

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS E LETRAS**

BOLETIM N.º 189

MINERALOGIA N.º 14

RUI RIBEIRO FRANCO

**Contribuição ao Conhecimento
de
Rochas Termometamórficas da Série S. Roque**



**SÃO PAULO
1958**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Reitor: Prof. Dr. Gabriel Sylvestre Teixeira de Carvalho

Vice-Reitor: Prof. Dr. João Francisco Humberto Maffei

FACULDADE DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS E LETRAS

Diretor: Prof. Dr. Paulo Sawaya

Vice-Diretor: Prof. Dr. Antonio Soares Amora

Secretário-substituto: — Jack Fredrick Gebara

DEPARTAMENTO DE MINERALOGIA E PETROGRAFIA

Diretor: — Prof. Dr. Reynaldo Ramos de Saldanha da Gama

CADEIRA DE MINERALOGIA

Prof. Dr. Reynaldo Ramos de Saldanha da Gama

CADEIRA DE PETROGRAFIA

Prof. Dr. Rui Ribeiro Franco

ASSISTENTES

Dr. William Gerson Rolim de Camargo

Dr. José Moacyr Vianna Coutinho

Lic. João Ernesto de Souza Campos

AUXILIARES DE ENSINO

Dr. Waldemar Saffioti

Sr. Antonio Moraes Rêgo

ESTAGIÁRIOS

Lic. José Walter Faria

Tôda correspondência relativa
ao presente boletim e às publi-
cações em permuta deverão ser
dirigidas à

All correspondence relating to
the presente bulletin as well as
exchange publications should be
addressed to

DEPARTAMENTO DE MINERALOGIA E PETROGRAFIA

Faculdade de Filosofia — Caixa Postal 8 105 — São Paulo — Brasil

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS E LETRAS

BOLETIM N.º 189

MINERALOGIA N.º 14

RUI RIBEIRO FRANCO

**Contribuição ao Conhecimento
de
Rochas Termometamórficas da Série S. Roque**



SÃO PAULO
1958

COMPOSTO E IMPRESSO NA SECÇÃO GRÁFICA DA
FACULDADE DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS E LETRAS
DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Este boletim foi publicado com
auxílio recebido do
Conselho Nacional de Pesquisas

Í N D I C E

A -- Introdução	7
B — Trabalhos anteriores	9
C — Nomenclatura	13
D — Metamorfismo termal	18
E — Rochas estudadas e discussão	19
I — Itaóca	21
1 — Exame macroscópico	21
2 -- Exame microscópico	21
3 — Discussão	26
II — Itapeva	29
1 — Exame macroscópico	29
a — Mina Santa Blandina	29
2 — Exame microscópico	34
b — Sítio Aleixo Vieira	35
3 -- Discussão	35
a — Mina Santa Blandina	35
b — Sítio Aleixo Vieira	36
III --- São Roque	37
1 -- Exame macroscópico	37
2 -- Exame microscópico	39
3 — Discussão	40
IV — Perus	41
1 — Exame macroscópico	41

2 -- Exame microscópico	42
a -- Hornfels cálcio-silicatado	42
b -- Xistos termometamórficos	47
3 -- Discussão	48
V -- Pedreira Cantareira	48
1 -- Exame macroscópico	48
2 -- Exame microscópico	55
3 -- Discussão	57
VI -- Mogi das Cruzes	58
1 -- Exame macroscópico	58
2 -- Exame microscópico	60
3 -- Discussão	63
F -- Discussão geral e conclusões	63
G -- Summary	72
H -- Agradecimentos	76
I -- Bibliografia	77

A — INTRODUÇÃO

Desde longa data geólogos nacionais e estrangeiros vêm se preocupando com as rochas que constituem a série São Roque no afã de esclarecer sua gênese e estabelecer as conexões entre elas. Tais objetivos foram, em parte, conseguidos, graças à pertinácia com que os pesquisadores enfrentaram os problemas, ora isoladamente, ora em equipes. Assim é que foi possível estabelecer certas relações entre as rochas da série propriamente dita e as intrusivas que nelas se formaram ou penetraram. De fato, parece já não existir dúvida de que granitos e granodioritos porfiróides, rochas nefelínicas (Ipanema e Jacupiranga), kersantito (Guapiranga (estrada de Santo Amaro a Itapeçerica), pegmatitos, ocorrendo em nítida discordância e rodeados de auréolas e faixas de metamorfismo, são de idade mais recente. Mais recentes, ainda, do que as rochas da série e as rochas supersaturadas e insaturadas mencionadas, são por exemplo, as rochas básicas (gabros, diabásios e basaltos) que, nas primeiras, formam diques, sills e mesmo corpos intrusivos de maiores dimensões.

A existência, nas rochas da série, de hornfels aluminosos ou pelíticos, hornfels cálcio-silicatados, quartzo hornfels, quartzo-feldspato hornfels, ardósias maculadas ou xistos nodulosos, skarnitos (zonas granatíferas de contacto), tactitos, faixas intensamente turmalinizadas e depósitos pirometamórficos e pirometassomáticos nas regiões vizinhas aos corpos magmáticos, confirma o que acima se disse. Não menos importante, entre os fenômenos ligados aos processos metamórficos que se realizaram em rochas da série São Roque, ainda com referência à fase intrusiva, é a existência, em certas zonas do complexo cristalino, de brechas vulcânicas (agmatitos), migmatitos, gnaisses de injeção ("lit-par-lit") e rochas ricas de estruturas ptigmáticas. É, aliás, a partir do estudo dessas últimas rochas, que se pode estabelecer, pelo menos em alguns casos,

as relações entre as rochas orto e parametamórficas existentes na série e nas rochas mais antigas.

Em algumas das áreas estudadas, Cantareira, São Roque, e Perus, principalmente, nos valem da presença de xenólitos e a existência de tetos pendentes (roof-pendants) no interior de rochas magmáticas para registro dos efeitos provocados pelos fenômenos térmicos.

Neste trabalho, para o qual certa contribuição foi dada pelos estudos anteriores do autor, não será discutida a seqüência completa dos processos que deram origem às rochas da série São Roque, nem tão pouco entraremos na discussão dos xistos e filitos. Serão estudadas, das rochas citadas, somente as que, de maneira ou outra, estiverem ligadas aos processos metamórficos aqui discutidos.

É nossa opinião que o conhecimento das ocorrências e o modo de formação de certos anfibolitos, hornfels e skarnitos que se encontram na série São Roque, trará valioso subsídio à interpretação genética. É bem possível, ainda, que dêste conhecimento surjam novos elementos que venham elucidar a controvertida questão, qual seja, a de se saber se as rochas ditas arqueanas e as denominadas algonquianas se formaram a partir dos mesmos sedimentos que foram submetidos a condições de metamorfismo diferentes ou se as primeiras são realmente independentes e mais antigas.

Especial atenção foi dedicada ao estudo dos minerais e rochas das regiões de Itaóca, Itapeva, São Roque, Cantareira, Perus e Mogi das Cruzes, onde pudemos colher grande cópia de material e valiosos dados de campo. A restrição no campo das observações foi imposta pela extensão territorial em que afloram as rochas formadoras do complexo metamórfico-intrusivo da série São Roque. Isso, contudo, não proíbe esboçar conclusões de caráter mais amplo porque os fenômenos metamórficos e metassomáticos ocorridos se repetem a miúdo, muitas vezes com perfeita identidade.

B — TRABALHOS ANTERIORES

Embora numerosos os trabalhos geológicos, petrográficos e mineralógicos sobre as rochas da série São Roque, poucos são os que abordam estudos pormenorizados e específicos.

Os trabalhos existentes geralmente discutem tópicos de caráter geral, principalmente questões referentes à geologia, tectonismo e geologia econômica. Assim são conhecidos os termos calcários; os quartzitos, os granitos e os pegmatitos ricos de feldspato (caulim) intrusivos em algumas rochas da série; as jazidas de chumbo, zinco e ouro ligadas aos calcários da região do vale do rio Ribeira e, finalmente, as ocorrências de alguns minérios que se relacionam intimamente às rochas metamórficas, tais como magnetita, hematita, manganês, mica, wolframita, cassiterita etc. por serem elas as encaixantes dos granitos responsáveis, possivelmente, por grande parte da mineralização.

Entre os numerosos trabalhos consultados mereceram nossa melhor atenção os seguintes: Hussak (1890), Moraes Rêgo (1933), Moraes Rêgo e Souza Santos (1938), Barbosa (1941), Knecht (1943, 1944) Oliveira e Leonardos (1943), Saldanha (1946), Passos Guimarães (1952), Coutinho (1953), Franco (1953, 1955) e Barbosa (1955)

Hussak (1890), em suas investigações mínero-petrográficas no Estado de São Paulo, aborda diversos problemas e entre eles alguns ligados a fenômenos de dinametamorfismo e metamorfismo termal. Assim, discute a gênese dos minerais: andalusita, quíastolita, coríndon, estauroлита e turmalina dos xistos do vale do rio Pedro Cubas, relacionando-a com filitos metamorfoseados por contacto com granito; refere-se a uma rocha de natureza hornfêlsica proveniente do metamorfismo termal entre eruptivas (augito-porfirito diabásio com escassa massa vítrea intersticial) e arenito micáceo, na qual podem ser vistos cristais de cordierita e base vítrea parda devitrificada pelo desenvolvimento de globulitos augíticos. Tal hornfels ocorre na região de Tietê. Discute interessante problema ligado à gênese do coríndon da serra de Itaquí, mineral que se encontra

associado às espécies minerais margarita, andalusita e quartzo, formulando duas hipóteses: origem hidrotermal e ação de contacto.

Moraes Rêgo (1933), não só descreve os aspectos geológicos relativos às rochas da série São Roque mas também discute problemas que de certo modo são específicos. Assim, refere-se ao metamorfismo regional, à ação de pressões e calor, aos agentes mineralizadores (água e álcalis) e às ações de contacto. Descreve filitos, hidromicaxistos, gnaisses leptiníticos parametamórficos, quartzitos e calcários metamórficos ricos de silicatos magnesianos, clorita e serpentina. Dedicou parte de seu trabalho ao estudo das rochas magmáticas ácidas (granitos principalmente) e expõe os fatos que tornam evidente sua origem posterior às rochas da série.

Descreve apófises graníticas injetando filitos e transformando-os em muscovita-xistos e cornubianitos; pegmatitos e veios de quartzo que enriquecem os filitos de turmalina. Na mesma ordem de idéias estuda os fenômenos de absorção de calcários pelos granitos e conseqüente aparecimento, nestes, de minerais básicos, por exemplo, hornblenda, piroxênios, epidoto e clorita (hornblenda granito de Juqueri). Põe em relêvo argumentos em favor dos fenômenos de palingênese citando entre outros a pequena perturbação trazida pelos granitos às rochas sedimentógenas e a presença de restos de rochas metamórficas não atacados em rochas brechóides de cimento granítico (agmatitos). Procura esclarecer a origem de outras rochas intrusivas na série baseando-se quase que exclusivamente em fenômenos de digestão de calcários pelo magma granítico. Assim, para Moraes Rêgo os dioritos nada mais seriam do que o magma granítico enriquecido de minerais básicos, formados às expensas do calcário digerido. Por essa razão formar-se-iam rochas ricas de anfibólios (anfíbolitos) e rochas com predominância de piroxênio e plagioclásio (gabros). Para ele os plagioclásio anfíbolitos poderiam ser o resultado de transformações metamórficas de rochas eruptivas emersas antes dos fenômenos orogênicos sofridos pela série São Roque, ficando a comprovação na dependência de encontrar vestígios de texturas eruptivas originais. Em suas conclusões (p. 28) admite como aceitável a transformação extensiva dos calcários da série São Roque em rochas silicatadas básicas que rece-

beriam os nomes de *para-plagioclásio anfibólitos* e *para-plagioclásio piroxeníticos*, a despeito da contribuição de material de origem interna.

Moraes Rêgo e Souza Santos (1938), às páginas 59 e 88, referem-se à existência de orto-anfibólitos e para-anfibólitos na série São Roque mas não entram em pormenores genéticos ou estruturais.

Barbosa (1941) em seu trabalho sobre a geologia e petrologia na região de Apiaí, São Paulo, aborda alguns problemas que se relacionam com o assunto de nossa tese. Assim, refere-se êle aos "gorutubitos" (o nome "gorutubito" foi sugerido por Tharcisio D. Souza Santos), formação metamórfica em camadas alternadas, claras e escuras; a skarnitos e anfibólitos, rochas estas encontradas no complexo metamórfico-intrusivo da série São Roque. Em nosso trabalho fixaremos novamente o estudo dos "gorutubitos", não alterados, por que constituem êles formação "sui generis" entre as rochas da série.

Knecht (1943, 1944), em seus numerosos trabalhos e estudos sobre rochas magmáticas e metamórficas do Estado de São Paulo discute vários problemas ligados a fenômenos de metamorfismo termal, pneumatólise e metassomatismo. Focalizaremos apenas alguns dêles, os que mais de perto estão relacionados com a tese que desenvolveremos a seguir. O primeiro, para o qual desejamos chamar a atenção dos leitores, é "*A gênese das jazidas de dolomita no Bairro das Almas, município de Taubaté*". Nele, Knecht menciona a existência de minerais típicos de metamorfismo termal entre o dolomito e os pegmatitos que o atravessam: diopsídio, tremolita, antofilita, enstatita, perowskita e escapolita. Em "*Staurolita da série de São Roque no município da Capital*" descreve estaurolita xistos que se acham intercalados nas camadas da série São Roque. A estaurolita, acompanhada de granada e sulfeto de ferro, teria se formado na região de contacto dos xistos regionais com dique de pegmatito. Enquanto a granada se desenvolveu somente no contacto imediato do dique, a estaurolita se formou em áreas mais afastadas, porém ainda dentro da influência do pegmatito. No estudo "*Sillimanita no Km 20 da via Anhanguera*" descreve pequenas ocorrências de sillimanita em vieiros lenticulares

delgados de quartzo branco leitoso. Para este Autor a sillimanita ter-se-ia formado pela assimilação de material da rocha encaixante (micaxistos) pelo quartzo, em condições de temperatura elevada.

Saldanha (1946) em seu trabalho pormenorizado sobre a jazida tungstênio-estanífera de Inhandjara relaciona a fase mineralogénica ao granito aflorante na região. Distingue, na seqüência, três fases: a granítica, a aplítica e a fase pneumatolítica-hidrotermal. Para este Autor a jazida é do tipo hipotermal. As soluções de composição ácida, muito ricas de fluor, teriam provocado condições pneumatolíticas responsáveis pela metalização. Curiosa é a verificação da absoluta ausência de turmalina, quer na jazida, quer nas rochas encaixantes.

Passos Guimarães (1952) descreve um xenólito de pencaito encontrado em um dique de diabásio proporcionando significativo exemplo de metamorfismo exogenético térmico.

Coutinho (1953), em seu trabalho pormenorizado sobre algumas rochas da série São Roque, no qual aborda problemas de assimilação de calcários, a existência de xenólitos em rochas graníticas e formação de hornfels, contribui valiosamente para o conhecimento da estrutura tectônica-petrográfica de algumas rochas termometamórficas da série.

Em 1955, Coutinho fornece à literatura das rochas metamórficas do Estado de São Paulo novos e valiosos dados quando discute a gênese do metaconglomerado e rochas associadas no município de São Paulo. Nessa importante contribuição refere-se não só ao metaconglomerado, mas também à gênese de alguns epidiositos e anfibolitos. Para essas últimas rochas, que ocorrem em corpos alongados e geralmente em concordância com a xistosidade das rochas encaixantes, é aventada a hipótese de terem sido derivadas de rochas ígneas básicas.

Franco (1955a, 1955b, 1956) discute algumas rochas de origem cataclástica, rochas milonitizadas e rochas migmatíticas, chegando à conclusão de que numerosas rochas de estrutura e textura gnáissicas do Estado de São Paulo se formaram por fenômenos de inje-

ção magmática em rochas metamórficas preexistentes, nelas sendo visível o fenômeno de arterização.

Franco e Coutinho (1956), ao estudar rochas gnaíssicas, quartzitos e anfibolitos dos municípios de Amparo e Socorro, identificaram rochas que, pelas estruturas e texturas, além da composição mineralógica, se formaram em fácies de P-T elevado. Pelo menos três das amostras coletadas na região: (a) 1 km a NE da Estação Visconde de Soutello, Socorro; b) junto à Estação de Visconde de Soutello, Socorro e c) 3 km a ESE de Socorro, apresentam características de rochas charnockíticas e, portanto de fácies granulítica, o de mais intenso grau de metamorfismo regional. Compõem essas rochas, respectivamente, os minerais seguintes: a) quartzo 2%, plagioclásio 35%, diopsídio 30%, ortopiroxênio 5%, hornblenda 10%, granada 15%, magnetita 3%, presentes ainda apatita, pirrotita, actinolita e pirita; b) quartzo 2,5%, plagioclásio 31%, diopsídio 35%, ortopiroxênio 3%, hornblenda 4%, granada 22%, magnetita 2,5%, presentes, apatita, pirrotita; c) quartzo 20%, feldspato potássico 30%, plagioclásio 35%, diopsídio 4%, ortopiroxênio 2%, biotita 1%, hornblenda 7%, magnetita 1%, presentes, granada, apatita e pirita.

Aos trabalhos acima referidos, nos quais nos detivemos em breves apreciações, juntam-se outros que nos forneceram valiosos informes. Referimo-nos a trabalhos de Alceu Fabio Barbosa, Othon Henry Leonardos e Avelino Ignacio de Oliveira, Djalma Guimarães, Viktor Leinz, Geraldo C. Melcher, Fernando F Marques de Almeida e Ruy Ozorio de Freitas.

C — NOMENCLATURA

O objetivo desse capítulo é a discussão de expressões petrográficas encontradas no presente trabalho. As definições foram elaboradas de acordo com o ponto de vista do autor, que utilizou para base as obras clássicas existentes sobre o assunto.

Antibolito, rocha metamórfica constituída principalmente de feldspato (às vezes, substituído por epidoto ou zoisita) e hornblenda comum.

Praticamente não há quartzo; quando êste está presente é em pequenas quantidades. Os anfibolitos passam a hornblenda-plagioclásio gnaisses quando o quartzo é relativamente abundante. Normalmente os anfibolitos não exibem textura e estrutura orientadas.

Arterito, migmatito no qual o material dos veios foi injetado de um magma.

Brechas vulcânicas, migmatito de estrutura agmatítica.

Buchito, hornfels originado por metamorfismo de contacto com neoprodução de material vítreo (vitrificação parcial)

Chorismito, êste termo engloba os diversos tipos de rochas migmatíticas. As rochas chorismíticas, conseqüentemente, são constituídas de material paleossômico e material metatético, êste último podendo ser de origem etética (secreção da própria rocha) ou entética (injeção de fonte externa)

Cloritização, processo pelo qual certos minerais, p. ex., piroxênios aluminosos (augita), anfibólios aluminosos (hornblenda) e biotita, se alteram em clorita. Não raramente o mineral alterado continua com sua forma original.

Corneana, rocha formada por metamorfismo de contacto às expensas de argilas e outras rochas sedimentares, nas zonas mais próximas à rocha intrusiva: corneana de andalusita, corneana de biotita, corneana calciosilícea, corneana de feldspato, corneana silicomagnésiana, corneana de turmalina, etc. (= cornubianito = hornfels pelítico)

Cornubianito, rocha de granulação fina e aspecto córneo, formada por metamorfismo de contacto e composta de micas, quartzo e feldspatos (= hornfels pelítico).

Diaftorese, termo usado por Becke para os reajustamentos mineralógicos semelhantes aos que se passam durante o metamorfismo retrógrado. É o oposto aos processos de metamorfismo construtivo.

Epidosito, rocha constituída essencialmente de epídoto e quartzo.

Erlanfels, "fels" com piroxênio e plagioclásio.

Estromatito, migmatito de estrutura fitada ou em camadas no qual as relações entre paleossoma e neossoma são indeterminadas.

Filito e filonito, rocha de granulação fina com pronunciada xistosidade. Muitas vezes foliáceo com películas ou lâminas de minerais cristaloblásticos.

Flebito, migmatito no qual é impossível saber se o material dos veios é de origem entética ou etética.

Gnaisse, rocha de granulação relativamente grossa, constituída de quartzo e feldspato. Localmente há evidências de crescimento de cristais (recristalização ou deformação) e ajustamentos. Faixas alternadas de natureza xistosa e granular são freqüentes. Comuns são também lentes e veios. Xistosidade é geralmente menos conspícua e regular do que nos xistos. Quando os constituintes (quartzo, feldspato, piroxênios, etc.) se mostram equidimensionais a rocha tende a passar para *granulito*. Texturas “flaser” são freqüentes, algumas vezes desenvolvidas em gnaisses facóides.

Hornfels, rochas compactas, não xistosas e textura predominantemente granoblástica. Às vezes, reproduzem as estruturas em camadas das rochas sedimentares originais (estruturas palimpsésticas)

Mármore, rochas carbonáticas recristalizadas e constituídas predominantemente de carbonatos.

Merismito, blocos de paleossoma no material metatético (neossoma).

Metagranito, rocha semelhante ao granito, mas produzida por metamorfismo.

Metamorfismo, soma dos processos que produzem alterações fundamentais na composição mineralógica, química, estrutural e textural das massas sólidas das rochas. Excluem-se as alterações de decomposição, desintegração e cimentação que ocorrem nas partes superiores da litosfera sob a influência das águas da atmosfera e superficiais.

Metamorfismo termal, reconstituição química e mineralógica da rocha em resposta às mudanças de temperatura. Tal metamorfismo pode ocorrer, normalmente, em rochas magmáticas, sedimentares ou metamórficas que venham a ficar em contacto com um magma

qualquer Calor é o principal agente de metamorfismo. No metamorfismo termal outros fatores, contudo, podem ser extremamente importantes. Os materiais voláteis, principalmente água, passam do magma às rochas encaixantes e contribuem nos processos de solução e reação. O metamorfismo termal inclui o *pirometamorfismo*, o *metamorfismo de contacto*, o *metamorfismo óptico* e o *metamorfismo pneumatolítico*. Praticamente, êles ocorrem concomitantemente, sendo impossível fazer-se separação nítida. Pirometamorfismo, significa os processos metamórficos por efeito do mais alto grau de temperatura sem fusão, que age em condições relativamente secas. O metamorfismo de contacto ocorre em regiões de temperaturas mais baixas e as transformações minerais são facilitadas pela abundância de umidade e emanações magmáticas. Quando estes elementos voláteis são abundantes e produzem mudanças com adição positiva de material proveniente da fonte magmática, fala-se de metamorfismo pneumatolítico. O metamorfismo termal depende essencialmente do número dos fatores em jogo.

Metassomatismo, termo proposto por C. Naumann ao processo capaz de mudar a composição química de uma rocha sólida; as rochas alteradas podem ser chamadas *metassomatitos* (Berkey, 1934). Normalmente há introdução e remoção de material através de agentes voláteis (gases = pneumatólise), soluções aquosas (hidrotermal) ou magma flúido (durante a formação dos migmatitos). O mecanismo dessas modificações e a extensão do processo não são ainda de todo conhecidos (= metamorfismo aloquímico).

Micaxisto, rocha de granulação mais grossa do que o filito ou filonito. Xistosidade típica. Normalmente não possuem feldspatos.

Migmatitos, rochas originadas pela penetração de material granítico em rochas preexistentes (migma, Reinhard) e conseqüente formação de brechas eruptivas ou rochas de estrutura arterítica (migmatitos, Sederholm).

Nebulito, migmatito no qual os remanescentes do paleossoma acham-se amplamente difundidos no metassoma. Pela intermistura, originam-se rochas de textura granítica, homogênea.

Oficalcito, rocha constituída de uma mistura de carbonatos e serpentina. Rochas cálcio-magnésio-silicatadas e rochas cálcio-silicata-

das, que se enquadram, muitas vezes, entre os “felsos” São normalmente pobres de alumina (al) e álcalis (alc) Consistem largamente de silicatos de Ca ou Ca-Mg(\pm Fe) \pm carbonatos. Muitas vezes assumem os característicos dos skarnitos.

Pencatito, mármore portadores de periclásio.

Quartzito, rocha metamórfica muitas vezes derivada de arenitos, sílex ou “grits”

Saussuritização, processo particular de alteração dos plagioclásios de algumas rochas gábricas. Os plagioclásios apresentam-se total ou parcialmente transformados em um agregado cristalino extremamente fino de zoísita e albita, além de outros minerais secundários.

Skarnito, produtos originados de processos metassomáticos-pneumatolíticos sobre rochas carbonatadas, envolvendo adição de material. Segundo Leonardos (1958), escarnitização; granatização de uma rocha calcária por pirometassomatismo; andraditização; formação de andradita pela assimilação de calcário por um magma.

Talcificação, processo de alteração que ocorre em rochas com minerais anfibólicos não aluminosos, pobres de ferro. Verifica-se em profundidade.

Tatito (tactito), rochas de composição mineralógica complexa, formadas por metamorfismo de contacto de calcários, dolomitos e outras rochas carbonáticas. Nelas ocorrem matérias estranhas introduzidas por soluções quentes. Não devem ser considerados tatitos os tremolita mármore e os wollastonita mármore, embora essas rochas se originem na mesma zona de metamorfismo.

Uralitização, transformação de mineral piroxênico (usualmente diálgio) de uma rocha em um feltro de fibras anfibólicas (uralita) A cor da uralita é, algumas vezes, verde vivo (smaragdita)

Xistos verdes (“greenstone”), rochas metamórficas consistindo em epidoto (zoísita) e clorita (serpentina) \pm hornblenda verde ou actinolita, \pm albita, como minerais principais.

D — METAMORFISMO TERMAL

As rochas da série São Roque, estudadas sob o ponto de vista das relações entre rochas encaixantes e rochas intrusivas, evidenciam, amplamente, que o calor dos corpos intrusivos se propagou através das formações sedimentares e parametamórficas produzindo reajustamentos minerais e novas texturas.

Os efeitos do metamorfismo termal nas rochas da série parecem ter sido, contudo, bem localizadas, não ultrapassando, segundo se pode verificar dos estudos de campo, de algumas centenas de metros a partir dos corpos de rochas intrusivas (São Roque) Na maioria dos exemplos que serão discutidos posteriormente, as rochas termometamórficas constituem estreitas faixas que envolvem a rocha intrusiva e, muitas vezes, mesmo, apresentam-se como xenólitos ou tetos-pendentes (Perus, Cantareira)

Nas áreas em que houve superposição do metamorfismo termal com fenômenos pneumatolíticos e metassomáticos, pela influência de gases e emanções hidrotermais (Itaóca, Perus, São Roque, Mogi das Cruzes) os efeitos metamórficos se fizeram sentir em regiões mais afastadas dos limites da rocha intrusiva. Nesses casos os gases e as emanções devem não só ser responsabilizados pelo transporte do calor até o interior da rocha encaixante, como também pela neoformação de minerais no interior dessa rocha (metamorfismo de contacto, pneumatolítico e hidrotermal)

Além dos fenômenos puramente termiais (metamorfismo produzido principalmente pelo aumento de temperatura e sem qualquer adição apreciável de material magmático), pneumatolíticos e metassomáticos, comuns nos processos metamórficos termiais e de contacto, o magma que entra em contacto com certas rochas encaixantes, notadamente as de natureza argilosa, pode com elas misturar-se produzindo rochas de estrutura chorismíticas (flebitos ou arteritos) Às partes mais antigas de tais rochas dá-se o nome de paleossoma e à parte magmática as designações de este-reossoma, neossoma ou metassoma (São Paulo (Pinheiros), Guarujá, Cantareira) Em numerosos casos estudados, especialmente na serra da Cantareira, onde são comuns massas xenolíticas e tetos

pendentes, a assimilação do paleossoma pelo neossoma foi de tal ordem que fêz desaparecer as linhas ou zonas limítrofes entre as duas rochas que se misturam. Produziram-se, assim, rochas de textura nebulítica (metagranitos), muitas vêzes confundidas com rochas graníticas de origem magmática.

“Hornfels”, ou “hornstones” de estrutura estratificada (Itapeva, Perus, Cantareira), geralmente constituídas por camadas brancas ou esverdeadas claras alternadas com camadas verdes escuras ou róseas, permitem concluir que essas massas foram, antes da intrusão, sedimentos ou metassedimentos, possivelmente estratificados.

Em muitas rochas termometamórficas verificou-se a introdução de apreciáveis quantidades de K e Na, evidenciada pela presença nelas de microclínio e albita (Perus, Cantareira)

Em “hornfels” de natureza sílico-argilosa, encontrados em tetos pendentes no granodiorito da serra da Cantareira, foi possível verificar a existência de numerosas dobras ptigmáticas constituídas de feldspato e quartzo.

Finalizando essas considerações gerais sobre o problema do metamorfismo termal nas áreas estudadas desejamos adiantar que em muitos casos a rocha metamorfoseada termicamente serviu de hospedeiro para a introdução e cristalização de material de origem magmática. Enquadram-se, aqui, os fenômenos de turmalinização, tão comuns em rochas das áreas de Perus, Mogi das Cruzes; a introdução de fluoretos (São Roque, Perus, Inhandjara); a introdução de sulfetos nos skarnitos de Itaóca e Itapeva; a introdução de sódio em “hornfels” e xistos de contacto.

E — ROCHAS ESTUDADAS E DISCUSSÃO

Na impossibilidade de trazer a público estudo completo de todas as rochas produzidas por influência do metamorfismo termal e fenômenos correlatos e encontradas no Estado de São Paulo, vimos na necessidade de selecionar certas áreas, Fig. 1. Mesmo assim, restringindo o campo de nossas observações, não julgamos ter es-



Fig. 1 — Mapa do estado de São Paulo indicando as localidades e regiões estudadas.

gotado tôdas as perguntas que podem ser feitas sôbre a natureza e a gênese de tais rochas. A dificuldade maior reside no fato de não se poder estabelecer, com a segurança devida, a extensão dos afloramentos estudados e a verdadeira natureza do fenômeno metamórfico, pois sômente teòricamente se pode isolar os diversos fatôres que intervem no metamorfismo. Acresce, ainda, que a série São Roque é nitidamente um conjunto de rochas polimetamórficas, o que dificulta sobremaneira a interpretação.

Os estudos realizados seguiram os dois métodos clássicos: o *descritivo* e o *genético*. No primeiro as rochas metamórficas são estudadas como espécimes isolados, focalizando sempre que possível os característicos mineralógicos, estruturais, texturais e químicos. No estudo da gênese discutimos o fenômeno do *metamorfismo* traçando considerações sôbre as *mudanças* a que foram submetidas as rochas, com a posterior mudança de seus caracteres primários.

I — ITAÓCA

1 — *Exame macroscópico*

Nas proximidades de Itaóca (localidade situada à margem do rio Palmital, afluente do rio Ribeira e próximo dos limites com o Estado do Paraná) ocorrem interessantes rochas granatíferas (skarnitos — rochas granatíferas de contacto de alguns autores norte-americanos). As rochas coletadas na região apresentam dois característicos principais. Ora são massas quase negras, brilhantes e pesadas, ora são massas mais claras, nas quais podem ser distinguidos pelo menos dois minerais, um branco e outro de coloração roxa clara. Tanto as rochas escuras, como as rochas claras, acham-se atravessadas por veios e vênulas de material incolor e material normalmente de coloração verde e azul. Nas veias claras, de espessuras variadas e constituídas de quartzo bem desenvolvido e idiomorfo encontram-se pequenas cavidades preenchidas por malaquita e azurita bem cristalizadas, reconhecíveis ao exame macroscópico, Fig. 2. Massas do mineral branco, um dos constituintes da rocha mais clara, são comuns, formando faixas ou massas isoladas, geralmente fibrosas. As rochas de Itaóca, principalmente as mais escuras, possuem disseminação de calcopirita e bornita, Fig. 3.

As rochas escuras, quase negras e de brilho resinoso apresentam peso específico elevado. A variedade mais clara, já referida, é menos densa.

2 — *Exame microscópico*

Lâminas delgadas de numerosos exemplares das rochas granatíferas de Itaóca, (sejam as escuras, sejam as claras), põem em evidência duas séries de minerais. Na primeira encontram-se a graptolita, wollastonita de baixa temperatura e diopsídeo, andradita, wollastonita de baixa temperatura e diopsídeo, hedenbergita, Figs. 4, 5 e 6. Estes minerais constituem a massa principal das rochas de Itaóca, a proporção entre êles variando de região para região. Os minerais da segunda série são, essencialmente, quartzo, epidoto, sulfetos de cobre, calcedônia, malaquita e azurita. Estes últimos minerais ocorrem em menor proporção e ocupam os interstícios deixados pelos primeiros.

Examinadas em seus pormenores, as lâminas delgadas das rochas exibem certas particularidades para as quais chamamos a atenção dos leitores. A andradita, em muitas áreas do “skarnito”, representa, às vêzes, para mais de 90% da massa da rocha, Fig. 7 e Foto 2.

As granadas são aproximadamente idiomorfas. A wollastonita, formada posteriormente, preenche, juntamente com o diopsídio-hedenbergita, os espaços deixados por aquele mineral. Característico da wollastonita é o seu hábito acicular-fibroso, Fig. 5 e Foto 1.

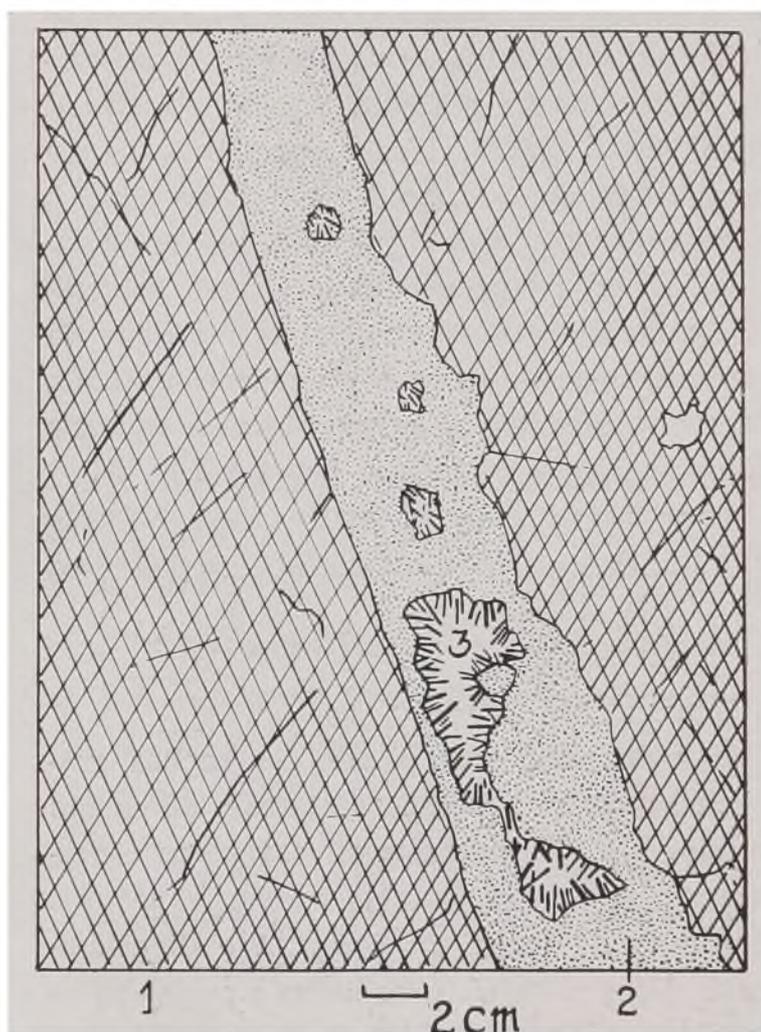


Fig. 2 — Itaóca, SP —
1) Massas de granada quase compacta atravessadas por vênulas secundárias de azurita, malaquita e crisocola, 2) Veia de quartzo, 3) Geodo revestido de cristais de azurita e malaquita.



Fig. 3 — Itaóca, SP — 1) Massas de wollastonita e granada, 2) Massas de granada e bornita, 3) Calcopirita.

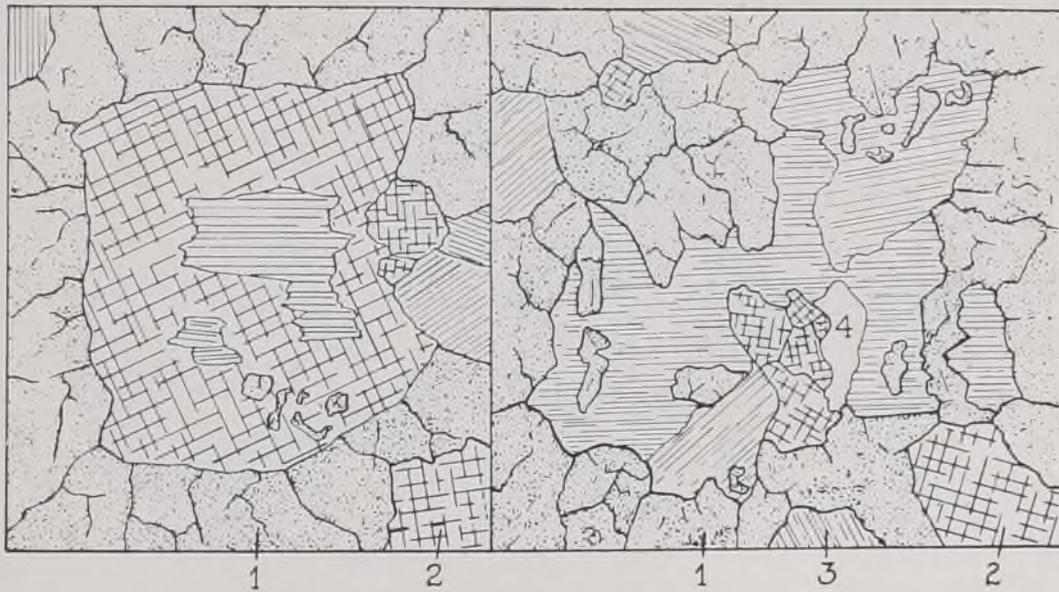


Fig. 4 — Itaóca, SP — 1) Granada, 2) Diopsídio-Hedenbergita, 3) Wollastonita, 4) Quartzo. X 30.

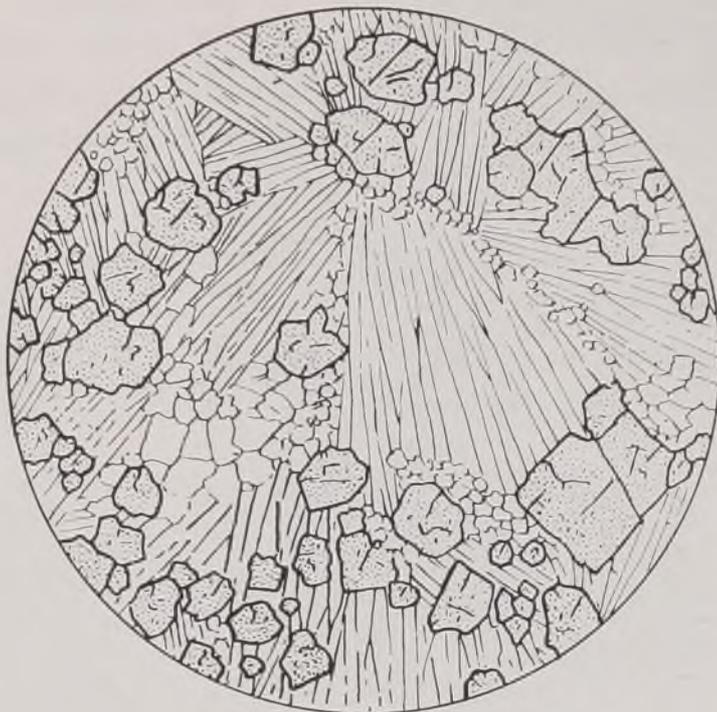


Fig. 5 — Itaóca, SP —
Cristais mais ou menos
equidimensionais de grana-
da entre cristais aciculares
de wollastonita. X 25.



Fig. 6 — Itaóca, SP —
Cristais de granada (relê-
vo maior) associados à
wollastonita (traços parale-
los) e diopsídio-hedenber-
gita. X 25.



Fig. 7 — Itaóca, SP — Massa de granada. Notar no centro, região descolorida. A parte opaca é azurita-malaquita. Os grânulos brancos são diminutos cristais de quartzo. X 40



Fig. 8 — Itaóca, SP — Rocha granatífera alterada, coloração castanho escuro. A massa principal é constituída de óxidos e hidróxidos de ferro que englobam: 1) Epidoto, 2) Calcédônia, 3) Vênulas de malaquita e azurita, 4) Granadas. X 22.

A rocha granatífera de Itaóca, quando alterada apresenta-se de coloração castanho escuro. Tal fato liga-se à alteração das granadas com libertação de óxidos e hidróxidos de ferro, Fig. 8.

3 — *Discussão*

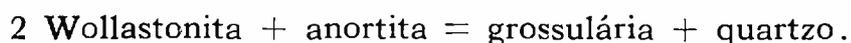
O magma granítico responsável pelo metamorfismo termal das rochas "skarníticas" de Itaóca foi também o responsável pela introdução de ferro nas rochas produzidas. Foi, graças a êsse metal, que se formaram a andradita, $3\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$ e a hedenbergita, $\text{CaFe}(\text{SiO}_3)_2$.

Com referência à maneira pela qual o ferro teria penetrado a rocha encaixante, não nos parece aceitável, no caso de Itaóca, que ele tenha sido introduzido no calcário por processo pneumatolítico (Fe_2Cl_6). Faltam inteiramente, nas rochas da região, minerais que denunciem ação de agentes voláteis (Cl e F). Aceitamos, como provável, que a introdução tenha se processado sob a forma de soluções aquosas.

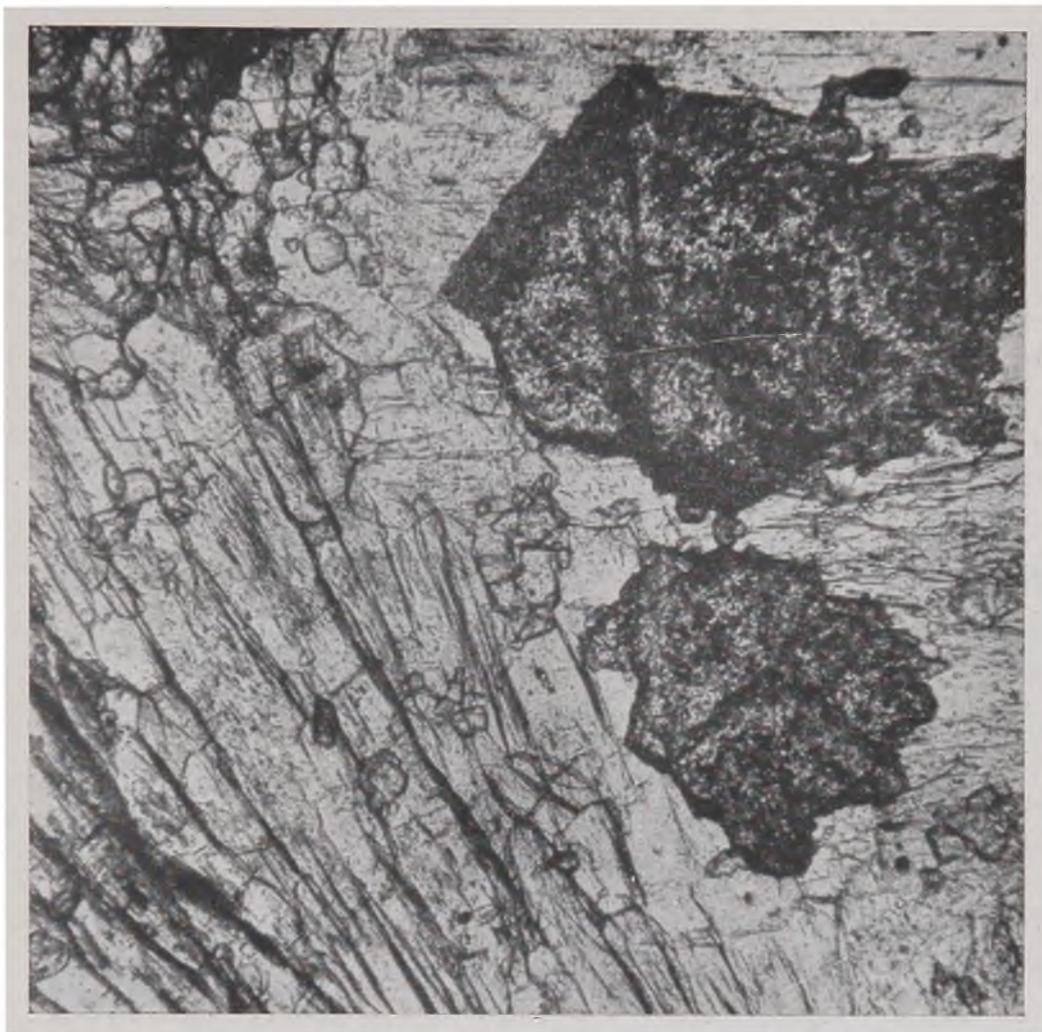
Em muitas áreas das rochas skarníticas (ver capítulo referente ao Exame Macroscópico) pode ser verificada a conversão da grossulária para andradita e do diopsídio para hedenbergita. Nessas transformações papel importante deve ter sido desempenhado pelas soluções portadoras de ferro.

A wollastonita, Ca SiO_3 , originou-se da reação da sílica existente no calcário, ou introduzida, com o carbonato de cálcio original. A quantidade de sílica foi suficiente para transformar totalmente o calcário (decarbonatação), fazendo desaparecer qualquer traço do carbonato. Algumas áreas da rocha metamorfoseada apresentam-se sob a forma de massas compactas de wollastonita.

Registramos, aqui, a ausência da associação anômala wollastonita-anortita, minerais considerados incompatíveis:



Tal associação, que ocorre em certas regiões, como consequência da rápida formação dos minerais (Harker, p. 94), vem demons-



Fotomicrografia 1 — Itaóca, SP — Cristais de granadas (maior relêvo) associados à wollastonita (cristais fibrosos) e diopsídio-hedenbergita (alto, à esquerda). X 40, nicóis paralelos.

trar que a formação da rocha granada-piroxênio-wollastonita de Itaóca se processou de maneira lenta permitindo perfeito equilíbrio químico entre os constituintes.

A quantidade de inclusões nas granadas — grossulária e andradita — indica que a formação destes porfiloblastos não foi também rápida. Ao contrário do que se esperava, as granadas das rochas de Itaóca não exibem, sejam zonas de crescimento, sejam fenômenos de birrefringência anômala.

A não conversão da grossulária em outros minerais, por exemplo, idocrásio, permite concluir que a rocha não deve ter sofrido efeitos de metamorfismo retrógrado.



Fotomicrografia 2 — Itaóca, SP — Cristais de granada (relêvo maior) e cristais de wollastonita (claros). X 90, nicos paralelos.

Após a formação da rocha skarnítica (granada-piroxênio-wollastonita), Figs. 4, 5 e 6, verificou-se a introdução dos compostos de cobre (calcopirita = CuFeS_2 e bornita = Cu_5FeS_4), Fig. 3. A distribuição desses minerais no interior da rocha indica que os sulfetos se formaram de soluções aquosas isentas de quaisquer outros elementos.

Posteriormente à introdução dos sulfetos deve ter-se verificado a introdução de sílica com a produção de veias e vênulas de quartzo intersticial, Fig. 2. Epidoto, calcedônia, azurita, malaquita se formaram por último, Fig. 8.

Alterações superficiais nas zonas supérgenas enriqueceram de carbonato de cobre a rocha granatífera.

Do que foi exposto conclui-se que ocorreram pelo menos quatro estágios durante o processo metamórfico: 1) metamorfismo termal, 2) introdução de soluções portadoras de ferro, 3) introdução de sulfetos de cobre e ferro e 4) ação hidrotermal e enriquecimento secundário.

II — ITAPEVA

1 — *Exame macroscópico*

Na área de Itapeva serão estudadas duas formações termometamórficas. Uma delas, a região da Mina de Santa Blandina, cerca de 13 km ao sul da cidade, caracteriza-se pela presença de skarnitos e hornfels. À semelhança de Itaóca, aqui, também, as rochas granatíferas acham-se impregnadas de sulfetos, óxidos, carbonatos e silicatos de cobre. Nos calcários não metamorfoseados, próximos do contacto, são encontradas massas de calcopirita formando veias e vênulas de espessuras variáveis.

Na segunda região, proximidades da sede do distrito de Campina do Veado, no bairro de Quirino, sítio Aleixo Vieira, ocorre interessante xenólito de rocha dedolomitizada (Passos Guimarães, 1952), produzida pela intrusão de um dique de diabásio em lente de dolomito cinza.

a — *Mina Santa Blandina*

A mina de Santa Blandina localiza-se na região de contacto de rochas carbonatadas com granito e diabásio. Destas últimas rochas o diabásio é de idade posterior. As rochas carbonáticas, próximas ao contacto, apresentam-se totalmente metamorfoseadas, na forma de hornfels cálcio-silicáticos e skarnitos.

O hornfels, comum na região, apresenta-se sob a forma de rocha listrada, na qual são visíveis estratos claros e estratos verde

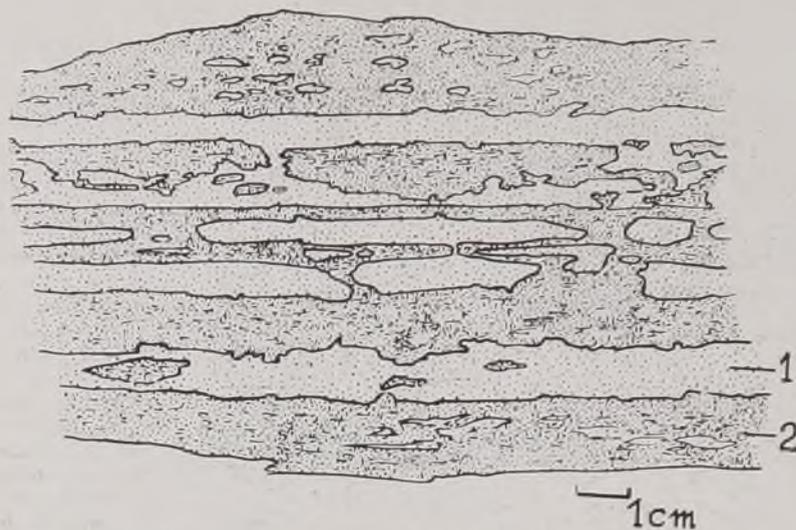


Fig. 9 — Itapeva, SP — (Mina Santa Blandina) — Hornfels estratificado. 1) Nesse estrato ocorrem principalmente diopsídio e epidoto, 2) Tremolita-Actinolita, clinozoisita, plagioclásio e microclínio.

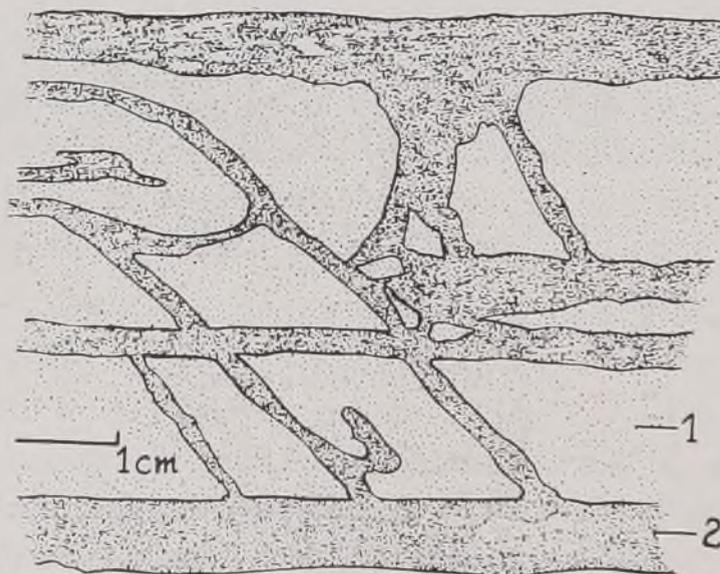


Fig. 10 — Itapeva, SP — (Mina Santa Blandina) — Hornfels estratificado. 1) Diopsídio e epidoto, 2) Tremolita-actinolita, plagioclásio, clinozoisita e microclínio.

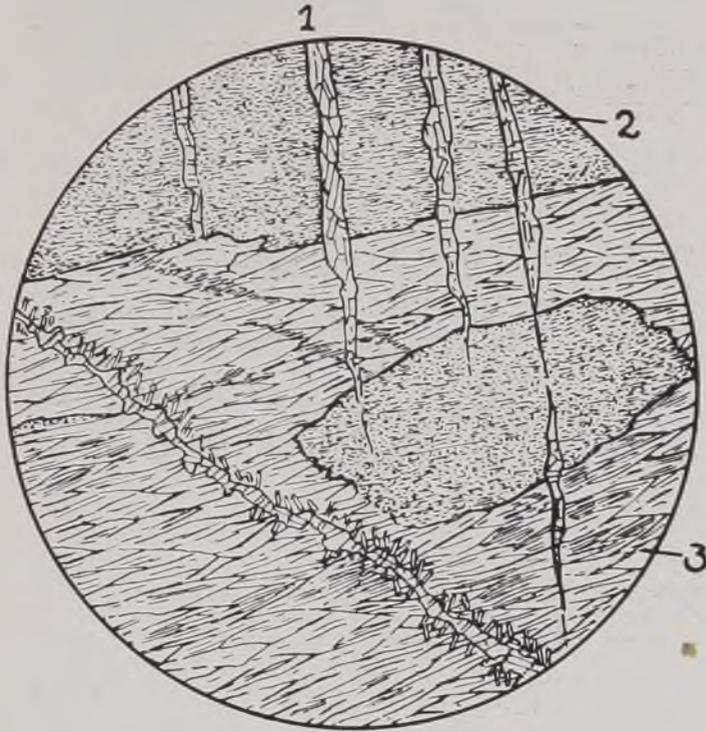


Fig. 11 — Itapeva, SP —
(Mina Santa Blandina)
— Secção delgada da re-
gião compreendida entre
as camadas do hornfels es-
tratificado (Figs. 9 e 10),
1) Vênulas de prehnita,
2) Camada constituída de
diopsídio e epidoto, 3) Ca-
mada na qual podem ser
listinguídos os seguintes mi-
nerais: tremolita-actinoli-
ta, clinozoisita, plagioclá-
sio e microclínio. Dentro
desta camada há uma vênula
de cristais de microclínio
e epidoto. X 25.

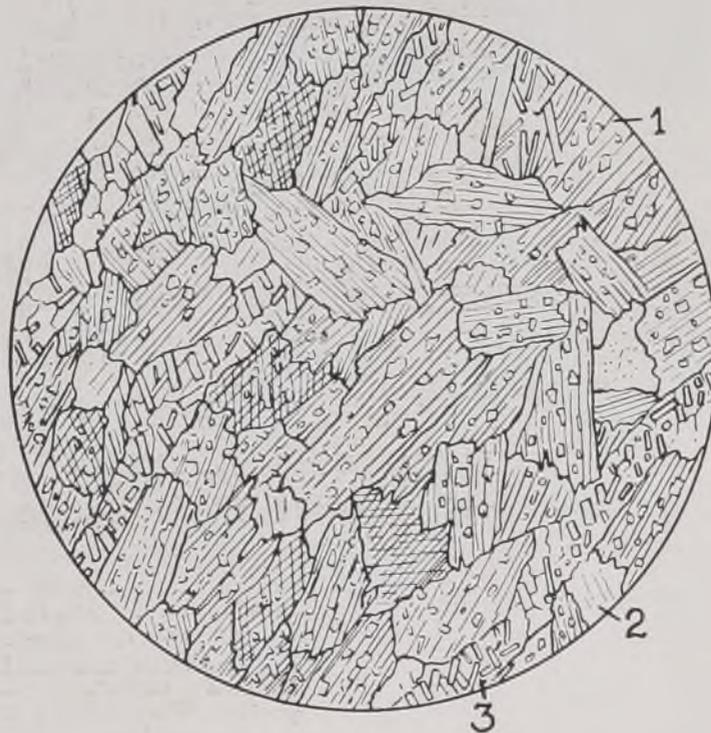


Fig. 12 — Itapeva, SP —
(Mina Santa Blandina)
— Secção delgada da ca-
mada contendo tremolita-
actinolita, Figs. 9, 10 e 11.
1) Tremolita-actinolita com
textura poiquiloblástica, 2)
Feldspato, 3) Epidoto sô-
bre microclínio. X 55.

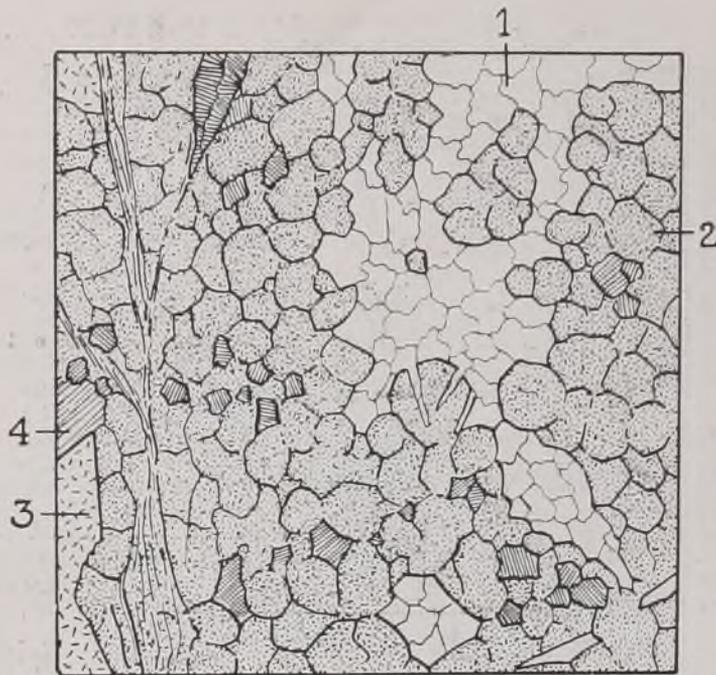
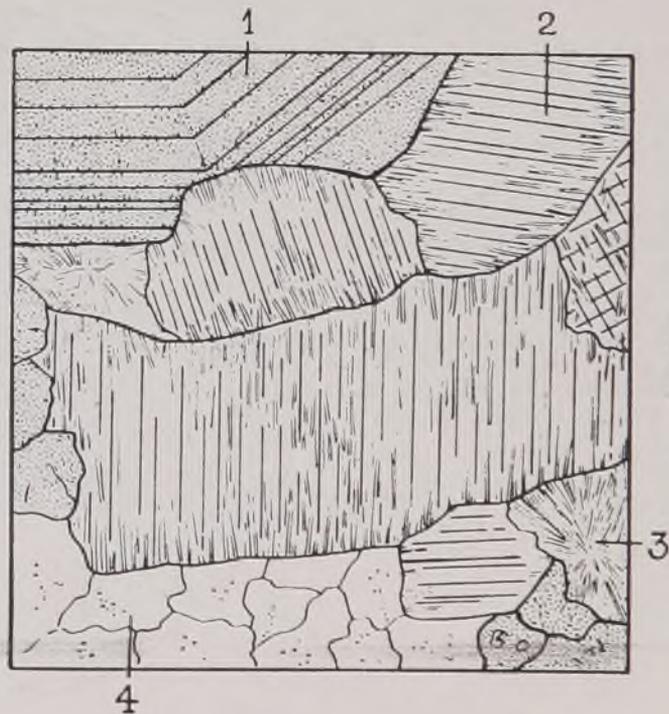
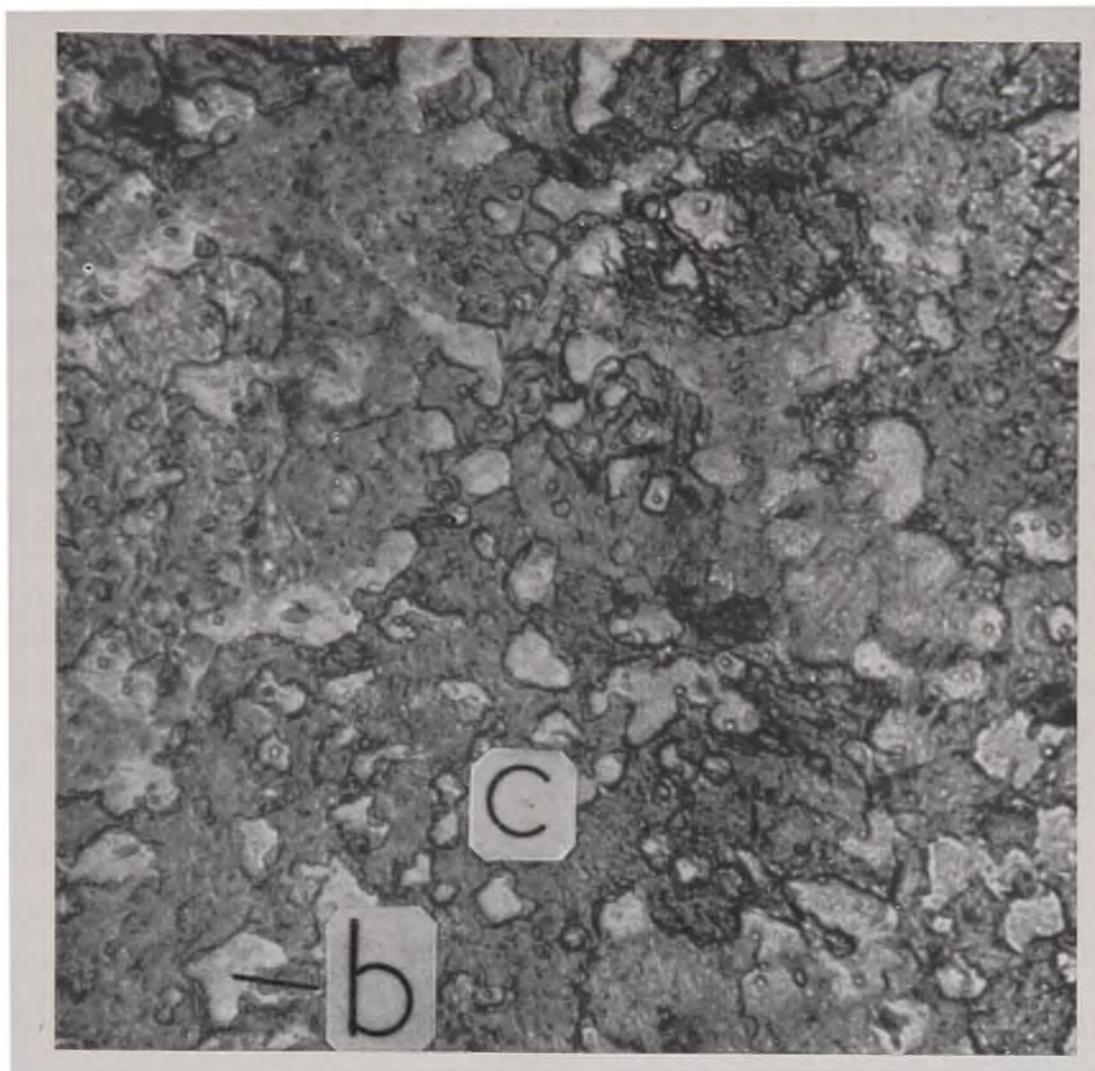


Fig. 13 — Itapeva, SP —
(Mina Santa Blandina)
— Rocha granatífera. 1)
Quartzo, 2) Granada, 3)
Malaquita, 4) Diopsídio
parcialmente alterado. X
18.

Fig. 14 — Itapeva, SP —
(Mina Santa Blandina)
— Rocha granatífera. 1)
Granada com estrutura em
camadas, exibindo nítidos
fenômenos de anomalia óptica,
2) Diopsídio parcialmente
transformado em tremolita,
3) Calcedônia, 4)
Quartzo. X 145.





Fotomicrografia 3 — Itapeva, SP (Sítio Aleixo Vieira) — Pncatito exibindo calcita (c) e brucita pseudomórfica sôbre periclásio (b). X 100.

acinzentados, Fig. 9* .As listras, que guardam certo paralelismo, intercomunicam-se por ramificações transversais, formando a curiosa estrutura esquematizada na Fig. 10. A rocha é muito densa e, à vista desarmada, não podem ser distinguidos os minerais presentes.

O skarnito de Santa Blandina é semelhante ao descrito na região de Itaóca. Faltam, contudo, os tipos escuros e brilhantes, nos quais predomina a andradita. Faltam, também, as massas bran-

* A essa rocha o prof. Tharcisio Damy de Souza Santos deu o nome de "gorutubito".

cas constituídas de wollastonita. Vênulas de quartzo são relativamente comuns.

2 — *Exame microscópico*

O hornfels listrado é constituído de minerais diferentes, conforme a listra que se considera. As camadas claras, representadas nas Figs. 9 e 10 (1), são constituídas principalmente de diopsídio e epídoto. Os cristais não são bem individualizados. As camadas de coloração verde acinzentado são formadas de actinolita, clinozoísita e microclínio, Fig. 11. Vênulas de prehnita e microclínio atravessam indistinta e discordantemente as camadas claras e escuras. A actinolita é nitidamente poiquiloblástica, Fig. 12

Esse tipo de rocha, formado por camadas alternadas e composição mineralógica semelhante, é comum em outras áreas termometamórficas e será citado posteriormente nas regiões de São Roque e Perus.

As rochas portadoras de granada constituem-se principalmente de granadas de duas côres — amarelo e rosa claro — e diopsídio. São rochas compactas nas quais a granada ocupa lugar de destaque; a sua porcentagem atinge em algumas áreas para mais de 95% da massa do skarnito.

Quartzo intersticial é encontrado com relativa frequência. As granadas, possivelmente de natureza cálcio-ferro-aluminosa, exibem, no exame à luz polarizada, birrefringência cinza e geminação polissintética, Fig. 14. A geminação em estratos é mais acentuada nas partes marginais dos cristais. As granadas incluem, comumente, grande número de partículas não identificáveis ao microscópio e piroxênio.

O piroxênio (diopsídio-hedenbergita) ocorre sob a forma de cristais geralmente idiomorfos. São normalmente incolores. Quando alterados transformam-se em agulhas ou cristais fibrosos de tremolita.

b — *Sítio Aleixo Vieira*

O xenólito de pencatito encontrado no interior do dique de diabásio representa significativo exemplo de metamorfismo exogenético térmico (Passos Guimarães, 1952, p. 23). A Foto 3 mostra claramente a associação calcita (c) e brucita (b). Muitos dos grânulos de brucita exibem forma cúbica, característica do peroclásio que lhe deu origem.

O pencatito do sítio Aleixo Vieira apresenta-se de coloração branca e granulação muito fina. O dolomito não metamorfoseado é de cor cinza.

3 — *Discussão*

O estudo da gênese das rochas de Itapeva será feito, separadamente, levando-se em consideração as duas localidades, mina de Santa Blandina e o Sítio Aleixo Vieira.

a — *Mina Santa Blandina*

Parece não haver dúvida de que os hornfels e skarnitos encontrados nessa mina se formaram por metamorfismo de contacto. A faixa contendo as rochas metamórficas citadas acha-se em contacto direto com rochas graníticas e um dique de diabásio. Acreditamos, contudo, pelas relações de campo, que o granito foi responsável pelos efeitos térmicos. Falamos em favor dessa hipótese a extensão da área ocupada pelos hornfels e skarnitos e a presença de calcopirita e bornita como minerais de impregnação dos skarnitos. Barbosa (1955, p. 3), ao contrário, referindo-se aos diabásios intrusivos e gabros, do eo-ou meso-mesozóicos, diz que a jazida de cobre está relacionada com essas rochas.

A semelhança das rochas granatíferas de Itapeva, com as de Itaóca, área onde o metamorfismo de contacto se deu por efeito de intrusão granítica, acompanhada de ação hidrotermal, é outro elemento de que se pode lançar mão para confirmar a hipótese aventada.

Não possuímos elementos seguros para esclarecer qual tenha sido o papel desempenhado pela intrusão diabásica que corta os skarnitos. Tudo leva a crer, entretanto, que essa intrusão não teve maior repercussão na formação das rochas termometamórficas referidas. Diques de diabásio que atravessaram os dolomitos impuros da região de Itapeva apenas provocaram o desdobraimento da dolomítica em calcita e periclásio, (periclásio-mármora) posteriormente transformado em brucita, sem formação de silicatos (sítio Aleixo Vieira).

A presença de feldspatos cálcio-sódicos e microclínio no hornfels, Figs. 11 e 12, é outro elemento que reforça a hipótese aqui levantada.

Não foram encontrados nas rochas metamórficas de Itapeva minerais pneumatolíticos.

A ausência de wollastonita talvez possa ser explicada pela presença de alumina e magnésia que proporcionaram a formação de grossulária e diopsídio, respectivamente.

Acreditamos, ainda, que deixaram de ser formados, nos skarnitos, os aluminossilicatos, idocrásio e clinozoisita, pela falta de água.

Os hornfels listrados, da mina de Santa Blandina, provém, possivelmente, de sedimentos originalmente estratificados e com a seguinte composição química: carbonato de cálcio e magnésio e impurezas argilosas.

b — *Sítio Aleixo Vieira*

A presença de rocha dedolomitizada em contacto direto com dique de diabásio, sem formação de minerais aluminossilicatados, vem reforçar a hipótese admitida, páginas atrás, de ter sido a intrusão granítica a responsável pelos fenômenos térmicos ocorridos em Santa Blandina.

III — SÃO ROQUE

1 — *Exame macroscópico*

As rochas termometamórficas da jazida de dolomito da Vidraria Santa Marina, situada entre as cidades de São Roque e Marink e minuciosamente estudadas por Coutinho (1953), constituem magnífico exemplo de metamorfismo termal com superposição de fenômenos pegmatíticos e ação hidrotermal. Os calcários metamórficos que se acham em contacto direto com o "granito" transformaram-se em rocha de textura hornfésica, apresentando-se rica de minerais cálcio-silicatados. O autor, que percorreu novamente toda a região de São Roque, com o objetivo de comparar as rochas dessa região com as de Itapeva, encontrou em alguns dos afloramentos certos tipos que muito se assemelham aos hornfels listrados de Itapeva, Figs. 9 e 10. Verificou, ainda nessa área, bem como nas de Itaóca e Itapeva, que as rochas carbonáticas não são igualmente metamorfoseadas. Variando a composição original da rocha encaixante, o gradiente térmico da rocha intrusiva e a maior ou menor penetração dos constituintes voláteis e soluções aquosas (ação hidrotermal), variarão também, necessariamente, a textura e a composição mineralógica dos produtos metamórficos.

Papel importante, nos processos metamórficos sofridos pelo dolomito de São Roque, parece ter sido desempenhado pelos diques e lentes pegmatíticas e veias de quartzo cinza escuro que cortam aquela rocha. No meio desse dolomito metamorfoseado ocorrem bem desenvolvidas massas de cristais aciculares de tremolita cinza escuro, Fig. 15. Na massa fundamental, de granulação fina, ocorrem ainda, regiões esverdeadas, ricas de diopsídio, além de talco, quartzo e antigorita. Há, nesses dolomitos termometamórficos, áreas em que os minerais descritos se distribuem em camadas paralelas ou sub-paralelas à maneira dos hornfels cálcio-silicatados de Itapeva, Figs. 9, 10 e 11 e os que descreveremos mais adiante na região de Perus, Figs. 17 e 18.



Fig. 15 — São Roque, SP (Pedreira Santa Marina) — Bloco de dolomito metamorfoseado termicamente. A massa fundamental é constituída de calcita, dolomita, mica, antigorita e epidoto. As partes diferenciadas, aciculares, são constituídas de tremolita.

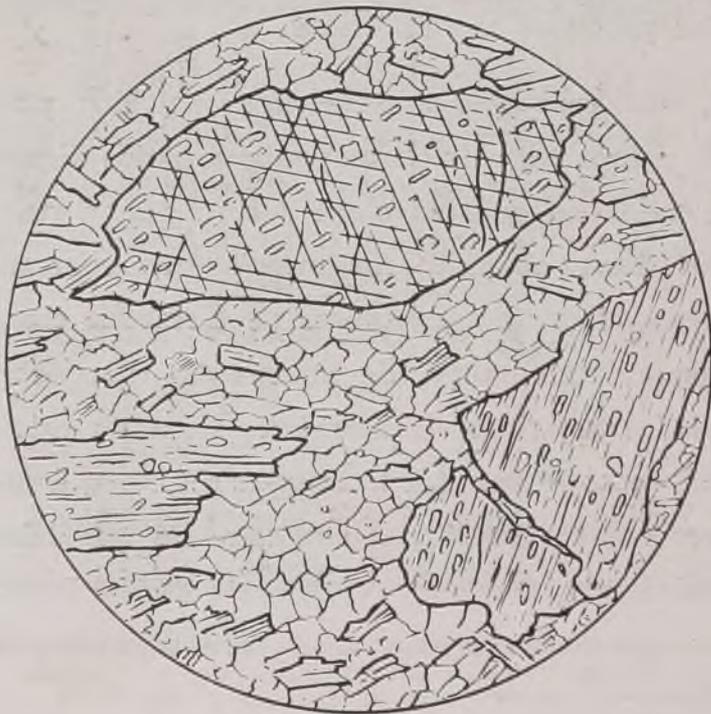


Fig. 16 — São Roque, SP (Pedreira Santa Marina) — Secção delgada do dolomito metamorfoseado, Fig. 15. Na secção podem ser vistos 3 cristais de tremolita poiquiloblástica maiores e outros menores mergulhados em agregado de cristais ainda menores de dolomita, mica, antigorita e epidoto. X 10.

2 — *Exame microscópico*

O exame microscópico de numerosas lâminas revelou nos dolomitos metamórficos a existência de tremolita, diopsídio, antigorita, talco, albita, quartzo, pirita, calcita, Fig. 16 e Foto 4. Calcita deixa de ocorrer nas áreas em que mais intensamente se verificou a decarbonatação.

Regiões (faixas) há em que o hornfels é constituído de outros minerais, aparecendo oligoclásio, microclínio, clinozoísita, flogopita, titanita e turmalina parda.



Fotomicrografia 4 — São Roque, SP (Pedreira Santa Maria) — Parte de um cristal de tremolita com vênulas de dolomita, antigorita e mica. À esquerda a massa fundamental: dolomita, mica, antigorita e epidoto. X 50.

3 — *Discussão*

O metamorfismo termal, acompanhado das fases pegmatítica, pneumatolítica e hidrotermal, que se verificou na região de São Roque, deve ter se processado em condições diversas das que ocorreram em Itaóca e Itapeva. Se na região de Itapeva (Santa Blandina), por exemplo, ocorrem hornfels listrados, semelhantes aos que aparecem em São Roque, como já foi dito, ocorrem ali, também, grandes massas de rochas granatíferas, inteiramente ausentes em São Roque. Nesta região, por outro lado, há indícios de ação pneumatolítica, fase não encontrada nas regiões de Itaóca e Itapeva.

A explicação que aventamos para os hornfels listrados de Itapeva, isto é, que a alternância de composição mineralógica e química é consequência da estratificação e composição original, parece-nos perfeitamente cabível para as rochas listradas (embora sejam as camadas bem mais estreitas) de São Roque. A rocha original, estratificada, já devia também possuir quartzo detrítico. Em certas camadas onde o quartzo ocorre como mineral isolado, em íntima associação com os outros minerais dos hornfels e de certa forma abundante, não há evidência de que tenha sido introduzido posteriormente pois faltam as características formas de vênulas e cordões.

Os minerais neoformados nos hornfels, variáveis de leito para leito não se constituíram todos ao mesmo tempo. Comuns são as texturas poiquiloblásticas e porfiroblásticas, Fig. 16, semelhantes às dos hornfels de Perus, Figs. 18, 20, 21, 22 e Foto 5.

A introdução de boro e fluor só pode ser evidenciada e assim mesmo muito escassamente pela presença nos hornfels de turmalina parda e flogopita, mineral que se admite possui quase sempre certa porcentagem de fluor

A associação de calcários metamórficos, quartzitos, filitos, anfibólio xistos e outras rochas de origem dinamotermal, todas igualmente dobradas e empinadas e amplamente difusas nas áreas ocupadas pelas rochas da série São Roque, permite concluir que os dolo-

mitos já tinham passado por processos metamórficos quando se deu a intrusão do granito (Coutinho, p. 65) Tais processos, entretanto, a nosso ver, não teriam sido suficientes para produzir a decarbonatação e silicatação dos dolomitos com a produção de tremolita e diopsídio. Estes minerais e outros que se originam de rochas carbonatadas só se encontram em áreas onde é patente a ação magmática ou a proximidade de corpos intrusivos, responsáveis pelos processos pirometamórficos e metassomáticos.

Não possuímos elementos para afirmar que o granito tenha sido o responsável direto pela introdução da alumina. Por outro lado, não resta dúvida, considerando-se a riqueza de feldspatos de certas zonas e faixas, que houve substancial adição de SiO_2 , K_2O e Na_2O por parte do magma.

IV — PERUS

1 — *Exame macroscópico*

As rochas termometamórficas estudadas nesse capítulo foram coletadas na pedreira Peccicacco e regiões circunvizinhas e ocorrem nas proximidades de corpos pegmatíticos e granitos intensamente turmalinizados. As rochas encaixantes primitivas, anteriores à intrusão, são representadas na região por filitos, sericitaxistos e rochas carbonatadas. Nos contactos dos granitos e pegmatitos com as encaixantes nem sempre aparecem rochas termometamórficas características. Assim, em muitos contactos, é nítida a separação entre as rochas intrusivas e as encaixantes. Isso ocorre, de preferência, nos contactos com as rochas essencialmente aluminosas.

Hornfels listrados (leitos de coloração verde, salpicados de material branco e rosa, alternam-se com leitos escuros, nos quais é visível, mesmo à vista desarmada, lâminas de biotita) ocorrem sejam em massas xenolíticas, sejam nas inclusões sob forma de tetos pendentes e, ainda, nos contactos diretos com os pegmatitos.

As rochas intrusivas (granitos e pegmatitos), as rochas encaixantes (filitos, sericitaxistos e rochas carbonáticas), bem assim as rochas termometamórficas originadas nas regiões de contacto, são ricas de turmalina, Fig. 19. Enquanto nos granitos e pegmatitos as turmalinas exibem cores relativamente claras (rosa, castanho, amarelo), nos filitos, xistos e hornfels as cores são predominantemente escuras (preto, verde escuro e azul escuro). Os minerais, lepidolita ($\text{LiO}_2 = 3,45\%$) e apatita comuns nos granitos e pegmatitos ocorrem raramente nas rochas termometamórficas.

2 — Exame microscópico

a — Hornfels cálcio-silicatado

As rochas cálcio-silicatadas, que constituem integralmente os xenólitos encontrados no interior dos pegmatitos e granitos turmalinizados da pedreira Peccicacco e que formam total ou parcialmente as rochas dos teto-pendentes e as paredes laterais de contacto, são densas e muito resistentes ao choque. Constituem-se essencialmente de piroxênio, feldspato, titanita, hornblenda verde, biotita, labradorita, clinzoísita, apatita, actinolita-tremolita, turmalina, flogopita, quartzo e oligoclásio. Longos cristais aciculares de vesuvianita de coloração azulada, dispostos radialmente, foram encontrados entre listras de uma amostra de hornfels.

A composição mineralógica dos hornfels é variável. Há, contudo, repetição de composição de acordo com a coloração das camadas ou listras, Figs. 17, 18, 20, Fotomicrografia 5

Os minerais constituintes, variando em suas proporções, exibem quase todos a característica textura em peneira (textura poiquiloblástica). São poiquiloblásticos o piroxênio, a hornblenda, a biotita-flogopita, o microclínio, a actinolita-tremolita, o oligoclásio e o quartzo. A titanita, o epidoto e a apatita são os únicos minerais não poiquiloblásticos, Figs. 18, 21(2), 22 e Fotomicrografia 5.

Nas faixas onde há predominância de tremolita-actinolita, clinzoísita e titanita, os primeiros não só incluem os outros dois, co-

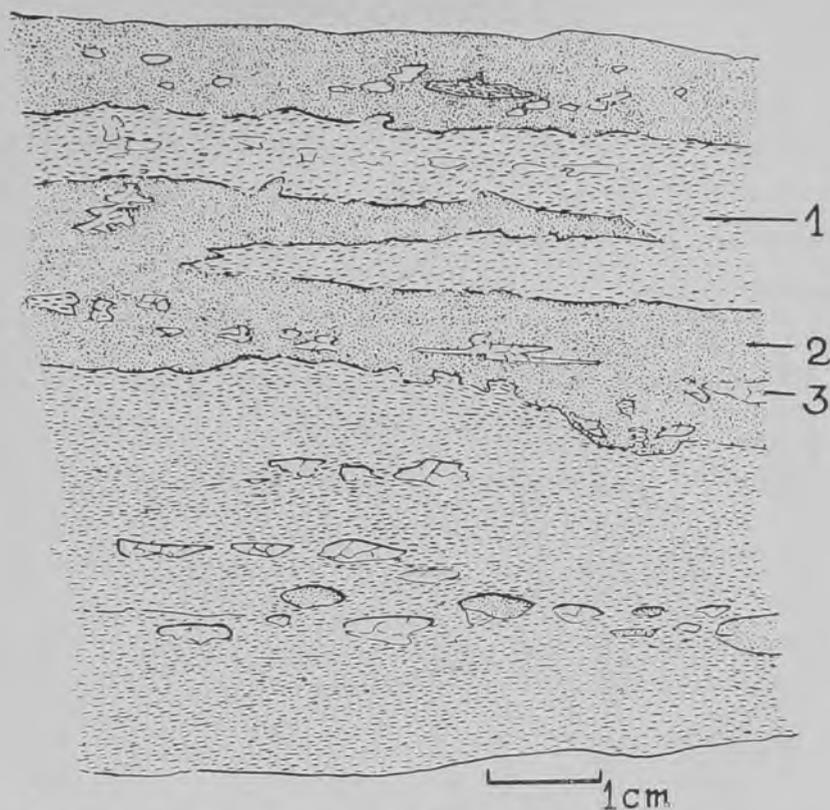


Fig. 17 — Perus, SP (Pedreira Peccicacco) — Hornfels estratificado (xenólito), 1) Camada constituída de piroxênio, feldspato e titanita, 2) Camada formada de hornblenda verde, biotita, labradorita e titanita, 3) Feldspato.



Fig. 18 — Perus, SP (Pedreira Peccicacco) — Hornfels estratificado (xenólito). 1) Diopsídio poiquiloblástico. As partes pontilhadas são constituídas de feldspato, clinzoisita e apatita, 2) Actinolita-tremolita, titanita e turmalina (pontos pretos). No meio dessa camada há cristais maiores de feldspato.

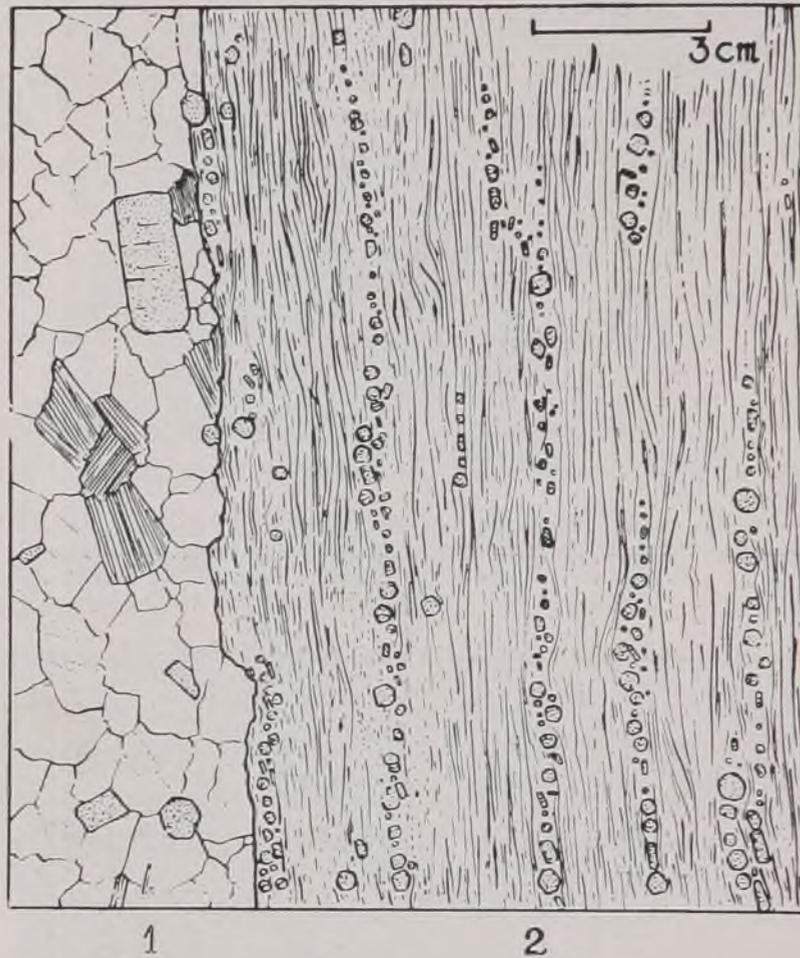


Fig. 19 — Perus, SP (Pedreira Peccicacco) — Contacto entre pegmatito contendo principalmente quartzo, microclínio, lepidolita, turmalina, apatita, muscovita (1) e o sericita-xisto turmalinado. Notar aqui a maneira pela qual se deu a penetração dos agentes voláteis formadores da turmalina (2).

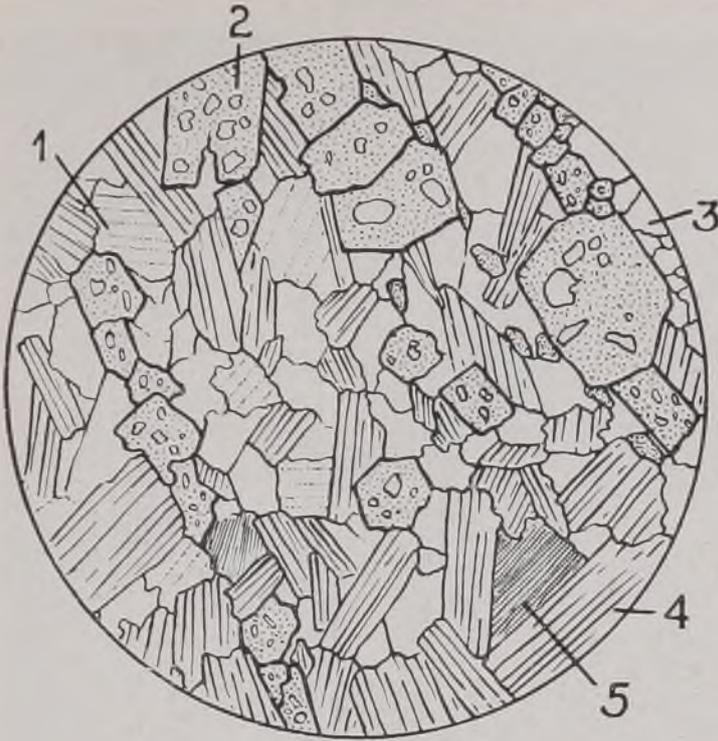


Fig. 20 — Perus, SP (Pedreira Peccicacco) — Seção delgada de amostra retirada do contacto entre o pegmatito e o xisto turmalinizado, Fig. 19. 1) Oligoclásio, 2) Turmalina poiquiloblástica contendo grânulos de quartzo, 3) Quartzo, 4) Tremolita, 5) Mica parda (flogopita). X 75.

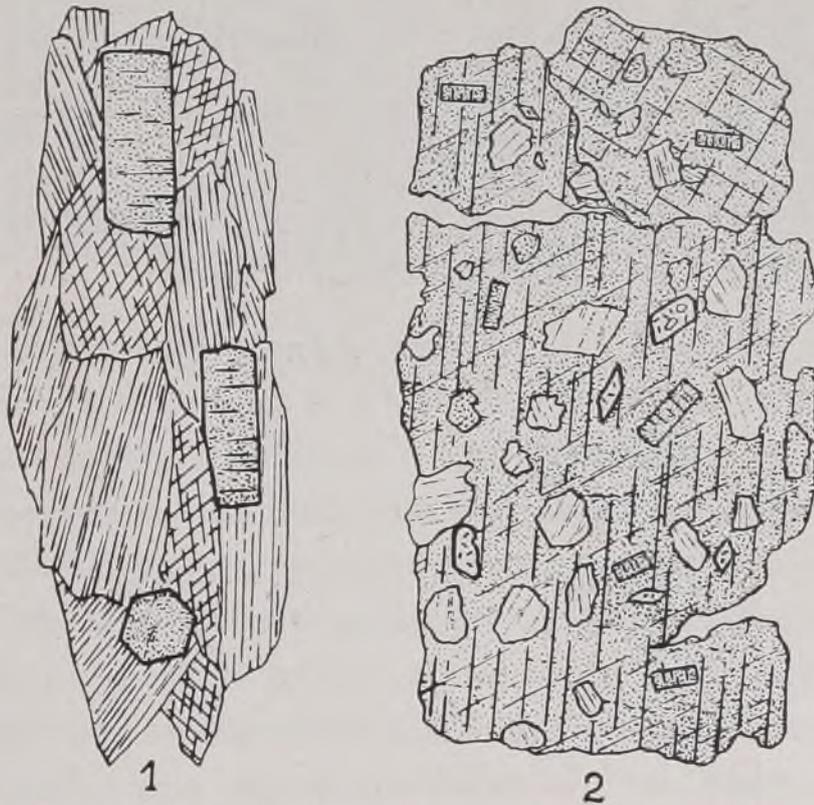


Fig. 21 — Perus, SP (Pedreira Peccicacco) — Desenhos pormenorizados de partes da Fig. 18. 1) Cristais de turmalina formados às expensas da tremolita-actinolita, 2) Cristal de d'opsídio incluindo poiquiloblásticamente: turmalina, feldspato, clinozoisita, titanita e quartzo.

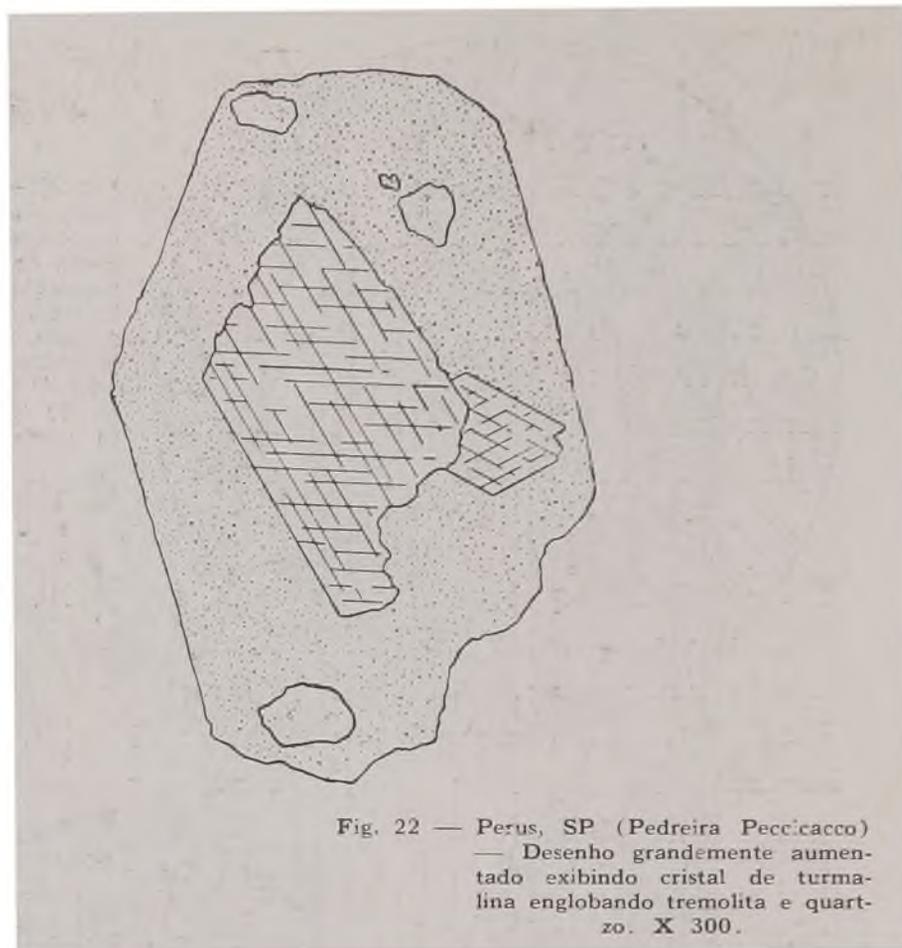
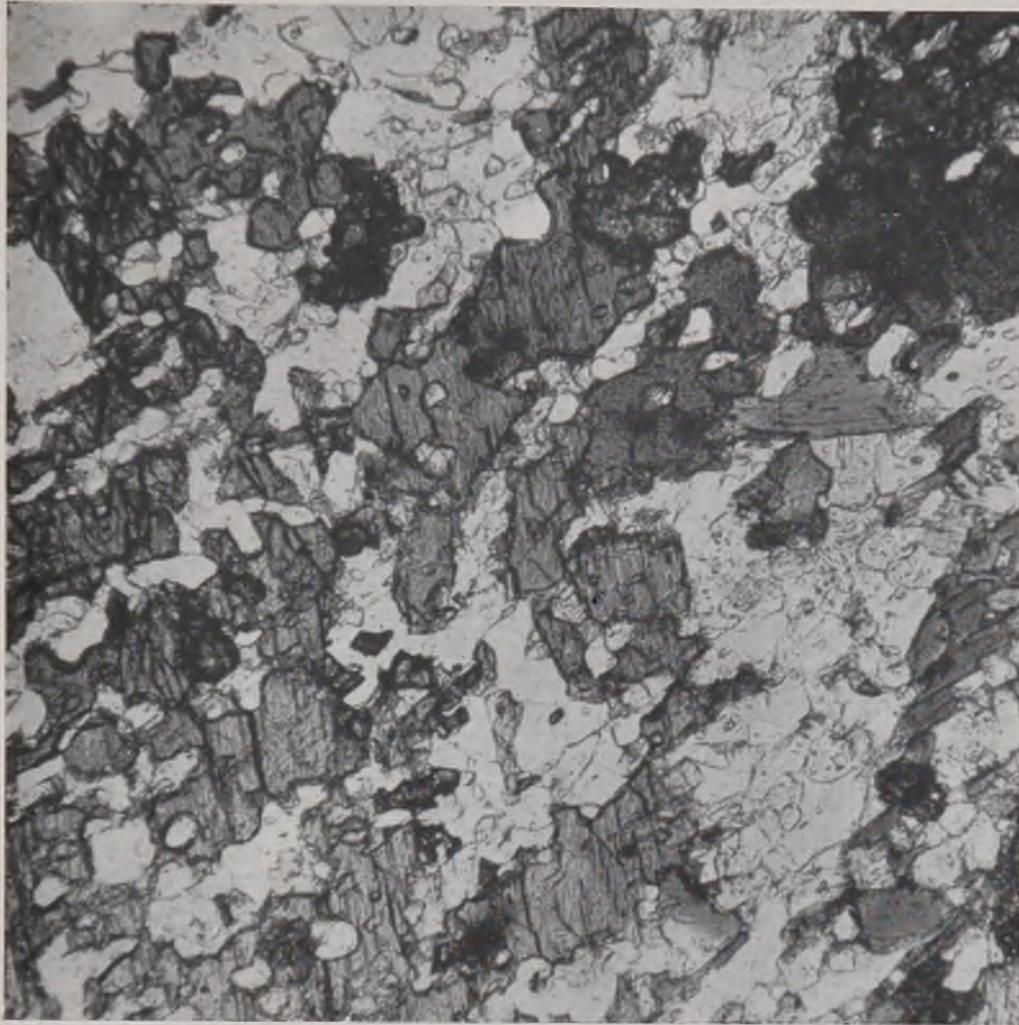


Fig. 22 — Perus, SP (Pedreira Peccicacco)
 — Desenho grandemente aumentado exibindo cristal de turmalina englobando tremolita e quartzo. X 300.

mo também exibem a conhecida textura decussada, arranjo característico de rochas metamorfoseadas tèrmicamente.

As Figs. 20, 21 e 22 fornecem alguns pormenores sôbre as relações existentes entre a turmalina e os minerais dos hornfels. Na primeira vê-se nítidamente que a turmalina é poiquiloblástica; na segunda(1) os cristais de turmalina distribuem-se entre os de tremolita. Nessa lâmina é fácil verificar que as turmalinas se formam às expensas da tremolita. Daí serem elas de coloração castanho claro e cálcio-magnesianas. Ainda, na Fig. 21(2), a turmalina ocorre no interior do diopsídio. Tudo indica que essa turmalina é de origem detrítica, nada tendo de comum com a turmalina originada por atividade ligada à intrusão granito-pegmatítica. A Fig. 22, por seu turno, põe em evidência a formação posterior da turmalina, que engloba poiquiloblásticamente a tremolita-actinolita e o quartzo.



Fotomicrografia 5 — Perus, SP (Pedreira Peccicacco) — Hornfels estratificado (Xenólito). Nessa foto podem ser vistos hornblenda e biotita poiqu'loblásticas, feldspato e quartzo. Os cristais granulares, de maior relêvo, são titanita.
X 40.

b — *Xistos termometamórficos*

Nas proximidades da pedreira Peccicacco, na antiga estrada de rodagem São Paulo-Campinas ocorrem, nos contactos, algumas faixas de xistos intensamente metamorfoseados. Apresentam-se sob a forma de rochas compactas, muito densas, que guardam entretanto sua primitiva textura. Seus constituintes principais são granada, sillimanita, biotita e quartzo. As granadas são de coloração avermelhada e exibem, muito raramente, fenômenos de birrefringência anômala. A sillimanita, sob a forma de finas agulhas, está quase sempre inclusa no interior dos cristais de quartzo.

3 — *Discussão*

Os fenômenos termometamórficos ocorridos na região de Perus foram acompanhados de ações pneumatolíticas e hidrotermais e substancial introdução de produtos por parte do magma. Se a presença de apófises graníticas e diques pegmatíticos no interior de xistos da região falam em favor de ação direta do magma, a existência de xenólitos e tetos pendentes, exibindo texturas e estruturas palimpsésticas no interior de granitos e pegmatitos, permitem concluir que o magma deveria ser flúido e dotado de grande mobilidade.

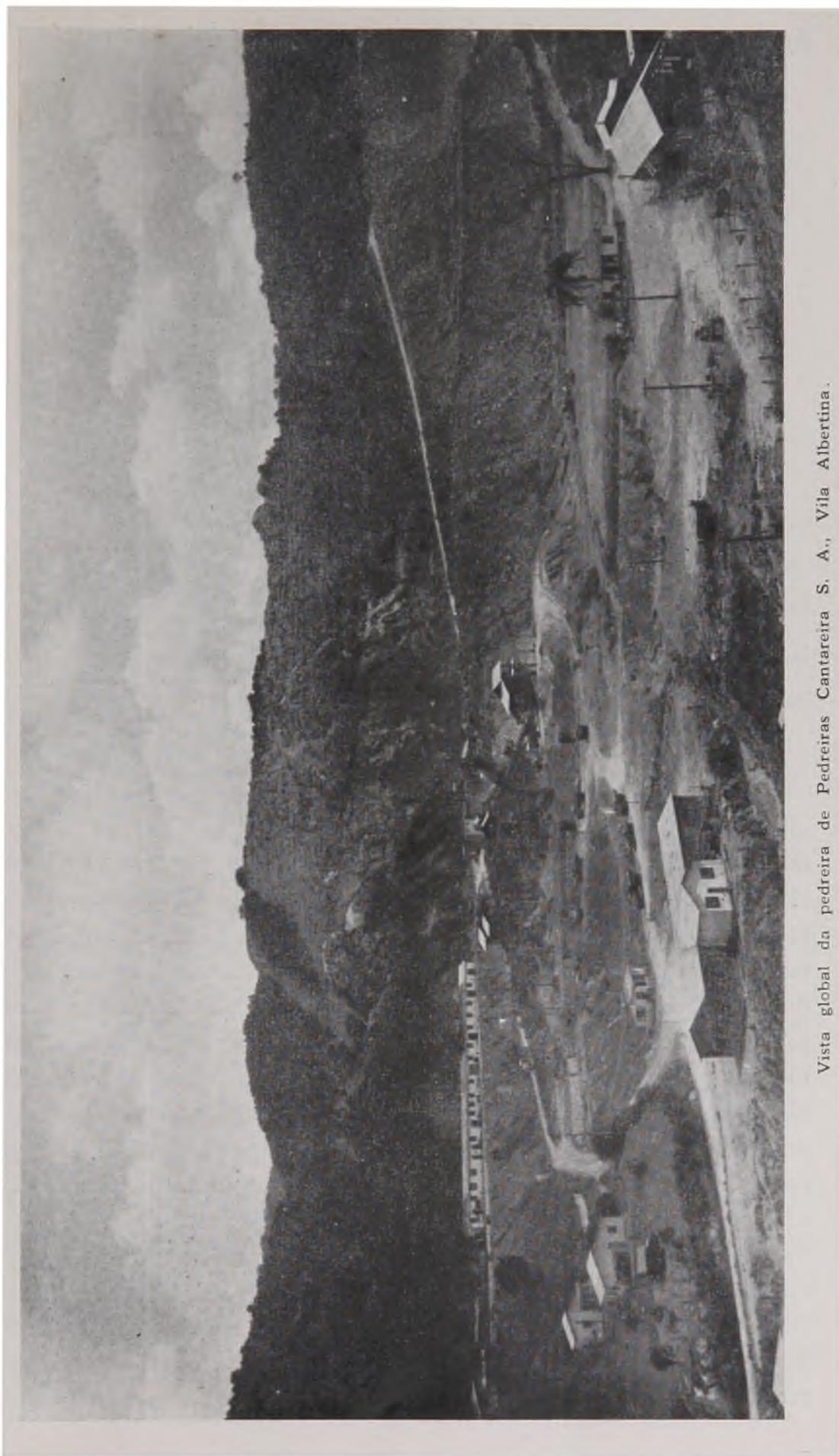
A introdução de K, Na, Ca e Mg, em proporções variáveis, provocou a formação de microclínio, oligoclásio e labradorita nos hornfels e xistos termometamórficos. Muitos dos primitivos xistos (proximidades da estação de Perus, estrada de ferro Santos-Jundiá) acham-se de tal forma feldspatizados que lembram rochas gnaíssicas.

Os hornfels listrados de Perus, muito semelhantes aos já descritos na região de Itapeva, deveriam constituir, antes da intrusão, sedimentos ou metassedimentos calcário-magnesianos impuros. Diferem dos de Itapeva pela maior proporção dos feldspatos e presença de turmalina, vesuvianita e clinozoísita em quantidade considerável.

V — PEDREIRA CANTAREIRA

1 — *Exame macroscópico*

A pedreira situada em Vila Albertina, de propriedade de Pedreiras Cantareira S. A., encontra-se na serra da Cantareira. É um afloramento de rocha granito-granodiorítico com numerosos xenólitos, rochas de contacto e inclusões que poderiam ser classificadas como tetos pendentes. Em todos os contactos ocorre mudança da textura da rocha intrusiva e, algumas vezes, mudança de sua coloração. Os xenólitos e as rochas de contacto gerados por ocasião



Vista global da pedreira de Pedreiras Cantareira S. A., Vila Albertina.

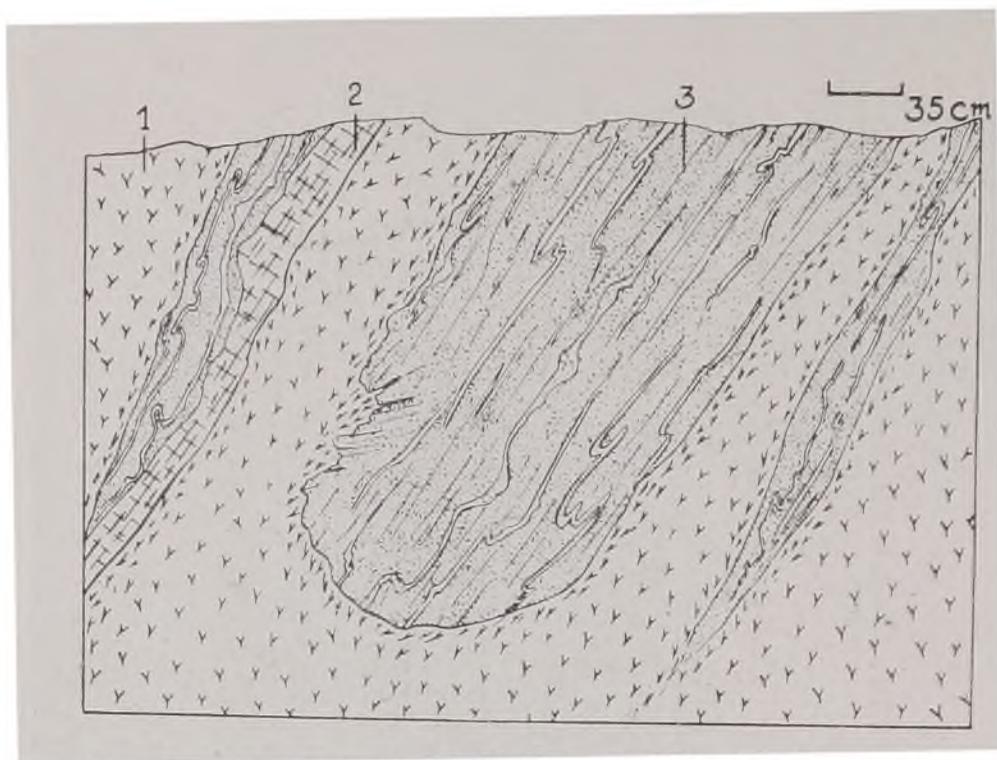


Fig. 23 — São Paulo (Vila Albertina), Pedreiras Cantareira S. A. — Tetos pendentes (roof-pendants) em granodiorito porfiróide, transformados em hornfels. 1) Granodiorito, 2) Camadas de rocha branca, constituídas essencialmente de diopsídio, wollastonita, quartzo, granada, vesuvianita, feldspato e titanita, 3) Hornfels de estrutura palimpséstica constituídos de biotita, feldspato, titanita, quartzo, hornblenda, atravessados, ainda, por dobras ptigmáticas de feldspato e quartzo.

dos fenômenos térmicos, quase todos de textura e estrutura palimpsésticas, fornecem os necessários elementos para se afirmar que as rochas encaixantes eram xistos, quartzitos e rochas carbonatadas. Aliás, essas últimas rochas ocorrem em muitas áreas próximas da cidade de São Paulo e Perus. Moraes Rêgo e Souza Santos (1938, p. 44, Fig. 10) ao analisar algumas massas escuras inclusas no granito da pedreira Lausanne Paulista chegaram à conclusão de que são concentrações de mica (preferentemente biotita), com a pecto de xisto e com a mesma estrutura das rochas metamórficas regionais. Quase tôdas as rochas inclusas no granito-granodiorítico acham-se atravessadas por vênulas e dobras ptigmáticas, Figs. 23, 24 e Fotos 6 e 7. Feldspato (oligoclásio e microclínio) e quartzo, os constituintes principais dessas vênulas e dobras de origem magmática, penetraram os xistos termometamórficos (biotita hornfels) segundo os planos de menor resistência. E' fácil observar, em muitas das amostras dos hornfels palimpsésticos, que a penetração dos

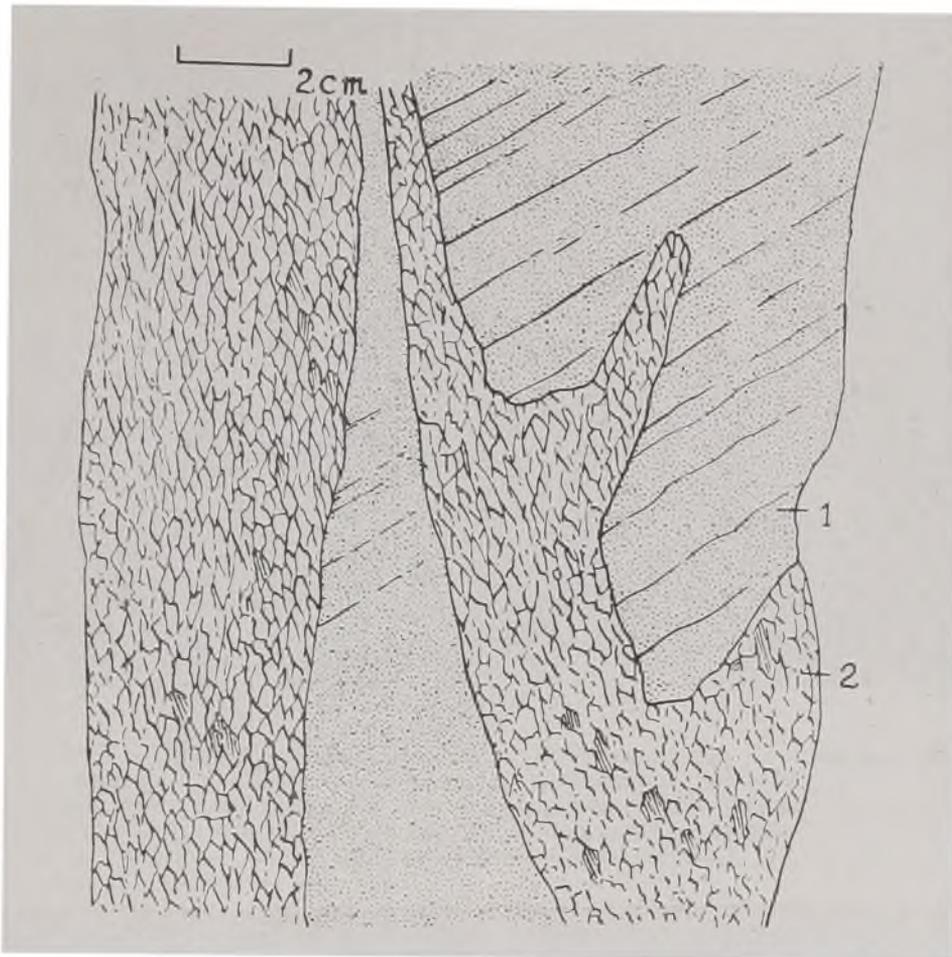


Fig. 24 — São Paulo, (Vila Albertina), Pedreiras Cantareira S. A. — Contacto entre o granodiorito saussuritizado e pirítizado (2) e o hornfels palimpéstico contendo diop-sídio, clinozoisita e quartzo (1).

constituintes das vênulas e dobras ptigmáticas se processou leito por leito da rocha xistosa primitiva. Nos tetos pendentes, localizados nas partes periféricas da rocha intrusiva, pode-se verificar que as dobras e vênulas partem da magmática para a inclusa. Cordões e nódulos de pirita acompanham as vênulas, passando também da rocha intrusiva para a encaixante. Numerosas amostras de biotita hornfels acham-se intensamente impregnadas de pirita, mineral que se localiza mais abundantemente nos planos de menor resistência da rocha metamorfoseada.

Na Fig. 23, ao lado de uma cunha de biotita hornfels ocorre uma faixa (2) de coloração clara (branco a verde claro), muito resistente ao choque, densa e constituída de minerais diminutos.



Fotografia 6 — São Paulo (Vila Albertina), Pedreiras Cantareira S. A. — Hornfels palimpséstico (parte escura e xistosa) em contacto com o granodiorito porfiróide (claro). No limite entre essas rochas podem ser vistas dobras ptigmáticas de feldspato e quartzo. As dobras tem espessuras que variam de 1 a 8 cm.



Fotografia 7 — São Paulo (Vila Albertina), Pedreiras Cantareira S. A. — Hornfels (rocha escura e xistosa) em contacto com o material magmático rico de feldspato e quartzo. Dobras ptigmáticas são bem visíveis no sentido da xistosidade. As dobras, em suas partes mais espessas, tem largura aproximada de 15 cm.

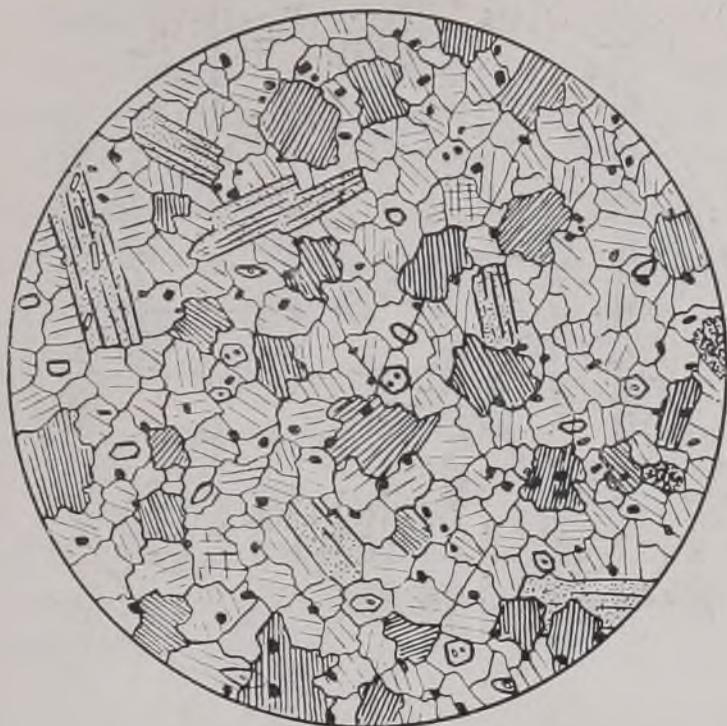


Fig. 25 — São Paulo (Vila Albertina), Pedreiras Cantareira S. A. — Biotita hornfels turmalinizado. Na secção podem ser vistos: biotita, feldspato (andesina), quartzo, microclínio, epidoto, zircão e pirita. X 25.

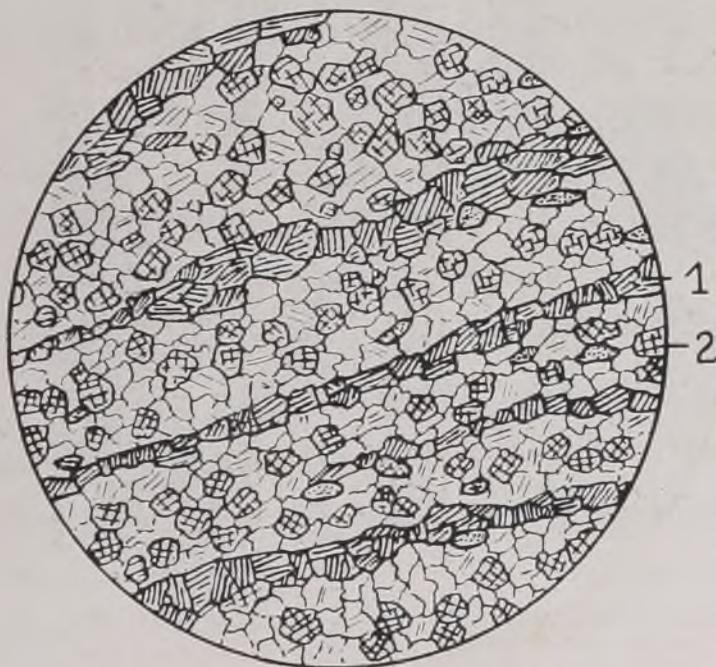


Fig. 26 — São Paulo (Vila Albertina), Pedreiras Cantareira S. A. — Hornfels listrado. 1) Clinozoisita, 2) Agregado uniforme de diopsídio, ortoclásio, oligoclásio, quartzo e titanita. X 25.

Fig. 27 — São Paulo (Vila Albertina), Pedreiras Cantareira S. A. — Hornfels. Nessa lâmina podem ser vistos os minerais seguintes: granada, algumas poiquiloblásticas; diopsídio, quartzo e titanita. X 25.

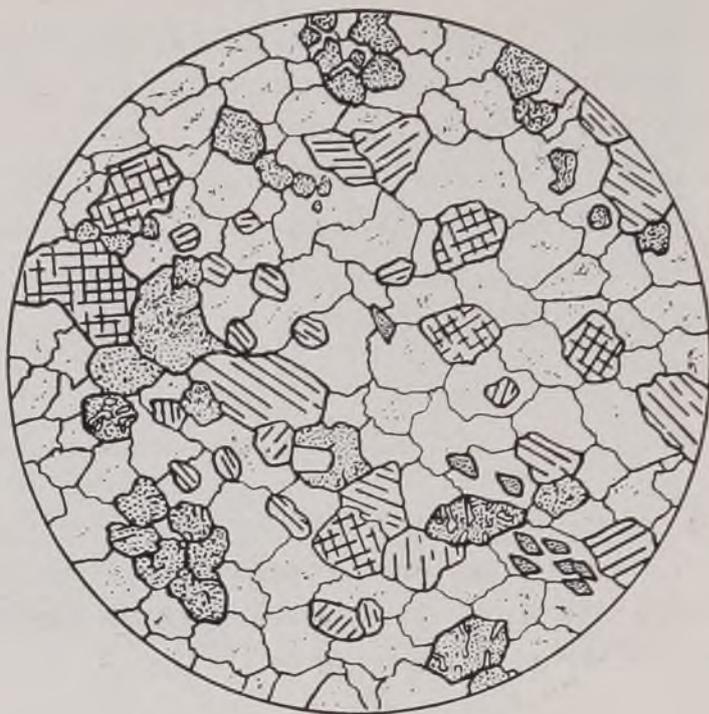


Fig. 28 — São Paulo (Vila Albertina), Pedreiras Cantareira S. A. — Hornfels. 1) Quartzo, 2) Titanita, 3) Diopsídio, 4) Albita + Epidoto, 5) Granada poiquiloblástica. X 45.



Faixas como essa são relativamente freqüentes na pedreira de Vila Albertina. Ocorrem, ainda, no interior do granito corpos xenolíticos alongados constituídos de cristais centimétricos de feldspato claro (oligoclásio e microclínio), cristais de alguns centímetros de wollastonita e concentrações esporádicas de cristais relativamente bem desenvolvidos de turmalina preta e idocrásio, epídoto e titanita. Faixas inclusas no granito, constituídas de cristais centimétricos de hornblenda verde (para-anfibolito) são relativamente comuns.

2 — *Exame microscópico*

O exame microscópico de numerosas lâminas delgadas de biotita hornfels, das faixas xenolíticas brancas, esverdeadas e das concentrações de massas brancas inclusas na rocha principal da pedreira evidenciou o seguinte:

1) Muitos hornfels são constituídos quase que exclusivamente de biotita. São escuros e brilhantes e a biotita acha-se recristalizada na forma de pequenas placas distribuídas paralelamente à primitiva textura da rocha encaixante. E', muitas vêzes, poiquiloblástica, englobando grande quantidade de minerais opacos. Menos comuns são as áreas em que a biotita exhibe a textura decussada. Halos pleocróicos nesse mineral são comuns.

2) A Fig. 25, representa a característica textura equidimensional (mosaico) de um biotita hornfels. Nela podem ser vistos, ainda plagioclásio (andesina), tremolita-actinolita, turmalina, microclínio, epídoto, quartzo, zircão e pirita. Os plagioclásios não exibem, com nitidez, a geminação polissintética.

Alguns hornfels pelíticos exibem estrutura fitada decorrente da alternância de finas faixas leucocráticas e faixas melanocráticas. Nas primeiras ocorrem feldspato (oligoclásio e ortoclásio), quartzo, epídoto e diopsídio. Anfibólio (hastingsita ?), óxidos de ferro, alguma titanita e biotita são os constituintes principais das faixas escuras.

Algumas áreas dos hornfels lembram, pela composição mineralógica (abundância de epidoto) e estrutura, as curiosas rochas denominadas "epidioritos"

3) A Fig. 26, obtida de uma lâmina delgada de uma inclusão de cor esverdeada, representa uma rocha totalmente recristalizada. Nessa rocha ocorrem clinozóisita, diopsídio, oligoclásio, ortoclásio, quartzo e titanita. Como se pode verificar a composição mineralógica dos xenólitos e rochas de contacto é bem variável. A própria turmalina, formada na fase pneumatolítica, parece não se fixar em qualquer tipo de rocha.

A rocha que forneceu a lâmina da Fig. 26, apresenta, mesmo macroscopicamente, linhas paralelas e sub-paralelas de coloração esverdeada, correspondentes às faixas ocupadas pela clinozóisita. Novamente aqui pode ser vista a textura em mosaico originada pelo igual crescimento do diopsídio, oligoclásio, ortoclásio e titanita, este último em menor proporção.

4) Outra secção delgada de um xenólito branco, semelhante a um quartzito de granulação muito fina e compacto, pode ser vista na Fig. 27. Nesta rocha predomina o quartzo. A textura é ainda em mosaico e os grânulos minerais aproximadamente equidimensionais. Constituem essa rocha além do quartzo, mica, granada cálcica, às vezes poiquiloblástica, diopsídio e titanita.

A Fig. 28 focaliza uma secção em que, além da granada poiquiloblástica, diopsídio, quartzo e titanita, aparecem ainda albita intercrescida com epidoto. Este último mineral talvez seja uma transformação da albita.

A predominância de quartzo nas rochas representadas nas Figs. 27 e 28, principalmente, permite concluir que as rochas correspondentes deveriam ter sido camadas de quartzo impurificadas. A albita é, possivelmente, mineral gerado após a introdução de Na.

Os cristais de idocrásio, sempre idiomorfos, incluem poiquiloblásticamente grande número de cristais menores de diopsídio, quartzo e calcita. Esse último mineral poderá também ser de origem posterior

3 — *Discussão*

O autor considera a pedreira de Vila Albertina e regiões circunvizinhas uma das mais interessantes áreas para estudos de efeitos térmicos provocados por magmas supersaturados e superimposição de fenômenos pneumatolíticos e hidrotermais. As rochas termometamórficas produzidas no contacto oferecem associações mineralógicas distintas embora tenham se formado nas mesmas condições de P-T-X (fácie piroxênio-hornfels) de P. Eskola.

E' fora de discussão de que os sedimentos ou metassedimentos metamorfoseados eram rochas pelíticas, psamíticas e calcárias impuras. Também, não há dúvida, de que nas rochas encaixantes metamorfoseadas houve introdução dos elementos (Na, K, B,) por parte do magma, tal a quantidade de microclínio, feldspatos sódico-cálcicos e turmalina encontrada. Não obstante essas considerações, julgamos aberta, ainda, a seguinte questão: qual a verdadeira diferença entre a composição química dos hornfels e a dos sedimentos originais, (Kleim, 1952, p. 62) A transformação das encaixantes (sedimentos ou metassedimentos) supra-referidos, em cálcio-sílica hornfels e hornfels pelíticos deve ter processado, possivelmente, com eliminação de CO_2 da rocha original e adição de Al_2O_3 , SiO_2 , K_2O , Na_2O .

A presença de *bictita*, tremolita, actinolita, epídoto e idocrásio nas rochas termometamórficas da pedreira de Vila Albertina permite concluir que durante o processo metamórfico muitas das reações se fizeram na presença de água ou vapor d'água. E' bem possível, mesmo, ter sido ela, na forma de soluções ascendentes do magma, o veículo da introdução da SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , FeO e da remoção do CO_2 .

Levando-se em conta o que foi exposto podemos concluir que o processo metamórfico ocorrido na área estudada não foi função exclusiva da elevação de temperatura. Papel ponderável deve ter sido desempenhado pelas soluções aquosas ascendentes.

VI — MOGI DAS CRUZES

1 — *Exame macroscópico*

A região de Mogi das Cruzes mereceu também nossa atenção porque aí ocorrem algumas rochas que são o resultado de ação termal provocada por magma granítico, associada a fenômenos pneumatolíticos e hidrotermais. Rocha constituída quase que exclusivamente por tremolita, Figs. 31 e 32, formando espécie de lente no interior dos filitos e xistos regionais, (série São Roque) e próxima do granito ocorre a uma distância de 5 km da vila de Taiaçupeba, ao lado norte da estrada de rodagem da adutora de rio Claro, que se dirige a Ribeirão Pires (Moraes, 1944, pp. 87-88). Rochas, parcial ou totalmente turmalinizadas, Figs. 29, 30 e Fotomicrografia 8, próximas ao biotita-muscovita granito e aos pegmatitos (muitas vêzes totalmente caulinizados) que cortam as rochas regionais indicam ação pneumatolítica. Os fenômenos hidrotermais são caracterizados pela total ou parcial silicificação das rochas regionais — filitos, xistos, quartzitos, rocha tremolítica — Figs. 31 e 32.

A rocha tremolítica apresenta-se como faixa de-cêrca-de 30 m de largura. No seu interior é fácil distinguir, ainda no exame

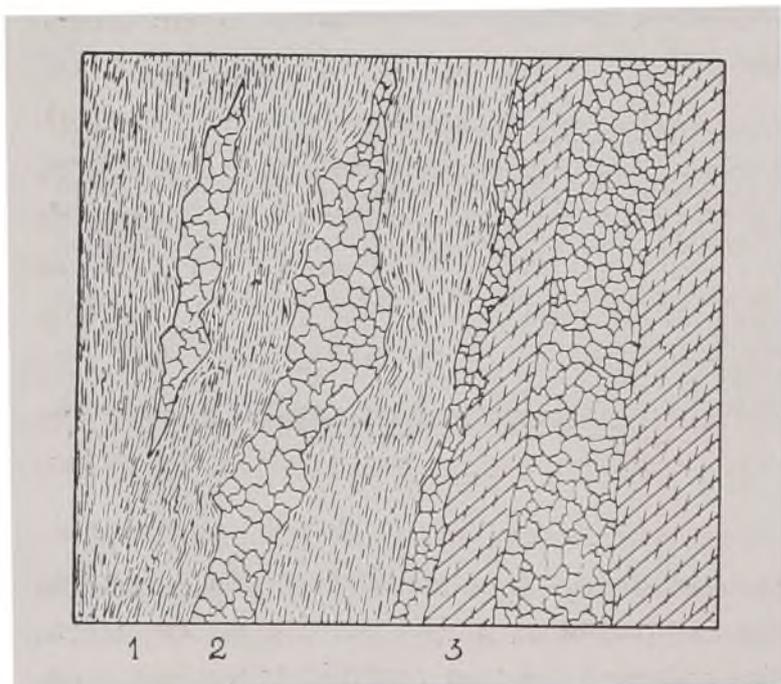


Fig. 29 — Mogi das Cruzes, SP (Pedreira CB — Cerâmica São Caetano) — 1) Sericita xisto, 2) Quartzo, 3) Sericita xisto totalmente turmalinizado. Tamanho natural.

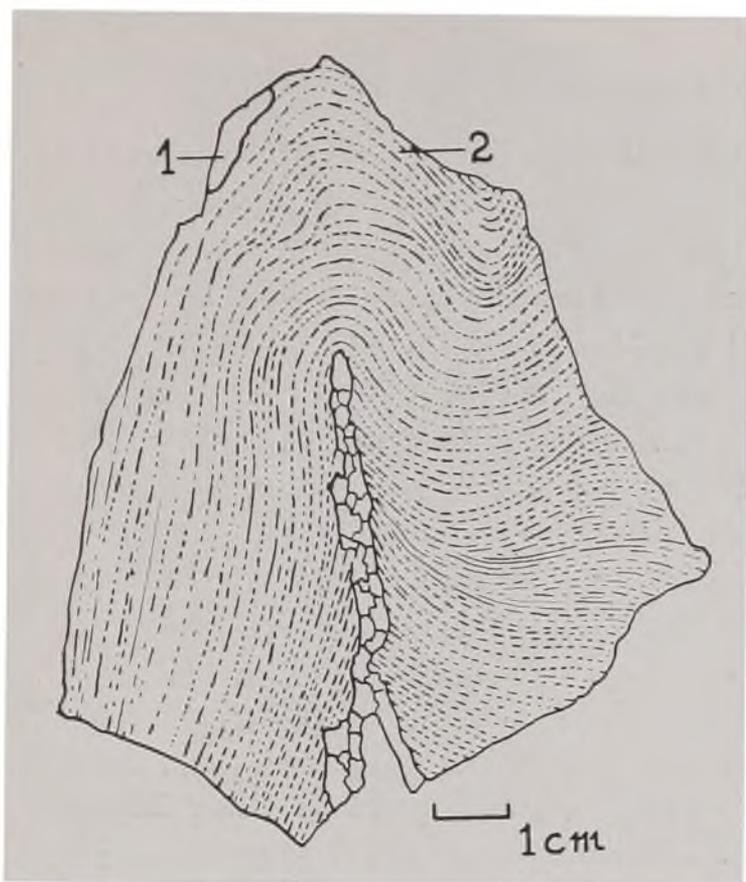


Fig. 30 — Mogi das Cruzes, SP (Pedreira B, Cerâmica São Caetano) — 1) Quartzo, 2) Leitões alternados de turmalina e quartzo fortemente dobrados. Trata-se de quartzo-filito turmalinizado.

macroscópico, veias de quartzo, drusas e geodos de quartzo e calcedônia.

As rochas turmalinizadas exibem, normalmente, a sua estrutura primitiva, anterior à fase pneumatolítica. Assim é fácil verificar-se primitivos filitos dobrados e amarrotados parcial ou totalmente turmalinizados, Figs. 29 e 30, encontrados na pedreira CB, lavrada pela Cerâmica São Caetano. A turmalinização ocorre, de preferência, nas proximidades dos filões de quartzo e a pedreira CB é uma das melhores áreas para se verificar tal relação, Fig. 29. A uma distância aproximada de 300 m da pedreira B a turmalinização dos filitos e xistos foi praticamente total, Fig. 30, constituindo mesmo, as rochas turmalinizadas, jazida de turmalina para fins abrasivos.

A silicificação (quartzo e calcedônia) das rochas regionais da região de Mogi das Cruzes (pedreiras A, C, CD, CB, B, AP, lavradas pela Cerâmica São Caetano; pedreira Nadir Figueiredo; pe-

Fig. 31 — Mogi das Cruzes, SP (5 Km de Taiasupeba) — Rocha tremolítica silicificada. Notar a textura decussada, X 30.



dreira Mário Begliomini, pedreira Jundiá; pedreira Vitor Lopes; Isaura Rodrigues; pedreira Dell'Antonio; pedreira Matarazzo, pedreira Frazão, etc.) possibilitou a formação de curiosos tipos de rochas que vão desde os filões de quartzo até rochas silexíticas de textura maciça e fratura concóide. A silicificação dos cristais de tremolita preservou em muitas áreas a forma prismática alongada desse mineral, Figs. 31. A substituição molecular das rochas regionais preservou também a estrutura dos filitos e xistos, de maneira idêntica ao que se verificou quando se processaram os fenômenos de turmalinização.

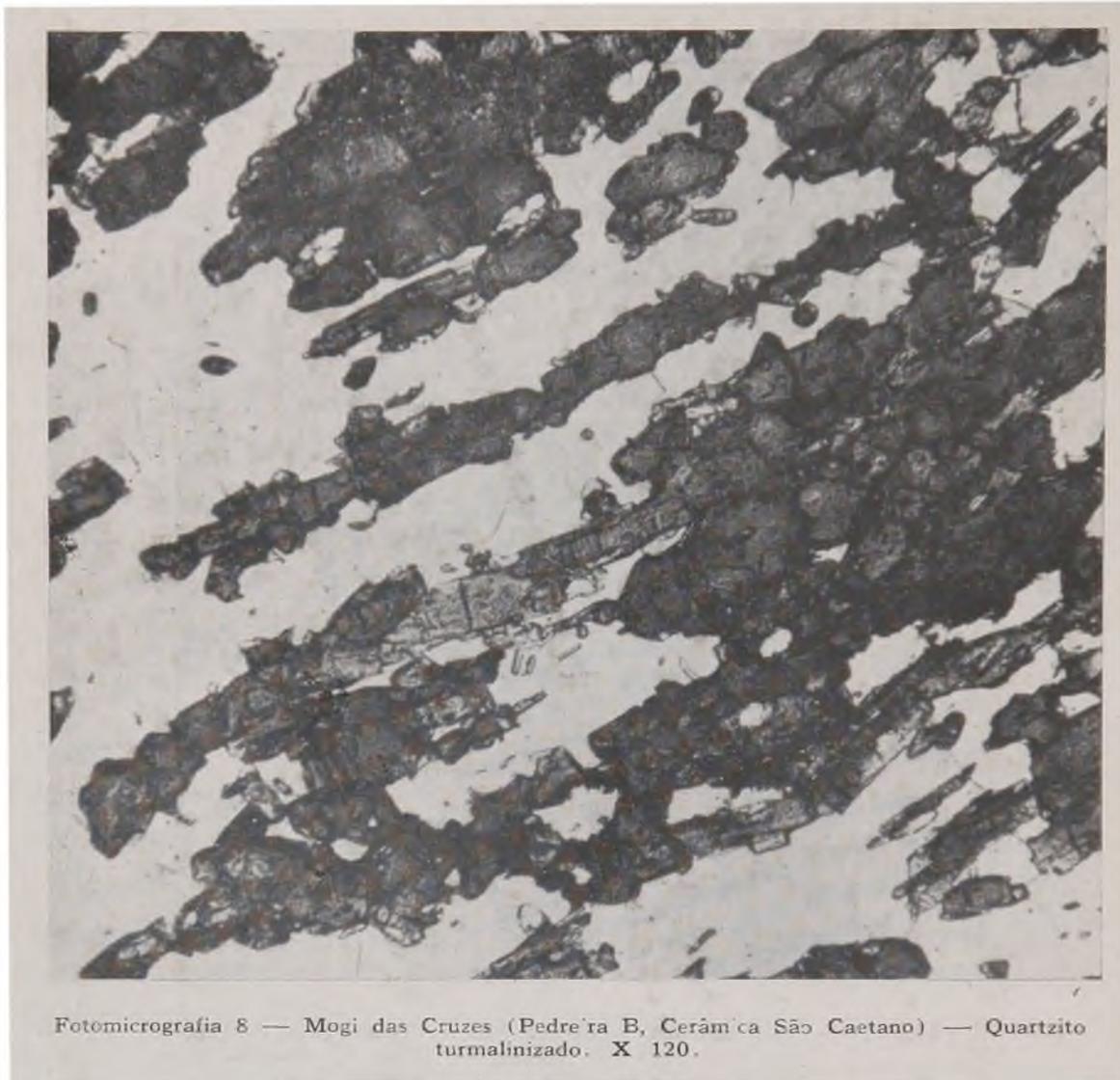
2 — *Exame microscópico*

A rocha tremolítica da região de Taiasupeba, bem assim as camadas contendo tremolita encontradas nos filitos e quartzitos silicificados, exibem característica textura decussada, Fig. 31. Os cristais de tremolita alcançam, nessas rochas, vários centímetros de comprimento.

A turmalina presente nas rochas que sofreram introdução de boro é geralmente verde ou azul. Ocorre, abundantemente, em



cristais diminutos. A turmalina exhibe, algumas vêzes, textura poiquiloblástica. Se nos xistos e sericita quartzitos turmalinizados é possível verificar-se certa relação entre a mica e a turmalina, esta sendo formada às expensas da mica, nos quartzitos parece não existir qualquer relação entre a turmalina e o quartzo. É bem possível que alguns quartzitos turmalinizados, constituídos agora exclusivamente de quartzo e turmalina, tivessem sido quartzitos ricos de outros minerais que foram totalmente substituídos pela turmalina. Os cristais desse mineral são idiomorfos e exibem, por vêzes, distribuição zonal das côres verde e azul. Nos quartzitos e xistos turmalinizados os diminutos cristais prismáticos de turmalina



são aproximadamente isorientados. Em algumas áreas da pedreira B é possível localizarem-se os caminhos de acesso das soluções e gases que tornaram possível a formação de quartzo e turmalina. As rochas originadas por influência da ação pneumatolítica e existentes na região de Mogi das Cruzes constituem rochas que poderíamos denominar de muscovita-turmalina hornfels e turmalina-quartzo xisto.

A presença de diminutos cristais de turmalina nos xistos afastados dos corpos graníticos e pegmatitos, e mesmo das veias de quartzo, não nos autoriza afirmar que a turmalinização dos xistos e quartzitos tenha se dado pela remobilização da própria turmalina contida nessas rochas. As evidências de campo falam mais em

favor de uma derivação das rochas graníticas profundas, embora se saiba que os boratos, em geral, são relativamente solúveis. (Fron del e Coléte, 1957), particularmente os boratos alcalinos.

3 — *Discussão*

As relações de campo e o estudo das rochas da extensa área de Mogi das Cruzes põem em evidência o seguinte:

As rochas regionais (filitos, xistos, quartzitos e faixas calcárias) foram atravessadas por granitos e pegmatitos. Intercalações de massas de biotita-muscovita granito em filitos e xistos são comuns em numerosas áreas próximas de Capela do Ribeirão, onde ocorre grande afloramento granítico.

A origem da rocha tremolítica de Taiacúpeba, bem assim a tremolita encontrada nos quartzitos, possivelmente será relacionada com a intrusão granítica que dista não mais do que uma centena de metros daquela rocha. Poderiam ter constituído, antes da intrusão, faixas de dolomito que, por efeito do metamorfismo termal ou por influência de soluções provenientes do magma, se converteram em massas de tremolita.

Os fenômenos pneumatolíticos (turmalinização) e hidrotermais (silicificação) parecem ter ocorrido concomitantemente. Há, quase sempre, proximidade das faixas turmalinizadas com as veias de quartzo. A presença de turmalina em áreas onde ocorrem pegmatitos faz crer que a turmalinização se deu por ocasião da formação destas rochas.

F — DISCUSSÃO GERAL E CONCLUSÕES

As conclusões aqui apresentadas são o resultado do estudo sistemático das rochas encontradas nas regiões mencionadas na Fig. 1. Contudo, o autor lançou mão de seus estudos inéditos sobre as rochas anfíbolíticas, hornblenda xistos e epídoto-hornblenda xistos do mesmo Estado com o objetivo de estabelecer certas relações genéticas das rochas das áreas indicadas naquela figura.

A análise das rochas dessas áreas, o estudo das relações de campo e a interpretação genética, permitiram ao autor estabelecer certas idéias que nem sempre estão de acôrdo com outras já aventadas ou sustentadas por Autores que, anteriormente, se dedicaram a estudos de rochas de áreas comuns.

Muitos problemas continuam abertos. Outros, possivelmente, jamais serão satisfatòriamente desvendados. Fenômenos metamórficos sucessivos, de natureza ora mecânica, ora térmica, pneumatólítica ou hidrotermal, associados às alterações químicas sofridas pelas rochas por efeito da meteorização, imprimiram a muitas delas características que tornam quase impossível qualquer conclusão. Assim, p. ex., quando o pesquisador se detém na análise das rochas migmatíticas que afloram em muitas partes do Estado e nas proximidades da cidade de São Paulo (Franco, Moraes Rêgo), de característicos gnaíssicos (flebitos), surge-lhe imediatamente a seguinte pergunta: seriam tais rochas unidades do assim chamado — arqueano — ou rochas post-arqueanas originadas pela infiltração de magma granítico (grande riqueza de feldspato potássico) entre as camadas das rochas parametamórficas pelíticas da série São Roque. De fato, quando o autor procurou estabelecer as relações entre os estratos róseos (feldspato e quartzo) e as camadas escuras (hornblenda, biotita, titanita) desses flebitos ficou patente que algumas rochas, de estrutura caracteristicamente gnaíssica, nada mais eram do que migmatitos produzidos por fenômenos de arterização

A interpretação cuidadosa das rochas gnaíssicas, rochas que a nosso ver constituem o ponto chave do problema arqueano em todo o país, é problema que se impõe. Se, de fato, as rochas regionais da série São Roque, em áreas do Estado de São Paulo, se apresentam essencialmente sob a forma de filitos, hidromicaxistos, quartzitos, calcários e dolomitos marmorizados, é também verdadeiro que rochas dessa mesma série foram, por vêzes, injetados por material originalmente no estado de fusão, apresentando-se agora como rochas de estrutura flebítica, muito semelhantes às rochas gnaíssicas que normalmente são colocadas no arqueano.

Outro difícil problema com que se depara o pesquisador que se dedica ao estudo das rochas metamórficas do Estado de São

Paulo é a interpretação genética das rochas classificadas como anfibolitos e hornblenda xistos, Duparc (1907), Adams (1909), Lacroix (1917), Leinz (1931), Hess (1933), Moraes (1933), Dodge (1942), Dengo (1950, 1953), Friedman (1953), Guimarães (1953). O autor que há vários anos se empenha no estudo da interpretação genética dessas rochas, tendo mesmo selecionado, no Estado de São Paulo, cêrca de 20 áreas onde ocorrem anfibolitos e hornblenda xistos — entre elas, Pirapora, Jaraguá, Apiaí, Atibaia, Guarulhos (sítios Caxambú e Pica-pau Amarelo), Parnaíba, repêsa Itupararanga, Evangelista de Souza, km 64 da via Anhangüera, Bragança, serra Guaripocaba — somente em alguns casos pôde estabelecer a gênese orto — ou parametamórfica dessas rochas.

Assim, ortometamórficos seriam, pelas relações de campo, composição mineralógica, estrutura e textura: 1) os diques de anfibolito da região de Pirapora (km 48 da estrada São Paulo-Pirapora) São rochas esverdeadas que exibem ainda traços de textura ofítica, tendência porfiroblástica e se apresentam intensamente cloritizadas e saussuritizadas, Fig. 34; 2) os corpos anfibolíticos que cortam discordantemente filitos, mica xistos e quartzitos da região onde se ergue o morro do Jaraguá (Coutinho, 1955, pp. 33, 45). Esses anfibolitos também se apresentam saussuritizados ($\pm 30\%$ de epidoto) e cloritizados ($\pm 8\%$ de clorita); 3) os afloramentos anfibolíticos localizados no km 55 da estrada de rodagem São Paulo-Atibaia. São rochas macrogranulares nas quais a hornblenda atinge dimensões de 1 a 1,5 cm. Há, ainda, nessas rochas, biotita (geralmente incluída na hornblenda), plagioclásio, microclínio, apatita e titanita; 4) os diques de anfibolito que se encontram entre Ribeira e Apiaí, de textura granular e constituídos de hornblenda, feldspato saussuritizado, clorita e apatita; 5) os diques de anfibolito cataclástico da repêsa Itupararanga que cortam a 90° a direção principal de xistosidade. São rochas de coloração verde escuro e seus constituintes principais são: feldspato intensamente saussuritizado, hornblenda, titanita, leucoxênio, pirita-magnetita. Embora cataclástico e formado de minerais que sofreram fenômenos de inversão, as massas de anfibolito da repêsa de Itupararanga exibem característicos que permitem sua colocação entre as rochas ortometamórficas;

Fig. 33 — Rio Etá, SP
— Cristal de andalusita em
vias de transformação pa-
ra muscovita. X 7.

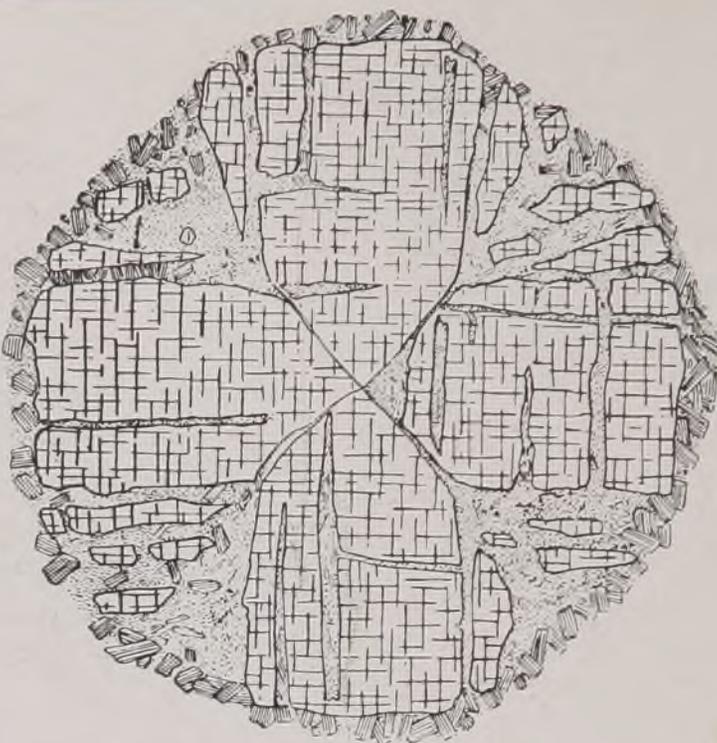
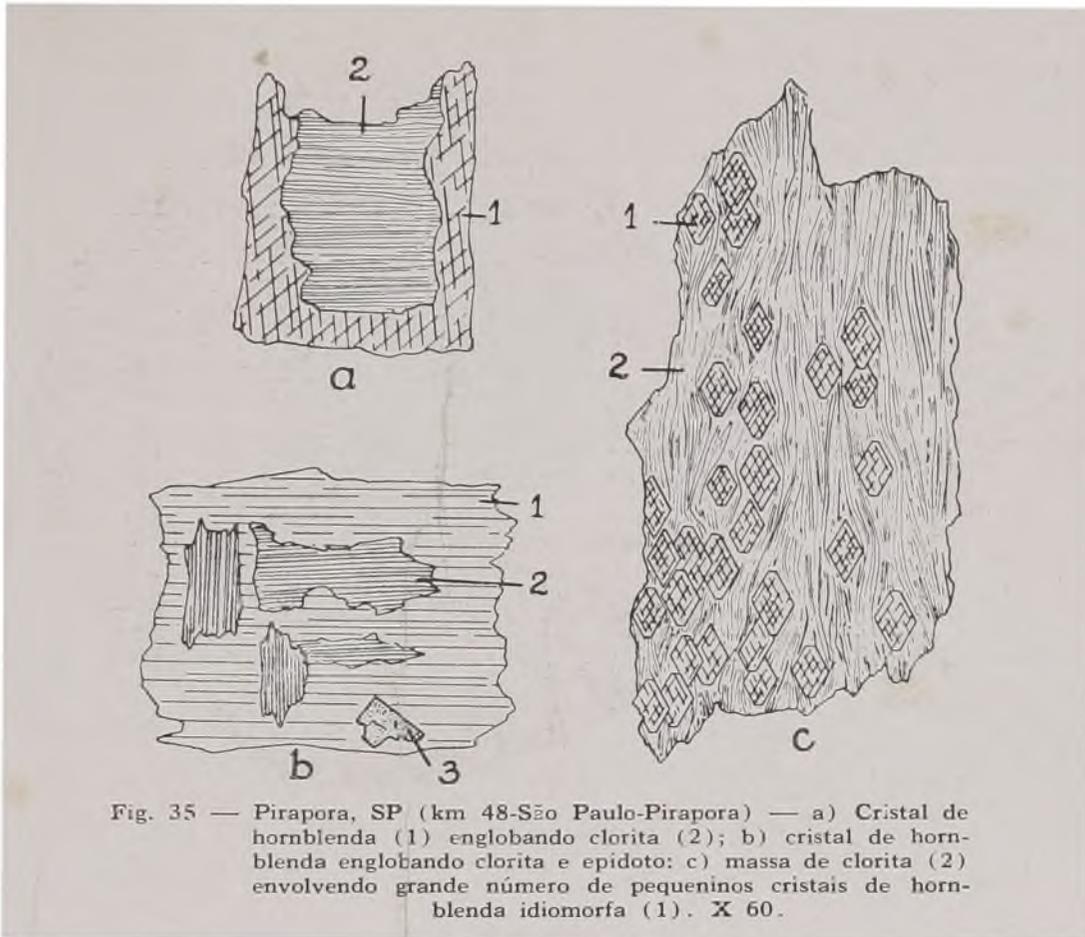


Fig. 34 — Pirapora, SP
(km 48 — São Paulo-Pi-
rapora) — Anfibolito exi-
bindo ainda textura óptica.
Não há p'roxên'os. Há mu-
ta clorita e epidoto. 1)
Hornblenda, 2) Clorita, 3)
Epidoto, 4) Plagioclásio re-
manescente. X 30.



6) os anfibolitos situados a 2 km de Evangelista de Souza (Felicíssimo e Franco, 1956, pp. 35-50) originados de olivina gabros por efeito de metamorfismo dinamotermal; 7) os diques de anfibolito do km 64 da estrada de rodagem São Paulo-Campinas (Anhangüera) que cortam discordantemente os filitos e micaxistos da série São Roque. São constituídos praticamente de 50% de feldspato cálcico, hornblenda verde e pequena porcentagem de quartzo que se distribui entre os cristais dos dois primeiros; 8) os anfibolitos da serra de Guaripocaba (Bragança), constituídos de feldspato cálcico, hornblenda, biotita, feldspato zonado e ripiforme, epidoto e apatita acicular. Os poucos grânulos de quartzo são, aparentemente, de origem deutérica.

As rochas anfibolíticas das oito áreas citadas, muitas das quais, por efeito de fenômenos dinamotermiais e cataclásticos, passaram de granulares a xistosas (hornblenda xistos e mesmo epidoto-hornblenda xistos) acham-se quase sempre intimamente associadas a rochas originalmente pelíticas. Conceber para elas origem para-

metamórfica, a partir de antigos sedimentos carbonatados-alumino-sos-silicosos que através de processos dinamotermiais e termiais tivessem se transformado em rochas não xistosas, constituídas de feldspato-hornblenda (anfíbolitos), seria praticamente impossível. As rochas parametamórficas regionais da série São Roque enquadram-se na fácies clorita xisto de Eskola (1939), jamais tendo sido encontrados termos que pudessem ser colocados nas fácies epidoto-anfíbólito ou anfíbolito, ou ainda em fácies de condições mais severas de P-T-X. Barbosa (1955), referindo-se à série São Roque (p. 3) diz que o metamorfismo não é muito intenso e a predominância de muscovita-sericita xistos é característica de epi ou mesozona.

Anfíbolitos, anfíbólio xistos e epidoto-anfíbólio xistos produzidos por metamorfismo termal a partir de sedimentos ou metassedimentos foram encontrados pelo autor em faixas nas regiões de contacto ou constituindo xenólitos no interior de granitos (Itapeva, São Roque, Perus, Cantareira, Mogi das Cruzes)

Perguntar-se-ia, ainda, nesse capítulo em que se aborda o problema das rochas regionais da série São Roque: seriam essas rochas o resultado de reajustamentos minerais decorrentes da diminuição da temperatura (metamorfismo retrógrado)? Teriam elas se formado, antes dos reajustamentos, em condições mais severas de P-T (catazona = hipozona)? A nosso ver os filitos e xistos regionais não são produtos de metamorfismo retrógrado ou diaforeses. Praticamente não existem, nas rochas da série São Roque, texturas palimpsésticas de rochas formadas em profundidade. Somente em raros casos, assim mesmo localmente, encontrou o autor evidências de fenômenos de reajustamentos. Primeiramente quando estudou os andalusita xistos termometamórficos (andalusita cornubianito) do rio Etá, vale do Rio Ribeira, nas proximidades de Sete Barras, segundo quando estudou os orto-anfíbolitos, já descritos. As andalusitas dos xistos do rio Etá encontram-se muitas vezes, quase totalmente transformadas em muscovita, Fig. 33. Possivelmente tal transformação se processou através do declínio de temperatura. Como normalmente os produtos gerados pelo abaixamento de temperatura são inertes eles geralmente acham-se como minerais pseu-

domorfos sobre os quais eles substituíram, (Harker 1939, p. 345) Os orto-anfibolitos das regiões de Pirapora, Jaraguá, Apiaí, Itupararanga, Evangelista de Souza exibem também sinais que falam a favor de reversões mineralógicas com aumento e declínio de temperatura. A cloritização e a saussuritização de hornblendas e biotitas e feldspatos cálcicos, respectivamente, dessas rochas, acompanhadas de pseudomorfos são ótimos exemplos. Nos diques de anfibolito da região de Pirapora pode se observar curioso fenômeno de reversão mineralógica. A clorita, formada possivelmente por efeito da diminuição de temperatura, parece ter se transformado novamente em anfibólio por elevação de temperatura. E' bem possível que a aproximação de algum corpo magmático tenha provocado essa nova reversão, Fig. 35(c)

O estudo pormenorizado de numerosos contactos entre rochas magmáticas e rochas encaixantes, isto é, granitos, adamelitos, granodioritos, gabros, diabásios, sienitos, dioritos, pegmatitos e aplitos de um lado e filitos, xistos, calcários puros e impuros, dolomitos, quartzitos, arenitos e outros sedimentos, de outro, indica-nos que a presença dos assim chamados minerais básicos (anfibólios, piroxênios, epidotos e cloritas) nos granitos do Estado de São Paulo e proximidades, da capital, não está ligada a fenômenos de absorção de calcários pelos granitos, conforme admitem Moraes Rêgo, 1933, p. 22; Coutinho, 1953, p. 52; Barbosa, 1941. A extensão dos hornblendas granitos e hornblenda granodioritos que afloram em muitas áreas do Estado de São Paulo, os contactos destas mesmas rochas com rochas metamórficas de origem pelítica, os contactos nítidos entre rochas supersaturadas e calcários e a presença de proporção normal de quartzo nas rochas que teriam assimilado calcário fortalecem o nosso ponto de vista. Se se admite a assimilação de calcários como processo normal nos contactos, como explicar a total ausência de rochas insaturadas e intermediárias nas áreas em que os granitos e granodioritos penetram calcários ou dolomitos? O autor, nesse problema, acompanha as idéias esboçadas por Bowen (1928, p. 222), quando diz: *It does not seem possible that limestone inclusions can desilicate a granitic magma in such a way as to give rise to a liquid capable of precipitating feldspathoids.* E' de opi-

nião, entretanto, que a hipótese de R. A. Daly, que tem sofrido severa crítica de petrógrafos e químicos, por mais de 40 anos, possa ser válida para outras regiões em que as evidências de campo a favoreçam, Daly (1914), Buddington (1939)

O estudo de numerosos diques e corpos maiores de diabásio e gabro que atravessam sejam as rochas da série São Roque, sejam as rochas consideradas arqueanas e mesmo as rochas mais recentes, provocando em algumas delas cozimento e formação de estreitas faixas de buchito (região de São Carlos), bem assim os extensos derrames de basalto (Franco, 1952) que cobrem grande parte do Brasil meridional, Uruguai e Argentina, considerados produtos de fenômenos vulcanológicos (réticos) da bacia do Paraná (Leinz, 1949), demonstram que o magma basáltico não teve qualquer influência na formação das jazidas metálicas do Estado de São Paulo (galena, esfalerita, ouro, wolframita, cassiterita, pirita, calcopirita, chalcocita, bornita, covelita) As rochas provenientes do magma basáltico (basaltos, diabásios e gabros), embora exibam texturas diferentes e mesmo pequenas variações mineralógicas, caracterizam-se pela presença de plagioclásio (50-70% An), piroxênio (augita e pigeonita), magnetita, magneto-ilmenita apatita e maior ou menor quantidade de vidro. Não há sulfetos. Rarissimamente são encontrados diabásios com impregnações ou palhetas de cobre nativo (Franco, 1952; Barbosa, 1955; Baker, 1923; Leinz, 1941) Nos contactos dessas rochas com as encaixantes não se verifica, na grande maioria dos casos, fenômeno térmico relevante, ou formação de depósitos pirometamórficos ou pirometassomáticos. O mesmo se dá com os diques de rochas básicas, mais antigos, intrusivos nas rochas da série São Roque e metamorfoseados, que nas regiões de contactos não apresentam qualquer sinal de mineralização. Tudo indica que as rochas básicas intrusivas e extrusivas (aqui não são considerados os seus termos intermediários diferenciados — rochas sieníticas saturadas e insaturadas) não estão relacionadas com as jazidas conhecidas no Estado de São Paulo Essas rochas devem ser consideradas como produtos de consolidação de magmas estéreis.

As rochas supersaturadas que se encontram associadas aos calcários, dolomitos, filitos, xistos e quartzitos da série São Roque, produzindo muitas vezes características rochas termometamórficas, não devem ter se formado nas mesmas condições. Muitas delas, aparentemente, não mostram sequer sinais de parentesco. Os granitos variam em sua composição mineralógica, exibem texturas diversas, sendo ora mais, ora menos, ricos de minerais que evidenciam metamorfismo endogenético decorrente da presença de agentes mineralizadores. Esse último fato nos parece muito importante para o problema da filiação entre os tipos graníticos existentes.

Há granitos ricos de minerais originados pela atividade de agentes mineralizadores e outros inteiramente isentos. Há granitos que estão intimamente associados a depósitos hidrotermais (galena, esfalerita, ouro, pirita, calcopirita, wolframita, cassiterita, etc.), Saldanha (1946), Barbosa (1956) e outros que se nos apresentam estéreis. Há granitos em que o constituinte acidental é a biotita; em outros a hornblenda é o mineral que ocupa este posto; há granitos com acentuada porcentagem de titanita e outros em que este mineral é praticamente inexistente; há os granitos de tipo alaskito, desprovidos quase inteiramente de mica e há, também, os muscovita-biotita granitos.

E' nossa opinião, pelo estudo das próprias rochas magmáticas citadas e através das rochas termometamórficas originadas nos contactos, que os diversos granitos não devem ser considerados filiados a um único magma sílico-potássico (Moraes Rêgo, 1933, p. 19) mas sim a magmas distintos, de característicos próprios. Como admitir, p. ex., que o granito responsável pela mineralização da mina de Inhandjara (wolframita, cassiterita, topásio, fluorita, esfalerita, calcopirita, molibdenita, pirrotita) tenha conexão com o granito rico de lítio, boro, fósforo e urânio da região de Perus (presença de lepidolita e turmalina litinífera, apatita e autunita); como estabelecer conexões entre o biotita-hornblenda granito porfiróide da serra da Cantareira, praticamente isento de metais, com o granito-pegmatito da fazenda Cuiabá, Mogi das Cruzes, que conta entre seus constituintes a amblygonita, a tantalita e a cassiterita?

A regra de Kjerulf-Rosenbuch, de que a composição de um hornfels depende do sedimento original (folhelho ou ardósia) e é independente da natureza da rocha magmática, Barth (1952, p. 272), é perfeitamente aplicável a muitas das rochas termometamórficas aqui estudadas: os hornfels encontrados nos tetos pendentes da pedreira Cantareira; as andalusita xistos do rio Etá; as estauroclita xistos do ribeirão Manquinhos, proximidades de Perus; os hornfels estratificados de Itapeva; etc. Nas regiões de contacto onde se verificou acentuada ação hidrotermal e pneumatolítica: São Roque, Perus, Inhandjara, Mogi das Cruzes, Cantareira (em parte) a regra deixa de ser aplicada porque a produção de hornfels se deu com mudança de composição química.

Com referência às associações mineralógicas, minerais críticos e minerais tipomorfos encontrados nas diversas rochas termometamórficas estudadas chegou-se, com certa reserva, à seguinte conclusão:

- a) não ocorrem associações anômalas, p. ex., wollastonita-anortita,
- b) nos buchitos não foram encontrados cristais de quartzo convertidos em tridimita,
- c) o boro (São Roque, Perus, Cantareira, Mogi das Cruzes) e o fluor (Inhandjara, São Roque) são os agentes mineralizadores mais abundantemente encontrados,
- d) não foram encontrados, também, minerais cálcicos de alta-temperatura (merwinita, larnita, scawtita, spurrita e rankinita), nem mesmo as formas metaestáveis melilita e fassaíta (piroxênio aluminoso)

G — SUMMARY

This paper comprises the results of a mineralogical and petrological study on the thermally metamorphosed rocks of the São Roque series, state of São Paulo, Brazil. Special attention has been paid to the many contact minerals.

The region investigated is shown in *Fig. 1*.

ITAÓCA

In this area occur silicate skarns which consist mainly of a diopsidic clinopyroxene, garnet (grossularite-andradite), and wollastonite, *Figs. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8* and *Photogr. 1* and *2*. Field observations show that a certain amount of iron and aluminium has been introduced, possibly by solution from the adjacent granitic magma.

Secondary minerals such as quartz, epidote, chalcopyrite, bornite, chalcedony, malachite, and azurite are frequently found in fissures of the skarns.

ITAPEVA

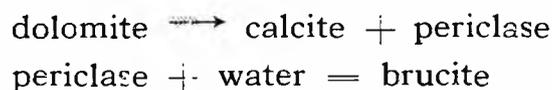
Silicate skarns and hornfelses have been found in this area where the granite adjacent to the dolomitic marble is quite fresh. The marble found in this area is in most cases pure or almost pure, and may contain lumps of chalcopyrite.

Skarns consist mainly of a diopsidic clinopyroxene, and grossularite. Quartz, chalcedony, tremolite, malachite and azurite fill up the interstices, *Figs. 13*, and *14*. In *Fig. 14*, upper part, there is a garnet crystal exhibiting parallel growth.

Hornfelses show layered structures, alternating regularly, *Figs. 9* and *10*.

The layers have two different colours: off-white and greyish green. The first layer consists of diopside and epidote and the second consists of poikiloblastic tremolite — actinolite, clinzoisite, plagioclase and microcline, *Figs. 11*, and *12*.

In this same area there occurs a block of brucite marble which is found in the interior of a dike of diabase. The brucite marble is considered to be a product of dedolomitization in two stages:



The original dolomite is gray in color, while the brucite marble (predazzite) is white, *Photogr. 3*.

SÃO ROQUE

In this area occur very interesting thermally metamorphosed rocks. The regional limestone shows a comparatively low degree of metamorphism (Tilley's "chlorite zone") The contact metamorphism took place by a process of addition and not by recombinative crystallizations, since the hornfels observed in three different outcrops have shown a reasonable amount of feldspars. The addition of substances from the magma to the adjoining rock is also suggested by comparing chemical analyses of samples of rocks successively more distant from the contact. The addition of substances was made possible by means of magmatic solutions of approximately pegmatitic chemical composition that had impregnated and metasomatized the limestone. The effects were more intensive in the contact "hornfels", but it is possible also that the solutions could have affected some beds which were originally more quartzose and pervious and also more distant from the intrusion (Coutinho, 1953, pp. 8-9)

Among the various earlier and later minerals observed in the hornfels may be mentioned: tremolite, diopside, antigorite, talc, microcline, albite, oligoclase, muscovite, chlorite, quartz, pyrite, galena, graphite, Ca-Mn-tourmaline, phlogopite, clinozoisite, titanite, *Figs. 15, 16 and Photo. 4*

PERUS

The hornfels investigated have been found at the Peccicacco quarry and its vicinities. The magmatic rock is represented by dikes of pegmatite and tourmalinized granites, *Fig. 19*. The country rocks are phyllites, sericite schists and calcareous rocks. The hornfels are layered and consist mainly of diopside, sphene, green hornblende, tourmaline, vesuvianite, phlogopite, biotite, clinozoisite, apatite, epidote, actinolite-tremolite, quartz, and plagioclase, *Figs. 17, 18, 20, and Photo. 5*.

The pelitic hornfels found in the contact consist of garnet, sillimanite, biotite and quartz.

CANTAREIRA "quarry"

The contact aureole of the biotite-hornblend granodiorite of this quarry contains limestones, dolomites and phyllites which have been metamorphosed over variable distances.

The thermally metamorphosed rocks consist mainly of quartz, feldspars, biotite, garnet, pyrite, diopside, wollastonite, sphene, clinzoisite, epidote, tourmaline and vesuvianite.

Palimpsestic structures are frequent. Locally, limestones have been converted to masses of coarse green hornblende. There seems to be no doubt that the thermally metamorphosed rocks of the Cantareira quarry were impregnated with substantial amounts of Na, K, and B.

MOGI DAS CRUZES

In this area occur rocks which were intensively tourmalinized and silicified.

CONCLUSIONS

1. Almost all of the amphibolites found in the State of São Paulo are genetically related to basic igneous rocks.

2. Field observations show that no assimilation of limestones occurred, with consequent production of feldspathoids, or unsaturated rocks (Daly, 1914 — Buddington, 1939)

3. All pyrometasomatic or contact-metamorphic deposits found in the State of São Paulo are related to acid or intermediate igneous rocks (granites, granodiorites, or syenites)

4. The Kjerulf-Rosenbusch rule applies exactly to several different thermally metamorphosed rocks found in the State of São Paulo.

5. The anomalous mineral association, wollastonite-anorthite, was not found in any of the rocks investigated.

6. Boron and fluorine were the principal "mineralizing agents" in the contact-metamorphic phenomena (tourmaline, axinite, topaz)

7 Merwinite, larnite, scawtite, spurrite, rankinite, all high temperature calcium silicates, and the metastable forms melilite and fassaite (aluminous pyroxene) were not found in the rocks studied.

H — AGRADECIMENTOS

O presente trabalho tornou-se possível graças à colaboração prestada pelo Conselho Nacional de Pesquisas na forma de auxílio para as despesas de viagem, estudos de campo e impressão dêste boletim.

A coleta de material para os trabalhos de laboratório foi amplamente favorecida pelas facilidades conseguidas dos srs. João Baptista Anhaia de Almeida Prado, Giovanni Battista Cervetto, Jorge Silveira Mello Filho e das firmas "Companhia Paulista de Mineração", "Mineração Peccicacco" "Pedreiras Cantareira S. A."

As pesquisas de laboratório foram realizadas no Departamento de Mineralogia e Petrografia da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, onde foram confeccionados numerosos blocos polidos e secções delgadas pelos técnicos srs. Deocleciano Soares de Araujo e Italo Bello.

Foi usado, também, certo número de lâminas delgadas cedidas pela Companhia Paulista de Mineração.

O serviço fotomicrográfico foi executado pela Divisão de Difusão Cultural da Reitoria da Universidade de São Paulo, por intermédio do sr. Oscar Guelfo Campiglia. As fotografias referentes à Pedreira Cantareira foram cedidas pelo sr. Helio Grinberg.

Esta tese foi impressa na Secção Gráfica da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo por especial deferência de seu diretor. Muito contribuiu para a sua apresentação gráfica o pessoal técnico daquela Secção.

Exemplares de rochas da área pesquisada e lâminas delgadas utilizados nos estudos comparativos foram cedidos pelos colegas eng. Evaristo Penna Scorza, do Departamento Nacional da Produção Mineral; eng. Geraldo Melcher, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; eng. José Elias de Paiva Netto, do

Instituto Agrônômico de Campinas; dr. José Moacyr Vianna Coutinho, do Departamento de Mineralogia e Petrografia da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da U.S.P.; eng. José Setzer, do Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo; prof. Reynaldo Ramos de Saldanha da Gama, Diretor do Departamento de Mineralogia e Petrografia da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da U.S.P.; eng. Theodoro Knecht, do Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo; dr. William Gerson Rolim de Camargo, do Departamento de Mineralogia e Petrografia da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da U.S.P.

A todos que, direta ou indiretamente, prestaram sua colaboração, consignamos nossos melhores agradecimentos.

I — BIBLIOGRAFIA

- ADAMS, F. D. (1909) — *On the origin of the amphibolites of the laurentian area of Canada*: Jour. Geol., 42, pp. 1-18.
- BAKER, C. L. (1923) — *The lava field of the Paraná basin, South America*: Jour. Geol., 31, p. 73.
- BARBOSA, A. F. (1955) — *Estrutura e gênese da jazida de chumbo de Furnas, Estado de São Paulo*: Tese de concurso de livre-docência da Cadeira "Jazidas Minerais, Legislação de Minas" Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- BARBOSA, A. F. (1956) — *Algumas observações sobre a jazida de chumbo de Pannels, Estado do Paraná*: Bol. Soc. Bras. Geol., vol. 5, n. 2, pp. 51-76.
- BARBOSA, O. (1941) — *Geologia e petrologia na região de Apiai, Estado de São Paulo*: Tese para concurso na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- BARTH, T. F. W. (1952) — *Theoretical Petrology*: John Wiley & Sons, Inc., New York, N. Y., U.S.A.
- BOWEN, N. L. (1928) — *The evolution of the igneous rocks*: Princeton, U.S.A.
- BOWEN, N. L. (1940) — *Progressive metamorphism of siliceous limestone and dolomite*: Jour. Geol., 48, pp. 225-274.
- BRIDGMAN, P. W. (1945) — *Polymorphic transitions and geological phenomena*: Am. Jour. Sci., 243A, p. 90.
- BUDDINGTON, A. F. (1939) — *Adirondack igneous rocks and their metamorphism*: Geol. Soc. Am, Mem. 7.
- CLARKE, F. W. (1924) — *Data of Geochemistry*: U. S. Geological Survey Bull. 770, pp. 386, 419, 603, 698 e 610.

- CLOOS, E. (1946) — *Lineation*: Geol. Soc. Am., Mem. 18, 122 p.
- COUTINHO, J. M. V. (1953) — *Petrologia da região de São Roque, São Paulo*: Bol. Fac. Fil. Ci. Let., 159, Mineralogia 11, pp. 5-86.
- COUTINHO, J. M. V. (1955) — *Meta-conglomerado e rochas associadas no município de São Paulo*: Bol. Fac. Fil. Ci. e Let., 186, Mineralogia 13, pp. 5-57
- CURVELLO, W. S. (1945) — *Xenólitos no morro de Bonsucesso, Distrito Federal*: Bol. 5, Geologia, Museu Nacional, Rio de Janeiro pp. 1-31.
- DALY, R. A. (1914) — *Igneous rocks and their origin*: McGraw-Hill Book Company, New York, p. 29.
- DENGO, G. (1950) — *Eclogitic and glaucophane amphibolites in Venezuela*: Am. Geophys. Union., vol. 31, n^o. 6, pp. 873-878.
- DENGO, G. (1953) — *Geology of the Caracas region, Venezuela*: Geol. Soc. Am. Bull., 64, pp. 7-39.
- DODGE, T. A. (1942) — *Amphibolites of the lead area, Northern Black Hills, South Dakota*: Geol. Soc. Am. Bull., 53, pp. 561-584.
- DUPARC, L. (1907) — *On the theory of uraltization*: Bull. Soc. Min., 31, p. 23.
- FELICISSIMO JR., J. e FRANCO, R. R. (1956) — *Bauxito no Altiplano da Serra do Cubatão, Estado de São Paulo*: Bol. Soc. Geol. 5, n^o. 2, pp. 35-50.
- FIEDLER, A. (1936) — *Ueber Verflössungserscheinungen von Amphibolit mit diatektischen Lösungen in östlichen Erzgebirge*: Min. Petr. Mitt., 47, pp. 470-516.
- FRANCO, R. R. (1952) — *Zeólitas dos basaltos do Brasil meridional (Gênese e Paragênese)*: Bol. Fac. Fil. Ci. Let. 150, Mineralogia 10, pp. 1-69
- FRANCO, R. R. (1955a) — *Contribuição ao conhecimento de estruturas migmatíticas no complexo brasileiro*: Bol. Fac. Fil. Ci. Let. 186, Mineralogia 13, pp. 81-96
- FRANCO, R. R. (1955b) — *Sobre um ultramilonito de textura fluidal*: Bol. Soc. Bras. Geol., 4, n^o. 1, pp. 43-48.
- FRANCO, R. R. (1956) — *Migmatitos de textura gnaíssica dos arredores de São Paulo*: Bol. Soc. Bras. Geol., 5, n^o. 1, pp. 31-60.
- FRIEDMAN, G. M. (1953) — *The olivine amphibolite of Blackrock Island, Ontario, Canada*: Am. Jour. Sci., 251, pp. 661-673.
- FRONDEL, C. e COLLETTE, R. L. (1957) — *Synthesis of tourmaline by reaction of mineral grains with NaCl-H₃BO₃ solution, and its implications in rock metamorphism*: Am. Mineral., 42, ns. 11 e 12, pp. 754-758.
- GUIMARÃES, D. (1953) — *Os anfíbolitos da região diamantífera do norte de Minas Gerais*: Acad. Bras. Ci., V. n. 4, pp. 237-258.

- GUIMARÃES, J. E. P. (1952) — *Ocorrência de Pencatito em Itapeva, São Paulo*: Bol. Soc. Bras. Geol., 1, n. 1, pp. 23-29
- HADLEY, J. B. (1949) — *Preliminary report on corundum deposits in the Buck Creek peridotite, Clay County, North Carolina*: U. S. Geol. Survey Bull. 948E, pp. 103-128.
- HARKER, A. (1932) — *Metamorphism. a study of the transformations of rock-masses*: Methuen & Co. Ltd., London.
- HESS, H. H. (1933) — *Hydrothermal metamorphism of an ultrabasic intrusive at Schuyler, Virginia*: Am. Jour. Sci., 5 th ser., 26, pp. 377-408.
- HUSSAK, E. (1890) — *Contribuições mineralógicas e petrográficas*: Bol. Com. Geog. Geol. São Paulo, n. 7
- HUTTON, C. O. (1939) — *The significance of tourmaline in the Otago schists*: Trans. Roy. Soc., New Zealand, 68, 599 (em Frondel, C. e Colletie, R. L., 1957)
- JOPLIN, G. A. (1935) — *Note on the origin of basic xenoliths in plutonic rocks*: Geol. Mag., 72, pp. 227-234.
- KNECHT, T. (1943a) — *Considerações sobre a gênese das jazidas de dolomita no Bairro das Almas, município de Taubaté, São Paulo*: I.G.G., Ano I, n. 2, pp. 157-164.
- KNECHT, T. (1943b) — *Staurolita da Série de São Roque no município da Capital*: I.G.G., Ano I, n. 2, pp. 165-168.
- KNECHT, T. (1944) — *Silimanita no km 20 da via Anhangüera*: I.G.G., Ano II, n. 2, pp. 129-132.
- KNECHT, T. (1950) — *Ocorrências minerais do Estado de São Paulo*: I.G.G., I, pp. 1-145.
- LACROIX, A. (1917) — *On the transformation of basic eruptives into amphibolite*: Compt. Rend., 164, p. 969
- LAWSON, A. C. (1903) — *Plumasite, an oligoclase corundum rock near Spanish Peak, California*: California Univ., Dept. Geol. Sci., Bull. 3, pp. 219-225.
- LEINZ, V. (1931) — *Die amphibolite des südlichen odenwaldes und ihre beziehungen zu dioriten und graniten*: Min. Petr. Mitt., 42, H. 2, pp. 81-137
- LEINZ, V. (1941) — *Ocorrência de cobre nativo, Santo Angelo, Rio Grande do Sul*: Min. Met., VI, n. 31, p. 45.
- LEINZ, V. (1949) — *Contribuição à geologia dos derrames basálticos no sul do Brasil*: Bol. Fac. Fil., Ci. Let., Geologia 5, pp. 1-63.
- LEONARDOS, O. H. (1958) — *Glossário Geológico*: Min. Met. XXVII, n. 157, p. 27
- LINDGREN, W. (1924) — *Contact metamorphism at Bingham, Utah*: Geol. Soc. Am. Bull., 35, pp. 507-531.

- MORAES, L. J. de (1933) — *Distribuição dos anfibólitos diabasóides na região diamantífera do norte de Minas Gerais*: Acad. Bras. Ci., V, n. 4, pp. 235-236.
- NIGGLI, P. (1950) — *Some hornfelses from Saxony and the problem of metamorphic facies*: Am. Mineral., 35, p. 869
- NOCKOLDS, S. R. (1933) — *Some theoretical aspects of contamination in acid magmas*: Jour. Geol., 41, pp. 561-589
- OLIVEIRA, A. I. e LEONARDOS, O. H. (1943) — *Geologia do Brasil*: Min. Agric., Sér. Did. 2, pp. 143-147
- OSBORNE, G. D. (1931) — *The contact metamorphism and related phenomena in the neighborhood of Marulan, New South Wales*: Geol. Mag., 68, pp. 289-314.
- PHILLIPS, A. H. e HESS, H. H. (1936) — *Metamorphic differentiation at contacts between serpentinite and siliceous country rocks*: Am. Mineral., 21, pp. 333-362.
- RAMBERG, H. (1952) — *The origin of metamorphic and metasomatic rocks*: The University of Chicago Press.
- RÊGO, L. F. de M. (1933) — *Contribuição ao estudo das formações predevonianas de São Paulo*: Inst. Astron. Geogr. S. Paulo, pp. 5-43.
- RÊGO, L. F. de M. e SANTOS, T. D. de S. (1938) — *Contribuição para o estudo dos granitos da serra da Cantareira*: I.P.T., 18.
- ROSENBUSCH, H. e MÜGGE, O. (1927) — *Mikroskopische physiographie der petrographisch wichtigen mineralien*: 1, part 2, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, p. 515.
- RUSSELL, G. A. (1935) — *Crystal growth in solution under local stress*: Am. Mineral., 20, pp. 733-737
- SALDANHA, R. (1946) — *O estudo da jazida de wolframita de Inhandjara*: Bol. Fac. Fil., Ci. Let. LX, Mineralogia 8, pp. 5-95.
- SMITH, F. G. (1949) — *Transport and deposition of the non-sulfide vein minerals. IV Tourmaline*: Econ. Geol., 44, pp. 186.
- SMITH, R. J. (1953) — *Geology of the Los Teques-Cua region, Venezuela*: Geol. Soc. Am. Bull., 64, pp. 41-64.
- TEALL, J. J. H. (1885) — *The Metamorphosis of Dolerite into Hornblende-schist*: Q.J.G.S., 41, pp. 133-145
- THOMAS, H. H. (1922) — *On certain xenolithic Tertiary minor intrusions in the island of Mull*: Geol. Soc. London Q.J., 78, pp. 229-259.
- THOMAS, H. H. and SMITH, W. C. (1932) — *Xenoliths of igneous origin in the Trégastel-Ploumanach granite*: Geol. Soc. L. Q. J., 88, pp. 274-296.

- TILLEY, C. E. (1924) — *The facies classification of metamorphic rocks*: Geol. Mag., 61, pp. 167-171
- TILLEY, C. E. (1926) — *On garnet in pelitic contact zones*: Miner. Mag., 21, pp. 47-50.
- TILLEY, C. E. (1927) — *Vesuvianite and grossular as products of regional metamorphism*: Geol. Mag., 64, pp. 372-376.
- TILLEY, C. E. (1929) — *On larnite and its associated minerals from the contact-zone of Scawt Hill, Co. Antrim*: Miner. Mag., 22, pp. 77-86.
- TILLEY, C. E. (1935) — *Metasomatism associated with the greenschist-hornfelses of Kenidjack and Botallack, Cornwall*: Miner. Mag. 24, pp. 181-202.
- TILLEY, C. E. (1937) — *The paragenesis of the kyanite-amphibolites*: Miner. Mag., 24, pp. 555-567
- TILLEY, C. E. (1947) — *The gabbro-limestone contact zone of Camas Mòr Muck, Inverness-Shire*: Bull. Com. Geol. de Finland, 140, p. 97
- TURNER, F. J. (1941) — *The development of pseudo-stratification by metamorphic differentiation in the schists of Otago*: Am. Jour. Sci., 239, pp. 140-149.
- TURNER, F. J. e VERHOOGEN, J. (1951) — *Igneous and metamorphic petrology*: MacGraw-Hill Book Company, New York, pp. 454, 455, 458, 459, 462, 464, 465
- WASHINGTON, H. S. (1917) — *Chemical analyses of igneous rocks*: U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 99, pp. 714-724.
- WEGMANN, C. E. (1932) — *Note sur le boudinage*: Soc. Geol. de France, Bull., 5 th ser., vol. 2, pp. 477-491.
- WISEMAN, J. D. H. (1934) — *The central and south-west highland epidiorites*: Geol. Soc. L.Q.J., 90, pp. 354-417

SECÇÃO GRÁFICA da Faculdade de Filosofia, Ciências
e Letras da Universidade de São Paulo, *imprimiu*