

II SIMPÓSIO DE MINERAÇÃO

PESQUISAS GEOLÓGICAS E CONTROLE DE QUALIDADE DOS DEPÓSITOS DE MINÉRIO
POBRE E RICO DE ITABIRITO TOMANDO COMO EXEMPLO AS JAZIDAS DA BONG MINE
(LIBÉRIA) E MINERAÇÃO DE FÁBRICA (MINAS GERAIS).

JÜRGEN BRUNO KEGLER

Mineração Ferro e Carvão

RESUMO DO TRABALHO

Demonstração sobre a execução de pesquisas geológicas nas jazidas de Bong Mine e Fábrica, visando obter-se o melhor rendimento do minério.

Melhor planejamento da lavra e controle de qualidade do minério extraído, a fim de se obter o máximo aproveitamento das instalações de tratamento do minério.

Necessidade de tratamento do minério rico, em vista das exigências atuais da siderurgia, que, devido à sua crescente especialização, não pode mais utilizar o run-of-mine.

Chega-se à conclusão de que na mineração de minérios ricos e pobres só há poucas diferenças no tocante aos problemas técnicos, tendo os minérios ricos praticamente apenas a vantagem econômica do melhor rendimento.

INTRODUÇÃO

Apesar das reservas conhecidas de minério rico serem suficientes para várias décadas, os minérios pobres de itabirito ganham cada vez maior importância.

Enquanto no ano de 1.959 o suprimento mundial da ordem de 423 Mio de t. era constituído de 50% de run-of-mine, 38% de minérios classificados e somente 12% de concentrados, a proporção mudou no ano de 1.969 para 33% de run-of-mine, 39% de minérios classificados e 28% de concentrados, num total de 706 Mio de t.. Segundo estimativas, serão consumidas no ano de 1.980 um bilhão de toneladas, sendo que das quais apenas 20% de run-of-mine, 40% de minério classificado e 40% de concentrados.

O motivo disso é por um lado a falta de reservas de minério ri

co em países altamente industrializados, como por exemplo os Estados Unidos, Canadá e União Soviética, e por outro lado, o fato de ser necessário o aproveitamento futuro das dispendiosas instalações e da infra-estrutura existente atualmente para minério rico, que seriam aproveitadas para o minério pobre. Seria isso o caso da Suécia, Labrador, Libéria, África do Sul, Perú, Chile e atualmente também do Brasil.

Esta realidade traz novas atribuições à geologia.

Enquanto as pesquisas geológicas em uma mina produtora de run-of-mine poderiam se restringir a uma avaliação de reservas e a determinação de qualidade com relação à química e à granulometria; outros fatores contariam no caso de uma mina de minério pobre, fatores esses que forçariam os geólogos a se dedicarem intensamente a técnicas de beneficiamento, além da metalurgia.

MINÉRIOS POBRES DE ITABIRITO

A seguir cito como exemplo a Bong Mine, em Libéria:

A figura 1 mostra a situação dos escudos precambrianos com os depósitos principais dos itabiritos. A serra de Bong Range está localizada no escudo de Libéria-Nigéria na África Oeste.

A Bong Mining Company lavra um minério (figura 2), o qual está localizado na parte mais baixa do conhecido perfil de intemperismo. Os horizontes A e B, os horizontes da Canga e de minério de enriquecimento supergênico, nunca se formaram na Bong Range, ou então foram destruídos pela erosão. A BMC então lavra os itabiritos duros e decompostos sem enriquecimentos.

As pesquisas geológicas se dividiram em duas fases:

1. Constatação das reservas e das qualidades, com a finalidade de elaborar um fluxograma para a instalação de beneficiamento, sendo que na constatação das qualidades precisam ser observadas as distribuições de teores de ferro, as proporções de hematita e magnetita, bem como características físicas, ou seja, tamanho dos grãos, intercrescimento dos grãos, para desta forma chegar à constatação da dureza e da possibilidade de moagem.

O mapeamento superficial em conjunto com a abertura de trincheiras e galerias, além de furos de sondagem, nos forneceram dados sobre a situação geológica. Testes microscópicos e de beneficiamento, acompanhados de testes pilotos em aproximadamente 3.000 toneladas de minério bruto, forneceram a base para o fluxograma da instalação de

beneficiamento.

Foi constatado o seguinte (figura 3):

Dentro do embasamento encontra-se um sinclinal com metasedimentos do precambriano inferior, composto principalmente de itabiritos, quartzitos, micaxistos e anfibolitos. Os itabiritos formam o interior do sinclinal, que se alonga por cerca de 14 km. Estruturas similares, são encontradas no corpo norte, e são separadas do corpo principal por um anticlinal de gneisse. As reservas chegam a um total de 650 milhões de toneladas, no corpo principal 350 milhões de toneladas, com uma relação de minério/estéril de 1:0,56 toneladas.

A análise química média é a seguinte:

38,5% Fe, 41,1% SiO₂, 1% Al₂O₃, 1% CaO, 1,5% MgO, 0,05% P e 0,02% S.

Aproximadamente 1% do ferro total está contido no silicato ferroso e na pirita.

A composição mineralógica do itabirito é de:

40% Magnetita, 10% silicatos (principalmente hornblenda)
11% Hematita 0,3% apatita
39% Quartzo traços de pirita

Do itabirito, 18% é decomposto, 23% de decomposição intermediária e 59% duro.

Quanto aos grãos, foram conseguidos os seguintes tamanhos:

14,1% mais que 0,25 mm, 45,4% entre 0,25 e 0,10 mm, 40,5% menos que 0,10 mm.

Enquanto as duas primeiras frações mostram uma ligação do quartzo com os minerais de ferro numa superfície mais ou menos lisa, os cristais da fração menor estão intercrescidos. Estes resultados foram utilizados na confecção de um fluxograma para a instalação de beneficiamento, que deverá fornecer um concentrado comercializável de 65% Fe (figura 4).

O minério bruto, depois de passar pelo britador primário em blocos de 300 mm, cai em moinhos tipo cascata, onde o minério é reduzido para um tamanho mais ou menos dos cristais naturais, por moagem autógena. O minério liberado é bombeado para um sistema de espirais Humphreys, em três etapas, formando um circuito fechado, isto é, os estéreis correm para o cleaner e recleaner e depois mais uma vez são bombeados para o rougher. Como os estéreis das espirais ainda têm um teor de ferro de 20% até 26%, são dirigidos aos separadores magnéticos de baixa intensidade, a fim de ser conseguida magnetita de grãos finos. Porém, devido ao intercrescimento intenso na fração fina, é necessário uma nova moagem nos moinhos tipo bola. O rejeito contém então no máximo ainda 15% de Fe, o qual

é encontrado na hematita ultrafina, na limonita e nos silicatos. Os concentrados "magnéticos" correm em conjunto com os concentrados das espirais para o embarque e pelotização. Com esta combinação de separação espiral e magnética, o rendimento do concentrado com 65% de Fe é de 45 - 50% no peso.

Desta forma foi encerrada a primeira fase dos estudos.

A finalidade da fase dois era a programação da lavra, bem como conseguir um controle de qualidade eficaz.

Foi constatada a necessidade de subdividir a jazida em tipos de minérios, não só do ponto de vista geológico, mas também técnico, isto é, tipos de minérios com o mesmo comportamento no beneficiamento.

Estes grupos são caracterizados pelos seguintes dados:

Teor de ferro e magnetita, também do grão e o consumo de energia dos moinhos tipo cascata na moagem, que é uma equivalência para a dureza do minério.

Foram diferenciados três grandes grupos (figura 5), que por sua vez foram subdivididos em doze tipos, de acordo com teores de ferro e magnetita e características de moagem.

1. Minério para espirais: de granulação grossa, na sua maioria minérios hematíticos de pouca dureza.
2. Minérios intermediários: minérios hematíticos finos, em partes, com grande dureza.
3. Minérios magnéticos: isto é, minérios com teor de magnetita de mais que 25%.

Para lavar somente um dos diferentes tipos de minério, seria anti-econômico: os minérios para espirais deixariam os separadores magnéticos praticamente se esvaziarem devido à pequena quantidade de magnetita.

Os minérios intermediários se deixam enriquecer com dificuldade, tanto nas espirais por causa da granulação fina, quanto nos concentradores magnéticos, por causa do baixo teor de magnetita. Também em caso de grande dureza a carga dos moinhos é muito baixo.

Os minérios magnéticos sobrecarregam os separadores magnéticos pela grande quantidade de magnetita, tendo como consequência concentrados magnéticos com baixo teor de ferro, por uma má classificação.

Como a instalação está calculada pela média química, granulométrica e da dureza, esse tipo de minério precisa ser conseguido arti-

ficialmente. A mistura homogênea é conseguida pelo controle da alimentação do britador, atualmente por uma homogeneização.

A gênese do minério se explica da seguinte forma (figura 6) :

Já durante a sedimentação constatou-se uma mudança vertical de facies, onde se sedimentou em baixo um itabirito com magnetita e quartzo, no meio com hematita e quartzo, e em cima um itabirito argiloso com magnetita e quartzo, que devido ao metamorfismo regional, se transformou em um itabirito com magnetita, quartzo e anfibólios.

As diferenças primárias foram mais uma vez modificadas por dois processos:

1. Elevação de uma frente de gneiss. Devido a esse fato, constatou-se principalmente nas proximidades do gneisse, um aumento de granulação.
2. Intemperismo e decomposição dos 30 até 40 m. superiores e martitização dos cristais de magnetita.

Desta forma encontramos agora uma jazida com as seguintes características:

1. Minérios magnéticos situados na parte inferior do sinclinal - quando próximos do gneisse possuem granulação grossa, e o restante de granulação fina.
2. Minérios para espirais na mesma posição que os minérios magnéticos de granulação grossa, porém somente próximos da superfície.
3. Minérios intermediários situados na parte central até a parte superior da sinclinal.

De posse destes elementos, pode ser preparado o planejamento da lavra. Para isso, serão feitos mapas geológicos para cada nível, com altura de bancos de quinze metros. Serão transferidos para os mapas as partes extraídas dos perfis, que haviam sido colocados na jazida com distâncias de oitenta metros entre si. Além dos dados geológicos, são considerados também o seguinte (figura 7):

- a) Localização e quantidades do minério bruto e estéril.
- b) Tipos de minério e dados específicos, com teor de ferro e magnetita, tamanho dos grãos e consumo de energia na moagem.
- c) Quantidades e qualidades de partes da jazida, com dados sobre o beneficiamento, isto é, rendimento, carga em toneladas por sistema e hora, quantidade de concentrado em toneladas por sistema e hora.

Com a ajuda deste plano pode ser calculada com exatidão, a produção desejada de cada mês e todo o ano.

Caso se constate pelos mapas geológicos dos bancos que a produção planejada para o ano não pode ser alcançada, poderá ser feita uma al

teração na lavra.

Para planejamento a curto prazo, principalmente para o controle de qualidade diário, rigorosamente, não basta a exatidão dos mapas. Para isto são elaborados planos especiais durante o correr da lavra, no qual constam os resultados dos furos de sondagem, de amostragem da frente da lavra e dos furos para desmonte.

A figura 8 mostra parte de um desses planos.

Para as detonações, os furos são feitos com um espaçamento de sete metros e uma profundidade de dezoito metros, sendo o pó da perfuração amostrado e analisados os teores de ferro e magnetita. A frente da lavra é então mapeada, principalmente no sentido da dureza e da granulação. Agora que os tipos de minério foram bem localizados, a topografia marca com estacas bem visíveis, os tipos semelhantes de minério, para o operador da escavadeira.

Com a ajuda deste mapa, será determinada a produção diária, pela geologia com a ajuda do engenheiro de produção.

MINÉRIO RICO

Quanto aos minérios ricos, antigamente as pesquisas geológicas em quase todas as jazidas de minério rico, entre eles a Mineração da Fábrica, se preocuparam em assegurar as reservas e a qualidade do minério compacto de fácil colocação no mercado.

Considerando o desenvolvimento do mercado de minério de ferro, é preciso levar em conta, que se torna cada vez mais importante tratar o minério rico, minérios que até então eram vendáveis sem beneficiamento.

O motivo para isso são as exigências cada vez maiores a que o minério está sujeito por parte das técnicas cada vez mais aprimoradas de siderurgia. No caso de sinterização, características de redução e decrepitação em alta e baixa temperatura no alto forno, foi sempre constatado que poucos minérios podem ser vendidos sem beneficiamento. A exigência de um sinterfeed bem peneirado com pequena quantidade de ultra-fino, causa o aparecimento de grãos, que em virtude da sua composição química, não podem ser sempre utilizáveis para a sinterização ou para a pelotização, tendo que ser enriquecidos. Um importante passo nesse sentido está sendo dado no momento pela CVRD em Itabira, onde futuramente minérios ricos e os itabiritos pobres a eles ligados passarão por um beneficiamento de vários estágios.

Dentro em pouco a Cia. de Mineração Ferro Carvão, também co-

mecará com a construção de uma instalação de beneficiamento, que deverá beneficiar os minérios ricos das jazidas de João Pereira e Fábrica em produtos que correspondam às justas exigências das usinas siderúrgicas.

Para isso seria necessário uma outra pesquisa dentro dos novos aspectos.

A situação geológica e as reservas totais eram conhecidas por mapeamentos anteriores, galerias e furos de sondages (figura 9).

Os itabiritos do grupo Itabira da Serra do Mascate mostram intenso falhamento de empurrão e foram acavalados sobre os filitos do grupo Piracicaba. A situação foi modificada por falhas verticais. As influências de intemperismo formaram pela solução selectiva e lixiviação do quartzo, uma capa de minério rico superficial com a espessura de trinta até quarenta metros. Corpos de minério compacto são situados nas áreas de falhamento.

Nossos produtos futuros serão:

Pebble, Sinterfeed e Pelleta. Na nova pesquisa foram portanto utilizadas partes da fase 1 e partes da fase 2.

1. Determinação da composição média da jazida inteira com um cut-off de 59% de Fe, do ponto de vista granulométrico e químico,
2. Localização exata dos diferentes tipos de minério, cálculos das reservas e das qualidades dos mesmos.

Foram elaborados perfis geológicos com separação de setenta metros utilizando todos os dados estruturais e analíticos disponíveis.

A figura 10 exemplifica um corte típico da jazida de João Pereira. O corpo de itabirito com os minérios ricos na superfície limita-se com os filitos do grupo Piracicaba por falhas de empurrão. As interligações dos vários tipos de minério mostram uma mudança frequente de fácies.

Foram desenhadas também plantas das bancadas com espaçamento de dez metros entre os futuros níveis de lavra como mostra a figura 11.

Nestas plantas são localizados as quantidades e qualidades dos vários tipos de minério com os teores de Ferro, alumina, sílica e fósforo e com os dados principais de granulometria, isto é, a percentagem acima de 6,0 mm., para calcular o rendimento de pebble, e a percentagem abaixo de 0,1 mm. para calcular o rendimento de pellet-feed.

Em uma média de:

35,8% + 6,0 mm e 30,9% - 0,1 mm

podem, portanto, depois de terminado o beneficiamento, ser separados 36%

de pebble, 33% de sinterfeed e 31% de pellet-feed.

Considerando o atrito na instalação, aumentará o pellet-feed em aproximadamente 15%, às custas do sinterfeed e do pebble.

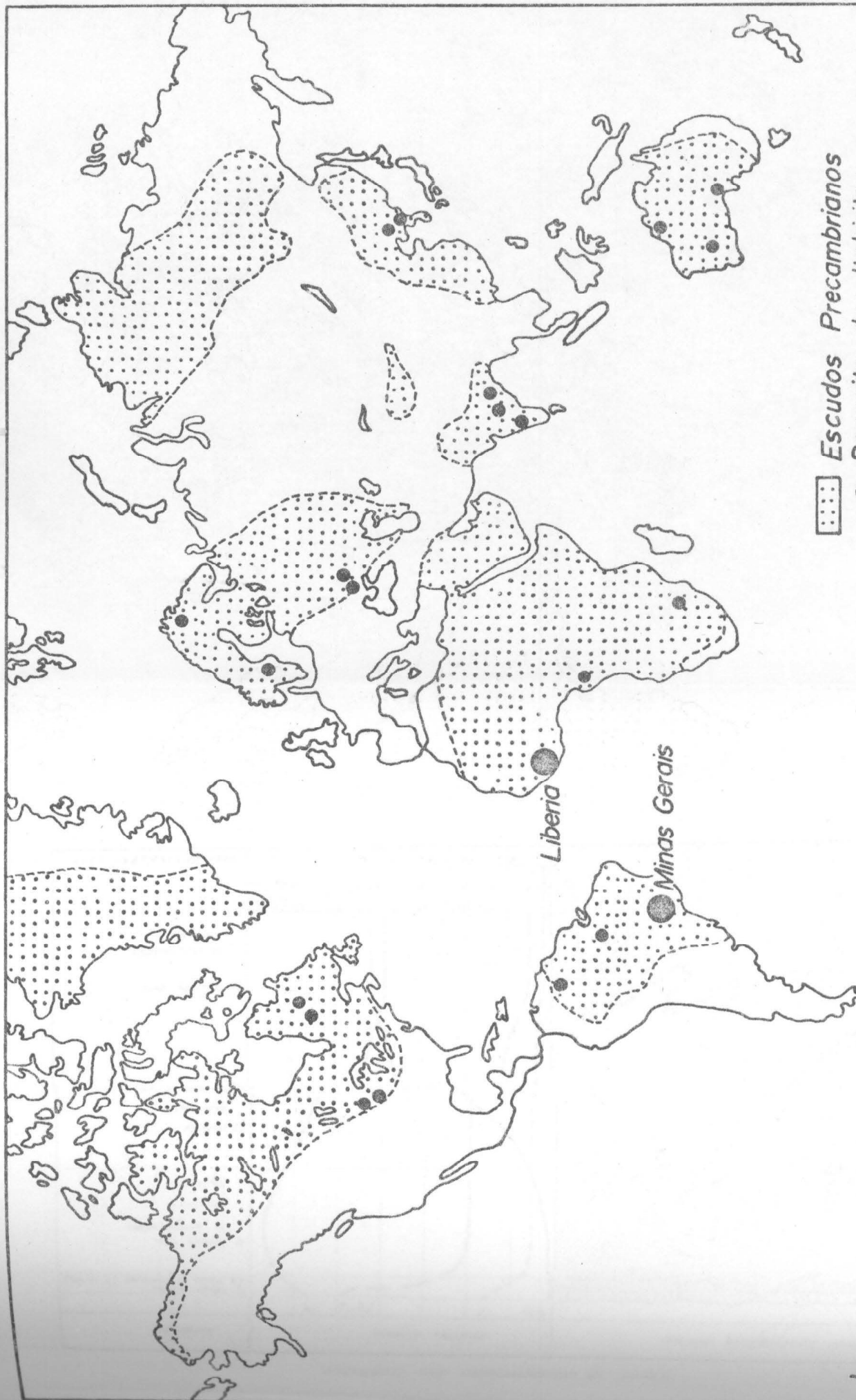
Em virtude da distribuição dos grãos e da química da jazida, tornou-se mais adequado para o beneficiamento um sistema de classificadores espirais e células de flotação.

Desta forma será montada uma instalação que terá uma alimentação de minério bruto com a mesma sensibilidade mencionada para a Bong Mine.

O planejamento da lavra deve, portanto, levar em conta uma alimentação homogênea até a última tonelada produzida. Isto por outro lado, faz necessária a confecção dos mapas de lavra futuro, para o controle diário rigoroso da qualidade.

Bibliografia:

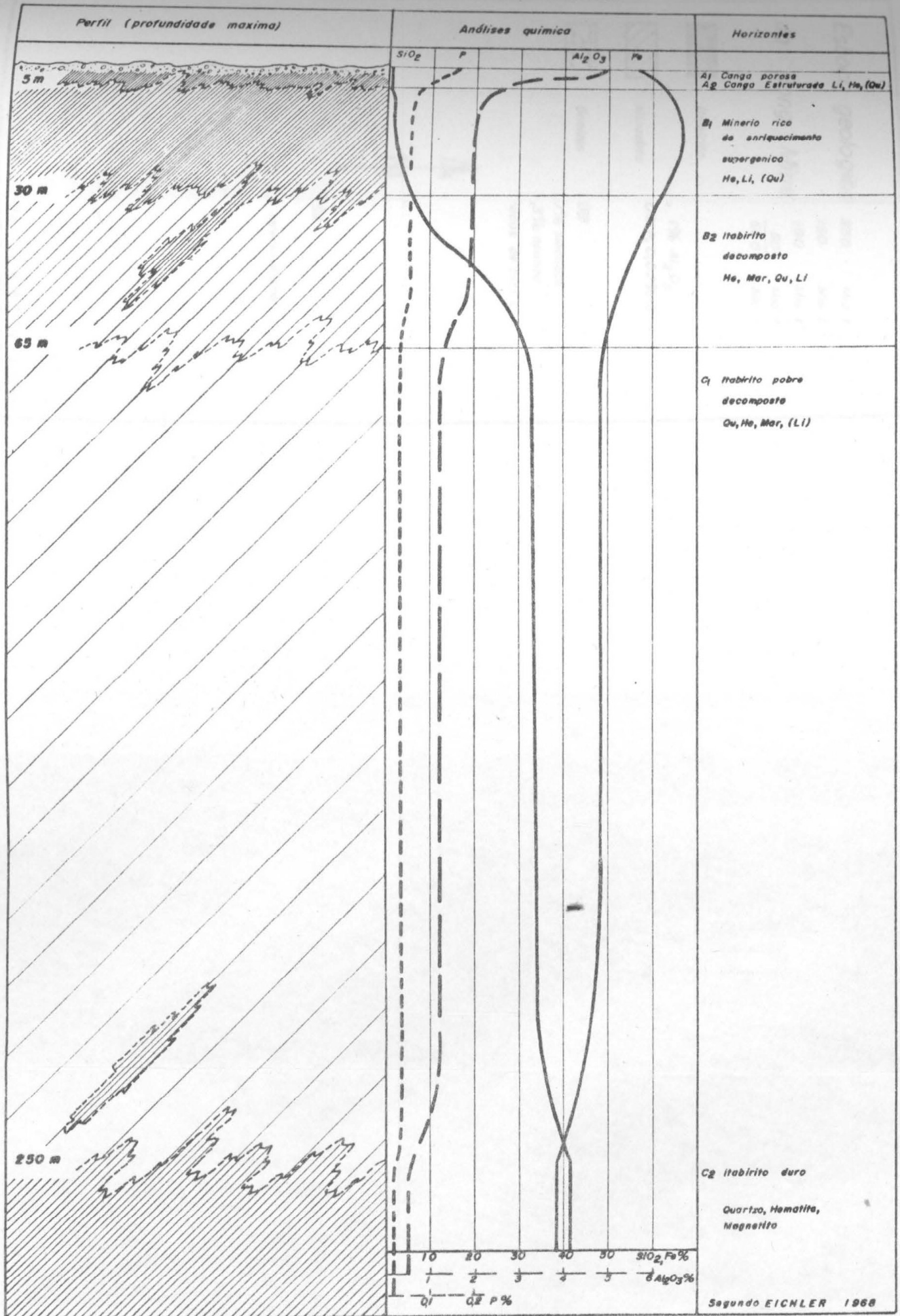
- EICHLER, J. : Geologie und Entstehung der itabiritischen Reicherze im "Eisernen Viereck" von Minas Gerais/Brasilien. Habilitationsschrift, Clausthal - Zellerfeld, 1968.
- JACOBS, W. : Neue Entwicklung in der Aufbereitungstechnik fuer Eisen erze. Stahl und Eisen, 91, 14, 801-808, Duesseldorf - 1971.
- LERSCH, J. : Montangeologische Grundlagen der betriebsgeologischen Abbausteuerung auf der Eisenerzlagerstaette Bong Range in Liberia/Westafrika. Clausthale H. zur Lagerstaettenk. u. Geochem. der min. Rohst. 9, 108-140, Berlin-Stuttgart, 1970.



- ▣ Escudos Precambrianos
- Deposito dos Itabiritos

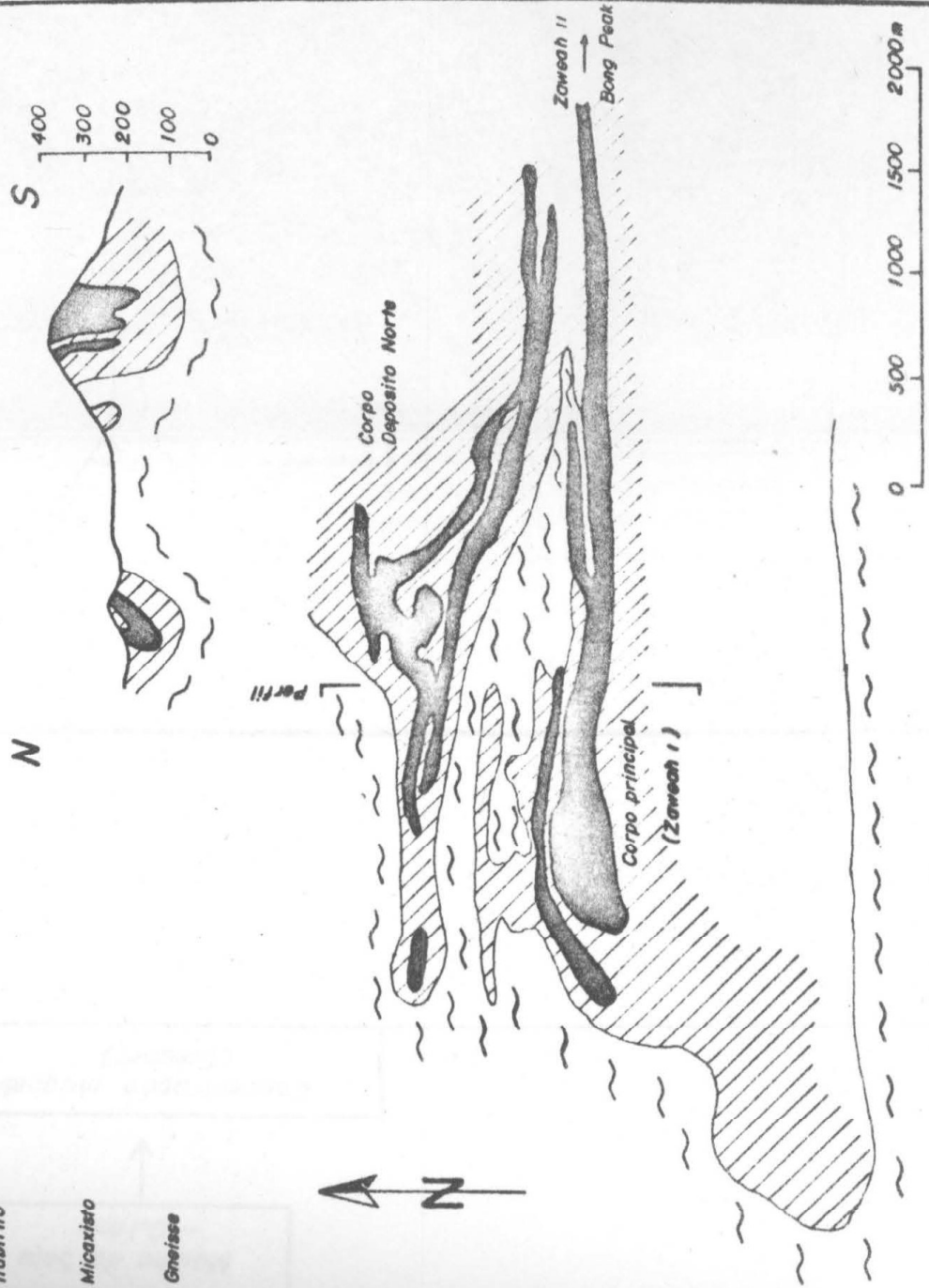
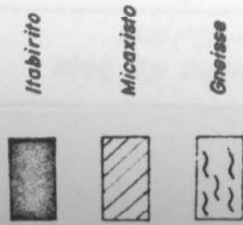
Localização dos Itabiritos e minério rico de Itabiritos

Perfil de intemperismo dos itabiritos



Esboço geológico do depósito de minério pobre de Itabirito

da Bong Mine, Liberia



Reservas:

Corpo principal	350	Mio t
Corpo Norte	160	Mio t
Zaweah II	100	Mio t
Bong Peak	50	Mio t
Total	660	Mio t

Análise química média

38,5% Fe, 41% SiO₂, 1% Al₂O₃
 1% CaO, 1,5% HgO, 0,05 P, 0,02% S

Composição mineralógica

40% magnetita 10% silicados
 11% hematita 0,3% apatita
 39% quartzo traços de pirita

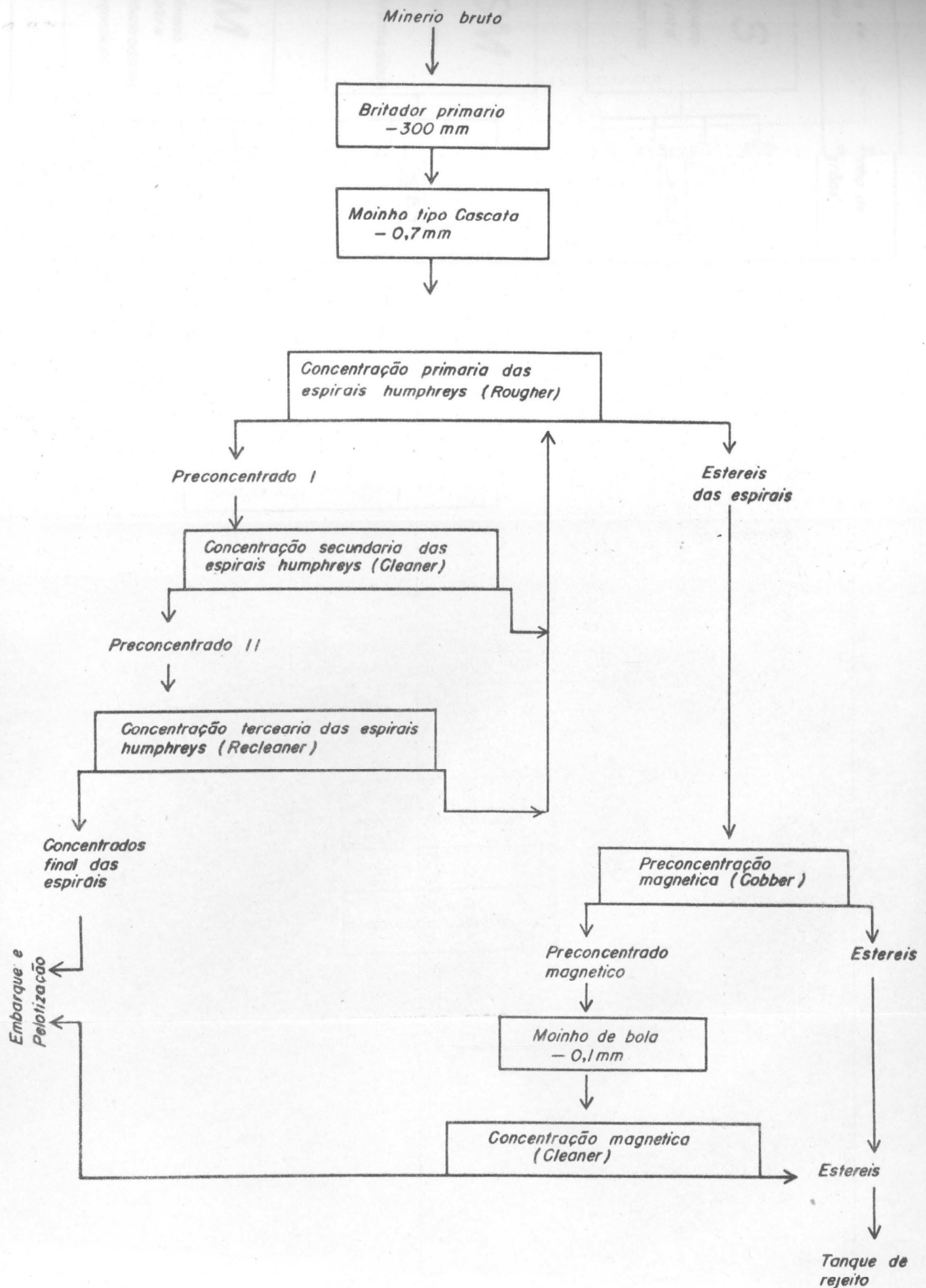
Tamanho das grãos

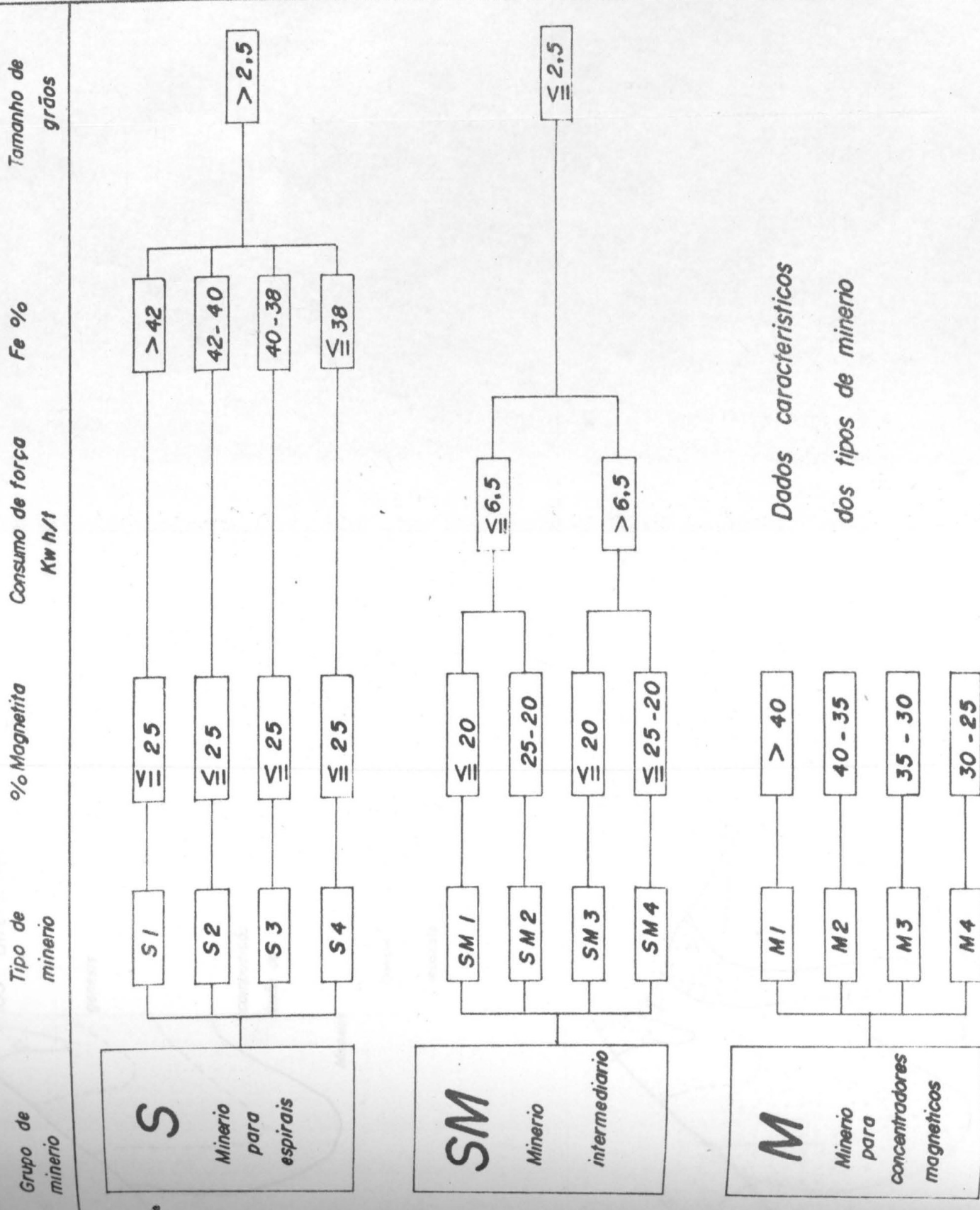
14,1% + 0,25 mm
 45,4% 0,25 - 0,10 mm
 40,5% - 0,10 mm

Dados de decomposição

18% decomposto
 23% de decomposição intermediária
 59% duro

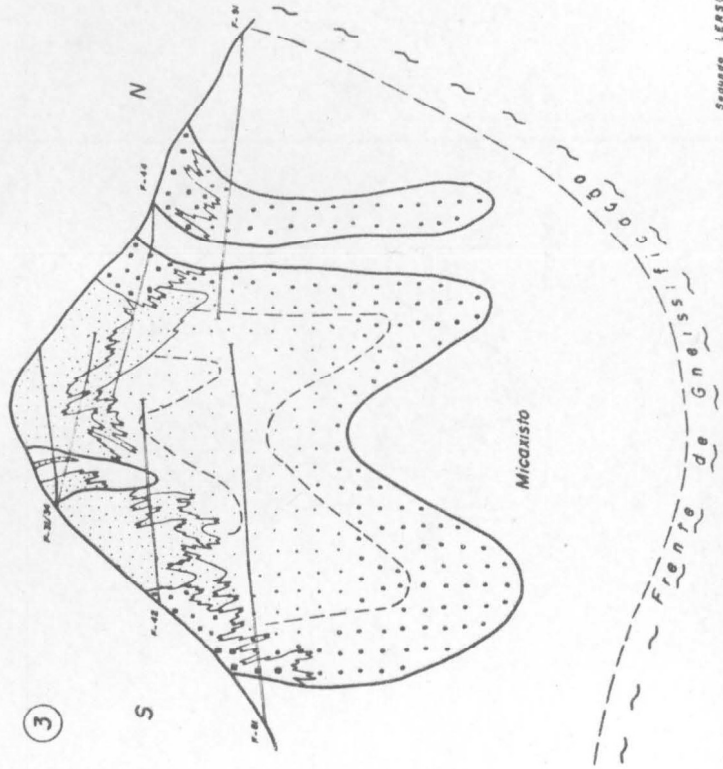
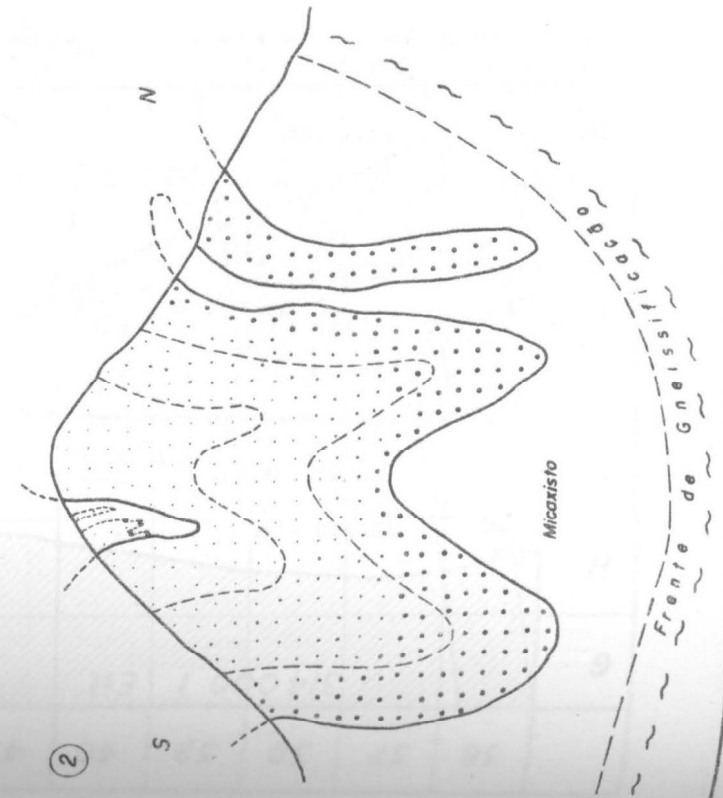
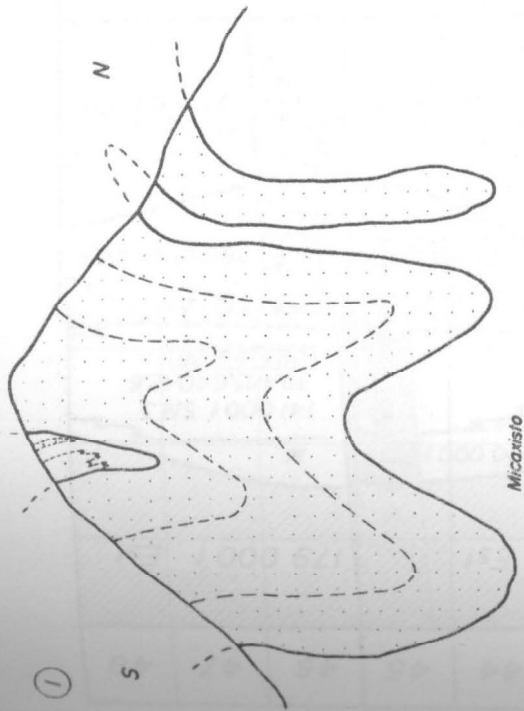
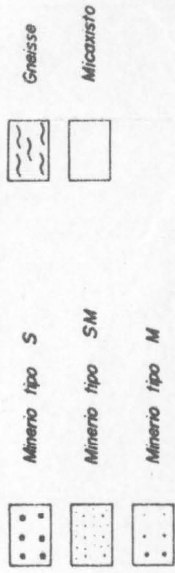
Esquema da instalação de concentração da Bong Mine, Liberia

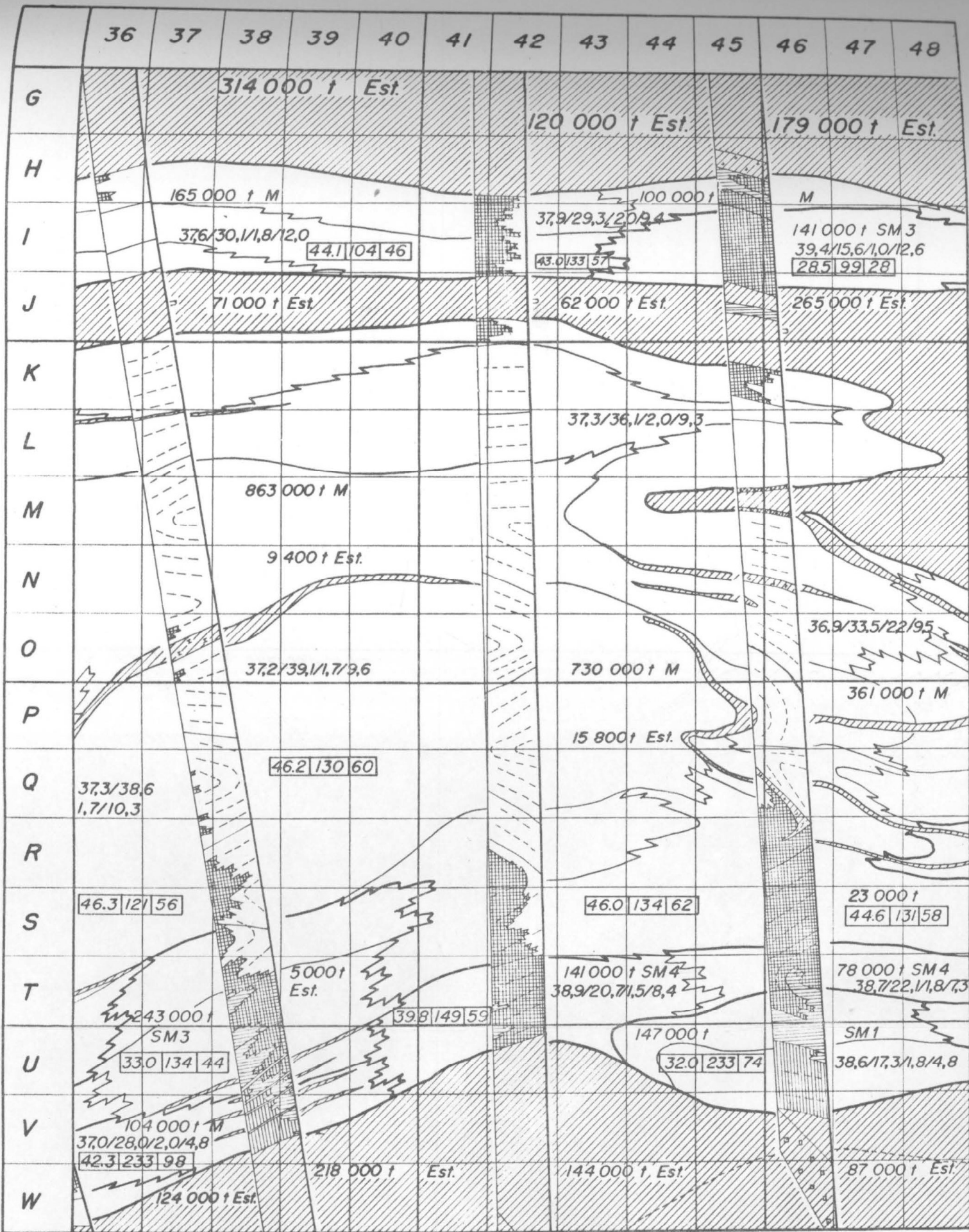




Esquema de formação dos diferentes tipos de minério

- 1 Situação primária depois de orogenesis e metamorfismo regional
- 2 Elevação de gneissificação (aumento dos grãos)
- 3 Influência de intemperismo (decomposição dos grãos, martitização, diferenciação dos tipos de minério)



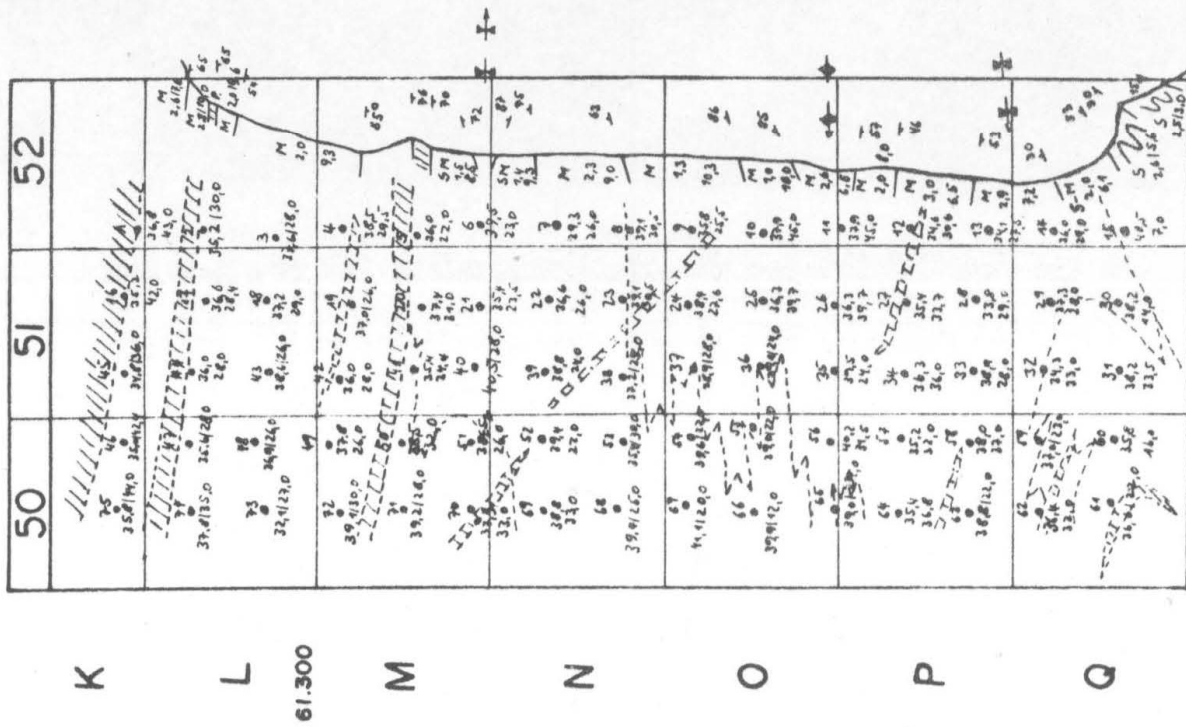
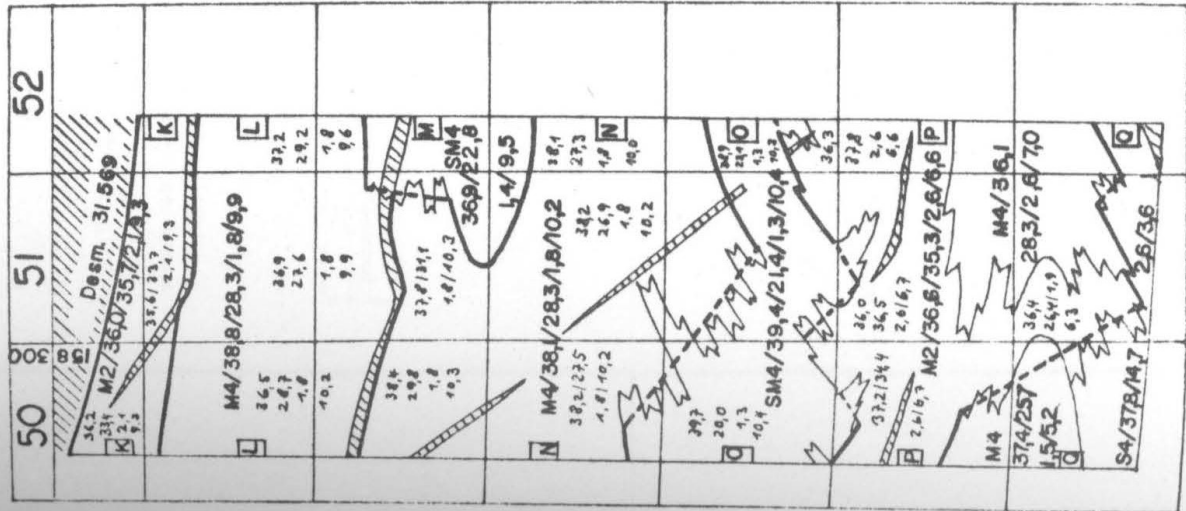


37.3 / 36.1 / 2.0 / 9.3
 Fe % / Magn.% / grão / cons. de energia

46.0	134	62
Rendimento %	Capacidade t/h	Concentrado t/h

20m

Plano de Lavra



Banco 315 m

Legenda:

- 35 Furo para desmonte
- 36,0/28,0 Fe%, Magnetita %
- Limite dos tipos de minério
- Veio de Quartzo, Pegmatito

SM4 Tipo de minério

38,1 | 28,3 | 1,8 | 10,2
Fe% | Magn% | grão | Kwh/t

Capacidade t/h	Rendimento %	Concentrado t/h
230	39,3	90

Desmonte de 31/05/69

245,950 t minério bruto

37,4 % Fe

28,1 % magnetita

1,9 tamanho de grão

8,9 consumo de força Kwh/t

2.300 m³ esteril

Tipos de minério

S: 9.600 t (3,9%): 37,8/14,7/2,6/3,6

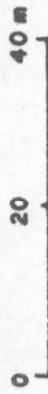
230 39,3 90

124 37,8 47

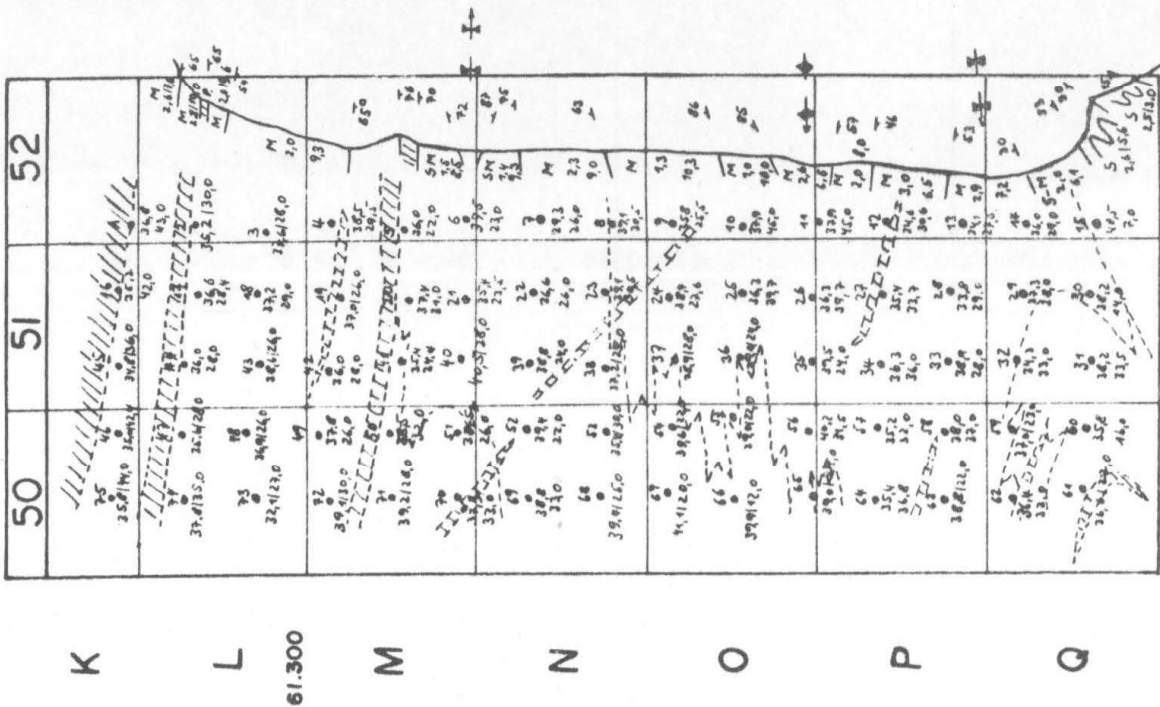
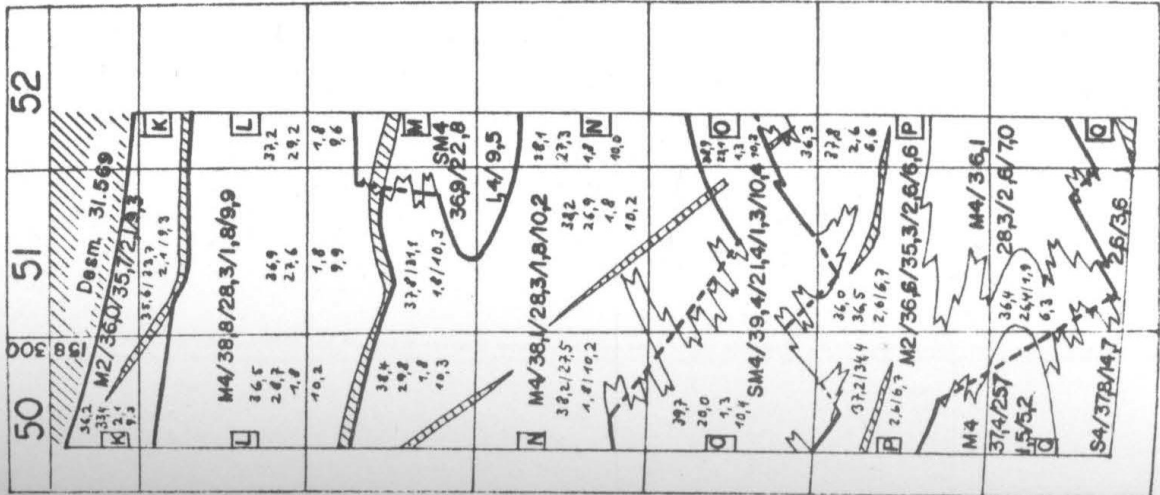
SM: 43.200 t (17,5%): 39,7/21,7/1,3/10,1

M: 193.150 t (78,6%): 37,1/30,1/2,0/8,8

142 42,8 61



Plano de Lavra



Banco 315 m

Legenda:

- 35 Furo para desmonte
- 36,0/28,0 Fe%, Magnetita %
- Limite dos tipos de minerio
- Veio de Quartzo, Pegmatite

SM4 Tipo de minerio

38,1 | 28,3 | 1,8 | 10,2
Fe% | Magn% | grão | Kwh/t

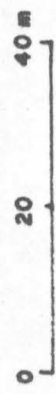
Capacidade t/h	Rendimento %	Concentrado t/h
230	39,3	90

Desmonte de 31/05/69

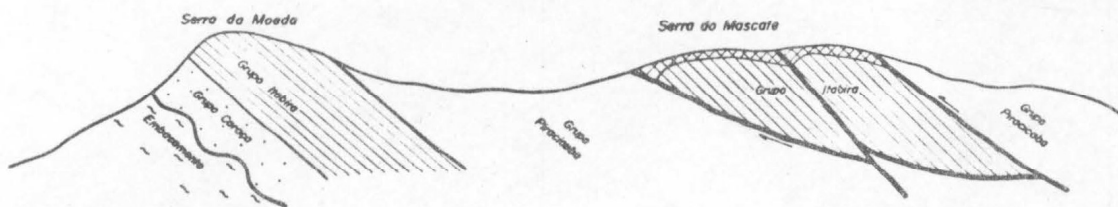
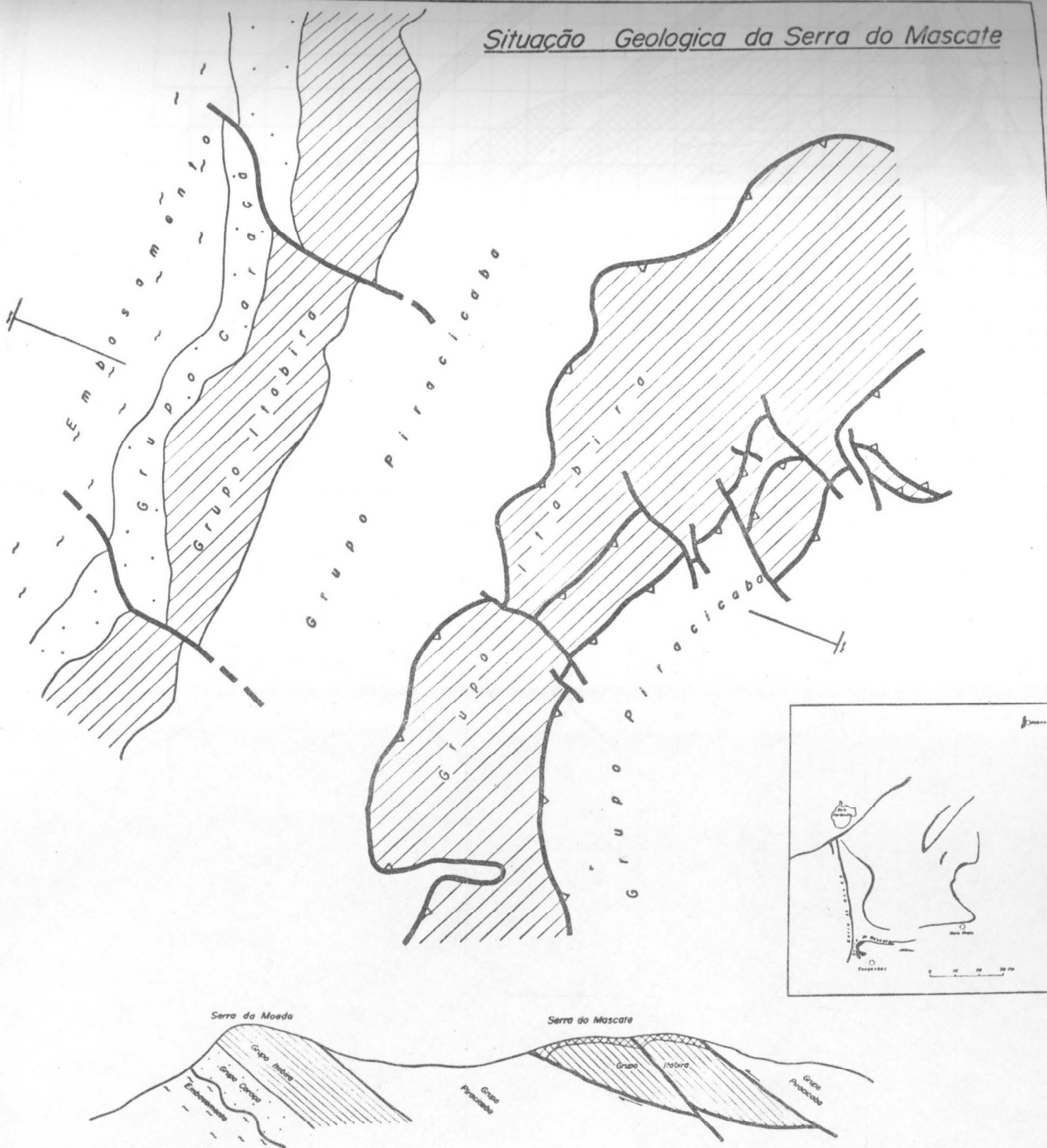
245,950 t minerio bruto
37,4 % Fe
28,1 % magnetita
1,9 tamanho de grão
8,9 consumo de força Kwh/t
2300 m³ esteril

Tipos de minerio

S: 9.600 t (3,9%): 37,8/14,7/2,6/3,6
SM: 43.200 t (17,5%): 39,7/21,7/1,3/10,1
M: 193.150 t (78,6%): 37,1/30,1/2,0/8,8

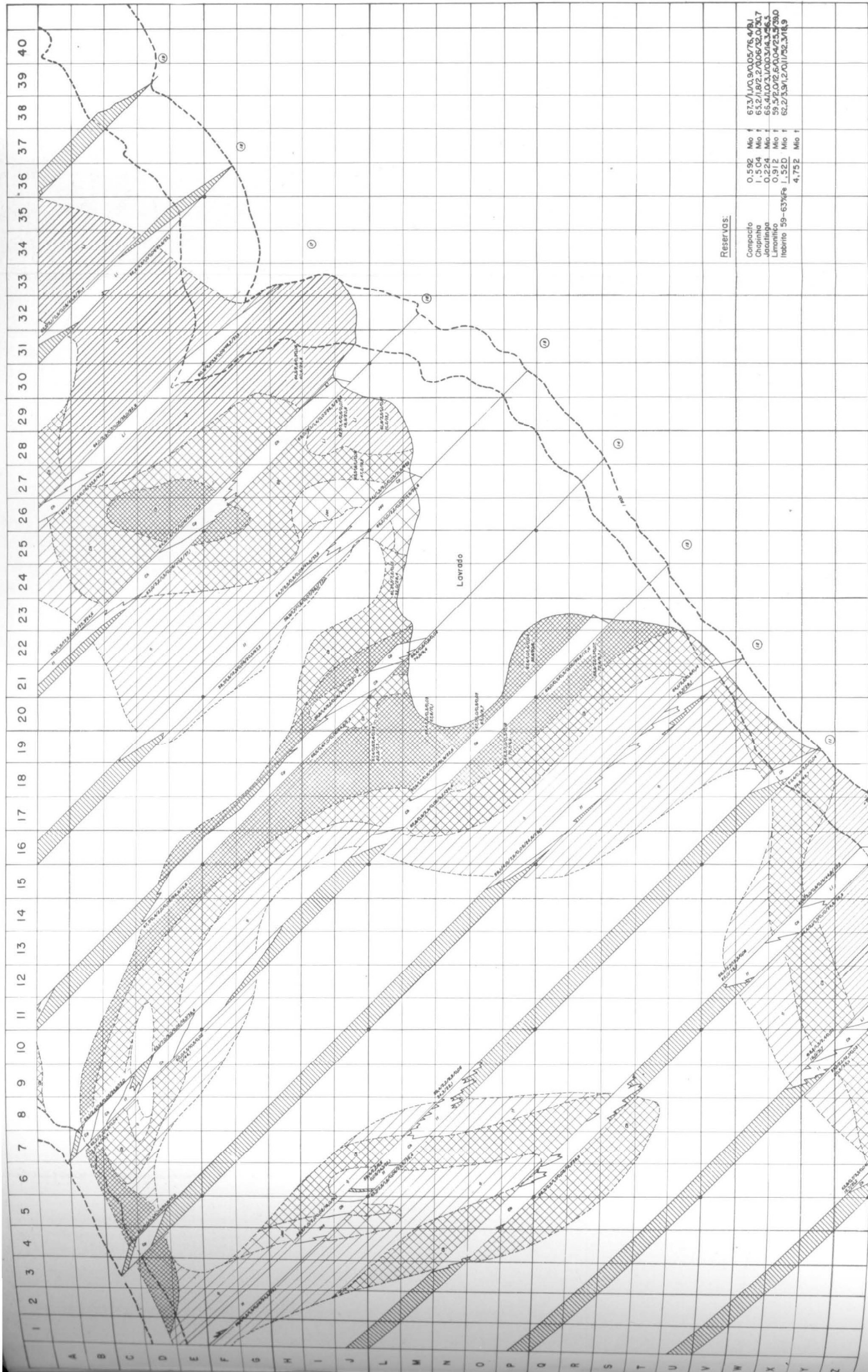


Situação Geológica da Serra do Mascate



Desenho EICHLER 1966

Figura 7.



Reservas:

Reserva	Mio t
Compacto	0,592
Chapinha	1,504
Jacutinga	0,375
Limonite	59,275
Inabrito 59-63%Fe	1,320
	4,752

Reserva	Mio t
67,311/0,9/0,05/76,4/81	
63,211/0,2/2,0/0,6/30,0/30,7	
55,0/0,3/0,03/0,4/2,5/3,0	
59,275/1,320/1,320/1,320	
62,2/5,9/12,0/1/76,2/3/1,9	

- Inabrito decomposto (It)
- Limonite (L)
- Jacutinga (Jac)
- Chapinha (Ch)
- Compacto (Cp)

Cia. de Mineração de Ferro e Carvão
Mina João Pereira

Planta parcial D6
 Escala: 1:1000
 Banco 1500

Ord. Nr.

Geol. Bearbeitung: Dr. Jürgen Kögler

Nachgetragen bis: Dez. 1971

Übersicht: Peter

