

**A MINA DE OURO DO FARIA, MINAS GERAIS – UM DEPÓSITO
ESTRATIFORME ASSOCIADO A UM COMPLEXO VULCANO-SEDIMENTAR**

por

JOÃO BATISTA MORESCHI

Departamento de Geologia Econômica e Geofísica Aplicada

ABSTRACT

The Faria gold mine, here interpreted as a stratiform deposit associated to a volcano-sedimentary complex, is located in the south of Nova Lima, State of Minas Gerais, Brazil, within the well known Quadrilátero Ferrífero area.

Lens of carbonate facies iron formation, which is part of a metasedimentary sequence. Graphitic phyllite is a rock commonly associated with the iron formation beds. Two metavolcanic sequence of basic affiliation delimitate, both in the base and in the top, the metasedimentary sequence where locally occur tuffaceous rocks.

The mineralized zones are lithologically controlled by the carbonatic facies of the iron formation, where the sulphide minerals are preferentially distributed in the carbonatic rich horizons, resulting in a banded structure to the ore. Local tectonic deformations indicated by breccia and shearing zones are interpreted as the probable cause of the formation of the massive ore. The main opaque minerals in the ore are pyrite, pyrrhotite and arsenopyrite in that order, with less amounts of chalcopyrite, cubanite, sphalerite, galena, tetrahedrite, magnetite, ilmenite, hematite and native gold.

It is suggested a primary sedimentary concentration of the ore, including the gold, which was simultaneous to the deposition of the chemical sediments of the iron formation. This hypothesis is based in local and regional aspects of the geology observed in the district and in the geochemical properties of the gold, according to the experimental results which has been published about the subject. As a result of this postulation, the iron formations within the Nova Lima Group appear to be the regional stratigraphic and paleogeographic controls of possible mineralized zones for gold.

The knowledge which we have at the present do not permit to conclude that the basic volcanism was the only source of the ore, although it could have been an important process which caused the enrichment of the ore materials in the sedimentary environment.

Tectonic deformation and metamorphism of the previously enriched sediment may be responsible for some of the epigenetic aspects of the ore.

INTRODUÇÃO

A mina do Faria está localizada na porção noroeste do Quadrilátero Ferrífero (Estado de Minas Gerais), distando aproximadamente 7 km ao sul de Nova Lima (figura 1).

O acesso a seus corpos de minério, Faria Velho e Faria Extensão, é feito por um túnel principal de entrada, denominado túnel do Gaia. Com extensão aproximada de 2.700 metros, tal túnel correspondendo ao nível 7, inicia-se na margem esquerda do rio das Velhas e é, também, o acesso comum a duas outras minas menores denominadas Gaia e Gabiroba. No presente trabalho, estas minas, representando diferentes zonas mineralizadas, estão incluídas no título geral de mina do Faria.

No túnel do Gaia se concentrou a maior parte de nossos trabalhos de campo através de mapeamento geológico na escala de 1:500, o qual foi complementado pelas informações de testemunhos de sondagens. Embora alguns corpos de minério se estendam desde a superfície até o nível 14, nossas observações sobre as zonas mineralizadas se restringiram aquelas da faixa delimitada pelo nível 5 (Faria Extensão) e nível 11 (Faria Velho).

Apesar do grande número de trabalhos geológicos sobre a região de Nova Lima e, principalmente, do Quadrilátero Ferrífero, apenas duas referências sobre a mina do Faria puderam ser localizadas. Nesses trabalhos a ênfase é dada à análise de problemas petrográficos, estratigráficos, estruturais e metalogenéticos em extensão regional, na área das quadrículas de Nova Lima e de Rio Acima (Gair, 1962) e na porção central do Estado de Minas Gerais (Guimarães, 1970).

Assim, os aspectos geológicos próprios da mina do Faria não haviam ainda merecido um estudo detalhado, embora ela fosse conhecida e viesse sendo lavrada desde as últimas

décadas do século passado, com períodos de interrupção e retomada das atividades.

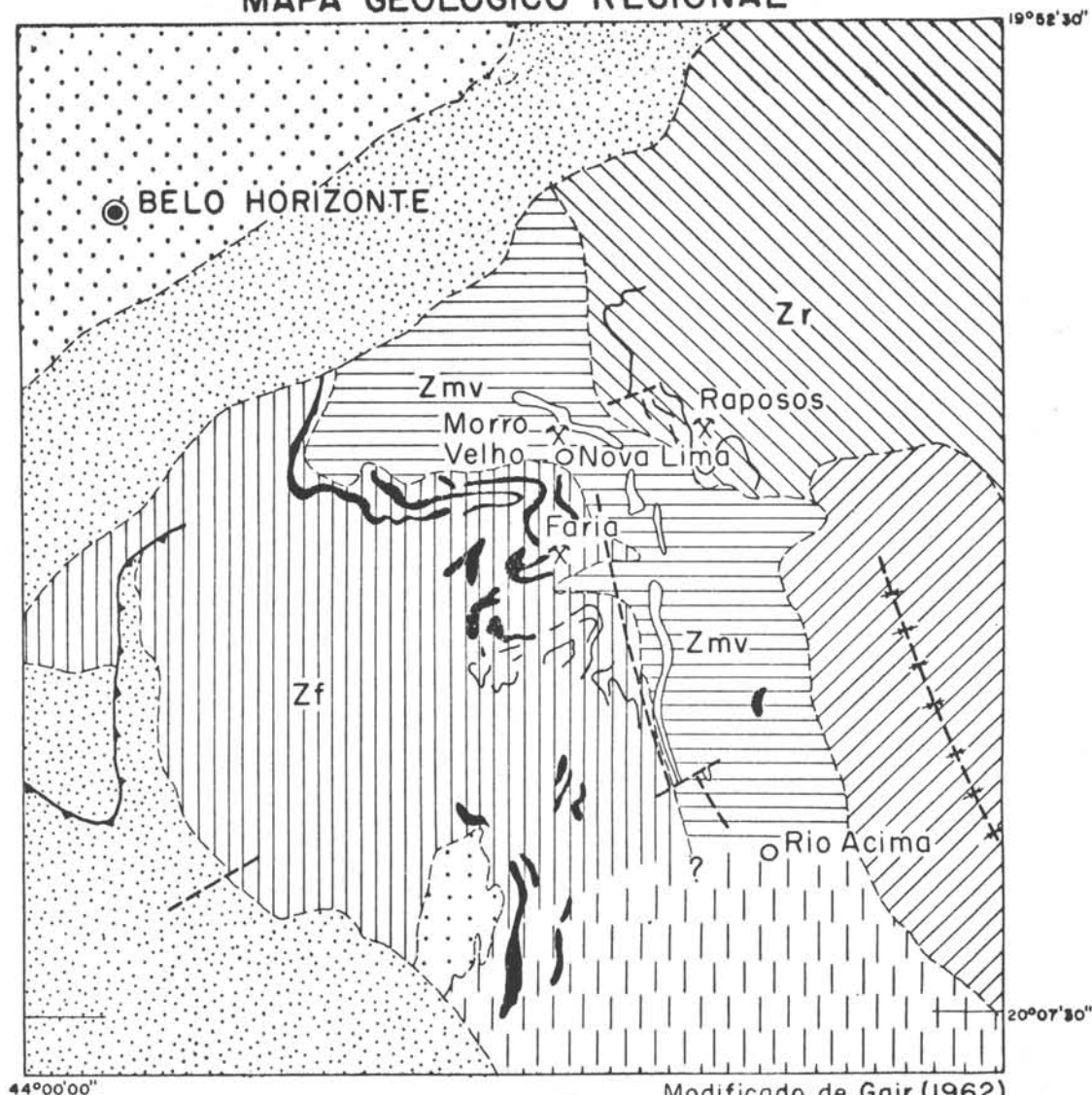
Face a esta situação de conhecimento incompleto de seu quadro geológico e pelo fato de pertencer ao importante distrito aurífero de Nova Lima, tivemos nosso interesse despertado em realizar uma investigação preliminar de caráter amplo que permitisse caracterizar suas feições geológicas principais. Tais estudos nos permitiram fornecer informações adicionais sobre este jazimento (Moreschi, 1972), as quais, em parte, são expostas no presente trabalho.

RESUMO DA GEOLOGIA REGIONAL

O mapa da figura 1 mostra resumidamente as feições geológicas regionais que envolvem a área aurífera da região de Nova Lima. Duas sequências metassedimentares regionais, representadas pelas Séries Rio das Velhas e Minas, respondem pela quase totalidade das rochas aí presente. Rochas gnáissicas e graníticas ocupam o canto noroeste, enquanto que rochas ultramáficas constituem um corpo alongado na direção norte da porção centro-sul da região. A coluna estratigráfica da área, segundo Dorr (1969), é mostrada na Tabela 1.

As rochas pertencentes à área da mina do Faria estão incluídas no Grupo Nova Lima da Série Rio das Velhas. Próximo à Nova Lima, estas rochas têm direção noroeste e ocupam o núcleo de uma estrutura tipo "anticlinorium", a qual Gair (1962) denominou arqueamento Rio das Velhas. Este autor também interpretou como uma depressão estrutural, naquele arqueamento, o sinclinal Vargem do Lima que se estende a este da área Nova Lima-Rio Acima. Nesta área as feições geológicas principais são: a direção norte das rochas da Série Rio das Velhas e a direção nordeste das rochas mais jovens, a Série Minas, que truncam as rochas Rio das Velhas a noroeste de Nova Lima, ao longo do flanco sudeste da Serra do Curral.

MAPA GEOLÓGICO REGIONAL



Série Minas



Série Rio das Velhas Grupo Maquie



Grupo Nova Lima



Zr Zona Raposos (formação ferrífera)



Zmv Zona Morro Velho (lapa-seca)



Zf Zona Faria (formação ferrífera)



Grupo Nova Lima



CONVENÇÕES



Rochas graníticas e gnaissicas



Rochas Ultramáficas



Contato aproximado



Falha inferida



Falha de empurrão



Eixo de sinclinal



0 5 10km

Fig.

Tabela 1

COLUNA ESTRATIGRÁFICA DA REGIÃO DE NOVA LIMA
(Segundo Dorr, 1969)

Série	Grupo	Tipos petrográficos
Minas	Indiviso	xistos, filitos, quartzitos, dolomitos, formação ferrífera fácies óxido, conglomerado e metatufos <i>(inconformidade erosiva e angular)</i>
	Maquiné	quartzito, conglomerado, filito, filito-quartzoso, grauvaca, sub-grauvaca e conglomerado basal
Rio das Velhas		<i>(inconformidade erosiva local e possivelmente angular)</i>
	Nova Lima	xisto e filito (dominantemente cloritícos), grauvaca, formação ferrífera fácies carbonato, rocha metavulcânica, quartzito e dolomito. (Idade Rb/Sr em muscovita: 2,8 b. a.). <i>(Base não conhecida)</i>

Tentativas de subdivisão do Grupo Nova Lima em duas ou mais formações foram realizadas em épocas diferentes, como conse-

quência de mapeamento geológico em áreas restritas. Uma delas, a que é mostrada na figura 1, as rochas encaixantes das minerali-

zações de ouro e sulfetos, na área de Nova Lima, estão divididas em três zonas: Raposos, Morro Velho e Faria. Os contatos entre as zonas foram obtidos de A.F. Matheson (in Tolbert, 1964) e lançados sobre o mapa geológico publicado por Gair (1962, prancha 3). Porém, nenhum desses pesquisadores pôde estabelecer relação de idade entre as três, assim como, contatos estratigráficos exatos ou espessuras, em virtude de mascaramento de feições indicativas de topo e base de acamamento, pelos efeitos do metamorfismo regional e intemperismo intenso.

Como um todo, o Grupo Nova Lima representa, originariamente, uma sequência de sedimentos argilosos e de granulação fina, pobremente selecionados, com restritas acumulações de sedimentos químicos e uma maior contribuição de material tufáceo. Tal fato levou Barbosa (1954) a atribuir um ambiente eugeossinclinal para aquele grupo. A importante componente vulcânica nessas rochas já havia sido acentuada por Guimarães (1935) e por Barbosa (1935).

ASPECTOS GEOLÓGICOS LOCAIS

TIPOS PETROGRÁFICOS

Xistos e Filitos

Sequência Metassedimentar

Compreende vários tipos de xistos e filitos que em função da composição mineralógica admitiriam designações variadas de acordo com a abundância maior ou menor dos minerais constituintes, notadamente quartzo, carbonato, sericita e clorita. O estudo microscópico nos permitiu reuni-los em quatro tipos que foram distinguidos em mapeamento de detalhe: xisto quartzoso-feldspático,

sericita xisto, xisto com sericita cromífera e xisto ou filito metassedimentar indiviso.

O xisto quartzoso-feldspático inclui rochas de foliação moderada a forte e de granulação muito fina (0,01 a 0,1 mm), onde, além dos quatro minerais citados acima, estão presentes plagioclásio, leucóxênio, minerais opacos, óxidos hidratados de ferro e rutilo. A matriz de natureza sericítico-clorítico-quartzosa, resultante provavelmente de um sedimento original predominantemente argilo-silicoso, engloba de maneira dispersa grãos equigranulares e maiores (0,2 a 0,8 mm) de quartzo e feldspato normalmente trincados e preenchidos por sericita ou quartzo de granulação mais fina. Sericitização é bastante comum nas bordas dos grãos de feldspato ou ao longo de suas lamelas de geminação; às vezes, ela é completa. Os minerais placóides estão pobremente alinhados, resultando, para a matriz da rocha, uma textura microscópica equigranular. Quartzo e feldspato estão em proporção equivalente e provavelmente a maioria deles seja de origem detrítica.

Alguns xistos são constituídos essencialmente por sericita em granulação extremamente fina e a determinação definitiva da natureza sericítica (muscovita) da rocha só foi possível utilizando-se a difratometria de raio X. Tais rochas foram englobadas no tipo dos sericita xistos.

A sericita cromífera define um outro tipo de xisto, onde, juntamente com a sericita comum, forma leitos finos (0,1 mm em média) e contínuos, irregulares e arqueados, os quais normalmente englobam, além de rutilo e agregados de leucóxênio, minerais opacos tais como pirita, pirrotita, magnetita e calcopirita. O conteúdo em cromo em rocha total, dado pelo método de análises por ativação, revelou ser de 0,14 e 0,79% para duas amostras.

Os xistos metassedimentares que permaneceram indivisos são essencialmente clorita e/ou sericita xistos e filitos com quantidades variáveis de quartzo e carbonato. Além dos minerais subordinados já citados, observa-se a ocorrência rara de plagioclásio e epidoto. É a rocha xistosa da sequência metassedimentar onde a foliação é extremamente desenvolvida. Horizontes de composição quartzo-carbonática, incluindo às vezes pirita, e dispostos concordantemente com a foliação, normalmente estão delimitados por horizontes de natureza cisalhante constituídos de sericita e clorita.

Em toda a sequência metassedimentar, os óxidos hidratados de ferro são, em sua maioria, alterações de clorita; onde esta está mais concentrada é maior a incidência de manchas de oxidação.

Segundo Gair (1962), a variedade mais comum de carbonatos nestas rochas é representada pela dolomita comum ou magnésio-dolomita, porém subordinadamente anquerita pode estar presente.

Sequência metavulcânica

Esta sequência, em relação à metassedimentar, é constituída por uma litologia mais homogênea, preservando sua uniformidade ao longo dos afloramentos através de dezenas ou mesmo centenas de metros, eventualmente com intercalações de xisto metassedimentar, representando contribuições terrígenas locais durante época em que predominava o fluxo de grande massa de material vulcânico.

Na área da mina parece existir duas sequências maiores de rochas vulcânicas. A sequência a noroeste (figura 2) seria formada pela união do pacote mais espesso na região do corpo Gabiroba com os dois outros segmentos mapeados mais a este (coordenadas: 108.900S, 102.900W e 108.650S, 102.300W). A oeste, os trabalhos da mina se afastam desta

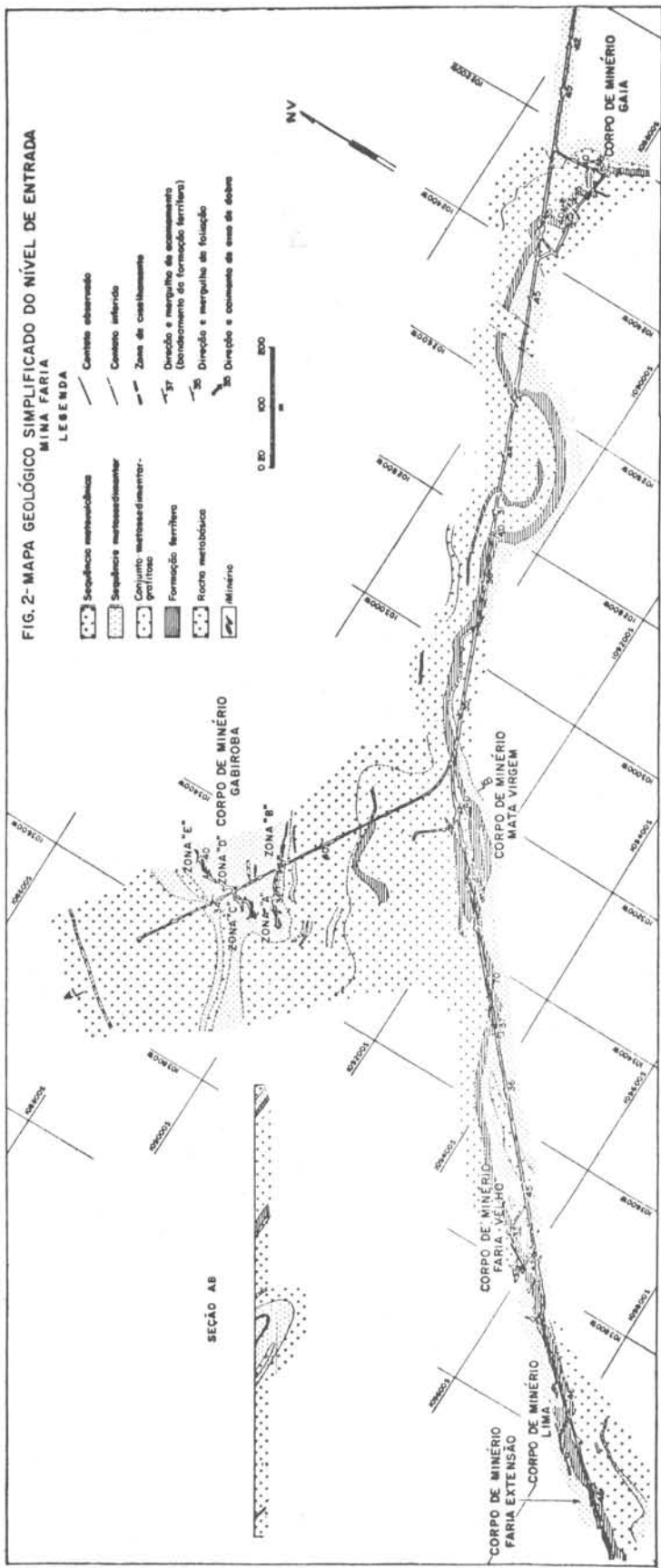
sequência, não permitindo uma verificação direta de sua continuidade. Outra sequência, a sudeste, seria representada pelo prolongamento lateral das unidades mapeadas desde o corpo de minério Gaia até o Faria Extensão. As duas sequências são separadas por uma faixa de espessura variável (da ordem de dezenas a poucas centenas de metros) de sedimentos terrígenos de natureza clástica fina, com ampla contribuição orgânica e de natureza química, representada pelos xistos e filitos metassedimentares, filito grafitoso e formação ferrífera.

A sequência vulcânica apresenta uma composição mineralógica de rochas básicas, metamorfizadas, incluindo principalmente: anfólio, plagioclásio sódico, clorita e epidoto em quantidade variáveis, além de sericita, leucoxênio, biotita, pouco quartzo e carbonato e, localmente, rutilo e turmalina. Ilmenita é o principal mineral opaco, seguido de pirita que está normalmente fraturada, além de clacopirita.

Pelo menos dois tipos litológicos destes xistos puderam ser individualizados microscopicamente quanto à textura e granulação. Um deles apresenta cristais de até 2 mm de plagioclásio e anfólio, distribuídos numa matriz fina, com textura global equidimensional, em oposição ao outro que, apesar da composição mineralógica semelhante, exibe granulação fina, raramente superior a 0,1 mm de textura normalmente orientada, ripiforme, evidenciada pela disposição de fibras alongadas notadamente de anfólio e às vezes de plagioclásio. Este tipo corresponde à maior parte das rochas de origem vulcânica mapeadas na mina.

Sequência grafitosa

Filito grafitoso e xisto metassedimentar com parcial contribuição grafitosa constituem



as rochas dessa sequência e têm ampla distribuição dentro da mina. O mapeamento geológico do nível de entrada permitiu mostrar o comportamento dessas rochas, as quais se inter-estratificam com várias camadas e lentes de xisto metassedimentar, definindo um conjunto metassedimentar-grafitoso que acompanha intimamente a camada principal de formação ferrífera. Além desta camada principal, os filitos grafíticos englobam inúmeras lentes de formação ferrífera com espessura centimétrica a poucos metros, em contato gradativo ou nítido, às vezes tectônico de natureza cisalhada. Tais lentes podem se apresentar sem bandeamento, constituindo bancos maciços de quartzo e/ou carbonato, intensamente fraturados e deformados.

Quartzo, sericita e grafita são os minerais dominantes. Subordinadamente ocorrem carbonato, clorita, óxidos hidratados de ferro, rutilo e uma abundância relativamente alta de minerais opaco. Possuem uma matriz finíssima, raramente superior a 0,01 mm, de natureza predominantemente sericítico-grafitosa. Em algumas amostras a matriz é quase que exclusivamente constituída por quartzo finíssimo e grafita. Esta se apresenta como um fino pó preto, entre os minerais da rocha ou inclusa principalmente em quartzo e carbonato. À vista desarmada, as seções delgadas normalmente se apresentam como que opacas.

Microdobramento intenso e apertado e estruturas de "sombra de pressão", definindo núcleos recristalizados, são feições frequentes nessas rochas. Estes núcleos podem se desenvolver, sempre paralelos à xistosidade, em cordões mais longos com espessura de poucos centímetros, onde os minerais opacos perfazem acima de 50% dos minerais presentes. Pirita é o mineral opaco dominante. Em ordem decrescente de abundância puderam ainda ser observados: esfalerita, calcopirita, pirrotita, cubanita, arsenopirita, hematita e ilmenita.

Formação ferrífera

Os resultados do mapeamento subterrâneo e das interpolações apoiadas nas descrições dos testemunhos de sondagem mostraram a existência de várias lentes ou camadas de formação ferrífera (boa parte com dimensões não representáveis dentro da escala utilizada para os trabalhos de campo - 1:500), intercaladas no conjunto metassedimentar-grafitoso e, às vezes, em contato com os xistos metavulcânicos. O mapa geológico simplificado do nível de entrada (figura 2) mostra as principais camadas e lentes dentro da mina.

Ficou claramente definida uma camada principal de formação ferrífera, que pôde ser seguida e inferida paralelamente à sua estratificação ao longo de 2,5 quilômetros dentro do setor mapeado. Com certeza se estende além desses limites, ou seja, além da área exposta pelos trabalhos subterrâneos. O dique de rocha metabásica e as falhas constituem provavelmente os únicos acidentes de interrupção de sua continuidade.

Na porção este da mina tem direção principal E-W, localmente modificada por dobramento, assumindo após a porção central direção geral nordeste, com espessura média de 10 metros. Variações locais na espessura de 4 a 20 metros podem ser atribuídas a complicações estruturais ou refletir feições primárias de natureza deposicional.

Apresenta contato nítido com o xisto encaixante, às vezes, de natureza cisalhada. Aí o xisto pode estar intensamente laminado, a formação ferrífera brechada e é comum a presença de veios de quartzo e estruturas de preenchimento com quartzo e carbonato bem formados. Com os filitos grafíticos, os contatos são nítidos, cisalhados, porém, localmente gradativos, evidenciados pela diminuição gradual de bancos de formação ferrífera até desaparecerem completamente dando lugar apenas ao material filitoso. Essas intercalações entre a formação ferrífera prin-

cipal e filito grafitoso podem se estender por mais de 100 metros ao longo do acamamento, com espessura horizontal média ao redor de 4 metros.

Apesar de constituir um tipo de rocha competente face a dobramento, deve ter tido um comportamento relativamente plástico durante os períodos de deformação tectônica em vista do intenso e complicado dobramento nelas impresso.

Na porção noroeste da mina e separada da formação ferrífera principal por uma sequência estratigráfica de aproximadamente 200 metros, ocorre um conjunto de segmentos alinhados de formação ferrífera, que constituem as diferentes zonas do corpo de minério Gabiroba. Estão encaixados em xistos metassedimentares, os quais por sua vez estão contidos numa sequência vulcânica relativamente espessa. A espessura destes segmentos de formação ferrífera é bastante variável. A média está ao redor de 1 metro. Dobramento associado a pequenos deslocamentos confere localmente maior espessura a estas rochas.

As formações ferríferas observadas na área da mina pertencem ao fácies carbonato, segundo o esquema de James (1954). Com exceção de ocorrências locais, onde é exclusivamente formado por quartzo e carbonato, trata-se de um fácies carbonato impuro, onde magnetita pode estar presente ao longo das bandas carbonáticas. Mais comumente contém finos leitos de filito grafitoso inter-estratificado com as bandas quartzo-carbonáticas ou então, localmente pode se enriquecer em minerais placóides, notadamente clorita, adquirindo uma estrutura xistosa.

As camadas de filito grafitoso com abundante pirita representam o fácies sulfeto, visto que apresentam relações faciológicas gradativas e inter-estratificadas com o termo mais típico da formação ferrífera.

Pôde ser observado que são rochas finamente bandeadas com uma composição

mineralógica principal bastante simples, constituída por quartzo e carbonato. Subordinadamente mas de ocorrência ampla estão presentes: clorita, óxidos hidratados de ferro, grafita, sericita e sulfetos. De ocorrência restrita, estão a magnetita, como já observado, e a hematita. Esta ocorre quase que exclusivamente sobre magnetita em forma de lamelas que se dispõem num arranjo triangular (controle cristalográfico), sugerindo ter-se originado por martitização a partir da magnetita.

Quanto à composição do carbonato, o siderítico (siderita participando de 65 a 95% da molécula do carbonato) é o termo dominante, enquanto que anquerita e ferrodolomita são as variedades menos comuns (Gair, 1962).

Rocha quartzo-carbonática

Foi observada somente através de sondagens e localiza-se próximo ao corpo de minério Mata Virgem. Está intimamente associada à formação ferrífera principal e parece constituir uma variação faciológica, não bandeadada, desta rocha.

Consiste de uma matriz com granulação principal inferior a 0,05 mm de grãos de quartzo e carbonato, comumente com textura em mosaico, além de clorita e óxidos hidratados de ferro. Pirrotita é o mineral opaco mais comum nesta rocha; pirita, cubanita e esfalerita são raras. É uma rocha semelhante à "lapa seca", hospedeira dos sulfetos e ouro da mina Morro Velho.

Rocha metabásica

Um dique de rocha metabásica, provavelmente equivalente metamórfica de diabásio, corta em discordância a foliação dos metassedimentos na porção este do nível principal de entrada. O dique tem direção geral

N 25° E e o mergulho de sua foliação incipiente está ao redor de 60° SE. A espessura é de aproximadamente 25 metros. Um segundo dique de espessura ao redor de 2 metros e direção nordeste foi detectado por sondagens na porção noroeste da mina. Está encaixado na sequência vulcânica.

Esta rocha apresenta como minerais principais: plagioclásio (albita-oligoclásio), anfibólio (tremolita), biotita, clorita e epidoto. Em quantidades variáveis estão presentes: sericita, leucóxênio, carbonato, apatita, quartzo e opacos, que na ordem decrescente de abundância são: ilmenita, pirrotita, calcopirita, magnetita e esfalerita.

FEIÇÕES ESTRUTURAIS

Dobras

Dobras constituem um tipo de feição estrutural bastante comum na mina Faria. São normalmente fechadas com dimensões variando da ordem decamétrica a sub-milimétrica. A direção preferencial dos planos axiais varia de norte a nordeste, mergulhando de este a sudeste com caimento do eixo de dobra no mesmo sentido do plano axial. Este é usualmente sub-paralelo à direção do xistosidade.

A formação ferrífera e o filito grafitoso enriquecido em bancos de quartzo e/ou carbonato são as rochas que melhor mostram as dobras de maior e média amplitude. Dobramento milimétrico a sub-milimétrico é melhor evidenciado em rochas grafitosas e xistos onde predominam minerais micáceos. Os eixos desse microdobramento, paralelos aos das dobras maiores, são os responsáveis pela intensa lineação das rochas da mina. O ângulo de caimento é localmente variável, estando a maioria dos valores entre 30° a 35°

Em zonas de forte dobramento, as camadas de formação ferrífera estão complexa-

mente dobradas, resultando estruturas lenticulares alongadas paralelamente à atitude da lineação e apresentando seção circular ou elíptica. Superfícies em forma de "S", bem visíveis em seções perpendiculares à lineação, foram desenvolvidas não só nas formações ferríferas como nos filitos grafitosos, evidenciando esforços de torsão durante o dobramento. Nos filitos grafitosos, leitos de sulfetos são segregados em segmentos curtos e ovalados, mais ou menos achatados, alinhados entre a foliação curva ou em forma de "S".

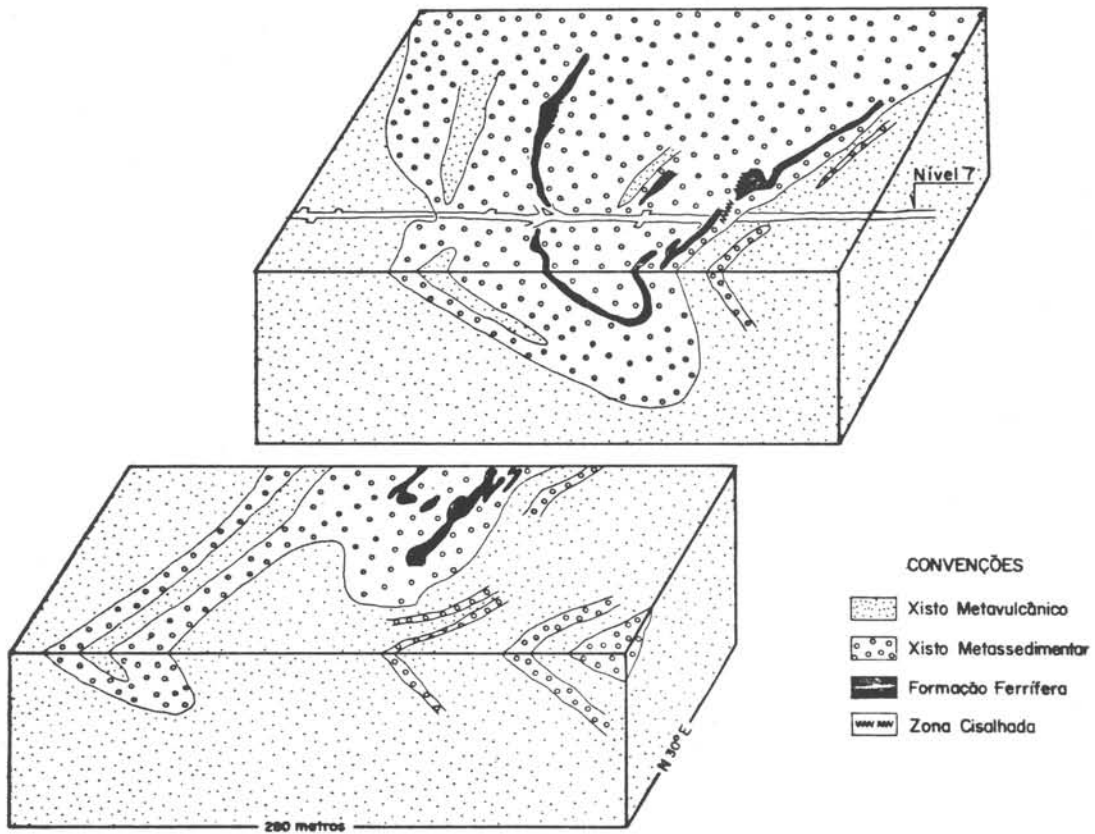
Os tipos de dobras e as deformações alongadas e fusiformes, observados na mina Faria, correspondem a estruturas bastante semelhantes descritas por Tolbert (1964) na mina Raposos.

Na área da Gabiroba, a formação ferrífera se apresenta em segmentos que se dispõem segundo dois horizontes aparentemente distintos, com direções este-nordeste para um e norte-nordeste para o outro, ambos mergulhando de sul a sudeste (figura 2). Parecem representar um único horizonte original posteriormente dobrado segundo a direção nordeste. Os esforços que agiram durante o dobramento cisalharam e romperam o horizonte único em unidades completamente separadas ou ligadas por zonas adelgadas. Esta dobra sugere representar uma estrutura maior em sinclinal, com direção, caimento e abertura para nordeste (figura 3). Seus flancos foram deformados em dobras menores ou em estruturas em forma de "S", evidenciadas nos segmentos da formação ferrífera.

Falhas

Três zonas cisalhadas, cortando formação ferrífera, uma localizada no Gaia, outra próxima do dique maior de rocha básica e a terceira na zona "B" da Gabiroba, talvez constituam as únicas estruturas maiores de fragmentação observadas no nível de entrada, embora sua natureza e mesmo atitude dificilmente possam ser definidas.

FIG. 3-BLOCO - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA ÁREA GABIROBA



Um sistema de cisalhamento, de direção predominantemente nordeste e mergulhando para sudeste, é acentuadamente desenvolvido nos xistos e cuja expressão são as zonas de laminação intensa, às quais podem ou não estar presentes veios de quartzo e infiltração d'água.

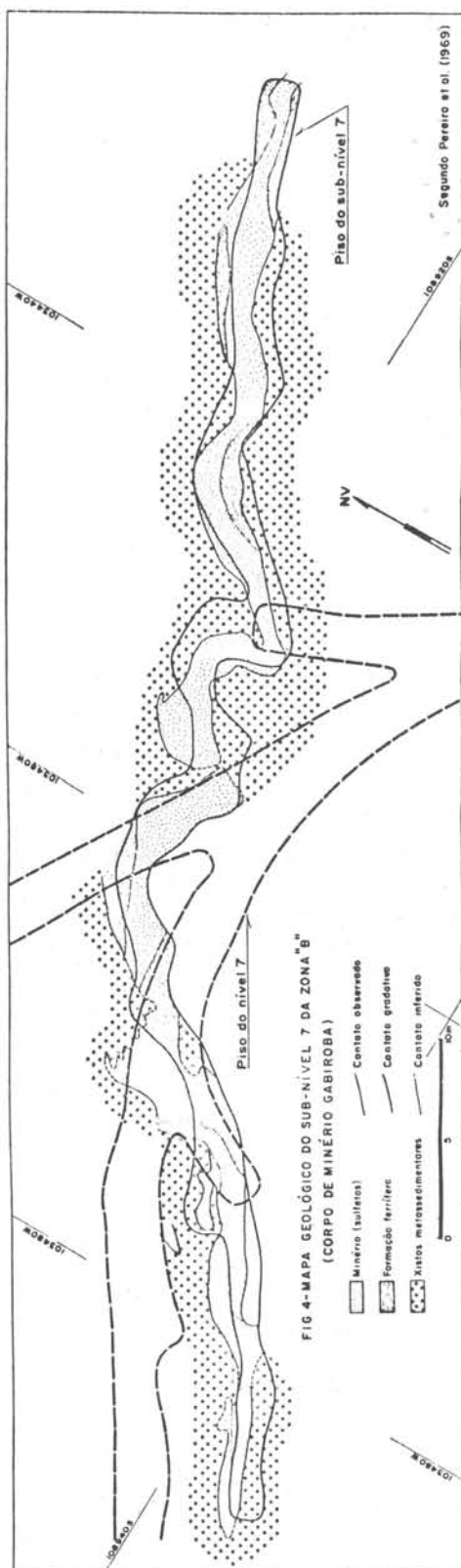
Outras feições estruturais.

Xistosidade é a feição estrutural mais comum e desenvolvida nas rochas da mina, decorrente da predominância de minerais micáceos. Sua direção está entre $N 30^\circ - 50^\circ E$ com ângulos de mergulho variáveis de 30° a $45^\circ SE$. Pode apresentar ondulações suaves, crenulações ou mesmo pequenas

dobras e deformações em "S". O bandejamento de formação ferrífera é paralelo à foliação das rochas xistosas, a não ser ao redor das zonas axiais das dobras onde normalmente é discordante. O padrão principal de fraturamento tem direção entre $N 25^\circ - 45^\circ W$, mergulhando tanto para sudoeste como para nordeste. O ângulo de mergulho é acentuado, variando entre 50° a 70° , sendo comum fraturas verticais.

ZONAS MINERALIZADAS

Quatro importantes corpos de minério (Gaia, Mata Virgem, Faria Velho e Faria Ex-



tensão) estão alojados na camada principal de formação ferrífera, consistindo essencialmente de zonas enriquecidas em sulfetos e ouro. Dois outros corpos de minério, Gabiroba e Lima, estão sustentados em camadas menores e lenticulares de formação ferrífera, concordantes com a principal. A figura 4 exemplifica um desses corpos de minério, mostrando as relações entre a formação ferrífera hospedeira e as concentrações de sulfetos.

As zonas mineralizadas estão exclusivamente restritas ao fácies mais rico em carbonato da camada de formação ferrífera e nele os sulfetos dispõem-se concordantemente com o acamamento e preferencialmente ao longo dos leitos carbonáticos. Esta repartição dos sulfetos se conserva até à escala de observação microscópica. Tal fato imprime ao minério uma estrutura bandeada. Os corpos de minério são separados por zonas não mineralizadas onde ocorrem sulfetos disseminados, notadamente pirita. Nessas zonas, a formação ferrífera pode se enriquecer gradualmente em óxidos (magnetita), deixando os carbonatos subordinados ou mesmo ausentes. Aí, também, raros grãos de ouro puderam ser observados sobre seção polida.

O minério concordante com o acamamento é de ocorrência ampla e dominante, embora em parte ocorra associado a brechas, formando zonas de sulfetos não bandeados. Estas são encontradas em continuidade com aquelas concordantes e ambas estão sempre limitadas à mesma camada. Decorre daí que os jazimento aurífero da mina Faria estão intimamente associados à camada de formação ferrífera e, também, que ela se comporta como a unidade litológica precisa das mineralizações.

Localmente os corpos de minério podem ser cortados por veios de composição distinta do minério, ou seja, constituídos essencialmente por quartzo leitoso e em menor quantidade por pirrotita, à qual pode estar

associada calcopirita e/ou cubanita. Tais veios partindo do minério podem dirigir-se à encaixante, alojando-se ao longo ou discordantemente da xistosidade.

O MINÉRIO

Macroscopicamente o minério apresenta pelo menos dois tipos genéricos de estrutura: uma bandeada, onde os sulfetos se dispõem concordantemente com o acamamento da formação ferrífera (fotos 1 e 2) e, outra, conforme concentrações irregulares, não obedecendo o acamamento, nas quais os sulfetos podem ser os minerais dominantes (fotos 3 e 4). O comportamento de pirita e pirrotita, que são os dois sulfetos mais abundantes, ressalta tais feições. Normalmente nas bandas de sulfetos predomina um deles somente. Cristais idiomorfos de pirita e raros de arsenopirita podem acompanhar tais horizontes, seccionando os agregados alongados de pirrotita. Pirita é mais abundante nos leitos grafitosos quando estes estão presentes na formação ferrífera e inter-estratificados com os de natureza quartzo-carbonática.

O estudo microscópico das seções polidas do minério permitiu a identificação de 12 minerais opacos: pirita, pirrotita, arsenopirita, esfalerita, cubanita, calcopirita, galena, tetraedrita, hematita, magnetita, ilmenita e ouro.

Pirita, pirrotita e arsenopirita constituem os minerais mais comuns do minério. Os dois primeiros sulfetos estão quase que sempre presentes em qualquer amostra de minério da mina do Faria. Arsenopirita, visível macroscopicamente em apenas algumas amostras, foi identificada principalmente ao microscópio.

Pirrotita é claramente o mais novo destes três sulfetos e em muitas seções nota-se que, antes de sua formação, pirita principalmente, e também arsenopirita foram ligei-

ramente fraturadas. Nada de conclusivo sobre a relação de idade entre pirita e arsenopirita pôde ser estabelecido, uma vez que o conjunto de observação indica a diferenciação de pirita como sendo anterior à da arsenopirita, como também sugere contemporaneidade ou sobreposição na formação desses minerais.

Esfalerita, cubanita, calcopirita, galena e tetraedrita são encontradas na maioria das amostras em pequenas quantidades, embora galena e tetraedrita sejam de distribuição menos ampla. Estes sulfetos são nitidamente tardios em relação à associação pirita-pirrotita-arsenopirita. Os sulfetos de Zn, Pb e Cu+Fe se apresentam, como tipo mais comum de relação temporal significativa sobre os sulfetos precoces, em forma de vênulas ao longo de suas fraturas. Em termos de relação periférica, é íntima a associação pirrotita-cubanita ou calcopirita.

Não foi possível observar relação de contato de hematita, magnetita e ilmenita com nenhum outro mineral de minério que permitisse estabelecer sua posição cronológica em relação aos outros minerais opacos.

Ouro foi observado na maioria das seções polidas do minério e apesar de mostrar relações com todos os minerais de minério preferencialmente se associa ao grupo pirita-pirrotita-arsenopirita. A forma mais usual em que se apresenta é a de grânulos irregulares, ovalados, esféricos ou exibindo contornos quadráticos. Pirita revelou-se como o principal sulfeto portador de ouro, incluindo 50% dos grãos de ouro observados (figura 5). É seguida pela pirrotita e pelos minerais da ganga quartzo-carbonática. Num mesmo mineral hospedeiro, o ouro pode ocorrer como inclusão ou ao longo de microfraturas. São mais frequentes os grãos com dimensões de 5 a 10 mícrons e inferiores a 5 mícrons. Lamelas ou placas alongadas com até 75 mícrons foram raramente observadas. Não foi detectado ouro macroscopicamente visível.

Em resumo, pode-se ressaltar o caráter simples da associação ouro-sulfetos observada

Foto 1 – Minério bandeado. Agregados alongados de pirrotita (po) xenomorfa dispostos concordantemente com o acamamento da formação ferrífera. Presença de material grafitoso (g) deve ter facilitado os movimentos de cisalhamento paralelos ao bandejamento. A fragmentação dos horizontes quartzo-carbonáticos conduz a estruturas tipo “boudinage” (b). (Corpo Matá Virgem, sub-nível 7)

Foto 3 – Bandas quartzo-carbonáticas, da formação ferrífera, ricas em pirrotita (py) intensamente deformadas por dobramento e pequenos deslocamentos. Leitões de natureza filítico-grafitosa (fg) (anteriormente interestratificados com as bandas da formação ferrífera) se rompem e formam fragmentos na matriz quartzo-carbonática sulfetada. Corte perpendicular à lineação de microdobramento. (Túnel do Gaia, próximo à entrada do Corpo de minério Gaia).

Foto 2 – Minério bandeado. Pirita (py) está presente exclusivamente nos horizontes da formação ferrífera onde os carbonatos (c) são mais abundantes. As bandas essencialmente quartzosas (qz) são isentas de sulfetos. (Corpo de minério Faria Velho, nível 10).

Foto 4 – Minério brechado. Pirrotita (po) bastante deformada se aloja entre os fragmentos de quartzo e carbonato (qz-c) ou ao longo de pequenas fraturas na formação ferrífera brechada. Fragmentos de natureza filítico-grafitosa (fg) também estão presentes. Corte perpendicular à lineação de microdobramento. (Corpo de minério Faria Extensão, sub-nível 7).

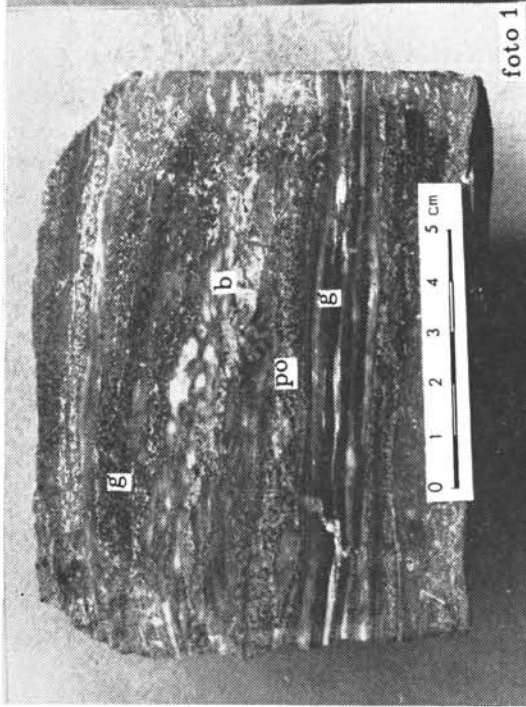


foto 1

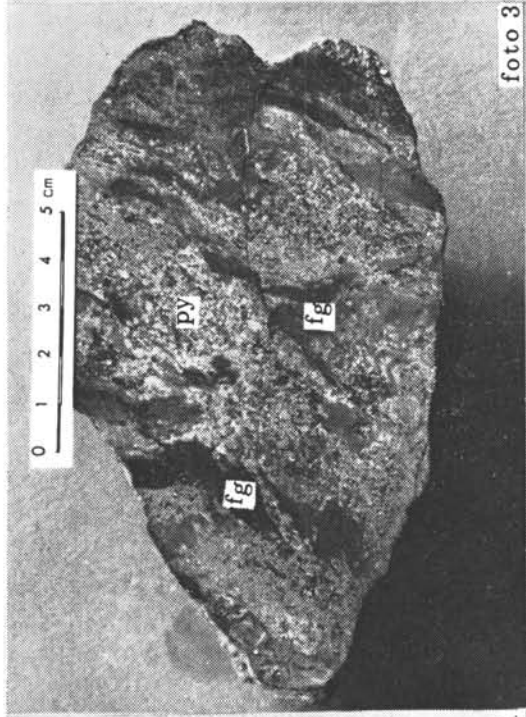


foto 3

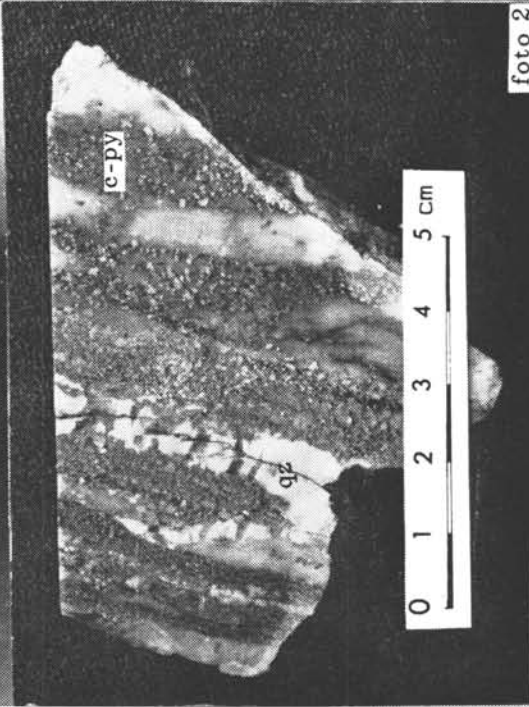


foto 2



foto 4

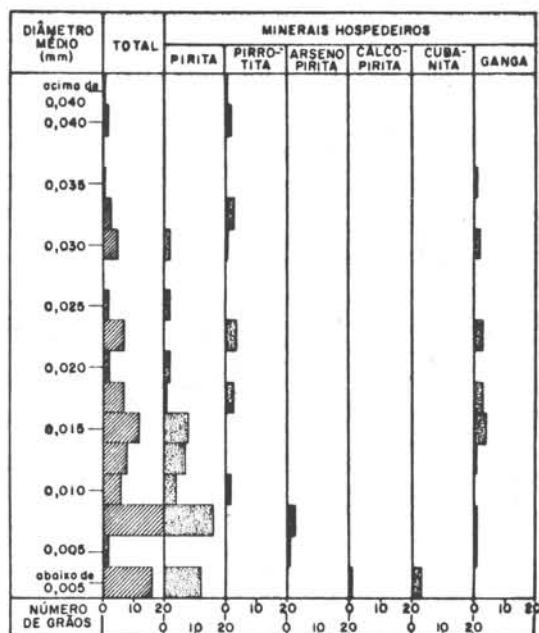


FIG. 5- Distribuição total e por mineral hospedeiro da frequência granulométrica dos grãos de ouro observados.

na mina Faria. Sulfetos de ferro (pirita e pirrotita) são quantitativamente dominantes e extensivamente distribuídos ao longo das camadas portadoras do minério, se bem que, com exceção das zonas mineralizadas, ocorrem em teores muito baixo; em quantidades subordinadas e com distribuição mais restrita, segue a arsenopirita; os sulfetos de Zn, Pb e Cu + Fe não assumem proporções de fases minerais essenciais do minério. Os minerais de ganga ocorrem em quantidades variáveis e são representados essencialmente por carbonatos (ricos em ferro), quartzo, sericita e grafita.

A OPÇÃO GENÉTICA PROPOSTA

Dos fatos observados no depósito aurífero da mina do Faria, aqueles relacionados à mineralização uniforme dentro de um intervalo estratigráfico restrito, assim como, à nítida associação entre zonas mineralizadas e particular litologia, fácies sedimentares e planos de acamamento foram julgados es-

senciais com vistas à proposição de seu processo mineralizador. Tais feições podem ser interpretadas como indicações sugestivas de simultaneidade entre a precipitação dos sedimentos químicos da formação ferrífera e o processo de metalização primária da camada.

Tal idéia pareceu-nos bastante viável face a outras características desse depósito, onde não foi observado nenhum controle tectônico local do minério bandeado, uma vez que, se apresenta independentemente das diferentes posições estruturais das rochas encaixantes, embora, os horizontes portadores de minério e os minérios concordantes mostrem todas as influências do dobramento a que foram submetidos. Também, deve-se ressaltar a ausência de rochas ígneas, com exceção de diques de diabásio, que poderiam constituir a provável fonte de elementos mineralizadores conveniente a um esquema epignético. Tolbert (1964) já havia assinalado a ausência de tais rochas na área aurífera Morro Velho-Raposos, na qual está incluída a mina do Faria.

Outro fato é a existência de várias mineralizações auríferas no Grupo Nova Lima com quadro geológico semelhante, senão idêntico, aquele da mina do Faria. Referimo-nos aos depósitos de Raposos (Tolbert, 1964), São Bento e Santa Quitéria (Simons, 1968) e às várias outras pequenas minas e ocorrências em formação ferrífera aurífera. A ampla distribuição geográfica de mineralizações similares em rochas representantes de ambientes sedimentares específicos, sempre limitadas à mesma unidade litológica, nos permite especular sobre a existência de um processo supérgeno, atuante em escala regional, que permitisse a migração dos constituintes do minério, em especial, do ouro, e sua fixação junto aqueles sedimentos carbonático-ferruginosos.

Por outro lado, observa-se que a faixa de metassedimentos de natureza predomi-

nantemente terrígena, que engloba as camadas de formação ferrífera portadoras dos corpos de minério, é limitada inferior e superiormente por rochas metavulcânicas. Esta estreita associação, no tempo e no espaço, entre o vulcanismo básico e a sequência sedimentar encaixante dos horizontes mineralizados, nos fornece uma base preliminar para supor uma dependência genética de natureza vulcanogênica, para os depósitos da mina do Faria. Porém, face aos dados disponíveis, julgamos ainda prematuro considerar as emissões vulcânicas como a fonte exclusiva dos constituintes do minério. Limitamo-nos, no momento, em ressaltar a natureza vulcano-sedimentar do ambiente que presidiu a deposição das rochas deste distrito, evidenciada pela clara e íntima associação de suas zonas mineralizadas com as sequências emissivas.

TRANSPORTE E FIXAÇÃO DO OURO

Numa tentativa de complementar a hipótese de um concentração primária, sedimentar, para o ouro, faremos algumas considerações sobre o provável mecanismo de natureza supérgena que teria propiciado seu transporte e deposição. Com este objetivo, os seguintes fatos relacionados à própria rocha hospedeira devem ser reavivados:

- natureza carbonatada
- abundância em compostos de ferro
- presença de leitos quartzosos

A ligação ouro-carbonato em jazidas do Quadrilátero Ferrífero já foi evocada por Fleischer (1971), ao discutir a gênese da mina de Passagem, em Mariana. Apresentando um quadro sobre várias mineralizações auríferas do Quadrilátero Ferrífero, verificou que elas se colocam preferencialmente em sedimentos de origem química e, que se forem consideradas as quantidades de ouro extraí-

do, uma estreita associação entre ouro e rochas carbonatadas torna-se evidente.

Dadas as estreitas conexões entre mineralizações auríferas e sedimentos carbonatados ricos em ferro não só nos corpos de minério do Faria, mas também, de vários outros depósitos do Grupo Nova Lima, como já salientamos, é sugestivo que as condições regentes da deposição dessas rochas também tenham agido na concentração de ouro.

Essa hipótese nos levaria a atribuir às camadas de formação ferrífera, enquanto ambientes sedimentares específicos, o papel de controle litológico e estratigráfico primários, assim como, paleogeográfico da concentração do ouro na mina do Faria. Dada a pluralidade de mineralizações deste tipo no Grupo Nova Lima, é considerada a possibilidade de que as formações ferríferas constituam regionalmente os controles estratigráficos e paleogeográfico de mineralizações auríferas naquele grupo.

Nesse sentido o trabalho de Goni *et al.* (1967) nos forneceu um forte apoio. Estes pesquisadores, discordando das conclusões de vários outros, entre eles, Freise (1931), Smith (1943) e Krauskopf (1951) que consideravam a possibilidade da migração iônica de ouro e, confirmando as de Cloke e Kelly (1964) sobre a inviabilidade dessa forma de migração supérgena, demonstraram a baixa eficiência do transporte iônico do ouro na natureza, ressaltando a tendência de as suspensões coloidais serem os veículos mais adequados para a migração natural daquele elemento. Estudaram ainda o comportamento das suspensões coloidais de ouro quanto à estabilidade.

As experiências de Goni e seus colaboradores indicam que suspensões coloidais de ouro, além de serem facilmente formadas por via química a partir de compostos iônicos instáveis ou, então, mecanicamente pela simples abrasão do ouro metálico, permanecem estáveis na faixa de valores dos pH das águas

naturais. Dada a natureza hidrófoba e eletronegativa dessas suspensões, elas serão sensíveis às de hidróxidos de sinal positivo. Sob este aspecto, o hidróxido férrico existente nas águas naturais, em estado coloidal, manteria o colóide de ouro em suspensão, por adsorção, e promoveria seu transporte.

O hidróxido férrico não seria o único colóide a transportar o ouro coloidal, visto que, segundo Frondel (1938), a sílica coloidal também desempenha um papel importante na estabilização de colóides de ouro, dada sua função de colóide protetor.

Ainda de acordo com os experimentos de Goni e equipe, os ambientes carbonáticos com fraca concentração podem favorecer a estabilidade das partículas coloidais de ouro, mas existe uma concentração crítica acima da qual esses meios passam a agir como eletrólitos e tornam-se floculadores. Dos vários ensaios realizados, verificou-se que as partículas de ouro se depositavam mais rapidamente na solução com a maior concentração de K_2CO_3 , que foi o carbonato utilizado. Esses pesquisadores concluíram que um meio fortemente carbonatado parece bloquear a migração do ouro.

Apoiado nessas conclusões, um modelo de natureza supérgena, para o transporte e fixação do ouro, desde a fonte até os ambientes de precipitação dos sedimentos carbonáticos, ricos em ferro, torna-se sugestivo e de fácil elaboração.

ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE OS DEMAIS CONSTITUINTES DO MINÉRIO

Embora as concentrações de Cu, Pb e Zn, em função da baixa abundância relativa de seus sulfetos, não possam justificá-los como parte importante do minério, não é difícil admitir uma concentração inicial desses elementos no ambiente deposicional que dominou a sedimentação das rochas da área da mina do Faria.

A atividade de fontes gasosas associadas ao processo vulcânico, tais como as "fumarolas" e "solfataras", é considerada como importante causa primária de concentrações de sulfetos no meio geossinclinal. Segundo de Bretizel e Foglierini (1971), vários depósitos sulfetados de Cu, Zn e Pb, concordantes com o ambiente vulcânico-sedimentar, são considerados geneticamente dependentes dessa atividade ígnea. Ao lado de diferentes tipos de gases emitidos, vários sais metálicos estão envolvidos. Dentre eles, o ferro é de maior representação, enquanto que cobre, chumbo e zinco são mais raros. Estes elementos podem provir, seja das rochas vulcânicas percoladas pela atividade dos gases ou ser transportados sob forma de íons livres.

Com relação ao arsênico, Onishi e Sandell (1955) assinalaram que este elemento, provavelmente, é transportado ao mar e aos seus sedimentos predominantemente em associação com o material suspenso: minerais detríticos, argilo-minerais, óxidos hidratados de ferro (por adsorção), embora não haja dúvida que parte do arsênico esteja presente também em solução na forma iônica ou molecular. Além disso, este elemento é conhecido como um constituinte comum de sublimados e incrustações vulcânicas.

Rankama e Sahama (1962) notaram que o arsênico tem tendência de precipitar-se por hidrólise de seus sais, como também, observaram uma preferência do arsênico por sedimentos ricos em óxidos e sulfetos de ferro e provavelmente matéria orgânica, embora a razão deste comportamento não esteja muito bem esclarecida. Supõem que o arsênico que permanece em solução na água do mar esteja na forma de arsenito.

Sintetizando algumas propriedades dos colóides, Krauskopf (1967) mostra que partículas coloidais estáveis de As_2S_3 podem ser formadas borbulhando-se H_2S em solução de arsenito. Porém, a adição de um eletrólito de cátion bivalente, no caso usou cloreto de cálcio, provoca sua floculação. Este com-

portamento parece fornecer uma explicação, embora aproximada, para a fixação de arsênico, em solução na água do mar, junto a sedimentos onde a presença de H_2S e de sais de cátions bivalentes, por exemplo, cloreto ou carbonato de cálcio, possa ser provada.

AS FEIÇÕES "EPIGENÉTICAS" DO MINÉRIO

Apesar de os aspectos de deformação do minério não constituírem o objetivo deste trabalho, alguns deles puderam ser interpretados por analogia a exemplos citados na literatura, notadamente por McDonald (1967) e Vokes (1971). Um estudo amplo e detalhado nesse sentido, envolvendo inúmeras dificuldades face à evolução tectônica e metamórfica das rochas do Grupo Nova Lima, merecerá uma pesquisa em particular. No momento, nossa preocupação foi alinhar as feições texturais mais evidentes do minério que pudessem ser atribuídas a efeitos metamórficos e tectônicos.

Evidências mostradas por Love (1962) são condizentes em atribuir ao material sulfetado original uma granulação extremamente fina e provavelmente bastante disperso ("sulfide dusty") na rocha sedimentar. Diagênese e metamorfismo de baixo grau são responsáveis pela organização cristalina da fina "poeira de sulfetos" e, o aumento nas condições metamórficas é acompanhado por fraturamento, recristalização e crescimento dos grãos minerais.

Segundo vários autores citados por McDonald (1967), a sequência paragenética, em depósitos sulfetados metamorfizados, reflete melhor as propriedades físicas inerentes dos minerais do que os estágios sucessivos de mineralização epigenética. Assim, diversas relações texturais no minério são determinadas em parte pela relativa facilidade com que seus constituintes respondem aos esforços diferenciais, sob condições metamórficas. Ou

seja, a diferença de mobilidade metamórfica entre os sulfetos faria com que os mais móveis, entre eles, esfalerita, calcopirita, galena e pirrotita se alojassem nas chamadas estruturas de secreção. Segundo Vokes (1971), minerais friáveis, como pirita e arsenopirita, podem ter suas fraturas "cicatrizadas" pelo influxo daqueles sulfetos mais móveis.

É interessante notar que, na associação mineralógica do minério da mina do Faria, as relações de venulações entre os sulfetos são observadas entre aqueles que têm comportamento distinto às deformações. O caráter tardio dos sulfetos de $Cu + Fe$, Pb e Zn em relação à pirita, arsenopirita e, parcialmente, em relação à pirrotita, talvez possa ser consequência do comportamento físico-químico relativo de cada sulfeto durante os estágios dinâmico-metamórficos.

A ausência de critérios nitidamente conclusivos quanto à ordem de cristalização entre pirita e arsenopirita, como também, a detecção de relação de substituição apenas sugestiva de pirita, arsenopirita e pirrotita pelos sulfetos "tardios" é, segundo McDonald (1967), coerente com a falta de feições de substituição em depósitos metamorfizados. Em conjunto, os três sulfetos mais abundantes conferem ao minério uma textura granoblástica: pirita e arsenopirita são idioblásticas e, pirrotita, xenoblástica.

AGRADECIMENTOS

Externamos nossos agradecimentos à Mineração Morro Velho S/A que nos autorizou o estudo de uma jazida de sua propriedade e nos proporcionou, com atenção e solicitude, as condições necessárias para execução dos trabalhos. Ao Professor Doutor Reinholt Ellert pela orientação na realização deste trabalho, ao Professor Doutor Viktor Leinz pela leitura minuciosa e críticas formuladas ao texto original e ao Professor Doutor Evaristo Ribeiro Filho pelas sugestões e versão inglesa do resumo.

BIBLIOGRAFIA

- BARBOSA, O. — 1935 — *Estudo das rochas da região de Nova Lima, Estado de Minas Gerais*. In Contribuição ao estudo da origem dos depósitos de ferro e manganês do centro de Minas Gerais. Bol. DNPM — SFPM, 8 : 27-41.
- BARBOSA, O. — 1954 — *Évolution du Géosynclinal Espinhaço*. Anais do 19º Congr. Geol. Intern. (Argélia), Sec. 13, fasc. 14:17-36.
- BRETIZEL, P. e FOGLIERINI, F. — 1971 — *Les gîtes sulfurés concordants dans l'environnement volcanique et volcanique sédimentaire*. Mineral. Deposita, 6 : 65-76.
- CLOKE, P. L. e KELLY, W. C. — 1964 — *Solubility of gold under inorganic supergene conditions*. Econ. Geol., 59 : 259-270.
- DORR, J. V. N. 2d — 1969 — *Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. USGS Prof. Paper, 641 - A.
- FLEISCHER, R. — 1971 — *Le gisement aurifère à tourmaline de Passagem de Mariana (Minas Gerais, Brésil), et son cadre. Influence de l'évolution structurale et du métamorphisme sur une minéralisation syngénétique familière*. Tese de doutoramento (Faculdade de Ciências de Paris).
- FREISE, F.W. — 1931 — *The transportation of gold by organic under ground solutions*. Econ. Geol., 26 : 421-431.
- FRONDEL, G. — 1938 — *Stability of colloidal gold under hidrothermal conditions*. Econ. Geol., 33 : 1-20.
- GAIR, J. E. — 1962 — *Geology and ore deposits of the Nova Lima and Rio Acima Quadrangles, Minas Gerais, Brazil*. USGS Prof. Paper, 341 - A.
- GONI, J., GUILLEMIN, C. e SARCIA, C. — 1967 — *Géochimie de l'or exogène. Étude expérimentale de la formation des dispersions colloïdales d'or et de leur stabilité*. Mineral. Deposita, 1 : 259-268.
- GUIMARÃES, D. — 1935 — *Contribuição ao estudo do minério de ferro e manganês do centro de Minas Gerais*. Bol. DNPM - SFPM, 8.
- GUIMARÃES, D. — 1970 — *Arqueogênese do ouro na região central de Minas Gerais*. Bol. DNPM - DFPM, 139.
- JAMES, H. L. — 1954 — *Sedimentary facies of iron formation*. Econ. Geol., 49 : 235-293.
- KRAUSKOPF, K. B. — 1951 — *The solubility of gold*. Econ. Geol., 46 : 858-870.
- KRAUSKOPF, K. G. — 1967 — *Introduction to geochemistry*. Mc Graw-Hill Book Co., New York.
- LOVE, L. G. — 1962 — *Biogenic primary sulfide of the permian Kupferschiefer and Marl Slate*. Econ. Geol., 57 : 350-366.
- MC DONALD, J. A. — 1967 — *Metamorphism and its effects on sulphide assemblages*. Mineral. Deposita, 2 : 200-220.
- MORESCHI, J. B. — 1972 — *Geologia da mina de ouro do Faria, MG*. Tese de doutoramento (Instituto de Geociências - USP).
- ONISHI, H. e SANDELL, E. B. — 1955 — *Geochemistry of arsenic*. Geochim. et Cosmochim. Acta, 7 : 1-33.
- PEREIRA, P. SIQUEIRA, L. e LIMA, J. O. A. de — 1969 — *Documentação interna da Mineração Morro Velho S.A.*
- RANKAMA, T. e SAHAMA, TH. G. — 1962 — *Geoquímica*. Aguilar, SA de Ediciones, España.
- SMITH, F. G. — 1954 — *The alkali sulphide theory of gold deposition*. Econ. Geol., 38 : 561-590.
- TOLBERT, G. E. — 1964 — *Geology of the Raposos gold mine, Minas Gerais, Brazil*. Econ. Geol., 59 : 775-798.
- VOKES, F. M. — 1971 — *Some aspects of the regional metamorphic mobilization of preexisting sulphide deposits*. Mineral. Deposita, 6 : 122-129.