

PHL040899



3424

PROJETO MORRO DO ENGENHO

(c.c. 2102)

DESCRIÇÃO DA JAZIDA DE NÍQUEL

Rio de Janeiro, 21.08.75



ÍNDICE

	PÁGINA
1. INTRODUÇÃO	1
2. ASPECTOS GEOGRÁFICOS	3
2.1 - Localização e Vias de Acesso	3
2.2 - Geomorfologia	4
2.3 - Clima	5
2.4 - Hidrografia	6
2.5 - Vegetação	6
2.6 - Infra-Estrutura Sócio-Econômica	7
3. GEOLOGIA REGIONAL	7
4. GEOLOGIA DA JAZIDA	8
4.1 - Rochas Encaixantes	9
4.2 - Maciço Ultramáfico/Alcalino	10
4.3 - Rochas de Cobertura	13
4.4 - A Mineralização de Níquel	14
5. TRABALHOS DE PESQUISA REALIZADOS	20
5.1 - Topografia	20
5.2 - Geoquímica	21
5.3 - Poços de Exploração	21
5.4 - Cachimbos	23
5.5 - Sondagens	23
5.6 - Técnica de Amostragem	24
6. TÉCNICA DAS ANÁLISES DE LABORATÓRIO	25
6.1 - Método Semi-Quantitativo	25
6.2 - Método Quantitativo	27
6.3 - Correlação Estatística	28
7. AVALIAÇÃO DAS RESERVAS	32
7.1 - Cálculo da Densidade do Minério	33
7.2 - Cálculo dos Blocos	34
7.3 - Espessura do Capeamento	34
7.4 - Espessura Mineralizada	35
7.5 - Teor Médio	36
7.6 - Área de Influência	36
7.7 - Volume do Capeamento	37
7.8 - Volume da Zona Mineralizada	37
7.9 - Tonelagem de Minério	37
7.10- Tonelagem de Níquel	38
7.11- Relação de Mineralização	38
7.12- Teor de Corte	38
7.13- Reserva Medida	39
7.14- Reserva Indicada	39
7.15- Reserva Inferida	40
7.16- Tabulação das Reservas	40

1. INTRODUÇÃO

A estrutura geológica do Morro do Engenho foi notada pela primeira vez pelo Geólogo L.E.C. Justo no lançamento de dados na folha ao milionésimo na parte sudoeste do Estado de Goiás quando trabalhava para o Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM.

O reconhecimento aéreo e terrestre daquela estrutura foi feito no primeiro semestre de 1970 por geólogos da recém-criada CPRM quando foi verificada a existência de um maciço de rochas ultramáficas associadas a rochas alcalinas, sendo observados afloramentos de dunito muito alterado, silicificado e serpentinizado e de sienito fresco, bem como um extenso capeamento de laterita e canga limonítica.

Uma vez que complexos da natureza do Morro do Engenho pode fornecer ampla gama de produtos minerais aproveitados em diversas partes do mundo, a CPRM em abril de 1970 requereu ao DNPM a pesquisa de nióbio, fosfato e titânio numa área de 9.000 ha envolvendo aquela estrutura geológica.

Dessas providências resultaram o planejamento e o plano de pesquisa do chamado PROJETO MORRO DO ENGENHO, centro de custo 2102, cujos trabalhos ficaram a cargo da Superintendência de Goiânia com supervisão do Departamento de Pesquisas Próprias.

Os pedidos de pesquisa englobaram nove (9) áreas contíguas de 1.000 ha cada uma e numeradas de 1 a 9. As áreas 1 e 2 medem 1.250 x 8.000 m e as demais 1.000 x 10.000 m, com o lado maior orientado no sentido norte sul.

No quadro abaixo estão relacionadas as áreas com os respectivos números do DNPM, datas de publicação, números de Alvarás e substância mineral objeto da pesquisa:

ÁREA	Nº DNPM	DATA	ALVARÁ	DATA	SUBSTÂNCIA MINERAL	AVERBAÇÃO
1	804.752/70	27.04.70	633	23.09.70	Nióbio	-
2	804.753/70	27.04.70	634	23.09.70	Nióbio	-
3	804.751/70	27.04.70	632	23.09.70	Nióbio	Níquel
4	804.868/70	27.04.70	637	23.09.70	Fosfato	Níquel
5	804.866/70	27.04.70	635	23.09.70	Fosfato	Níquel
6	804.867/70	27.04.70	636	23.09.70	Fosfato	Níquel
7	804.880/70	28.04.70	586	12.07.71	Titânio	Níquel
			1186	09.09.71	"	"
			56	22.02.73	"	"
8	804.881/70	28.04.70	587	12.07.71	Titânio	Níquel
			57	22.02.73	"	"
9	804.882/70	28.04.70	588	12.07.71	Titânio	-
			59	22.02.73	"	-

No primeiro trimestre de 1971 foram tomadas providências legais para a fixação da CPRM na área quando foram feitos os acordos com os proprietários das áreas, que seriam homologados pelo Juiz de Direito da Comarca de Jussara. Em virtude da quase totalidade dos proprietários serem analfabetos, as assinaturas dos acordos tiveram que ser feitas em cartório e a rôgo.

Os trabalhos de pesquisa propriamente dita tiveram seu início em março de 1971, quando se traçou o primeiro esboço geológico da área. Em abril do mesmo ano, teve início a perfuração de poços.

Na fase inicial, houve carência de mão-de-obra não especializada pois os trabalhos de lavoura, aliados à desconfiança inerente ao matuto, foram entraves sérios à contratação dos primeiros braçais.

Os resultados das análises das amostras de geoquímica indicaram baixos valores para os minerais pedidos com valores apreciáveis para níquel. Os trabalhos de pesquisa por poços e furos de sonda confirmaram os resultados iniciais que motivou a CPRM a levar ao conhecimento do DNPM a existência de níquel nas áreas pesquisadas e requerer a devida averbação.

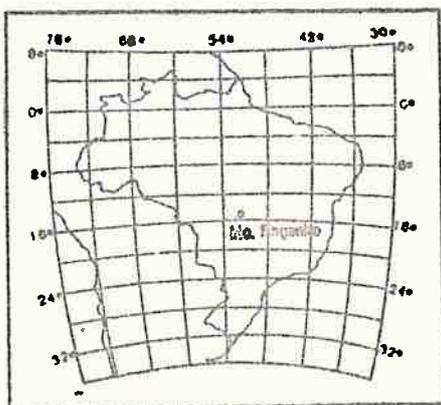
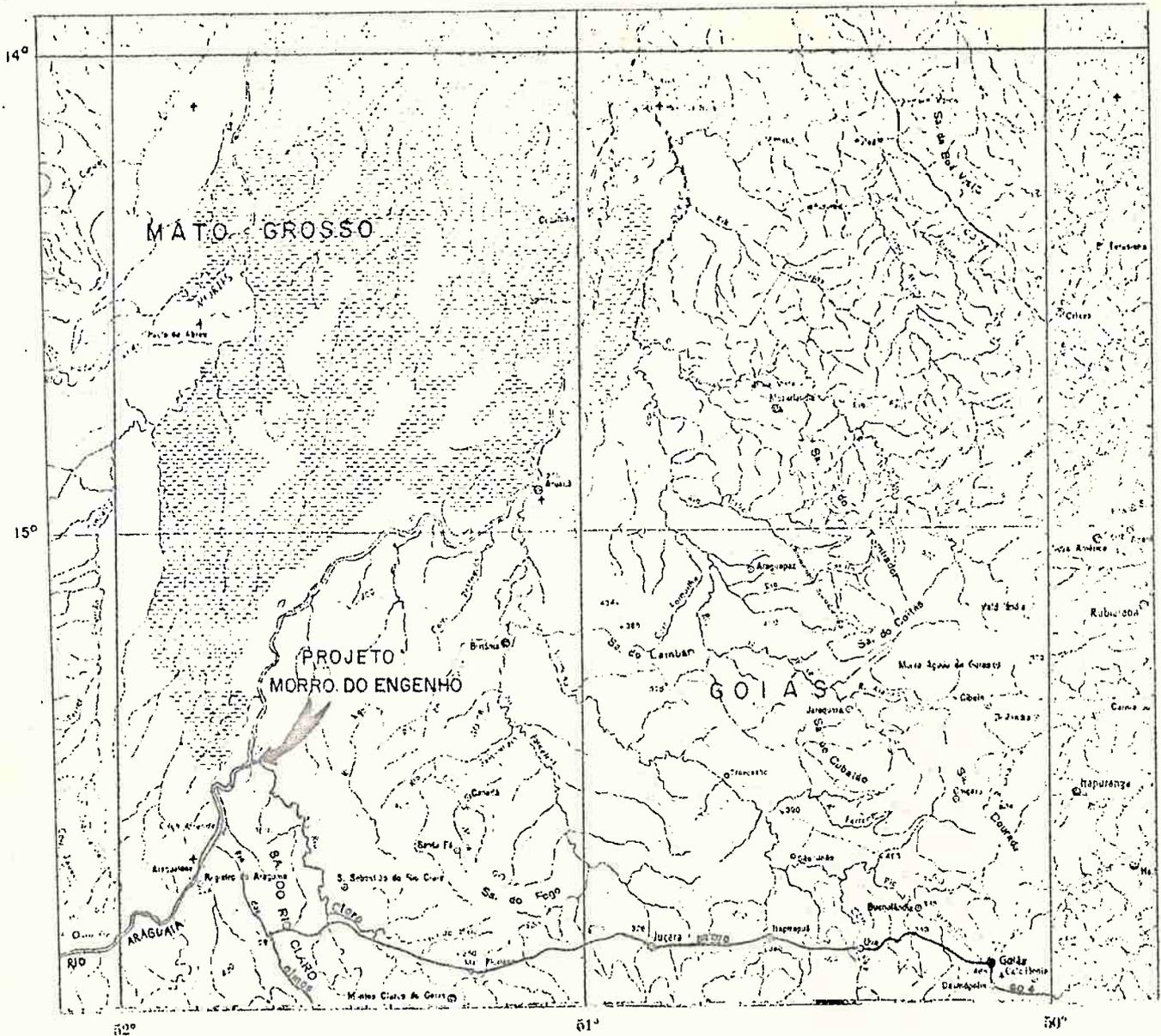
Para propiciar condições adequadas de trabalho na área, foi construído um acampamento que evoluiu de maneira paulatina acompanhando as necessidades do serviço.

Atualmente o acampamento conta com sete construções de madeira, todas com cobertura de telhas e piso cimentado sendo 2 (dois) alojamentos para os operários braçais e pessoal de sondagem; uma casa dos técnicos e escritório; dois conjuntos de sanitários e um de chuveiros além de uma cozinha. A água para o abastecimento do acampamento é bombeada de um córrego e armazenada em duas caixas d'água com capacidade de 2.000 litros.

2. ASPECTOS GEOGRÁFICOS

2.1 - Localização e Vias de Acesso

A área do depósito mineral do Morro do Engenho situa-se

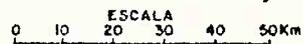


Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM

Diretoria da Área de Pesquisas

PROJETO MORRO DO ENGENHO
PESQUISA DE NÍQUEL EM GOIÁS

MAPA DE LOCALIZAÇÃO



Figura

Fonte

1

IBGE - Carta de Perfil do Estado de Goiás

no município de Montes Claros de Goiás, distrito de Registro do Araguaia, no sudoeste do Estado de Goiás e dista 382 km da capital do Estado.

O acesso é feito inicialmente por rodovia asfaltada (GO-4) até a cidade de Goiás (132 km); daí, segue-se pela BR-070 estrada macadamizada, percorrendo-se o seguinte trajeto: Jussara (212 km), Aparecida de Montes Claros (300 km) e rio das Almas (340 km). A partir do rio das Almas utiliza-se uma estrada de 3ª classe, nivelada por patrol, até o acampamento do Projeto (Fig.1).

Na área do depósito mineral foram abertos 17 km de estradas com o auxílio de um trator de esteiras Caterpillar D-5 e que foram posteriormente patroladas. O acesso às frentes de trabalho é feito por estradas carrocáveis abertas por desmatamento normal.

A área do Morro do Engenho deverá distar 42 km de uma rodovia pavimentada de 1ª classe, quando for concluído o asfaltamento da BR-070, obra que faz parte do plano prioritário do Governo Federal.

Uma pista de pouso com 50 x 1.000 m, aberta para atender as necessidades do serviço, permite o pouso de aviões bimotores de pequeno porte.

2.2 - Geomorfologia

A área pesquisada situa-se dentro da Bacia do rio Araguaia, num extenso peneplano. Regionalmente não existem acidentes topográficos de grande monta, de modo que as maiores altitudes

não ultrapassam a cota de 160 m acima do nível-base regional dita do pelo rio Araguaia. O relevo da região é caracterizado por pequenas elevações formadas em sua maior parte por morros de granito, escarpas de arenito ou, no caso particular da área em questão por ultramáficas com cobertura de material silicificado.

Regionalmente, a topografia sofre uma leve inclinação no sentido do rio Araguaia.

O peneplano enquadra-se dentro do que KING (1956) classifica como superfície "Velhas", de idade Terciário Superior.

O Ciclo Velhas aplainou a região, deixando como testemunhos da etapa inicial do ciclo as "Serras" de "Água Branca", "Lambari" e "Morro do Engenho". No caso do Morro do Engenho, a cobertura de blocos silicificados e de calcedônia agiu como elemento sustentador da topografia.

2.3 - Clima

Segundo KÖPEN o clima regional é do tipo AW, caracterizado por duas estações: uma úmida (inverno) que vai de novembro a março, com chuvas torrenciais, correspondendo à primavera e verão, e outra seca (verão) que vai de abril a outubro e corresponde ao outono e inverno.

No período de outubro de 1970 a setembro de 1971 a precipitação pluviométrica média mensal foi de 93,8 mm (in Relatório Projeto Jussara).

A temperatura média anual é da ordem de 22°C, havendo pequena variação, com média de 19°C para o "inverno" e 24°C para o "verão".

2.4 - Hidrografia

O sistema hidrográfico da região, pertencente à Bacia Amazônica, é comandado pelo rio Araguaia, e secundariamente, pelo rio Claro.

Estes cursos d'água e principalmente o Araguaia, mostram áreas de inundação que atingem até quatro quilômetros, perpendicularmente ao curso dos rios. O seu padrão é meândrico, originando inúmeros braços abandonados, denominados localmente de "lagos".

2.5 - Vegetação

Em função da drenagem e intimamente ligado a ela, pode-se separar três tipos muito notáveis de vegetação.

Em primeiro lugar e ocupando a maior área, têm-se os "cerrados" tipificados pela existência de pequenas árvores e arbustos retorcidos, queimados anualmente e exibindo aquele aspecto sofrido tão bem descrito por Euclides da Cunha em "Os Sertões". Este tipo de vegetação ocupa 90% da área do Projeto.

Seguem-se as matas tropicais que ocupam as margens dos grandes rios, onde são comuns a aroeira e o cedro, bem como o jatobá, o óleo vermelho e o brejeiro. Na área pesquisada, este tipo de vegetação cobre a região de ocorrência do sienito.

Finalmente, têm-se as matas-galeria (ciliares) que acompanham os córregos, caracterizadas pela abundância da palmeira buriti com poucos metros de largura.

2.6 - Infra-Estrutura Sócio-Econômica

Sob o ponto de vista sócio-econômico, a região do Morro do Engenho situa-se dentro do que a Secretaria da Indústria e Comércio do Estado de Goiás caracteriza como "micro-região do rio Vermelho".

Nesta área desenvolve-se essencialmente a pecuária e desta dependem as demais atividades econômicas. O gado é criado de uma forma muito primitiva, não recebendo qualquer espécie de tratamento.

O arroz aparece como segundo produto regional, sendo sua cultura rudimentar e presa às margens dos rios. O milho e o feijão são produtos de menor importância. A plantação da banana é esporádica e destina-se unicamente ao consumo pelos proprietários.

3. GEOLOGIA REGIONAL

As unidades estratigráficas presentes na região foram definidas pela primeira vez por BARBOSA et alii (1969) no Projeto Brasília (in Relatório Projeto Jussara), quando foi estabelecida a sua Coluna Estratigráfica (Fig. 2).

Regionalmente, as rochas do Complexo Basal, de idade pré-cambriana, são recobertas a oeste pelos metamorfitos do Grupo Araxá.

Nas proximidades da área do Projeto, as rochas do Complexo Basal são representadas por biotita gnaiesses aflorantes à margem esquerda do rio Araguaia e a leste são recobertas por arenitos da Formação Furnas.

ERA	PERÍODOS	UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS		LITOLOGIA
CENOZÓICO	QUATERNÁRIO			Aluviões
	QUATERNÁRIO/ TERCIÁRIO	COBERTURA DETRITO-LATERÍTICA E/OU COBERTURA ARENO-ARGILO- LATERÍTICA		Areias, silte e argila de origem flu- vial e coluvial e lateritos.
		SILEXITO DA SERRA ÁGUA BRANCA		Calcedônia
MESOZÓICO	CRETÁCEO	GRUPO IPORÁ	D Intrusivas Alcalinas	Dunitos, peridotitos, missouritos , gabros alcalinos, sienogabros, sien- tos, derivados filonianos (lamprófi- ros, basanitóides, micro-granitos) , corpos pegmatóides e diabásio.
PALEOZÓICO	DEVONIANO	GRUPO PARANÁ	D Formação Furnas	Arenitos médios e grosseiros, conglo- merados, lentes de folhelhos e silti- tos. Estratificação cruzada tipo pla- nar. Ambiente marinho raso.
PRÉ-CAMBRIANO		GRUPO ARAXÁ	D Unidade B	Sericita xistos com lentes de cal- coxistos, mármore dolomíticos, quartzitos hematíticos, xisto ⁱⁿ grafitoso ^{tru} sões graníti- cas:grani-
			D Unidade A	Micaxistos a duas micas to rapakivi e granada; intercala- intrusões ul- ções de quartzitos trabásicas/bási- micáceos e anfibo cas, serpentinitos litos cloriti- peridotito, dunitos, zados. gabros etc.
		D COMPLEXO BASAL	Biotita gnaisses, hornblenda-biotita- gnaisses, migmatitos, "granitos", len- tes de leptinitos, metagabros, anfibo litos, piroxenitos, talco anfibolitos e quartzitos.	



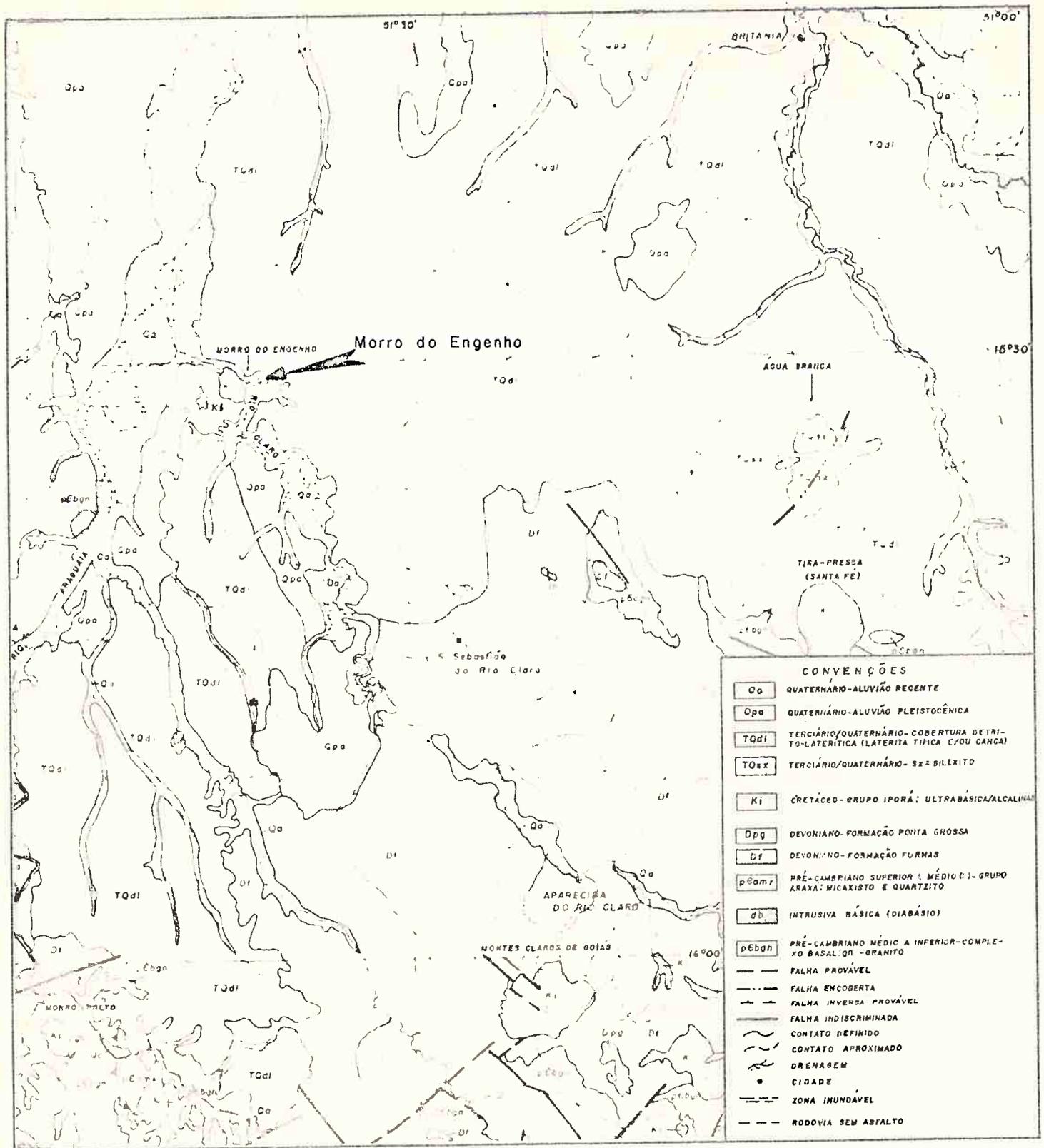
Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM

Diretoria da Área de Pesquisas

PROJETO MORRO DO ENGENHO

COLUNA ESTRATIGRÁFICA

Figura	Fonte
2	Relatório do Projeto Jussara - DNPM - 1972



Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM

Diretoria da Área de Pesquisas

PROJETO MORRO DO ENGENHO

MAPA GEOLÓGICO REGIONAL

Figura	Escala	Fonte
3	1:500 000	PROJETO GOIÂNIA II

Na área do depósito mineral, a maior parte do recobrimento é representado pelas rochas da Formação Furnas, constituídas essencialmente por arenitos esbranquiçados, médios a grosseiros, quartzosos, mal classificados, com grãos arredondados, apresentando freqüentemente, estratificação cruzada; secundariamente, ocorrem folhelhos silticos de cores variegadas, que podem gradar a siltitos arenosos de cores amareladas.

Introduzidas nas rochas destas unidades estão as ultramáficas do Grupo Iporá de idade cretácica.

Sobre a Serra de Água Branca e Morro do Engenho existe uma cobertura parcial de material silicificado (silexitocalcedônia).

As coberturas lateríticas têm caráter regional e recobrem todas as unidades.

Sedimentos aluvionares formam as planícies de inundação dos rios Claro e Araguaia (Fig.3).

4. GEOLOGIA DA JAZIDA

O maciço ultrabásico apresenta-se sob a forma de duas elevações alongadas na direção norte. A maior elevação situa-se mais para oeste e possui 1.400 m de extensão por 400 m de largura média, com um desnível máximo de 120 m. A outra elevação é de menor porte, com dimensões de 400 por 400 m e com um desnível máximo de 90 m. Estas elevações apresentam uma cobertura de material silicificado que sustenta a topografia.

As partes baixas apresentam uma cobertura de solo laterítico e, em algumas partes, de canga.

A nordeste ocorre um corpo de sienito nefelínico que se prolonga na outra margem do rio Claro, em grande parte exposto em afloramentos, constituindo pequenas elevações.

O contato oeste e sul do maciço é proporcionado pela ocorrência de rochas da Formação Furnas, que nas áreas 2 e 3 também apresentam pequenas elevações.

A norte e nordeste, os sedimentos aluvionares do rio Claro recobrem parcialmente as rochas da Formação Furnas, rochas ultramáficas e o sienito nefelínico (Anexo I).

4.1. - Rochas Encaixantes - Formação Furnas

A Formação Furnas, de origem sedimentar, constituinte da coluna da Bacia do Paraná, tem sua idade relacionada ao Devoniense.

A sua seção sedimentar, evidenciada tanto em superfície como em sub-superfície, compõe-se de intercalações de arenitos médios a grosseiros, de cores cinza-claro a avermelhada, essencialmente quartzosos, com pouca matriz argilosa, grãos angulares a sub-angulares, com esfericidade regular, e folhelhos variegados onde predominam as cores amarela, marrom e vermelha, com fino bandamento. Muitas vezes o folhelho grada a siltitos argilosos com cores predominantemente amarelas.

Foi constatada a existência de diques de rochas básicas cortando camadas sedimentares do Furnas.

Nas áreas 4 e 5, onde foram escavações de poços e sondagem, não foram obtidos quaisquer resultados positivos quanto a

presença de qualquer tipo de mineralização, tendo então sido consideradas estéreis as rochas da Formação Furnas.

4.2. - Maciço Ultramáfico/Alcalino

O corpo ultramáfico/alcalino, localizado na área de pesquisa, foi correlacionado às intrusões do Grupo Iporá, de idade cretácica.

Apresenta características de um maciço zonado de filiação alcalina, no qual é possível a individualização de um Núcleo de rochas duníticas (a), uma Zona Peridotito-Piroxenítica (b), uma Zona Gábrico-Alcalina (c), e uma Zona Sienito-Nefelínica (d).

O núcleo (a), representado pelas duas elevações, é constituído por rocha dunítica, parcialmente serpentinizada, exibindo uma coloração esverdeada ou amarelo esverdeado, granulação fina, apresentando núcleos de cristais de olivina completamente alterada. Nos raros afloramentos o dunito apresenta fraturas silicificadas, formando em algumas partes um rendilhado fino.

Em furos de sonda, a uma profundidade ao redor de 30 m, é comum o aparecimento de veios carbonáticos finos, recortando completamente a rocha.

Microscopicamente, esta rocha é composta exclusivamente por olivina e seus produtos de alteração. A textura mais notável é em malha. Carbonato e clorita ocorrem normalmente associados em veios. Alguns cristais de olivina parcialmente serpentinizados são comuns, bem como a alteração à iddingsita.

Envolvendo o núcleo dunítico pode-se individualizar um

halo de rochas caracterizadas como piroxenitos a olivina, peridotitos e seus respectivos termos de transição.

Esta faixa foi denominada Zona Peridotito-Piroxenítica (b) e ocorre circulando o núcleo dunitico com uma largura que varia de 200 a 400 m. Estas rochas não são aflorantes, estando recobertas por uma camada de solo laterítico uniforme.

Os peridotitos alterados normalmente exibem uma coloração "bordeaux", amarelada ou ainda cinza-escuro, mas a cor predominante é a amarelada. A estrutura é maciça e a rocha mostra-se também recortada por veios de carbonato, serpentina e clorita.

Ao microscópio estas rochas apresentam olivina parcialmente serpentinizada, tendo como produto de alteração a iddingsita. O carbonato ocorre preenchendo veios e os cristais crescem alongados, com o eixo longitudinal disposto perpendicularmente às fendas. O piroxênio aparece algumas vezes schilleritizado, com macias polissintéticas. Também são observados talco e restos de cristais de augita. Em certas lâminas nota-se a textura em bastita.

Macroscopicamente, os piroxenitos apresentam-se em cores castanho-escuro gradando a cinza-escuro, granulação média, exibindo finos veios de carbonato e serpentina. A textura em bastita é a mais notável ao microscópio. A olivina apresenta-se um pouco serpentinizada e o piroxênio schilleritizado. A rocha é composta essencialmente por augita, com olivina e plagioclásio subordinados.

Na parte sul do maciço é possível a identificação de uma zona constituída principalmente de rochas gábrico-alcalinas e termos transicionais a peridotito e piroxenito. Apresenta-se ex

ternamente à Zona Peridotito-Piroxenítica e foi denominada Zona Gábrico-Alcalina (c). Esta zona tem a forma de um arco com as extremidades voltadas para o norte (Anexo I).

As rochas gábricas são de coloração cinza a amarelada, granulação média a fina, com acentuado predomínio da primeira. A textura é sub-orientada, com veios milimétricos de carbonato ou de serpentina.

Ao microscópio os cristais de plagioclásios são anédricos e geminados segundo a lei da albita. Secundariamente ocorre zeolita.

Uma composição modal típica desse grupo de rochas é a seguinte: Plagioclásio 30%, Opacos 10%, Biotita 10-15%, Augita 40-50%.

As rochas de transição apresentam-se, macroscopicamente, com as mesmas características dos peridotitos e piroxenitos. Possuem coloração cinza a amarelada. Ocorrem finos veios de carbonato. As maiores diferenças são notadas ao microscópio. A olivina mostra-se muito alterada e o piroxênio bastante fraturado, evidenciando os efeitos de tensionamento. Uma das lâminas mostra plagioclásio geminado segundo a lei da albita e com extinção ondulante. A textura mais notável é em bastita. A augita apresenta comumente geminação polissintética e os cristais de olivina são substituídos por iddingsita e o crisotila.

As rochas da Zona Gábrico-Alcalina entram em contato com as rochas da Formação Furnas a leste e sul do maciço.

A Zona Sienito-Nefelínica (d) situa-se na parte NE, E e SE do maciço propriamente dito, mas somente a NE ocorrem aflora

mentos de rocha fresca, os quais se apresentam como pequenas elevações arredondadas formadas por inúmeros blocos de rocha fraturada.

Ao microscópio a textura é granular idiomórfica, isotrópa, com o feldspato potássico pertitizado e fenocristais de sanidina numa matriz feldspática. A nefelina representa 10 - 15% na composição modal estimada e caracteriza o sienito. São notadas evidências de uralitização do piroxênio e também titano-augita zonada com bordos de aegerina.

No maciço é freqüente ainda o aparecimento de diques de rochas básicas e alcalinas com poucos centímetros de espessura.

4.3. - Rochas de Cobertura

Capeando os morros existe uma cobertura de blocos de calcedônia imersos numa matriz terrosa, pulverulenta, de coloração amarelo-ocre a vermelho-escura, muito rica em ferro (magneto-ilmenita fina).

Esta cobertura ocupa a parte superior dos morros, possuindo uma espessura de 25 m em média. As encostas são recobertas por blocos soltos com um tamanho máximo de 50 cm de diâmetro.

Derivados dos processos de lateritização que agem sobre as rochas ultramáficas e rochas da Formação Furnas aparecem os laterilos que exibem uma coloração vermelha intensa a "bordeaux", aspecto terroso, com uma cobertura vegetal de cerrado.

No sopé das encostas encontra-se um colúvio imerso em material detrito-laterítico, formado por blocos de sillexito e du

nito silicificado. O colúvio é observável no sopé da encosta e em poços a uma distância de até 400 m do mesmo.

A esta cobertura laterítica estão relacionadas as canga limoníticas, que ocupam em conjunto 20 km².

A canga tem coloração vermelha intensa e engloba freqüentemente fragmentos de silexito, dunito silicificado, arenito e raramente blocos de sienito. Tem uma superfície aproximadamente plana e na parte leste forma uma série de "degraus" causados pela erosão remontante. A maior espessura de canga medida em poços foi de 6 m. As maiores exposições estão situadas a norte, numa área onde a vegetação resume-se em gramíneas e cactáceas. Sua ocorrência é mais acentuada na Zona Peridotito-Piroxenítica.

As aluviões dos rios Araguaia e Claro são compostas por sedimentos que recobrem parcialmente as rochas na área pesquisada.

Os sedimentos aluvionares são constituídos de uma fração essencialmente arenosa, com algumas camadas conglomeráticas onde ocorrem seixos arredondados de quartzo. Camadas de argilas cinza-escuro e amarela estão intercaladas na seção.

Sobre estas aluviões que estão relacionadas a holoceno, está grande parte da vegetação de maior porte: matas tropicais a acompanhando as margens dos rios com uma forma irregular.

4.4. - A Mineralização de Níquel

A formação de lateritos a partir de corpos ultramáficos exige condições especiais que podem ser assim sintetizadas:

- Clima úmido e quente, que favorece o intenso intemperismo químico.

- Topografia plana ou aproximadamente plana (peneplano), onde a água é pouco ativa na remoção dos produtos do intemperismo.

- Tempo de exposição suficiente para o intemperismo ser acentuado.

A laterização começa com a atividade do intemperismo químico sobre as rochas ultramáficas compostas essencialmente por olivina, que contém normalmente 0,30% de níquel. Quando a água subterrânea ataca a olivina, ela se decompõe e o magnésio, o ferro e o níquel são carregados em solução, enquanto a sílica normalmente forma uma suspensão coloidal de partículas submicroscópicas. Quando esta solução rica em minerais descende, o ferro oxida-se e se precipita como hidróxido férrico que, perdendo posteriormente, a água de sua estrutura, transforma-se em goetita e/ou hematita.

O níquel, o magnésio e a sílica continuam o descenso e a solução persiste enquanto o meio químico for ácido. Tão logo a água seja neutralizada pela rocha subjacente ou pelo solo, precipita-se o silicato anidro. Sob condições topográficas favoráveis as bases insolúveis precipitam-se, formando os depósitos lateríticos.

Se a erosão persiste, as zonas originalmente enriquecidas em níquel são expostas, e os elementos entram em solução novamente para serem redepositados em níveis inferiores. Como o níquel é menos solúvel que o magnésio, o precipitado é mais enriquecido em níquel que a solução remanescente. Sendo a reação cumulativa e com a repetição do ciclo solubilização-precipitação, o precipitado pode conter mais níquel, enquanto a solução será cada vez mais enriquecida em magnésio.

HUNDHAUSEN, R.J. et alii (1954) concluíram que a maio

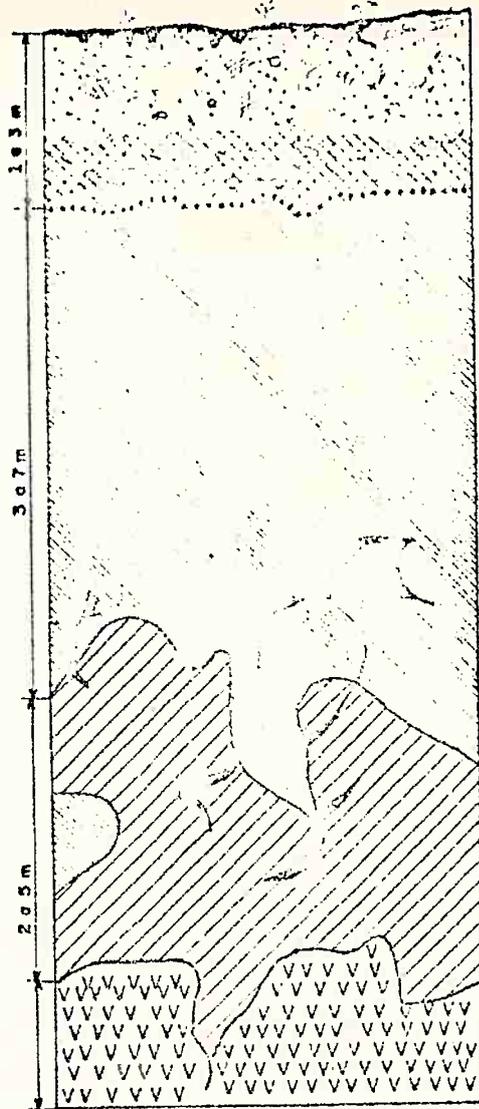
ria dos lateritos residuais mostram variações de concentração de níquel que refletem a variação do conteúdo primário na rocha fonte, e que o conteúdo de níquel nos lateritos é mais elevado que na maioria dos serpentinitos dos quais são originados.

O laterito transportado naturalmente não apresenta esta relação com a rocha subjacente.

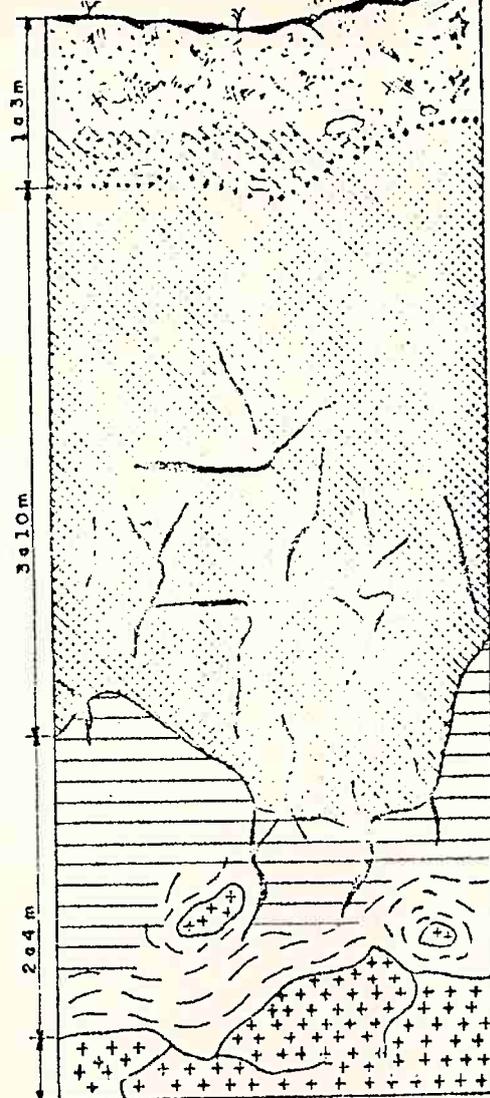
O minério niquelífero que ocorre na área estudada é de finido como do tipo silicatado, estando o níquel concentrado em minerais como a serpentina, clorita e espinélios substituindo dia docicamente o Mg^{++} , como atestam os estudos de micro-sonda efetuados. A substituição do Mg^{++} é facilitada pela similaridade de raios iônicos (Ni^{++} : 69 \AA ; Mg^{++} : 66 \AA). O minério é proveniente da concentração do Ni a partir de processos de lateritização, conforme expostos no item anterior. Contudo, observam-se certas diferenças entre o perfil das rochas duníticas e o perfil das rochas ultramáficas componentes do maciço (Fig. 4).

No perfil do solo da rocha dunítica nota-se a existência de um nível composto de material argiloso de cores esverdeada e amarelada, contendo material "garnierítico" preenchendo fraturas, que proporciona, em geral, o topo da camada mineralizada. Sobtoposta a esta camada ocorre a rocha dunítica muito alterada, conservando a textura original, que se apresenta mineralizada com teores mais elevados que a média (1,0 - 3,0%) e, em geral, com valores mais constantes.

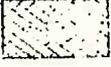
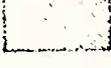
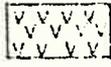
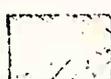
No perfil das rochas ultramáficas associadas ao dunito observa-se que a camada mineralizada restringe-se ao intervalo de argilas amarelo-esverdeadas ou de alteração de rochas em que são

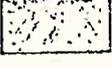
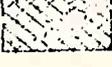
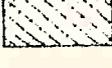
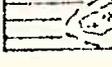
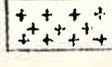
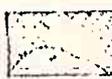


PERFIL ESQUEMÁTICO-DUNITO



PERFIL ESQUEMÁTICO-PERIDOTITO, PIROXENITO, GABRO

-  SOLO LATERITICO COM BLOCOS DE CANGA
-  COLUVIO DE BLOCOS DE SILEXITO
-  ARGILA AMARELA OU ESVERDEADA, MINERALIZADA
-  ROCHA ALTERADA, MINERALIZADA
-  DUNITO
-  ROCHA ALTERADA OU ARGILA COM VEIOS DE GARNHEITA, MINERALIZADA

-  SOLO LATERITICO COM BLOCOS DE CANGA
-  COLUVIO DE BLOCOS DE SILEXITO
-  ARGILAS AVERMELHADAS OU ESVERDEADAS
-  ROCHA ALTERADA E BLOCOS DE ROCHA SA
-  PERIDOTITO, PIROXENITO, GABRO
-  ROCHA ALTERADA OU ARGILA COM VEIOS DE GARNHEITA, MINERALIZADA



Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM

Diretoria da Área de Pesquisas

PROJETO MORRO DO ENGENHO

PERFIS ESQUEMÁTICOS DA ZONA MINERALIZADA

observados veios de material "garnierítico" ao longo das fraturas.

Observe-se que, em geral, os teores nas camadas argilosas com veios de "garnierita" possuem valores mais baixos (entre 0,80 e 1,60%) e irregulares.

O intervalo mineralizado ocupa, nas áreas 4,5,6 e 7 uma superfície de 3,094 km².

A tabela a seguir, evidencia os constituintes químicos, em % quantitativa, do minério do Morro do Engenho e o gráfico 1 a nexa mostra o ajustamento dos teores em níquel seguindo a lei log normal em papel gausslogarítmico. Pode-se notar que o ajustamento é praticamente perfeito para a população de teores entre 0,8% e 1% de níquel. Os teores acima de 1% e abaixo de 0,8% são estatisticamente anômalos pois se afastam da reta. Essa constatação pode ser explicada por algumas considerações geológicas.

GRUPOS	% DOS ELEMENTOS								
	Ni	Fe	Mg	SiO2	Ca	Cr	Co	Cu	Al
G1	1,06	24,0	7,52	29,9	0,02	1,22	0,035	0,01	2,56
G3	1,40	29,0	5,49	27,7	0,003	1,70	0,044	0,01	2,70
G4	1,46	34,9	6,66	18,1	0,002	2,09	0,060	0,01	2,40
G5	1,34	20,7	12,32	32,1	0,007	1,26	0,034	0,01	2,41
G6	0,89	20,4	9,96	38,8	0,045	0,97	0,035	0,01	1,11
G7	0,91	21,5	8,77	33,5	0,055	0,89	0,035	0,01	3,48
G9	1,02	16,8	17,24	32,4	0,009	0,65	0,025	0,01	0,36
G11	1,00	35,2	2,21	17,0	-	1,42	0,051	-	4,82

A área em questão possui todas as condições normalmente exigidas para a formação de capas lateríticas. O núcleo ultramáfico situa-se numa região peneplanizada, que tem um clima quente e úmido com alternância anual de um ciclo chuvoso e um ciclo de seca. Sendo o núcleo ultramáfico relacionado à idade cretácica, o tempo de atuação do intemperismo estende-se do Terciário ao Quaternário.

Evidenciou-se primeiramente que, em áreas onde a cobertura de laterito sofria um espessamento apreciável (parte SW, S e SE do maciço), atingindo em alguns casos até 16 m de espessura, havia igualmente um espessamento da área mineralizada que atingia até 32 m.

Foi verificado também que as áreas de maior espessamento de laterito eram áreas mediterrâneas entre as elevações de dunito e as rochas da Formação Furnas a W, SW e S e o sienito a S, SE e E.

Topograficamente, a parte sul do maciço apresenta um desnível pouco acentuado para sul, influenciando no sentido do escoamento das águas de "run-off", o que é observado até em tempos atuais.

Na parte norte do maciço o escoamento das águas de "run-off" é condicionado pelo desnível no sentido do rio Claro. As águas subterrâneas, por sua vez, são interceptadas pelo cone de captação do referido rio.

Admitindo que o processo de transporte e acúmulo de lateritos alóctones é basicamente idêntico ao processo de concentração de minério niquelífero em áreas lateritizadas, pode-se supor que, conhecendo-se os fatores que condicionaram a formação do la

terito, ter-se-ia identificado as causas e origens da mineralização.

As curvas de isópacas mostraram que nas partes W, SW, S e SE do maciço havia baixos topográficos possivelmente originados pela proximidade do contato das rochas ultramáficas (elevadas topograficamente) com o Arenito Furnas ou o sienito nefelínico.

Estes baixos teriam condicionado o transporte e o acúmulo do material clástico fino e grosseiro na parte sul do maciço em "bacias" de acumulação ali situadas. Realmente é nesta área que são observadas as mais espessas acumulações de minério.

Na parte norte do maciço os contatos das rochas ultramáficas com o Arenito Furnas e o sienito nefelínico também tiveram influência, porém, a captação das águas subterrâneas pela bacia do rio Claro parece ter sido o fator preponderante no acúmulo da mineralização.

5. TRABALHOS DE PESQUISA REALIZADOS

5.1 - Topografia

O primeiro trabalho desenvolvido nas áreas de pesquisa foi a abertura de picadas, tendo sido tomada como linha base, uma picada com sentido E-W, que foi piqueteada em intervalos de 200m. Perpendicularmente à linha base, foram abertas picadas com sentido N-S em intervalos de 400 m. Posteriormente, à medida que aumentava o conhecimento da área, foi necessário o estreitamento dos intervalos das picadas N-S para 200 m, e em alguns casos até para 100 m ou 50 m. (Anexo 1).

Como todos os trabalhos de pesquisa foram desenvolvidos ao longo das picadas, a localização dos pontos da malha de serviço foram a ela relacionados.

Na linha base E-W foram demarcados pontos 4EW, 6EW, 8EW etc., distantes, respectivamente, 400, 600 e 800 m de sua origem. De cada um desses pontos foi aberta uma picada Norte-Sul. A identificação de uma estação se faria por uma sigla do tipo 22-N-8 onde 22 corresponderia a 2.200 m da origem da picada base EW e N-8 800 m ao norte.

A mesma notação foi utilizada para as picadas situadas a sul da picada E-W, somente utilizando-se a sigla S ao invés de N.

O CECAR, através dos serviços aerofotogramétricos da Cruzeiro do Sul S/A., confeccionou um mapa topográfico da área de pesquisa, em escala de 1:10.000 com curvas de nível em intervalos de 2 m, através da restituição de fotografias aéreas em 1:20.000 e com controle de campo por telurômetro. Para tanto, a área foi novamente fotografada com auxílio de aeronave da CPRM.

5.2 - Geoquímica

A coleta sistemática de amostras para a análise geoquímica foi realizada paralelamente à abertura das primeiras picadas com a finalidade de selecionar áreas para trabalhos mais pormenorizados.

O processo de amostragem seguiu uma malha regular de 400 x 200 m, sendo o material proveniente da cobertura de solo da área, eliminando-se os 10 cm superficiais e amostrando-se até uma profundidade mais ou menos constante de 60 cm, com trado manual.

Quando necessário, a amostra era homogeneizada por fragmentação e posteriormente quarteado e o material resultante dividido em dois volumes de aproximadamente $0,5 \text{ dm}^3$ cada um. Depois de ensacados e devidamente identificados, um dos exemplares era encaminhado para análise no LAMIN, ficando o outro arquivado na área de pesquisa, para controle e eventuais confirmações de resultados analíticos.

Foi coletado um total de 145 amostras de solo que foram analisadas para Ni, Nb, Ti e P_2O_5 . Parte das amostras foram analisadas para Fe_2O_3 , MgO e SrO_2 e algumas para Co e Cr.

A interpretação dos trabalhos de geoquímica comprovou a sua eficiência na seleção de áreas para pesquisa mais pormenorizada.

5.3 - Poços de Exploração

No início dos trabalhos de pesquisa foram locados poços nas áreas selecionadas através da geoquímica, em malha regular de

400 m x 400 m. Com o desenvolvimento dos trabalhos esta malha foi reduzida para 200 x 200 m.

Nas áreas de pesquisa foram escavados 256 poços, totalizando 2.726 metros lineares correspondendo ao equivalente a 2.154 m³ escavados. Os poços tiveram, via de regra, seção circular com 1 m de diâmetro sendo o emprego raro da seção retangular motivado pelo maior volume de material removível.

Em grande parte da área foram executados poços sem escoramento em virtude do material de cobertura apresentar características não desmoronantes.

O avanço da escavação nesses locais atingiu uma média diária de 2 m. No entanto, quando da ocorrência de material de difícil rompimento (canga ou colúvio de sílexito), a produção diária atingia limites mínimos de até 20 cm. A profundidade máxima atingida foi de 26 m.

Nas áreas onde ocorreram espessa cobertura constituída por blocos de material silicificado imersos em uma matriz argilosa, os poços foram escorados a fim de evitar desmoronamentos empregando-se seção quadrada de 1,30 x 1,30 m.

O avanço da escavação nessas condições revelou-se lento e trabalhoso, tendo a penetração de 15 m consumido em média 30 dias. Apesar desse entrave, verificou-se que, neste tipo de material, o emprego de poço era mais adequado que a própria sondagem rotativa, onde houve grande desgaste de material por abrasão, além de recuperação muito baixa.

A paralização da escavação dos poços era ditada por evidências geológicas desfavoráveis, desmoronamento das paredes ou surgimento do nível freático.

A retirada do material escavado foi feita através de baldes elevados por uma instalação na superfície, constituída por roldanas fixas a um tripé de madeira, ou mais comumente por um sa_urilho.

5.4. - Cachimbos

Quando dos trabalhos nas encostas das elevações o perigo de desmoronamento tornou impraticável a abertura de poços sem escoramento optou-se pela locação de cachimbos a fim de expor a camada mineralizada.

Na maioria dos casos este tipo de escavação não se mostrou adequado, pois a camada mineralizada em geral apresentava-se com uma espessura maior do que aquela seccionada pelo cachimbos e os mesmos não tinham condições de serem ampliados devido ao grande perigo de desmoronamento.

No total foram locados 5 cachimbos, perfazendo 180 m³ de material removido.

5.5. - Sondagens

Com o desenrolar dos trabalhos foi observado que muitas vezes a camada mineralizada encontrava-se a uma profundidade tal que a pesquisa por poços escavados não fornecia subsídios suficientes para a sua real avaliação sendo portanto, necessária a locação de furos de sonda nos nós da malha que se enquadravam naquela situação.

A programação inicial dos trabalhos de pesquisa previa a execução de furos de sonda em uma malha regular de 800 x 800 m.

Após o cumprimento desse programa inicial, a malha de sondagem foi estreitada para 400 x 400 m e, posteriormente, para 200x200 m.

No cumprimento do programa foram utilizadas 5 sondas do tipo rotativa, no entanto, a maior parte do trabalho foi realizado por uma sonda Sondeq hidráulica, modelo SS-1, e duas Long-Year, hidráulicas, modelo 24. Alguns furos foram executados por uma sonda hidráulica Boyles-BB-S1 e uma Boyles-BB-S1 Jr de cabeça mecânica.

O sistema de circulação de água foi realizado por bombas de água Sondeq modelo SB₁ ou Sondap modelo BB5-12.

Ao iniciar-se um furo era utilizado normalmente o diâmetro NX, reduzido para BX aproximadamente aos 10 m de profundidade.

Nos intervalos de baixa recuperação e onde a rocha fraturada ameaçava a segurança do furo, foi necessária a redução do diâmetro para AX.

A recuperação média para as perfurações em camadas de cobertura de laterito atingiu a média de 90%. Quando em rocha fraturada a recuperação caía para 60% em média.

Nas áreas objeto da pesquisa foram executados 162 furos de sonda totalizando 5.565 metros lineares.

5.6. - Técnica de Amostragem

A amostragem do material dos poços e cachimbos foi feita pelo método do canal situado em uma das paredes da escavação, com 15 cm de largura por 5 cm de profundidade.

O material, amostrado de metro em metro, depois de homogeneizado era quarteado. O volume final separado em duas frações

TABELA I

ANÁLISES DE LABORATÓRIO

ELEMENTO DETERMINADO	NÚMERO DE ANÁLISES EFETUADAS				TOTAL
	ESPECTROMETRIA DE RAIOS-X			QUANTITATIVA VIA-ÚMIDA	
	SEMI- QUANTITATIVA	QUANTITATIVA	QUALITATIVA		
Ni	7.229	321	-	-	7.550
Fe	7.676	147	-	-	7.823
Mg	-	-	-	753	753
Ti	1.421	-	-	-	1.421
Nb	1.387	-	-	-	1.387
Cu	248	-	-	-	248
Co	221	-	-	-	221
P	-	-	-	609	609
SiO ₂	-	-	-	3	3
Al ₂ O ₃	-	-	-	46	46
Outros	-	-	154	-	154
TOTAL			154	1.411	20.215

de aproximadamente $0,5 \text{ dm}^3$, acondicionados em sacos plásticos e de pano que apresentavam a notação de identificação da amostra.

As primeiras vias das amostras eram encaminhadas ao LAMIN sendo as segundas vias armazenadas na área de pesquisa.

Os testemunhos de sondagem foram amostrados de metro em metro, sendo retirado 50% do volume do material para análises.

6. TÉCNICA DAS ANÁLISES DE LABORATÓRIO

Durante a realização dos trabalhos de pesquisa do Projeto Morro do Engenho foram coletadas cerca de 9.555 amostras provenientes de afloramentos, poços de exploração, trincheiras, cachimbos e furos de sonda, as quais foram analisados por métodos petrográficos, mineralógicos, químicos (via úmida) e principalmente por espectrometria de Raios X. A tabela I em anexo mostra o número de análises e os elementos determinados.

A grande maioria das análises para níquel foram efetuadas por espectrometria de Raios X no LAMIN, segundo os métodos semi-quantitativo e quantitativo.

Em ambos os métodos foi medida a raia K/alfa do Ni, utilizando o espectrômetro Philips PW 1540, com a fonte PW 1410 e o painel eletrônico PW 1360, contando com analisador de impulsos para discriminação de energia. Foi utilizado tubo de tungstênio, contador de cintilação e cristal de fluoreto de lítio.

6.1. - Método Semi-Quantitativo

As análises semi-quantitativas foram efetuadas diretamente com amostras pulverizadas a menos 200 meshes, sem qualquer

preparação especial, aplicando-se apenas uma correção matemática, estabelecida experimentalmente, em função do teor de ferro, este também determinado semi-quantitativamente por fluorescência de Raios - X. A correção era necessária, uma vez que o material em análise abrangia desde rocha alterada até lateritos com 70% Fe_2O_3 . Desta forma, passou-se a considerar que as amostras eram constituídas somente por sílica, ferro e níquel, desprezando-se o efeito dos outros elementos, ou por estarem presentes em baixa concentração, ou por serem elementos leves de baixo coeficiente de absorção.

Assim, foram preparados padrões de ferro, adicionando-se óxido de ferro à sílica, com os quais foram construídas três retas de calibração (intensidade da raia Fe/K/beta contra concentração nos intervalos de 1 - 15%, 15 - 30% e 30 - 70% Fe_2O_3). Uma outra série de padrões, contendo um teor constante de níquel em sílica e com teores variáveis de ferro (1 a 70% Fe_2O_3), permitiu medir os coeficientes de absorção do níquel pelo ferro e construir uma reta dos respectivos fatores de correção da intensidade da raia K/alfa do níquel em função do teor de Fe_2O_3 .

Uma terceira série de padrões de níquel, obtidos pela adição de óxido de níquel à sílica foi utilizada para a construção de 3 retas de calibração, abrangendo os intervalos de 0,01-0,10%, 0,10 - 1,00% e 1,00 - 3,0% Ni.

Na preparação de todos os padrões foram utilizados óxidos pró-análise e areia de quartzo lavada e calcinada Riedel.

Tanto para o ferro, como para o níquel, foram feitas duas leituras da intensidade de 10 segundos cada, seja para raia analítica, seja para o "background".

6.2. - Método Quantitativo

As amostras de teor superior a 0,50% Ni, selecionadas nu ma primeira fase, foram submetidas à análise quantitativa. Esta e tapa implicou numa preparação especial das amostras, envolvendo: diluição na razão de 1:10 em areia de quartzo, para minimizar o efeito de matriz, homogeneização em moinho de placa oscilante e prensagem. Foi ainda aplicada a correção para o ferro.

Como padrões para preparação da curva de calibração fora m selecionadas 26 amostras de diferentes áreas, as quais foram submetidas à análise quantitativa por espectrografia de emissão no laboratório da GEOSOL - Geologia e Sondagem, de Belo Horizonte. A exatidão desses resultados foi verificada por comparação com os valores obtidos, para metade das amostras, por absorção atômica, no laboratório da Field Services Section (Mc Intyre) do U.S. Geo logical Survey, havendo uma boa concordância entre os dois laborato rios. Com esses valores obteve-se então uma reta de regressão, e as concentrações de Ni foram novamente calculadas segundo esta re ta, conforme a Tabela II anexa.

Nesta tabela pode-se observar que 80% das amostras têm um erro igual ou menor que 5% e todas, erro inferior a 10%, conside rando-se os resultados da emissão como valores reais da concentra ção.

TABELA II

AMOSTRA	EMIÇÃO (1) (%Ni)	RAIOS=X (2) (%Ni)	E%
1	1.02	0.99	2,9
2	0.98	1.01	3,1
3	1.66	1.72	4,2
4	1.24	1.22	1,6
5	1.00	1.03	3,0
6	1.25	1.16	7,2
7	1.36	1.36	0,0
8	1.11	1.14	2,7
9	1.59	1.46	8,2
10	1.74	1.72	1,2
11	1.39	1.45	4,3
12	1.52	1.65	8,5
13	0.68	0.63	7,3
14	0.88	0.88	0,0
15	1.20	1.25	4,2
16	2.3	2.28	0,9
17	1.92	1.91	0,5
18	1.81	1.77	2,2
19	1.47	1.49	1,4
20	0.86	0.84	2,3
21	0.80	0.76	5,0
22	1.72	1.64	4,6
23	1.56	1.67	7,0
24	1.49	1.41	5,4
25	1.36	1.36	0,0
26	1.30	1.36	4,6

(1) - Laboratório da GEOSOL

(2) - Raios X - LAMIN

6.3. - Correlação Estatística

Todas as determinações de teores em níquel utilizadas no estudo da jazida de níquel do Morro do Engenho foram obtidas se

gundo o método quantitativo, sendo que em 485 determinações empregou-se diretamente a espectrometria dos raios X, enquanto que as restantes foram interpretadas a partir da reta de correspondência estatística entre análises semi-quantitativas e análises quantitativas.

Tal procedimento foi motivado, principalmente, por medida de economia, pois a realização de novas análises quantitativas das amostras, além de perda de tempo, ocasionaria um substancial ônus nos trabalhos, haja visto o custo das análises quantitativas que são, aproximadamente, cerca de 100% mais onerosas que análises semi-quantitativas.

Deve ser acrescido que a necessidade de se solucionar de maneira rápida e eficiente o problema da homogeneização dos resultados das análises químicas, propiciou a oportunidade de se poder empregar a geoestatística, técnica moderna e com ampla aplicação atualmente na condução e exame de problemas de geologia aplicada em geral e pesquisa de jazidas de níquel laterítico em particular.

A construção de uma curva onde a cada valor de uma análise quantitativa, com um erro mínimo conhecido, foi a solução considerada a mais adequada ao problema.

Para a caracterização da curva de correspondência de análises semi-quantitativas/quantitativas pode-se empregar a teoria estatística a duas variáveis, desde que seja realizada uma amostragem aleatória (sem escolha) de um determinado número de resultados onde estariam consignados, para cada amostra, o valor da análise quantitativa e o correspondente valor da análise semi-quantitativa.

Se forem colocados no eixo das abcissas, de um sistema cartesiano ortogonal, os valores semi-quantitativos e no eixo das ordenadas os valores quantitativos, para cada uma das amostras, obteremos uma "nuvem de pontos" que pode se ajustar segundo uma reta, segundo o formato grosseiro de uma elipse ou não ter formato que possa ser bem caracterizado.

No primeiro caso existirá uma funcionalidade perfeita entre as análises, isto é, a cada valor semi-quantitativo corresponderá um único valor quantitativo e vice-versa; no segundo caso existirá uma correlação entre as análises, isto é, a cada valor semi-quantitativo corresponderá uma "população" de valores quantitativos; no terceiro caso os valores das análises são independentes uns dos outros.

Para escolher o tipo de curva a adotar é necessário conhecer a qual lei de distribuição estatística se pode ajustar os resultados das análises quantitativas, semi-quantitativas e relação das análises semi-quantitativas/quantitativas. Caracterizada essa lei, é possível então aplicar todos os raciocínios inerentes à mesma.

Para a construção da reta de correspondência entre as análises semi-quantitativas e as análises quantitativas do problema em foco, foram consideradas 557 amostras, escolhidas ao acaso, e os resultados tabelados.

Inicialmente foram feitos os cálculos para a determinação das medianas, variâncias e desvios-padrões dos teores quantitativos, semi-quantitativos e relação semi-quantitativa/ quantitativa, de acordo com o procedimento das Tabelas III, IV e V anexas.

Utilizando-se o papel gausslogarítmico foram construídas as Retas de Henri conforme disposto no Gráfico I, onde pode-se observar

Utilizando-se o papel gausslogarítmico foram construídas as Retas de Henri conforme disposto no Gráfico I, onde pode-se observar que os teores quantitativos e semi-quantitativos se ajustam perfeitamente bem, segundo a lei lognormal e as variâncias respectivas são praticamente iguais (retas paralelas). A reta de Henri da relação semi-quantitativa/quantitativa mostra uma variância muito pequena (reta quase paralela ao eixo das ordenadas), denotando uma certa constância na relação das análises.

Uma vez que constatado que os teores se ajustam segundo a lei lognormal, os resultados foram plotados num papel dilog conforme mostrado no Gráfico 2, podendo-se observar que a "nuvem de pontos" obtida parece tender para o formato grosseiro de uma elipse achatada.

Para a construção da Reta de Correspondência foram empregadas as fórmulas da teoria estatística mostradas no Gráfico 2.

Do estudo geoestatístico procedido nas 557 análises da jazida de níquel do Morro do Engenho foram tiradas as seguintes conclusões de interesse imediato para as pesquisas:

- Existe uma fortíssima correlação estatística entre as análises quantitativas e semi-quantitativas, pois o coeficiente de correlação r é elevado ($r = 0,95$). Esse fato já pôde ser vislumbrado na análise das Retas de Henri e na "nuvem de pontos" do Gráfico 2.

- Tendo em vista o baixíssimo valor calculado para d ($d = 0,2896$ mm), a reta de regressão coincide, praticamente com a reta de correspondência. A título de esclarecimento lembramos que a reta de regressão é o lugar geométrico das medianas de y para cada valor de x ; a reta de correspondência é o lugar geométrico das médias de y para cada valor de x .

INDÍCIO: MORRO DO ENGENHO
 AMOSTRAGEM: ANÁLISES QUANTITATIVAS DE NÍQUEL

INTERVALO DAS CLASSES	Nº OBS. POR CLASSE	%	f ACUM.	n	x	lgx	nlgx	nlgx ²
1,0					1,0	0		
1,26					1,26	0,1		
1,58					1,58	0,2		
1,99					1,99	0,3		
2,51					2,51	0,4		
3,16					3,16	0,5		
3,98	21	100	558	21	3,98	0,6	12,6	7,56
5,01	85	96,23	537	85	5,01	0,7	59,5	41,65
6,31	114	81,00	452	114	6,31	0,8	91,2	72,96
7,94	121	60,57	338	121	7,94	0,9	108,9	98,01
10	129	38,88	217	129	10	1	129,0	129,00
12,6	53	15,77	88	53	12,6	1,1	58,3	64,13
15,8	25	6,27	35	25	15,8	1,2	30,0	36,00
19,9	5	1,79	10	5	19,9	1,3		8,45
25,1	3	0,89	5	3	25,1	1,4	4,2	5,88
31,6	2	0,35	2	2	31,6	1,5	3,0	4,50
39,8					39,8	1,6		
50,1					50,1	1,7		
63,1					63,1	1,8		
79,4					79,4	1,9		
100					100	2		
126					126	2,1		
199					199	2,2		
251					251	2,3		
				558			503,20	468,14

TABELA III

INDÍCIO: MORRO DO ENGENHO
 AMOSTRAGEM: ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS DE NÍQUEL

INTERVALO DAS CLASSES	Nº OBS. POR CLASSE	%	f ACUM.	n	x	lgx	nlgx	nlgx ²
1,0					1,0	0		
1,26					1,26	0,1		
1,58					1,58	0,2		
1,99					1,99	0,3		
2,51					2,51	0,4		
3,16					3,16	0,5		
3,98	4	100	557	4	3,98	0,6	2,4	1,44
5,01	42	99,28	553	42	5,01	0,7	29,4	20,58
6,31	98	91,74	511	98	6,31	0,8	78,4	62,72
7,94	129	74,14	413	129	7,94	0,9	116,1	104,49
10	91	50,98	284	91	10	1	91,0	91,00
12,6	97	34,64	193	97	12,6	1,1	106,7	117,37
15,8	55	17,23	96	55	15,8	1,2	66,0	79,20
19,9	32	7,36	41	32	19,9	1,3	41,6	54,08
25,1	4	1,61	9	4	25,1	1,4	5,6	7,84
31,6	5	0,89	5	5	31,6	1,5	7,5	11,25
39,8					39,8	1,6		
50,1					50,1	1,7		
63,1					63,1	1,8		
79,4					79,4	1,9		
100					100	2		
126					126	2,1		
199					199	2,2		
251					251	2,3		
				557			544,7	549,97

TABELA IV

INDÍCIO: MORRO DO ENGENHO

AMOSTRAGEM: RELAÇÃO ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS/QUANTITATIVAS

INTERVALO DAS CLASSES	Nº OBS. POR CLASSE	%	f ACUM.	n	x	lgx	nlgx	nlgx ²
1,0					1,0	0		
1,26					1,26	0,1		
1,58					1,58	0,2		
1,99					1,99	0,3		
2,51					2,51	0,4		
3,16					3,16	0,5		
3,98					3,98	0,6		
5,01					5,01	0,7		
6,31	2	100	557	2	6,31	0,8	1,6	1,28
7,94	22	99,64	555	22	7,94	0,9	19,8	17,82
10	402	95,69	533	402	10	1	402,0	402,00
12,6	122	23,51	131	122	12,6	1,1	134,2	147,62
15,8	7	1,61	9	7	15,8	1,2	8,4	10,08
19,9	2	0,35	2	2	19,9	1,3	2,6	3,38
25,1					25,1	1,4		
31,6					31,6	1,5		
39,8					39,8	1,6		
50,1					50,1	1,7		
63,1					63,1	1,8		
79,4					79,4	1,9		
100					100	2		
126					126	2,1		
199					199	2,2		
251					251	2,3		
				557			568,6	582,18

TABELA V

ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS

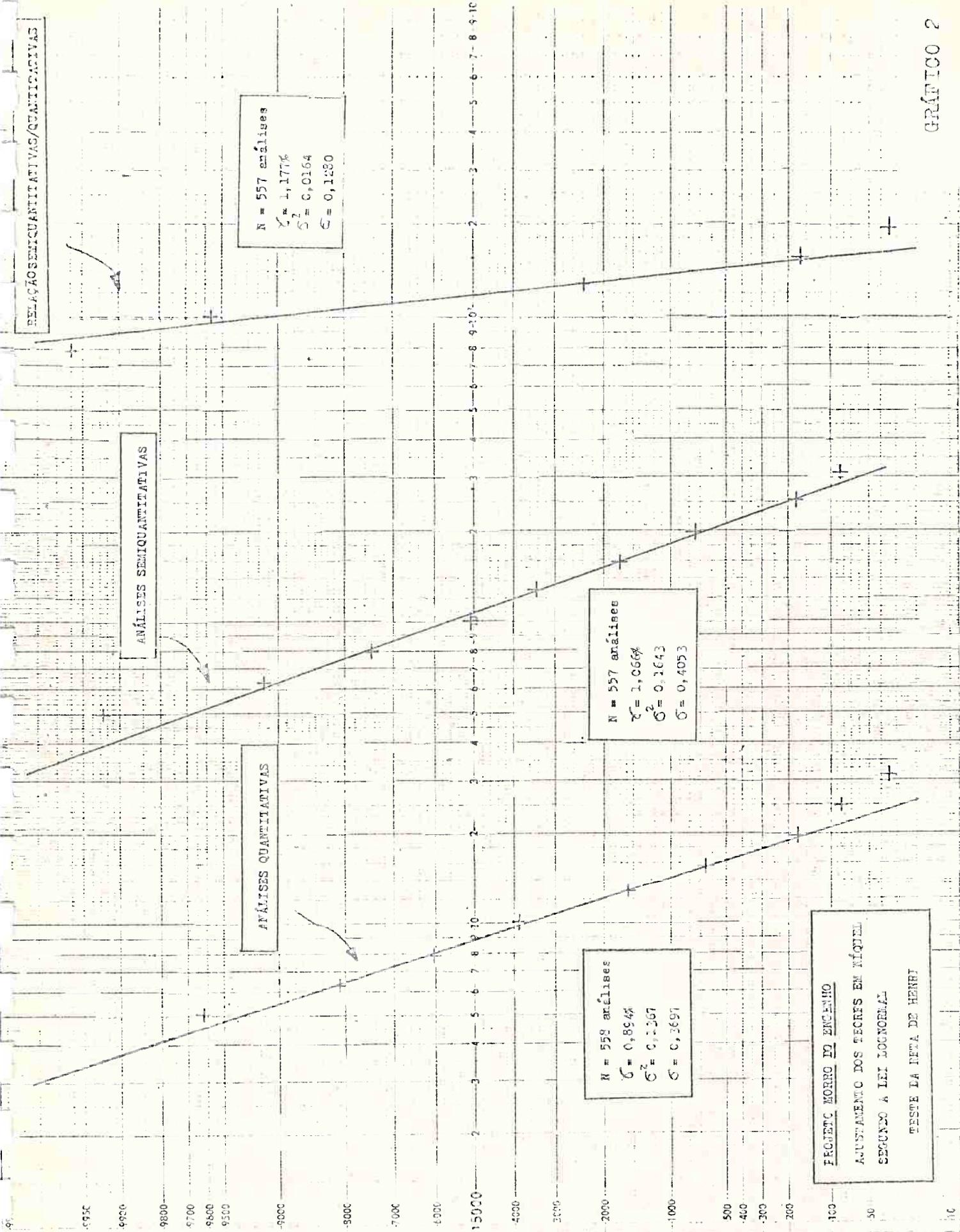
ANÁLISES QUANTITATIVAS

N = 557 análises
 $\chi^2 = 1,1776$
 $\sigma^2 = 0,0164$
 $\sigma = 0,1280$

N = 557 análises
 $\chi^2 = 1,0664$
 $\sigma^2 = 0,1643$
 $\sigma = 0,4053$

N = 558 análises
 $\chi^2 = 0,8944$
 $\sigma^2 = 0,2367$
 $\sigma = 0,3697$

PROJETO MORRO DO ENGENHO
AJUSTAMENTO DOS TETRIS EM NÍVEL
SEGUNDO A LEI LOGNORMAL
TESTE LA DETA DE HENRI



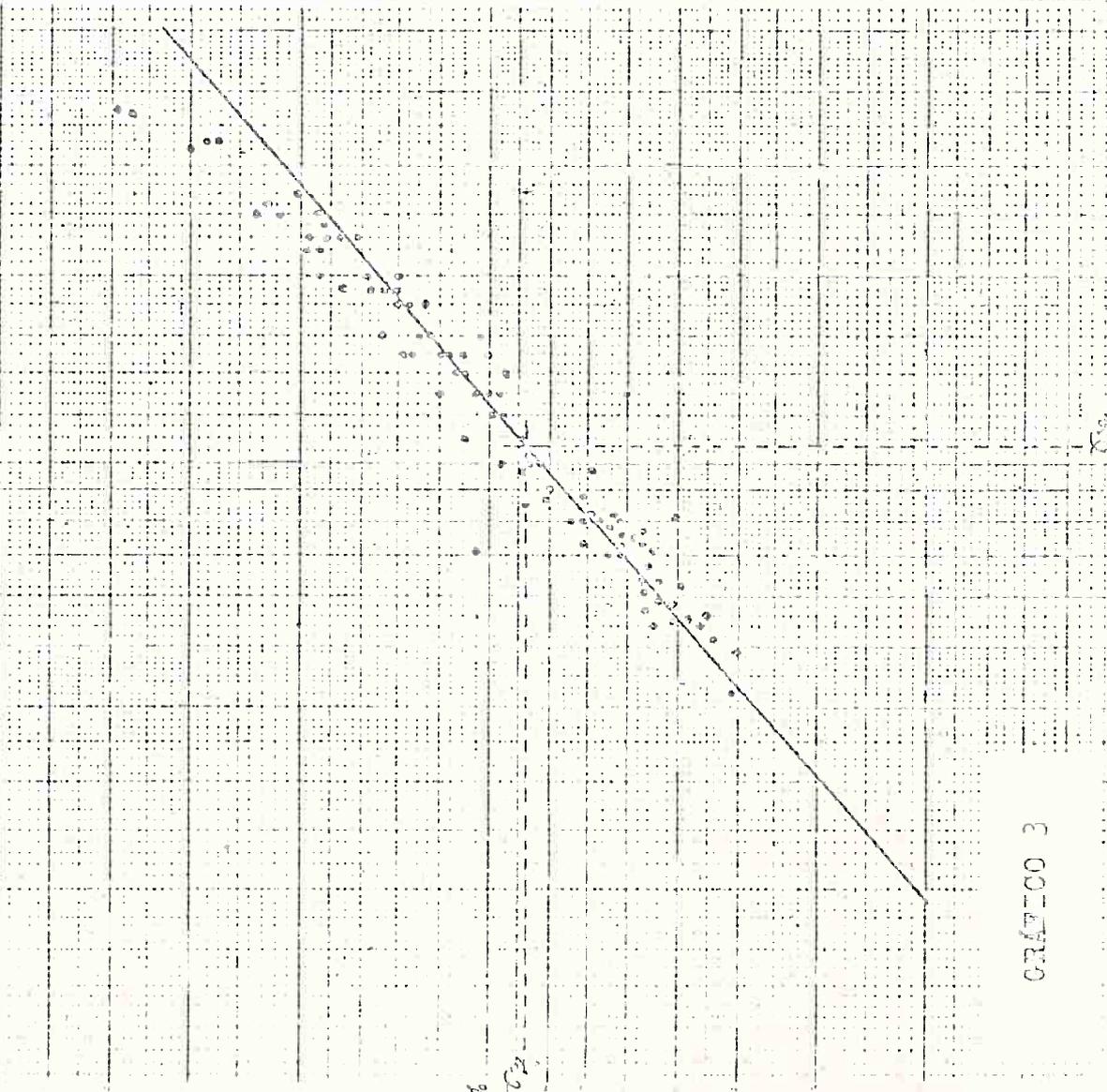


GRÁFICO 3

CÁLCULO DA RETA

1. Coef. Correlação: $r = \frac{\sigma_{xy} + \sigma_x^2 - \sigma_y^2}{2 \sigma_x \sigma_y} = \frac{0,2846}{0,2956} = 0,9499$

2. Coef. Angular: $p = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x} \cdot r = \frac{0,3511}{0,4053} = 0,866$

3. Deslocamento: $d = 0,434 \sigma_y^2 (1-r^2) \cdot 100/2 = 0,0593 \cdot 4,885 = 0,2896$ mm (A reta de regressão coincide, praticamente, com a de correspondência)

4. Precisão da Reta

4.1 - Para um valor

$\sigma_w^2 = \sigma_y^2 (1 - r^2) = 0,0133$

$\sigma_w = \pm 0,1157$

Nível 68%

Nível 95%

$\sigma_w = \pm 11,57\%$

$2 \sigma_w = \pm 23,14\%$

4.2 - Para a média

$\sigma_w^2 = \frac{\sigma_y^2 (1-r^2) + 1/2 \sigma_y^4 (1-r^4)}{N} =$

$0,27 \cdot 10^{-4}$

$\sigma_w = \pm 0,0052$

Nível 68%

Nível 95%

$\sigma_w = \pm 0,52\%$

$2 \sigma_w = \pm 1\%$

(Erro sobre a média de um grande número de valores interpretados a partir da reta)

- O erro sobre a média de um grande número de análises quantitativas interpretadas a partir da reta de correspondência é de apenas $\pm 1\%$ ao nível de 95% de probabilidade e $\pm 0,52\%$ ao nível de 68% de probabilidade. O erro para um valor é de $\pm 23,14\%$ ao nível de 95% de probabilidade e $\pm 11,5\%$ ao nível de 68% de probabilidade.

Em virtude das constatações resultantes do estudo realizado conforme descrito acima foi considerado plenamente justificável a não realização de análises pelo método quantitativo, empregando diretamente a espectrometria dos Raios X.

7. AValiação DAS RESERVAS

Para fins de avaliação das reservas foi utilizada, como base topográfica, uma planta em escala de 1:10.000 e o posicionamento das estações foi controlado por levantamento plano altimétrico.

Para o desenvolvimento dos cálculos foram considerados os resultados das análises de amostras provenientes dos poços de exploração, tricheiras, cachimbos e testemunhos de sondagem.

Conforme já acentuado, as análises para níquel foram feitas espectrografia de Raios X segundo os métodos semi-quantitativo e quantitativo.

O método empregado para o cálculo das reservas foi o chamado dos blocos geológicos uma vez que os trabalhos de pesquisa (poços, trincheiras, furos de sonda) estavam regularmente distribuídos em toda a zona potencialmente mineralizada em malha base de 200 x 200 m.

7.1. - Cálculo da Densidade do Minério

A determinação da densidade do minério "in situ" foi feita pesando-se o minério removido de 2 poços de dimensões 2x1 m e localizados em pontos previamente escolhidos, sendo um onde o minério é aflorante e outro, onde o capeamento estéril é de 2 m.

Para o primeiro poço a densidade calculada foi de 1,71 e no segundo 1,75 tomando-se então como densidade do minério "in situ" o valor de 1,73 que representa a média aritmética daqueles valores calculados.

Para o cálculo da umidade do minério foram coletadas 27 amostras que foram homogeneizadas e quarteadas e em seguida pesadas, posteriormente secadas na estufa à temperatura de 130-140°C e novamente pesadas.

Obteve-se dessa forma o peso da amostra úmida, peso da amostra seca, peso da água e % de umidade.

A umidade média foi determinada pela fórmula:

$$U \text{ média} = \frac{\sum (U_i \times P_u)}{\sum P_u}, \text{ tendo-se calculado o}$$

valor 26,78% para a umidade do minério do Morro do Engenho.

A densidade do minério seco (D seca) foi determinada com o auxílio da fórmula:

$D \text{ seca} = D \text{ úmida} - (D \text{ úmida} \times U \text{ média})$, que forneceu $D \text{ seca} = 1,27$ utilizada no cálculo das reservas.

7.2. - Cálculo dos Blocos

Considerando-se a regularidade da malha utilizada com espaçamentos de 200 m e pequenas variações para 100 a 50 m em alguns locais, determinou-se os blocos de cubagem pelas distâncias médias entre os trabalhos de pesquisa. Assim, por exemplo, um poço cercado por outros poços localizados a 200 m do primeiro se ria o centro de um bloco com área de 200 x 200 m.

Se a distância entre o poço e um poço vizinho fosse de 100 m, mantendo-se constante (200 m) as outras distâncias, a área do bloco seria de 150 x 200 m. O mesmo raciocínio deve ser apli cado para aqueles trabalhos distanciados de 50 m entre si, cujos blocos, respectivamente, teriam uma área de 50 x 50 m. Quando não existem trabalhos de pesquisa nas vizinhanças de um bloco minera lizado, o limite externo do bloco foi determinado pelo raio de in fluência de 100 m.

7.3. - Espessura do Capeamento (Ec)

Para cada bloco, a espessura de estéril foi aquela cor respondente à zona com teores abaixo do "cut-off" considerado, ime diatamente superior à zona com teores acima do "cut-off" atraves sada pelo trabalho de pesquisa respectivo.

Levando-se em conta que a diferenciação visual, no caso de minério laterítico de níquel, entre material mineralizado e ma terial abaixo do "cut-off" é praticamente impossível, foi, em cer tos casos, necessário o abandono de um nível com teores acima do "cut-off" em meio a níveis com teores abaixo do "cut-off", a fa vor de zonas mais espessas, embora mais profundas, com teores fa voráveis.

Por outro lado, pelo mesmo motivo, torna-se praticamente impossível, em termos de mineração, separar níveis com teores abaixo do "cut-off" de níveis com teores favoráveis, quando aqueles estão em meio a estes.

Levando-se em conta que a amostragem em poços, pela sua própria natureza, é muito mais segura e significativa, foi considerada como espessura de capeamento estéril aquele intervalo superior do poço ou cachimbo com teores abaixo do "cut-off", mesmo quando, havendo na locação também um furo de sonda, o intervalo superior desse último apresentou mineralização acima do "cut-off".

Para cada área e para toda a jazida, a espessura média de capeamento (E_c) foi calculada ponderando-se a espessura de capeamento de cada bloco (E_c) por sua respectiva área de influência (A_i). Deste modo, temos:

$$E_{c \text{ média}} = \frac{\sum (A_i \times E_c)}{\sum A_i}$$

7.4. - Espessura Mineralizada (E_m)

Para cada bloco, utilizando-se o mesmo raciocínio anterior, com referência à maior representatividade da amostragem por poços e cachimbos, do que por testemunhos de sondagem, considerou-se como espessura mineralizada de cada bloco aquela correspondente ao poço ou cachimbo nele abrangido, até o seu final; somente a partir desse final, ou quando só haviam furos de sonda no bloco, é que foram considerados os teores dos testemunhos de sondagem.

No caso em que poço e furo de sonda deram mineralização acima do "cut-off", no mesmo nível, foram sempre considerados os teores dos poços nesses níveis.

Para cada área e para toda a jazida, a espessura média mineralizada ($E_{m\text{ média}}$) foi calculada ponderando-se a espessura mineralizada de cada bloco (E_m) por sua respectiva área de influência (A_i). Deste modo, temos:
$$E_{m\text{ média}} = \frac{\sum (A_i \times E_m)}{\sum A_i} .$$

7.5. - Teor Médio (t_i)

Para cada bloco e levando-se em conta as observações feitas nos itens anteriores com relação a poços e furos de sonda, os teores médios da mineralização foram calculados pelas médias aritméticas dos teores encontrados nos poços, preferencialmente, e furos de sonda, já que a amostragem foi regular, obedecendo à espessura de 1 m.

Os teores foram considerados sempre quantitativos, obtidos pela análise de Raios X ou pela correlação estatística.

Para cada área e para toda a jazida, a média dos teores médios ($t_{i\text{ médio}}$) foi calculada ponderando-se o teor médio de cada bloco (t_i) por sua respectiva tonelagem de minério (T_m). Deste modo, temos:
$$t_{i\text{ médio}} = \frac{\sum (T_m \times t_i)}{\sum T_m} .$$

7.6. - Área de Influência (A_i)

Para cada bloco, considerando-se que os trabalhos de pesquisa obedeceram a espaçamentos regulares de 200, 100 e 50 m, a área de influência dos blocos foi calculada utilizando-se uma escala graduada.

Para cada área e para toda a jazida, a área de influência total (A_{i_total}) foi calculada somando-se as áreas de influência de cada bloco (A_i). Deste modo, temos: $A_{i_total} = \sum A_i$.

7.7. - Volume do Capeamento Estéril (V_c)

Para cada bloco o volume do capeamento estéril foi calculado multiplicando-se a espessura do capeamento (E_c) pela área de influência (A_i).

Para cada área e para toda a jazida, o volume total de capeamento (V_{c_total}) foi calculado somando-se os volumes de capeamento de cada área. Deste modo, temos: $V_{c_total} = \sum V_c$.

7.8. - Volume da Zona Mineralizada (V_m)

Para cada bloco o volume da zona mineralizada foi calculado multiplicando-se a área de influência (A_i) pela espessura mineralizada correspondente (E_m). Para cada área e para toda a jazida o volume total mineralizado (V_{m_total}) foi calculado somando-se os volumes mineralizados de cada área. Deste modo, temos: $V_{m_total} = \sum V_m$.

7.9. - Tonelagem de Minério (T_m)

Para cada bloco a tonelagem de minério foi calculada multiplicando-se o volume da zona mineralizada (V_m) pela densidade de minério ($d = 1,27 \text{ g/cm}^3$). Para cada área e para toda a

jazida a tonelagem total de minério ($T_{m_{total}}$) foi calculada so mando-se as tonelagens de cada bloco. Assim temos: $T_{m_{total}} = \sum T_m$.

7.10. - Tonelagem de Níquel (T_{mi})

Para cada bloco a tonelagem de níquel contido foi calculada multiplicando-se a tonelagem de minério do bloco (T_m) pelo teor médio respectivo (t_i). Para cada área e para toda a jazida a tonelagem total de níquel contido ($T_{mi_{total}}$) foi calculado so mando-se as tonelagens de níquel de cada bloco. Deste modo, temos:

$$T_{mi_{total}} = \sum T_{mi}$$

7.11. - Relação de Mineração (R_{mi})

Para cada bloco a relação de mineração foi calculada dividindo-se o volume de capeamento do bloco (V_c) pela tonelagem de minério respectiva (T_m). Para cada área e para toda a jazida a relação de mineração média ($R_{mi_{média}}$) foi calculada dividindo-se o volume total de capeamento ($V_{c_{total}}$) pela tonelagem total de minério ($T_{m_{total}}$). Deste modo, temos: $R_{mi_{média}} = \frac{\sum V_c}{\sum T_m}$.

7.12. - Teor de Corte ("Cut-Off Grade")

Para efeito de melhor apreciação das reservas de minério do Morro do Engenho, os cálculos foram realizados tomando-se por base dois "cut-off": 0,80% Ni e 1,10% Ni. Tais cálculos en

contram-se em tabelas separadas, para cada um constando as reservas medida, indicada e inferida, separadamente, de cada área de pesquisa, e a reserva total.

7.13. - Reserva Medida

Como explicado anteriormente, a área dos blocos de cubagem foi estabelecida através das meias-distâncias entre dois trabalhos de pesquisa e, no caso de não existir trabalho de pesquisa nas vizinhanças de um bloco, o limite externo foi determinado por um raio de influência de 100 metros.

Para a reserva medida, e para efeito de maior segurança, a área de influência do bloco, entre um poço ou furo estéril e outro mineralizado, foi considerada como sendo de $1/4$ da distância entre ambos. No caso de não existir trabalhos de pesquisa nas vizinhanças do bloco, o limite considerado da área da reserva medida foi o trabalho de pesquisa.

7.14. - Reserva Indicada

Como reserva indicada foi considerada aquela correspondente à área contida entre o limite da área de reserva medida ($1/4$ da distância entre um poço ou furo de sonda mineralizado e um estéril) e a metade da distância entre um trabalho de pesquisa positivo e um negativo, ou seja o limite do bloco total.

No caso de não existir trabalho de pesquisa nas vizinhanças do bloco, o limite externo da reserva indicada foi considerada como sendo aquela contida entre os limites da reserva medida e a meia distância entre a reserva medida e o limite do bloco.

7.15. - Reserva Inferida

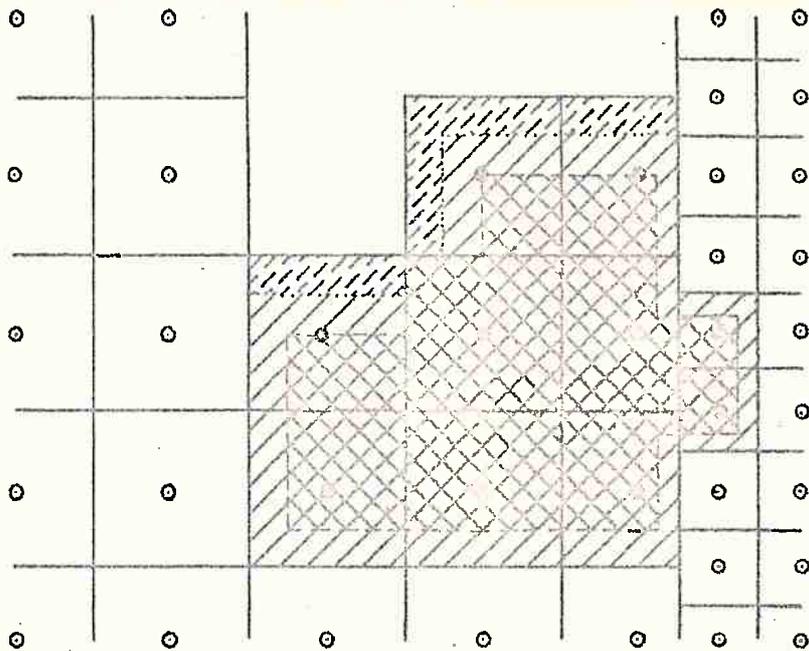
A reserva inferida somente foi considerada, devido ao cerramento da malha de pesquisa, nos blocos onde não houve trabalhos de pesquisa nas vizinhanças de bloco mineralizado.

A área da reserva inferida considerada foi aquela contida entre os limites da reserva indicada e o limite do bloco.

A Figura 5 fornece uma idéia geral do exposto neste item e nos anteriores.

7.16. - Tabulação das Reservas

Os resultados obtidos nos cálculos das reservas Medida, Indicada e Inferida, e o cálculo da Relação de Mineração para cada área de pesquisa com os respectivos totais estão expressos nos quadros a seguir.

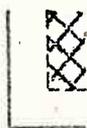


○ Poço e/ou Furo Estéril

● Poço e/ou Furo Mineralizado



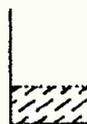
Limite do Bloco



Limite da reserva Medida



Limite da reserva Indicada



Limite da reserva Inferida



Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM

Diretoria da Área de Pesquisas

PROJETO MORRO ENGENHO

ESQUEMA DOS LIMITES DAS RESERVAS

FIG.

ESCALA

5

0 100 200 400 600m

QUADRO GERAL DAS RESERVAS AVALIADAS

TEOR DE CORTE 0.80% Ni	RESERVA	TONELAGEM DE MINÉRIO	TEOR MÉDIO (% Ni)	NÍQUEL CONTIDO (% Ni)
	MEDIDA	26.767.753	1,123	300.520
	INDICADA	10.658.134	1,068	113.833
	INFERIDA	1.200.150	0,978	11.734
	TOTAL	38.626.037	1,103	426.087

TEOR DE CORTE 1,10% Ni	RESERVA	TONELAGEM DE MINÉRIO	TEOR MÉDIO (% Ni)	NÍQUEL CONTIDO (% Ni)
	MEDIDA	11.956.517	1,341	160.360
	INDICADA	6.056.097	1,298	78.591
	INFERIDA	263.525	1,238	3.262
	TOTAL	18.276.139	1,325	242.213

QUADRO DAS RESERVAS AVALIADAS POR ÁREA DE PESQUISA

Teor de Corte: 1.10% Ni

ÁREA	RESERVA	TEOR MÉDIO (% Ni)	TONELAGEM DE MINÉRIO (t)	NÍQUEL CONTIDO (t)	VOLUME DE CAPEAMENTO (m ³)	RELAÇÃO DE MINERAÇÃO (m ³ /t)
4	Medida	1,847	45.085	832,676	94.000	2,085
	Indicada	1,478	167.005	2.468,690	374.000	2,240
	Inferida	1,254	127.000	1.592,530	290.000	2,284
	SUB-TOTAL	1,443	339.090	4.893,946	758.000	2,235
5	Medida	1,331	2.294.097	30.522,468	4.870.025	2,123
	Indicada	1,315	2.404.016	31.610,446	4.631.375	1,927
	Inferida	1,260	50.800	640,080	80.000	1,575
	SUB-TOTAL	1,322	4.748.913	62.772,994	9.581.400	2,018
6	Medida	1,341	3.766.571	50.781,208	6.698.850	1,769
	Indicada	1,316	1.941.102	25.539,748	2.687.400	1,365
	Inferida	1,120	9.525	106,680	35.000	3,675
	SUB-TOTAL	1,332	5.737.198	76.427,636	9.421.250	1,642
7	Medida	1,342	5.830.764	78.224,079	4.940.125	0,847
	Indicada	1,229	1.543.974	18.971,555	2.260.075	1,464
	Inferida	1,210	76.200	922,020	280.000	3,675
	SUB-TOTAL	1,317	7.450.938	98.118,054	7.480.200	1,004
TOTAL			18.276.139	242.212,630	27.240,850	1,491

QUADRO DAS RESERVAS AVALIADAS POR ÁREA DE PESQUISA

Teor de Corte: 0,80% Ni

ÁREA	RESERVA	TEOR MÉDIO (% Ni)	TONELAGEM DE MINÉRIO (t)	NÍQUEL CONTIDO (t)	VOLUME DE CAPEAMENTO (m ³)	RELAÇÃO DE MINERAÇÃO (m ³ /t)
4	Medida	1,090	93.853	1.022,998	162.500	1,731
	Indicada	1,150	439.928	5.059,058	669.500	1,522
	Inferida	1,017	342.265	3.482,085	530.000	1,549
	SUB-TOTAL	1,092	875.046	9.564,142	1.362.000	1,555
5	Medida	1,090	7.572.504	82.515,365	9.258.825	1,223
	Indicada	1,075	3.777.997	40.618,675	4.284.375	1,134
	Inferida	1,039	193.040	2.005,594	186.000	0,964
	SUB-TOTAL	1,064	11.543.541	125.139,624	13.729.200	1,189
6	Medida	1,113	8.964.139	99.748,484	8.136.175	0,908
	Indicada	1,064	3.440.878	36.620,188	2.580.025	0,750
	Inferida	0,900	334.645	3.010,345	250.000	0,747
	SUB-TOTAL	1,094	12.739.662	139.379,017	10.966.200	0,661
7	Medida	1,157	10.137.257	117.232,769	4.628.180	0,457
	Indicada	1,051	2.999.331	31.534,715	1.905.700	0,635
	Inferida	0,980	330.200	3.235,960	150.000	0,454
	SUB-TOTAL	1,129	13.466.788	152.003,444	6.683.880	0,496
TOTAL			38.626.037	426.086,227	32.741.280	0,848