

# **PESQUISA DO MINÉRIO FOSFÁTICO DE IPANEMA**

For - An. (198)  
SO (Sr) - For

*Eng. Vladimir Aps.*  
*Geólogo Helmut Born*  
Escola Politécnica - USP

**Coordenador:**  
*Dr. Jesuino Felicíssimo Jr.*  
Instituto Geográfico e Geológico

Inicialmente, gostaríamos de agradecer ao Centro Moraes Rego a oportunidade oferecida para podermos voltar à Escola Politécnica, no convívio dos colegas da Engenharia de Minas, e mostrar alguns aspectos de nossa atividade profissional. Se a apresentação deste trabalho for de alguma valia no desenvolvimento do vasto campo da pesquisa mineral, dar-nos-emos por satisfeitos.

Esta comunicação resume os trabalhos de pesquisa realizados em área da Fazenda Ipanema, pela Serrana S/A de Mineração, detentora de alvará de pesquisa de apatita na região supra citada.

A Fazenda Ipanema, de propriedade da União, constitui-se, no presente, num núcleo de ensino e desenvolvimento de atividades rurais, ligado ao Ministério da Agricultura. A Fazenda Ipanema teve rico passado histórico e, ainda hoje, encontramos várias construções que, preservadas ou reconstruídas pelo Patrimônio Histórico Nacional, compunham a Fábrica Ferro Ipanema, pioneira no Brasil.

Ipanema situa-se no município de Iperó, entre as cidades de Sorocaba, Araçoiaba da Serra e a própria Iperó. A sede da fazenda dista de Sorocaba cerca de 20 quilômetros, enquanto que a área de pesquisa fica a 4 quilômetros da sede, perfazendo 24 quilômetros por estrada trafegável durante todo o ano. Sorocaba, por sua vez, dista de São Paulo cerca de 100 quilômetros, tendo ligação pelas Rodovias Raposo Tavares e Castelo Branco (Figura 1).

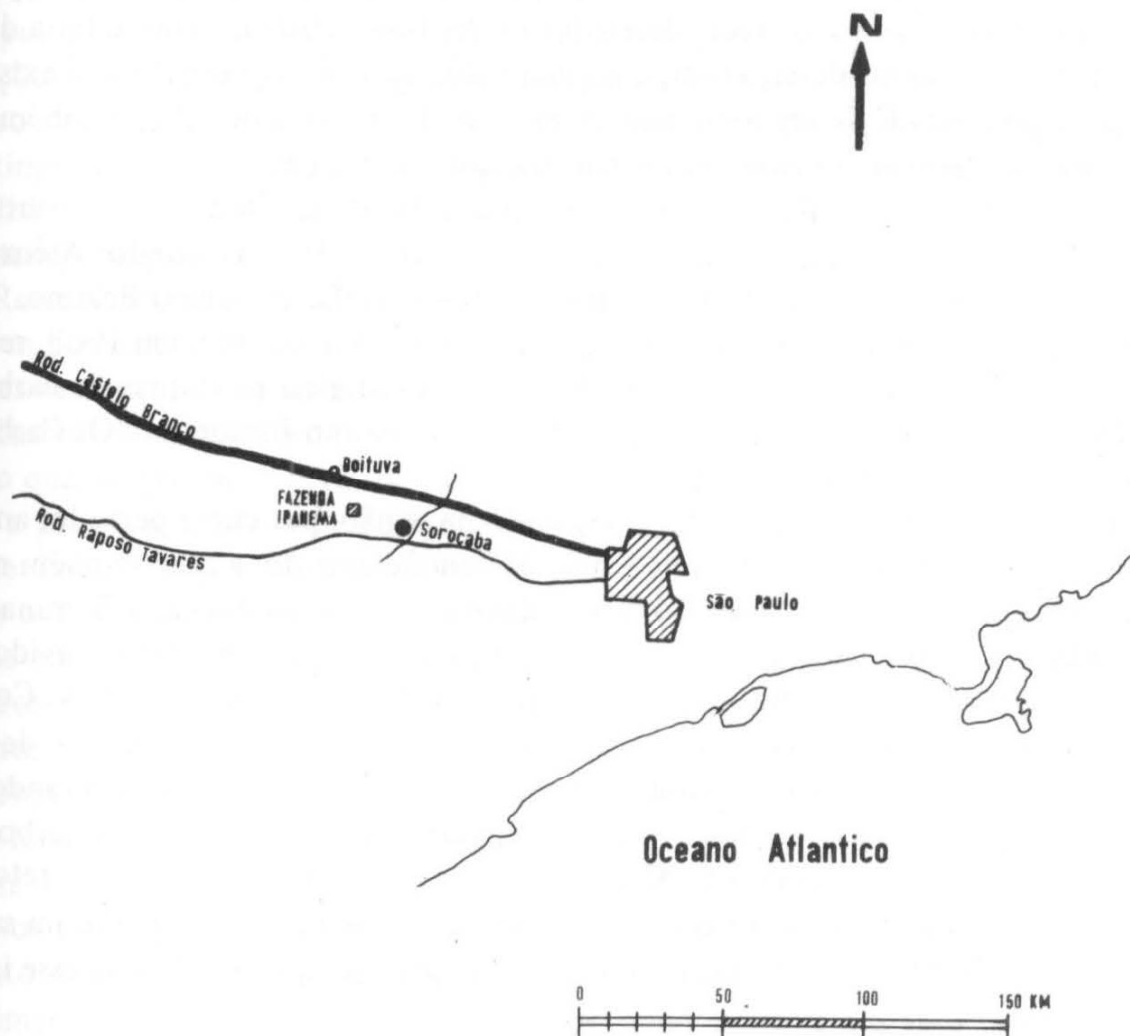


Fig 1

PLANTA DE SITUAÇÃO DA FAZENDA IPANEMA

A Serra de Araçoiaba, onde se localiza a área de pesquisa, apresenta altitudes máximas de cerca de 900 metros, enquanto que a altitude regional é de cerca de 600 metros. Pelo fato da Serra de Araçoiaba dominar toda a área, foi escolhida pela Embraetel para localização da Estação Transmissora Regional, e, no mesmo local, a Telesp está se instalando agora.

A vegetação é escassa nos flancos da Serra, entremeando os blocos de arenito expostos, enquanto que no interior desta encontramos mata de difícil penetração em alguns locais.

Ipanema, por uma série de características, chamou a atenção de diversos estudiosos, desde há muito tempo. Apesar do Eng<sup>o</sup> Felicíssimo Jr., já haver discutido a importância histórica de Ipanema, em trabalho recente, será efetuado um breve retrospecto.

As primeiras descrições geológicas de Ipanema foram feitas por Derby mais ou menos em 1890. A seguir, surgiram os trabalhos de Knecht, Moraes Rego, Jacques de Moraes, Araújo e Leinz, entre 1930 e 1940. Esses autores, além de adicionarem dados geológicos sobre a região, descreveram alguns testes de aproveitamento dos minérios fosfáticos. Nesse período, nenhuma tentativa teve êxito, no sentido de possibilitar o aproveitamento do minério, de forma econômica e contínua. Esse insucesso em parte foi devido à inexistência, na época, do processo de beneficiamento por flotação, do minério de baixo teor, desenvolvido há pouco. Além disso, a falta de concentrações de minério de alto teor, em quantidade apreciável, bem como a existência de grande quantidade de argilo-minerais e minerais hidratados de ferro, também influíram para que esses empreendimentos não tivessem tido sucesso.

Davino, em 1965, realizou estudos geofísicos na região, tendo, entre outros aspectos, concluído pela existência de manto de intemperismo profundo. Além disso, esse autor elaborou mapa geológico da região circunvizinha ao núcleo alcalino.

O Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo, por sua vez, em 1968, realizou algumas sondagens na região, tendo constatado a existência de diques de carbonatitos. Esses trabalhos foram descritos pelo Eng<sup>o</sup> Felicíssimo Júnior em "Os Carbonatitos do Estado de São Paulo" (1968).

Em 1942, a própria Serrana esteve operando na região, por curto período, antes de ir para Jacupiranga, e montou uma usina de beneficiamento, a qual também não teve sucesso técnico e comercial. Convém salientar que, nessa época, a Serrana ainda não dispunha do processo atual de beneficiamento, por flotação, desenvolvido especialmente para o carbonatito de Jacupiranga, pelo Dr. Paulo Abib Andery. Com a existência desse processo, na atual conjuntura de mercado, o aproveitamento de minérios fosfáticos de baixo teor passou a apresentar novos atrativos. Considerando essas novas condições, depois de desenvolver e ampliar os conhecimentos do carbonatito de Jacupiranga, o Dr. Geraldo C. Melcher passou a incentivar a Serrana a retomar a pesquisa nessa região, uma vez que os dados que se tinha de Ipanema faziam supor a possibilidade de uma concentração mineral de expressão, que justificasse esse investimento.

Na fase preliminar dos trabalhos de pesquisa, foi feito um levantamento geológico da área, obtendo-se como resultado, o mapa da Serra de Araçoiaba e arredores (Figura 2). Conforme pode ser observado, a Serra de Araçoiaba apresenta a forma de um

anel incompleto, com uma depressão central, onde se localiza a intrusão alcalina, drenada pelo Ribeirão de Ferro.

A Serra de Araçoiaba, em si, é constituída principalmente por rochas de embasamento que foram soerguidas quando da intrusão alcalina. As rochas sedimentares do Grupo Tubarão que recobriam o embasamento também foram levantadas e, posteriormente, a erosão desnudou a parte superior da serra, expondo as rochas alcalinas e as rochas do embasamento. Conforme se pode verificar no mapa geológico, as rochas do Grupo Tubarão que, regionalmente, têm inclinação de poucos graus, próximo à Serra de Araçoiaba, apresentam mergulhos bastante acentuados e irregulares.

O maciço alcalino de Ipanema é constituído, basicamente, por um núcleo de rocha glimerítica, apresentando em torno uma área de rochas metassomatizadas, designadas genericamente de fenito. As rochas do embasamento são constituídas por granitos, filitos e anfibolitos, com quartzitos e calcáreos subordinados. Finalmente as rochas do grupo Tubarão são formadas principalmente por arenitos e siltitos.

As rochas do embasamento, em torno da intrusão, sofreram um metassomatismo de contato, caracterizado pela formação de egrina-augita, hastingsita e feldspato alcalino. Embora nas proximidades do glimerito existam, localmente, fenitos de composição sienítica, a intensidade do metassomatismo decresce lateralmente e sua presença pode ser identificada em toda a área assinalada no mapa. O corpo alcalino, designado por glimerito, apresenta biotita como constituinte essencial, existindo inclusive porções praticamente uniminerálicas. Na sua maior parte, no entanto, o material micáceo encontra-se intensivamente recortado por veios portadores de aegirina-augita, hastingsita e apatita, além de feldspato alcalino, de distribuição mais restrita.

Próximo à intrusão alcalina, o fenito se apresenta fraturado e penetrado por veios contendo proporções variáveis de mica, apatita e magnetita.

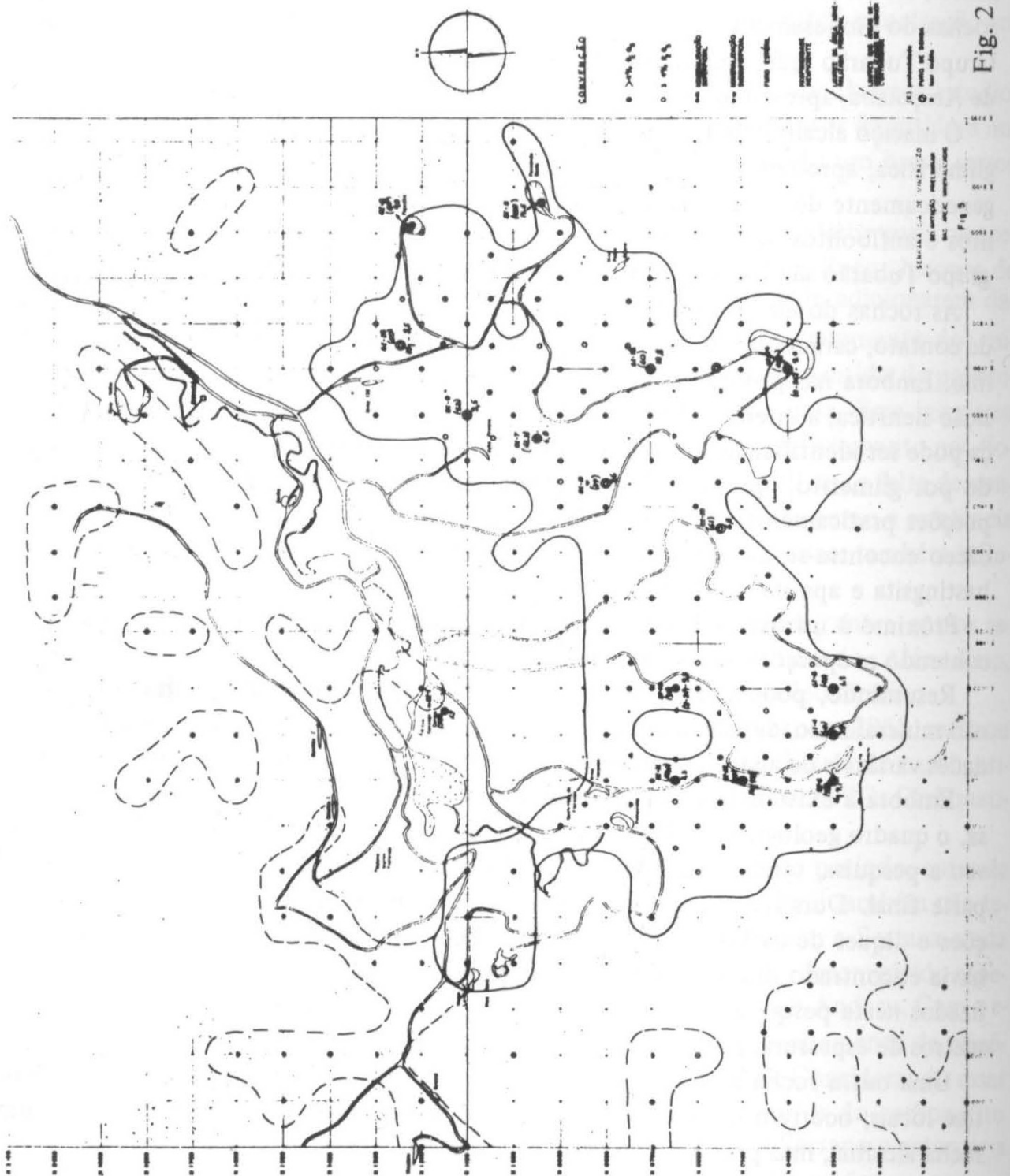
Resumindo, podem ser identificadas três áreas distintas: externamente o fenito não mineralizado, depois uma zona de fenito cortado por veios micáceos, com quantidades variáveis de apatita e, no centro, o corpo glimerítico, também mineralizado.

Embora a existência de mica tivesse sido notada no início dos trabalhos de pesquisa, o quadro geológico geral, acima resumido, foi delineado à medida que se desenvolveu a pesquisa, tendo sido de fundamental importância, as sondagens executadas na parte final. Durante sua execução, também foram localizados, no glimerito, venulações e diques de carbonatito. O próprio I.G.G. quando de suas sondagens, também já havia encontrado diques de carbonatito, possivelmente mais espessos dos que os localizados nesta pesquisa. Até agora foram identificados diques de carbonatito de até 2 metros de espessura, porém, normalmente centimétricos e quase isentos de apatita.

Uma outra rocha associada à intrusão são os diques de shonkinito, que, entre outros locais, ocorrem na estrada de acesso à área de pesquisa. Trata-se também de uma rocha alcalina, mas praticamente isenta de apatita.

Nos trabalhos de pesquisa em Ipanema, a mineralização de apatita foi estudada no manto intemperizado que recobre essas rochas, tanto o fenito com venulações, como o glimerito. Esse manto de material intemperizado dificulta e praticamente impossibilita a distinção de variedades litológicas em superfície, além de apresentar variações muito acentuadas no conteúdo de apatita, como será visto a seguir.

A pesquisa do minério de Ipanema foi planejada em função do que se conhecia de





jazidas apatíticas residuais, relacionadas a intrusões alcalinas, como Jacupiranga, Araxá, Morro do Serrote e outras, formadas por concentração de apatita, no manto de intemperismo. Supunha-se que, em Ipanema, o processo de enriquecimento residual tivesse atuado analogamente às jazidas acima citadas e a existência de teores elevados de  $P_2O_5$  nas antigas "minas", constituía forte indicador dessa premissa.

As "minas", existentes na área de pesquisa, são escavações pouco profundas executadas no passado, quando das tentativas feitas para aproveitamento do minério de Ipanema. Essas minas, após limpeza e levantamento topográfico à prancheta, foram reamostradas por meio de canais verticais e horizontais de 15 x 5 cm, a fim de verificar os teores em  $P_2O_5$  citados em publicações anteriores, bem como fornecer amostras representativas para os primeiros estudos mineralógicos e ensaios de beneficiamento.

Em seguida, passou a ser executado um programa sistemático de furos de trado, método através do qual normalmente se atingem profundidades, em material intemperizado, de 20 a 25 metros. Para isso, foram feitas picadas de 100 em 100 metros, em dois sistemas ortogonais, sendo os furos de trado executados nos cruzamentos destas picadas. Como a área de pesquisa era grande, 2.200 por 2.250 metros, inicialmente foram feitos os furos de trado localizados nas duas picadas centrais, que subdividiam a área total em quatro partes iguais. Essa medida teve por finalidade tentar identificar, já nestes furos iniciais, os quadrantes preferenciais para detalhamento.

Os primeiros furos de trado indicaram que o detalhamento, com malha regular de 100 metros, deveria ser efetuado inicialmente na metade sul da concessão. Já nesta fase, no entanto, pode-se notar que a ordem de grandeza dos teores nos furos era menor do que os valores encontrados nas minas, sendo normalmente inferiores a 10% de  $P_2O_5$ .

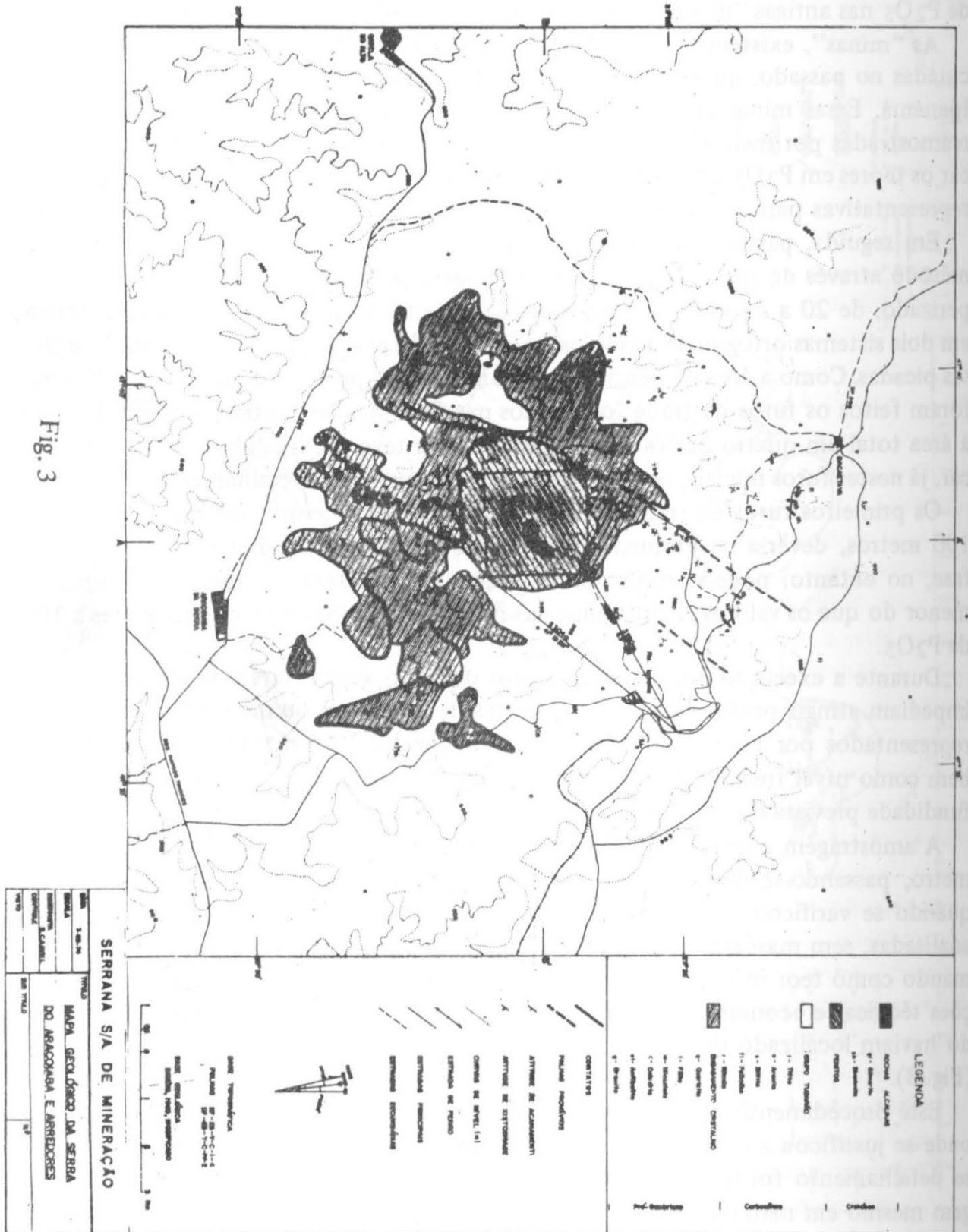
Durante a execução dos primeiros furos de trado, encontraram-se obstáculos, que impediam atingir profundidades sistemáticas de 20 metros ou mais. Esses obstáculos, representados por blocos de calcedônia e crostas duras no manto de intemperismo, bem como nível freático pouco profundo em diversas áreas, levaram a reduzir a profundidade prevista dos furos para 15 metros.

A amostragem e análise dos furos de trado foram feitas inicialmente de metro em metro, passando-se depois a analisar amostras compostas de dois em dois metros, quando se verificou que dessa forma diminuir-se-ia o número de amostras a serem analisadas, sem mascarar as acentuadas variações dos teores com a profundidade. Tomando como teor mínimo o valor de 4% de  $P_2O_5$ , com base em diversas considerações técnicas e econômicas, foi efetuada a delimitação das áreas onde os furos de trado haviam localizado intervalos mineralizados com espessuras superiores a 2 metros (Fig. 3).

Este procedimento permitiu visualizar uma área mineralizada principal e contínua, onde se justificou a execução prioritária de um programa de maior detalhamento. Esse detalhamento foi feito através de poços de pesquisa, que possibilitam a amostragem mesmo em materiais mais duros e não apresentam problemas de recuperação de amostras.

Os poços de pesquisa, em Ipanema, foram abertos com forma circular e 1,3 metros de diâmetro, permitindo atingir profundidades de até 15 metros. A amostragem, para fins de análises químicas, foi feita por meio de dois canais, de dimensões 15 x 5 cm, diametralmente opostos. Os poços também permitiram, além da observação vi-

Fig. 3



sual da mineralização, verificar a precisão dos resultados obtidos através de furos de trado, bem como a obtenção de amostras significativas para ensaios de beneficiamento. Nesta fase da pesquisa, esses ensaios passaram a abranger também a caracterização de material micáceo com propriedades expansivas, localizado através dos furos de trado anteriores.

Esses poços de pesquisa, em número superior a 100, foram abertos no centro da malha inicial dos furos de trado e em alguns locais onde o trado não havia conseguido penetrar o material, na zona mineralizada. Alguns poços tiveram que ser deslocados da posição prevista, ou não puderam ser abertos, por atingirem o nível do lençol freático a pequena profundidade. Com a abertura de poços no centro da malha de 100 metros, o espaçamento passou a 70 metros, numa disposição ainda quadrática, mas diagonal à malha inicial.

Posteriormente, com a análise das amostras de poços, verificou-se que a média dos teores de  $P_2O_5$  era bastante semelhante à média encontrada nos furos de trado, confirmando assim a confiabilidade dos dois tipos de trabalhos de pesquisa. Por este motivo, tanto os resultados obtidos em poços, como em furos de trado, puderam ser utilizados para o cálculo das reservas, indiscriminadamente.

Terminada a abertura dos furos de trado e de poços, verificou-se que cerca de 70% dos trabalhos de pesquisa continuava em minério, não se notando enriquecimento em profundidade, apesar da grande variação dos teores entre pontos de pesquisa próximos. Por questão de segurança, relacionada à presença de muita mica no minério, os poços de pesquisa atingiram no máximo 15 metros de profundidade. Para verificar o comportamento do material a profundidades maiores do que 20 metros, valor atingido em alguns casos, nos quais foi possível aprofundar os poços por meio de furos de trado, foram locados alguns furos de sonda, convenientemente distribuídos na área mineralizada. Essas sondagens, num total de 16 furos, em vários casos atingiram rocha fresca, a profundidades entre 17 e 56 metros. Além de possibilitarem a determinação da espessura total do material intemperizado e seus respectivos teores, permitiram obter as primeiras amostras inalteradas do glimerito mineralizado. Essas amostras, por meio de trabalhos petrográficos e análises químicas, permitiram a interpretação da origem do depósito. Verificou-se que ele é derivado da alteração intempérica do glimerito mineralizado, inexistindo o enriquecimento residual inicialmente suposto, pois o glimerito e o manto de intemperismo apresentam teores similares de  $P_2O_5$ .

Executou-se, nesse período, um programa de determinações sistemáticas das densidades "in situ" dos materiais encontrados nas "minas" e poços de pesquisa. O método consistiu na abertura de cavidades de 50 x 50 x 40 cm e posterior secagem e pesagem do material extraído. Encontrou-se, para a área detalhada, a densidade média seca de 1,8 ton/m<sup>3</sup>.

Todas as amostras coletadas em Ipanema, durante o desenvolvimento da pesquisa, após preparação envolvendo secagem, redução granulométrica e quarteação, eram enviadas a Jacupiranga para análise, por meio de espectrômetro de fluorescência de raios X.

As dosagens de amostras de Ipanema foram efetuadas por comparação com curvas de calibração elaboradas pelo método dos óxidos puros. Resumidamente, o processo consiste em determinar o teor de amostras normais do material mineralizado, pulveri-



zadas e fundidas, por comparação com curvas obtidas a partir de pastilhas de óxidos puros fundidos. Conhecendo-se, então, o teor dessas amostras representativas e mineralogicamente comparáveis ao material da área em estudo, são preparadas novas curvas de calibração com pastilhas apenas prensadas dessas mesmas amostras.

No início da pesquisa, foram efetuadas análises para 8 óxidos em numerosas amostras, provenientes dos mais diversos locais da área de pesquisa. Essas análises mais completas tiveram por finalidade determinar a presença de qualquer outro elemento conhecidamente associado a rochas alcalinas, em teores eventualmente aproveitáveis. Verificou-se, então, que nióbio, bário, titânio e terras raras ocorriam apenas em teores extremamente baixos, desprovidos de qualquer interesse. Por esse motivo, passou-se a analisar apenas CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nas outras amostras. No total foram analisadas cerca de 500 amostras para 8 óxidos, e mais de 3000 para 4 óxidos.

Para fins de cubagem do minério, foi considerado espaçamento homogêneo de 70 m, entre os trabalhos de pesquisa na área mineralizada, pois apenas em casos raros houve deslocamento dos trabalhos da posição prevista.

A utilização de métodos de cubagem de reserva baseados em suposições de continuidade geológica, como por exemplo o método dos perfis, não era indicada, pela inexistência de correlação entre horizontes mineralizados de trabalhos vizinhos, aliado ao fato de a distância (70 m) entre os pontos de amostragem ser bastante superior à profundidade média dos trabalhos (12 m).

Na determinação das reservas, seguiu-se o critério de distinguir diferentes categorias de materiais, em função dos teores, em cada ponto da amostragem. A seguir, determinou-se o teor médio de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ponderado pela espessura das porções mineralizadas, para toda a área. Observou-se, que eventualmente o minério ocorre intercalado, entre camadas com conteúdo em P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> abaixo do teor de corte determinado. Em função dessas considerações, os materiais nos trabalhos de pesquisa puderam ser classificados em 5 categorias:

- 1 – Capeamento superficial estéril, a ser removido.
- 2 – Material situado acima do minério com teor entre 3 e 4% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.
- 3 – Minério propriamente dito, com teor médio superior a 4% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.
- 4 – Material situado abaixo do minério, com teor entre 3 e 4% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.
- 5 – Estéril com menos de 3%, de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na parte inferior dos trabalhos.

Nos trabalhos de pesquisa, frequentemente, esta sequência se apresentava incompleta, pela ausência de uma ou outra categoria.

Durante a lavra, poderá ocorrer a mistura de parte do material com teor entre 3 e 4% ao minério, razão pela qual foi diferenciado do estéril propriamente dito.

A área mineralizada é de cerca de 700.000 m<sup>2</sup> e a densidade média de 1,8 t/m<sup>3</sup>. O quadro abaixo mostra a cubagem das categorias:

CATEGORIA	ESPESSURA MÉDIA (m)	VOLUME (m <sup>3</sup> )	TONELAGEM (t)
1	2,3	1.771.000	3.188.000
2	1,3	1.001.000	1.802.000
3	7,7	5.929.000	10.672.000
4	0,4	308.000	554.440
5	0,7	539.000	702.000

A reserva medida é, portanto, de 10.672.000 t com teor médio de 6,8% de  $P_2O_5$ .

Observou-se que cerca de 70% dos trabalhos continua em minério, admitindo-se que haja continuidade da mineralização por mais metade da espessura média calculada de minério, ou seja, 3,8 m, totalizando 5.270.000 t. Considerou-se como reserva indicada o total acima, acrescido da reserva de áreas mineralizadas, porém não detalhadas suficientemente (1.710.000 t), fornecendo o valor total de 6.980.000 t.

Foi considerada reserva inferida toda a porção adicional do manto de intemperismo, não incluída nas reservas anteriores. Pelas sondagens efetuadas na área mineralizada, essa espessura é de 23,8 m, totalizando 32.987.000 t de reserva inferida.

Para as reservas indicada e inferida, admite-se teor médio em  $P_2O_5$  da mesma ordem que na reserva provada.

Em síntese, a reserva total estimada de minério, no manto de intemperismo, foi de 50.639.000 t.

A rocha mineralizada foi considerada como reserva potencial.

Com a abertura dos poços de pesquisa, confirmou-se a presença de mica expansiva, nas áreas de glimerito alterado. Efetuaram-se ensaios de expansão em materiais micáceos obtidos de uma dezena de poços, distribuídos por toda a área de ocorrência, observando-se um teor médio de 20% de mica expansiva. Os resultados densimétricos dos ensaios de expansão, porém, não foram satisfatórios, obtendo-se sistematicamente, nas mais diversas condições de ensaio, densidades superiores às aceitas pelo mercado consumidor.

A área de ocorrência de mica expansiva é de 350.000 m<sup>2</sup>, tendo-se atingido uma espessura média de 7,5 m, em 28 poços de pesquisa, distribuídos de maneira bastante homogênea. Com densidade 1,8 t/m<sup>3</sup>, obtém-se a reserva de 4.725.000 t de material com 20% de mica expansiva.

A observação de testemunhos de sondagens na área micácea permitiu indicar reservas adicionais de 4.725.000 t, considerando espessura adicional de mais 7,5 m.

Ainda com base nas sondagens, considerou-se possível aumento de 10 a 20 m na profundidade do material micáceo em cerca de metade da área, como reserva inferida.

Do ponto de vista da concentração, o minério de Ipanema pode ser subdividido em 3 tipos, em função do diferente grau de alteração dos minerais presentes no glimerito e fenito venulado inalterados.

No primeiro deles, que ocorre em cerca de 60% da área mineralizada, denominado tipo A, ocorreu alteração incipiente dos minerais constituintes, ou seja, a fração argila não é abundante, perfazendo de 5 a 20% do material. A apatita encontra-se liberada nas frações finas; a biotita por hidratação resultou em vermiculita verde; o feldspato granular apresenta início de caulnização e os piroxênios e anfibólios estão pouco alterados. Nesse material, localizado logo acima da rocha fresca, foram obtidos bons resultados de concentração.

O material denominado tipo C, que ocupa 10% da área total mineralizada, constitui exemplo extremo de alteração do minério, apresentando resultados insatisfatórios nos ensaios de concentração por flotação. Nesse material, os constituintes silicatados, em sua maioria, foram transformados em argilo-minerais e óxidos de ferro secundários. A mica, quando existente, não mais exhibe propriedades expansivas. A apatita, quando não se apresenta totalmente transformada em fosfatos secundários, está reco-

berta por óxidos de ferro hidratados, que inibem a flotação.

O minério denominado tipo B, que ocorre nos 30% restantes da área, constitui um estágio de alteração intermediário entre A e C. A alteração dos minerais silicatados presentes é mais acentuada do que no tipo A, principalmente feldspatos, piroxênios e anfibólios; a fração argila atinge de 20 a 50% do total; a apatita em parte apresenta películas de óxidos de ferro secundários e alteração incipiente em fosfatos secundários. Os ensaios de flotação, de maneira geral, foram satisfatórios, exceto nos materiais onde a apatita apresenta película de óxidos de ferro bem desenvolvida.

Nas sondagens iniciadas em material do tipo C, verificou-se passagem bastante abrupta para o tipo B e limites graduais, mal definidos, entre B e A. Embora esta diferenciação em diversos tipos reflita estágios de alteração mais pronunciada, o perfil completo, C-B-A-rocha fresca, é encontrado apenas em áreas restritas, devido à erosão superficial.

Agradecemos a atenção dos senhores e colocamo-nos à disposição do sr. Coordenador e dos presentes para os esclarecimentos que se fizerem necessários.