	0,5	4,7	0,2
Apatita	—	0,2	—	—	0,4	0,6	—	0,4
Zircão	Tr	—	—	—	—	Tr	—	—
Piroxênio	1,8	5,6	—	—	—	8,5	—	—
Granada	—	Tr	—	—	—	—	—	—
Calcita	—	—	—	—	—	—	—	—
Teor de An nos Plagioclásios	An ₄₆	An ₄₀	An ₅₀	An ₅₄	An ₃₄	An ₃₃	An ₃₅	An ₃₃

A presença de feldspato potássico e prehnita está restrita à amostra A-379. O feldspato potássico forma intercrescimentos gráficos com o quartzo e ocorre sob forma de veios que cortam a rocha. Sua origem deve estar relacionada à ação metassomática do granito.

Petrografia O estudo petrográfico dos anfibolitos da região Morretes-Antonina permitiu a classificação dessas rochas em três tipos diferentes. Essa divisão foi efetuada levando-se em conta, principalmente, o teor de anortita dos plagioclásios. Nos andesina-labradorita anfibolitos, de grau metamórfico mais elevado, o teor de anortita varia de An_{40-54} ; os intermediários, intitulados oligoclásio-andesina anfibolitos, possuem An_{25-35} . Os anfibolitos albiticos, mais fortemente afetados pelo metamorfismo regressivo, têm An_{0-5} . À medida que a basicidade do plagioclásio diminui em consequência do retrometamorfismo, consideráveis alterações mineralógicas e texturais aparecem nessas rochas. A Fig. 5, elaborada a partir da Tab. 2, exibe as análises modais dos principais minerais dos três tipos de anfibolitos. A finalidade desse gráfico foi mostrar o comportamento modal desses minerais durante o evento retrometamórfico.

ANDESINA-LABRADORITA ANFIBOLITOS Na região delimitada para estudo (Fig. 1) ocorrem somente dois afloramentos de andesina-labradorita anfibolitos (A-378 e A-184). Em decorrência desse fato, procurou-se encontrar, fora dessa zona, amostras adicionais para tornar o estudo mais representativo. Essa é a razão pela qual as rochas Mo-79 e Mo-231, escolhidas para esse fim, não estão representadas na Fig. 3. Ocorrem na extremidade noroeste da fôlha de Morretes (Cordani e Girardi, 1967), intercaladas nos migmatitos regionais.

Os andesina-labradorita anfibolitos são comumente equigranulares, nematoblásticos ou granoblásticos. A associação mineralógica característica constitui-se de hornblendas e plagioclásios (An_{40-54}). As hornblendas são predominantemente castanhas, e não se transformaram em actinolitas ou biotitas, minerais inexistentes nessas rochas. As relações texturais mostraram que os clinopiroxênios existentes formaram-se contemporaneamente aos demais minerais primários. Portanto, sua presença deve-se ao grau de metamorfismo

MODAIS DOS ANFIBOLITOS

Albita Anfibolitos								
Mo-267	A-500	A-420	A-337b	Mo-249	A-37a	Mo-269	A-481	A-478a
13,0	23,6	17,0	16,0	31,0	27,4	5,7	33,2	11,3
50,0	17,6	39,0	5,0	3,4	4,8	25,6	4,8	4,0
25,0	35,2	14,6	11,6	15,0	8,1	36,3	11,0	10,0
4,0	18,4	11,4	39,0	37,2	38,6	15,0	41,4	29,0
—	1,0	3,8	19,0	0,8	12,4	Tr	1,4	25,0
—	1,2	2,8	3,8	4,0	—	10,2	—	1,5
6,0	Tr	9,6	1,3	1,3	3,5	4,0	1,4	13,3
—	0,5	—	3,0	1,3	2,0	Tr	—	2,8
1,0	2,5	1,8	1,3	5,8	5,2	2,2	6,8	2,7
1,0	—	—	Tr	0,3	Tr	0,7	Tr	0,4
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	0,3	—	—
An_{27}	An_{34}	An_{25}	An_3	An_4	An_4	An_4	An_1	An_5

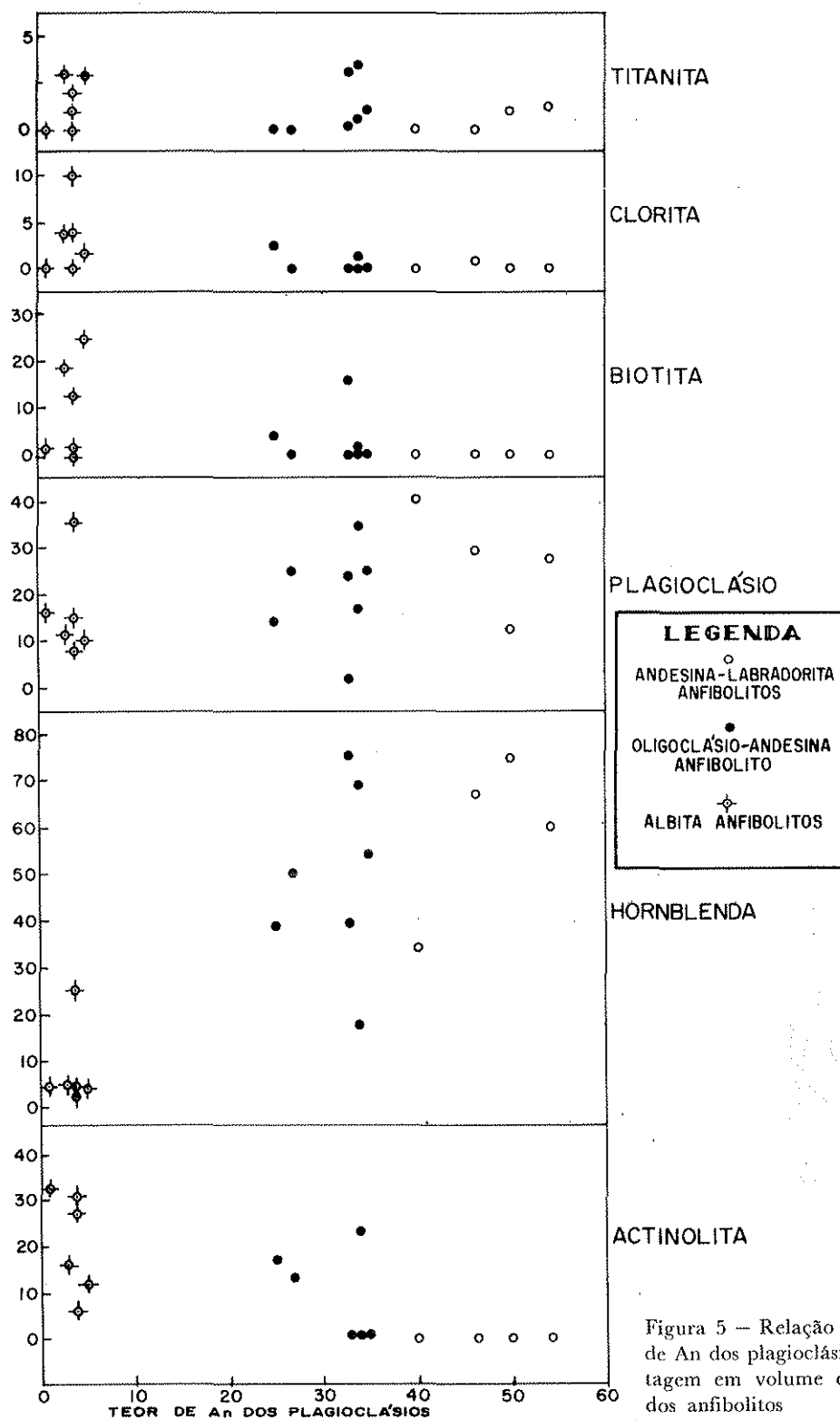


Figura 5 — Relação entre o teor de An dos plagioclásios e porcentagem em volume dos minerais dos anfibolitos

regional mais elevado. Cloritas foram observadas em duas amostras, porém em quantidades insignificantes, sendo este o único sinal da leve alteração dos anfibólios. O epídoto predominante nessas rochas é primário, pois não se notou a formação desse mineral a partir de plagioclásios e anfibólios. A única exceção refere-se à amostra A-184, onde alguns cristais de plagioclásio originaram reduzidíssima quantidade de epídoto. Dos 8,7% de epídoto existentes nesse caso, cerca de 7% é primário. Foi registrada a presença das variedades pistacita e clinozoisita. Esta última ocorre em quantidades significativas somente nos andesina-labradorita anfibolitos. Quantidades mínimas de granada foram observadas em uma amostra.

As análises modais mostraram que essas rochas possuem quantidades de hornblenda e plagioclásio muito maiores que as existentes nos anfibolitos albiticos. Mas titanita, clorita e, principalmente, epídoto ocorrem em proporções bem menores que as dos demais tipos de anfibolitos (Tab. 2, Figs. 5 e 6). Piroxênios primários e granadas somente foram observados nos andesina-labradorita anfibolitos. Actinolita e biotita inexistem nessas rochas.

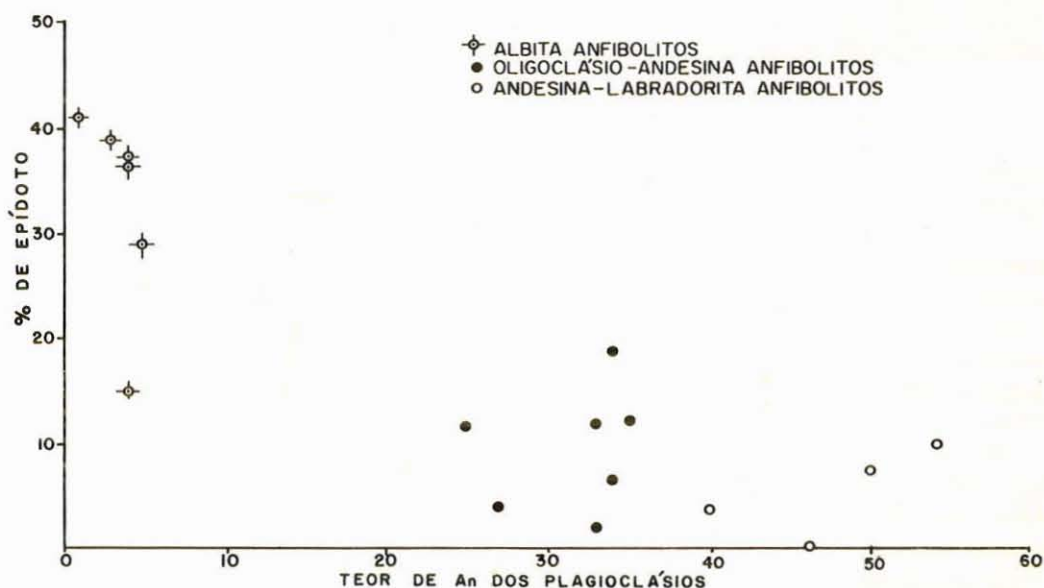


Figura 6 — Relação entre o teor de An dos plagioclásios e a quantidade percentual de epídoto dos anfibolitos

Todos esses fenômenos atestam que o grau de metamorfismo dos andesina-labradorita anfibolitos é mais alto que o dos demais, podendo ser enquadrados em limites elevados da fácies anfibolito (Turner, 1968).

OLIGOCLÁSIO-ANDESINA ANFIBOLITOS Os oligoclásio-andesina anfibolitos, cujo teor de anortita medido nos plagioclásios varia de An_{25} a An_{35} , exibem alguns sinais de alteração retrometamórfica. Essas evidências distribuem-se heterogeneamente nas rochas desse grupo; pois enquanto algumas amostras exibem transformações mineralógicas similares às dos anfibolitos albiticos, outras mostram poucos sinais de alteração. Assim, enquanto na maioria das amostras não ocorre actinolita, em alguns casos a quantidade deste mineral é significativa. Biotitas e cloritas aparecem em algumas rochas e não existem em outras. Existem epídotos primários e secundários. Foram observados núcleos de hornblenda castanha cercados por hornblenda verde (Fotomicrografia 2).



Fotomicrografia 2 — Núcleo de hornblenda I (castanha) cercado por hornblenda II (verde). Rocha oligoclásio-andesina anfíbolito. Nicóis descruzados. Aumento 200 ×

A existência de piroxênios está restrita a duas amostras. Na A-379 esse mineral ocorre de modo particularmente curioso. Aparece em faixas quartzo-feldspáticas de textura micropegmatítica que cortam a rocha. Possui, neste caso, nítida tendência ao idiomorfismo, e está completamente fresco, contrastando com anfibólios e plagioclásios, que apresentam fortes indícios de alteração. Como esta amostra acha-se em contato com o granito, é muito provável que as faixas micropegmatíticas portadoras de piroxênios devam-se a fenômenos de metamorfismo de contato. Os piroxênios que ocorrem no outro oligoclásio-andesina anfíbolito (A-467) são nitidamente posteriores aos anfibólios. Como essa rocha também ocorre no contato com o maciço granítico, a presença dos piroxênios deve ainda relacionar-se a efeitos termais dos granitos intrusivos.

Outras transformações envolvendo anfibólios, biotita, clorita, epidoto, quartzo, ilmenita e titanita, características dos anfíbolitos albiticos, ocorrem em algumas secções de rochas deste grupo em quantidade relativamente pequena. Essas transformações serão descritas adiante.

As porcentagens modais médias destas rochas, embora se situem entre as dos anfíbolitos albiticos e as da andesina-labradorita, estão mais próximas destes, acentuando-se essa evidência no caso de actinolitas, hornblendas, epidotos, biotitas e cloritas (Figs. 5 e 6).

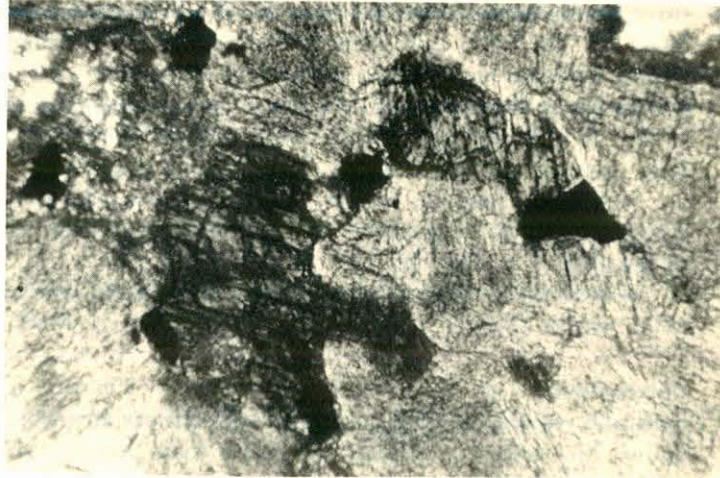
As características acima descritas definem esses anfíbolitos como um grupo intermediário não muito homogêneo, ora portador de características dos anfíbolitos de alto grau, ora possuidor de certas similaridades com os de baixo grau. Embora as transformações retrometamórficas existam nessas rochas, sua importância é relativamente pequena, de modo geral, muito menor que nos anfíbolitos albiticos. Portanto, ocorreu somente um início de metamorfismo regressivo. Em termos de intensidade metamórfica, essas rochas pertenceriam à fácies anfíbolito, cujo grau seria, evidentemente, inferior ao exibido pelo grupo andesina-labradorita.

ALBITA ANFIBOLITOS Nos anfíbolitos albiticos o teor de An dos plagioclásios varia de An_0 a An_5 . Essas rochas ocorrem associadas a gnaisses albiticos e xistos magnesianos e provêm da transformação retrometamórfica de anfíbolitos que teriam pertencido à fácies anfíbolito.

Os minerais predominantes são actinolita, albita e epídoto. Biotita, clorita, hornblenda, titanita e opacos ocorrem em quantidades subordinadas. Apatita é rara, e calcita foi observada somente em uma amostra.

A hornblenda existente nessas rochas é verde e ocorre geralmente sob forma de núcleos residuais. Sua transformação em actinolita foi evidenciada em grande número de secções (Fotomicrografia 3). Hornblendas geraram também associações que incluem biotita,

Fotomicrografia 3 — Núcleo residual de hornblenda II (verde) cercado por actinolita. Rocha albita anfíbolito. Nícois cruzados. Aumento 400 ×



epídoto e por vezes quartzo. Cloritas, por vezes associadas a titanitas secundárias, provieram de anfibólios e biotitas. Em alguns casos observou-se a transformação de hornblenda em clorita, titanita e epídoto. A transformação ilmenita → titanita é muito comum e evidencia-se pela presença de cristais remanescentes dos minerais opacos em cujas bordas se formaram cordões de titanita (Fotomicrografia 1). Em todos os plagioclásios existentes nessas rochas ocorrem numerosíssimos cristais de epídoto. Essas inclusões atingem tais proporções, que na quase totalidade dos casos observam-se somente os contornos dos antigos feldspatos, além de raras “janelas albíticas” (Fotomicrografia 4). A transformação plagioclásio cálcico → albita + epídoto, além das anteriormente citadas, será comentada no capítulo referente à petrogênese.

Fotomicrografia 4 — Cristal de plagioclásio albítico quase totalmente preenchido por epídoto. Rocha albita anfíbolito. Nícois descruzados. Aumento 200 ×



Tabela III
Origem e ocorrência dos principais minerais dos anfíbolitos

MINERAL	ORIGEM	OCORRÊNCIA
Hornblenda I	Primária	Andesina-Labradorita Anfíbolitos Oligoclásio-Andesina Anfíbolitos
Hornblenda II	Primária Secundária a partir de hornblenda I	Andesina-Labradorita Anfíbolitos Oligoclásio-Andesina Anfíbolitos Albita Anfíbolitos
Actinolita I	Secundária a partir de hornblenda I e de hornblenda II	Oligoclásio-Andesina Anfíbolitos Albita Anfíbolitos
Actinolita II	Secundária a partir de hornblenda I e de hornblenda II	Oligoclásio-Andesina Anfíbolitos Albita Anfíbolitos
Plagioclásio	Primário Secundário, associado com epidoto	Andesina-Labradorita Anfíbolitos Oligoclásio-Andesina Anfíbolitos Albita Anfíbolitos
Epidoto	Primário Secundário. Formado a partir de plagioclásio e de anfíbólio Neste caso associado a biotita, clorita, quartzo e titanita	Andesina-Labradorita Anfíbolitos Oligoclásio-Andesina Anfíbolitos Albita Anfíbolitos
Biotita	Secundária. Formada a partir de anfíbólio e associada a epidoto, quartzo, clorita e titanita	Oligoclásio-Andesina Anfíbolitos Albita Anfíbolitos
Clorita	Secundária. Formada a partir de anfíbólio e biotita. Associada a titanita, epidoto, quartzo	Andesina-Labradorita Anfíbolitos Oligoclásio-Andesina Anfíbolitos Albita Anfíbolitos
Quartzo	Primário Secundário. Subproduto da transformação do anfíbólio. Associado a biotita, clorita, epidoto, titanita	Andesina-Labradorita Anfíbolitos Oligoclásio-Andesina Anfíbolitos Albita Anfíbolitos
Piroxênio	Primário	Andesina-Labradorita Anfíbolitos Oligoclásio-Andesina Anfíbolitos
Titanita	Primária Secundária. Formada a partir de ilmenita Secundária. Provém da degradação de anfíbólio. Associada a clorita, epidoto e quartzo	Andesina-Labradorita Anfíbolitos Oligoclásio-Andesina Anfíbolitos Albita Anfíbolitos

anfíbolitos albiticos cristalizaram-se em temperaturas e pressões inferiores às delimitadas pela isógrada da almandina. Essa faixa metamórfica está contida na fácies dos xistos verdes (Turner e Verhoogen, 1960), cuja temperatura, segundo esses Autores, varia de 300 a 500°C. Adiciona-se a esse fato os dados obtidos por Mackenzie (1957) e McConnell e McKie (1960). Segundo esses Autores a albita ("low albite") pura é instável acima de 400°C - 450°C.

Como já foi citado em capítulos anteriores, são muito comuns nos anfíbolitos retro-metamorfizados as evidências da transformação de hornblenda em actinolita (Fotomicrografia 3).

A associação íntima entre actinolita e hornblenda foi observada no distrito de Nakoso por Shidô (in Deer *et al.*, 1963). A associação de fibras actinolíticas e hornblêndicas foi interpretada como resultante da falta de miscibilidade total ("miscibility gap") entre os dois anfíbólios, sob as condições metamórficas em que se cristalizaram. Tais minerais ocorrem em xistos básicos de baixo grau, caracterizados pela associação epidoto-clorita-actinolita. Miyashiro (in Deer *et al.*, 1963) observou fenômeno semelhante em rochas do distrito de Gosaisyo-Takaruki, Japão, e observou que, à semelhança do que ocorre no distrito de Nakoso, o "miscibility gap" desaparece em rochas de grau metamórfico mais alto, e a hornblenda torna-se o único anfíbólio estável.

As observações desses Autores vêm corroborar a teoria segundo a qual, na região Morretes-Antonina, a hornblenda era o único anfíbólio estável nas temperaturas atingidas

durante o metamorfismo regional normal; e o aparecimento de actinolita resultou de transformação mineralógica ocorrida a temperaturas mais baixas, decorrentes do metamorfismo regressivo.

São também relativamente comuns outros exemplos da degradação da hornblenda. Nesses casos, vários são os minerais resultantes. Associações envolvendo biotita, epidoto e por vezes quartzo foram observadas. Em outros casos, clorita, titanita, epidoto e por vezes quartzo foram os minerais resultantes da transformação da hornblenda (Fotomicrografia 5).



Fotomicrografia 5 — Hornblenda parcialmente transformada em clorita, titanita, epidoto. Rocha albita anfíbolito. Nícois descruzados. Aumento 300 x

A transformação de ilmenita em titanita (Fotomicrografia 1), fenômeno comum nos anfíbolitos retrometamorfizados, caracteriza também abaixamento de temperatura e de grau metamórfico. A explicação desse fenômeno prende-se ao fato de que, dentre os minerais de titânio, titanita é o que aparece nas rochas de grau mais baixo, ocorrendo ilmenita e rutilo em rochas de PT mais elevado.

Variação na composição química e origem dos anfíbolitos As análises químicas das nove amostras dos diversos tipos de anfíbolitos mostraram, de modo geral, pequenas variações nos teores dos diferentes elementos (Tab. 4). A partir desses dados foram calculados os números de Niggli (Tab. 5). Com a finalidade de se observar a extensão de possíveis variações químicas nos diferentes grupos de anfíbolitos, relacionaram-se os valores de *si* com *mg*, *alk*, *k*, *fm*, *al* e *c* (Fig. 7). Observou-se, de modo geral, que os anfíbolitos albiticos têm valores de *si*, *alk* e *k* levemente superiores, e quantidades de *mg* inferiores às dos andesina-labradorita anfíbolitos.

Vários métodos incluindo estudo de associações mineralógicas, relações de campo, dosagem de elementos maiores e menores têm sido aplicados para a determinação da origem dos anfíbolitos. Apesar disso, a literatura mostra que esse assunto é muito controverso. Em grande número de casos essas rochas estão associadas a seqüências metamórficas que sofreram fenômenos metassomáticos, e esse fato contribui para dificultar a solução do problema.

Segundo Heinrich (1956), certas feições mineralógicas podem, em determinados casos, separar para e ortoanfíbolitos. De acordo com esse Autor, zoneamento normal de

Tabela IV
Análises químicas dos anfíbolitos

	A			B			C		
	Mo-79	Mo-231	A-378	A-184	Mo-267	A-337b	Mo-249	A-37a	A-478a
SiO ₂	48,90	48,70	47,10	51,79	49,17	52,30	50,05	49,38	51,78
Al ₂ O ₃	17,40	16,30	16,10	12,95	15,70	14,32	13,91	13,65	14,63
Fe ₂ O ₃	3,08	5,57	3,38	1,95	1,96	4,88	2,11	10,01	5,05
FeO	7,60	9,29	8,57	8,84	9,61	6,85	9,91	5,96	7,16
TiO ₂	0,88	2,30	0,90	0,35	1,22	1,47	3,27	1,96	1,65
CaO	10,30	8,67	12,50	10,99	8,68	10,03	10,33	9,38	9,26
MgO	6,72	3,15	8,02	8,22	4,65	3,84	3,79	4,71	3,26
MnO	0,12	0,18	0,20	0,17	0,25	0,21	0,26	0,14	0,19
Na ₂ O	2,80	3,29	2,32	1,64	3,72	2,18	2,95	2,48	2,42
K ₂ O	1,26	1,17	0,43	0,49	1,05	2,07	1,25	1,31	2,53
P ₂ O ₅	0,07	0,21	0,04	—	—	—	—	—	—
CO ₂	0,11	0,04	0,18	0,14	0,17	0,13	0,15	—	0,12
H ₂ O(+)	1,60	1,04	0,49	1,85	3,20	2,18	2,32	1,20	1,47
H ₂ O(-)	—	—	—	0,18	0,15	0,17	0,09	0,17	0,18
TOTAL	100,84	99,91	100,23	99,56	99,53	100,63	100,39	100,35	99,70

A — Andesina-Labradorita Anfíbolitos

B — Oligoclásio-Andesina Anfíbolito

C — Albita Anfíbolitos

Tabela V
Números de Niggli dos anfíbolitos

	A			B			C		
	Mo-79	Mo-231	A-378	A-184	Mo-267	A-337b	Mo-249	A-37a	A-478a
si	112	123	99,7	122	125	142	129	120	139
al	23,5	24,2	20,3	17,9	23,5	22,8	21,1	19,6	23,0
fm	42,8	42,4	46,2	50,0	42,1	41,7	40,8	48,1	39,9
c	25,3	23,5	28,3	27,7	23,6	26,2	28,6	24,4	26,5
alk	8,0	9,8	5,3	4,4	10,8	9,3	9,5	7,9	10,6
ti	1,5	4,3	1,4	0,6	2,3	2,9	6,5	3,5	3,4
p	—	0,1	—	—	—	—	—	—	—
k	0,27	0,18	0,12	0,16	0,15	0,39	0,21	0,26	0,41
mg	0,54	0,28	0,55	0,58	0,42	0,37	0,36	0,36	0,33
CO ₂	0,27	—	0,51	0,40	0,61	0,48	0,46	—	0,45

A — Andesina-Labradorita Anfíbolitos

B — Oligoclásio-Andesina Anfíbolito

C — Albita Anfíbolitos

plagioclásios, texturas diabásicas, porfiríticas e granitóides remanescentes, ausência de bandejamento, núcleos de augita e hiperstênio em hornblendas indicariam origem ígnea; enquanto que abundância de quartzo, biotita, microclínio, presença de escapolita, turmalina e de bandejamento favoreceriam proveniência sedimentar. Segundo Walker *et al.*, (1960), o bandejamento seria fator importante no reconhecimento de paranfíbolitos. As-

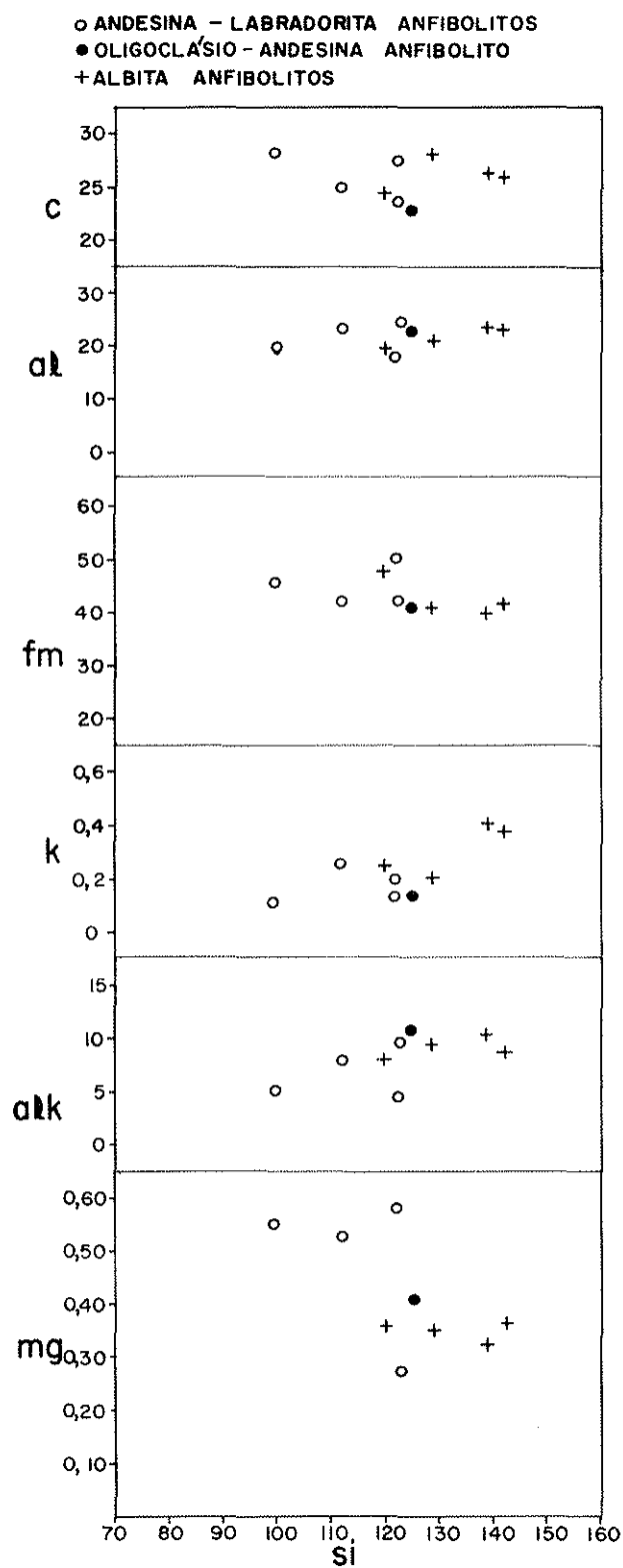


Figura 7 - Relação entre os números de Niggli dos anfibolitos

sociação com rochas de origem reconhecidamente sedimentar, como mármore, seria outro argumento importante para a indicação dessa origem (Heier, 1962).

Walker *et al.* (1960) construíram gráfico relacionando MgO-CaO-FeO. Foram aí colocadas cinquenta e cinco análises de rochas ígneas básicas e seus derivados metamórficos e metassomáticos; trinta e quatro análises de rochas calcárias, parafibrolitos e hornfels; e sete anfibrolitos de origem desconhecida. A partir desses pontos, os Autores delimitaram os campos ígneo e metamórfico (Fig. 8).

Para a resolução do problema, foram utilizadas, por vários Autores, comparações envolvendo elementos maiores e menores. Anfibrolitos ricos em titânio seriam de origem ígnea, enquanto que os pobres nesse elemento proviriam de rochas sedimentares. Lapadula-Hargues (1958) propôs o valor crítico de separação de 0,8% de TiO_2 . Snelling (1958) concluiu pela origem sedimentar de anfibrolitos em razão de teores baixos em Cr, Ni e Co. Milovikii (1964) separou orto e parafibrolitos baseado em dosagens de Cr, V e Ni. Evans e Leake (1960) publicaram importante trabalho sobre o assunto. Esses Autores, estudando anfibrolitos da região de Connemara, Irlanda, concluíram, a partir de análises químicas de elementos maiores e menores, que, apesar da associação dessas rochas com mármore e quartzitos, sua origem resultou de intrusões básicas. O caráter bandado decorreu de processos tectônicos e metamórficos não relacionados com as feições originais. Leake (1964) concluiu que, embora ortoanfibrolitos sejam frequentemente diferenciados de parafibrolitos em razão de seus altos conteúdos de Cr, Ni e Ti e de baixos valores k de Niggli, esse critério não pode ser aplicado sempre, porque muitas rochas ígneas são pobres em Cr, Ti e Ni e o metassomatismo alcalino frequentemente perturba a relação k . Critério de grande valia, segundo esse Autor, baseia-se nas tendências (trends) de variação de rochas ígneas e sedimentares. Naquele trabalho são comparadas análises químicas de vários anfibrolitos com o "trend" estabelecido nos deleritos do Karroo.

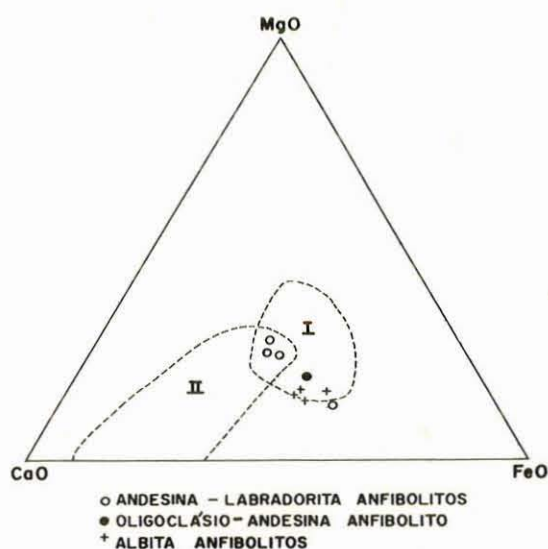


Figura 8 - Anfibrolitos da região Morretes-Antonina colocados no diagrama de Walker *et al.* (1960). I - campo ígneo, II - campo sedimentar

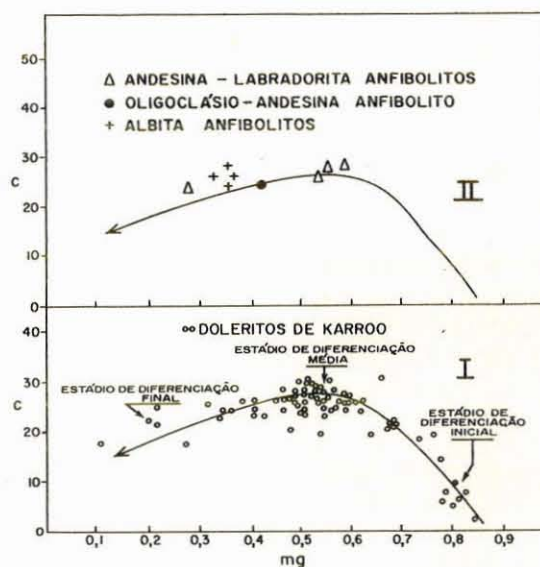


Figura 9 - Gráfico correlacionando os números de Niggli c e mg . A linha que marca o "trend" do Karroo (reproduzido de Leake, 1964) foi transportada de I para II. Em II foram colocados os pontos relativos aos anfibrolitos de Morretes-Antonina.

No caso dos anfibolitos de Morretes-Antonina, ocorrem vários problemas que dificultam a determinação da gênese; completa ausência de textura que poderia indicar origem sedimentar ou ígnea; ausência de análises de elementos menores, tais como Cr, Ni e Co; e do pequeno número de análises de elementos maiores. Além disso verificou-se que após o metamorfismo regional, época da formação dos anfibolitos, ocorreu metamorfismo regressivo, que poderia ter afetado a composição química dos anfibolitos primários. Felizmente, a comparação destes com os retrometamorfizados revelou variações químicas relativamente pequenas. Esse fato assegura, portanto, alguma margem de segurança nas considerações sobre a origem primária dessas rochas.

De modo geral, resumindo-se os dados existentes, poder-se-iam tecer os seguintes comentários:

1) Os anfibolitos da região acham-se intercalados nos gnaisses, formando faixas em geral decimétricas. Esse caráter poderia, segundo vários Autores, indicar origem sedimentar. Segundo Evans e Leake (1960) e Leake (1964), tal aspecto não serve, absolutamente, para a distinção de orto e parafibolitos.

2) Os valores de k , que variam de 0,12 a 0,41, são baixos, comparados com os de pelitos. Segundo Shaw (1956) a média destes teores nos pelitos situa-se em 0,50. Esse argumento favorece a origem ígnea.

3) Os teores de TiO_2 variam de 0,88 a 3,27, ocorrendo somente em uma amostra de valor menor, igual a 0,35. Segundo Shaw (*op. cit.*) a média de TiO_2 nos pelitos é 0,8%; e de acordo com Lapadu-Hargues (*op. cit.*) anfibolitos com mais de 0,80% de TiO_2 são ortometamórficos. Esse fato também parece favorecer a origem ígnea.

4) No gráfico que relaciona c com mg , nota-se que os anfibolitos estudados situam-se dentro de "trend" de variação dos doleritos de Karroo (Fig. 9), havendo de modo geral constância nos valores de c , e empobrecimento de mg nos anfibolitos retrometamorfizados. Segundo Evans e Leake (*op. cit.*) e Leake (*op. cit.*), essa diminuição de mg resulta de diferenciação magmática.

5) Os anfibolitos de Morretes-Antonina foram colocados no diagrama $\text{MgO}-\text{CaO}-\text{FeO}$ de Walker *et al.* (*op. cit.*). O exame desses pontos (Fig. 8) revela que três dos andesina-labradorita anfibolitos situam-se em região comum a rochas ígneas e sedimentares, enquanto que os restantes localizam-se no campo ígneo. Esse fato também favorece a proveniência ortometamórfica.

Em resumo, os dados existentes favorecem origem ortometamórfica, embora não sejam absolutamente conclusivos, em decorrência dos fatores já mencionados.

BIBLIOGRAFIA

- AMARAL, G., CORDANI, U. G., KAWASHITA, K. e REYNOLDS, J. H. — 1966 — Potassium argon dates of basaltic rocks from Southern Brazil *Geoch. et Cosmoch. Acta*, **30**: (2) 159-189.
- BINNS, R. A. — 1965 — The mineralogy of metamorphosed basic rocks from the Willyama Complex, Broken Hill district, New South Wales — Part I — Hornblendes — *Min. Mag.*, **35**: 306-326.
- CHRISTIE, O. H. J. — 1959 — Note on equilibrium between plagioclase and epidote — *Norsk. Geol. Tidsskr.*, **39**: 268-271.
- CORDANI, U. G. e GIRARDI, V. A. V. — 1967 — Geologia da fôlha de Morretes — *Bol. da Univ. Fed. do Paraná — Geologia* n.º 26: 40 pp.
- CRAWFORD, M. L. — 1966 — Composition of plagioclase and associated minerals in some schists from Vermont, U. S. A., and South Westland, New Zeland, with inferences about peristerite solvus — *Contr. Mineral. and Petrol.*, **13**: 269-294.
- DEER, W. A. — 1938 — The composition and paragenesis of the hornblendes of the Glen Tilt Complex, Perthshire — *Min. Mag.*, **25**: 56-74.

- DEER, W. A., HOWIE, R. A. e ZUSSMAN, J. — 1963 — Rock forming minerals, vol. 2, Chain silicates, W. CLOVES and sons, Ltd, 370 pp.
- ENGEL, A. E. J. e ENGEL, C. G. — 1962 — Hornblendes formed during progressive metamorphism of amphibolites, Northwest Adirondack Mountains, New York — Bull. Geol. Soc. Amer., **73**: 1499-1514.
- ENGEL, A. E. J. e ENGEL, C. G. — 1962 — Progressive metamorphism of amphibolite, Northwest Adirondack Mountains, New York — Bull. Geol. Soc. Amer., A volume in honor of A. F. Buddington, pp. 37-82.
- EVANS, B. W. e LEAKE, B. E. — 1960 — The composition and origin of the striped amphibolites of Connemara, Ireland — J. Petrol. **1**: 337-363.
- GAY, P. e SMITH, J. V. — 1955 — Phase reaction in the plagioclase feldspar; composition range An_0 to An_{70} . Acta Kryst., **8**: 64-65.
- GIRARDI, V. A. V. — 1969 — Petrologia das rochas metamórficas da região Morretes-Antonina, PR — Tese de doutoramento apresentada à Cadeira de Petrologia da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da U. S. P.
- GOMES, C. B., SANTINI, P. e DUTRA, C. V. — 1964 — Petrochemistry of a precambrian amphibolite from the Jaraguá Area, São Paulo, Brazil — J. Geol., **72** (5): 664-680.
- HEIER, K. S. — 1962 — The possible origins of amphibolites in an area of high metamorphic grade — Nork. Geol. Tridsskr., **42**: 157-165.
- HEINRICH, E. W. M. — 1956 — Microscopic Petrography, 1.^a ed., New York, McGraw-Hill Book Co., Inc, 269 pp.
- HESS, H. H. — 1949 — Chemical composition and optical properties of common clinopyroxenes — Amer. Mineral., **34**: 621-666.
- LAPADU-HARGUES, P. — 1958 — Observations à propos des amphibolites — Som. Soc. Geol. France, **8**: 132-133.
- LEAKE, B. E. — 1964 — The chemical distinction between ortho and para-amphibolites — J. Petrol., **5** (2): 238-254.
- LEAKE, B. E. — 1965 — The relationship between composition of calciferous amphibole and grade of metamorphism. Controls of metamorphism, 1.^a ed., London, Oliver and Boyd Ltd: 299-316.
- MAACK, R. — 1961 — Sobre a ocorrência de granitos alcalinos no Estado do Paraná e sua posição dentro das fases orogenéticas algonquianas — Bol. Univ. Paraná, Geologia 4, 52 pp.
- MACKENZIE, W. S. — 1957 — The crystalline modifications of $NaAlSi_3O_8$ — Amer. J. Sci., **255**: 481-516.
- McCONNEL, J. D. C. e McKIE, D. — 1960 — The kinetics of ordering processes in triclinic $NaAlSi_3O_8$ — Mineral. Mag., **32**: 436-454.
- MELFI, A. J. — 1967 — Potassium-argon ages for core samples from Southern Brazil — Geoch. et Cosmoch. Acta, **31**: 1079-1089.
- MILOVIKII, A. V. — 1964 — Cr, V and Ni in ortho and parametarmorphic rocks — Geoch. International, **5**: 875-879.
- SHAW, D. M. — 1956 — Trace elements in pelitic rocks — Bull. Geol. Soc. Amer., **67**: 919-934.
- SHIDÔ, F. e MIYASHIRO, A. — 1959 — Hornblendes of basic metamorphic rocks — J. Fac. Sci., Univ. Tokyo, **12**: 85-102.
- SPELLING, N. J. — 1958 — A note on the possible sedimentary origin of some amphibolites from the Cooma Area, N. S. W. — J. Roy. Soc. N. S. W., **92** (2): 42-43.
- TROGER, W. E. — 1956 — Optische bestimmung der gesteinsbildenden minerale teil 1, Stuttgart, E. Schweizerbart, Verlagsbuchhandlung, 147 pp.
- TURNER, F. J. — 1968 — Metamorphic petrology mineralogical and field aspects, 1a. ed., New York, McGraw-Hill Book Co., 403 pp.
- TURNER, F. J. e VERHOOGEN, J. — 1960 — Igneous and metamorphic petrology, 2.^a ed. New York, McGraw-Hill Co.
- WALKER, K. R., JOPLIN, G. A., LOVERING, J. F. e GREEN, R. — 1960 — Metamorphic and metassomatic convergence of basic igneous rocks and lime-magnesia sediments of the precambrian of North-Western Queensland — J. Geol. Soc. Australia, **6**: 149-177.