

# GEOLOGIA DA REGIÃO DO JARAGUÁ, S. P.

Por

UMBERTO G. CORDANI, ANTONIO C. R. CAMPOS E ANDRÉ DAVINO

Departamento de Geologia e Paleontologia, Universidade de São Paulo

e

ALFREDO J. S. BJÖRNBERG

F. F. C. L. de Rio Claro e E. E. de São Carlos — U.S.P.

## ABSTRACT

Meta-sediments and geological relations of the pre-Cambrian São Roque series were described from the Jaraguá area, São Paulo County.

Three lithologic units could be followed in the western part of the area: quartzite, sericite-schist and conglomeratic meta-arkose. The sediments are thought to be ancient geosynclinal sediments affected by a diastrophic phase generally accepted as upper pre-Cambrian.

Ortho-amphibolites were mapped, as well as the western end of a large batholith of porphyroid granite (Pirituba granite).

The meta-sediments were affected by dynamo-thermal metamorphism of regional scale. Sericite is the most common metamorphic mineral. Near the granite body, evidences of thermal and pneumatolytic metamorphism were recognized.

In the quartzites and sericite-schists, there seems to be a synclinal structure with steeply dipping limbs and an E-W axis. In the meta-arkoses, an anticlinal structure, with gentler dips and a N45W axis, is indicated.

Several faults, oriented mainly N25E and N45W, were traced by photo-interpretation and in the field.

The Jaraguá quartzites were sheared, and mylonite bands resulted, forming a hard "skeleton". This resulted in differential erosion and the carving out of Jaraguá peak.

## INTRODUÇÃO

A região do Jaraguá encontra-se na faixa pré-cambriana paulista e foi muitas vezes citada nos trabalhos de geólogos, geógrafos e geomorfólogos.

As primeiras referências às rochas da região do Jaraguá estão contidas nos comentários de José Bonifácio de Andrada e Silva e Martin Francisco Ribeiro de Andrada, sobre suas excursões mineralógicas em São Paulo, em 1820. Entretanto, em 1805, este último já descrevera rochas pertencentes à Série São Roque, durante sua viagem pela região sul do Estado de São Paulo. A denominação da Série é devida a Gonzaga de Campos, em 1887, que lhe atribuiu idade siluriana, modificada posteriormente por O. Leonardos (1934), correlacionando-a,



assim como a Série Açungui do Paraná, com a Série Minas, com base no grau de metamorfismo apresentado.

Referências mais modernas sobre a geologia e geomorfologia local aparecem nos trabalhos de Moraes Rêgo (1932 e 1933), e Aziz Ab'Saber (1947).

Entretanto, com exceção dos estudos de Coutinho e Takeda (1955), poucos dados foram efetivamente trazidos à luz relativamente a essa região.

O presente trabalho teve como finalidade principal estudar e mapear detalhadamente a região, que devido à facilidade de acesso e sua interessante geologia, poderá servir para excursões demonstrativas e estágios de treinamento em geologia de campo, para os alunos do Curso de Geologia, assim como constituir ponto de partida para estudos em região pré-cambriana maior.

A área mapeada está localizada entre as latitudes aproximadas de  $23^{\circ} 27'$  e  $23^{\circ} 30'$  e entre as longitudes aproximadas de  $46^{\circ} 45'$  e  $46^{\circ} 42'$  a 22 km a NW de São Paulo, entre a Via Anhanguera e a Estrada de Ferro Santos-Jundiaí, na altura da estação de Jaraguá. Situa-se no encontro dos ramos da serra da Mantiqueira, seguindo o eixo estrutural da Cantareira para W; mostra rochas de metamorfismo regional epizonal: quartzitos, xistos e anfibolitos atravessados por granitos posteriores.

A forma do terreno segue os padrões dos escudos cristalinos antigos, tendo sido também influenciada pelos adernamentos e falhamentos modernos.

O relevo, em fase de acentuada maturidade, apresenta-se bastante dissecado; encontra-se entretanto rejuvenescido por movimentos epigênicos sucessivos, evidenciados por diversas superfícies gliptogênicas. Os afloramentos relativamente escassos, a não ser nas principais escarpas dos morros e a vegetação bem desenvolvida dificultaram a tarefa de campo. Foram percorridas todas as estradas principais e secundárias, assim como todas as ravinas e vales da região mapeada.

Para a coleta de dados nos trabalhos de campo foram empregadas fotografias aéreas da região na escala aproximada de 1:12.000, sendo os dados transferidos para o mapa topográfico de base, em escala 1:10.000.

Os autores deixam aqui expressos os seus melhores agradecimentos ao Prof. Dr. Viktor Leinz, cujas críticas, orientação e cooperação serviram de grande incentivo para o trabalho. Agradecimentos especiais são devidos também ao Prof. Dr. Moacyr Coutinho pela colaboração prestada na parte petrográfica e ao Prof. Dr. Mauro Ricci pelos valiosos conselhos e ajudas nas técnicas de foto-interpretção. Por fim, deve também ser mencionado o auxílio prestado nos trabalhos de campo por alguns alunos do 3.º ano de 1961 do Curso de Geologia da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, que estiveram estagiando em parte da área estudada.

## GEOLOGIA LOCAL

Embora seja evidente o fato de que no sul do Estado de São Paulo, rochas consideradas antigamente pertencentes à Série São Roque tenham continuidade física com as da Série Açungui, e este termo tenha prioridade por ser o mais antigo, continuaremos a usar o termo de Série São Roque para os meta-sedimentos existentes na região próxima à cidade de São Paulo, até que seja definitivamente esclarecida a sua posição estratigráfica com relação às rochas da Série Açungui do sul do Estado.

A região estudada é formada predominantemente por rochas metamórficas da chamada Série São Roque; trata-se de meta-sedimentos e ígneas associadas, das quais ainda não foram resolvidos os problemas concernentes à sua origem e suas relações de idade. Assim sendo, em vista da pequena extensão da área visitada em relação à área total ocupada pelos meta-sedimentos, preferimos dividir as rochas encontradas na região do Jaraguá em unidades litológicas, deixando para mais tarde, após ulteriores estudos em outros locais, uma melhor classificação e denominação estratigráficas.

Assinalamos ainda em nossa área sedimentos recentes cenozóicos, provavelmente associáveis aos da Bacia de São Paulo. Sua ocorrência é porém restrita à algumas calhas da região.

### Série São Roque

Os metas-sedimentos da região do Jaraguá podem ser divididos em três unidades litológicas: quartzitos, sericita-xistos e meta-arcózios conglomeráticos.

**Quartzitos** — Esta unidade litológica constitui a parte superior do pacote sedimentar, e seus afloramentos ocupam grande parte da metade setentrional da região estudada. São formados essencialmente por quartzito, (Fotomicrografia n.º 1), apresentando textura granular suturada. Os grãos de quartzito são pequenos (cerca de  $50 \mu$ , em média), existindo também cristais bem maiores que parecem ser produto de recristalização com mobilização de sílica, o que é sugerido pelo grande número de veios de quartzito que cortam os quartzitos. Subsidiariamente, estas rochas também podem conter pequenas quantidades de sericita e, como acessórios, magnetita, zircão, apatita e turmalina. Macroscopicamente apresentam-se macios, de coloração branca a cinza clara, sem nenhuma orientação preferencial e bastante dielados. Localmente entretanto, podem se apresentar mais friáveis, com o aumento da quantidade de sericita em sua constituição.

Nestes quartzitos foram observadas pequenas intercalações de outros tipos de rocha, devido às quais foi possível reconhecer em diversos locais o acamamento da unidade litológica. Aliás, nestes casos é possível verificar que, quando os quartzitos possuem certa foliação, constitui-se ela na assim chamada "xistosidade de acamamento", de-



vida à recristalização dos minerais metamórficos laminares nos planos de acamamento. As citadas intercalações podem compreender: — Sericita-xistos: — Rochas xistosas, de constituição mineralógica correspondente à da unidade litológica de mesmo nome, descrita a seguir.

— Meta-arcózios: — Rochas claras e compactas, apresentando certa orientação visível, e de composição semelhante à dos meta-arcózios mais comuns da unidade litológica homônima, também descrita mais adiante.

— Sericita-xistos com biotita: — Rochas muito escuras e compactas, apresentando orientação visível e constituídas essencialmente por sericita, biotita e quartzo, contendo também certa quantidade de feldspatos, magnetita, apatita, zircão, e eventualmente turmalina. Localmente a biotita predomina sobre a sericita, aumentando ao mesmo tempo a proporção de quartzo, podendo a variedade ser chamada de quartzito com biotita. Estas rochas foram descritas e classificadas por Coutinho (1955), como rochas pseudo-cornubianíticas resultantes de uma recristalização mais intensa durante o metamorfismo, devido à diferença de composição inicial em relação aos sedimentos mais comuns.

A unidade litológica de quartzitos assenta-se sem discordância sobre a unidade litológica subjacente; aliás, há uma graduação nas proximidades do contato, com o contínuo aumento na proporção de sericita e a conseqüente diminuição na de quartzo, nos quartzitos, até ficar constituída a unidade litológica de sericita-xistos.

**Sericita-xistos (ou Filitos)** — Na região estas rochas aparecem em duas faixas irregulares, a Norte e a Sul da área de quartzitos. Apresentam-se com estrutura xistosa fina, existindo variedades mais compactas; a coloração varia de cinza claro a cinza escuro, aparecendo colorações amareladas ou avermelhadas devido ao intemperismo. Quanto à mineralogia, são constituídas essencialmente por sericita; o quartzo está sempre presente em grãos muito pequenos (cerca de 30  $\mu$ ), intimamente associado aos cristais de sericita; eventualmente podem aparecer também feldspatos elásticos, biotita e turmalina. A magnetita é o acessório comum, aparecendo também, menos freqüentemente, zircão, apatita, rutilo e titanita.

Nestes sericita-xistos, originados por metamorfismo regional sobre rochas predominantemente argilosas, são muito freqüentes as intercalações de diversas naturezas, como camadas de alguns metros de espessura dos já descritos quartzitos puros, meta-arcózios e sericita-xistos compactos com biotita. Foram observadas também intercalações de meta-conglomerados de pequena espessura (alguns metros no máximo), nas quais se evidenciam apenas os seixos quartzíticos e os contornos mal definidos dos antigos seixos de granitos e gnaisses, agora decompostos, revelados pela formação de caulim.

Essas intercalações permitiram o reconhecimento do acamamento dos xistos em diversos locais, reconhecimento este que seria de outro modo grandemente dificultado, pelo fato destas rochas apresentarem

xistosidade e em alguns casos também clivagem de cisalhamento (**fracture cleavage**), ambas diferindo do acamamento original.

Não foi observado nenhum contato direto entre estes sericita-xistos e a unidade litológica de meta-arcózios; aliás, parece que estes contatos seguem linhas de falhamentos.

**Meta-arcózios conglomeráticos** — Aparecem na região SW, tratando-se de rochas bastante heterogêneas, com predomínio de meta-arcózios e quartzo-xistos; existem freqüentes intercalações de meta-conglomerados, de sericita-xistos e de sericita-xistos com biotita.

A parte superior do pacote é constituída, ao que parece, por meta-grauvacas, que aparecem aflorando em duas faixas mais ou menos regulares, atravessando a parte SW da região, de NW para SE. Possuem coloração cinza clara e caracterizam-se pela presença de grãos elásticos de quartzo e feldspatos, em matriz completamente recristalizada de sericita. Os grãos de quartzo são em geral pequenos (cerca de 100  $\mu$ , em média), enquanto que os de feldspatos são freqüentemente maiores, alguns atingindo até 500  $\mu$ . Os feldspatos elásticos presentes são quase que exclusivamente plagioclásios, tendo sido observados também alguns grãos de microclínio. Aparece também biotita em certa quantidade, eventualmente epidoto, e como acessórios magnetita (que é constante para todas as rochas da região), zircão, apatita e turmalina detritica. Possuem estratificação visível e, como nos quartzitos, a recristalização da sericita se deu produzindo xistosidade de acamamento.

Os meta-arcózios propriamente ditos apresentam quartzo e feldspatos em grãos elásticos, de tamanhos variáveis entre 50 e mais de 500  $\mu$ . Em geral os grãos de feldspato são maiores, predominando microclínio e ortoclásio sobre os plagioclásios. A matriz é constituída principalmente por sericita, podendo ocorrer ainda biotita e ocasionalmente turmalina. Os acessórios são os mesmos encontrados nas outras rochas da região, ou seja, magnetita, zircão e apatita. Possuem colorações variadas devidas ao intemperismo, sendo que não foi encontrado nenhum afloramento de rocha fresca na região; quanto ao grau de xistosidade, também a variedade é muito grande, havendo tipos mais maciços ou mais xistosos, conforme a quantidade menor ou maior de sericita. As intercalações de meta-conglomerado são muito freqüentes, e de espessuras variáveis; apresentam seixos de tamanhos diversos (em geral centimétricos) e de natureza variada, distribuídos em uma matriz sericítica mais ou menos quartzosa. Em geral, essas intercalações são muito decompostas, sendo determináveis apenas pela presença de seixos quartzíticos, que resistem ao intemperismo químico.

Intercalações de sericita-xistos, em geral quartzosas, também são comuns, sendo que nelas se observa clivagem diferindo do acamamento, ao contrário do que acontece com os meta-arcózios propriamente



mente ditos e com os meta-conglomerados, nos quais a orientação predominante visível é dada pela estratificação.

Foram notadas ainda intercalações de "epidotito", de xistosidade acentuada e constituídas por agregados granoblásticos de quartzo e epidoto, contendo também biotita, sericita e porfiroblastos de feldspato (albita) com geminações diversas e com até mais de 2 mm em sua maior dimensão. Um afloramento de tal rocha foi estudado por Coutinho (1955), que a denominou de "epidotito", mas não se definiu quanto sua origem provável; os autores assinalam a hipótese de se tratar de antigos sedimentos parcialmente calcários que, devido à sua composição, pela metamorfismo se transformaram com produção de epidoto e albita.

### Rochas de origem ígnea

► **Meta-diabásios** — Estas rochas aparecem em intercalações concordantes esparsas dentro dos meta-sedimentos, e também formando um grande corpo maciço, aparentemente discordante, na parte E da região do Jaraguá, ocupando uma área de aproximadamente 2 Km<sup>2</sup>. Trata-se de anfibolitos constituídos essencialmente de anfibólio e plagioclásio; entre os acessórios, os mais importantes são magnetita e titanita, podendo ser encontrados também apatita e zircão; localmente pode aparecer epidoto mesmo em quantidades sensíveis; em alguns casos foi constatada a presença de quartzo, e uma única vez foram notados diversos cristais de turmalina, de crescimento posterior, evidenciando pneumatólise.

O anfibólio presente é quase sempre hornblenda comum; entretanto, em algumas lâminas foi notada a presença de dois tipos de anfibólio, apresentando provavelmente diferenças na quantidade de ferro na sua composição; ainda em outra lâmina, o anfibólio parecia ser mais do tipo tremolita-actinolita.

Os anfibolitos não possuem orientação pronunciada visível; apenas microscopicamente pode ser verificada uma xistosidade mais ou menos definida, pela orientação dos prismas de hornblenda.

Não queremos entrar em discussão quanto à variação mineralógica e textural, mesmo em locais muito próximos dentro do corpo anfibolítico; provavelmente relaciona-se este fato com a própria origem da rocha, origem que continua bastante discutida, e que necessitará, para a sua compreensão, maiores estudos de caráter petrológico. Estes anfibolitos foram estudados petrograficamente por Coutinho (1955), tendo ele sugerido uma origem provável a partir de corpos ígneos: antigos sills, diques e stocks de rochas básicas, intrusivos nos meta-sedimentos; os autores endossam tal opinião como a mais provável e a que se adapta melhor às evidências de campo.

**Granito** — Na parte SE da região, os meta-sedimentos e os anfibolitos associados confinam-se com uma massa granítica intrusiva, que forma um batólito relativamente grande, mais a leste.

Trata-se do "Granito Pirituba", ou "Ôlho de Sapo", assim chamado por apresentar textura sensivelmente porfiróide, devido à existência de grandes cristais de microclínio, esparsos em uma massa fundamental fanerítica. Estes fenocristais podem atingir até mais de 3 cm em seu maior diâmetro, enquanto que mesmo os minerais da massa fundamental são facilmente distinguíveis a olho nu, pois apresentam dimensões milimétricas; são eles quartzo, feldspato (principalmente plagioclásio) e biotita. Como acessórios existem titanita, apatita e magnetita.

Diversos autores já estudaram este "Granito Pirituba", tendo Coutinho (1955) demonstrado que sua designação correta seria a de adamello, devido à proporção mais ou menos equivalente entre os feldspatos potássicos e os plagioclásios.

A rocha é bastante homogênea, não tendo sido verificada nenhuma grande diferença entre os diversos afloramentos. As poucas variações notadas em alguns pontos próximos aos contatos se devem à quantidade e tamanho dos fenocristais de microclínio. Em alguns casos extremos, a massa intrusiva torna-se quase equigranular, devido à restrição de tamanho dos fenocristais e à sua menor quantidade.

Outra diferença local que pode ser verificada é a orientação dos cristais de biotita, significando provavelmente uma textura fluidal, feição da tectônica das intrusões (**granite tectonics**), podendo se tratar também, talvez, de uma orientação reliquiária resultante da digestão das encaixantes xistosas.

Quanto à origem, o adamello parece ter-se formado por simples cristalização a partir de uma magma de composição ácida. Esta hipótese é sugerida pela uniformidade do material, pela textura porfiróide, pela segregação aparentemente normal dos minerais ortomagmáticos, por algumas feições encontradas e características da tectônica das intrusões (como a existência de textura fluidal, e a perturbação das encaixantes por fissuras de tensão e planos de cisalhamento), pelos efeitos pneumatolíticos verificados nas rochas encaixantes, como na turmalinização localizada, e pela grande quantidade de diques e apófises de composição granítica que existem principalmente na região próxima ao contato com o granito, e que passaremos a descrever.

Assim, nas proximidades do batólito, aparecem intrusões irregulares, de dimensões variáveis e jazendo ora concordantemente, ora discordantemente em relação às encaixantes xistosas. Trata-se de rochas leucocráticas, cuja granulação varia desde pegmatítica até microgranular, constituídas por microclínio, plagioclásio, quartzo, turmalina e eventualmente biotita.

Estas rochas são de fácil determinação no campo, pois a decomposição de seus feldspatos produziu caulim muito branco e em quantidade às vezes até explorável economicamente, e ressaltam-se assim nos xistos, pois estes produzem caulim em quantidades insignificantes.



### ←\* Gênese dos sedimentos

Pela extensão da área ocupada pela Série São Roque, e a associação das rochas existentes, parece não haver dúvida de que se trata de antigo geossinclinal, que sofreu diatrofismo considerado geralmente algonquiano.

Os conglomerados que aqui são incluídos em nossa unidade litológica inferior, são considerados por Coutinho (1955), como sendo basais da Série São Roque. É então por ele inferida pelo menos uma série sedimentar pré-conglomerática, evidenciada pelos seixos de quartzo e prováveis para-gnaisses inclusos naquela rocha.

Nossa unidade litológica inferior, constituída de meta-arcólios com leitos conglomeráticos, foi formada provavelmente em uma bacia em subsidência rápida, dando-se uma aceleração no processo de erosão do continente, que provocou a deposição de conglomerados e sedimentos arenáceos imaturos, com boa percentagem de feldspatos clásticos.

As grauvas, que foram depositadas a seguir, e que formam a parte superior do pacote indicariam um ambiente de formação em maiores profundidades marinhas e deposição por correntes de turvação (**turbidity currents**). São sedimentos característicos de geossinclinais.

Os sedimentos de caráter mais fino: argilitos e folhelhos que se seguem, parecem indicar uma sedimentação estável, partindo de uma região madura ou mesmo peneplanizada. Neste caso apenas material fino e mesmo coloidal é removido e alcança a bacia de deposição.

Os ortoquartzitos superiores, indicando alto grau de maturidade textural e mineralógica parecem ser o que Krynine (1951) chamou de protoquartzitos, isto é, produtos locais de "lavagem" de grauvas e similares.

### METAMORFISMO

As rochas estudadas ocorrentes na região do Jaraguá sofreram metamorfismo dinamo-termal regional; algumas delas mostram também evidências de outros tipos locais de metamorfismo como os de contato, termal, pneumatolítico e cataclástico.

**Metamorfismo regional** — Ao que parece, os antigos sedimentos sofreram a ação de pressões dirigidas acentuadas, com o desenvolvimento de xistosidade pronunciada nas rochas mais incompetentes. Tanto a pressão confinante como a temperatura não devem ter sido excessivas, pois o mineral metamórfico mais comum é a sericita, silicato hidratado epizonal característico. O fato da biotita e não a clorita, constituir ao mineral fêmico micáceo pareceria indicar um metamorfismo regional de grau mais elevado, já de mesozona; no entanto, acreditamos que esta presença de biotita seja devida mais a um metamorfismo de contato ou um metamorfismo de baixa tempera-

tura que afetou posteriormente estas rochas, formadas em ambiente de epizona. Outra possibilidade para a explicação do fato, seria a de não existirem condições para a formação de clorita (por exemplo, falta de magnésio na composição original), aparecendo biotita mesmo em ambiente de epizona.

Nas rochas arenosas-quartzíticas e quartzo-feldspáticas, não se deram transformações radicais devido ao metamorfismo regional; nessas rochas bastante estáveis e competentes, a ação da pressão dirigida provocou uma fragmentação intensa e, certas deformações nos grãos de quartzo. Quanto maior a quantidade de argila nos sedimentos originais, maior a recrystalização, produzindo sericita; este mineral plácido cresceu quase sempre paralelamente ao acamamento destas rochas, acamamento este que se conserva nitidamente, havendo perceptíveis diferenças de granulação nos diversos leitos. Este tipo de xistosidade, paralela ao acamamento parece ser muito comum nas rochas da Série São Roque; ainda existem dúvida sobre a origem de tal tipo de xistosidade, parecendo tratar-se de recrystalização nos planos de acamamento (De Sitter, 1956). Acreditamos que este tipo de xistosidade seja o mais importante no Pré-Cambriano do Brasil, merecendo mesmo um estudo profundo.

Nas rochas mais argilosas a recrystalização foi mais completa, produzindo sericita-xistos. Nelas existem os dois tipos principais de clivagem: a clivagem de fluxo (**flow cleavage**), característica dos xistos, na qual se dá a recrystalização da sericita, e posterior rotação dos cristais formados para uma posição paralela ao plano axial do dobramento; a clivagem de cisalhamento ou ardósiana (**slaty**), onde a orientação dos minerais formados se dá em planos de cisalhamento muito próximos. Em ambos os casos, o plano da clivagem difere do do acamamento.

Estas estruturas são bem evidenciadas em uma amostra de quartzo-sericita xisto encontrada na região sul do morro (Fotomicrografia n.º 2). Observa-se o acamamento (superfície de separação entre leitos mais ou menos arenosos), a clivagem fluidal, devida a recrystalização da sericita pelo metamorfismo regional, e a clivagem de cisalhamento devida a movimentos posteriores. Note-se a orientação dos cristais de sericita nestes planos, indicando o sentido da movimentação.

As rochas da região do Jaraguá, poderiam ser incluídas na fácies metamórfica de "xistos verdes", característica de metamorfismo regional de temperatura baixa. A ausência da clorita, sendo a biotita o mineral micáceo fêmico leva à inclusão na sub-fácies quartzo-albita-epídoto-biotita de Turner (1960).

A associação mineralógica existente nos anfíbolitos, que poderia parecer pertencer a uma fácies metamórfica de grau mais intenso não seria devida ao mesmo metamorfismo regional, mas seria inerente às próprias condições de formação da rocha; esta, de origem ígnea provável, teria se formado em ambiente de temperatura mais elevada pro-



duzindo uma associação mineralógica de pressão e temperatura superiores; foi transformada em anfibolito por metamorfismo regional, e encontrar-se-ia em retrometamorfismo, para adaptar-se às condições posteriores.

**Metamorfismo local** — Evidências de metamorfismo termal e de contato já foram mostradas por Coutinho (1955), nas proximidades do granito Pirituba, particularmente nas matrizes dos meta-conglomerados por ele estudados e nos anfibolitos. Porém, considera ele bastante restrita a zona de influência do granito, atribuindo ao metamorfismo regional tanto a formação dos pseudo-cornubianitos, como a biotitização dos xistos. No entanto, é provável que este último fenômeno tenha sido ajudado também pela ação metassomática da intrusão, pois seria de se esperar alguma clorita associada aos outros minerais típicos da fácies regional de xistos-verdes, e como o único mineral fênico micáceo existente é a biotita, o que poderia ter acontecido é a transformação pela ação intrusiva de toda a clorita porventura existente, segundo a reação  $\text{sericita} + \text{clorita} = \text{biotita}$ .

Quanto aos pseudo-cornubianitos, parece que adquiriram caráter de metamorfismo mais acentuado do que os xistos encaixantes normais, devido à composição química inicial das intercalações, mais suscetíveis à ação termal e metassomática do granito. Isto é sugerido pelo fato destas intercalações se tornarem mais frequentes na região próxima ao batólito. Alguns destes corpos, os mais distantes do granito e intercalados no quartzito, teriam se formado apesar da distância, pela maior mobilidade das soluções nestas rochas, mais competentes, com maiores vazios provocados por fraturamento e falhamento.

Evidências de pneumatólise também foram encontradas em nossa área, notando-se turmalinização em todas as unidades litológicas encontradas, e mesmo nos anfibolitos; e num afloramento de sericita-xisto muito fino, situado cerca de 1,5 Km do contato com o granito, foram notados cristais de turmalina em grande quantidade, de tamanho de apenas alguns microns, e de crescimento posterior evidente.

### TECTÔNICA

Os dobramentos que afetaram os meta-sedimentos da região se deram por compressão, durante um período de diastrofismo ainda no Pré-Cambriano, antes da intrusão granítica que deve ser do tipo post-tectônico; a estrutura resultante, ainda simples, foram superimpostos tectonismos posteriores de caráter mais epirogenético.

Os meta-sedimentos teriam se formado em um antigo geossinclinal, e, pelo grau de metamorfismo que apresentam, estiveram situados a uma profundidade aproximada de 5.000 — 6.000 m (Turner e Verhoogen, 1960). Assim sendo, nada de mais lógico do que se esperar uma grande perturbação por falhamentos quando, por movimentos de caráter epirogenético principalmente, foram eles trazidos para a posição atual, a uma altitude de aproximadamente 1.000 m sobre o nível

do mar. De fato, pode ser constatada na região, a evidência de falhamentos de diversas naturezas, com a fragmentação e deslocamento relativo de inúmeros blocos, complicando enormemente a estrutura, a qual pode ser apenas entrevista, mesmo por mapeação detalhada.

Assim, a posição das diferentes unidades litológicas da região, e diversas medidas efetuadas de seus elementos estruturais, nos pontos possíveis, parecem indicar a existência de uma estrutura sinclinal de eixo aproximadamente E-W, e inclinação moderada para W, passando próximo ao pico mais alto do Jaraguá, com as camadas nos flancos mergulhando acentuadamente. Na crista deste sinclinal situam-se os anfibolitos.

Na região SW, os meta-arcózios mais antigos se reuniram em uma estrutura anticlinal, de eixo aproximadamente N45W, com mergulhos mais moderados.

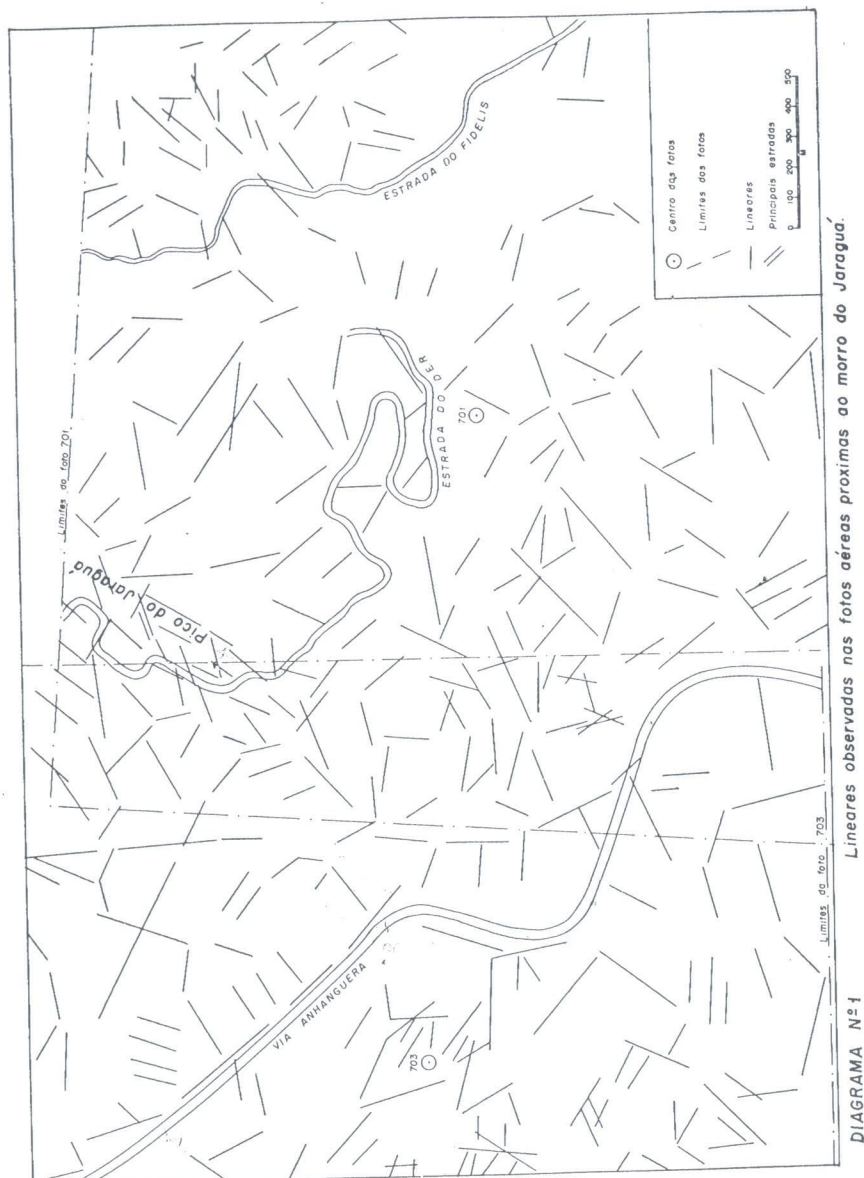
Quanto aos sistemas de planos de falha ou de cisalhamento encontrados, são eles tão numerosos e diferentes que tornou-se bastante difícil a escolha, para finalidades de mapeamento, daqueles que de fato fossem importantes e decisivos para a interpretação da estrutura. As falhas incluídas em nosso mapa, separando diferentes blocos, foram traçadas em base de foto-interpretação, com auxílio de um controle detalhado de campo, referente principalmente à posição das unidades litológicas.

Deve-se notar que as feições estruturais tais como acamamento ou xistosidade, que incluímos no mapa, representam apenas médias aproximadas ou tendências gerais das atitudes perto do local assinalado; inclusive algumas delas foram colocadas após exame das fotografias aéreas, pois as medidas tomadas no campo não eram nesses casos dignas de confiança, tratando-se de locais próximos dos planos de falha mais importantes.

Ao tectonismo que podemos chamar de moderno, os autores acreditam que se deva a formação da anomalia topográfica que constitui o morro do Jaraguá. Isto porque os quartzitos sofreram diversos cisalhamentos, resultando daí milonitos que se recrystalizaram posteriormente; deu-se então a formação de um arcabouço, um "esqueleto" formado pelas faixas miloníticas resistentes à erosão, que permitiu a proteção de todo o conjunto cizalhado. De fato, foram encontradas diversas faixas miloníticas nos quartzitos do morro, orientadas aproximadamente paralelas à direção E-W, e constituindo um sistema que está provavelmente associado à grande falha WNW-ESE, próxima ao morro, na parte Sul.

Quanto às falhas assinaladas no mapa geológico e que afetam os meta-sedimentos, nota-se que localizam-se principalmente ao longo de vales, separando blocos que se deslocaram relativamente e que mostram, atualmente, atitudes diferentes de camadas.





Podem se notar dois sistemas principais: um dêles com direção aproximada N25E, e outro com direção aproximada N45W; estas linhas de falha são bem evidenciadas na região que separa os meta-arcózios de SW dos sericita-xistos e quartzitos, no centro do mapa. Não se trata de uma maneira geral de planos ou superfícies de falha bem definidos, mas sim de sistemas de planos de cisalhamento sub-paralelos, cujas direções predominantes são as indicadas.

Os dois sistemas de cisalhamento referidos evidenciam-se melhor após o estudo estatístico dos "lineares" que aparecem sobre as fotos aéreas. São êles (O. Lueder, 1960) feições lineares que possuem um grau anormal de regularidade, e que são devidas a alguma feição estrutural das rochas. Trata-se de estruturas planares (acamamentos, xistosidades, juntas, falhas, etc.) que aparecem como segmentos de reta sobre as fotos e que apenas em alguns casos são passíveis de identificação. No nosso caso são os "lineares" observados atribuíveis a planos de cisalhamento, ajustando-se com as observações de campo.

O diagrama de lineares observados é mostrado (Diagr. n.º 1), ocupando praticamente tôda a área dos meta-sedimentos. Para o estudo estatístico foram êles agrupados em setores segundo suas direções, de 10 em 10 graus, e os segmentos somados em mm de comprimento. Resultou o Diagrama n.º 2, no qual estão bem evidenciados, como máximos, as direções citadas N25E e N45W.

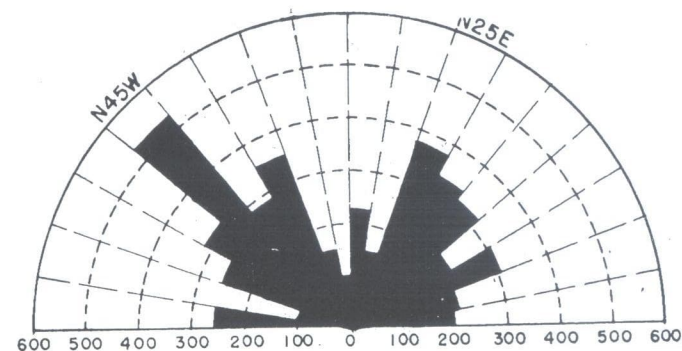
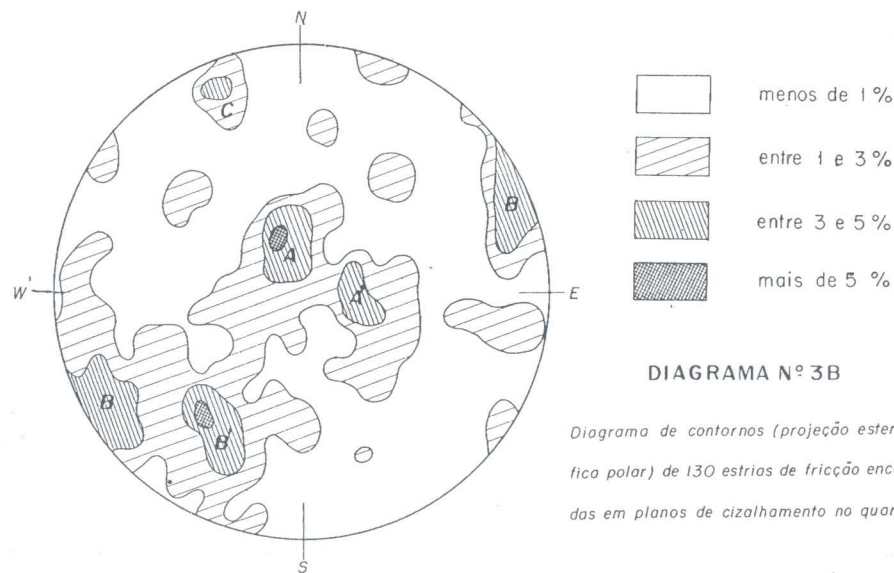
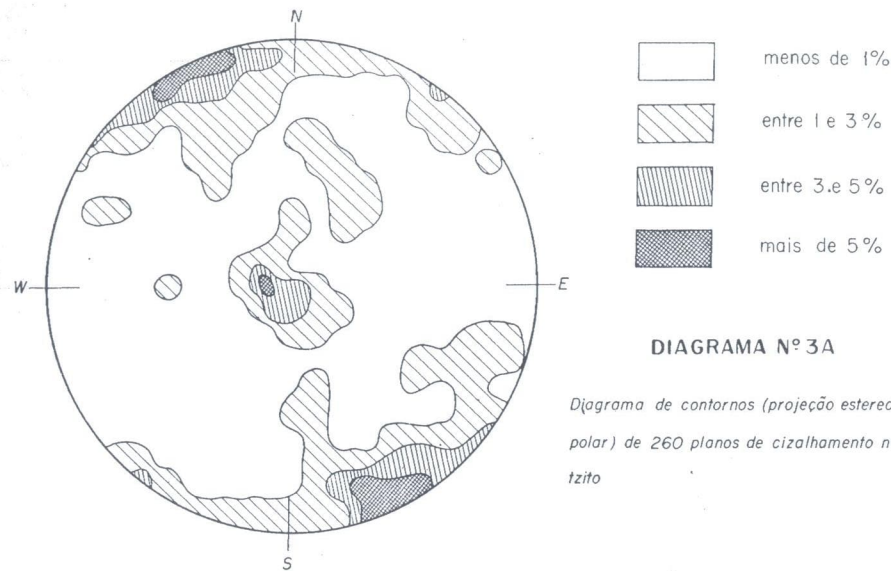


DIAGRAMA Nº 2 - Direções preferenciais dos lineares sobre fotos aéreas da região próxima ao pico do Jaraguá.

Unidade: mm de comprimento — Escala aproximada das fotos: 1:12 000 •

Nos meta-arcózios pode ser notado que os planos de cisalhamento seguem mais ou menos a estratificação, o que não se verifica nas unidades litológicas de quartzitos e sericita-xistos, onde o padrão de falhamento parece ser muito mais irregular.





Não há evidência de falhamento nos contatos dos meta-sedimento com as intrusivas, a não ser na parte superior do anfibolito, onde parecem existir duas falhas; no entanto, quase todo o contato oeste do corpo anfibolítico está escondido sob camadas de sedimentos cenozoicos, sendo que a linearidade dos dois vales que se situam ao longo desse contato poderia fazer supor uma linha de falha de direção norte-sul; mas, mesmo que este falhamento possível venha a ser comprovado, não se constituiria em argumento contrário à origem ígnea provável dos anfibolitos.

Quanto ao tipo de falhamento e deslocamentos relativos ao longo das linhas de falha, é possível apenas se fazer uma tentativa de interpretação, pois não se conhecem os tipos de esforços que originaram os planos de cisalhamento. Assim foi executado um estudo dos cisalhamentos e fraturamentos existentes exclusivamente no quartzito, nas proximidades do morro do Jaraguá, em área pequena, pois os esforços tectônicos se diluem com muita facilidade nos xistos regionais, podendo levar a interpretações incorretas.

Para a interpretação estatística foi usado o diagrama de Schmidt-Lambert (projeção no hemisfério inferior) tendo sido colocadas as projeções polares de planos de cisalhamento e estrias de fricção medidas no quartzito (Diagramas 3A e 3B). Pode-se notar a existência de uma boa concordância na direção predominante obtida (N60 — 70E) e a verificada para os planos de cisalhamento nas fotografias aéreas nas proximidades do pico do Jaraguá.

As estrias de fricção resultaram agrupadas em zonas de maior frequência (A, A', B, B' e C do Diagrama 3B). Nota-se que nos planos de direção N60-N70E existem movimentos sub-verticais (zonas A e A') e também sub-horizontais (zonas B e B'). Existe ainda um terceiro agrupamento de estrias de fricção, indicando um movimento sub-horizantal inclinado para NW em planos com esta direção.

Métodos geomorfológicos foram usados na tentativa de estabelecer uma datação para os falhamentos; foram encontrados pontos (tôpos dos atuais montes), representativos de várias superfícies gliptogênicas sucessivas, que assinalamos no Diagr. n.º 4. Pode-se notar que a superfície de aproximadamente 980 m de altitude parece não ter sido afetada pelos falhamentos, devendo portanto lhes ser posterior. Segundo King (1956), tal superfície seria anterior aos depósitos sedimentares da Bacia de São Paulo, significando isso que os falhamentos seriam anteriores a esta deposição. Quanto à idade relativa dos dois sistemas de falhas, N25E e N45W, parece serem eles associados a um mesmo esforço tectônico, pois ambos se afetam reciprocamente.

Segundo Moody, Hill (1956); Hafner (1951) e Anderson (1951); durante os esforços tectônicos se dão regenerações de cisalhamentos em direções que fazem ângulo de cerca de 75° com os cisalhamentos iniciais. Surgem assim falhamentos de segundo e terceiro grau que obedecem a uma determinada simetria. Adaptando para a área do Jaraguá o modelo teórico, guardando-se a posição das principais li-



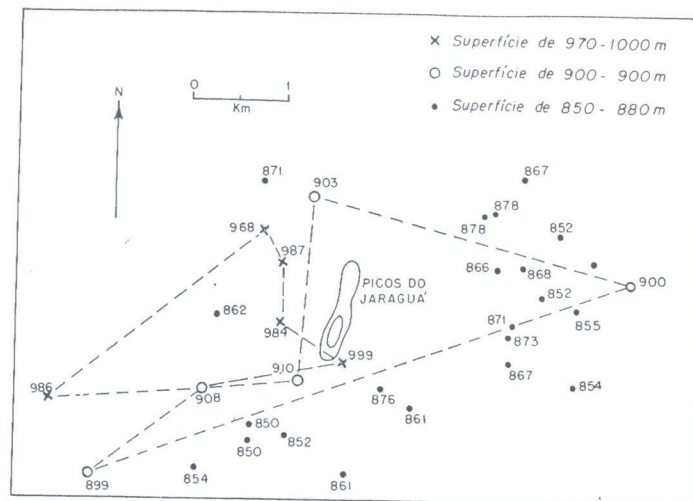


Diagrama n.º 4

nas de falhas observadas, verifica-se uma boa concordância com o modelo assinalado por foto-interpretação. As compressões assumidas (Diagr. 5), provavelmente devidas ao mesmo diastrofismo que afetou os meta-sedimentos, seriam as causas do movimento relativo horizon-

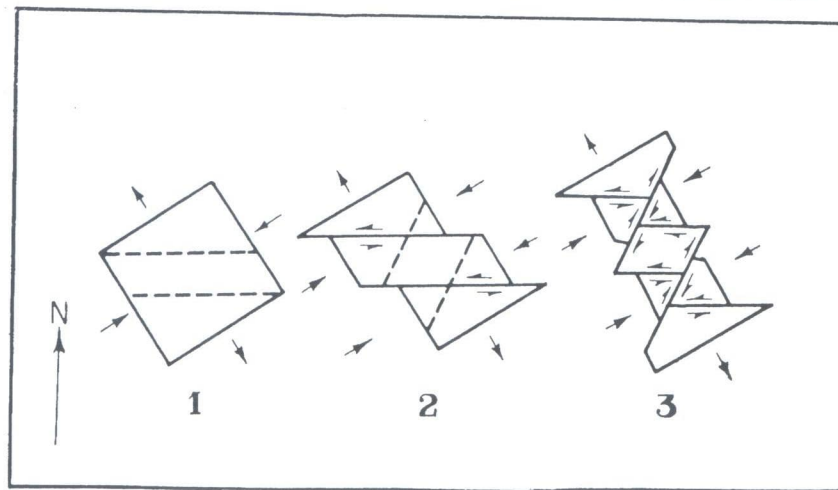


Diagrama n.º 5 — Adaptado de Anderson

tal verificado nos blocos. O falhamento considerado normal, com deslocamento vertical, poderia ser devido ao simples soerguimento da região; e este movimento, assinalado por diversos autores, vem se realizando desde épocas geológicas remotas até nossos dias, como indica-

riam as superfícies de erosão adernadas e os arqueamentos observados mais para o sul (Diagr. 6).

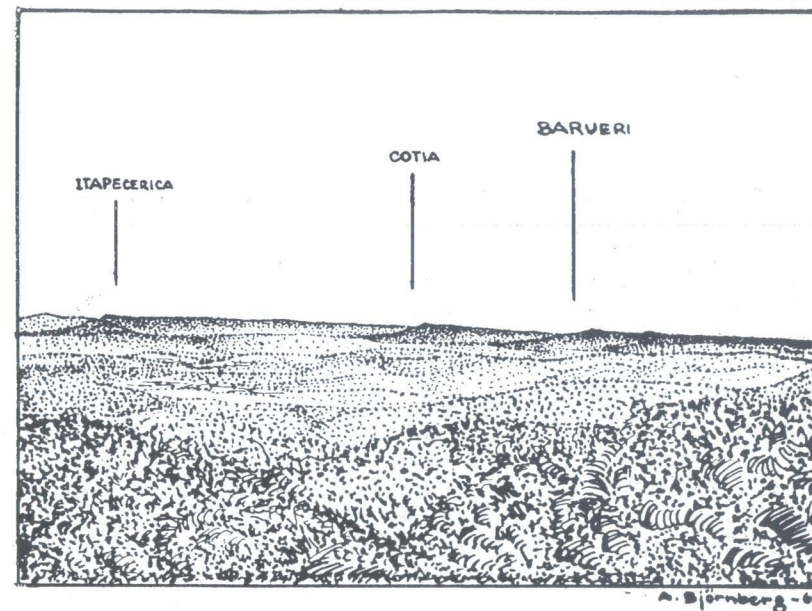
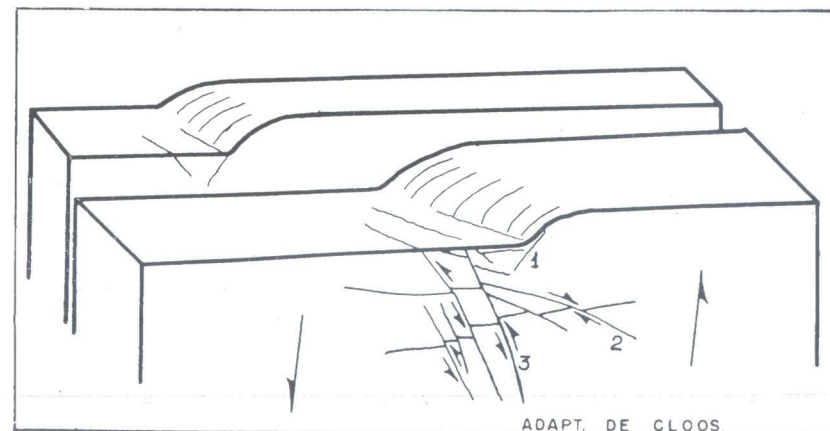


Diagrama n.º 6 — Desenho de uma fotografia (A. Björnberg — 1961)

Quanto às falhas de pequeno ângulo de mergulho (zona C do Diagr. 3), Cloos (1939) e mais recentemente Belousov (1961), demonstraram em experiências de laboratórios que falhas normais de pequeno ângulo acompanham as falhas normais de forte mergulho (Diagr. 7).



ADAPT. DE CLOOS

Diagrama n.º 7 — Adaptado de Cloos



Tais falhas de pequeno ângulo formar-se-iam em maiores profundidades, e não deverão ser confundidas com falhas reversas, de empurrão, que se dão em geral próximas à superfície.

## HISTÓRIA GEOLÓGICA

A seqüência de eventos geológicos, que podemos então atribuir para a região do Jaraguá, não difere essencialmente da construída por Coutinho (1955), com algumas modificações referentes ao estabelecimento das unidades litológicas e aos tipos de falhamentos, e poderia ser assim resumida:

1.º Sobre o embasamento cristalino (Arqueano) houve sedimentação de uma seqüência de arcózios, grauvacas, argilas e arenitos, que produziram por metamorfismo as rochas das três unidades litológicas descritas, respectivamente, meta-arcózios conglomeráticos, sericita-xistos e quartzitos;

2.º Seguiu-se um período de atividade magmática com intrusões e derrames básicos (anfíbolitos);

3.º Ainda no Pré-Cambriano ocorreram dobramentos, falhamentos transcorrentes e metamorfismo regional seguidos da intrusão do granito;

4.º Durante o Paleozóico e Mesozóico a região esteve submetida à erosão, não havendo evidências de registro sedimentar;

5.º Nesse mesmo tempo o soerguimento da região provocou falhamentos normais, estabelecendo-se posteriormente uma outra fase erosiva;

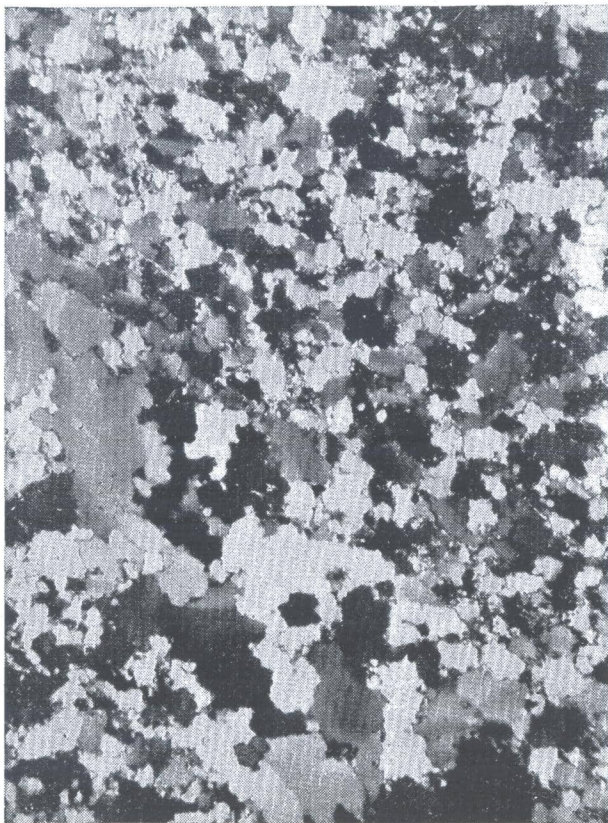
6.º Durante o Cenozóico Inferior houve deposição de sedimentos similares aos da Bacia de São Paulo; mais recentemente (Quaternário), formaram-se os sedimentos de várzea e depósitos de talus.

## BIBLIOGRAFIA

- AB'SABER, A. N. (1947) — *Geomorfologia da região do Jaraguá, em São Paulo* — Anais da Associação de Geógrafos Brasileiros, Vol. 2, pags. 29 a 53.
- ANDERSON, E. M. (1951) — *The dynamics of faulting and dyke formation with applications to Britain* — Oliver Boyd, Edinburg, 2.ª Ed.
- BELOUSOV, V. V. (1961) — *Experimental Geology* — Scientific American, vol. 204, n.º 2, págs. 96 a 108.
- BILLINGS, M. P. (1958) — *Structural Geology* — Prentice-Hall, Inc., N. J., 2.ª Ed.
- COUTINHO, J. M. V. (1953) — *Petrologia da região de São Roque, São Paulo* — Boletim Mineralogia n.º 11, Fac. Fil. Ciênc. Letr., Univ. S. Paulo.
- (1955) — *Metaconglomerado e rochas associadas no Município de São Paulo* — Boletim Mineralogia n.º 13, Fac. Fil. Ciênc. Letr., Univ. S. Paulo.

- DE SITTER, L. U. (1956) — *Structural Geology* — Mc Graw-Hill Book Co., N. Y.
- DURY, G. H. (1959) — *The face of the earth* — Penguin Books, London.
- HAFNER, W. (1951) — *Stress distribution and faulting* — Bul. Geol. Soc. of Am., Vol. 62, pgs. 373 a 348.
- HEINRICH, E. W. (1956) — *Microscopic Petrography* — McGraw-Hill Book Co., Inc., N. Y.
- KING, L. C. (1956) — *Geomorfologia do Brasil Oriental* — Revista Brasileira de Geografia, Ano XVIII, n.º 2.
- LEINZ, V. e MENDES, J. C. (1959) — *Vocabulário Geológico* — Comp. Edit. Nac., S. Paulo.
- LUEDER, D. R. (1959) — *Aerial Photographic Interpretation* — Mc Graw-Hill, Book Co., Inc., N. Y.
- MOODY, J. D. e HILL, M. J. (1956) — *Wrench faults tectonics* — Bull. Geol. Soc. of America, Vol. 67, pgs. 1207 a 1246.
- MORAES RÊGO, L. F. (1932) — *Notas sobre a geoformologia de São Paulo e sua gênese* — Inst. Astr. e Geogr. de São Paulo.
- (1933) — *Contribuição aos estudos das formações pré-devonianas de São Paulo* — Inst. Astr. e Geogr. de São Paulo.
- (1938) — *Contribuição ao estudo dos granitos da serra da Cantareira* — Boletim Inst. Pesq. Tec. de São Paulo, n.º 18.
- OLIVEIRA, A. I. e LEONARDOS, O. H. (1943) — *Geologia do Brasil* — Ministério da Agricultura, Serv. de Inf. Agr., 2.ª Ed.
- PETTIJOHN, F. J. (1957) — *Sedimentary Rocks* — Harper & Brothers, N. Y.
- ROGERS, A. F. e KERR, P. F. (1942) — *Optical Mineralogy* — McGraw-Hill, Book Co., Inc., N. Y.
- TURNER, F. J. e VERHOOGEN, J. (1960) — *Igneous and Metamorphic Petrology* — Mc Graw-Hill Book Co., Inc., N. Y.





Fotomicrografia n.º 1

QUARTZITO — Os grãos são todos de quartzo, com exceção de alguns menores, de sericita, que situam-se nos contatos entre os grãos de quartzo. Nota-se a textura saturada. Nícois X.



Fotomicrografia n.º 2

SERICITA-XISTO — Constituído essencialmente por sericita e quartzo. O acamamento, separando uma banda mais quartzosa à direita, é muito nítido (direção *a*); a clivagem de fluxo é indicada pela direção *b*. Notam-se os traços de planos de cisalhamento (direção *c*), e a orientação nos mesmos dos cristais de sericita (extintos, paralelos à direção *d*, do nícol polarizador). A seção é aproximadamente perpendicular aos planos de acamamento e à clivagem de fluxo. Nícois X.