

Noções de Prospecção e Pesquisa Mineral para Técnicos de Geologia e Mineração

Mário Tavares de Oliveira Cavalcanti Neto
Alexandre Magno Rocha da Rocha



IFRN Editora

Noções de Prospecção e Pesquisa Mineral para Técnicos em Geologia e Mineração

Presidente da República
Luiz Inácio Lula da Silva

Ministro da Educação
Fernando Haddad

Secretaria de Educação Profissional Tecnológica
Eliezer Moreira Pacheco

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN)

Reitor
Belchior de Oliveira Rocha

Diretor da Campos Central de Natal
Enilson Araújo Pereira

Pró-Reitor de Pesquisa e Inovação
José Yvan Pereira Leite

Coordenador da Editora do IFRN
Samir Cristino de Souza

Conselho Editorial
Samir Cristino de Souza (Presidente)
André Luiz Calado de Araújo
Dante Henrique Moura
Jerônimo Pereira dos Santos
José Yvan Pereira Leite
Valdenildo Pedro da Silva

MARIO TAVARES DE OLIVEIRA CAVALCANTI NETO
ALEXANDRE MAGNO ROCHA DA ROCHA

Noções de Prospecção e Pesquisa Mineral para técnicos de Geologia e Mineração

IFRN Editora
2010

Noções de Prospecção e Pesquisa Mineral para técnicos em Geologia e Mineração
© Copyright 2010 da Editora do IFRN

Todos os direitos reservados

Nenhuma parte dessa publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora do IFRN.

O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade dos autores.

Divisão de Serviços Técnicos.
Catalogação da publicação na fonte.
Biblioteca Sebastião Fernandes (BSF) – IFRN

Noções de Prospecção e Pesquisa Mineral para Técnicos de Geologia e Mineração/ Mário Tavares de Oliveira Cavalcanti Neto e Alexandre Magno Rocha da Rocha – Natal/RN: Editora do IFRN-RN, 2010.

267 p.
ISBN 978-85-89571-52-4

1. Prospecção e Pesquisa Mineral. 2. Ensino. 3. Ciência e tecnologia. I. Cavalcanti Nt., Mário Tavares de O., II. Rocha da Rocha, Alexandre Magno. IV. Título.
IFRN-RN/BMC

CDU 81

EDITORAÇÃO
Samir Cristino de Souza

DIAGRAMAÇÃO E CAPA
Karoline Rachel Teodosio de Melo

CONTATOS
Editora do IFRN
Av. Senador Salgado Filho, 1559, CEP: 59015-000
Natal-RN. Fone: (84)4005-2668/ 3215-2733
Email: editora@cefetrn.br

NOTA DOS AUTORES

Após 20 anos auxiliando na formação de Técnicos de Geologia e Mineração, nos tomamos de sobressalto com a constatação de que nenhum livro didático havia sido produzido para esses profissionais até a presente data. As leituras técnicas sempre foram extraídas de simplificações de Livros destinados a Geólogos e Engenheiros de Minas, resumos ou anotações, às vezes em formato de apostilas, entre outras modalidades do gênero. O desafio estava, portanto, lançado: publicar um Livro destinado exclusivamente para esse segmento de profissionais que têm prestado contribuições incomensuráveis e decisivas ao setor Mineral Brasileiro, mas que se mantém a margem do merecido reconhecimento, na grande maioria das vezes não lhes cabendo sequer o papel de coadjuvantes.

Foram necessários 2 anos para concluir a presente obra. Iniciamos com um site, solicitando a contribuição de técnicos que atuam no mercado. Vários deles nos atenderam, merecendo registro a participação de Gustavo Luiz de Oliveira, através do qual desejamos externar nossos agradecimentos a todos os demais que nos enviaram críticas, sugestões e incentivos. Foi decisivo o apoio da Pró-Reitoria de Pesquisa, através do prof. José Yvan Pereira Leite e do bolsista de Iniciação Científica Rai Roberto Dantas da Cunha. Não poderíamos deixar de reconhecer a ajuda da atual Diretoria do DIETREN, cujo Diretor prof. João Batista Monteiro de Sousa viabilizou ambiente para concluirmos este trabalho. E, finalmente, a todos os alunos dos cursos de Geologia e Mineração do IFRN que utilizaram o site como uma espécie de Livro-Texto e propiciaram o "*feedback*" para nos orientar nessa empreitada.

Ao concluirmos este Livro, nos sentimos revigorados e já planejamos futuras edições com estes e outros temas de interesse, como Geofísica, Pesquisa de Rochas Ornamentais, Geoprocessamento, Economia Mineral, etc., e com maior participação de professores co-autores e contribuições de profissionais da área. Aguardamos desde já essas participações e contribuições.

O nosso principal intuito com este trabalho é prestar uma merecida homenagem à categoria com o primeiro Livro dedicado exclusivamente para esses profissionais. São milhares de Técnicos de Geologia e Mineração, espalhados por todo o Brasil e pelo Exterior, personagens anônimos de grandes descobertas e produções minerais. Graças aos seus esforços e dedicação viabilizaram o curso Técnico de Geologia e Mineração do Rio Grande do Norte, o mais antigo em atividade no Brasil, tornando-nos referência nacional na formação de profissionais nas áreas de Pesquisa Mineral, Lavra e Tratamento de Minério. Na oportunidade em que a Instituição comemora os cem anos, nada mais justo que agradecer o que esses profissionais fizeram e fazem para divulgar e promover o curso. Que este Livro seja uma síntese desse reconhecimento e que ele possa ser de grande proveito a todos.

APRESENTAÇÃO

No inicio do curso de geologia no Brasil, em 1957, pela falta de especialistas na área, tornou-se necessário importá-los de outros países para completarem o quadro de docentes. Estes, por sua vez, tinham dificuldades de comunicação, o que ensejou a não existência de publicações, até mesmo de livros didáticos em nosso idioma, problema que perdura até os dias atuais, sendo raras as publicações de trabalhos em português.

Portanto, apresentar este trabalho, além da grande responsabilidade que me cabe, por se tratar da exposição de conhecimentos adquiridos em anos de pesquisa, elaborada por técnicos de respeitabilidade, com alto grau de experiência na atividade de prospecção e pesquisa mineral, torna este livro, uma obra de grande valor didático, da qual, todos nós especialistas do setor, devemos ter orgulho.

É com grande satisfação que apresento esta obra de grande relevância para nosso setor, indispensável em nossas bibliotecas. Pois o Brasil com uma área de oito e meio milhões de quilômetros quadrados, além da plataforma continental, carece de mais especialistas, com esta força de vontade e o amor que estes autores dedicam a atividade, produzindo informações para elevar a qualificação dos profissionais do setor, mostrando passo a passo as noções de prospecção e pesquisa, com grande riqueza de detalhes, simplicidade e clareza.

Carlos Magno Bezerra Cortez
Geólogo Chefe do 14ª Distrito do DNPM

SUMÁRIO

I – INTRODUÇÃO 13

I.1 – Definições 13

I.2 – Anomalia, Background, Limiar 18

I.3 – Teores 22

I.4 – Associações Geoquímicas e Minerais Formadores de Depósitos Minerais..... 26

I.5 – Exercício para Fixação 29

II – NOÇÕES DE DEPÓSITOS MINERAIS 31

II. 1 – Introdução 31

II.2 - Quanto a Forma do Corpo Mineralizado 31

II.3 - Quanto ao Processo Formador 33

II.4 - Quanto a Características Especiais 47

II.5 – Tectônica Global e Metalogenia 61

II.6 – Classificação dos Depósitos Minerais Quanto a Regularidade 65

II.7 – Descrição de Depósitos Minerais 71

III - REGISTRO GRÁFICO DE DEPÓSITOS MINERAIS 73

III.1 – Introdução 73

III.2 – Noções de Cartografia e Geoprocessamento 73

III.3 – Mapas Temáticos – Ênfase na Geologia 90

III.4 – Blocos Diagramas, Desenhos Esquemáticos e Documentação Fotográfica..... 106

III.5 – Levantamentos Expeditos 108

IV - SELEÇÃO DE ALVOS (“TARGET”) e CARACTERIZAÇÃO DE PROSPECTOS 113

IV.1 – Introdução 113

IV.2 – O Aspecto Econômico 115

IV.3 – Informações Existentes 115

IV.4 – Seleção de Alvos com Imagens de Satélite, Radar e Fotografia Aérea 117

IV.5 – Seleção de Alvos com a Geofísica 120

IV.6 – Seleção de Alvos com a Geoquímica 123

V - NOÇÕES DE GEOQUÍMICA DE EXPLORAÇÃO 125

V.1 – Definições Básicas 125

V.2 – Abundância dos Elementos Químicos na Crosta 125

V.3 – Classificação Geoquímica dos Elementos 129

V.4 - Ciclos Geoquímicos e Ambientes Geoquímicos 131

V.5 - Mobilidade Geoquímica 133

V.6 - Associacões Geoquímicas 140

V.7 - Províncias Geoquímicas X Províncias Metalogenéticas 140

V.8 – Etapas e Níveis dos Levantamentos Geoquímicos 141

V.9 – Anomalias e Paisagem Geoquímica 146

V.10 - Contraste Geoquímico 153

V.11- Principios de Interpretação de Dados Geoquímicos 154

V.12 - Principais Métodos da Geoquímica de Exploração 156

V.13 – Sedimento de Corrente 158

V.14 – Pedogeoquímica 167

V.15 – Litogeoquímica 169

V.16 – Concentrado de Batéia 171

V.17 - Controle de Qualidade de Amostragem 172

V.18 – Evolução Teórica de uma Campanha de Amostragem Geoquímica 175
V.19 – Tipos de Análises Químicas em Pesquisa Mineral 176
VI – TRINCHEIRAS E POÇOS DE PESQUISA 179
VI.1 – Definições, Tipos, Planejamento e Execução 179
VI.2 – Levantamento 181
VI.3 – Poço de Pesquisa 191
VII – SONDAGEM GEOLÓGICA 197
VII.1 – Objetivos e Definições 197
VII.2 – Tipos de Sondagem 198
VII.3 – Alguns Exemplos Práticos (RESUMIDOS) 223
VIII – AVALIAÇÃO 235
VIII.1 – Introdução 235
VIII.2 - Parâmetros de avaliação de jazidas 240
VIII.3 – Serviços Mineiros 242
VIII.4 - Cubagem de Reservas 253
REFERÊNCIAS..... 261

I - INTRODUÇÃO

I.1 – Definições

Pesquisa e Prospecção Mineral é um conjunto de conhecimentos, técnicas e ferramentas utilizadas para a descoberta e estudo de **Depósitos Minerais**.

> *Os conhecimentos referidos na Definição acima são, entre outros: Mineralogia, Petrografia (Ígnea, Metamórfica e Sedimentar), Geologia Estrutural, Cartografia, Depósitos Minerais (ou Geologia Econômica), Foto-geologia, Informática Aplicada, Estatística Aplicada (ou Geoestatística), Geotectônica, etc, etc, etc.*

Um Depósito Mineral é Recurso Natural não-renovável, especificamente um Recurso Mineral metálico e/ou não-metálico. A **Prospecção e Pesquisa Mineral** tratam da execução dos trabalhos necessários à definição da jazida mineral, sua avaliação e a determinação da exeqüibilidade do seu aproveitamento econômico. Alguns autores diferenciam **exploração** e **prospecção**, sendo o objetivo da Prospecção o reconhecimento geral de um Depósito Mineral, enquanto a Exploração é o reconhecimento detalhado do Depósito Mineral.

> *Os trabalhos de Prospecção e Pesquisa Mineral incluem, entre outros: Seleção de Alvos (anomalias); Levantamentos Geológicos, Geoquímicos e Geofísicos; Planejamento, Execução e interpretação de trincheiras, poços de pesquisa e sondagem, Quantificação de reservas minerais e determinação da viabilidade técnica do seu aproveitamento econômico.*

A Pesquisa e a Prospecção Mineral são, na realidade, as primeiras fases da Mineração. Segundo os economistas a Mineração é um dos setores de maior risco de retorno do capital empregado. Esse risco é varia em função do estágio em que se encontra o projeto de Mineração (vide figura I.1) que consta de planejamento, compilação de dados e pesquisa bibliográfica, reconhecimento, identificação de alvos, testes dos alvos, desenvolvimento dos estudos sobre o Depósito Mineral, Desenvolvimento da Mina e, finalmente, a Mineração. Cada um desses estágios envolve diversas atividades, técnicas e procedimentos os quais somente são realizados após criteriosa tomada de decisão sobre a continuidade do empreendimento e na dependência de resultados anteriores.

Neste livro pretendemos apresentar as diversas atividades que um Técnico de Geologia e/ou de Mineração desenvolve: levantamento, armazenagem e, em diversos casos, a interpretação de informações para as tomadas de decisões durante todos os estágios da mineração, que vão desde as de cunho bibliográfico, de campo até as de escritório. Para tanto, dividimos este Livro numa primeira parte que visa apresentar algumas definições básicas de Depósitos Minerais e sua classificação. Em seguida, e ainda definido como básico,

procuramos informar como se procede ao registro gráfico dos Depósitos Minerais, prestando informações sobre Noções de Cartografia, GPS, Bússola, Levantamentos Expeditos e Mapeamentos Geológicos tanto para os trabalhos de Reconhecimento, como de detalhe. A parte aqui denominada de Alvo ou "Target" refere-se a escolha de áreas para caracterizá-las como um Prospecto digno de receber investimentos para seu estudo mais detalhado. As ferramentas utilizadas nesses estudos, desde a identificação do Alvo, à sua caracterização como Prospecto, e o estudo visando verificar dimensões e viabilidade de Implantação de um projeto mineiro envolve, além dos assuntos já descritos: a Geofísica, a Geoquímica, Trincheira e Poços de Pesquisa e Sondagem englobando aquelas etapas da mineração definidas aqui como "identificação de alvos, testes dos alvos, desenvolvimento dos estudos sobre o Depósito Mineral". Finalmente, em Avaliação, tratamos dos trabalhos e Serviços Mineiros de Pesquisa Mineral para quantificação de reservas, avaliação da viabilidade técnica e econômica. O Desenvolvimento da Mina e até a Lavra propriamente dita ou Mineração, a qual não será tratada aqui, mas apenas os Serviços de Pesquisa Mineral que são realizados nesse estágio.

O site http://www.pesquisamineral.cefet.hpg.com.br é uma homepage deste Livro e estará em constante atualização, inclusive com as contribuições dos técnicos de Geologia e Mineração. Pretendemos incluir essas atualizações em edições futuras do presente Livro.

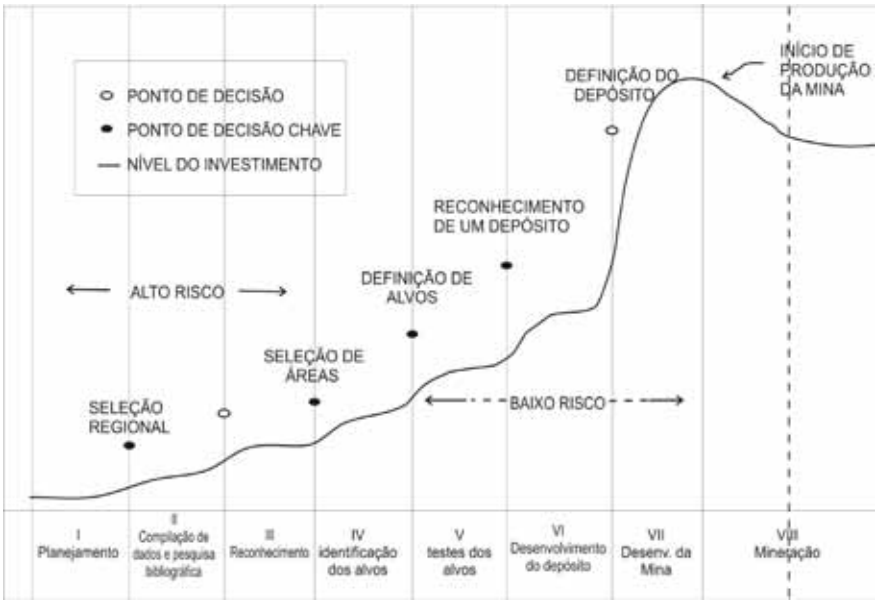


Figura I.1: Estágios e dispêndios em um programa de exploração mineral, modificado de de SHINTAKU (1998) e http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/pt/Mineral_exploration#Stages_of_mineral_exploration

Depósitos Minerais são acumulações ou concentrações anômalas locais de rochas e minerais úteis ao homem. Elas podem acumular minerais metálicos ou não-metálicos. No jazimento metálico um elemento químico presente é o objeto do interesse do homem (por ex: na scheelita o W; na pirolusita o Mn; na cassiteria o Sn, etc), enquanto no não-metálico é uma propriedade física, como, por exemplo: minerais gemas (beleza, brilho, etc), argila (plasticidade), moscovita (resistência elétrica), etc.

Alguns Depósitos Minerais não-metálicos também são chamados de **Depósitos de Minerais Industriais** que são, na realidade, rochas e minerais não-metálicos, aplicados em produtos e processos, como matérias primas, insumos ou aditivos, em diversos segmentos industriais, tais como, cerâmicas, tintas, fertilizantes, papel, farmacêutico, vidro, abrasivos, plásticos, borracha, cimento e materiais de construção (ver Tabela I.1). Alguns minerais metálicos também são englobados nessa classificação dependendo do seu uso.

TABELA I.1 – RELAÇÃO DE ALGUNS MINERAIS CLASSIFICADOS COMO INDUSTRIAIS

Alumina/Bauxita	Diamante	Mica	Sílica/Quartzo
Amianto	Diatomita	Olivina	Ardósia
Argilas plásticas/ "Ball Clay"	Dolomita	Perlita	Vermiculita
Barita	Feldspato/ Nefelina-Sienito	Potássio	Talco
Bentonita/ Atapulgita/ Sepiolita	Fluorita	Pirofilita	Sal
Minerais de Berílio	Grafita	Fosfatos/ Apatita	Gesso
Carbonato de Cálcio	Óxido de Ferro	Minerais de Titânio	Caulim/ Haloisita
Calcário/Cal	Minerais de Lítio		

Quando o Depósito Mineral pode ser aproveitado economicamente é denominado de **Jazida Mineral**, ao passo que não sendo possível seu aproveitamento econômico denomina-se de **Ocorrência Mineral**.

A tabela I.2 apresenta uma lista de elementos e seus respectivos minerais metálicos.

TABELA I.2 – ALGUNS ELEMENTOS QUÍMICOS E SEUS RESPECTIVOS MINERAIS METÁLICOS

Elementos e respectivos símbolos químicos	**Minerais mais comuns e respectivas composições químicas**	**Elementos e respectivos símbolos químicos**	**Minerais mais comuns e respectivas composições químicas**	**Elementos e respectivos símbolos químicos**	**Minerais mais comuns e respectivas composições químicas**	**Elementos e respectivos símbolos químicos**	**Minerais mais comuns e respectivas composições químicas**
Alumínio, Al	Bauxita, mistura de hidróxidos de alumínio e minerais argilosos	Manganês, Mn	Pirolusita, MnO_2	Cromo, Cr	Cromita, (Fe, Mg) Cr_2O_4	Estanho, Sn	Cassiterite, SnO_2 Estannite, Cu_2FeSnS_4
Antimônio, Sb	Estibinita (antimoni-te), Sb_2S_3 Jamesoni-te, $Pb_4FeSb_6S_{14}$	Mercúrio, Hg	Cinábrio, HgS	Cobalto, Co	Cobaltita, CoAsS	Titânio, Ti	Rutilo, TiO_2 Ilmenita, $FeTiO_3$
Arsênio, As	Arsenopirita, FeAsS	Molibdênio, Mo	Molibdenite, MoS_2	Cobre, Cu	Cobre nativo, Cu Cuprita, Cu2O Calcopirita, CuFeS2 Calcosita, Cu2S Malaquita, Cu2[(OH)2CO3] Azurita, Cu3[OH CO3]2 Covelita, CuS	Tungstênio, W	Volframita, (Fe, Mn)WO_4 Schelita, $CaWO_4$
Berílio, Be	Berilo, $Be_3Al_2Si_6O_{18}$	Níquel, Ni	Pentlandita, $(Ni, Fe)_9S_8$ Niquelina, NiAs Cloantita, $(Ni, Co)As_3$ Garnierita, $(Ni, Mg)_6[(OH)_8Si_4O_{10}$	Ferro, Fe	Magnetita, Fe_3O_4 Hematita, Fe_2O_3 Limonita, FeOOH-nH_2O Siderita, $FeCO_3$ Pirite, FeS_2	Urânio, U	Uraninita, UO_2 Torbernita, $Cu(UO_2)2P_2O_8$-$12H_2O$ Autunita, $Ca(UO_2)_2P_2O_8$-$8H_2O$
Bismuto, Bi	Bismuto nativo, Bi Bismutinite, Bi_2S_3 Bismite, Bi_2O_3	Ouro, Au	Ouro nativo, Au Silvanite, $AgAuTe_4$ Calaverite, $AuTe_2$	Chumbo, Pb	Galena, PbS Anglesite, $PbSO_4$ Cerussite, $PbCO_3$	Vanádio, V	Descloizita, Pb(Zn, Cu)[OH VO_4] Vanadinita, $Pb_5[Cl\ (VO_4)_3]$
Cádmio, Cd	Greenoc-kita, CdS	Prata, Ag	Prata nativa, Ag Argentita, Ag_2S Silvanita, $AgAuTe_4$ Estefanita, Ag_5SbS_4	Magnésio, Mg	Magnesita, $MgCO_3$	Zinco, Zn	Zincita, ZnO Esfalerita (blenda), ZnS Smithsonita, $ZnCO_3$

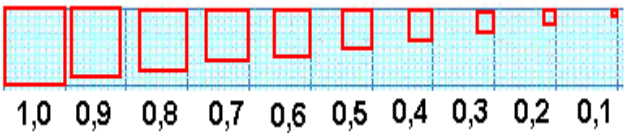
O **mineral-minério** é a substância mineral (útil ao homem) objeto do interesse econômico, enquanto a **ganga** são todos os minerais constituintes da rocha exceto o mineral-minério e o(s) possível(is) **sub-produto**(s).

O **sub-produto** é um mineral-minério cuja extração não se justifica economicamente a não ser que sua exploração seja realizada em conjunto com um mineral-minério principal. Às vezes somente com a extração conjunta do subproduto e do mineral-minério principal torna um jazimento mineral viável sob a ótica econômica.

A rocha que contém o mineral-minério é chamada de **minério** (ou seja, a rocha que hospeda a mineralização = Hospedeira). A rocha diretamente em contato com o minério é chamada de **encaixante**. As rochas encaixantes e as porções do minério que não contém a mineralização (o mineral-minério) são chamadas de **Estéril.**

O **TEOR** é uma relação entre a quantidade de mineral-minério e minério, ou seja, T = MM / M, onde MM= Mineral-Minério, M=Minério e T = Teor (se o teor é dado em percentagem multiplica-se o resultado por 100). As unidades de teor mais utilizadas em Pesquisa Mineral são: %, g/ton, ppm, ppb, Kg/ton.

A determinação de TEOR por "Potência Reduzida" (ver figura I.2) é um método de inferência de teor empregada apenas para minerais que se apresentam em camadas na escala de percentagem, conforme representação na figura I.2. Se faz pela contagem dos grãos minerais contidos numa canaleta imaginária (por exemplo: 10 cm de largura e comprimento igual à espessura da camada).



Dimensão dos Grãos (cm)	Quantidade grãos	Representação em mm
1,0	01	1,0
0,9	02	1,5
0,8	02	1,2
0,7	02	1,0
0,6	03	1,0
0,5	04	1,0
0,4	07	1,0
0,3	11	1,0
0,2	25	1,0
0,1	100	1,0

Figura I.2: Cartela para auxiliar na Contagem de Teor (Potência Reduzida)

Calcula-se a representação em milímetros da espessura dos grãos como se fosse um "cordão" de 10 cm de comprimento conforme o exemplo do parágrafo anterior. O Teor é igual a = Espessura de mineral-minério (ou representação em mm / espessura da camada) x 100 (multiplica por 100 se o teor é dado em %).

Suponha que uma camada de escarnito tem 1,0 m de espessura e foi contado, numa canaleta imaginária de 10 cm de largura e 1,0 m de comprimento, em um determinado local desta camada, 1 grão de scheelita de 1 cm quadrado e 50 grãos de scheelita de 0,1 cm. Neste caso nós teríamos uma espessura de mineral-minério de 1,5 mm. Dividindo 1,5 mm por 1000 mm (= 1,0m) teríamos que o teor de scheelita ($CaWO_4$) é de 0,15%. Como o óxido estável desse bem mineral metálico é o WO_3 e na scheelita aproximadamente 70% é de trióxido de tungstênio, temos que o teor é de 0,1125% ou 0,11% WO_3.

O **CUT-OFF** ou **TEOR DE CORTE** é o teor mínimo da substância útil que permite a sua extração econômica, enquanto o **TEOR CRÍTICO** é o teor limite entre Lucro e Prejuízo de uma atividade econômica de mineração. Obviamente que esses conceitos variam em função do preço de mercado do bem mineral. Voltaremos a falar mais de teor adiante no item I.3 e no capítulo sobre Cubagem de Reservas.

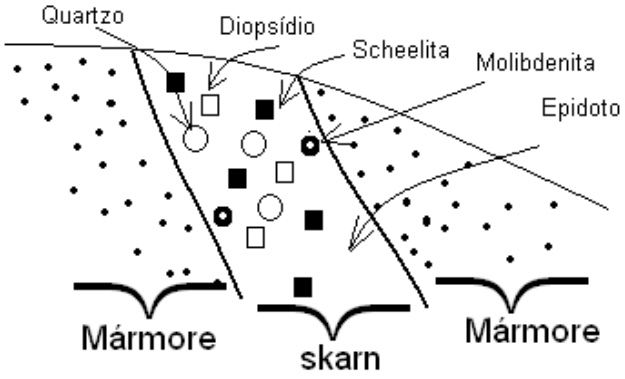


Figura I.3: Principais componentes de um Jazimento Mineral.
Fonte: Criação do autor.

I.2 - Anomalia, Background, Limiar, etc.

ANOMALIA é uma concentração ANORMAL de um elemento químico e/ou mineral na crosta terrestre. A concentração NORMAL de um elemento na crosta terrestre é chamada de CLARQUE. As Tabelas I.3 a e I.3 b listam os teores considerados normais de alguns elementos químicos e o fator de enriquecimento.

Devido à afinidade de determinados elementos químicos por determinados tipos de rocha o seu teor é maior que o teor médio do elemento na Crosta Terrestre sem que isso se constitua obrigatoriamente numa ANOMALIA, menos ainda num "Alvo" para ser pesquisado. São os **METALLOTECTES**, ou seja, alguns elementos químicos (ou minerais minérios) que tem preferência por determinados tipos de rocha (por ex: cobre por peridotitos, niobio por carbonatitos, scheelita por skarn, wolframita por rochas ácidas etc). Conceito semelhante pode ser estendido para alguns minerais minérios não-metálicos, por exemplo,

diamantes têm afinidade por rochas denominadas kimberlitos, água marinhas por pegmatitos, esmeraldas por biotititos, etc, etc...

TABELA I. 3 A - ABUNDÂNCIA NORMAL (CLARQUE) DE ALGUNS ELEMENTOS QUÍMICOS NAS ROCHAS DA CROSTA TERRESTRE

Elemento	Símbolo	Abundância em ppm	Elemento	Símbolo	Abundância em ppm
Bromo	Br	1,8	Mercurio	Hg	0,02
Cadmio	Cd	0,1	Molibdenio	Mo	1,5
Calcio	Ca	33000	Niobio	Nb	20
Carbono	C	230	Níquel	Ni	75
Cerio	Ce	81	Ouro	Au	0,003
Cesio	Cs	3	Oxigênio	O	473000
Chumbo	Pb	10	Paládio	Pd	0,01
Cloro	Cl	130	Prata	Ag	0,05
Cobalto	Co	25	Platina	Pt	0,0005
Cobre	Cu	50	Potássio	K	25000
Cromo	Cr	100	Rênio	Re	0,0006
Escandio	Sc	13	Rubídio	Rb	150
Estanho	Sn	80	Selênio	Se	0,1
Estroncio	Sr	300	Silício	Si	291000
Flúor	F	600	Sódio	Na	25000
Fósforo	P	900	Tálio	Tl	0,45
Galio	Ga	26	Tântalo	Ta	2
Germanio	Ge	2	Telúrio	Te	0,002
Hafnio	Hf	3	Titânio	Ti	4400
Ferro	Fe	46500	Tório	Th	10
Indio	In	0,1	Tungstênio	W	1
Iodo	I	0,15	Urânio	U	2,5
Lantanio	La	25	Vanadio	V	150
Litio	Li	30	Zinco	Zn	2
Magnesio	Mg	17000	Zircônio	Zr	150
Manganês	Mn	1000			

Tabela I.3 a - Concentração normal de alguns elementos químicos.
Fonte: Rose *et al* 1979

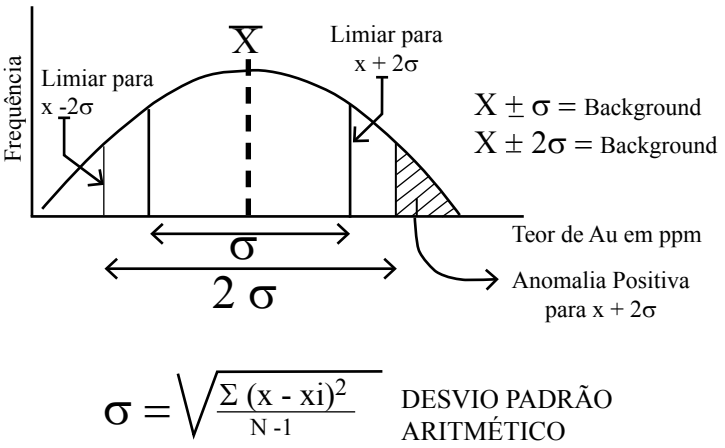
TABELA 3 B - FATOR DE ENRIQUECIMENTO DE ALGUNS ELEMENTOS

Metal	Abundância na Crosta Terrestre (%)	Cut off graus (%)	Fator de enriquecimento
Hg	0,0000089	0,2	22500
Pb	0,0013	4	3100
Sn	0,00017	0,5	2900
W	0,00011	0,2	1800
Au	0,00000035	0,0003	900
Mo	0,00013	0,1	800
U	0,00017	0,1	600
Zn	0,0094	3	300
Cu	0,0063	0,3	50
Ni	0,0089	0,3	35
Fe	5,8	30	5
Al	8,3	30	4

Tabela I.3 B – concentração normal de alguns elementos químicos e fator de enriquecimento.

Saindo da escala que abrange toda a terra e partindo para o detalhe, em que o enfoque seja uma região em particular (por ex: uma área de pesquisa) a concentração considerada normal é chamada de **BACKGROUND**. O teor que limita aquiles considerados como uma concentração NORMAL e uma ANOMALIA é chamado de **LIMIAR**, conforme ilustra a figura I.4.

A definição de valores absolutos para ANOMALIA, LIMIAR e BACKGROUND depende de uma série de variáveis, como o quê está sendo amostrado, o desempenho do bem mineral ("*commodity*") no mercado, entre outros fatores.



$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma (x - xi)^2}{N - 1}}$$ DESVIO PADRÃO ARITMÉTICO

Figura I.4: Curva de Freqüência para teores de Ouro em 100 Amostras coletadas numa área de pesquisa (do autor – www.pesquisamineralcefet.hpg.com.bt).

Assim, a equipe de um projeto de Pesquisa Mineral poderia definir como sendo **Anomalia Positiva**, por exemplo, os valores maiores que a média mais dois desvios padrões (X + 2 σ). O valor de (X + 2 σ) seria o Limiar, aqueles entre (X + 2 σ) e (X - 2 σ) seria o Background e abaixo de (X - 2 σ) anomalia negativa. Na Pesquisa Mineral se procura **Anomalias Positivas** (concentração anormal de um certo elemento químico ou mineral). Numa primeira etapa de trabalho, considera-se anomalia o valor acima do Clarke e maior que aquele teor considerado Normal para o elemento no seu respectivo Metalotecte. Porém, para caracterizar um Depósito Mineral, essa anomalia deve estar acima ou igual ao cut-off (teor de corte).

A título de exemplificação considere que o teor médio de tungstênio em um granito do sul do Pará é de 0,08% de W. Sabendo que a abundância média deste elemento na crosta terrestre é de 1 ppm e que o granito é o metalotecte de depósitos de Wolframita, pretende-se saber se este pode ser considerado um provável Depósito Mineral.

TABELA I.4 - RELAÇÕES ENTRE UNIDADES DE TEOR

1 ppm	0,0001%
1 ppm	1000 ppb
1 ppm	1 g/ton

É óbvio que o interesse econômico é determinado pelo Cut-Off (0,2%) e o teor encontrado de 0,08% W está muito abaixo do mesmo. Portanto, considerando somente a relação entre os teores este não poderia ser considerado um provável Depósito Mineral.

A Tabela I.5 lista uma série de rochas ultrabásicas tidas como metalotectes para o Níquel (Ni sulfetado) e os teores de Cr, Cu e Ni relativo a cada uma dessas rochas. Em seguida lista o Clarque e o Cut-Off desses elementos visando propiciar uma comparação em termos absolutos entre os mesmos. Note que os teores de Níquel nos seus respectivos metalotectes são bem altos quando comparados ao teor do elemento em toda a crosta terrestre (Clarque), mas estão abaixo daquele considerado economicamente interessante para os Depósitos Minerais (Cut-Off).

TABELA I.5 - TEOR NORMAL, CUT-OFF E TEOR NO METALOTECTE DOS ELEMENTOS Cr, Cu e Ni

METALOTECTES DE Ni, CLARQUE E TEOR DE CORTE (CUT-OFF)	CROMO	COBRE	NÍQUEL
Lherzolito		13	2091
Hazburgito		10	2189
Manto Primitivo		28	2000
Komatiito	2600	77	1563
MORB		76	150
Basalto Komatiitico		79	360
Dunito (ofiolito)	4210	4	2520
CLARQUE	100	50 a 63	75 a 89
CUT-OFF	-	3.000	3.000

O Cu e o Cr foram listados por estarem sempre juntos com o Ni em Depósitos Minerais ligados a rochas ultrabásicas. Eles formam, como veremos adiante no ítem I.4, uma Associação Geoquímica.

I.3 – Teores

Conforme já mencionado, um Depósito Mineral é uma concentração anômala de um determinado bem mineral metálico ou não-metálico útil ao homem. Em se tratando de minerais metálicos essa concentração é expressa como teor (vide I.1), ou seja, na quantidade relativa de mineral-minério presente no minério. Para que um Depósito Mineral seja aproveitável economicamente (ou seja, classificado como Jazida Mineral) é necessário que o teor seja igual ou acima do CUT OFF e que esteja presente em quantidades (volumes) significativas. Teores acima do Clarque e menores do que aqueles considerados normais nos Metalotectes não são suficientes para selecionar uma área como interessante à Pesquisa e Prospecção Mineral. Já os teores acima daqueles considerados normais para os Metallotectes podem ou não se constituirem em Alvos ("Target") interessantes.

No caso dos metálicos o teor é sempre referido ao produto vendível, ou seja, ao óxido mais estável (por ex: WO_3 – scheelita, Ta_2O_5, - tantalita, BeO_2 – berilo, etc).

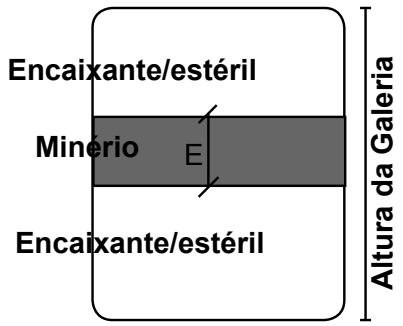
Nas atividades de Geologia de Minas e Lavra de Minas costuma-se usar os seguintes teores:

- **Teor Crítico** = é o teor em que a operação de lavra não dá lucro e nem prejuízo. É uma espécie de limiar entre lucro vs. prejuízo. Matematicamente calcula-se como sendo uma relação entre os custos para se produzir uma tonelada do concentrado e o preço de venda de 1 tonelada do concentrado.

Teor de Corte = Já definido anteriormente (vide página 12), pode ser resumido como o Teor Crítico + Lucro.

- **Teor diluído** = Às vezes, devido a questões de engenharia, é necessário desmontar minério e encaixante para que, por exemplo, a galeria (mineração subterrânea) ou a bancada (mineração a céu aberto) tenha uma altura compatível com os trabalhos mineiros. Assim, o teor da camada se dilui pela adição de partes da encaixante. Teor Diluído é o teor resultante da operação de desmonte, representado matematicamente pela expressão Td = (Espessura da Camada X Teor da Camada) / Espessura de Corte. A espessura de corte pode ser a altura ou largura da galeria (mineração subterrânea) ou da bancada (mineração a céu aberto) a depender do comportamento estrutural da camada de minério (ver figura I.5).

- **Teor Limite** = É o menor teor que se pode misturar (BLENDAGEM) com o teor de uma camada que está sendo desmontada, de tal forma que, dessa mistura a média seja coincidente com o teor de corte.



EXEMPLO

Altura da Galeria = Espessura de Corte = 2,0 m

Teor do Minério = 1% WO3

E = Espessura da Camada = Espessura do Minério = 1,0 m

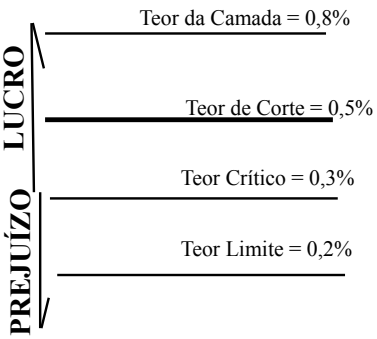
Td = Tc = 1% x 1,0 m / 2,0 m

Td = 0,5% WO3. Ou seja, o teor da camada foi diluído pela metade – resta saber se esse teor é o mesmo indicado pelo Teor de Corte (Econômico ou CUT OFF) para concluir se aquele desmonte foi viável economicamente ou não.

Figura I.5 – Teor Diluído em função do teor da camada, da altura da galeria (2,0 m, pois a camada de minério é horizontal) e da espessura da camada (1,0 m), tendo sido, então, desmontado 1,0 m de minério e 1,0 m de estéril (do autor).

- **Teor de Alimentação** = termo usado para se referir ao teor com que o material que sai da mina (Run of Mine ou ROM) chega à planta de tratamento de minério;

- **Teor de Concentrado ou Teor do Produto Final** – É uma relação que exprime quanto de substância útil tem no produto final. Quando trabalhamos com mineral-minério pesado, o produto final é um concentrado, ou seja, um produto que contém minerais pesados da ganga e o mineral minério. O mesmo ocorre com minerais leve, pois a planta não consegue recuperar 100%, sempre fica com impurezas. Os teores comerciais de concentrado de scheelita ou wolframita é de 65% de WO_3, o de tantalita é de no mínimo 30% de Ta_2O_5.



EXEMPLO:
Os valores arbitrários da figura ao lado servem para ilustrar as definições acima em um gráfico. Todos os valores de teor abaixo do Crítico darão prejuízo à empresa, ao passo que os teores com valor acima dão lucro. Entretanto, deve-se trabalhar observando a política da empresa de lucro igual ao teor de corte (= diluído). Caso os desmontes se dêem somente naqueles locais de teor alto (teor da camada) estaria se fazendo uma lavra predatória, reduzindo a vida útil do depósito mineral.

Figura I.6 – Esquema ilustrativo da relação de diferentes Teores (do autor).

O teor é obtido por análise química. A tabela I.6 lista os principais métodos de análise de teor utilizado pela Prospecção e Pesquisa Mineral.

TABELA I.6 – COMPILAÇÃO DOS PRINCIPAIS MÉTODOS DE ANÁLISE DE TEOR UTILIZADO NA PROSPECÇÃO E PESQUISA MINERAL

MÉTODO	ELEMENTOS	OBSERVAÇÃO
Espectrometria de absorção atómica (AA)	Au, Ag, Hg, Mo, Cu, Pb, Zn, Sn e outros	Método muito adequado para análises de soluções aquosas
Colorimetria	As, W, Mo, Ti	
Fluorometria	U	
Espectrometria de emissão	70 elementos	
ICP = Indução por plasma acoplado a AA	50 elementos, por ex:. Ba, Mn, B	
RFX (Análises de fluorescência de Raios X)	Elementos subordinados menores, óxidos	Adequado para análise completa de rochas
Análise por ativação de bombardeio neutrônico (NAA)	Au	Não destrutivo
Microsonda	Varios elementos	para determinar a composição de minerais
Espectrometro de masa	U, Th e outros elementos	
Fire assay	Au, Ag, Pt	fogo

De maneira expedida o teor pode ser obtido por estimativa utilizando-se de outros métodos, como, por exemplo, pelo método denominado Potência Reduzida (vide figura I.2), por estimativa visual (figura I.7) e concentrado por bateia (ou concentrado em planta), entre outros.

Importante lembrar que esses métodos devem ser empregados para se obter alguma resposta rápida quando dos trabalhos de campo e, principalmente, se o mineral-minério está disponível em escala de percentagem. De qualquer forma estes métodos expeditos não substituem as análises químicas, as quais não devem ser prescindidas dos métodos adequados listados na Tabela I.6.

O teor por concentrado de bateia é obtido pesando-se a amostra inicial e depois o concentrado. Em seguida fazendo-se uma relação Teor = peso do concentrado / peso da amostra inicial, multiplicado por 100 (se o teor for em percentagem).

Obviamente deve-se verificar a percentagem do mineral-minério presente no concentrado, caso existam outros minerais pesados ou extraí-los caso se disponha de meios para fazê-lo.

Para sabermos o teor de scheelita ($CaWO_4$) teríamos que separá-la dos demais minerais pesados presentes no concentrado ou determinar visualmente (fig. I.7).

A título de exemplo, uma amostra de escarnito ("skarn") foi coletada da Mina Malhada Limpa, Currais Novos/RN.

Essa rocha é composta de scheelita, molibdenita, diopsídio, epidoto, granada, quartzo e calcita. Depois de moída a amostra pesou 88.000 gramas (88 Kg).

Após o processo de concentração gravimétrica com bateia o peso do concentrado foi de 455 gramas. Presente no mesmo identificou-se: epidoto, granada, scheelita e, molibdenita.

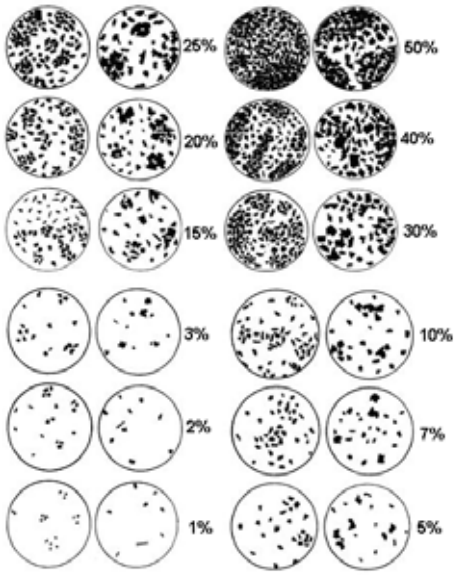


Figura I.7 – Determinação visual da percentagem e minerais (Terry and Chilingar, 1955 Terry & Chilingar, 1955 apud http://www.iodp.tamu.edu/ publications/197_IR/chap_02/c2_f9.htm .)

A simples divisão do Peso Concentrado pelo Peso Inicial daria um teor de 0,5% que é, na realidade, o teor de minerais pesados e não do mineral-minério scheelita.

Devido à questão de precisão dos Métodos Analíticos de laboratório para analisar teores muito baixos, o concentrado de bateia tem sido utilizado para auxiliar na diminuição do erro. Assim, se os trabalhos de pesquisa mineral têm como foco mineral-minério pesado (alta densidade) se procede a uma concentração gravimétrica enviando para o laboratório o concentrado, tal como descrito para o caso acima de Malhada Limpa. Com os resultados de laboratório em mãos se procede ao cálculo do teor da amostra "in situ", ou seja, o teor de WO_3 no escarnito antes do processo de moagem e concentração, utilizando a expressão Teor "in situ" = [Wc x (Tc/100) x 100] / Wi.

Resultados do teor "in situ" para 4 amostras de escarnito coletadas em Malhada Limpa, Currais Novos/RN, onde Am = amostra; Wi = peso inicial em gramas; Wc = peso do concentrado em gramas; Tc = Teor de WO_3 no concentrado (dado em percentagem), conforme análise de laboratório; Tr = Teor "in situ" da rocha; Rc = Redução de massa comparando a amostra inicial e depois de bateada.

TABELA I.7 – Dados da Amostra de Malhada Limpa, Currais Novos/RN

Am	Wi	Wc	Tc	Tr	Rc
1	88000	455	30	0,16	193,4066
2	65750	385	30	0,18	170,7792
3	98150	935	20	0,19	104,9733
4	78000	550	10	0,07	141,8182

É importante também comparar esses métodos com resultados analíticos de laboratório, visando testar a validade da estimativa e acurar sua precisão. Assim, por exemplo, um concentrado de bateia deve ser analisado no laboratório e o resultado comparado com aquele obtido estimativamente.

I.4 - Associações Geoquímicas e Minerais Formadores de Depósitos Minerais

Os Metalotectes podem ser encontrados com uma série de elementos químicos e/ou minerais que se caracterizam pela afinidade e por estarem juntos em determinados ambientes geológicos. Apresentamos na Tabela I.8 algumas dessas associações geoquímicas.

TABELA I.8 – ALGUMAS ASSOCIAÇÕES GEOQUÍMICAS DE ELEMENTOS TRAÇOS

ASSOC. PLUTÔNICA	ASSOCIAÇÕES GEOQUÍMICAS
Rochas Ultramáficas	Cr, Co, Ni, Cu
Rochas Máficas	Ti, V, Sc
Rochas Alcalinas	Ti, Nb, Ta, Zr, RE, F, P
Carbonatitos	RE, Ti, Nb, Ta, P, F
Rochas Graníticas	Ba, Li, W, Mo, Sn, Zr, Hf, U, Th, Ti
Pegmatitos	Li, Rb, Cs, Be, RE, Nb, Ta, U, Th, Zr, Hf, Sc

MINERAIS DE SULFETOS HIDROTERMAIS (continuação da Tabela I.8)

Associações Gerais	Cu, Pb, Zn, Mo, Au, Ag, As, Hg, Sb, Se, Te, Co, Ni, U, V, Bi, Cd
Depósito de Cobre Pórfiro	Cu, Mo, Re
Sulfetos Complexos	Hg, As, Sb, Se, Ag, Zn, Cd, Pb
Sulfetos de Baixa Temperatura	Bi, Sb, As
Depósitos de Metais Básicos	Pb, Zn, Cd, Ba
Metais Preciosos	Au, Ag, Cu, Co, As
M. Preciosos assoc. R. Máfica	Ni, Cu, Pt, Co

ROCHAS DE METAMORFISMO DE CONTATO

Depósitos de Scheelita-Cassiterita	W, Sn, Mo
Depósito de Flourita-Helvita	Be, F, B

ASSOCIAÇÕES SEDIMENTARES

Xistos Negros	U, Cu, Pb, Zn, Cd, Ag, Au, V, Mo, Ni, As, Bi, Sb
Fosforitas	U, V, Mo, Ni, Ag, Pb, F, RE
Evaporitos	Li, Rb, Cs, Sr, Br, I, B
Lateritas	Ni, Cr, V
Óxidos de Mn	Co, Ni, Mo, Zn, W, As, Ba, V
Aluviões e Areia	Au, Pt, Sn, Nb, Ta, Zr, Hf, Th, RE
Red Beds Continentais	U, V, Se, As, Mo, Pb, Cu
Reds Beds orígem vulcânica	Cu, Pb, Zn, Ag, V, Se
Bauxita	Nb, Ti, Ga, Be

DIVERSOS (MISCELÂNIA) - ASSOC. PLUTÔNICA

K-Rb; Rb-Cs Al-Ga	Si-Ge Zr-Hf Nb-Ta RE, S-Se Br-I Zn-Cd Rb-Ti
Pt-Pd-Rh-Ru-Os-Ir	

Tabelas I.8 parcialmente compilada de http://www.geovirtual.cl/depos/000index.htm

Geoquimicamente os elementos podem ser agrupados de acordo com suas afinidades para formarem ligações químicas. São classificados em: siderófilos (afinidade pelo ferro), calcófilos (afinidade pelo enxofre), Litófilos (afinidade pela sílica), Atmófilos (afinidade pelo oxigênio e presente na natureza na forma gasosa).

Siderófilos: Au, Fe, Co, Ni, Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt
Calcófilos: **Sulfo-calcófilos**: Cu, Ag, Zn, Cd, Hg e **Oxi-calcófilos**: Ge, Sn, Pb,
Litófilos: sensu stricto Li, Na, K, Rb, Cs, Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Al, Si
Pegmatófilos: Ti, V, Zr, Mn, Nb, Ta, W, Mo, U, Th
Sedimentófilos: B, C, F, Cl
Atmófilos: H, N, He, Ne, Ar, Xe, Rn

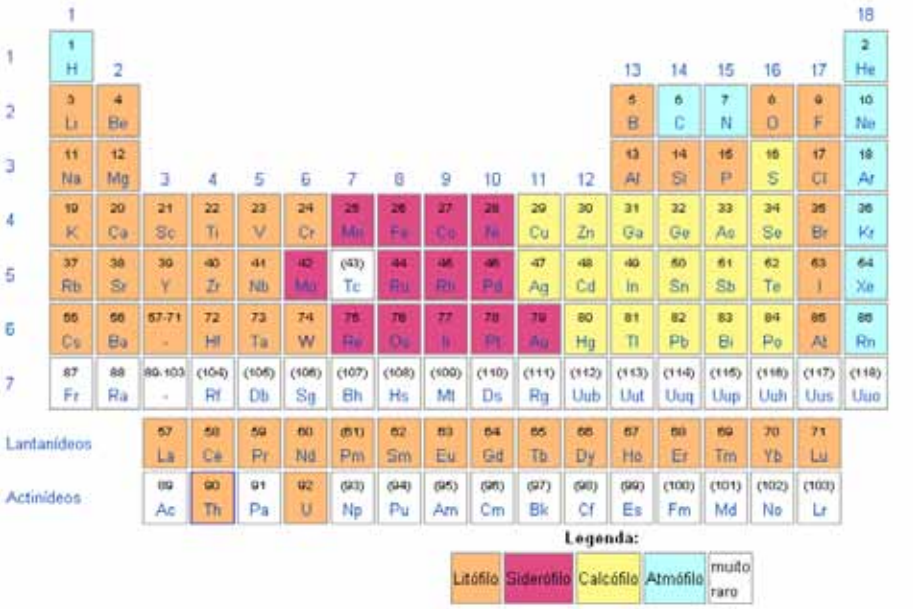


FIGURA I.8 – Tabela Periódica com a Classificação de Goldschmidt para elementos de acordo com a afinidade Geoquímica. Compilado de http://pt.wikipedia.org/wiki/Classifica%C3%A7%C3%A3o_Goldschmidt

Essa relação de afinidade entre os elementos químicos possibilita a pesquisa de minerais mais raros. Assim, a Pesquisa Mineral enfoca o elemento mais abundante em Associação Geoquímica com aquele mais raro ou de dispersão mais restrita. Este é o **elemento farejador** (pathfinder) – ver na tabela I.9 relação de alguns elementos farejadores.

TABELA I.9 – RELAÇÃO DE ALGUNS ELEMENTOS FAREJADORES DE DEPÓSITOS MINERAIS

DEPÓSITO MINERAL	ELEMENTO PROCURADO	ELEMENTO FAREJADOR
Cobre Pórfiro	Cu, Mo	Zn, Au, Re, Ag, As, F
Depósitos complexos de sulfetos	Zn, Cu, Ag, Au	Hg, As, S (en forma de SO_4), Sb, Se, Cd, Ba, F, Bi
Veios de metais preciosos	Au, Ag	As, Sb, Te, Mn, Hg, I, F, Bi, Co, Se, Tl
Depósitos do tipo 'Skarn'	Mo, Zn, Cu	B, Au, Ag, Fe, Be
Uranio em arenito	U	Se, Mo, V, Rn, He, Cu, Pb
Uranio em veios	U	Cu, Bi, As, Co, Mo, Ni, Pb, F
Corpos ultramáficos de ouro	Pt, Cr, Ni	Cu, Co, Pd
Veios de fluorita	F	Y, Zn, Rb, Hg, Ba

Desta forma, uma área em que o teor do elemento pesquisado seja abaixo do clarque pode ser um "Alvo" interessante desde que o teor do elemento farejador esteja acima daquele teor considerado normal para o seu metalotecte.

I.5 – Exercício para Fixação

Com a reativação da Mineração de Scheelita no Seridó do Estado do Rio Grande do Norte, muitas questões novas têm se apresentado. O preço é de R$ 22,00 por quilo de WO_3 contido a base de no mínimo 65% de WO_3. Atualmente são gastos aproximadamente R$ 19.000,00 para se produzir 1 tonelada deste concentrado e as empresas projetam lucro em torno de 30%. Os teores fundamentados nas variáveis econômicas têm mudado drasticamente quando comparados ao período áureo da Mineração de Scheelita na época da II Guerra Mundial e nos anos 60 e 70 devido a denominada Guerra Fria, pois os maiores produtores de W eram países Comunistas (China, União Soviética, Coréia etc) que não comerciavam com os países do chamado Bloco Capitalista. Naquela época o Cut-off oscilava entre 0,20% e 0,30% WO_3.

Duas frentes de galerias subterrâneas, ambas com camada de escarnito vertical, de espessura real de 1,0 m. A galeria tem seção retangular de 2,0 m de largura e 3,0 m de altura. A camada da Frente "A" o teor é 2,6% WO_3 e a da frente "B' é de 0,90% WO_3. O técnico de Mineração se deparou com essa questão e deseja saber se será economicamente viável desmontar as duas frentes.
(OBS: A densidade do escarnito usualmente utilizada é de 3,0 ton/m^3)

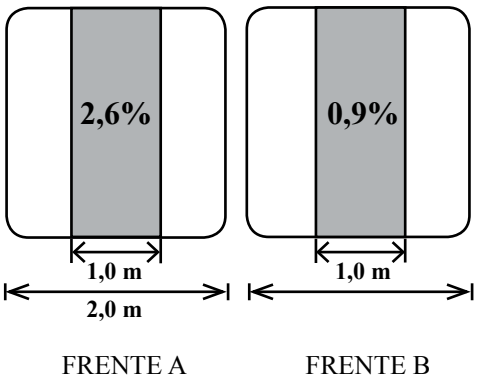


Figura I.9 – Dados de duas frentes de galerias subterrâneas. Do autor.

Resposta:

O teor crítico é calculado como uma relação entre preço de venda e custo para se produzir uma mesma quantidade de concentrado de mineral-minério. Assim, Teor Crítico = 0,863636% ou 0,86% WO_3.

O Teor de Corte é = 1,122727 % (Tcrítico + o lucro de 30% desejado pelas empresas) ou 1,1% WO_3.

O teor diluído (Td = (espessura da camada x teor da camada) / Espessura de corte) é de 1,3% WO_3 e 0,45% WO_3 respectivamente para as galerias A e B. Note que a espessura de corte aqui utilizada foi a largura da galeria, enquanto no exemplo da figura I.4 foi a altura. A

espessura de corte a ser utilizada depende da atitude do minério, pois se leva em consideração a dimensão da galeria que provocará alteração na relação minério : estéril (nesse caso 1:1).

Assim, a frente "A" projetaria mais que o lucro esperado, pois está acima do Teor de Corte (Cut-off) enquanto a galeria B dá prejuízo, pois está abaixo do Teor Crítico.

Uma alternativa poderia ser a BLENDAGEM (mistura do material das duas frentes) de modo que o material misturado possua teor pelo menos igual ao teor de corte. A média aritmética dos teores diluídos das duas galerias é de 0,875% WO_3 ou 0,88% WO_3, sendo, portanto, abaixo do teor de corte, considerando uma blendagem de 50% (ou seja, para cada quilo de material da galeria A, ter-se-ia a mesma quantidade de material da geleria B na mistura ou blend). O teor mínimo que poderia ser misturado com o teor da galeria "A" seria 1,8% WO_3 (Teor Limite) que, após diluído seria de 0,9% permitindo o "blend" de 50% já mencionado.

Assim, o técnico não deveria desmontar as duas frentes, pois não seria viável economicamente.

II – NOÇÕES DE DEPÓSITOS MINERAIS

II. 1 - Introdução

Um Depósito Mineral é constituído de Minério, Encaixante, Estéril, Mineral-Minério, ganga e Sub-produto(s), conforme ilustrado anteriormente na figura I.3. A existência de um Depósito Mineral está condicionada aos processos geológicos formadores de rocha, tanto os pretéritos, concomitantes, como os processos posteriores a formação da rocha. Daí a importância do conhecimento prévio de PETROGRAFIA e MINERALOGIA. Desta forma, os processos geológicos concorrem para a formação de concentrações anômalas, resultando no Depósito Mineral.

Existem diversas classificações dos Depósitos Minerais, cada uma delas utilizando-se de um critério específico, como, por exemplo: utilização comercial do mineral-minério (*commodity*), morfologia (Forma do Corpo Mineralizado), origem (Ígneo, Metamórfico e Sedimentar), rocha hospedeira da mineralização, processo formador, ambiente geotectônico, tempo relativo de formação com respeito à encaixante, Regularidade Estatística etc. Cada uma delas com vantagens e desvantagens na aplicação. Aqui utilizaremos algumas dessas em caráter informativo. Um Depósito bem conhecido (bastante estudado) serve de referência para o estudo de outros. Esse Depósito é chamado de **Depósito-Padrão** ou **Jazida-Tipo**, os quais, via de regra, são os maiores do mundo (chamados de "**world class**").

Quando o Minério é formado ao mesmo tempo em que a(s) Encaixante (s) diz-se que ele é SINGENÉTICO. Quando é formado posteriormente a(s) Encaixante(s) diz-se que é EPIGENÉTICO. Chama-se Depósitos Primários aqueles de origem magmática e Secundários aqueles de origem sedimentar.

II.2 - Classificação Quanto a Forma do Corpo Mineralizado

As formas mais comuns dos corpos mineralizados são: Bandado, Acamadado ou em Camadas, em lentes ou lenticular, Disseminado, Schilieren, Poroso, Pulverulento, Massivo ou Maciço, Stockwerks ou Stockworks, Amas, Run, Filão ou Filoneano. Descreveremos com um pouco mais de detalhes algumas formas cuja figura não seja por se só elucidativa, baseados em Maranhão (1982), Station (1972), Guilbert e Park Jr (1986) e anotações dos autores.

Diz-se que um minério é **Bandado, Acamadado ou em Camadas** (Depósitos Estratiformes – em forma de estratos) quando se apresentam como corpos tabulares onde a espessura é muito pequena em relação às outras duas dimensões do corpo. São do tipo singenético. **Lentes** ou **Lenticulares** são aqueles em forma de **Bolsões** ou elipsóide.

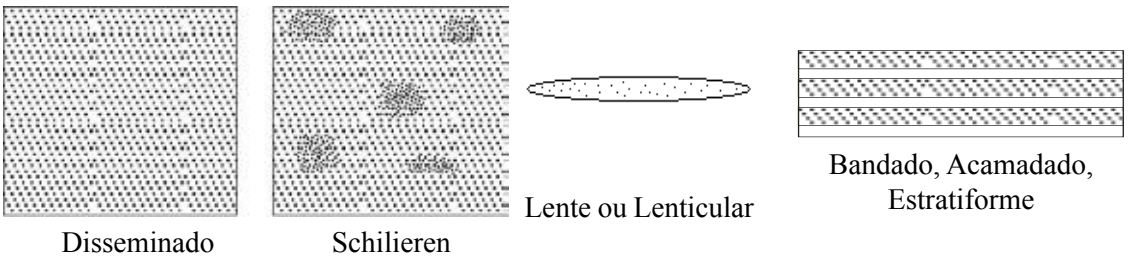


Figura II.1 – Formas de Corpos Mineralizados (Disseminado, Schilieren, Bandado, Acamadado, Estratiforme Lente ou Lenticular). Figura do autor.

Os **Stockwerks** ou **Stockworks** são finos veios interconectados. A forma de **Amas** é utilizada para designar morfologia de difícil definição (formas caprichosas que não podem ser expressas por um modelo geométrico simples).

O **Run** é uma forma alongada, semelhante a lentes, mas que se apresentam sempre numa posição estratigráfica definida.

Minério **Poroso** é aquele caracterizado pela presença de poros, enquanto o **Pulverulento** se caracteriza pelo aspecto friável, facilmente transformado em pó (material de falha/cisalhamento).

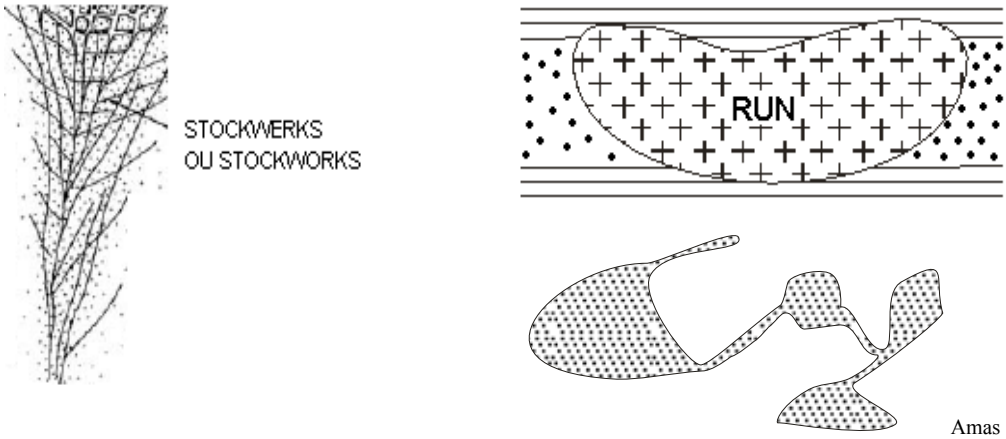


Figura II.2 – Forma de Minério (Stockworks, Run e Amas) - figura do autor, baseado em Maranhão, 1983.

Os "**chaminés**" e "**Pipes**" são corpos que apresentam forma tabular com seção circular ou ovóide e com o eixo maior inclinado (na Figura II.16 apresenta-se um desenho esquemático de um Depósito de Sulfeto Maciço Vulcanogênico em forma de Pipe).

O **Filão** (Depósitos Filoneanos) são corpos epigenéticos de faces mais ou menos paralelas e de fraca espessura em relação às outras dimensões. Também chamados de "veios". A disposição do mineral-minério nos corpos filoneanos (mineralização) pode se dá em faixas denominadas Colunas, ore shoots, bolsões ou bonanzas (Figura II.3).

A Faixa de contato entre o Filão e a encaixante (Eponte) geralmente é definida por uma litologia nova, produzida devido ao metamorfismo de contato e é denominada de Salbanda.

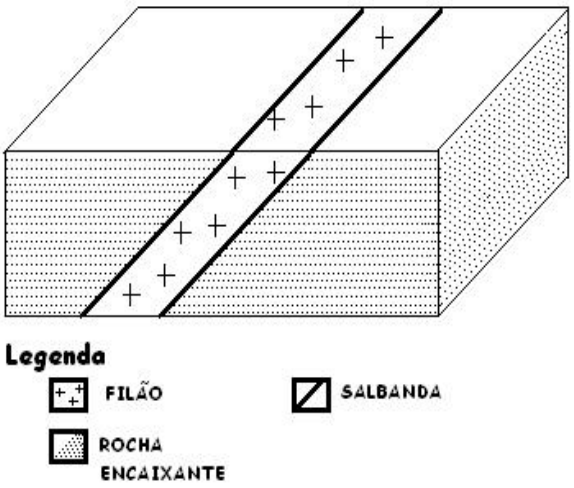


Figura II.3 – Filão e seus componentes - figura do autor,
baseado em Maranhão, 1983

Os tipos **Disseminados, Schilierens, Stockworks** referem-se principalmente a forma como se apresenta o mineral-minério.

O tipo **Disseminado** diz respeito ao comportamento do Mineral-Minério como pontuações aleatórias (isotrópicas) ao longo da camada hospedeira (minério). Podem formar tipos disseminados finos até grosseiros (pórfiros – **minério porfirítico**). Neste mesmo sentido é a forma em **Schilieren** (concentrações geralmente de minerais máficos). Já o termo **Massivo** ou **Maciço** pode se referir tanto ao mineral-minério formando massas, como ao minério.

II.3 - Classificação Quanto ao Processo Formador

II.3.1 – Introdução: A classificação dos Depósitos Minerais que utiliza os Processos Geológicos responsáveis pela formação da anomalia podem ser agrupados, grosso modo, em dois tipos:

(i) Processos atuantes no interior da terra (Depósitos Magmáticos e Metamórficos) ou Processos Hipogênicos e;

(ii) Processos geológicos atuantes na superfície da terra ou próximos a ela ou Processos Supergênicos (vide Tabela II.1).

TABELA II.1 – CLASSIFICAÇÃO DE DEPÓSITOS MINERAIS BASEADA NO PROCESSO FORMADOR

Origem devido à Processos Internos ou Hipogênico		
Segregação Magmática	Separação de mineral-minério pela cristalização durante a diferenciação magmática. (Cristalização Fracionada)	Depósitos de Pt—Cr Bushveld, África do Sul. Depósito de titanium Tahawas.
	Líquidos Imiscíveis: líquidos na câmara magmática que não se misturam promovendo a concentração anômala de determinados elementos.	Depósitos de Cu-Ni de Sudbury, Canada e Niquel de Kambalda, Oeste da Australia.
Pegmatitos	Cristalização como grãos disseminados ou segregação em pegmatitos.	Pegmatitos de Li de Montes Kings N.C.
Hidrotermal	Deposição de soluções aquosas quentes de várias proveniências	Cu-Mo Pórfiros. Depósitos da Cordilheira Andina
Secreção Lateral	Difusão de mineral-minério e ganga formando materiais de rochas regionais em falhas e outras estruturas	Depósito de Ouro de Yellowknife, Canada.
Processos Metamórficos	Depósitos pirometassomáticos (skarn) formado pela recristalização da “wall rock” adjacente a uma intrusiva.	Depósitos de W de Bishop, CA. Depósitos de Fe em Iron Mtn USA.
	Concentração inicial de um ou mais elementos do minério por processos metamórfico.	Mina de Au de Homestake, Sul de Dakota.
Orígem Devido a Processos na Superfície ou próximo a ela (Processos Supergênicos)		
Acumulação Mecânica	Concentração de Minerais Pesados em Placers	Placer Au do Alasca e California.
Precipitação Sedimentar	Precipitação de certos elementos em ambiente sedimentar	BIF - Banded Iron Fm. , Plataforma Canadense
Processos Residuais	Lixiviação de elementos solúveis, deixando concentrações de elementos insolúveis.	Niquel laterítico of New Caledonia e Bauxite doArkansas (USA).
Enriquecimento Supergênico	Lixiviação de certos elementos da parte superior de um depósito mineral e sua reprecipitação em profundidade para produzir concentrações mais altas.	A porção superior de muitos depósitos de cobre pórfiro
Processos Vulcano-Exalativo	Exalação de magmas ricos em sulfetos na superfície, usualmente sob condições marinhas	Sullivan e Kidd Creek,Canada, Kuroko,Japão.

Tabela do autor baseado em http://www.geovirtual.cl/depos/000index.htm e www.pesquisamineralcefet.hpg.com.br

II.3.2 - PROCESSOS ATUANTES NO INTERIOR DA TERRA (ou Hipogênicos)

II.3.2.1 - Segregação Magmática – São aqueles depósitos, não incluindo os pegmatitos, que foram formados diretamente da cristalização do Magma. Eles são de dois tipos:

- **Cristalização Fracionada**

  - No magma fundido ("*melt*") alguns cristais podem se formar mais cedo que outros à medida que o mesmo se resfria e o ponto de cristalização de cada mineral é atingido.

Nesse processo de cristalização progressiva dos cristais eles não estão em equilíbrio com o "melt" e passam a se diferenciar do líquido em fusão. Isso se dá através de diferenças de densidade / processos gravitacionais, diferenciação por convecção de fluxo, pressão e dilatação.

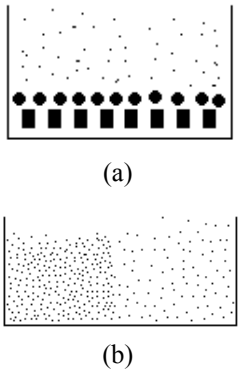


Figura II.4: Desenho esquemático de cristalização Fracionada (a) e Imiscibilidade de Líquidos (b). Figura do autor.



Figura II.5: Série de Bowen e respectiva classificação dos magmas pelo índice de cor. A série dos feldspatos é também conhecida como **Série Contínua** e a dos minerais máficos de **Série Descontínua**. Esquema do autor baseado em http://www.geologiacefetrn.hpg.ig.com.br/bowen.

Os processos envolvendo diferenças de densidade e gravitacionais são os mais importantes e resultam na formação de cristais mais pesados na base da câmara magmática. As rochas formadas dessa maneira são chamadas de "*cumulatus*" ou "*cumulus*" e são freqüentemente caracterizadas por um acamamento rítimico (camadas de magnetita e/ou cromita e camadas de silicatos, como no Complexo Ígneo de Bushveld). Minerais acessórios de Cr, Ti, V e Fe (óxidos), Ni, Cu e EGP[1] (sulfetos) formam-se nos estágios iniciais de cristalização do magma.

Exemplos de Depósitos - Tipo:

Complexo de Bushveld (África do Sul); Great Dyke – Grande Dique (Zimbabwe); Complexo de Stillwater (USA); Campo Formoso (Brasil) - cromo

[1] EGP - Elementos do Grupo dos Platinóides

- **Líquido Imiscível**
  - São líquidos que não se misturam como o óleo e água. Os exemplos clássicos envolvem sulfetos e silicatos Os casos mais comuns são sulfetos de ferro, níquel, cobre e platina também ocorrer. Ex. Sudbury, Canadá.

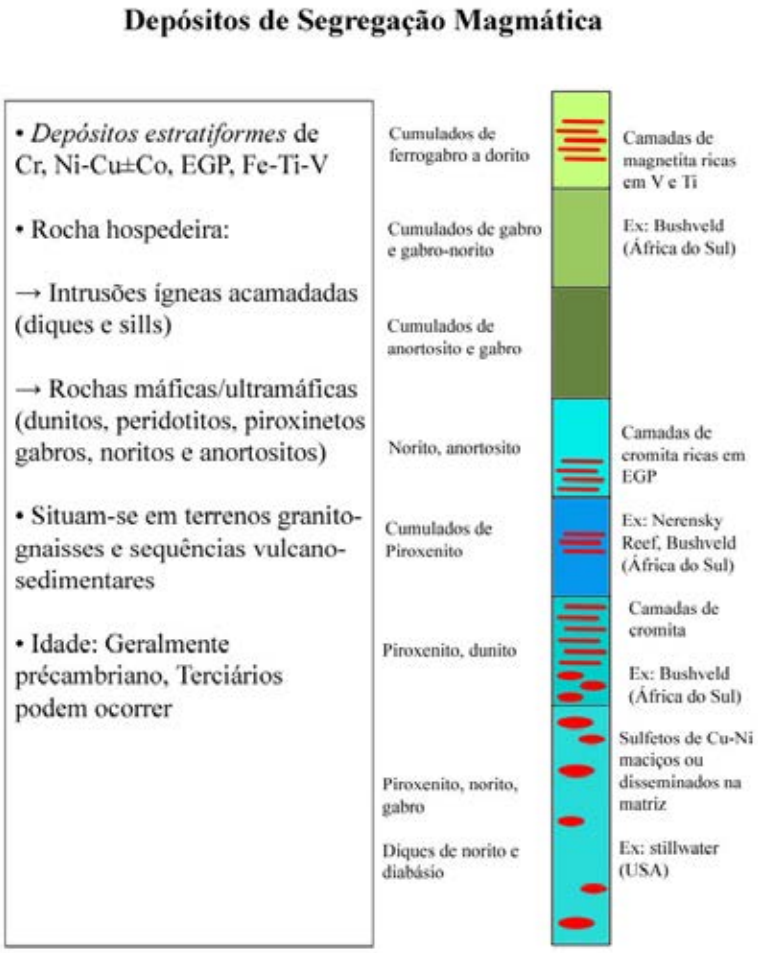


Figura II.6 – Depósitos de Segregação Magmática Compilado de Xavier. 2009 www.ige.**unicamp**.br/site/aulas/99/Maficas-ultramaficas.ppt.

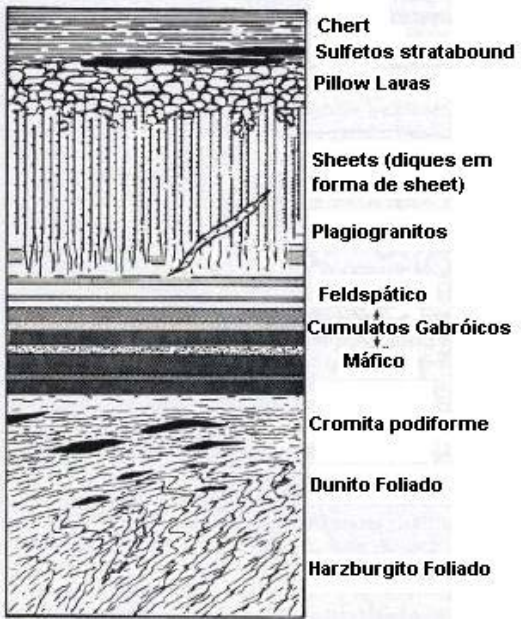


Figura II.7 - Seção Esquemática através de uma suíte Ofiolítica (Ofiolito). As margens resfriadas nos diques em forma de "sheet" são indicadas por pontos. Compilado de Xavier. 2009 www.ige.**unicamp**.br/site/aulas/99/Maficas-ultramaficas.ppt.

II.3.2.2 - Pegmatitos – Rochas ígneas de granulação muito grosseira. Comumente formam diques e massas de uns poucos metros até 1-2 Km de comprimento. Atribui-se a representação da fase volátil do magma – **processo pneumatolítico**. Na realidade Depósitos Minerais econômicos são relacionados com pegmatitos graníticos oriundos de magmas félsicos mais água. Elementos residuais tais como Li, Be, Nb, Ta, Sn and U não são acomodados na cristalização final da fase silicática e se cristalizam na fase volátil. Quando essa fração é injetada nas rochas regionais um pegmatito é formado. As temperaturas de deposição variam desde 250 a 750 °C.

A formação dos pegmatitos se dá na fase final de resfriamento do magma, através da percolação de soluções ricas em sílica, água e, ocasionalmente, em alguns íons que não entraram na estrutura cristalina dos minerais até então formados. A partir destas soluções hidrotermais são gerados os pegmatitos, constituídos principalmente por quartzo e feldspato potássico. No entanto, em alguns casos, estas soluções hidrotermais podem estar enriquecidas por elementos químicos de importância econômica fazendo com que os pegmatitos sejam mineralizados a tungstênio, uraninita, estanho, turmalina, topázio, etc.

Os Pegmatitos são divididos em simples (plagioclásio, quartzo e mica não zonados) e complexos (maior variedade de minerais e fortemente zonados). São sinônimos do tipo simples e complexo os pegmatitos não-diferenciados e diferenciados e homogêneos e heterogêneos. Nesses últimos podem ser encontrados cristais gigantes de diversos metros.

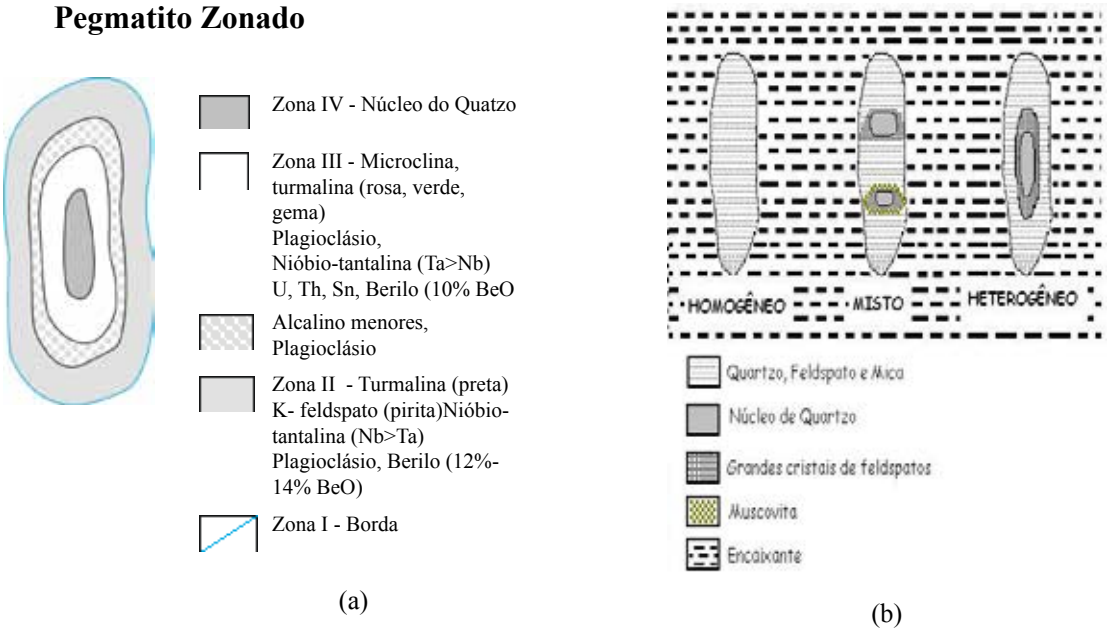


Figura II.8 - Desenho Esquemático de um Pegmatito (a) Zoneamento do Pegmatito de Bikita e (b) modelos hipotéticos de pegmatitos homogêneo, misto e heterogêneo. Parcialmente compilado de EVANS (1993).

Um pegmatito heterogêneo (zonado) e bem diferenciado exibe, via de regra, quatro zonas, divididas grosso modo, em: **Zona I**: parte mais simples do pegmatito zonado, estando mais próximo da encaixante, mineralogia: feldspato, turmalina, biotita e granada; **Zona II**: intercrescimento gráfico de quartzo e feldspato; **Zona III**: apresenta os mesmos minerais das outras zonas, porém com grandes dimensões, grandes blocos em contato, os minerais mais raros se encontram nesta zona; **Zona IV**: grandes blocos, compostos quase que essencialmente de quartzo.

II.3.2.3 - Hidrotermal – Os processos hidrotermais são caracterizados por soluções aquosas quentes responsáveis pela formação do Depósito Mineral. A faixa de temperatura varia desde 50 °C a 450 °C, sendo a água com alta salinidade (salmoura) a fase mais importante.

Os quatro aspectos fundamentais para a mineralização hidrotermal acontecer são: i) Fonte dos fluidos hidrotermais e metais, ii) Alteração hidrotermal, iii) Estabilidade de sulfetos e; iv) transporte e precipitação dos metais.

As alterações hidrotermais mais comuns e suas respectivas associações mineralógicas, com base em Corbett & Leach (1998), Reed (1997), Titley (1992), Rose & Burt (1979) e Meyer & Hemley (1967) são:

a) **Alteração Potássica**: caracterizada por feldspato potássico e/ou biotita, tendo como acessório quartzo, magnetita, sericita e clorita.

b) **Alteração Propilítica**: caracterizada principalmente pela associação clorita-epidoto com ou sem albita, calcita, pirita, e como acessórios o quartzo-magnetita-illita. A alteração propilítica ocorre geralmente como halo gradacional e distal de uma alteração potássica, gradando desde actinolita-biotita no contato da zona potássica à actinolita-epidoto na zona propilítica. Em zonas mais distais se observam associações de epidoto-clorita-albita-carbonatos gradando a zonas progressivamente mais ricas em clorita e zeolitas hidratadas formadas a baixas condições de temperatura. Esta característica zonal e gradacional é reflexo de um gradiente termal decrescente desde o núcleo termal (alteração potássica nesta discusão) até fora. Esta alteração se forma a condições de pH neutro a alcalino à faixas de temperatura baixa (200°-250°C). A presença de actinolita (280°-300°C) pode ser indicador da zona de alteração propilítica interior.

c) **Albitização**: normalmente associado com alteração propilítica de alta temperatura, ocorre em geral como substituição seletiva de plagioclásios junto com actinolita

d) **Sericítica**: quartzo e sericita com minerais acessórios como clorita, ilita e pirita, porém com predominância de sericita. A alteração quartzo-sericítica ocorre na faixa de pH entre 5 e 6 a temperaturas acima de 250°C.

e) **Saussuritização** - Processo através do qual os feldspatos são alterados para uma mistura de zoisita, clinozoisita ou epídoto finamente divididos, acompanhados por albita, quartzo, calcita, clorita e ocasionalmente, granada. Os plagioclásios mais cálcicos perdem Ca e Al, gerando albita e normalmente pequenos cristais de epidoto, sericita, carbonato e, às vezes também clorita, gerando aspecto poiquilítico. A alteração também pode gerar escapolita, prehnita, zeólitas, alofano, montmorillonita e caulinita.

f) **Alteração Argilítica**: caracterizada por argilas (caulim) e maior ou menor quantidade de quartzo. Essa alteração ocorre na faixa de pH entre 4 e 5 e pode co-existir com alunita em pH entre 3 e 4. A caolinita se forma a temperaturas abaixo de 300°C, (<150°-200°C). Acima dos 300°C a fase estável é a pirofilita.

g) **Alteração Argilítica Avançada**: Ocorre em ampla faixa de temperatura, porém as condições de pH entre 1 e 3,5 e se caracteriza principalmente por quartzo residual ("vuggy sílica") com ou sem a presença de alunita, jarosita, caolim, pirofilita e pirita. A temperatura acima de 350°C pode ocorrer andalusita + quartzo.

h) **Alteração Carbonatada**: caracterizada por calcita, dolomita, ankerita, siderita, com maior ou menor sericita, pirita e/ou albita. Os carbonatos ocorrem numa ampla faixa

de temperatura e pH, associados com caolinita, clorita e minerales calciossilicatados. Zonação de carbonatos em função de pH incremental é observado em muitos sistemas hidrotermais. Carbonatos de Fe-Mn (siderita-rodocrosita) co-existem com caolinita e illita, enquanto que carbonatos mistos de Ca-Mn-Mg-Fe (rodocrosita-ankerita-kutnahorita-dolomita) ocorrem com illita e clorita, e carbonatos de Ca-Mg (calcita-dolomita) ocorrem com clorita e minerais calciossilicatados. Esta zonação é interpretada como produto da mobilidade decrescente de Fe, Mn Mg a pH progressivamente mais alto. Os carbonatos podem aparecer em todo tipo de ambiente hidrotermal.

i) **Alteração Calciossilicatada ("skarn" ou escarnitos):** silicatos de Ca e Mg dependendo da rocha hospedeira Calcário ou Dolomita. Calcário: granadas andradita e grosularita, wollastonita, epidoto, diopsidio, idiocrasio (vesuvianita), clorita, actinolita. Dolomita: fosterita, serpentinita, talco, tremolita, clorita. A alteração calciossilicatada ocorre sob condições de pH neutro a alcalino e diversas faixas de temperatura. A associação zeolita-clorita-carbonatos é formada a baixas temperaturas e epidoto, seguido por actinolita, ocorrem a temperaturas progressivamente maiores. Os minerais de zeolita são particularmente sensíveis a temperatura. Zeolitas hidratadas (natrolita, chabazita, mesolita, mordenita, stilbita, heulandita) predominam a condições de baixa temperatura (<150°-200°C), enquanto que zeolitas menos hidratadas tais como a laumontita (150°-200°C) e wairakita (200°-300°C) ocorrem a temperaturas e profundidades progressivamente maiores em sistemas hidrotermais. Em alguns sistemas se observa pumpellita/prehnita a temperaturas mais elevadas (250°-300°C), em asociação, em alguns casos, com epidoto. Actinolita é estável a temperaturas >280°-300°C.

j) **Alteração Tipo Greissen**: Caracterizado por moscovita de granulação grossa, feldspato e quartzo, com ou sem topázio e/ou turmalina. Esta alteração ocorre principalmente associada a fases pneumatolíticas em rochas graníticas, a temperaturas acima de 250°C.

II.3.2.4 - Secreção Lateral_– Formação de depósitos minerais por lixiviação de metais e SiO_2 da rocha hospedeira. O magma segrega os elementos químicos das rochas adjacentes, interagindo com a encaixante devido à abertura promovida por fraturas. É difícil de distinguir do embasamento – derivado de fluidos hidrotermais.

Exemplo – Caso histórico do Yellowknife Goldfields – O Depósito Mineral ocorre em lentes de quartzo-carbonato em zonas de cisalhamento clorítica cortando anfibolitos. Os principais minerais são quartzo, carbonatos, sericita, pirita, arsenopirita, stibnita, calcopirita, pirrotita, esfalerita, galena e ouro nativo. Halos de alteração de carbonato-sericita e clorita-carbonato ocorrem nas rochas hospedeiras adjacentes aos depósitos. O Quartzo é o mineral mais importante, tendo uma quantidade substancial sido subtraída do halo de alteração. Alguma

subtração de Fe, Mg, Ca, Ti e Mn também ocorrem e isso é indubitavelmente a fonte de mineral minério de pirita-calcopirita-pirrotita. Alumina is empobrecida na parte externa do halo e concentrada na parte interna do halo na forma de sericita. $C0_2$ e H_20 foram adicionados por fontes externas.Cálculos indicam que o anfibolito cisalhado tem 20 x a concentração de metais necessários para produzir toda a mineralização do depósito. Então, nesse caso, a Secreção Lateral é um modelo viável.

II.3.2.5 - Processos Metamórficos ou Metassomáticos – Metamorfismo são todas as modificações na assembléia mineral de uma rocha, que ocorrem no interior da crosta da Terra, como resultado das mudanças na temperatura (T) e pressão (P), ou ação de fluidos hidrotermais a partir de 200-250 ºC (<200-250 ºC ocorre a diagênese/rochas sedimentares) e vai até a curva da anatexia, ou seja, até fusão parcial da rocha e formação de MIGMA (migmatitos) ou até a fusão total com a formação do magma (rochas magmáticas ou Ígneas).

Essas modificações podem ser de caráter regional, restrita ao contato entre um corpo de rocha quente intrudido em uma rocha mais fria (Met. de Contato), devido a fluidos quentes (Hidrotermal), atuação preponderante da pressão (dinamometamorfismo), entre os principais tipos. Os processos hidrotermais e o de escarnitização – formação de "skarn" merecem especial destaque sendo, por isso, tratados separadamente quando se trata de Depósitos Minerais.

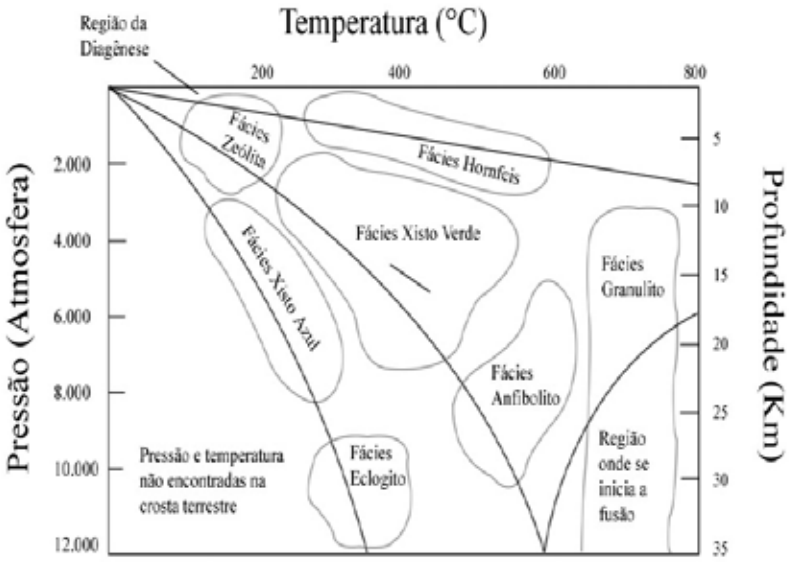
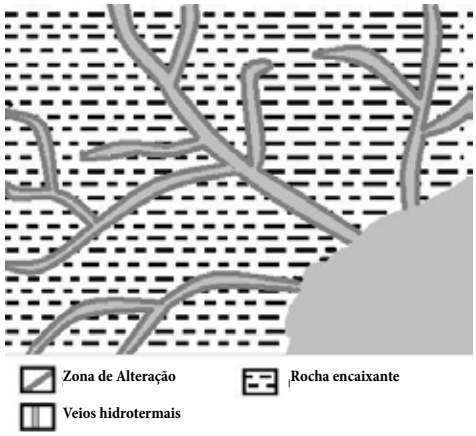


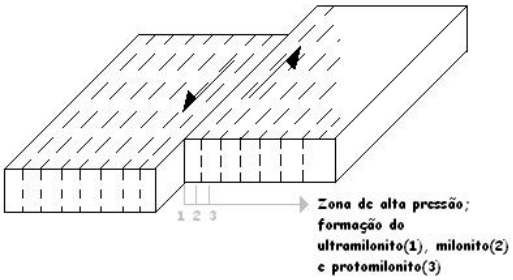
Figura II.9 – Diagrama dos principais fácies metamórfico. Parcialmente compilado de http://www.ugr.es/~geopeta/ej6.htm



Matassomatismo de Contato



Metassomatismo Hidrotermal



Dinamo-metamorfismo

Figura II.10 - Alguns Processos Metamórficos ou Metassomáticos. Compilado de Maranhão, 1983.

Metassomatismo de Contato: Rocha quente intrudem rochas mais fria provocando uma espécie de "queimadura" (Rocha de Metamorfismo de Contato, tipo tactito, cornumbianito etc). A rocha intrusiva promove o calor e os fluidos com metais e/ou necessários para a reconcentração formando os Depósitos Minerais.

Metamorfismo Regional: A hidratação / desidratação que ocorre em processos metamórficos (Regional) pode concentrar metais no "front" de metamorfismo. Em Kalgoorlie (Oeste da Austrália) o metassomatismo sódico transformando K-feldspato em plagioclásio Sódico resultou na expulsão de ouro que não poderiam permanecer acomodados nas lamelas de geminação do feldspato potássico.

Metamorfismo Hidrotermal: Já tratado anteriormente, são transformações promovidas por reações entre a hospedeira e fluidos quentes (saumoura).

Dinamometamorfismo: Predomina a ação da pressão, ou seja, a pressão é o principal agente transformador da rocha original (protólito). Ocorre em zonas de falhamentos e, especialmente em Zonas de Cisalhamento que são importantes ambientes para Depósitos Minerais de ouro.

Quando a temperatura é o agente preponderante na transformação da rocha a mesma é chamada de "Metamorfito". Quando predomina a pressão, a rocha é denominada de "Tectonico", sendo Tectonico-S se a estrutura principal é a foliação e Tectonico-L se a lineação. Tectonito L-S ou S-L se ocorre ambos com predominância do elemento estrutural que inicia o nome da rocha.

II.3.3 – PROCESSOS ATUANTES NA SUPERFÍCIE DA TERRA OU PRÓXIMO A ELA (PROCESSOS SUPERGÊNICOS)

II.3.3.1 - Introdução

Alguns autores designam o termo "Depósitos Residuais" para englobar todos os processos de seleção natural sedimentar de minerais minérios, tanto os placers (Acumulação Mecânica) como Alteração Supergênica. Para estes os Processos descritos em II.3.3.1, II.3.3.2 e II.3.3.3, são simplesmente **Depósitos Residuais**, com suas especificidades.

Os Depósitos de origem Biogênica (**Depósitos Biogênicos**) são formados pela acumulação de restos animais e vegetais, como carapaças, fezes, vegetação, etc. São exemplos turfas (restos vegetais formando recursos energéticos), Guano (Fósforo de fezes de pássaros), Coquina (calcário composto por conchas e fragmentos de conchas), etc. Por ter uma importância econômica limitada não foi tratado aqui como um item, mas apenas nesse parágrafo.

II.3.3.2 - Acumulação Mecânica – São processos gravimétricos responsáveis pela concentração natural de minerais pesados e de baixa solubilidade. Assim, agentes como a água ou o vento transportam os minerais mais leves e concentram aqueles mais pesados. São também chamados de "**Placer**" ou **Depósitos Detríticos**, e podem formar depósitos recentes ou antigos (paleo-placer). Exemplos de depósitos de placer são inúmeros, como Ouro, ilmenita, magnetita e diamantes estão entre os minerais obtidos de placers. No Brasil a mina de ouro de Jacobina na Bahia, rutilo e ilmenita em Mataraca na PB, são alguns dos depósitos originados pela acumulação mecânica.

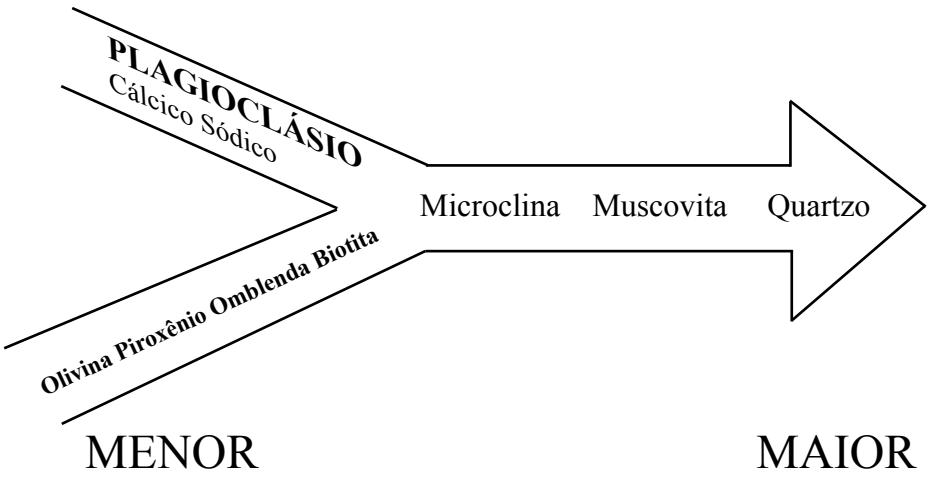


Figura II.11 - Resistência dos minerais ao intemperismo. Figura do autor.

Numa experiência de *GOLDICH, S. (1938): Journal of Geoloy; vol. 46* aplicou o intemperismo a uma amostra de gnaisse de composição granítica. Esta rocha continha 40% de plagioclásio, 30% de Feldspato potássico e 30% de quartzo. Durante o intemperismo o plagioclásio se decompôs primeiro, depois desapareceu o K-Feldspato. Durante todo o processo se formou um mineral novo: o caulim. Então o intemperismo destruiu minerais, mas também se formaram novos minerais.

Suponha que a amostra da experiência de Goldich contivesse cassiterita (Sn) que, juntamente com o quartzo seriam os minerais mais resistentes ao intemperismo e que o corpo de granito estivesse localizado conforme ilustrado na Figura III.42. Todo o conjunto de minerais sofreria a ação intempérica e, em seguida o transporte, de modo que chegassem ao fundo do vale, num rio, caulim + quartzo + cassiterita. O caulim provavelmente sofria mais transporte (por solução), o quartzo (por saltação e rolamento), enquanto a cassiterita, por ser mais pesada, tenderia a se concentrar no fundo do rio formando um "placer".

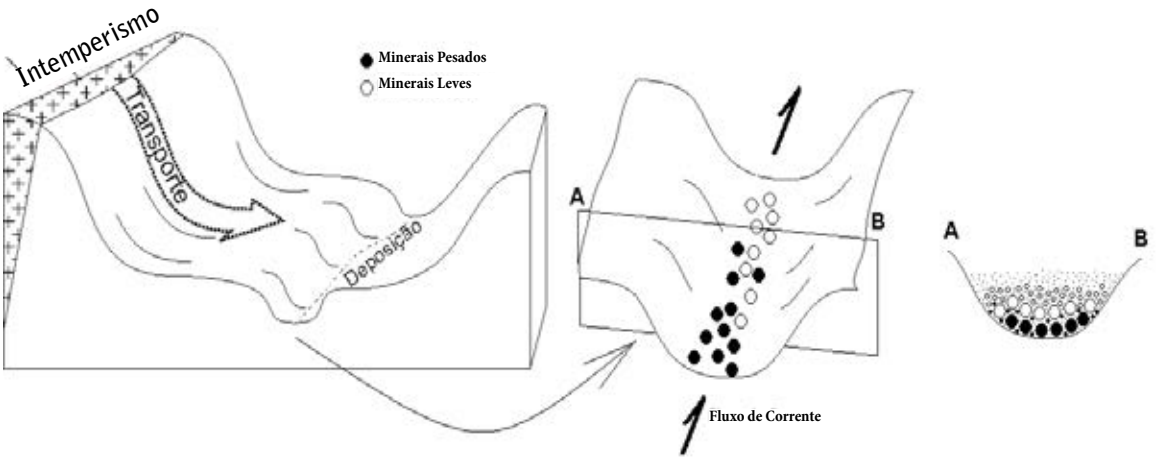


Figura II.12: Processo de Concentração Mecânica. Figura do autor.

RED BED é um termo aplicado a seqüências sedimentares (arenitos, siltitos e ardósias) que são aproximadamente de cor vermelha, mas usualmente associadas em proporções variáveis de estratos rítimicos, interdigitados, tipicamente cinzas, cinza esverdeado, marrom ou preto, depósitados em clima quente e sob condições oxidantes. Eles compreendem uma ampla faixa de fácies representando todo um espectro de ambiente deposicional não-marinho de leques aluviais, planície de inundação de rio, desertos, lagos e deltas e de idades que variam desde o Proterozóico até o Cenozóico. A cor vermelha é devido a óxido de ferro. São importantes Depósitos Minerais de U, V e, secundariamente de Se, As, Mo, Pb, Cu e Zn.

II.3.3.3 – Enriquecimento Supergênico - Lixiviação de certos elementos da parte superior de um depósito mineral e sua reprecipitação em profundidade para produzir concentrações mais altas. A porção superior de muitos depósitos de cobre pórfiro tem seu enriquecimento

devido aos processos supergênicos. Alguns autores consideram Processo Supergênico e Residuais como sinônimos. Por esta razão, deixaremos para apresentar maiores detalhes no item a seguir.

II.3.3.4 – Processos Residuais - Lixiviação de elementos solúveis, deixando concentrações de elementos insolúveis. Esse processo tem sido invocado para a maioria dos depósitos de "gossans" (chapéu de ferro), lateritas e bauxitas. Nas bauxitas a lixiviação de ferro e óxido promove o enriquecimento de Alumínio.

Naquele sentido mais amplo, os Depósitos Residuais seriam de dois tipos, um englobando os dentríticos (as concentrações mecânicas ou placers) e outro englobando todos os processos de enriquecimento através da lixiviação natural.

Os Depósitos Residuais devido a processos de lixiviação natural são formados em regiões tropicais. Durante a estação chuvosa, ocorre intensa lixiviação das rochas e, durante a estação seca, a solução contendo íons lixiviados é atraída para a superfície pela capilaridade da rocha, por onde se evapora deixando sais que são "lavados" na próxima estação chuvosa.

Eventualmente, toda a zona abaixo do lençol freático é lixiviada de íons relativamente móveis, tais como sódio, potássio, cálcio e magnésio. Com a lixiviação sob condições de alto pH, a sílica também é dissolvida e removida do sistema. O material remanescente é usualmente óxido de ferro e alumínio que são concentrados. Rochas básicas e ultrabásicas tendem a formar Laterita enquanto rochas graníticas tendem a formar bauxita.

Essas lateritas podem se constituir de concreções limoníticas semelhantes a Impressão digital ou desenho da limonita resultante da oxidação do mineral sulfeto de ferro constituindo as estruturas "BOXWORK".

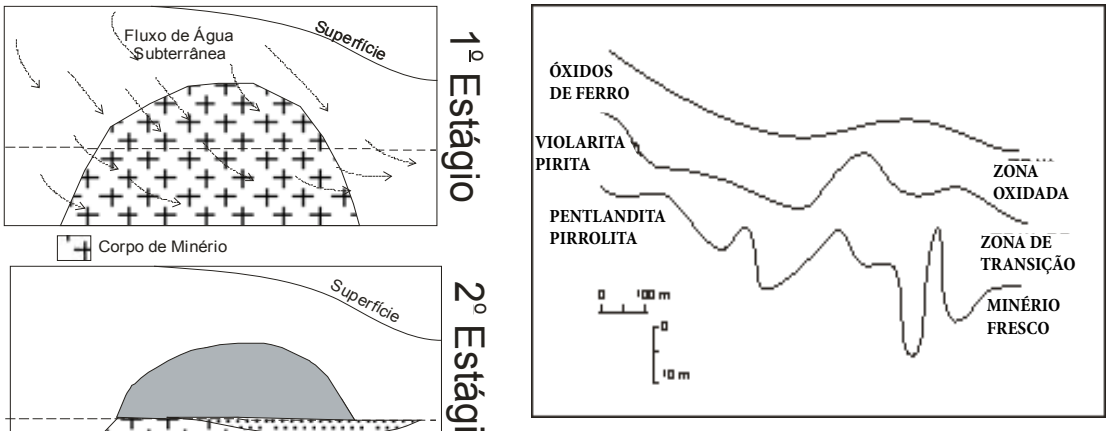


Figura II.13: Desenho Esquemático de um Perfil de Alteração Supergênica. A direita o Processo de Alteração Supergênica e acima um Perfil de um Depósito Supergênico formado a partir de um protólito sulfetado. Parcialmente compilada de www.geovirtual.cl.

Gossans ou Chapéu de Ferro são rochas que originalmente continham sulfetos e que foram submetidas a um processo de alteração supergênica. A cor avermelhada é uma característica importante dos Gossans. Ela se deve a transformação de sulfetos originais ricos em ferro em compostos oxidados. Os Gossans são o resultado da alteração física e química das rochas como conseqüência da ação de agentes como a chuva, o vento, sol ou as águas subterrâneas. Esses processos produzem a alteração dos sulfetos, dissolução e precipitação de outros minerais e uma importante lixiviação nas rochas.

A formação de um Gossan depende de fatores distintos, como a paragênese original dos sulfetos, clima, relevo, tipo de rocha encaixante, nível freático, etc.

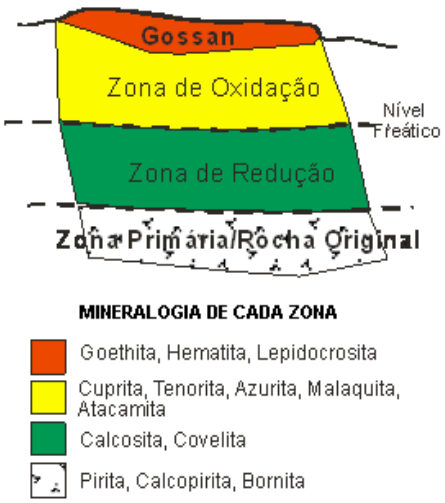


Figura II.14: Esquema de Zonação de Alteração Supergênica de um Depósito de Sulfeto. Parcialmente compilado de www.geovirtual.cl

Os Gossans não têm grande desenvolvimento em zonas afetadas pela glaciação ou naquelas de bosques úmidos, ou seja, naquelas zonas não propícias ao ambiente oxidante (por exemplo: Canadá, Rússia, norte da Europa etc)

II.3.3.5 – Precipitação Sedimentar - A concentração anômala se forma devido a precipitação química (evaporação ou saturação) de certos elementos dissolvidos na água (mar, lagoa,etc), como calcários , sal gema, evaporitos, Formação de Ferro Bandada BIF (Banded Iron Formation), em que ferro e chert (gel silicoso) definem seqüências acamadadas (bandadas). Todos os Depósitos Sedimentares Químicos estão incluídos nessa classificação.

Os BIF têm sido interpretados como produto da alternância de paleo-ambiente redutor / oxidante, tendo sido o ferro precipitado quando o ambiente redutor predominava e a sílica quando predominava o ambiente oxidante. Esse processo se deu nas fases mais ricas em ferro da história do Oceano (tais fases ocorreram com regularidade de 3,8 a 1,8 b.a. e depois entre 0,8 a 0,6 b.a., com pico em torno de 2,5 b.a.). Os BIF´s são formações sedimentares acamadadas consistindo de espessuras de mm a poucos cm, alternando camadas ricas em ferro (magnetita Fe_3O_4, hematite = Fe_2O_3, and siderite = $Fe(CO)_2$) e minerais silicatados como o chert (SiO_2).

Os EVAPORITOS são Depósitos de Minerais salinos originados por processos de forte evaporação. O principal ambiente de formação são as lagunas em climas tropicais com forte e contínua evaporação. São minerais desses Depósitos a gipsita, halita, anidrita, silvita, e a carnalita.

As formas texturais **esferulítica**, **fitada** e **coalescente**, podem traduzir uma evolução da mineralização sob condições de dissolução e precipitação, como no caso de Baritas, minério de Ferro, Manganês (especialmente de assoalho oceânico).

A cimentação é um processo diagenético responsável pelo preenchimento de poros da rocha, que se caracteriza pela cristalização de minerais que se precipitam e cimentam as partículas individuais. Os carbonatos e o quartzo são os minerais mais comumente encontrados nos cimentos de rochas sedimentares. Em se tratando de Depósitos Minerais os Sulfetos podem cimentar rochas em ambiente redutor e, nos ambientes mais oxidantes minerais – minério carbonatados, sulfatos. À medida que o ambiente se torna cada vez mais oxidante ocorre a precipitação coloidal de hidróxido de ferro (limonita e goethita).

II.3.3.6 - Processo Vulcano-Exalativo: São Depósitos Minerais sedimentares que mostram relação com Rochas Vulcânicas ou vulcanismo. Eles estão em conformidade com a rocha hospedeira e freqüentemente bandados, típicos de processos sedimentares. O principal constituinte é a pirita com ou sem calcopirita, esfarelita, garnierita, barita e Au-Ag. Eles são de três tipos:

1. Tipo Cyprus – Associado com vulcânicas máficas e seqüências ofiolíticas. Consiste predominantemente de pirita com ou sem calcopirita. back arc basins

2. Tipo Besshi – Associado com vulcanismo basáltico à dacítico. Formam-se durante o estágio inicial de formação de arcos de ilha. Domina a pirita, mas a calcopirita e esfarelita são comuns. Tipificados por muitos depósitos vulcanogênicos do Canadá.

3. Tipo Kuroko - Associado com vulcanismo dacítico à riolítico. Formam-se durante tardio de vulcanismo de arco de ilha. A pirita não é abundante, predominando a galena ou esfarelita, com ou sem calcopirita e tetraedita. Prata é comum.

II.4 - Classificação Quanto a Características Especiais

Trata-se de uma classificação genérica que engloba alguns depósitos com características peculiares ou especiais e, por isso, merecedores de destaque em relação aos tipos anteriormente descritos.

II.4.1 - Sulfetos Maciços Vulcanogênicos (VMS) – Uma classe especial de Depósitos Vulcano-exalativos cujas características mais marcantes decorrem da:

(i) acumulação de grandes massas de Sulfetos (essencialmente constituídas por pirita (± pirrotita), calcopirita, esfaleritae galena) e do;

(ii) seu carácter estratiforme a lenticular, concordante em relação a horizontes estratigráficos bem definidos, onde os minérios se encontram encaixados.

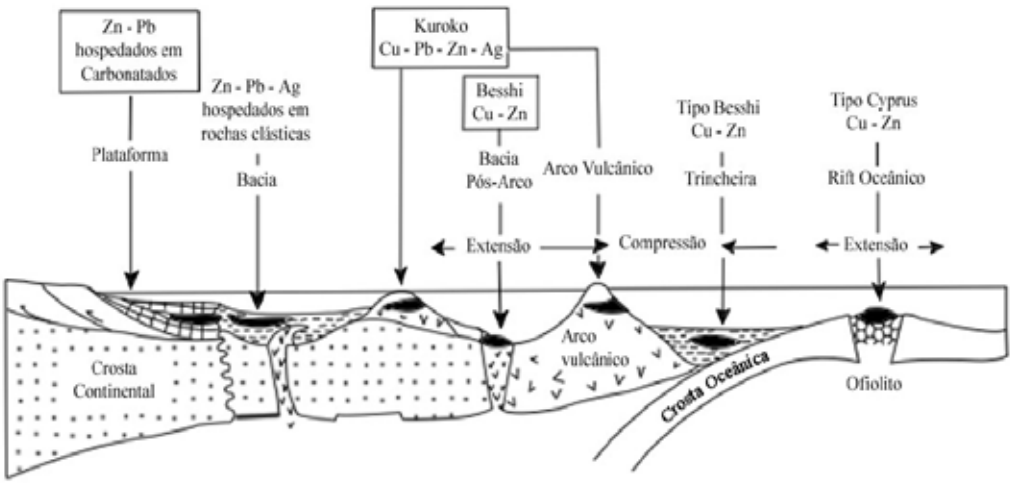


Figura II.15 - Ambientes geotectônicos de Depósitos de Sulfetos Maciços Vulcanogênicos. Parcialmente compilado de Xavier. 2009 www.ige.**unicamp**.br/site/aulas/99/Maficas-ultramaficas.ppt

A natureza exclusivamente sedimentar ou vulcânica das formações que encaixam as massas de Sulfetos maciços é determinante na caracterização do ambiente geológico em que as mesmas se desenvolveram (Figura II.16).

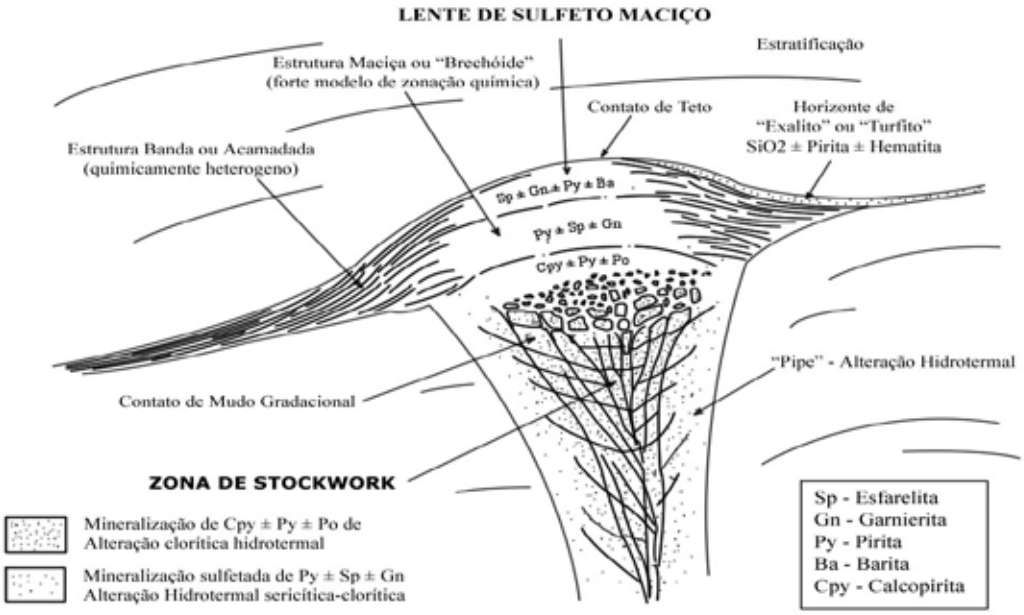


Figura II.16 – Modelo Esquemático de Depósitos de Sulfetos Maciços Vulcanogênicos – VMS (segundo Lydon, 1984 (segundo Lydon, 1984 apud de Xavier. 2009 www.ige.**unicamp**.br/site/aulas/99/Maficas-ultramaficas.ppt.).

Os VMS podem ainda ser subdivididos nos seguintes tipos de acordo com a sua associação com o tipo de rochas encaixantes:

1. *Depósitos de Sulfetos maciços vulcanogênicos*

   a) Tipo **Primitivo** - *Kidd Creek* e *Amulet* (Canadá);

   b) Tipo **Polimetálico** - *Aljustrel* e *Neves Corvo* (Portugal), *Rio Tinto, Tharsis* e *Aznalcollar* (Espanha);

   c) Tipo **Ofiolítico** - *ofiolito de Troodos* (Chipre).

   d) Tipo **Besshi –** *Besshi* (Japão)

2. *Depósitos de Sulfetos maciços associados a rochas sedimentares clásticas* **(SEDEX)** – *Red Dog* (USA), *Sullivan* (Canadá); *Rubiales* (Espanha);

3. *Depósitos de Sulfetos maciços associados a rochas carbonatadas* (**MVT**-Mississippi Valley Type) – *Polaris* (Canadá), *Upper Mississippi Valey district* (USA)

II.4.2 – Depósitos do Tipo Skarn - O termo "SKARN" (em português **escarnito**) ganhou uma conotação mais ampla e, por isso, merecedora de inclusão nesse capítulo de Depósitos Especiais. Antes o termo era empregado numa conotação genética (rocha formada por processos hidrotermais), porém atualmente entende-se por "Skarn" as rochas metamórficas que contem minerais calciossilicatados, tais como, por exemplo: o diopsídio, epidoto,wollastonita, granada andradita, grossularita, actinolita etc. De outra forma, são rochas metamórficas regionais ou de contato constituídas por silicatos de Ca, Mg e Fe derivado de um protolito de calcários e dolomitas nos quais são introduzidos metassomaticamente grandes quantidades de Si, Al, Fe e Mg.

Os "skarns" são formados durante o metamorfismo regional ou de contato e por uma variedade de processos metassomáticos envolvendo fluidos magmáticos, metamórficos, meteoritos e/ou de origem marinha. Eles são encontrados adjacentes a plutons, ao longo de falhas e zonas de cisalhamento, sistemas geotermais rasos, na base do assoalho oceânico e em profundidades crustais. O que define o "skarn" é a mineralogia que inclui uma ampla variedade de minerais calciossilicatados e associados, mas comumente predomina a granada e o piroxênio.

Os skarns podem ser subdivididos de acordo com diversos critérios. O termo "**Endoskarn**" (ou **endoescarnito**) é utilizado para indicar que o protólito é ígneo enquanto Exoskarn (ou exoescarnito) para protólitos sedimentares. **Skarn magnesiano** e **Skarn cálcico** são termos utilizados para descrever a composição dominante do protólito e os minerais escarníticos resultantes. Tais termos podem ser combinados, como exoskarn magnesiano o qual contem forsterita-diopsídio formado de dolomita. **Hornfels** designa rochas de granulometria fina composta por minerais calciossilicatados que resulta do metamorfismo de unidades carbonáticas impuras (calcário argilítico ou ardosiano).

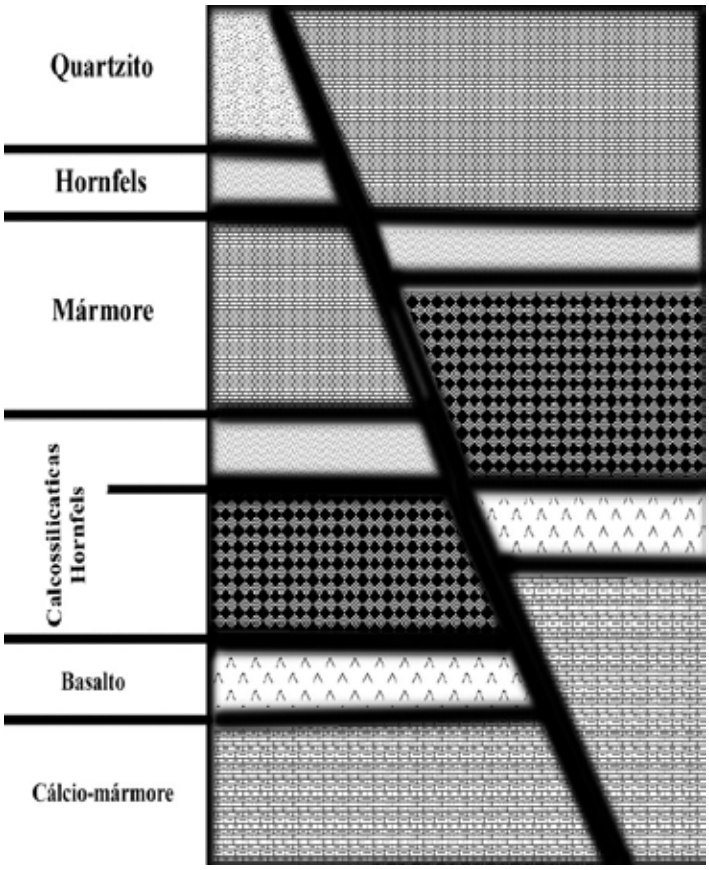


Figura II.17: Modelo de Formação de skarnóide. Compilado de Einaudi e Burt (1982) e http://www.science.smith.edu/departments/Geology/Skarn/

Os **skarn de reação** podem se formar de metamorfismo isoquímico de unidades de carbonato e ardósia finamente interacamadados onde há a transferência metassomática de componentes entre as litologias adjacentes.

Os **skarnóides** são um termo descritivo de rochas calciossilicaticas que possuem granulometria relativamente fina, pobre em ferro e que reflete, no mínimo em parte, o controle composicional do protólito. Geneticamente o skarnoide é intermediário entre hornfels e skarn de granulometria grosseira.

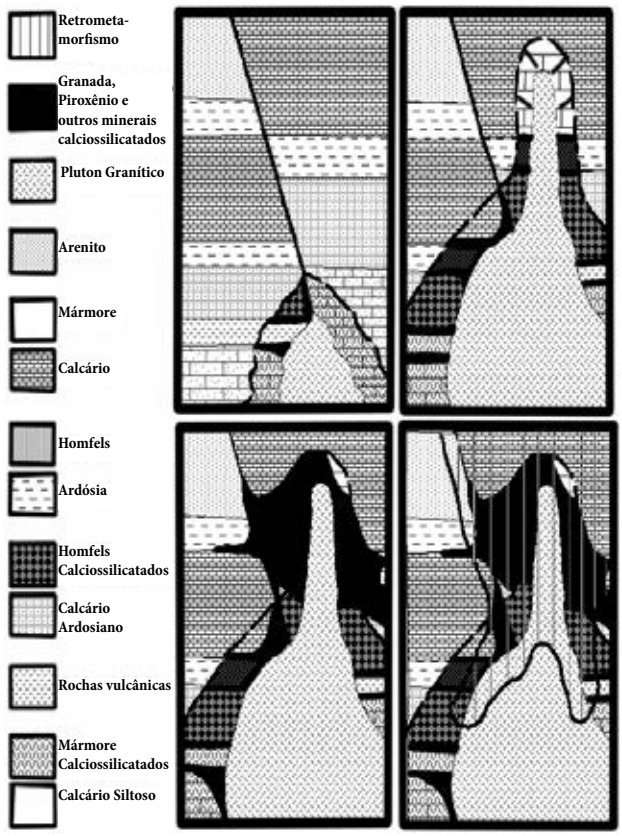


Figura II.18: Etapas da evolução de um pluton associado a depósitos tipo Skarn . (Einaudi e Burt (1982) e http://www.science.smith.edu/departments/Geology/Skarn/)

A) Intrusão Inicial que causa metamorfismo de contato nas rochas sedimentares.

B)Recristalização metamórfica e mudanças de fases mineralógicas na rocha original, com processos locais de metassomatismo e circulação de fluidos que formam diversos minerais do grupo calciossilicatados (denomina-se skarn de reação e skarnoide), e sucede litologías diversas ao longo de um contato entre tipos de fluidos. Observe que o metamorfismo é mais extenso e de maior temperatura em profundidade que nas zonas adjacentes e no topo do sistema.

C) Cristalização e liberação de fácies aquosas da qual resulta a skarnização por fluidos metassomáticos. Observe em profundidade a aureola metamórfica é menor. No topo do sistema as vezes o processo metassomático supera a aureola metamórfica.

D) O resfriamento do pluton e a possível circulação de água meteórica muito oxigenada causam alteração retrógrada (**retrometamorfismo**) do complexo de minerais calciossilicatados sendo esta alteração mais típica em sistemas formados a baixas profundidades.

TABELA II.2- SÍNTESE DE ALGUNS DEPÓSITOS DO TIPO SKARN

DEPÓSITO DE SKARN	MINERALIZAÇÃO ASSOCIADA	AMBIENTE TECTÔNICO	CARACTERÍSTICAS
Skarn de Sn	F, Rb, Li, Be, W e Mo	granitos tIpicamente alcalinos (tipo "S") em ambientes intrusivos intracontinentais	Baixo teor de sulfetos e alto teor de óxidos. Jazimentos de pequeno volume e baixo teor, máximo 30 Mt com 0.1 – 0.4% Sn. Son de escassa ou nula importância econômica
Skarn de W	Mo, F, Cu,	margem continental, relacionados a magmas de subdução calco-alcalinos do tipo "I" de composição granodiorítica e quartzomonzonítica, intrusos em seqüências de rochas calcárias – lutítitos	Minerais de maior Temperatura: granadas, piroxênios, scheelita e wollastonita. Ocorre no contato imediato entre o corpo intrusivo profundo e a rocha calcária hospedeira, tanto a nível de exo como endo skarn. Podem gradar para Cu-skarn.
Skarn de Cu	Cobre Pórfiros (reservas de 50 a 500 milhões de ton), scheelita (W)	ambientes de margem continental, relacionados a magmas calco-alcalinos, especificamente "stocks" e pórfiros granodiorítico/ dacíticos e quartzo monzoníticos	alto conteúdo de granada e uma alta razão granada/piroxênio. Alto conteúdo de magnetita – hematita, indicando ambiente oxidante. Os sulfetos típicos são pirita, calcopirita e menor bornita e esfalerita, indicando um moderado grau de sulfetização. Tremolita-actinolita, smectita, siderita, calcita, talco, epidoto, clorita, com óxidos e/ou sulfetos de ferro,
Skarn de Zn-Pb	Cu, Ag, Au e Mn	Margens continentais de subdução relacionadas com fontes de fluidos hidrotermais a intrusivos granodioríticos e quartzo monzonitos calco-alcalinos .	razão granada/piroxênio baixa, piroxênios de composição Ca-Fe e Mn. Teor de Zn varia de 6 e 12% - razão Zn/Pb 1/1 a 2/1. Podem apresentar 1 a 9 oz. de Ag y 1 a 2 g/t Au

Baseado em Einaudi e Burt (1982) e http://www.science.smith.edu/departments/Geology/Skarn/

Os Depósitos Minerais de "skarn" são classificados de acordo com o metal econômico dominante. São Depósitos que partilham muitas modificações e características geoquímicas, mas são, no entanto, facilmente distinguíveis. Assim, os Depósitos metálicos de skarn são divididos em sete tipos (Au, Cu, Fe, Mo, Sn, W, e Zn - Pb), enquanto os não-metálicos, explorados comercialmente em vários locais do mundo, recebem o nome do mineral-minério. Os sete tipos são designados como: Fe Skarn, Au Skarn, W Skarn, Cu Skarn, Zn Skarn, Mo Skarn e Sn Skarn.

As características gerais incluem: (i) alteração por remobilização seletiva de minerais calciossilicatados (ex: piroxênios – diopsídio, espinélio, hedembergita, johansenita, wollastonita; granadas – andradita, grossularita, almandina – espessartita; anfibólios – hornblenda, tremolita-actinolita; scheelita. Esmectita (argila), clorita, talco, siderita, calcita, opalina). (ii) A mineralogia de alteração aparece tipicamente zonada, existindo quase sempre uma superposição do metamorfismo progressivo por minerais de retrometamorfismo. (iii) A rocha hospedeira é tipicamente calcária, calcários, dolomitas ou rochas sedimentares clásticas calcárias. (iv) Os depósitos do tipo skarn são variados compreendendo grandes famílias de tipos de depósitos.

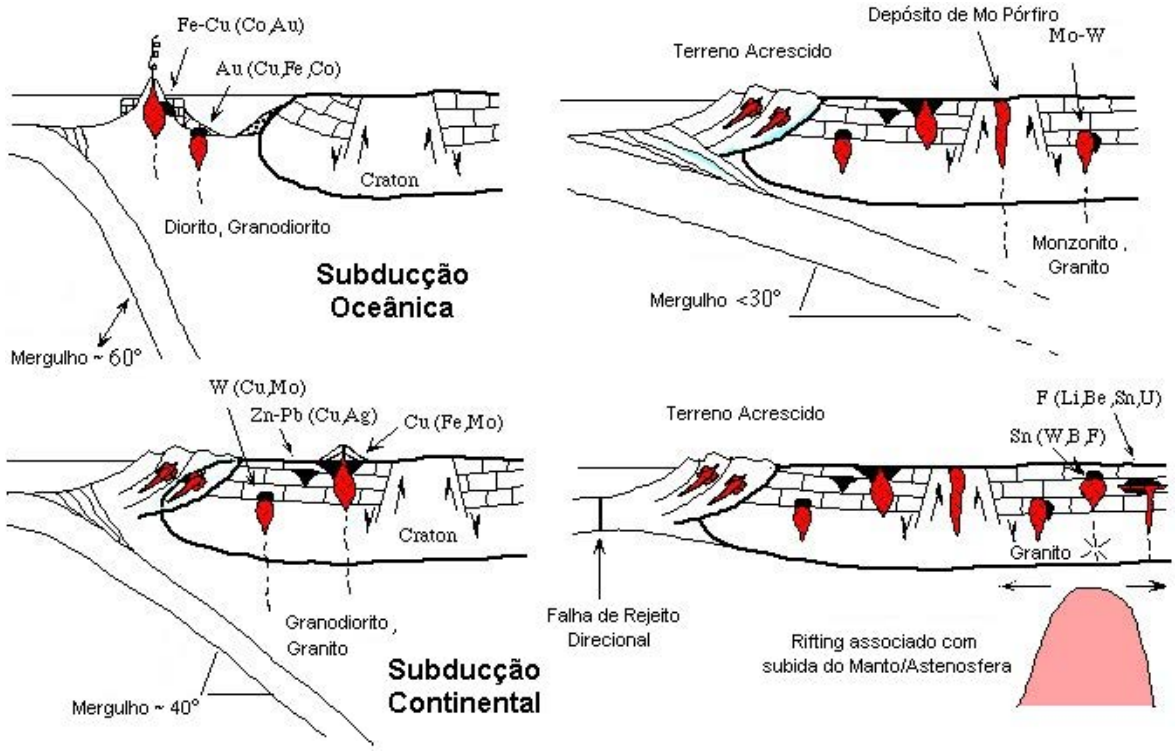


Figura II.19 - Ambientes tectônicos de formação dos Skarns. Parcialmente compilado de Einaudi e Burt (1982) e http://www.science.smith.edu/departments/Geology/Skarn/

II.4.3 – Depósitos de Greenstone Belts (Cinturões de Rochas Verdes)– Merecem destaque por se tratar de uma seqüência de rochas vulcano-sedimentares que ocorre em associação com Terrenos de Alto-Grau ("terrenos granito-greenstones"), típicas do Arqueano e, principalmente, por conterem as mais importantes mineralizações de ouro. Contém também mineralizações de prata, chumbo, cobre, níquel, cromo, zinco, Associação Pb-W-Zn-Ag-(Cu), etc.

Os greenstones belts tem sido interpretados como sendo uma crosta oceânica antiga e terrenos de arco de ilha. Essa seqüência foi submetida à deformação e ao metamorfismo geralmente no fácies metamórfico xisto-verde, com aparecimento de cloritas, actinolita, anfibólios verdes e outros minerais esverdeados que deram origem ao nome "greenstone".

Via de regra a estratigrafia de um Greenstone Belts compreende: (i) uma unidade vulcânica máfica basal, de natureza toleítica de fundo oceânico; (ii) uma unidade vulcânica félsica a intermediária, de quimismo calcialcalino com características similares às de vulcanitos de arcos continentais; e (iii) uma unidade sedimentar constituída de turbiditos vulcano-derivados e sedimentos vulcanoquímicos do tipo *chert* e *BIF*. Esse conjunto de supracrustais encontra-se metamorfisado nas fácies xisto verde e anfibolito e intrudido por granitóides sin a tardi-tectônicos, sills gabróicos e corpos lamprofíricos pós-tectônicos.

Essa mesma seqüência poderia ser descrita para os Ofiolitos e para Assoalhos Oceânicos.

Alguns exemplos brasileiros incluem os Greenstone Belts (GB) de Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás (GO) com Mineração de Ouro da Mineração Serra Grande, em Crixás, o GB do Rio Itapicuru (BA) com Mineração de Ouro da Mineração Fazenda Brasileiro e o GB Rio das Velhas com Mineração de Ouro da Morro Velho e São Bento Mineração S/A (fechada em 2006/2007), entre vários outros.

LITOLOGIA
Ortoquartzitos, quartilitos (matriz ferruginosa), filitos quartzonosos, filitos e conglomerados com seixos de itabiritos
Corita - xistos, grauvacas, metatufos, conglomerados e quartzitos
Filitos e Filitos grafitosos
Ortoquartizitos
Filitos, filitos dolomíticos e dolomito silioso
Dolomitos, filito dolomítico e calcários
Itabirito, itabirito dolomítico, hematita
Filitos e filitos grafitosos
Quartzitos sercítico, conglomerados e filitos
Quartzitos, conglomerados, sericita-quartzo-xisto e filitos.
filita clorítico, filito grafitoso, metagrauvacas, formações ferríficas, quartzitos, metacherts, dolomitos, rochas máficas e ultramárficas, sericita-quartzo-xisto
komatitos, formações ferríficas e metacherts.
gnaisses bandados, gnaisses migmáticos, augen gnaisses, granito.

A



B

Figura II.20 – Seqüência estratigráfica de Greenstones Belts que podem ser invocadas para os Ofiolitos, e Assoalhos Oceânicos em termos genéricos. Em "A" típica associação granito-greenstone e em "B" Seqüência Ofiolítica completa (Moores, 2002).

II.4.4 – Depósitos de Zonas de Cisalhamento

A Zona de Cisalhamento (ZC) é uma faixa de alta taxa de deformação atuante nas rochas. São tipicamente Falhas desenvolvendo tectonitos em vários graus metamórficos e de deformação (devido ao dínamo-metamorfismo), responsáveis pela formação de planos por onde passam fluidos mineralizantes hidrotermais e onde se precipitarão os minerais-minérios. Geralmente exibem metamorfismo retrógrado e diferentes tipos de alteração hidrotermal.

Os tipos de mineralizações dependem da composição dos fluidos e estes da composição do magma ou das rochas adjacentes, cujos elementos estão sendo carreados em solução pela ZC. As facilidades promovidas pelos planos e pela cinemática de cisalhamento favorecem o posicionamento de corpos mineralizados oriundos de regiões mais profundas ("emplacement"), a percolação de fluidos oriundos da desidratação devido ao metamorfismo progressivo, remobilizações de metais e reconcentração em zonas favoráveis, entre outros e a conseqüente precipitação de metais e formação de Depósitos Minerais. As importantes

mineralizações de ouro associadas a ZC´s e de ouros bens minerais foram os fatores preponderantes para incluirmos as Zonas de Cisalhamento neste capítulo.

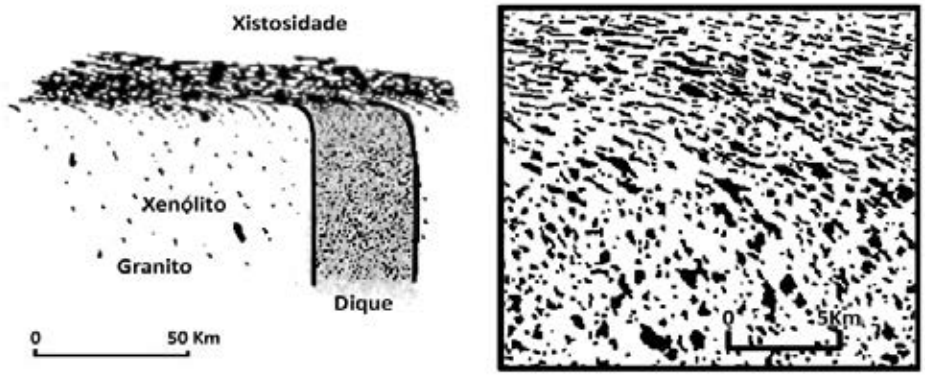


Figura II.21: (a) Correlação entre a deformação de um dique aplítico e de xenólitos e a foliação numa ZC; (b) Detalhe do desenvolvimento da foliação no granito, junto a uma das paredes (wall) da ZC (Adaptada de Ramsay e Graham, 1970).

São comuns as mineralizações de ouro, remobilizações e re-concentrações de quase todos os bens metálicos. No RN podemos citar os exemplos das mineralizações de Au-Bi-W hospedados em níveis escarnitos cisalhados de Bonfim (Lages / RN), as mineralizações auríferas da mina São Francisco (Currais Novos/RN), entre outros menores (ver Figura II.).

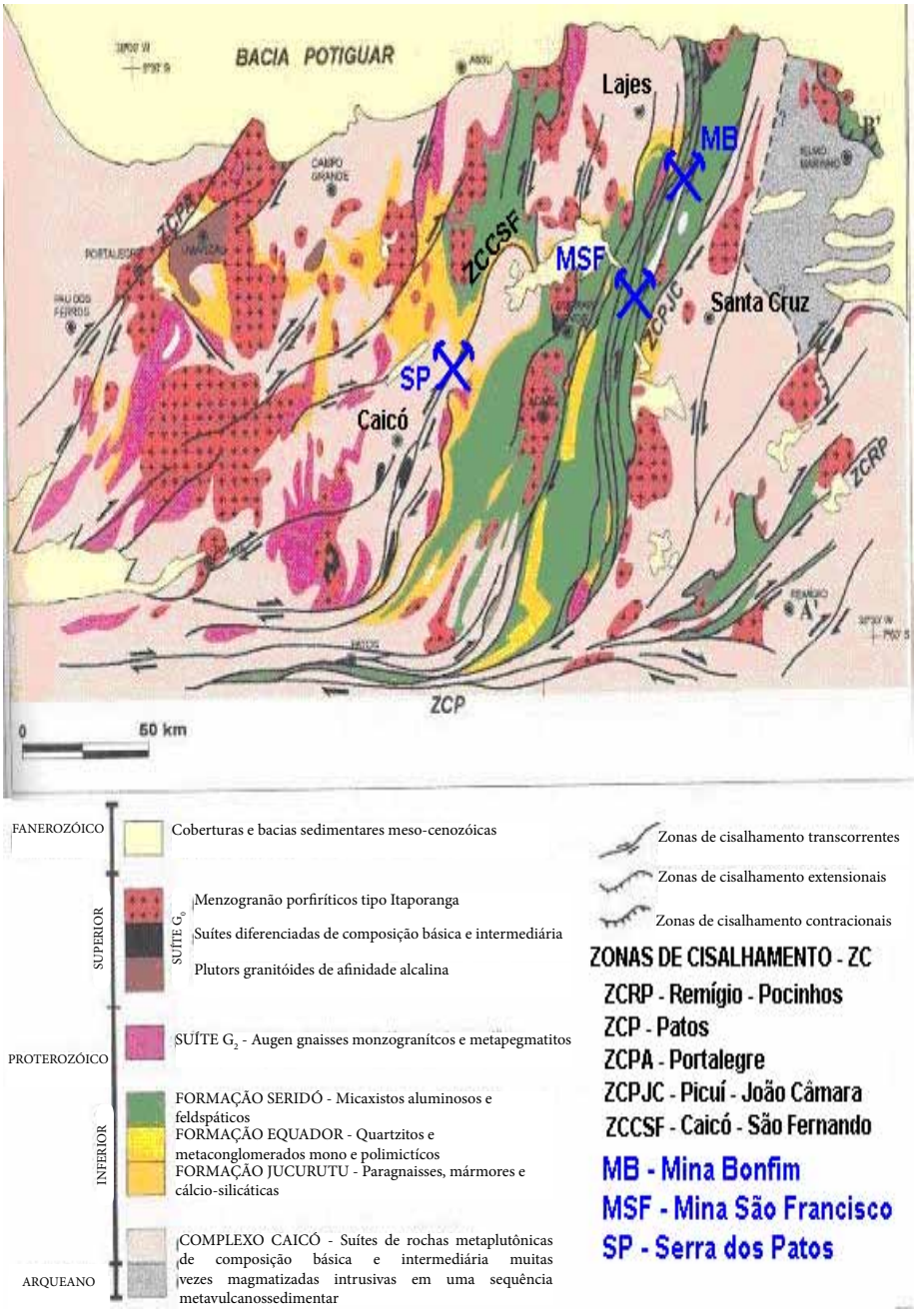
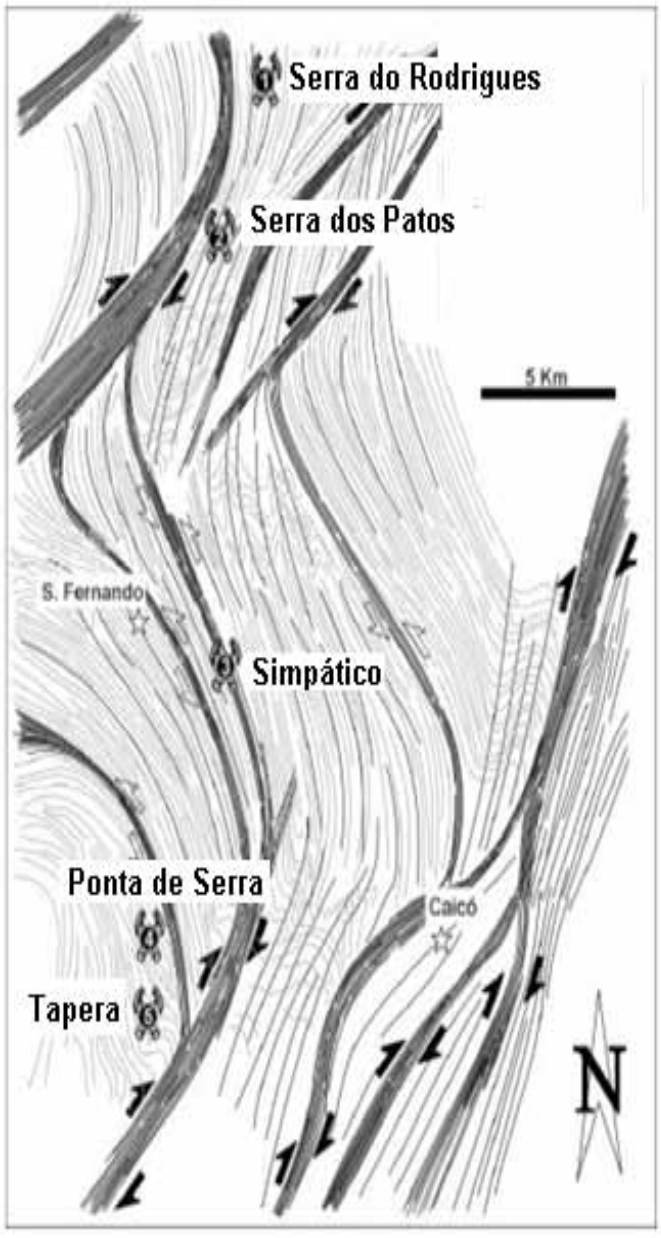


Figura II.22 - Zonas de Cisalhamentos da Faixa Seridó (nos Estados do RN e PB) e mineralizações auríferas associadas. Parcialmente compilado de Jardim de Sá, 1994, modificado.

Figura II.23 - Entre as Zonas de Cisalhamento da Faixa Seridó (RN e PB), a ZCCSF (Zona de Cisalhamento Caicó – São Fernando) possui diversas ocorrências de ouro que foram garimpadas no passado recente. Entre esses garimpos destacam-se: Serra do Rodrigues, Serra dos Patos, Simpático, Ponta de Serra e Tapera entre os principais.



Compilado de Araújo et. all (2001)

Ao longo da ZCCSF Dextral, dois lineamentos principais podem ser identificados: um mais antigo (cinza no mapa ao lado) e outro mais jovem (cinza escuro).

O ouro se hospeda em veios de quartzo e na zona de contato com a encaixante. Esses veios exibem aspectos sigmóidais, boudinagem e "pinch-and-swell", alterações hidrotermais argilítica e argilítica avançada (Simpático), sulfetização (Serra dos Patos), saussuritização e propilítica em quase todos os garimpos. A sul de Ponta de Serra (próximo a Tapera) a mineralização ocorre em rocha rica em pirita e quartzo, tendo sido mapeada como Quartzito Tectônico.

Figura II.24 - Detalhe da ZCCSF, mais especificamente na Serra do Rodrigues A Faixa de Cisalhamento compreende veios de quartzo boudinados, filetes de quartzo granadífero, mica-xistos silicificado e manganesífero. No perfil se observa mais claramente o filete e 5 (cinco) amostras coletadas para análise de teor. Os menores teores, neste caso, estão relacionados a amostras do veio boudinado, enquanto os teores mais elevados de Au estão na borda do boudin e no veio de quartzo granadífero. Parcialmente compliado de Araújo *et al* (2001)

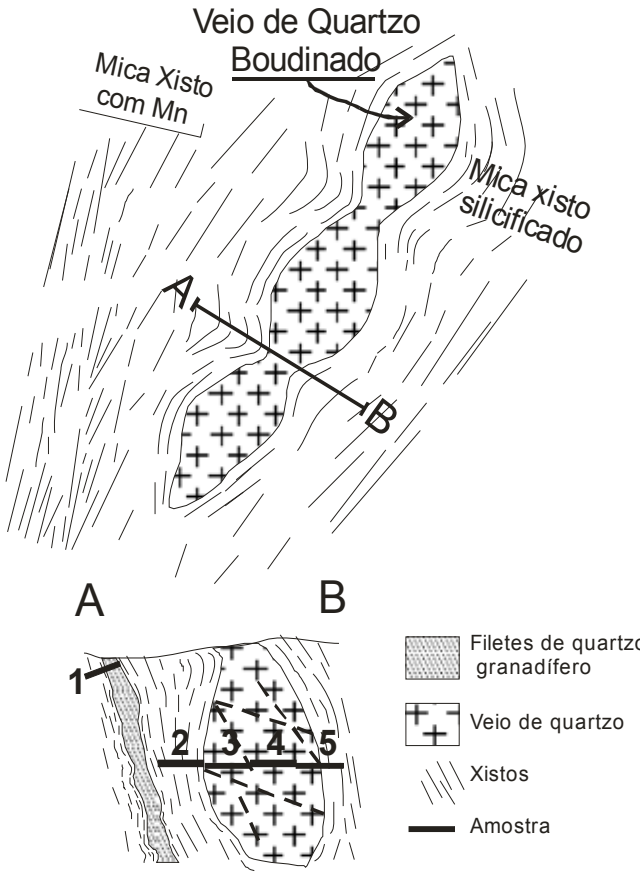


TABELA II.3 – TEOR DE OURO

Amostra	Teor (ppm)
1	7,71
2	2,09
3	0,12
4	0,18
5	2,00

II.4.5 – Característica Especiais Texturais

Alguns Depósitos Minerais são classificados de acordo com sua textura em função de sua importância econômica e algumas implicações metalogenéticas. Assim são classificados, por exemplo, os **Depósitos de Cobre Pórfiro** de onde provem mais que 50% da produção mundial. Formam paragêneses com **Molibdênio Pórfiro** (70% do Mo do mundo).

Os típicos Depósitos de Cobre Pórfiro são cilíndricos, compostos de massas semelhante a "stock", tendo perfis alongados de 1,5 x 2 Km de diâmetro, com uma parte exterior de rochas equigranulares de granulometria de média a grosseira e um núcleo de composição similar, porém porfirítico. As rochas hospedeiras mais comuns são plutônicas félsicas variando de composição de quartzo-diorito à sienito.

Os Depósitos de Cobre Pórfiro de Alteração Hidrotermal geralmente possuem quatro halos de alteração, zonadas, da borda para o centro do "stock" pórfiro, nas seguintes zonas:

- ***Zona Potássica**:* - Sempre presente. Caracterizada por K-feldspato secundário, biotita e/ou clorita substituindo K-feldspato primário, plagioclásio e minerais máficos. Quantidades menores de sericita podem estar presentes.

- ***Zona Filítica*** – Não está sempre presente. Caracterizada por veios de quartzo, sericita e pirita e em menor quantidade clorita, milita e rutilo substituindo K-feldspato e biotita.

- ***Zona Argilítica*** - Nem sempre presente. Caracterizada por minerais de argila (caolinita e montmorilonita) com alguma pirita disseminada. O Plagioclasio é fortemente alterado, o K-feldspato não é afetado e a biotita é cloritizada.

- ***Zona Propilítica*** - Sempre presente. Caracterizada pela clorita, calcita e menor quantidade de epidoto. Minerais máficos altamente alterados e menos plagioclásio.

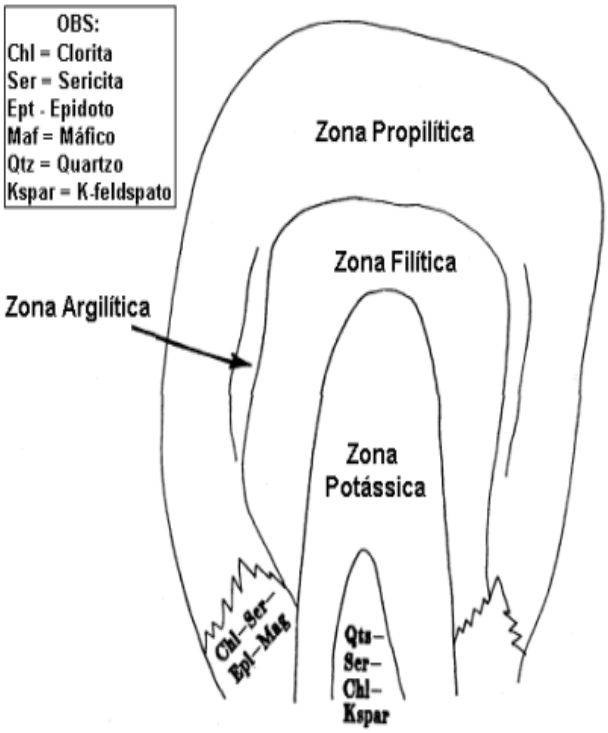


Figura II.25 - Modelo de Zonas de Alteração Hidrotermal de Depósitos de Cobre Pórfiro. Parcialmente compilado de www.geovirtual.cl

Em profundidade todas as zonas tendem a fundir numa única assembléia quartzo-K-feldspato-sericita-clorita.

II.4.6 – Outros

Além dos tipos texturais já descritos, outros tipos de classificação são encontrados na literatura utilizando a textura como critério, precedidos do tipo de mineral-minério ou associação geoquímica ou ainda combinando a mineralização com a forma do minério, o nome da hospedeira, processo formador, Jazida-Tipo etc. Alguns exemplos: W e Sn filoneanos, Ni laterítico, Ni sulfetado, Au tipo Witerwatersand, Cr tipo Busveld, Cu tipo Duluth / Noril´sk, etc, etc, etc.

II.5 – Tectônica Global e Metalogenia

Os processos formadores de Depósitos Minerais, em geral, são associados aos processos tectônicos (Tectônica Global). Uma **PROVÍNCIA METALOGENÉTICA** é uma área geográfica caracterizada por uma associação de Depósitos Minerais particular ou por um estilo distinto de mineralização, formado como resultado da Tectônica de Placas que produz ambientes geotectônicos específicos e propícios para a geração de determinados tipos de rochas e depósitos minerais.

A tabela II.4 Lista alguns ambientes geotectônicos, suas principais características e as rochas e mineralizações associadas.

TABELA II.4 : - PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO DE DEPÓSITOS MINERAIS COM RESPEITO AOS AMBIENTES TECTÔNICOS. PARCIALMENTE COMPILADO DE BIONDI (2003)

AMBIENTE TECTÔNICO	CARACTERÍSTICAS	ROCHAS ASSOCIADAS
HOT SPOT	Magmatismo essencialmente alcalino: Alto gradiente geotérmico, que resulta: **1)** da subida de plumas mantélicas quentes (***hot-spots*** - "convecção colunar" ou **2)** do afinamento da litosfera terrestre sobre zonas de ascenção de células convectivas que, na superfície da Terra, têm distribuição linear.	-- **Rochas básicas alcalinas**: basaltos alcalinos., fonolitos, carbonatitos (Nb), etc... e seus equivalentes plutônicos; e; **Rochas ácidas alcalinas**: granitos peralcalinos (k-feldsp. granito), sienitos, etc..., e seus equivalentes vulcânicos (riolitos, traquitos, etc...). Mineralizações de Nb, F, W.
RIFT INTRACONTINENTAL – AULACÓGENO RIFT TIPO A	a. ***Rifts*** relacionados a ***hot-spots***: localizados nas junções tríplices extensionais e associados a estruturas de domeamento formadas nas fases iniciais, antes da formação de novo assoalho oceânico. A continuidade dos esforços extensionais pode determinar a formação de crosta oceânica b. ***Rifts*** induzidos por processos colisionais: são estruturas de abatimento (**1)** paralelas, ou (**2)** oblíquas a uma cadeia orogência	- Magmatismo idem ao dos ***hot-spots***: granitos e basaltos alcalinos - As altas taxas de abatimento dão origem a bacias sedimentares preenchidas por sedimentos clásticos grossos (conglomerados, arenitos arcoseanos conglomeráticos) nas suas primeiras etapas. O continuado aprofundamento da bacia propicia a invasão marinha, a formação de depósitos evaporíticos e, subseqüentemente, a deposição de sedimentos químicos calcários.

AMBIENTE TECTÔNICO	CARACTERÍSTICAS	ROCHAS ASSOCIADAS
BACIAS INTRACONTINENTAIS	Estas bacias sedimentares não estão necessariamente relacionadas a estruturas regionais de extensão, ou de compressão; tem sido levantada a hipóteses de estarem relacionadas a ***hot-spots***: sedimentos oriundos dos arqueamentos provocados pela ascenção da pluma convectiva astenosférica. Estas bacias sedimentares não possuem estruturas de rifteamento sin-sedimentar desde os primeiros estágios, tampouco estruturas de cavalgamento que as possam vincular com regimes tectônicos compressivos. O vulcanismo é muito escasso nestas bacias sedimentares.	
MARGENS CONTINENTAIS PASSIVAS	São aquelas onde não há movimentos relativos entre a crosta continental e a crosta oceânica. A maior parte deste tipo de posição tectônica é desenvolvida a partir do espalhamento do assoalho oceânico após o desenvolvimento dos sistemas de ***rifts*** intracontinentais; este tipo de posição tectônica é normalmente conhecido como MARGEM DO TIPO ATLÂNTICA	- As características iniciais (magmática e sedimentares) são as mesmas dos ***rifts*** intracontinentais. O limite entre a evolução tipo ***rift*** e a evolução de um bordo continental passivo é arbitrariamente fixado de modo a coincidir com as primeiras erupções de magmas básicos toleíticos (**MORB**). As principais feições morfológicas (ambientes geológicos) relacionadas com as margens continentais passivas incluem: - leques aluviais de talus (conglomerados e arenitos); ou - mares restritos (argilitos negros, evaporitos e calcários); - planície costeira (lagunas e dunas costeiras, sed. praiais, etc...); - plataforma continental (arenitos finos, argilitos, carbonatos, recifes); - - talude continental (***canyons***, sedim. detríticos finos e carbonáticos detríticos) e - base de talude (turbiditos, ***cherts*** e argilitos não-calcários).

AMBIENTE TECTÔNICO	CARACTERÍSTICAS	ROCHAS ASSOCIADAS
CADEIAS MESO-OCEÂNICAS E BACIAS OCEÂNICAS	-As CMOs são caracterizadas por altos topográficos lineares, que limitam uma faixa interna abatida por falhas normais (estrutura em horst e grabens); são caracterizadas, ainda, por um alto fluxo térmico, por vulcanismo básico e por uma atividade sísmica rasa. A elevação das cadeias meso-oceânicas diminui gradativamente a partir do eixo central, como resultado da subsidência térmica da litosfera oceânica; esta subsidência dá origem às bacias oceânicas que bordejam as cadeias meso-oceânicas. - As Bacias Oceânicas são caracterizadas por planícies abissais, onde as "rugosidades" derivadas do processo de rifteamento na cadeia meso-oceânica são preenchidas por sedimentos.	- A crosta oceânica formada nas cadeias meso-oceânicas tem a seguinte estrutura: 1) sedimentos; 2) pillow lavas; 3) diques laminados (sheeted dikes); 4) gabro fino alterado, com pequenos veios e injeções de plagiogranito; 5) gabro não alterado, com níveis cumuláticos de piroxenito e de dunito na sua base; 6) camadas cumuláticas de piroxenito e de dunito; e 7) harzburgito tectonizado de manto. - Os primeiros sedimentos depositados são precipitados químicos de óxidos e hidróxidos de ferro e de manganês. Com a continuidade da abertura do oceano e, conseqüentemente, a alocação das porções de crosta nova progressivamente na planicie abissal, os sedimentos podem derivar de três fontes principais: 1) contribuição de rochas vulcanoclásticas, ou de sedimentos calcários a partir de ilhas vulcânicas, ou próximo às margens continentais passivas (formam grandes lentes de turbiditos submarinos); 2) sedimentos formados a partir da deposição de restos de organismos pelágicos calcários ou silicosos; e 3) argilitos vermelhos pelágicos, que podem estar interacamadados com turbiditos.
CADEIAS (ARCO) DE ILHAS VULCÂNICAS E MONTES SUBMARINOS	- Não estão relacionadas com estruturas de convergência (zonas de subducção), ou de divergência (cadeias meso-oceânicas) de placas; em muitos casos, também não estão relacionadas a falhas transformantes, caracterizados por um tipo particular de vulcanismo	- Natureza basáltica, mas com fortes afinidades alcalinas; predominam as manifestações vulcânicas, mas, em alguns poucos casos, estão registradas manifestações intrusivas subvulcânicas.
FALHAS TRANSFOR-MANTES EM PLACA OCEÂNICA	- São falhas transcorrentes cujo sentido de deslocamento é oposto àquele apresentado pela separação das cadeias meso-oceânicas.	intrusão de magmas básicos subsaturados (Mg-basaltos: boninitos), principalmente próximo à interserção das falhas transformantes com as falhas normais da cadeia meso-oceânica.

AMBIENTE TECTÔNICO	CARACTERÍSTICAS	ROCHAS ASSOCIADAS
FALHAS TRANS-FORMANTES EM CROSTA CONTINENTAL	- Falhas transformantes que interceptam bordos continentais estão relacionadas com processos de subducção em bordos continentais, ou em sistemas de arcos-de-ilha; nessa situação, as falhas transformantes são desencadeadas por processos de subducção oblíqua. - Falhas transformantes interpostas em crosta continental nos estágios iniciais de desenvolvimento de rifts intracontinentais, antes da formação de uma crosta oceânica e de uma cadeia meso-oceânica; essas estruturas, com a abertura de uma crosta oceânica ampla, são preservadas nas margens continentais e são entendidas como a continuação continental das falhas transformantes que seccionam as cadeias meso-oceânicas (ridge-ridge transform).	- Mineralização sulfetada possivelmente relacionado com falhas transformantes nessa situação são os depósitos de calcita-quartzo-estibinita no Paquistão; - Vários tipos de depósitos minerais podem estar relacionados a elas; além disso, a extensão destas falhas transformantes exerce um forte controle no desenvolvimento das bacias sedimentares de margem continental passiva.
CALHAS DE SUBDUCÇÃO E ARCOS EXTERNOS	- As calhas são depressões topográficas, normalmente submarinas, posicionadas no contato entre a placa descendente (em subducção) e a placa cavalgante; formam, então, bacias de sedimentação alongadas paralelamente aos arcos magmáticos. - Arcos externos (fore-arcs) estão posicionados na placa cavalgante e limitam a calha de subducção com uma "parede" de declividade abrupta.	Calhas: derivados de correntes turbidíticas provenientes do sitema de arcos localizados na placa cavalgante; ocorrem, também, sedimentos pelágicos interacamadados. Arco Externo: sedimentos clástico-terrígenos, que estão muito deformados e que incluem fragmentos de crosta oceânica (rochas básicas e ultrabásicas: fragmentos de ofiolítos) e de depósitos sedimentares forma-dos em crosta oceânica ou em margens continentais. - misto de processos deformacionais e sedimentares. Esse tipo de associação petrotectônica é descrita como melange ofiolítica.

II.6 – Classificação dos Depósitos Minerais Quanto a Regularidade

II.6.1 - Introdução

Da mesma forma que naturalmente alguns elementos são mais abundantes que outros, alguns Depósitos Minerais apresentam-se com teores mais homogêneos que outros. Essa homogeneidade dos teores recebe aqui o nome de **Regularidade Estatística**. É sinônimo de Coeficiente de Variação que mede em percentagem o quanto variável é o teor de um Depósito Mineral.

Quando se trabalha com Depósitos Minerais trabalha-se com Estatística. O conjunto de amostras coletadas numa determinada região (o universo ou população de dados) tem como objetivo representar todo o Depósito Mineral, já que é impossível fazer um senso (levar todo o Depósito Mineral para dentro de um laboratório). Quando se fala que o teor de uma Jazida é X%, estamos dizendo que, foram coletadas várias amostras segundo critérios estatísticos (incluindo quantidade, peso, espaçamento das amostras, etc.) representativas da Jazida. Ou seja, caso fosse feito um senso o teor seria bem próximo a X% ou dentro de uma margem de erro estatisticamente compatível com a população de amostras analisadas.

II.6.2 – Noções de Estatística Aplicada

Para entendermos mais detalhadamente a Regularidade relembremos da Estatística, a Curva de Freqüência, Médias e Desvio Padrão.

A **Média** é um valor pontual que representa uma população de dados. Ela pode ser Aritmética, Geométrica, Harmônica, Ponderada ou ainda ser utilizado a Mediana ou a Moda. Esse valor pontual pode ser o teor, a densidade, a espessura média ou outro parâmetro que se deseje obter como representativo do Depósito Mineral. O tipo de média a ser utilizada pode ser escolhido tomando-se por base Depósitos – Padrões, Jazidas semelhantes em lavra, etc. Note que quando da realização da lavra, é feito uma espécie de senso do bloco lavrado e, assim, se pode comparar diferentes médias e o que foi realmente produzido na lavra, obtendo-se, desta forma, a média mais adequada a ser utilizada. Em Depósitos brasileiros de Cobre utiliza-se a média geométrica, em alguns de ouro a aritmética, nos de scheelita da região do Seridó (RN e PB) a média ponderada à espessura e eqüidistância da amostragem, etc etc etc.

O Desvio Padrão (σ) nos indica o quanto podemos nos afastar da média e considerar o valor como sendo da média. Quanto mais diferentes forem os dados de teor de uma população, maior será o desvio padrão. O Desvio Padrão pode ser definido como uma medida da dispersão dos dados em torno da média.

Costumamos exemplificar com o caso da idade de alunos de duas salas diferentes (A e B). Os alunos da sala A tem idades variando de 16 a 20 anos, enquanto os da sala B têm idades desde 10 até 50 anos. O Desvio Padrão da sala A será bem menor que o da sala B e poderemos considerar pessoas mais velhas como sendo da idade média da turma B. O Desvio Padrão Aritmético é calculado pela fórmula ao lado.

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(x_i - \overline{\overline{x}})^2}{(n-1)}}$$

$\overline{\overline{x}}$ = Média

n = Total de amostras

A **TABELA DE DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA é** um tipo de tabela que condensa uma coleção de dados conforme as freqüências (repetições de seus valores). A **Tabela primitiva ou dados brutos** é uma tabela ou relação de elementos que não foram numericamente organizados. É difícil formarmos uma idéia exata do comportamento do grupo como um todo, a partir de dados não ordenados. Ex : 45, 41, 46, 47, 46, 51, 49, 50 ,50, 52, 51, 53, 60, 51, 52, 55, 57, 57, 56, 55 (teores de Au em ppb ao longo de um afloramento de 21 m de comprimento de veio de quartzo). **ROL** é a tabela obtida após a ordenação dos dados (crescente ou decrescente). No exemplo acima o ROL seria:. 41, 45, 46, 46, 47, 49, 50, 50, 51, 51, 51, 52, 52, 53, 55, 55, 56, 57, 57, 60 (ordem crescente). A **Distribuição de freqüência em intervalos de classe** é a simples condensação dos dados conforme as repetições de seus valores. Para um ROL de tamanho razoável esta distribuição de freqüência é inconveniente, já que exige muito espaço. As **CLASSES** são os intervalos de variação da variável e é simbolizado por ***i*** e o número total de classes simbolizado por ***k***.

A **AMPLITUDE TOTAL DA DISTRIBUIÇÃO (ou AMPLITUDE AMOSTRAL)**: é a diferença entre o maior e o menor valor listado no ROL. Esses serão, respectivamente, o limite superior da última classe e o limite inferior da primeira classe. ***AA = L (max) – l (min)***. No ROL acima seria ***AA*** = 60 - 41= 19.

MÉTODO PRÁTICO PARA CONSTRUÇÃO DE UMA DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA COM CLASSES. Passo a Passo:

(1º) - Organize os dados brutos em um ROL (isso já foi feito anteriormente);

(**2º) -** Calcule a amplitude amostral ***AA***. No nosso exemplo: ***AA*** =60 - 41 =19.

(**3º) -** Calcule o número de classes através da "Regra de Sturges":

Obs: Qualquer regra para determinação do número de classes da tabela não nos leva a uma decisão final; esta vai depender na realidade de um julgamento pessoal, que deve estar ligado à natureza dos dados.

TABELA II.5 - DE DISTRIBUIÇÃO DE CLASSES DE FREQÜÊNCIA

Classe	Intervalo	Freqüência
1a	41 - 45	2
2a	45 - 49	4
3a	49 - 53	8
4a	53 - 57	5
5a	57 - 61	1

Regra de Sturges: determina k em função de n. Assim $k \sim 1 + 3{,}3 \log(n)$, onde k é o número de classes e n o número de dados. Da mesma forma podemos usar outra regra que associa k e n de outra forma: $k \sim \sqrt{n}$ ou $k \sim (n)^{-1/2}$. No nosso exemplo: n = 20 dados, então a princípio, a regra sugere a adoção de 5 classes, pois o valor encontrado é 4,47 o qual foi arredondado para 5,0. Portanto, os dados serão agrupados em 5 Classes.

(4º) - Decidido o número de classes, calcular então a amplitude do intervalo de classe **i = AA/k**. No nosso exemplo: **AA/k** = 19/5, i = 3,8, que será arredondado para 4,0.

Os **LIMITES DE CLASSE** são os valores extremos de cada classe. O menor número é o limite inferior de classe (li) e o maior número, limite superior de classe (Li). Para tabelar as 5 classes (k) de amplitude i = 4, somamos o menor valor do ROL a i até chegarmos na 5ª classe, conforme demonstrado na Tabela II.5. Assim, o menor valor que é 41, somado com 4 = 45 define a 1ª Classe que corresponde ao intervalo de 41 a 45.

Para a 2ª Classe soma-se 45 + 4 = 49, definindo para a segunda classe o intervalo de 45 a 49 e assim por diante até a 5ª Classe.

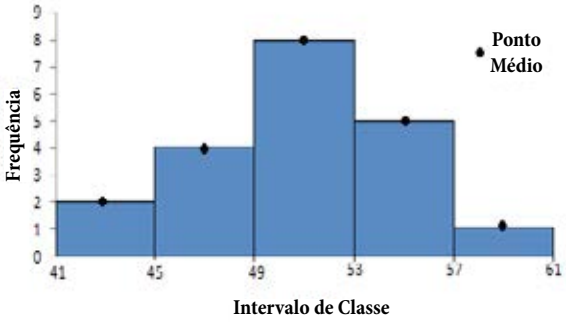
TABELA II.6 - DE DISTRIBUIÇÃO DE CLASSES DE FREQÜÊNCIA CORRIGIDA

Classe	Intervalo	Freqüência
1a	41 - 45	2
2a	45,1 - 49	4
3a	49,1 - 53	8
4a	53,1 - 57	5
5a	57,1 - 61	1

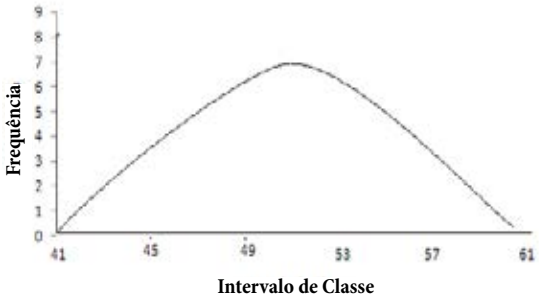
Para evitar que um mesmo valor pertença a duas classes diferentes atribui-se um número aleatório à última classe de cada intervalo a partir da segunda classe. Assim, a Tabela II.5 seria re-escrita conforme demonstrado na Tabela II.6, tendo 0,1 como número arbitrário.

(5º) Podemos, agora,montar o Histograma e a Curva de Freqüência, com o cuidado para não aparecer classes com freqüência = 0 (zero).

O gráfico de barras que relaciona os Intervalos de Classe e a Freqüência é denominado Histograma (Figura II.26 A). A Curva que une os Pontos Médios é denominada de Curva de Freqüência (Figura II.26 B). As Figuras II.26 A e B foram construídas a partir dos dados listados anteriormente no ROL. As Curvas de Freqüência podem ser de três tipos: Normal ou Gaussiana, Log Normal e Multimodal (Figura II.26 C). A curva normal é aquela que se apresenta simétrica, a Log-Normal é assimétrica, podendo ser assimétrica negativa se a parte mais longa da curva estiver para a esquerda (caso da figura II.26 C) e positiva se a parte mais longa estiver para direita.

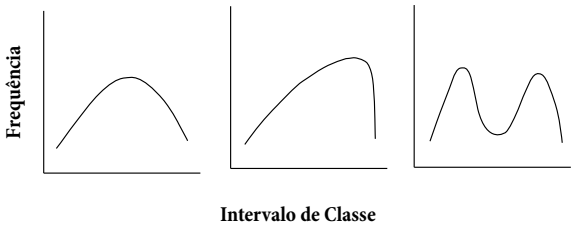


(A)



(B)

A Curva Multimodal é aquela caracterizada por mais de um pico, sendo tal fato atribuído ao tratamento de populações de atributos diferentes, contaminações etc. Nesse caso os dados devem ser divididos de modo a apresentarem um único pico. Geralmente as curvas gaussianas se referem aos Depósitos Minerais mais simples enquanto a distribuição Log-Normal àqueles mais complexos. A Curtose mede o "achatamento" da Curva de Distribuição de Freqüência.



(C)

OBS - PONTO MÉDIO DE CLASSE: é o ponto que divide o intervalo de classe em duas partes iguais, ou seja, é a média aritmética dos valores extremos de uma classe. Assim, por exemplo, na 1ª Classe o Ponto Médio é 43.

Na Distribuição Gaussiana a média aritmética coincide com o ponto mais alto da Curva de Freqüência.

O Desvio Padrão Aritmético do ROL de teores de Ouro dado acima, é ± 4,7195 e a Média Aritmética é 51,2 ppb. Portanto os valores de 55,9195 (x + σ) e 46,4805 (x - σ) são teores considerados como sendo da média ou Background. Teores abaixo de 46,4805 ppb são anomalias negativas e aqueles acima de 55,9195 ppb são anomalias positivas.

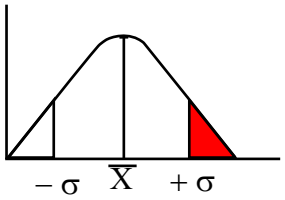


Figura 27 – Curva de Freqüência.

Dependendo da situação só se considera anomalia positiva valores acima da x + 2 σ, x + 3 σ, etc. Essas definições geralmente são de responsabilidade do Geólogo.

Na Figura II.27 acima, considerou-se anomalia teores acima da x + σ (Média mais um Desvio Padrão). Essas anomalias, portanto, compreendem valores da 4ª e 5ª Classes quais sejam: 56, 57, 57 e 60 ppm. Na curva de freqüência o campo correspondente a esses teores foi pintado de vermelho. Se fosse considerada anomalia somente os teores acima da média mais dois desvios padrões (x + 2σ, ou seja, teores acima de 60,639 ppb) não teríamos nenhuma anomalia. Voltaremos a este tema nos Capítulos seguintes.

O Coeficiente de Variação (ou a Regularidade) aritmético exprime percentualmente o quanto varia o Depósito Mineral e pode ser calculado pela fórmula V = (σ/X) x 100.

No exemplo acima utilizado para Cálculo da Distribuição de Freqüência, Desvio Padrão etc, onde se listou 20 amostras com teor de Au (ppb), teríamos V = (4,7195 / 51,2) x 100, ou seja, V = 9,22 %. Obviamente isso não é um dado realista, pois o mesmo foi pego aleatoriamente apenas para ilustrar o exemplo apresentado aqui.

II.6.3 – A Classificação quanto a Regularidade

Os Depósitos Minerais foram agrupados segundo o Coeficiente de Variação em quatro grandes grupos (ver tabela II.7).

TABELA II.7 - CLASSIFICAÇÃO DOS DEPÓSITOS MINERAIS QUANTO A REGULARIDADE. PARCIALMENTE COMPILADA DE MARANHÃO (1983)

REGULARIDADE	PRINCIPAIS DEPÓSITOS MINERAIS
Depósitos Regulares 5% <V<40% ou **1º Grupo**	Jazidas de Fe, Mn, Ni, Co, S, bauxita, argilas, sais, magnesita, caulim, materiais de construção, alguns depósitos de carvão, etc.
Depósitos Irregulares 40% < V < 100% ou **2º Grupo**	Jazidas de F, Ba, grafite, coríndon, asbestos, P, carbonatitos, U, bauxita fosforosa, antracito, ilmenita, Co, Ni em rochas básicas e ultrabásicas etc.
Depósitos Muito Irregulares 100% < V < 150% ou **3º Grupo**	W em tactitos, Au, Sn, Pb, Zn, Greissens, etc.
Depósitos Extremamente Irregulares V>150% ou **4º Grupo**	Pegmatitos com berilo, tantalita, columbita, cassiterita, muscovita, platina, opala, pedras preciosas, etc.

Quanto mais errática for a distribuição dos teores no Depósito Mineral, maior o Coeficiente de Variação. Para se ter uma coleta de amostras representativas, deve-se coletar mais amostras e em menor espaçamento num Depósito de alta Variação em comparação com um Depósito cujos teores se comportem com maior Regularidade. A Tabela II.8 apresenta uma relação de espaçamentos de amostras ao longo do comprimento de um corpo mineralizado de acordo com o Coeficiente de Variação.

TABELA II.8 - RELAÇÃO ENTRE O ESPAÇAMENTO AO LONGO DA DIREÇÃO DO CORPO MINERALIZADO E A REGULARIDADE DO MINÉRIO. PARCIALMENTE COMPILADA DE MARANHÃO (1983)

V	ALGUNS DEPÓSITOS TÍPICOS	ESPAÇAMENTO DAS AMOSTRAS
V < 20%	Carvão, Materiais de Construção, Calcário, Fe	15 a 50 m
20%<V<40%	Bauxita, argila, fosfato, alguns depósitos de Fé, Mn	4 a 15 m
40% <V<100%	Depósito complexos de Cu, W, Mo	2,5 a 4,0 m
100%<V<150%	Depósitos de metais não ferrosos	1,5 a 2,5 m
v>150%	Maioria dos Depósitos de metais raros	1,0 a 1,5 m

As tabelas II.9 e II.10 referem-se a assuntos ainda não abordados. A primeira é um tipo de amostra chamada “amostra de canal” e relaciona as dimensões do canal em relação à Regularidade e a Espessura do Minério, enquanto a II.10 indica as distâncias entre furos de sonda necessárias para se ter reservas Medidas, Indicadas e Inferidas.

TABELA II.9 - DIMENSÕES DA AMOSTRA DE CANAL. PARCIALMENTE COMPILADA DE MARANHÃO (1983)

V	ESPESSURA DO MINÉRIO		
	+ 2,5 m	Entre 2,5 e 0,5 m	- de 0,5 m
V < 40%	5 cm de largura 2 cm de profundidade	6 cm de largura 2 cm de profundidade	10 cm de largura 2 cm de profundidade
100%>V>40%	8 cm de largura 2,5 cm de profundidade	9 cm de largura 2,5 cm de profundidade	10 cm de largura 2,5 cm de profundidade
V>100%	8 cm de largura 3 cm de profundidade	10 cm de largura 3 cm de profundidade	12 cm de largura 3 cm de profundidade

Como se verá adiante, os Blocos de Reservas são figuras geométricas (quadrado, retângulo etc) que limitam espacialmente o Depósito Mineral com informações (afloramento, galerias subterrâneas, furos de sonda etc). Os tipos de Reservas Medidas, Indicadas e Inferidas indicam o grau de certeza sobre a quantidade de minério (e mineral minério) calculada. Esse grau de certeza é em virtude da densidade e da qualidade dos dados obtidos durante os trabalhos de pesquisa mineral. Quanto maior a densidade e melhor a qualidade dos dados adquiridos, maior será a confiabilidade dos resultados obtidos.

A tabela II.10 indica a eqüidistância das informações em um Bloco de Reserva necessárias para se ter cada uma das três classes de reservas minerais em função da Regularidade estatística a que pertence o Depósito Mineral estudado.

TABELA II.10 - ESPAÇAMENTO DA MALHA DE SONDAGEM DE ACORDO COM A REGULARIDADE E TIPO DE RESERVA

RESERVA	1º GRUPO	2º GRUPO	3º GRUPO	4º GRUPO
MEDIDA	150 a 200 m	25 a 100 m	10 x10 ou 20 x 20	Somente
INDICADA	200 a 400 m	50 a 150 m	50 a 70 m	com
INFERIDA	extrapolação	extrapolação	90 a 150 m	Trabalhos
INICIAL	1000 x 500	200 a 300	-	Mineiros

Baseado em Maranhão (1983)

II.7 – Descrição de Depósitos Minerais

A Descrição de Depósitos Minerais envolve uma série de variáveis como a modelagem, geometrização, quantificação, petrografia da hospedeira e encaixante(s), estruturas, entre outros. Aqui trataremos, a nível informativo, dos aspectos descritivos de campo, numa primeira abordagem do depósito mineral.

Grosso modo, numa primeira abordagem, devem ser descritos:

- Rochas Encaixantes e Rocha Hospedeira: mineralogia com indicação da quantidade relativa dos minerais (ver Figura I.7), tamanho, cor, forma dos grãos, alterações metassomáticas, natureza do contato entre os grãos minerais e/ou relação com outros minerais. Na hospedeira indicar mineral-minério, sub-produto e ganga, forma da mineralização (massiva, disseminada, etc). Espessura do minério, forma do minério (ver II.2), continuidade longitudinal do corpo mineralizado. Dependendo do mineral-minério, deve-se dar indicações de teor visualmente.
- Textura do Minério e da Encaixante: Termos texturais utilizado em Petrografia ígnea, metamórfica e sedimentar.

- Estrutura do Minério: maciça, bandada, foliada, porosa, pulverulenta.

- Estrutura do Depósito Mineral: Definir e descrever estrutura principal, secundária, Controles Estruturais, parâmetros de foliação, planos de falhamento ou ZC, lineação, eixos de dobramentos, etc.

- Relação do Minério com a Encaixante: como é o contato (abrupto, gradativo, reativo, etc), relação minério/estéril para diversas situações de possível lavra, descrever gradações (se tiver algum tipo de zoneamento), densidade de fraturamento (por exemplo: 5 por m^2).

- Fazer croquis, desenhos esquemáticos, etc das diversas situações encontradas. Fotografias com escalas, esboço de mapa, coleta de amostras.

- Infra-Estrutura: Indicar proximidade de cidade, vila, povoado, condições de acesso, proximidade de fonte de água e energia elétrica, superficiário, mão de obra da região entre outros.

A **Gitologia** é o estudo das jazidas em si mesmas e, sobretudo de seus meios geológicos em largo senso e também de seus valores econômicos. A Gitologia Quantitativa trata de mensurar a importância econômica dos diversos tipos de jazidas, características de determinados meios geológicos ou ambiências geológicas, através de índices e parâmetros baseados nas reservas e nas produções de certo bem mineral.

Os **Controles da Mineralização** são parâmetros geológicos segundo os quais se desenvolve as concentrações anômalas. Eles são determinantes para a existência dos Depósitos Minerais. Os Controles mais importantes são:

- Estruturais: a mineralização concentra-se preferencialmente ao longo de uma estrutura (por exemplo: Zona de Cisalhamento, Charneira de Dobra, etc);

- Estratigráficos: preferência da mineralização por determinados horizontes estratigráficos;

- Litológicos: preferência da mineralização por determinados tipos de rochas.

III - REGISTRO GRÁFICO DE DEPÓSITOS MINERAIS

III.1 – Introdução

É imprescindível, para o conhecimento do Depósito Mineral, a elaboração do seu registro gráfico, através de Mapas, Perfis, Croquis, Desenhos Esquemáticos, Blocos Diagramas, Fotografias, inclusive fotografias auxiliadas por interpretação, etc. Para tanto se faz necessário conhecimentos preliminares de Cartografia, Topografia, Medições de parâmetros geológicos com bússola e trena, habilidades com desenho, raciocínio espacial, GIS / SIG, GPS entre outros. Este capítulo se propõe a dar algumas noções sobre o assunto.

O Mapa deve ser confeccionado ainda no campo, o mais próximo possível de sua versão final. Importante lembrar que nenhum software é capaz de geoprocessar bons resultados, se não se dispõe de um bom levantamento de campo e boa Base de Dados.

III.2 – NOÇÕES DE CARTOGRAFIA E GEOPROCESSAMENTO

III.2.1 – Definições Básicas

A **Geodésia** é a ciência que se ocupa da determinação da forma, das dimensões e do campo de gravidade da Terra (www.ibge.gov.br). É a base para o estabelecimento do referencial físico e geométrico necessário ao posicionamento dos elementos que compõem o espaço geográfico.

A **Cartografia** se preocupa com a representação do espaço geográfico através de mapas, cartas e outras formas de expressão ou representação de objetos, elementos, fenômenos e ambientes físicos e socioeconômicos, bem como a sua utilização. Envolve estudos, técnicas e arte de conceber, de levantar, de redigir e de divulgar os mapas. A representação do espaço geográfico se dá através da **Projeção**, a qual se define como a representação sistemática de uma porção da superfície da Terra.

Visando uniformizar os mapas e permitir a padronização das referências cartográficas a nível internacional, foram realizadas várias convenções. Na de Londres em 1909, ficou estabelecido que a Terra fosse recortada imaginariamente, no sentido Norte-Sul por meridianos, e no sentido Leste-Oeste, por paralelos. Os paralelos dão uma volta completa no globo, e são divididos em 360 partes, cada uma correspondendo a 1 grau: 180 graus Oeste e 180 graus Leste. Os meridianos ligam o Pólo Norte ao Sul, e divididos em 180 graus: 90 graus Norte e 90 graus Sul. O meridiano e o paralelo zero são, respectivamente, Greenwich e Equador. Convencionou-se que a Oeste de Greenwich todos os valores seriam negativos, enquanto a Leste Positivo. Todos os pontos a Norte do Equador são positivos e a Sul negativos.

As **Coordenadas** permitem a localização de um ponto sobre a superfície terrestre e dependem do sistema de projeção utilizado. Nos mapeamentos convencionais são empregados principalmente dois tipos de coordenadas: as **Geográficas**, cujos valores referem-se à latitude e longitude do ponto, e **UTM** (Universal Transversa de Mercator) cuja localização do ponto

se dá pelo sistema métrico. A **Latitude** é a distância de qualquer ponto da Terra em relação ao paralelo do Equador e a **Longitude** é a distância de um ponto usando como referência o meridiano de Greenwich.

Latitude e Longitude são Coordenadas Geográficas, sendo a Latitude definida como a distância ao Equador medida ao longo do meridiano de Greenwich. Esta distância mede-se em graus, podendo variar entre 0º e 90º para Norte ou para Sul. A longitude é a distância ao meridiano de Greenwich medida ao longo do Equador. Esta distância mede-se em graus, podendo variar entre 0º e 180º para Leste ou para Oeste. Em outras palavras, a Latitude está relacionada aos Paralelos e a Longitude aos Meridianos.

As Coordenadas Geográficas podem ser dadas em graus, minutos e segundos (décimos de segundos se for o caso) ou graus decimais. Por exemplo: o ponto de Latitude S 6° 37' 25,6" (ou- 6° 37' 25,6") é um ponto a sul do Equador. Por estar a sul do Equador pode ser escrito com o valor negativo (-), conforme se convencionou internacionalmente. Para que este ponto tenha uma localização fixa no espaço geográfico é necessário indicar a Longitude, a qual é W 36° 55' 31,3" (ou - 36° 55' 31,3") por estar a Oeste (W) de Greenwich e ter sido convencionado que todo ponto a W do Meridiano zero seria negativo. Esse mesmo ponto em graus decimais seria -6,62377712 e -36,92536440, representando um local na Fazenda Timbaúba, no município de Ouro Branco, Estado do Rio Grande do Norte. Já em UTM ele é expresso como 729.382,45 m E e 9.267.353,66 mN acrescido da informação da zona ou fuso a que pertence (no caso Zona 24). Como ainda não tratamos desse tema, essa coordenada UTM será comentada oportunamente.

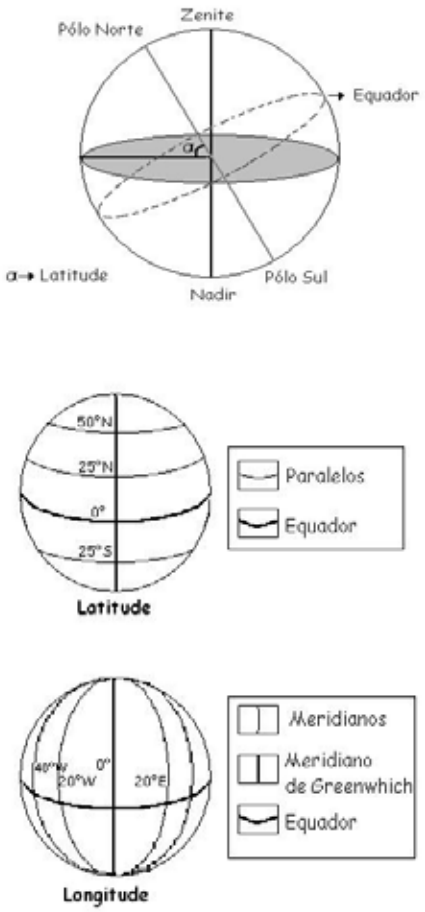


Figura III.1 – Paralelos e Meridianos, Latitude e Longitude.

Obs: NADIR é o ponto na esfera celeste exatamente abaixo do observador, enquanto ZENITE é o ponto na esfera celeste exatamente acima do observador.

Ainda nesta Conferência de Lodres foi elaborado um esquema de articulação da Terra em Cartas na escala 1:1.000.000, a Carta Internacional do Mundo ao Milionésimo

(Conferências Técnicas de Londres 1909, Paris 1913 e Bonn em 1962). A **Escala** é uma relação entre o comprimento gráfico (de mapa, carta ou planta) e o comprimento medido sobre a superfície da terra (ver mais sobre escala no ítem III.2.2).

A distinção entre **Mapa, Carta** e **Planta** é algo controvertido. Para alguns Carta e Mapa são sinônimos, para outros é tudo uma questão de Escala, uma vez que os Mapas abrangem grandes regiões (Escala 1:250.000 e menores), enquanto Cartas abrangem regiões menores, de escala média ou grande (1:25.000 a 1:250.000) e é usado em todo mapeamento que necessite uma subdivisão da representação em várias folhas de forma sistemática. Já a Planta é a representação em escalas grandes (1:10.000 ou maiores) destinadas a fornecerem informações muito detalhadas.

A convenção de Londres (1909) dividiu o mundo em cartas ao milionésimo (1:1.000.000) tendo cada Carta 4º de latitude por 6º de longitude. Os fusos são numerados, no sentido levógiro (direita para esquerda), a partir do anti-meridiano de Greenwich. Assim, o fuso 30 tem limite 0º W e 6º W, o fuso de número 29 tem limite de 6º W e 12º W, seguindo deste modo até o fuso de número 1 cujo limite é 174º W e 180º W, isto para o lado oeste do Meridiano de Greenwich. Para o lado leste tem-se o fuso de número 31 com limite 0º E e 6º E, indo até o fuso de número 60 com limite 174º E e 180º E.

As zonas estão dispostas no sentido das latitudes, faz-se a divisão dos Hemisférios Norte e Sul em zonas de variação de 4º até a 80º Sul e 80º Norte. As zonas são identificadas por letras do alfabeto, tanto para o hemisfério Norte como para o hemisfério Sul. Assim, a zona A fica delimitada pelo paralelo 0º e pelo paralelo 4º, tanto para Norte quanto para Sul, faz-se o mesmo para as demais zonas até a zona de letra T cujos limites são 76º e 80º ao Norte e ao Sul. Para designar o hemisfério, usa-se a letra inicial que o identifica N para o hemisfério Norte e S para o hemisfério Sul. Pelo índice de nomenclatura internacional, as cartas na escala 1: 1.000.000 são identificadas com a letra do hemisfério, a letra da zona e o número do fuso. A Figura III.2 sintetiza o que foi descrito nesse parágrafo.

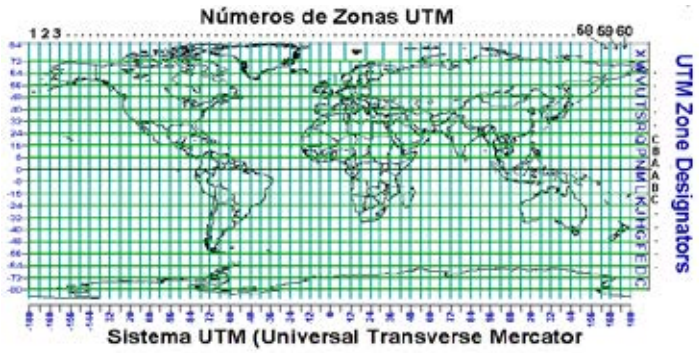


Figura III.2 – Esquema de representação do mundo ao milionésimo, com definições de zona, fusos e de cada Carta ao milionésimo de 4º x 6º. Parcialmente compilado de www.ibge.gov.br

As coordenadas aproximadas da esquina do IFRN no cruzamento das avenidas Bernardo Vieira com a Salgado Filho tem latitude - 5° 48’ 45” e longitude -35° 12’ 17”. Pela nomenclatura da Carta ao Milionésimo este ponto estaria representado pela Folha SB-25 (confira nas Figuras III.2 e III.3) que é delimitada pelas latitudes 4º S e 8º S e pelas longitudes 30º W e 36ºW.

Já aquele ponto na Fazenda Timbaúba, em Ouro Branco/RN estaria na Folha SB-24, que é delimitada pelas latitudes 4º S e 8º S e pelas longitudes 36º W e 42ºW.



Figura III.3: Carta Internacional ao Milionésimo. Detalhe das Folhas 1:100.000 abrangendo o Brasil.

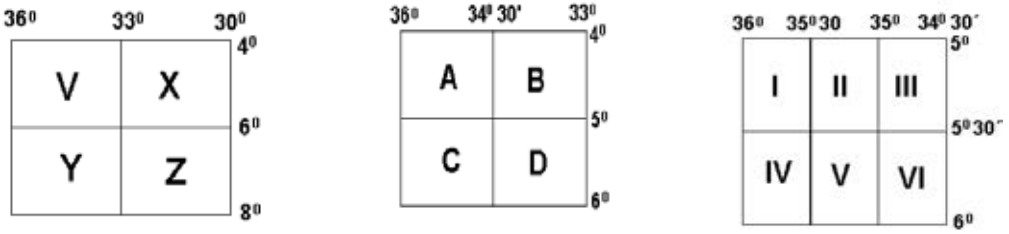
A convenção internacional também determinou referências para escalas maiores. Assim, as folhas na escala 1: 500.000 são encontradas as referências dividindo a folha básica ao milionésimo em quatro folhas de 2º x 3º, designadas pelas letras V, X, Y e Z. A folha na escala 1: 250.000 é o resultado da divisão da folha na escala 1: 500.000 em quatro folhas de 1º x 1º 30’ designadas pelas letras A, B, C e D. A folha da escala 1: 100.000 é o resultado da divisão da folha na escala 1: 250.000 em seis folhas de 30´ x 30’ designadas pelos algarismos romanos I, II, III, IV, V e VI.

A Figura III.4 mostra a divisão da Folha SB-25 para a escala 1:500.000, depois para 1:250.000 até chegarmos na escala 1:100.000 utilizando as normas internacionais.

Qual seria, então, a Carta de Referência na escala 1:100.000 daquele ponto da esquina do IFRN no cruzamento das avenidas Bernardo Vieira com a Salgado Filho (- 5° 48’ 45” e -35° 12’ 17”) ?

A resposta seria SB.25 V-C-V. Utilize essas normas para estabelecer o mapa de referência na escala 1:100.000 daquele ponto na Fazenda Timbaúba, Ouro Branco/RN.

(Resp: SB.24-Z-B-V)



ESCALA 1:500.000 ESCALA 1:250.000 ESCALA 1:100.000

Figura III.4: Referências Cartográficas para escalas maiores que 1:1.000.000, conforme convencionado internacionalmente. Escalas abordadas de 1:500.000, 1:250.000 e 1:100.000.

E qual seria a referência cartográfica da esquina do IFRN na escala 1:25.000? A resposta é SB.25 V-C-V-2-SW, conforme explicitado na figura III.5 abaixo.

A folha da escala 1: 50.000 é o resultado da divisão da folha na escala 1: 100.000 em quatro folhas de 15' x 15' designadas pelos números 1, 2, 3 e 4. A folha da escala 1: 25.000 é o resultado da divisão da folha na escala 1: 50.000 em quatro folhas de 7'30" x 7'30" designadas pelas letras dos quadrantes NE, SE, SO (SW) e NO (NW).

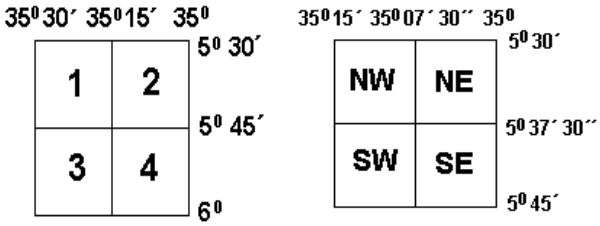


Figura III.5: ref. cartográfica das escalas 1:50.000 e 1:25.000

Entretanto, a maioria das Cartas Oficiais disponíveis estão na escala 1:100.000, veiculadas pela SUDENE, IBGE e antigo Ministério do Exército.

As **Coordenadas Planas** - Como a Terra é curva e irregular torna-se impossível projetá-la sobre uma superfície plana, conservando ao mesmo tempo distâncias, ângulos, áreas e a verdadeira relação entre esses elementos, sem que haja sempre algum tipo de distorção. Embora existam vários tipos de projeção o Brasil adota o sistema **UTM - Universal Transversa de Mercator** - de acordo com a recomendação da Associação Geodésica e Geofísica Internacional. A origem das coordenadas planas é definida em cada fuso no cruzamento do Equador com o Meridiano Central, acrescentando-se as constantes 10.000.000 metros no sentido do meridiano e 500.000 metros no sentido do paralelo. No sistema UTM utiliza-se o **GRID** que são linhas perpendiculares entre si que aparecem nos mapas como linhas vertical e horizontal (o Grid não é meridiano e nem paralelo).

Meridiano Central: o esquema de articulação da Carta Internacional ao Milionésimo divide o planisfério terrestre em 60 fusos ou zonas da projeção UTM, delimitadas por dois meridianos espaçados entre si por 6º de longitude. Estes fusos são numerados no sentido oeste-leste, de 1 a 60, tendo início a numeração no anti-meridiano de Greenwich. Assim, a

cada zona as coordenadas planas são calculadas a partir do Meridiano Central. O estado do RN é coberto por duas zonas: a 24 e a 25. Portanto todo o cuidado deve ser tomado quando se está trabalhando com UTM no limite dessas zonas. Nesse caso e nos casos onde um trabalho regional abrange mais de uma zona, aconselha-se utilizar coordenadas geográficas (Lat-Long).

No sistema de Grids as linhas verticais não são indicativas de quaisquer dos Nortes, quais sejam: **Norte Magnético** - direção norte indicada pela agulha da bússola mostrando a direção do pólo norte magnético. **Norte Geográfico ou Verdadeiro** - é a direção em relação ao norte dos meridianos geográficos. **Norte de Quadrícula** - Com direção paralela ao eixo N (que coincide com o Meridiano Central do fuso) do Sistema de Projeção UTM no ponto considerado e apontado para o Norte (sentido positivo de N) ou grid. A diferença angular entre o Norte Magnético e o Norte Verdadeiro é a **Declinação Magnética**. Cada região tem sua declinação e esta varia anualmente. Em Natal a declinação é 21º 46´ W em 2008e a variação anual é de 0º 2´E.

A **altitude** é a distância, medida na vertical, entre um **Referencial de Nível** (RN) e à superfície. O RN pode ser arbitrário, mas oficialmente utiliza-se o nível médio do mar. **Cota** é o valor que exprime a altitude de um ponto em relação ao RN. O **Datum** é o ponto geodésico utilizado como referência na elaboração de mapas e na recuperação das informações nele contidas.

Datum Vertical é um ponto fixo materializado próximo ao mar, obtido através de uma régua graduada chamada Marégrafo, considerado como a referência a partir do qual são calculadas as altitudes. O Datum Vertical utilizado, atualmente com Elipsóide de Referência SAD69, está localizado em Imbituba, Santa Catarina. **Datum Horizontal** é um ponto de referência que representa a base das medições horizontais sobre a superfície da Terra. O Datum Horizontal utilizado, atualmente, está localizado em Chuá, Minas Gerais.

O Datum é obtido a partir de um dos elipsóides que os matemáticos desenvolveram para aplicar à forma da Terra. São vários, cada um desenvolvido a partir das peculiaridades do ponto de observação e tecnologia disponível na época. No Brasil, por um certo período, adotou-se o elipsóide de Hayford (semi-eixo maior 6.378.338 m e achatamento 1/297) como figura geométrica para os trabalhos geodésicos e o Datum Córrego Alegre estabelecido a partir deste elipsóide. Atualmente, no entanto, utiliza-se com mais freqüência o elipsóide da União Astronômica Internacional, homologado em 1967 pela Associação Internacional de Geodésia, denominado GRS-67 (semi-eixo maior 6.378.160 m e achatamento de 1/298,25). O Datum SAD-69 (South American Datum), que é o Datum oficial do Brasil, foi estabelecido a partir do GRS-67. O elipsóide GRS-80 (semi-eixo maior 6.378.137 m e achatamento de 1/298,257223563) é adotado como superfície de referência para o *datum* WGS-84. O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) é constituído por cerca de 70.000 estações implantadas pelo IBGE em todo o Território Brasileiro, divididas em três redes: - Planimétrica: latitude e longitude de alta precisão; - Altimétrica: altitudes de alta precisão; - Gravimétrica: valores precisos de aceleração da gravidade.

III.2.2 – Mapas Topográficos e Geológicos

Sob a denominação genérica de "Mapa" incluem-se aqui os mapas, cartas e plantas que representam graficamente uma determinada área ou região, tanto nos seus aspectos planimétricos, altimétricos e geológicos em Escala Adequada.

A Escala, já mencionada superficialmente em III.2.1 é a relação matemática constante entre o comprimento de uma linha medida na planta (d) e o comprimento de sua medida homóloga no terreno (D), dada pela relação d/D = 1/N, sendo N o módulo da escala. Nesta relação o numerador e denominador têm que ter a mesma unidade de medida. Desta forma, quanto **MAIOR** o denominador, **MENOR** será a escala. A título de exemplo, a escala 1:100 informa que o comprimento de um segmento representado em uma planta, equivale a cem vezes este comprimento no campo, ou seja, 10 cm em planta representa 1.000 cm ou 10 m no terreno.

As escalas devem ser apresentadas também na forma gráfica que, geralmente, vêm desenhadas nas margens das cartas geográficas e/ou plantas topográficas, possibilitando determinações rápidas no desenho e guardando suas relações em caso de distorções promovidas por reproduções, influência de calor ou da umidade, etc.

A escolha da Escala depende da precisão do levantamento; finalidade do desenho; precisão dos instrumentos de medidas utilizados; métodos empregados, bem como da extensão do terreno a representar; a extensão da área levantada, quando comparada com as dimensões do papel do desenho; a natureza e quantidade de detalhes que devem constar na planta topográfica; a precisão gráfica do desenho.

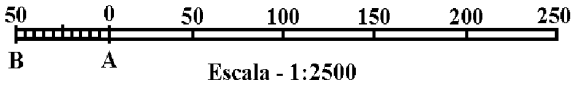


Figura III.6 – Escala Gráfica

TABELA III.1 - FOLHAS UTILIZÁVEIS EM DESENHO

TAMANHO	DIMENSÕES
A0	841 x 1.189 mm
A1	594 x 841 mm
A2	420 x 594 mm
A3	297 x 420 mm
A4	210 x 297 mm
A5	148 x 210 mm
A6	105 x 148 mm

Exemplo compilado de www.metro.det.ufc.br/suelly/Topografia%20(Teoria) / Aula%2002%20 -%20Escalas.ppt para obter a Determinação de uma Escala para Desenho de um Terreno, dados as dimensões da folha de papel 0,80 m x 0,40 m e as dimensões do terreno 200 m x 60 m. A Escala escolhida: 1/250 (escala de menor valor entre as escalas vertical e horizontal).



Papel

Terreno

Figura III. 7 - Escolha da escala para as dimensões horizontais

Escolha da escala para as dimensões verticais:

A Precisão Gráfica de uma Escala é a menor dimensão gráfica percebida pela vista humana, ou seja, menor dimensão capaz de ser representada em planta. Pela Norma Técnica a mínima representação gráfica é 0,0002 m. O Erro admissível: (e_a) = 0,0002 x N (N = denominador da escala adotada). Ver tabela III.2

TABELA III.2 – ERROS E RESPECTIVAS ESCALAS

ESCALA	ERRO GRÁFICO (ea)
1/100	0,02 m
1/500	0,10 m
1/1000	0,20 m
1/5000	1,00 m

Os **Mapas Topográficos** tem por objetivo específico representar graficamente a planimetria e /ou a altimetria de uma região, incluindo não só os aspectos naturais, mas também os artificiais em escala adequada. O mapa topográfico que enfoca ambos (planimetria e altimetria) é chamado de plani-altimétrico.

A **Planimetria** é a parte da Topografia que estuda os métodos e procedimentos que serão utilizados na representação do terreno. Adotando-se uma escala adequada, todos os pontos de interesse são projetados ortogonalmente sobre um plano (plano horizontal de referência), sem a preocupação com o relevo.

A medida entre dois pontos, em topografia, corresponde à medida da distância horizontal entre esses dois pontos, mesmo que o terreno seja inclinado. Nos Levantamentos Planimétricos são medidas as grandezas lineares e angulares, sendo que estas últimas tomam como referências a linha N-S magnéticas.

Um alinhamento topográfico é um segmento de reta materializado por dois pontos nos seus extremos. Tem extensão, sentido e orientação Por exemplo: Orientação: 45°; Sentido: de A para B. Extensão: *x* metros

Rumo é o menor ângulo formado entre a linha Norte-Sul e o alinhamento em questão. O Rumo varia de 0º a 90º e necessita a indicação do quadrante em que se encontra o alinhamento. Na figura III.8 (B) o Rumo da linha C – D é S 10º E (ou 10º SE).

Azimute é o ângulo formado entre o Norte e o alinhamento em questão. É medido a partir do Norte, no sentido horário, podendo variar de 0º a 360º. Na figuraIII.8 (B) o azimute da linha C-D é 170º Az.

As agulhas imantadas colocadas em bússolas fornecem os azimutes magnéticos; para transformá-los em verdadeiros é necessário que se conheça a declinação magnética local e fazer a transformação adequada. A declinação magnética pode variar em função dos fatores tempo e lugar. Sabendo-se disto, quando se vai utilizar azimutes magnéticos de antigos levantamentos, devem-se reajustar os seus valores para a época atual. Procedimento idêntico deve ser tomado para trabalhos em regiões diferentes.

Deflexão é o ângulo formado entre o prolongamento do alinhamento anterior e o alinhamento que segue. Varia de 0° a 180° e necessita da indicação da direita ou da esquerda.

Os Levantamentos Expeditos são métodos rápidos, econômicos e pouco precisos. Podem ser de três tipos: Passo e bússola; Bússola e trena; e Trena.

Os **Caminhamentos** são distâncias percorridas para realizar um levantamento e a **Estação** (ou Estações) é a parada para registro de informações ao longo do caminhamento (ver mais em III.3.3).

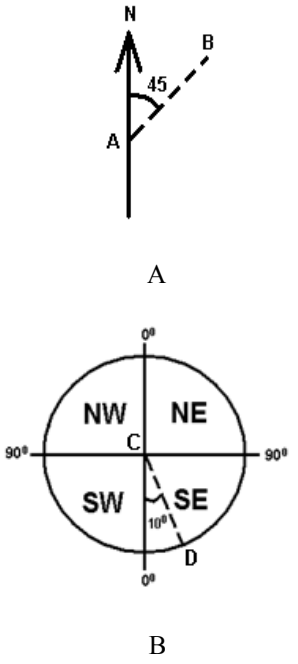


Figura III.8 – (A) Alinhamento e (B) Quadrantes e Rumo.

Com o uso do GPS (Global Positioning System –Sistema de Posicionamento Global) esses levantamentos ficaram bastante simplificados. O GPS é um sistema de navegação baseado em satélite, composto de uma rede de 24 satélites colocada em órbita pelo Departamento Norte-Americano de Defesa. Um receptor de GPS deve receber um sinal de pelo menos três satélites, para calcular uma posição 2D (latitude e longitude). Com quatro ou mais satélites visíveis, o receptor pode determinar a posição 3D do usuário (latitude, longitude e altitude).

A **Altimetria** ou **Nivelamento** é parte da Topografia que estuda os métodos e procedimentos que levam a representação do relevo, cálculo das alturas (cotas ou altitudes) dos pontos de interesse e representá-los em planta mediante uma convenção altimétrica adequada. Essa representação é feita pelas Curvas de Nível e pelos Pontos Cotados.

Conforme já mencionamos a cota é o valor que exprime a altitude de um ponto em relação ao RN. As Curvas de Nível são linhas que unem pontos de igual cota. Para auxiliar na tri-dimensionalidade podemos definir Curvas de Nível como a intersecção de um plano horizontal imaginário de altura conhecida com a superfície do relevo.

Assim, as Curvas de Nível serão tão mais espaçadas umas das outras quanto mais suave for a inclinação do relevo e tão mais próximas uma da outra quanto mais íngreme for o relevo.

A representação do relevo por curvas de nível deve levar em conta a necessidade de precisão do trabalho. Assim, define-se a eqüidistância entre os planos horizontais de modo a se ter a melhor representação do relevo

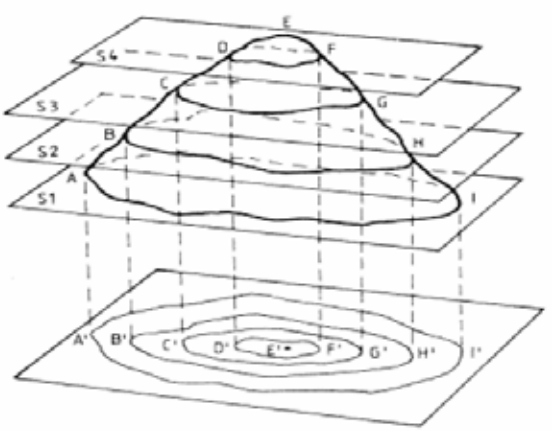


Figura III.9 – Esquema de representação de Curvas de Nível

A Figura III.10 exemplifica as Curvas de Nível como produto da interseção de três planos horizontais imaginários de cota 10, 20 e 30 numa rampa de forte inclinação e outra de inclinação suave. A projeção em Planta (mapa ou carta) da intersecção dos planos horizontais imaginários com a rampa é a representação altimétrica da rampa. Notar que as curvas de nível são mais espaçadas uma das outras nos casos em que a rampa é mais suave e mais próxima nos casos em que ela é mais íngreme.

Como seria a representação altimétrica no caso de uma "rampa" vertical? Uma única linha poderia assumir vários valores dependendo da **eqüidistância** utilizada, ou seja, da altura estipulada para os planos horizontais imaginários. No exemplo da Figura III.10, uma única linha representaria as cotas 10, 20 e 30. Como exercício, faça os desenhos esquemáticos da representação altimétrica de um plano vertical.

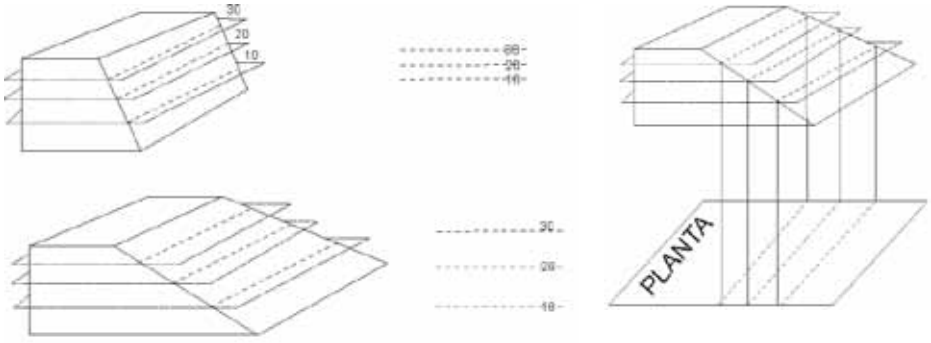


Figura III.10: Representação altimétrica de rampas suaves e íngremes. Projeção da intersecção do Plano Horizontal imaginário com a rampa.

As Curvas de Nível não podem bifurcar, nem cruzar uma com outra. Elas podem fechar (Figura III.9) formando círculos, elipses ou outra figura geométrica, ou ainda ser interrompida nos limites do mapa.

Intervalo entre curvas de nível é a diferença de altitude entre duas curvas consecutivas. O intervalo entre curvas deve ser constante na mesma representação gráfica e a sua escolha depende de cada trabalho com base em dois fatores: a escala da planta, e a declividade ou sinuosidade do terreno. As variações utilizadas em escalas ≤ 1: 1.000 o intervalo é de 1m; escalas entre (1: 1.000 < Escalas ≤ 1: 2.000) o intervalo é de 2m; etc.

No caso de vales, o curso d´água deve sempre passar nas zonas de maior inflexão das curvas de nível (Figura III.11). Na escolha de um RN aleatório deve-se tomar o cuidado para que não se tenha valores negativos

Na representação altimétrica as curvas de nível do lado Leste estão mais próximas umas das outras, enquanto do lado Oeste estão mais afastadas (Figura III.11). A representação do Rio é planimétrica, constituindo-se, portanto, num Mapa Plani-altimétrico.

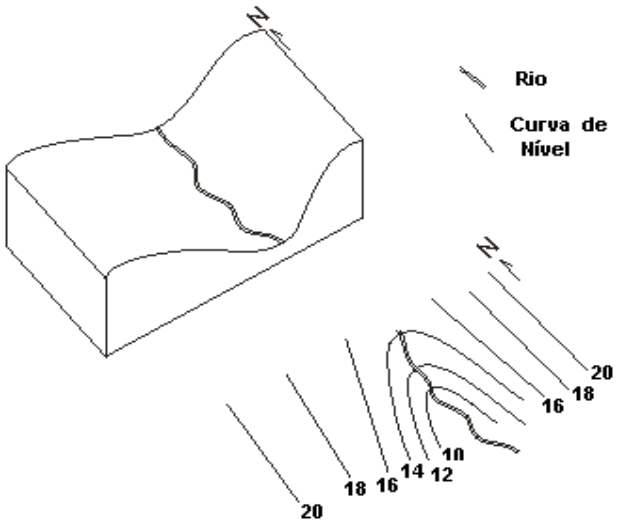


Figura III.11 – Bloco Diagrama de um Vale por onde passa um rio. Do lado Leste do vale a encosta é mais íngreme, enquanto do lado Oeste ela é mais suave.

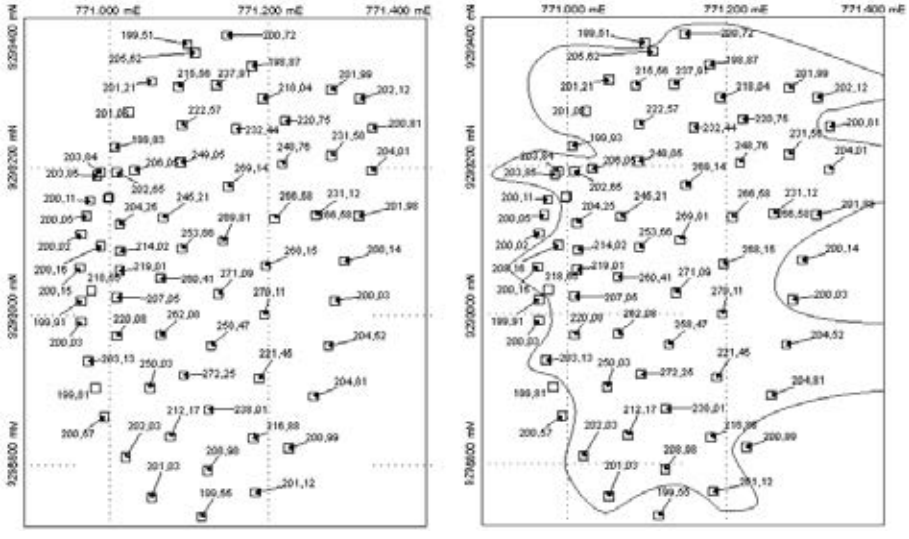
As Curvas de Nível comumente são confeccionadas a partir da **Interpolação** de Pontos Cotados. A interpolação é uma técnica que permite encontrar valores a partir de outros já conhecidos. Existem vários métodos matemáticos para a interpolação. Para efeito da elaboração de mapas vamos abordar um método simplista baseado no traçado de linhas (Curvas de Nível) com eqüidistâncias pré-estabelecidas por entre pontos de cota e coordenadas (Geográficas ou UTM) obtidos em campo.

Tomemos como exemplo um trabalho realizado no "Tailing" (rejeito de processamento) de scheelita da mina Barra Verde, em Currais Novos/RN. Foram lançados piquetes numerados aleatoriamente de modo a cobrir todo o "tailing". Em seguida, foram tomadas as coordenadas e as cotas de cada um desses piquetes. A cota foi estabelecida a partir do Referencial de Nível (RN 328) nas proximidades do foco deste levantamento.

TABELA III.1 – DADOS DO LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO DE UM "TAILING" DE SCHEELITA DA MINA BARRA VERDE, CURRAIS NOVOS/RN (Coordenadas UTM, Datum Córrego Alegre, Zona 24)

PTO	UTM_E	UTM_N	COTA	PTO	UTM_E	UTM_N	COTA	PTO	UTM_E	UTM_N	COTA	PTO	UTM_E	UTM_N	COTA
T 01	770997	9299158	204,42	T 21	771189	9298916	221,45	T 41	771261	9299136	231,12	T 61	771159	9299251	232,44
T 02	770998	9299159	204,51	T 22	771284	9299021	200,03	T 42	771009	9299025	207,05	T 62	771330	9299195	204,01
T 03	771067	9299132	245,21	T 23	771297	9299073	200,14	T 43	770981	9298904	199,81	T 63	771315	9299134	201,98
T 04	771091	9299090	253,66	T 24	771280	9299215	231,58	T 44	770993	9298864	200,57	T 64	771261	9299136	266,58
T 05	771180	9299336	198,87	T 25	771316	9299292	202,12	T 45	771053	9298756	201,03	T 65	771142	9299100	269,81
T 06	771108	9299354	205,62	T 26	771280	9299304	201,99	T 46	771123	9298792	208,98	T 66	771149	9299174	269,14
T 07	771086	9299308	215,56	T 27	771218	9299204	248,76	T 47	771184	9298763	201,12	T 67	771009	9298973	220,08
T 08	771031	9299196	206,05	T 28	771135	9299310	237,91	T 48	771226	9298823	200,99	T 68	770976	9299034	218,65
T 09	771196	9299068	268,15	T 29	771053	9299316	201,21	T 49	771276	9298960	204,52	T 69	771012	9299061	219,01
T 10	771195	9299002	270,11	T 30	771091	9299256	222,57	T 50	770964	9299110	200,02	T 70	770988	9299094	208,16
T 11	771093	9298920	272,25	T 31	771090	9299206	249,05	T 51	770962	9299065	200,15	T 71	771012	9299123	204,25
T 12	770972	9298940	203,13	T 32	771013	9299087	214,02	T 52	770975	9299155	200,11	T 72	771009	9299193	202,65
T 13	770964	9298992	200,03	T 33	771064	9299051	260,41	T 53	770988	9299193	203,84	-	-	-	-
T 14	770984	9299188	203,85	T 34	771128	9298960	258,47	T 54	771006	9299227	199,93	-	-	-	-
T 15	770970	9299134	200,05	T 35	771064	9298974	262,08	T 55	771023	9299274	201,08	-	-	-	-
T 16	770964	9299021	199,91	T 36	771124	9298874	238,01	T 56	771097	9299365	199,51	-	-	-	-
T 17	771020	9298810	202,03	T 37	771076	9298838	212,17	T 57	771148	9299377	200,72	-	-	-	-
T 18	771115	9298730	199,55	T 38	771137	9299030	271,09	T 58	771193	9299292	218,04	-	-	-	-
T 19	771181	9298836	216,88	T 39	771050	9298904	250,03	T 59	771221	9299263	220,75	-	-	-	-
T 20	771257	9298892	204,81	T 40	771208	9299131	266,58	T 60	771332	9299253	200,81	-	-	-	-

Com os pontos plotados, de acordo com suas coordenadas e as respectivas cotas (tabela III.3), passa-se a interpolação que consiste em traçar linhas de valores pré-determinados. O caso em tela está apresentado na Figura III.12, exemplificando como seria o traçado da curva de nível de cota 201 metros.



(A) (B)

Figura III.12 – (A) Plotagem dos pontos com suas respectivas cotas (B) Interpolação manual da curva de nível de cota 201 metros. Figura do autor

Nenhuma das leituras de campo dos pontos cotados tem esse valor exato, contudo existem valores aproximados.

Na porção sul do mapa, para exemplificar, existe alguns pontos cotados. Nenhum deles com a cota 201 m cuja curva de nível se deseja traçar. Todavia, sabe-se que entre as cotas 208,98 m e 199,55 m passa a cota 201 m e que entre 199,55 m e 201,12 também passa 201 m, desta vez mais próximo de 201,12. Assim , utilizando esse raciocínio, traça-se a curva de nível 201 por todo o mapa com a subjetividade sendo corrigida em função do conhecimento do relevo adquirido durante o levantamento, de modo que o traçado da curva de nível se aproxime o máximo possível da realidade. Softwares como MapInfo, Discover, Oasis, Nin Tag procedem interpolação (gridagem) segundo várias metodologias matemáticas.

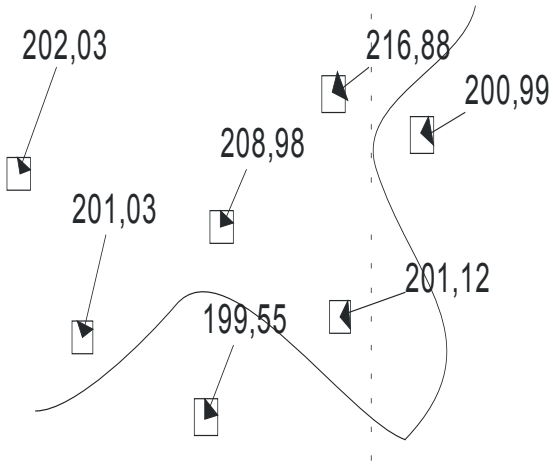


Figura III.13 – Detalhe da Figura III.12 (b)
Figura do autor

A título de exercício elabore outras curvas de nível no exemplo acima (curvas de 202, 203, 204, 205 até 270 m). Pontos mais elevados, por exemplo, 272,25 m podem aparecer simplesmente como um ponto cotado para indicar aquela elevação.

A **Batimetria** é semelhante a altimetria, no entanto as curvas representam profundidades de oceanos, lagos e rios. As medições de profundidade são realizadas com aparelhos chamados de Sonar ou Ecobatímetros.

III.2.3 – Convenções Topográficas

Convenções Topográficas são símbolos que representam os elementos do espaço geográfico. Segundo o IBGE (Website http://www.ibge.gov.br/ home/ geociencias/ cartografia/ manual_nocoes/ elementos_representacao.html) sendo uma carta ou mapa a representação, numa simples folha de papel, da superfície terrestre, em dimensões reduzidas, é preciso associar os elementos representáveis à símbolos e convenções. Algumas observações importantes estão listadas abaixo:

- toda a representação só pode ser convencional, isto é, através de pontos, círculos, traços, polígonos, cores, etc. Relacionar os elementos a símbolos que sugiram a aparência do assunto como este é visto pelo observador, no terreno.

- se o símbolo é indispensável a sua variedade ou a sua quantidade acha-se, sempre, em função da escala do mapa. À proporção que a escala diminui aumenta a quantidade de

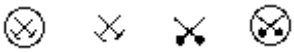
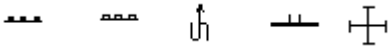
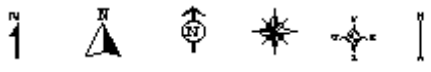
símbolos. Quando a escala da carta permitir, os acidentes topográficos são representados de acordo com a grandeza real e as particularidades de suas naturezas. O símbolo é, ordinariamente, a representação mínima desses acidentes.

- observar, com o máximo rigor, as dimensões e a forma característica de cada símbolo, a fim de se manter, a homogeneidade que deve predominar em todos os trabalhos da mesma categoria. No Brasil existem Normas Técnicas que padronizam as convenções, entretanto, baseiam-se naquelas do USSG (United State Geologic Survey) http://erg.usgs.gov/isb/pubs/booklets/symbols/ Topographic Map Symbols

- A posição de uma legenda é escolhida de modo a não causar dúvidas quanto ao objeto a que se refere. Tratando-se de localidades, regiões, construções, obras públicas e objetos congêneres, bem como acidentes orográficos isolados, o nome deve ser lançado, sem cobrir outros detalhes importantes. As inscrições marginais são lançadas paralelamente à borda sul da moldura da folha, exceto as saídas de estradas laterais.

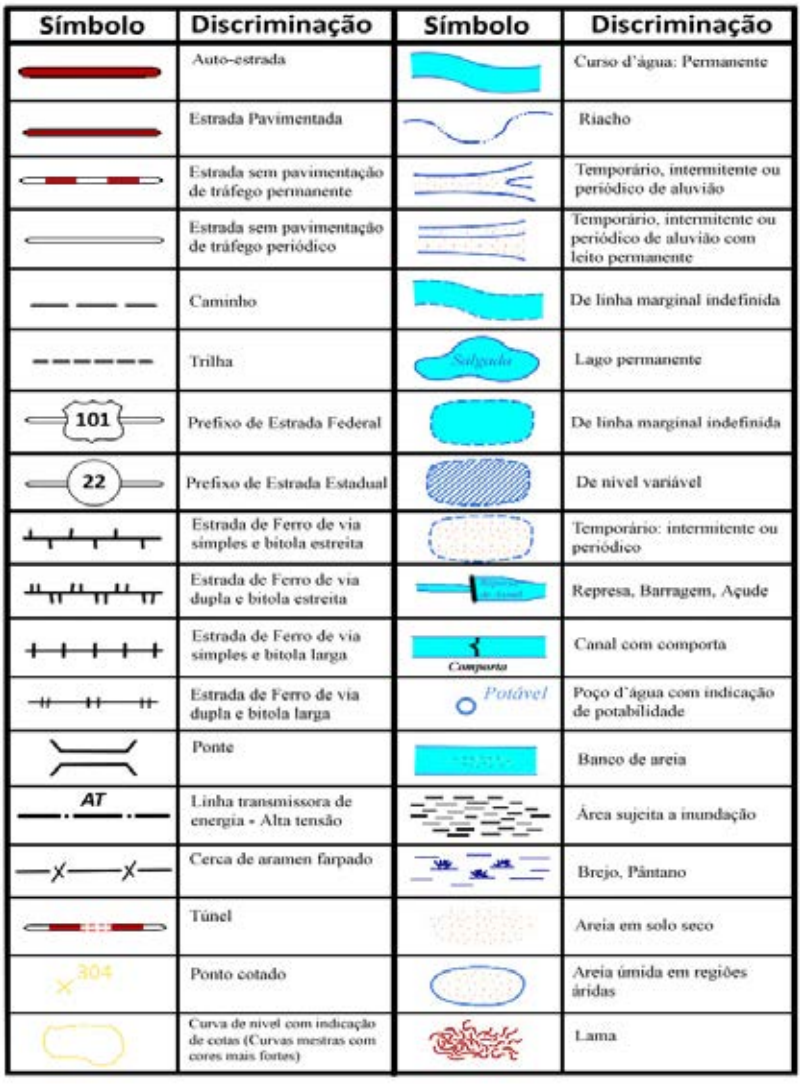
- A carta ou mapa tem por objetivo a representação de duas dimensões, a primeira referente ao plano e a segunda à altitude. Desta forma, os símbolos e cores convencionais são de duas ordens: planimétricos e altimétricos.

TABELA III.4 – ALGUMAS LEGENDAS UTILIZADAS EM CARTOGRAFIA

Minas Paralisadas	
Minas em Atividade	
Shaft ou Chaminé	
Ponto Trigonométrico	
Símbolos Estruturais	
Símbolos Estruturais	
Indicação do Norte	
Furos Sondagem	
Habitação	

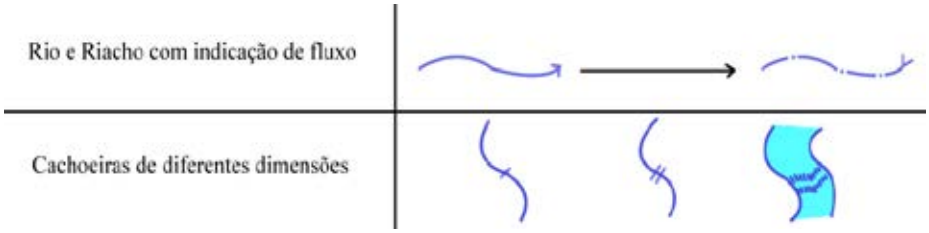
A maioria dos softwares SIG/GIS traz diversas legendas baseadas em padrões cartográficos internacionais (ver adiante).

TABELA III.5 – ALGUMAS LEGENDAS UTILIZADAS EM CARTOGRAFIA



Essas listagens apresentadas nas Tabelas III.4 e III.5 são baseadas em legendas adotadas em Cartas elaboradas em todo o mundo. Essa padronização é importante para que um mapa, carta ou planta possa ter seu entendimento por todos.

TABELA III.6 – RIOS COM INDICAÇÃO DE FLUXO E CACHOEIRAS



(*) As tabelas III.4, III.5 e III.6 foram parcialmente compiladas do site http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/manual_nocoes/elementos_representacao.html

III.2.4 – Noções de Geoprocessamento

É o processamento de informações do espaço geográfico. De outra forma, é a área do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais, fornecidas pelos Sistemas de Informação Geográfica – SIG, em inglês GIS (Geographic Information System), para tratar os processos que ocorrem no espaço geográfico. Outros nomes: Geomática, Geoinformação, Análise Espacial de Dados, Banco de Dados Geográficos etc.

Segundo a apostila da UFMG (http://www.cgp.igc.ufmg.br/especializacao.htm) Geoprocessamento compreende as atividades de aquisição, tratamento e análise de dados sobre a Terra. Isto envolve desde um conjunto de tecnologias para a coleta de imagens da superfície do planeta, conhecido como **Sensoriamento Remoto**, até o processamento e análise desses dados, em forma de **mapas digitais**, usando-se os Sistemas de Informação Geográficos, um ambiente computacional orientado à análise e interpretação de diversos fatos e fenômenos relacionados à Terra. De caráter transdisciplinar, esse poderoso conjunto instrumental se aplica a diversos campos profissionais, tornando-se imprescindível para projetos que lidam com questões voltadas à organização, planejamento e gestão do espaço geográfico ou que envolvam análises espaciais em seus estudos. Para tanto, o Geoprocessamento incorpora tecnologias de última geração, envolvendo desde satélites de observação da Terra, técnicas de mensuração por sistemas de posicionamento GPS, até sofisticados programas e equipamentos de informática. Como qualquer área tecnológica de ponta, a velocidade de suas inovações demanda, cada vez mais, um aprendizado contínuo para enfrentar os desafios de um mercado trabalho em constante mutação.

Os dados são processados através de softwares que utilizam informações cartográficas, bem como todas aquelas que possam se associar a um local definido por suas coordenadas (**Georreferenciamento**). **Georreferenciar** uma imagem ou um mapa é tornar

suas coordenadas conhecidas num dado sistema de referência. Este processo inicia-se com a obtenção das coordenadas (pertencentes ao sistema no qual se planeja georreferenciar) de pontos da imagem ou do mapa a serem georeferenciados, conhecidos como *Pontos de Controle*. Os **Pontos de Controle** são locais que oferecem uma feição física perfeitamente identificável, tais como intersecções de estradas e de rios, represas, pistas de aeroportos, edifícios proeminentes, topos de montanha, dentre outros. A obtenção das coordenadas dos Pontos de Controle pode ser realizada em campo (a partir de levantamentos topográficos, GPS – Global Positioning System), ou ainda por meio de mesas digitalizadoras, outras imagens ou mapas (em papel ou digitais) georreferenciados (http://www.ptr.poli.usp.br/labgeo/graduacao/ptr321/material2/registro.pdf).

Quando documentos, textos ou desenhos, são convertidos em arquivos eletrônicos, existem 2 tipos de formatos finais: RASTER ou VETORIAIS. Arquivos **Raster** são constituídos de pontos individuais chamados de pixels que são dispostos e coloridos de maneiras diferentes para formar um padrão. Ao aumentar o zoom será possível ver os quadrados individuais que formam a imagem total (pixel).

Arquivos **Vetoriais** são constituídos por VETORES. Vetores são entidades definidas matematicamente como uma série de pontos unidos por linhas. Cada vetor é uma entidade independente com propriedades como cor, forma, contorno, tamanho e posição na tela, incluídas na sua definição. Visto que cada vetor é uma entidade independente, é possível mover e alterar suas propriedades repetidas vezes e manter a sua nitidez e resolução originais, sem afetar os demais componentes do desenho.

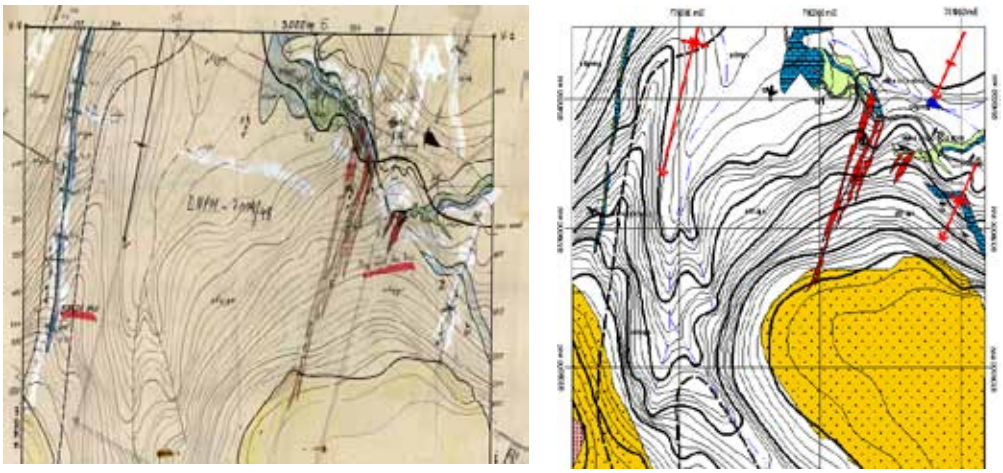
O aumento do tamanho de um arquivo raster (esticar/ampliar o desenho) tem o efeito de um aumento de pixels individuais, o que faz com que as linhas e formas pareçam serrilhadas.

O **pixel**, ou ponto, é a menor unidade que compõe uma imagem digital, ele contém os atributos de côr de cada ponto, a maior ou menor quantidade de pixels em uma área é que determina a resolução da imagem, bem como seu maior ou menor tamanho em bytes.

Resolução é a quantidade de pixels utilizada em cada polegada ou centímetro quadrado para formar a imagem, ou seja, uma imagem com 300 DPI (Dot Per Inches - pontos por polegada) possui 300 pixels ou pontos de cor por polegada quadrada.

As características dos arquivos Vetoriais fazem com que os programas baseados em vetores sejam ideais para ilustração e modelagem 3D e desenhos de engenharia onde o processo de layout exige freqüentemente a criação e manipulação de objetos individuais. Inicialmente, todos os arquivos scanneados estão no formato Raster.

VETORIZAÇÃO é o processo de conversão de arquivos Raster em arquivos Vetoriais (figura III.14). As linhas, elipses, retângulos, textos e outras informações contidas em um arquivo raster são convertidos em entidades matemáticas que podem ser entendidas por um software de CAD.



(A) (B)

Figura III.14 – Imagens Raster (A) e Vetorial (B) da mina Cafuca, município de Bodó/RN. Figuras do autor

Layer significa Camada. Evita que imagens e textos fiquem uns em cima dos outros, desorganizados. É um recurso utilizado por vários softwares para que se possa trabalhar como se estivéssemos superpondo várias folhas transparentes uma sobre outras de modo que os desenhos de cada uma das folhas sejam vistos como se fosse um único desenho após a superposição. Cada uma dessas folhas transparentes é um Layer. Assim, cada layer pode ser manipulado independentemente do outro que está embaixo ou em cima. Cada um pode ter características diferentes.

O **Workspace** que armazena os Layers em um único arquivo, de forma organizada, guardando a ordem de superposição dos mesmos. No IFRN as aulas referentes à Geoprocessamento utilizam os softwares ArcGis e MapInfo.

III.3 – Mapas Temáticos – Ênfase na Geologia

III.3.1 - Introdução

O Mapa Temático refere-se às informações geográficas e de recursos naturais onde é priorizado o conteúdo temático. Assim, a ênfase é dada ao tema que se quer trabalhar, deixando em/ou com pouca ou nenhuma evidência outras informações cartográficas de pouca ou nenhuma relevância ao tema enfocado.

Mapas temáticos podem focalizar representando Unidades de Conservação, Solos, Plani-altimétrica, Bacia Hidrográfica, Relevo entre outros inúmeros temas "cartografáveis". Aqui enfatizaremos os Mapas que tem a Geologia como tema.

III.3.2 – Mapa Geológico

O Mapa Geológico é a representação cartográfica da geologia de uma região. O mapeamento geológico tem por objetivo representar em um Mapa, situações geológicas (por ex: as rochas aflorantes em uma área, estruturas geológicas, etc).

A primeira etapa de um mapeamento geológico é o seu planejamento, o qual inclui a determinação da escala dos trabalhos, os objetivos do mapeamento (Registrar as litologias aflorantes numa área, Depósitos Minerais, foco na tectônica, no tipo de solo, etc).

Em seguida um apurado estudo dos antecedentes da região, os quais podem ser obtidos através de: Mapas topográficos, Mapas geológicos antigos, Mapas geológicos de grande escala, Publicações em revistas geológicas (ou afins), Fotos aéreas, entre outras informações prévias da área que se pretende mapear. De posse dessas informações se elabora um Mapa que servirá de base para a execução dos trabalhos de campo (**Mapa Base**).

Na fase de planejamento do Mapeamento a escolha da escala é de fundamental importância. Mapas em escala de detalhe, em terreno de relevo muito contrastante, deve levar em conta a forte influência da topografia no traçado dos Contatos Geológicos. Já em mapeamentos regionais a topografia tende a não exercer tanta influência no traçado dos contatos geológicos.

Utilizamos aquele sentido figurado da contemplação da paisagem durante um vôo. Quando o avião está à grande altitude a paisagem parece plana. Entretanto, quando nos aproximamos da superfície da terra os contrastes de relevo tornam-se mais nítidos tanto quanto mais próximos dele estivermos. É o que acontece com escalas regionais (pequenas) e de detalhes (grandes), respectivamente.

Quando a topografia é importante deve-se levar em conta o que se convencionou chamar de a "REGRA DOS Vs" (Tabela III.7) que relaciona o comportamento dos estratos em relação as curvas de nível de um vale nos casos de mapeamentos em escala de detalhe e em regiões de topografia acidentada.

As escalas de mapeamento em que se deve aplicar a Regra dos "Vs" são aquelas de detalhe (Plantas e Cartas). Entretanto, devem-se levar em conta os acidentes topográficos da área, uma vez que para áreas de fortes contrastes de relevo até na escala 1:25.000 existe influência das curvas de nível no comportamento dos contatos geológicos.

Já em áreas de topografia muito plana, mesmo as escalas grandes (por exemplo, 1:1.000), a interdependência entre "curva de nível x traçado dos contatos geológicos" pode não ser tão conspícua.

Os Mapas Geológicos são organizados de diversas maneiras, porém duas dessas são mais populares, as quais chamaremos (mesmo que inadequadamente) de: Genéricos e Mapas Elaborados por Empresas de Mineração. Ambos devem apresentar um Cabeçalho com indicação da instituição patrocinadora do Mapa, título do Mapa, Coordenadas, Escalas, Datum e Legendas.

TABELA III.7 – REGRA DOS "Vs" MOSTRANDO O VALE EM BLOCO DIAGRAMA E PLANTA

Vale em bloco diagrama	Drescrição	Carta ou Planta
Estratos Verticais 	1 - Vertical Estratos verticais - Os limites geológicos cortam as curvas de nível em uma forma reta.	Estratos Verticais 
Estratos Horizontais 	2 - Horizontal Estratos horizontais – sempre produzem limites geológicos do paralelo as curvas de nível.	Estratos Horizontais 
Estratos inclinados 	3 - Estratos inclinados: Inclinação contra a inclinação do vale Os estratos cruzam as curvas de nível, no mesmo sentido.	Estratos inclinados 
Estratos inclinados 	4 - Estratos inclinados: No mesmo sentido e inclinação do vale Os estratos cruzam as curvas de nível, no mesmo sentido, porém com um raio maior.	Estratos inclinados 
Estratos inclinados 	5 – Estratos inclinados: Inclinação no mesmo sentido do vale, porém com ângulo de inclinação maior que o do vale Os estratos cortam as curvas de nível no sentido contrário.	Estratos inclinados 

As vezes a indicação do Norte pode ser dispensada em função da indicação de coordenadas. Em alguns casos, pelo mesmo motivo, se dispensa a indicação formal de Escalas uma vez que a indicação sistemática das coordenadas é informativa também da Escala. Quando se trabalha com UTM é importante informar, além do Datum, a zona a que pertence o mapa.

A figura III.15 apresenta como um Mapa Geológico genérico deve ter suas informações organizadas, enquanto a figura III.16 apresenta o mesmo com respeito aos mapas elaborados por empresas de mineração.

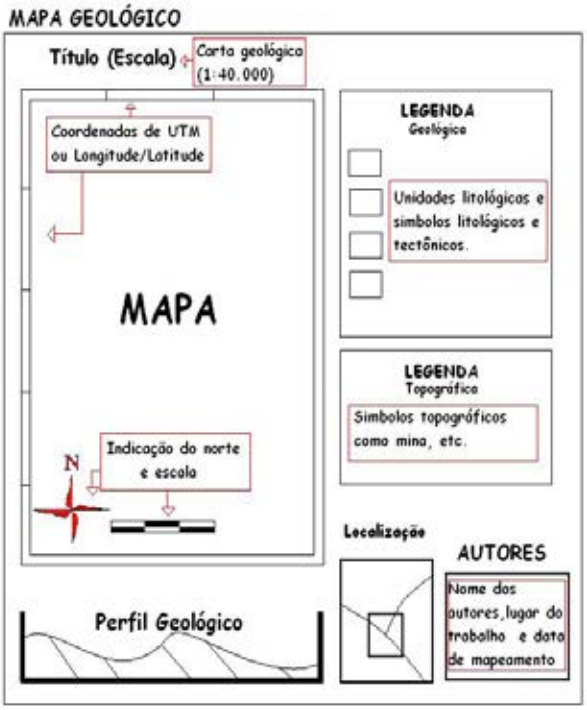


Figura III.15 – Organização das informações em um Mapa Geológico genérico.



Figura III.16 - Organização das informações em um Mapa Geológico de empresas de mineração.

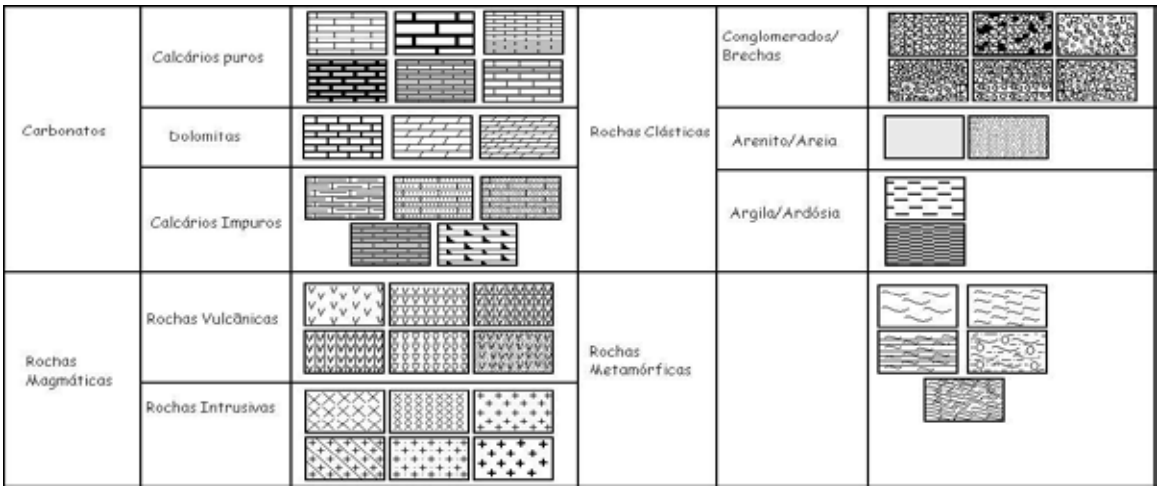
As convenções litológicas seguem certa padronização para aquelas rochas considerada mais comum (xistos, gnaisses, arenitos, mármores, quartzitos etc). Entretanto, devido a extrema variedade de tipos de rochas, é impossível ter um padrão que contemple todas as variedades. As figuras III.8 e III.9 apresenta as principais legendas gráficas e de cores para alguns tipos de rochas mais comuns.

Quando o Mapa trata de um Depósito Mineral, onde o foco principal do mapeamento é o registro cartográfico da hospedeira do mineral-minério, esta deve assumir uma cor de destaque. Geralmente utiliza-se a cor vermelha para destacar o minério e o mesmo pode ser representado com **exagero de escala**. Ou seja, numa situação em que a camada de minério tem dimensões tais que não tem representatividade na escala de mapeamento, mas, devido a sua importância, a mesma deve ser representada no mapa com uma escala que não corresponde àquela real.

Note que o objetivo do trabalho é justamente conhecer como se comporta o Minério numa determinada área. Se for escolhida uma escala compatível com a representatividade da hospedeira que, pela Norma Técnica a mínima representação gráfica é 0,0002 m pode ser necessário se fazer vários mapas para representar toda a área e, assim, "obrigar" a dar importância a situações geológicas que não interessam aos objetivos do trabalho, pois a escala tornaria representável tais situações, além de encarecer desnecessariamente o trabalho de mapeamento. Assim, o "exagero de escala" se impõe como "um mal necessário", uma vez que é um erro induzido para viabilizar objetivos e praticidade.

Da mesma forma que ocorre com a Legenda Topográfica, os softwares SIG/GIS apresentam uma grande variedade de opções de legenda gráfica e de cores para as litologias, bem como de símbolos estruturais.

TABELA III.8: LEGENDA GRÁFICA PARA LITOLOGIAS COMUNS



(compiladas de www.geovirtual.cl)

TABELA III.9 – CONVENÇÕES DE COR PARA AS PRINCIPAIS ROCHAS

Cor	Rochas	Observação sobre cores
	Rochas Ácidas	Cores claras. Tonalidades de Vermelho, Rosa, Laranja etc
	Intermediárias, Básicas e Ultrabásicas	Cores Escuras. Tonalidades do roxo, violeta, preto etc
	Calcários e Mármores	Tonalidades do azul
	Aluvião, Areia, Arenito, Quartzito	Tonalidades do amarelo
	Xistos	Tonalidades de verdes claro
	Gnaisses	Tonalidades de marrons, oliva (mel)
	Pegmatitos	Verde escuro

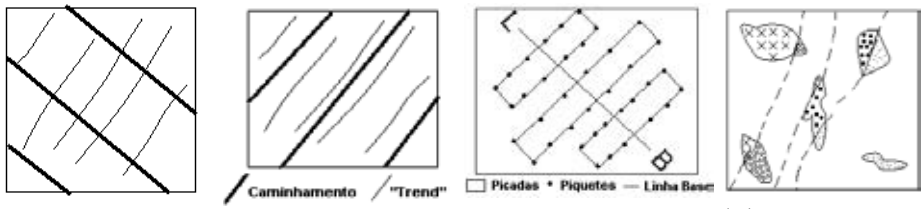
III.3.3 – Levantamento Geológico

Após as fases de planejamento e levantamento dos antecedentes da região (pesquisa bibliográfica), a fase seguinte é a de campo, ou seja, a execução do mapeamento.

Quatro estilos de Mapeamento Geológico podem ser considerados: (i) Caminhamentos perpendicular ao "trend"; (ii) Caminhamentos paralelo ao "trend"; (iii) Mapeamento segundo LB e Picadas e; (iv) Mapeamento de Exposições (Afloramentos)(figura III.17).

O Caminhamento perpendicular ao "trend" é utilizado em todas as escalas, desde regionais até de detalhes e tem como objetivo principal identificar as litologias, estabelecer a estratigrafia e estruturas principais da área. Já o estilo de caminhamentos paralelo ao "trend" deve ser utilizado em levantamentos de semi-detalhe e detalhe e se destina a averiguações de continuidade de litologias, falhas de baixo ângulo, comportamento de "plunge" ou "pitch" entre outros objetivos.

O estilo de Mapeamento segundo Linha-Base (LB) e Picadas é utilizado em escalas de detalhe a partir de levantamentos topográficos de detalhes de uma área. Assim, as picadas e LB abertas para a realização da topografia são utilizadas para a realização dos caminhamentos. As rochas e/ou seus afloramentos são locados a partir dos piquetes previamente instalados pela equipe de topografia. O Mapeamento de Exposições (ou seja, de afloramentos) é aplicado em escalas de detalhe quando existe a necessidade de registrar em mapa o quê é afloramento e o que é interpretação geológica, uma vez que na maioria dos mapas, mapeados por outro estilo, não se faz essa distinção.



(A) (B) (C) (D)

Figura III.17 – Estilos de Mapeamento Geológico: (A) Caminhamento perpendicular ao "trend"; (B) Caminhamento paralelo ao "trend"; (C) Mapeamento segundo Linha-Base (LB) e Picadas; (D) Mapeamento de Exposições (Afloramentos). Figuras do autor.

Em qualquer um dos Estilos de Mapeamento o Caminhamento é composto por **Estações** de coleta de informações. Essas Estações são os locais onde se faz uma parada para descrever o afloramento (mineralogia, textura, estrutura, parâmetros de bússola etc), coletar amostras e tomar suas coordenadas de localização.

A localização de uma Estação (ou de um afloramento) modernamente é feita através de GPS de bolso. Nos casos onde se necessita de maior precisão a localização é feita por GPS de precisão ou ainda amarrando aos piquetes previamente instalados pela topografia.

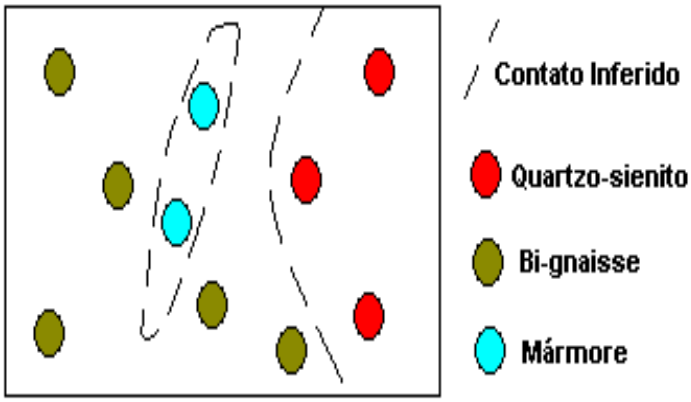


Figura III.18 – Levantamento Geológico. Cada círculo colorido é uma Estação plotada com a Legenda da rocha descrita. Figuras do autor.

Importante lembrar que a plotagem em mapa deve ser feita durante o caminhamento. Nunca deixar para depois.

Outras formas de localização e plotagem de Estações (afloramentos), pouco usuais atualmente, são:

(a) Método das semelhanças entre feições cartografadas no Mapa-Base e de Campo. Por exemplo, reconhecer no campo e em mapa base a bifurcação de estradas ou confluência de rios, etc. Assim, tem-se a Estação próxima a este ponto estará localizada em Carta; (b) Aferição de passo: A partir de um ponto conhecido contam-se os passos (sabendo quanto mede cada passo) e se localiza o ponto desejado; (c) triangulação: são reconhecidos dois (ou mais) pontos em campo e mapa base. Lê-se, com a bússola, o contra-azimute de cada um desses pontos e com o auxílio de um transferidor traçam, no Mapa, as retas e onde estas se cruzarem é a localização da estação.

Os parâmetros de rocha são ferramentas da maior importância na elaboração de um mapa. Além de informar a atitude das litologias, essas informações auxiliam no traçado dos contatos geológicos, uma vez que em regiões de forte strain os contatos, geralmente, são paralelos ao "trend" principal, indicam a direção de corpos mineralizados e subsidiam o planejamento de futuras etapas de Pesquisa Mineral, etc. Grosso modo as estruturas passíveis de medição de parâmetros podem ser agrupadas como Estruturas Planares e Estruturas Lineares. As planares são aquelas que se comportam como Planos e possuem Direção, Intensidade de Mergulho e Sentido de Mergulho (escritos nessa ordem), enquanto as lineares se comportam como Linhas (Retas) e possuem Intensidade e Sentido de Mergulho, ou, de outra forma, Caimento e Sentido de Caimento (escritos nessa ordem).

A Figura III.19 é a foto de uma bússola BRUNTON (a disponível para atividades práticas do IFRN) realizando medições de parâmetros de um plano. Para medições de linhas realizam-se os procedimentos (B) e (C) daquela figura.



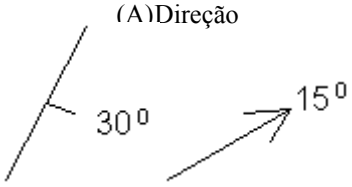
(A) Direção



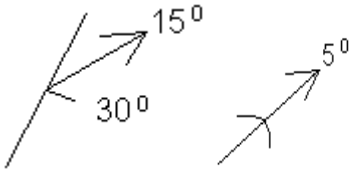
(B) Intensidade de Mergulho



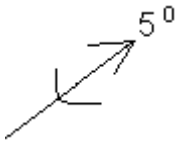
(C) Sentido de Mergulho



(D)



(E)



(F)

Figura III.19 – Medição de parâmetro de um plano com bússola do tipo BRUNTON e sua representação gráfica em Mapa. (A) Direção; (B) Intensidade de Mergulho; (C) Sentido de Mergulho; (D) Representação gráfica de um Plano de atitude 20º Az/30º SE e de uma Linha 15º /45º Az; (E) Representação gráfica do Plano e da Linha descrito em "D" e de um eixo de mini-Dobra Antiforme 5º / N 30º E; (F) Eixo de mini-Dobra Sinforme 5º / 30º Az. OBS: Foram informados parâmetros em Azimute e Rumo. Figuras do autor.

Como os afloramentos foram plotados em Carta, ainda na fase dos caminhamentos, uma primeira idéia do Mapa Geológico é obtida no campo. Isso permite correções e checagens durante essa etapa. Com a plotagem e a legenda da rocha correspondente, passa-se a fase seguinte de interpretação, ou seja, o traçado dos contatos e a confecção do Mapa Geológico.

As figuras III. 20 e III.21 ilustram algumas das formas mais usuais de apresentação de Mapas Geológicos. Essas figuras devem ser observadas principalmente pelo mérito organizacional e não pelo conteúdo geológico, uma vez que todos são mapas preliminares de Depósitos Minerais ainda em estudo, respectivamente de esmeralda e scheelita.

Nesses mapas é interessante notar que o minério (calciossilicática no caso da scheelita e biotitito no caso das esmeraldas) foi destacado com a cor vermelha.

Na figura III.20 o Biotitito e toda a seqüência da mineralização não têm representatividade na escala do mapa. Estão, portanto, representados devido ao artifício de exagero de escala. Idêntica situação das calciossilicáticas da figura III.21. Foi, então, realizada outra etapa de mapeamento geológico, restrito a Cava, numa escala apropriada, de modo que o Biotitito e as demais unidades litológicas pudessem ser representados em Planta.

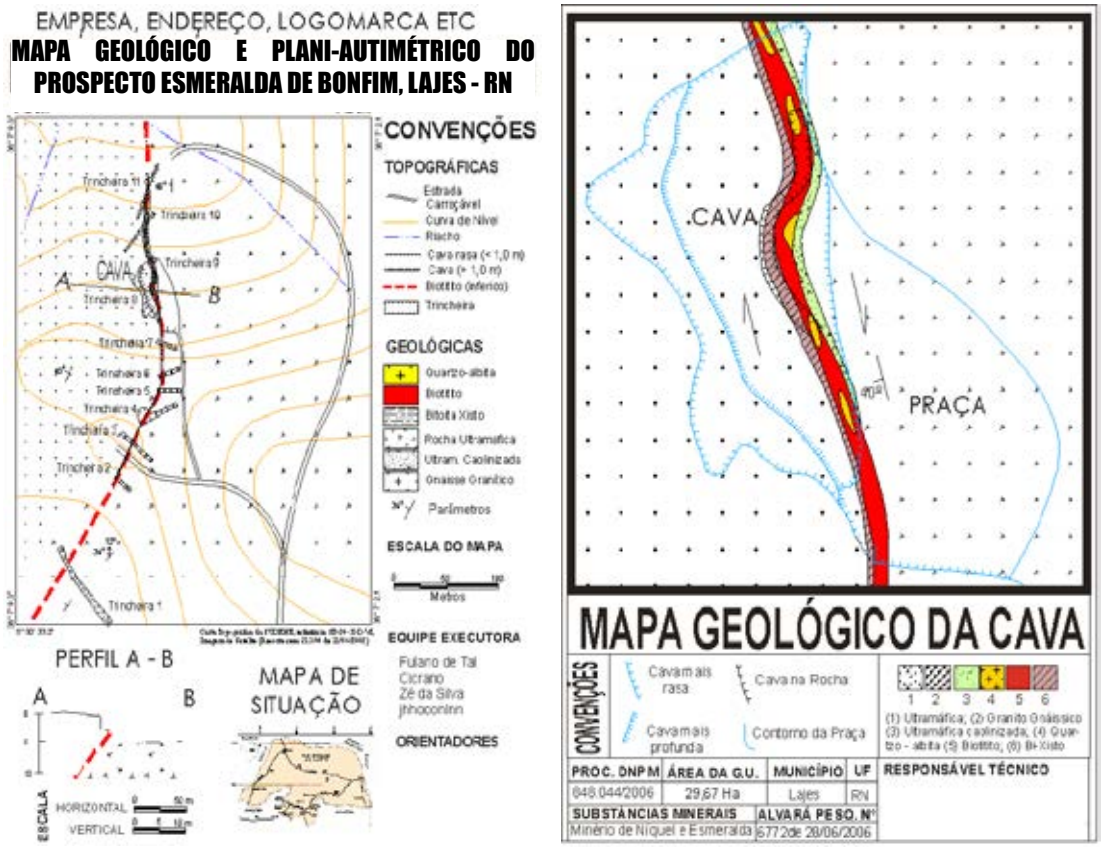


Figura III.20 – Mapas Geológicos plani-altimétricos de um prospecto de esmeralda. A direita a área toda e a esquerda detalhe da cava. Figuras do autor.

Na mina Cafuca, está sendo elaborado um mapa integrado de superfície e subsolo e, por este motivo, as calciossilicáticas foram separadas por cores, sendo a vermelha aquela calciossilicática mapeada em subsolo e verde aquela mapeada em superfície. Outra novidade neste mapa é o destaque, também na cor vermelha, dos dobramentos, uma vez que este é um importante controle da mineralização scheelitífera (controle estrutural – região de charneira de dobras).

Observar também no Mapa de Cafuca e adjacências as relações entre a altimetria (bastante acidentada naquela área) e o traçado dos contatos geológicos. Salta aos olhos a atitude sub-horizontalizada dos arenitos, mergulhos suaves das calciossilicáticas nas proximidades de Saco dos Bois e Cafuca (região de charneira de meso dobras – a Leste do Mapa) e o mergulho forte das calciossilicáticas na região do Galo (W do Mapa).

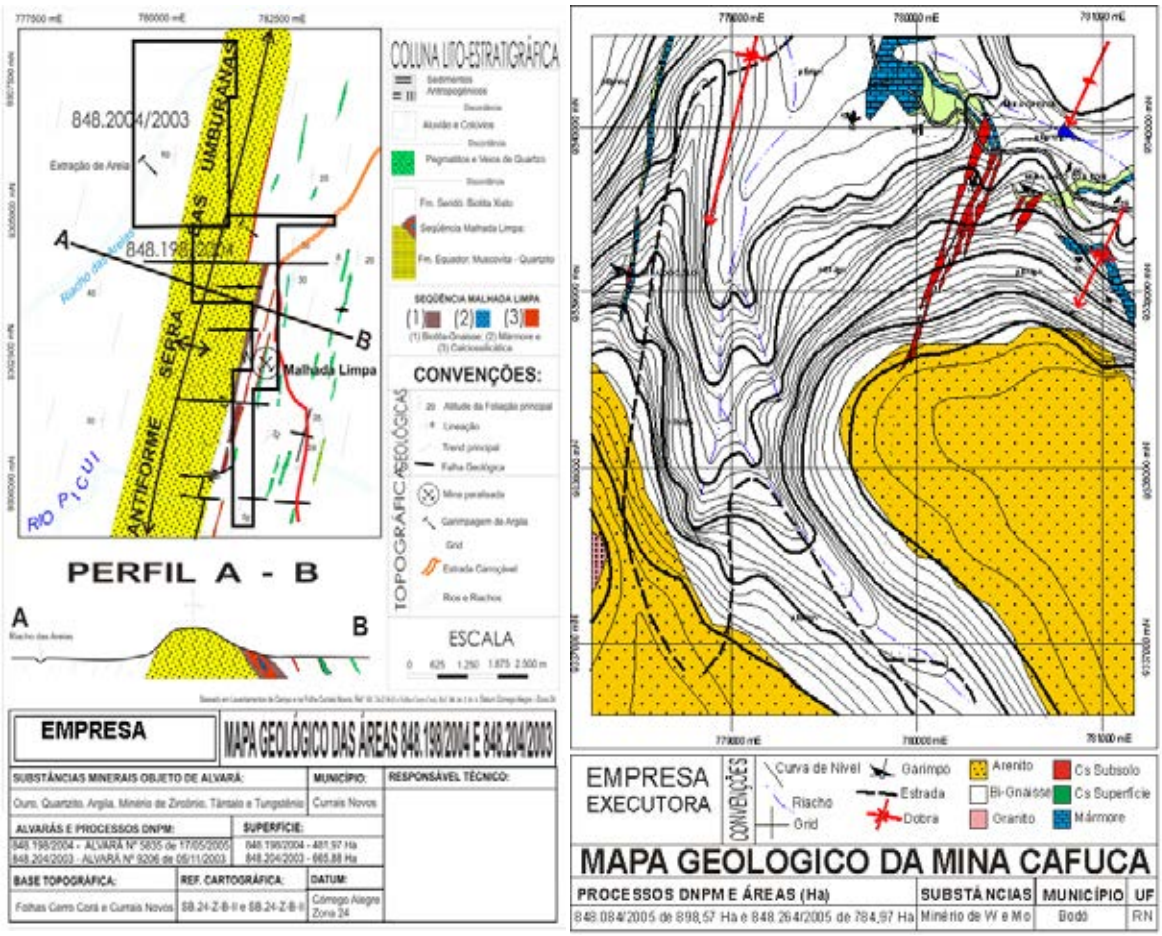


Figura III.21 - Mapas Geológicos da Mina Malhada Limpa e Adjacências e da Mina Cafuca e Adjacências. Figuras do autor.

Uma outra organização de mapa é demonstrada abaixo na Figura III.22 – Mapa Metalogenético Previsional dos Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte.

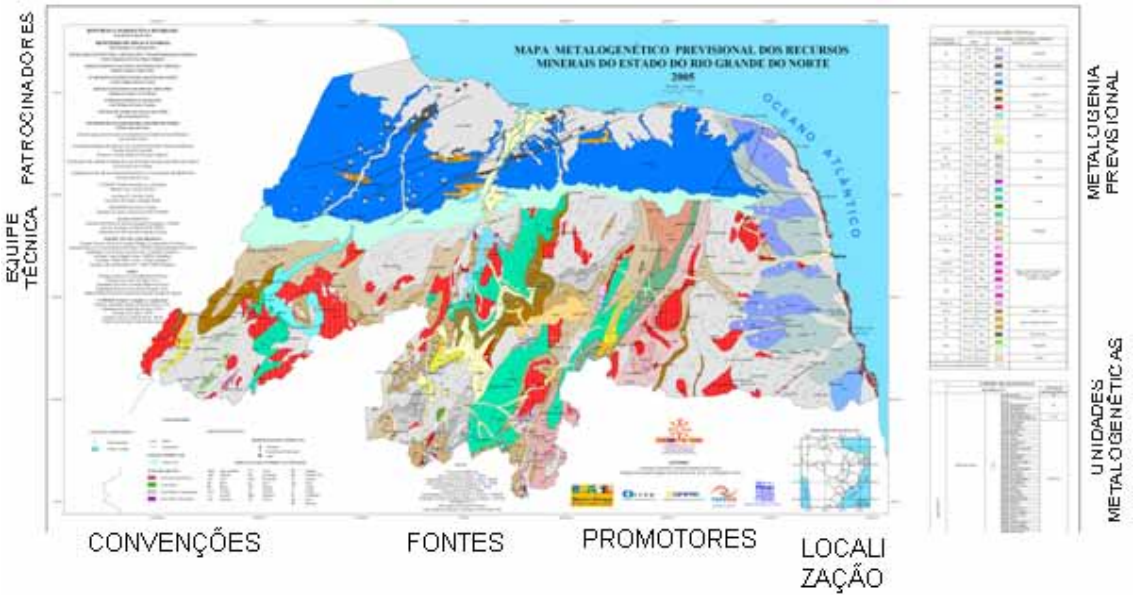


Figura III.22 – Mapa Metalogenético Previsional dos Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte. Disponível para doação na Coordenadoria de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado do RN.

Os mapas geológicos plani-altimétricos de detalhe permitem cálculos importantes como a direção, intensidade de mergulho e sentido de mergulho, conforme demonstrado na figura III.23 e comentários a seguir.

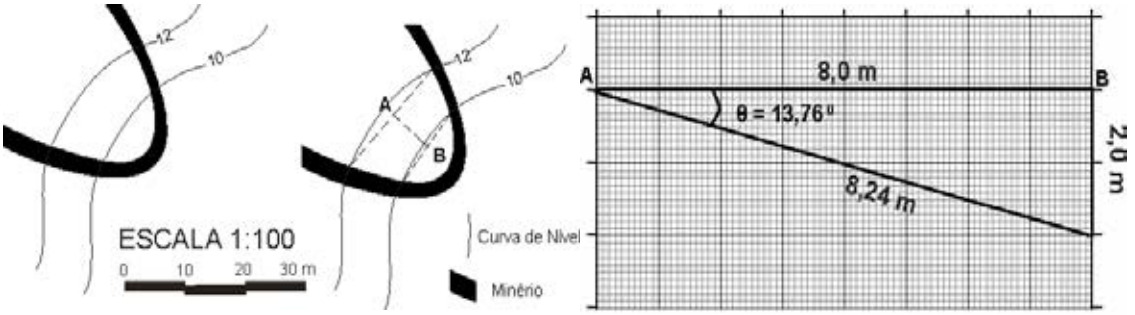


Figura III.23: Fragmento de um Mapa Geológico plani-altimético em que se representa uma camada de minério e duas curvas de nível na escala 1:100. Figura do autor.

A partir do mapa pretende-se conhecer a atitude do corpo de minério, ou seja, sua direção, sentido de mergulho e intensidade de mergulho. Para tanto se toma a interseção da capa ou lapa da camada (base ou topo) com duas curvas de nível consecutivas.

No caso da Figura III.23 tomou-se a intersecção da base do minério com as curvas de nível de cota 10 e 12. Traçam-se duas linhas unindo as intersecções da camada com cada

curva de nível. Esses traços são a Direção do Corpo de Minério. Em seguida traça-se uma perpendicular às duas linhas que unem as interseções (A - B na figura III.23). Observando-se a "Regra dos Vs" a linha A – B é o sentido de mergulho. Essa linha A-B é a distância horizontal e a diferença de cota das curvas de nível (12 – 10 = 2,0 m) é a distância vertical. Forma-se então um triângulo cujo cateto oposto e cateto adjacente são, respectivamente, 2,0 m e 8,0 m. Pelo Teorema de Pitágoras podemos calcular a Hipotenusa, cujo valor é de 8,24 m. Para sabermos a intensidade de mergulho utilizamos uma das funções trigonométricas abaixo ou com transferidor a partir da plotagem, em escala, dos valores dos catetos e hipotenusa (Figura III.21).

$$\sin A = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{hipotenusa}} \qquad \cos A = \frac{\text{cateto adjacente}}{\text{hipotenusa}}$$

$$\tan A = \frac{\sin A}{\cos A} = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \qquad \sec A = \frac{1}{\cos A} = \frac{\text{hipotenusa}}{\text{cateto adjacente}}$$

Utilizando o seno, chegamos a Seno A = 2,0 / 8,24 = 0,242536 resultando em seno A = 0,240165. Transformando radianos em graus temos que a intensidade de mergulho é de 13,76043º.

Espessura Aparente e Espessura Real. A espessura real é aquela medida perpendicularmente as faces do minério (**E** na figura III.24), ou seja, a distância perpendicular entre a base e o topo da camada. A espessura aparente (**e** na figura III.24) é qualquer outra que não seja medida perpendicular a base e o topo da camada. Matematicamente é dada pela relação:

E= **e** x coseno do ângulo de intensidade de mergulho

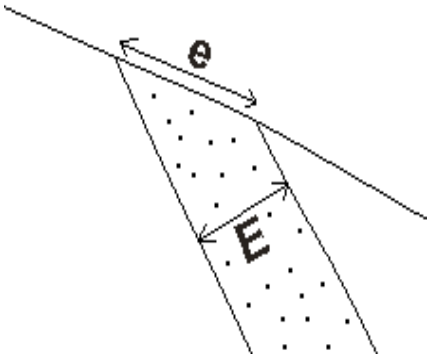
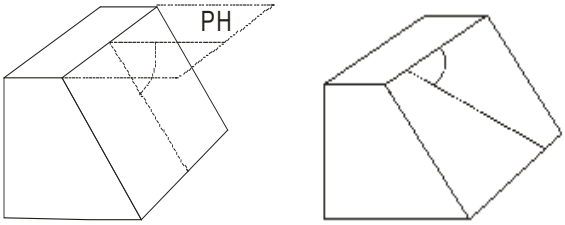


Figura III.24 – Mergulho Real (E) e Aparente (e)

Para transformar radianos em graus, minutos e segundos, entre outras transformações utilizar o site http://www.webcalc.com.br/frame.asp?pag=http://www.webcalc.com.br/conversoes/angulo.html.

Figura III.25 - **Mergulho Aparente e Mergulho Real:** O mergulho real é aquele tomado perpendicularmente à direção da camada e em relação ao plano horizontal. Qualquer outro que não seja tomado desta forma é chamado de Mergulho Aparente, **rake, pitch ou obliqüidade**.



No site http://www.pesquisamineralIFRN.hpg.ig.com.br/GPSEBUSSOLA.html podem ser acessadas mais informações sobre bússola, Manual de GPS ETREX, Mapas, Manual do ArcGis, MapInfo entre outras informações úteis e complementares. Ver também o site do Serviço Geológico dos Estados Unidos http://www2.nature.nps.gov/geology/usgsnps/gmap/gmap1.html - seção referente a mapas.

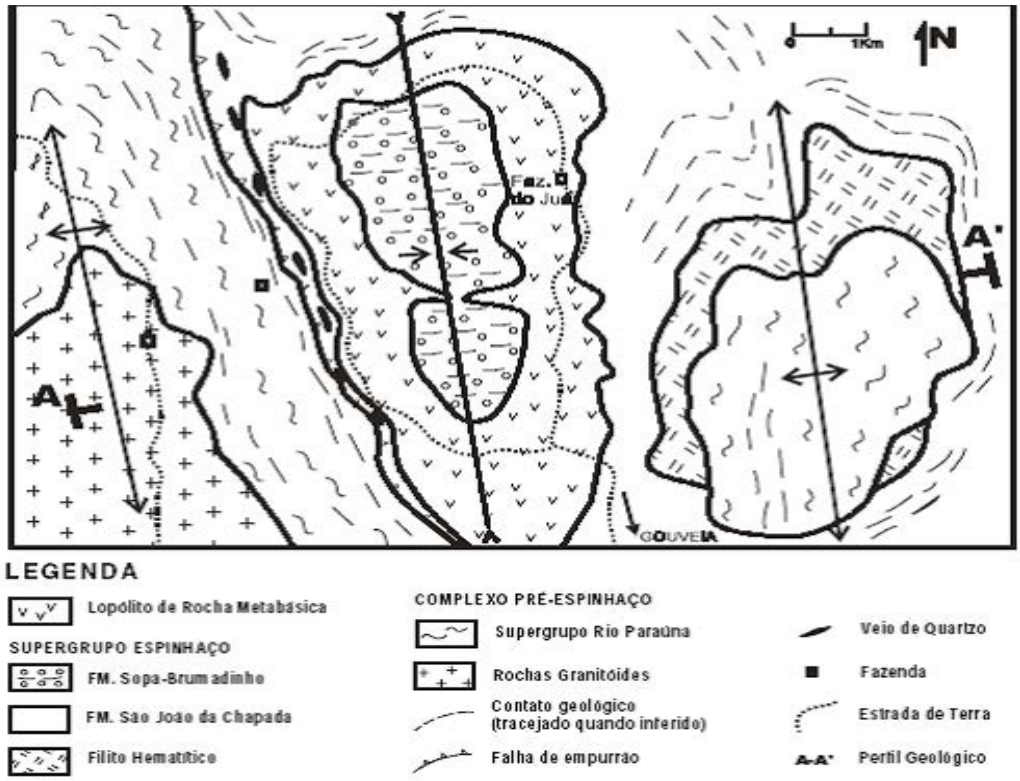
III.3.4 - Perfil Geológico ou Seções Geológicas

Os mapas Geológicos mostram os tipos e padrões das rochas na superfície da Terra. As Seções Geológicas ou Perfís Geológicos mostram os tipos e padrões das rochas num plano vertical (pode ser um plano vertical imaginário, a parede de uma trincheira, o lado de uma estrada, etc.

Segundo o glossário da UnB (http://www.unb.br/ig/glossario) Perfil Geológico é a representação gráfica de um corte vertical da geologia segundo segmento(s) de reta ou trajetos definidos no terreno e/ou marcados em mapa e resultante da projeção e interpretação de dados superficiais de campo com eventual integração com dados de sondagens, poços, galerias, geofísica e outros.

Um perfil ou seção geológica deve conter os seguintes elementos:

- Título do Perfil;
- Legenda situando o tipo e a localização do perfil;
- perfil topográfico ao longo da seção com indicação dos principais elementos topográficos cruzados pelo perfil (estradas, rios, etc;
- indicação de escalas gráficas (preferível) ou numéricas, vertical e horizontal, e do exagero vertical:
- indicação da direção ou rumo do perfil acima dos pontos extremos (N-S; NE-SW; NNW-SSE;);
- valores altimétricos se disponíveis;
- símbolos que representam a geologia;
- responsabilidade / autoria do perfil com a data;
- Aos elementos acima podem ser acrescentados outros na dependência da especialização do perfil (estratigrafia, paleontologia, geofísica, geoquímica.).



PERFIL A - A'



Figura III.26 - Exemplo de um Perfil Geológico A – A´ da área de Morro do Jua (Gouveia, MG), compilado de Chaves et. all. 2003.

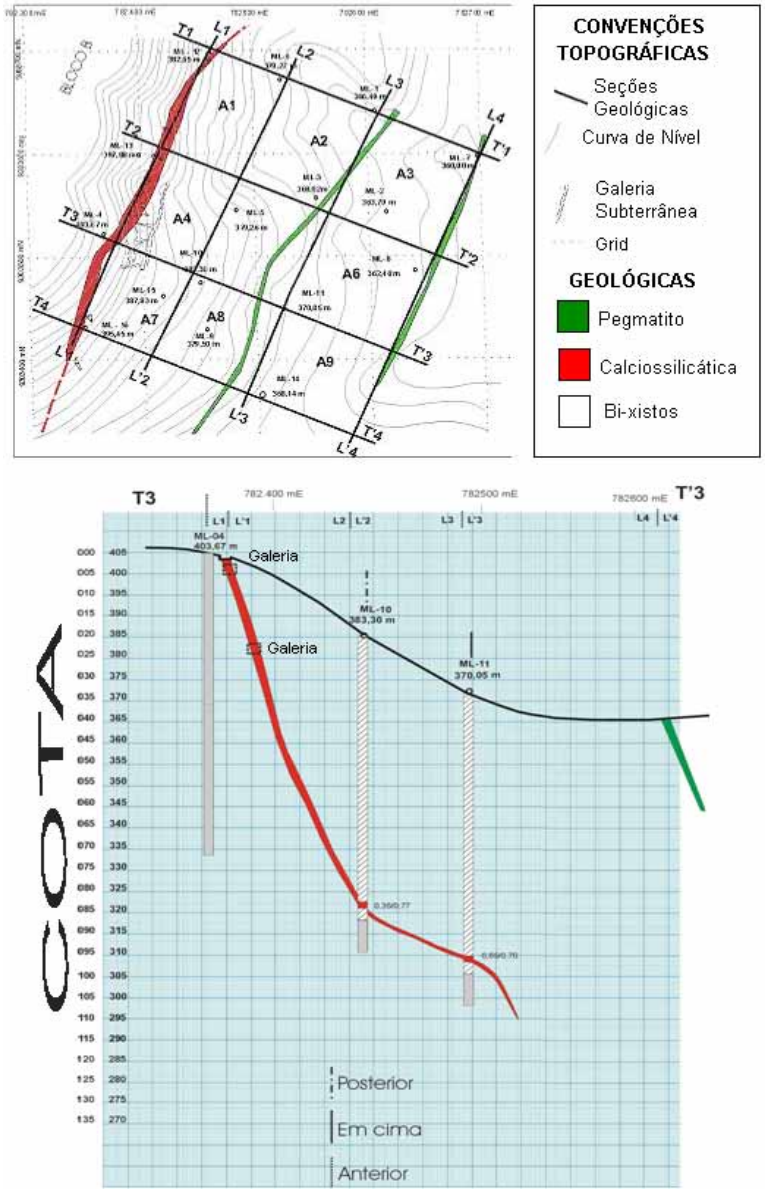


Figura III.27 - Um dos Perfis Geológicos sistemáticos da mina Malhada Limpa, construído com base no levantamento geológico de campo, sondagem e informações de galerias subterrâneas. Figuras do autor.

Num trabalho sistemático de Pesquisa Mineral, numa fase adiantada dos trabalhos, uma das técnicas utilizadas é a sondagem segundo uma malha. Essa malha, na verdade, são seções geológicas transversais e longitudinais a estrutura principal (às vezes também diagonal) que se cruzam, como uma grade de refrigerantes (se você preferir, de cerveja). São vários perfis geológicos que auxiliam na Geometrização do Depósito Mineral (se for o caso **Geometrização da Jazida**) ou seja, na determinação de suas formas geométricas em

três dimensões e na determinação da quantidade de mineral minério existente (ver mais no Capítulo VI).

A Figura III.27 é um exemplo de parte de um trabalho detalhado de Pesquisa Mineral, onde a parte sul da Mina Malhada Limpa (na figura indicado como Bloco B) está cortada por uma malha de sondagem com diversos perfis transversais (denominados T 1 – T´1, T 2 – T´2 ...., e assim por diante) e perfís longitudinais (denominados L 1 –L´1, L 2 – L´2....., e assim por diante). Além das informações do Mapa Geológico esses perfis contam com dados de furos de sonda e galerias subterrâneas. Na figura III.27 é apresentado somente um perfil (T 3 – T´3), dos oito constantes no mapa.

Para se fazer um Perfil Geológico (ou Seção Geológica) em área que não tenha uma malha já estabelecida se inicia pela escolha, no Mapa Geológico, do local onde será feito o corte. Este local é, geralmente, perpendicular a estrutura principal e deve abordar a maioria das litologias, ou o Depósito Mineral enfocado no trabalho. Na figura III.28 é o segmento de reta A-B. Depois se procede a escolha das escalas horizontais e verticais de modo a propiciar o melhor entendimento daquilo que se quer demonstrar. No caso exemplificado aqui escolhemos a mesma escala horizontal do Mapa. Como as curvas de nível são de 50 em 50 m (pouco detalhe) e variam de 100 m até 400 m, escolhemos a escala 1:10.000.

Em seguida se confecciona o Perfil Topográfico utilizando-se uma tira de papel, maior que a linha que traçamos no mapa. Nessa tira, vamos marcando os pontos definidos pelo encontro da linha A – B com as curvas de nível que existem no mapa, e anotando os valores das cotas ao lado dos pontos. Depois, é necessário construir um gráfico cartesiano com esses valores, colocando no eixo horizontal as distâncias horizontais entre os pontos e, no eixo vertical, a altitude observada (curvas de nível). O resultado é vários pontos que, depois de unidos, resultam no perfil topográfico.

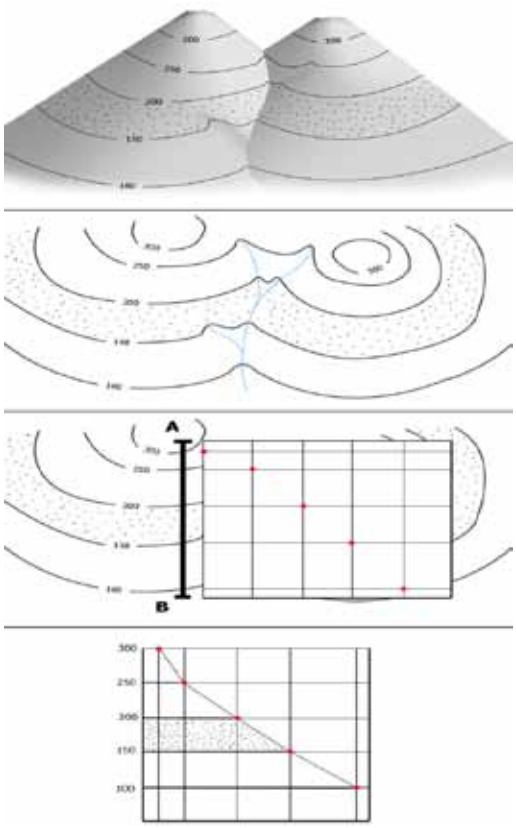


Figura III.28 – Procedimentos (passo a passo) para confeccionar um Perfil Topográfico e Geológico. Autor baseado em www.geovirtual.cl.

Idêntico procedimento é realizado com as litologias e estruturas. Os parâmetros tomados em campo auxiliarão na interpretação do comportamento geológico em profundidade. No caso da figura III.28 esse comportamento foi obtido através da regra dos "Vs".

Os **Perfís esquemáticos** não têm o mesmo rigor daqueles descritos no parágrafo acima. Servem para apresentar uma idéia do comportamento geológico e têm apenas indicação de tamanho (sem uma escala rigorosa), algumas indicações de locais (estrada, rios, acidentes topográficos etc).

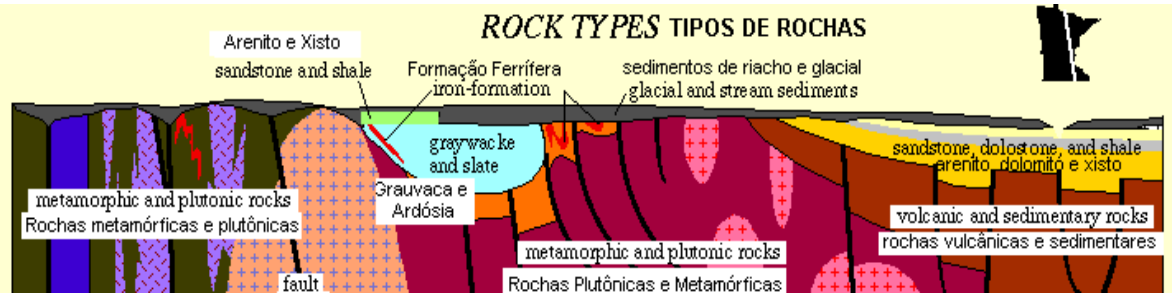


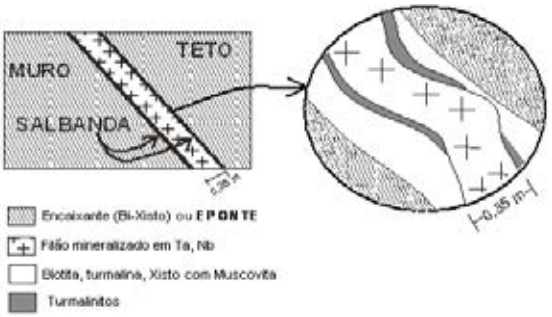
Figura III.29 – Perfil Esquemático, compilado de http://www.geo.umn.edu/mgs/xsections/sect.html

OBS: Passos para confeccionar **perfil no ArcGis 9.2**: (1) - Ligar a barra *3d Analyst* - *Views* - *Toolbars* - *3d Analyst*; (2) - adicionar o *Tin* ou o *Grid* onde você vai trabalhar (seu MDE); (3) - Na barra de botões do *3D Analyst* clique sobre o botão *Interpolate Line*; (4) - Desenhe uma linha sobre o *MDE* no local onde você queira visualizar o perfil topográfico; (5) - Termine a linha com um duplo *click* no *mouse*; (6) - Clique sobre o botão *Create Profile Graph* na barra de botões do *3d Analyst*; (7) - O ArcGis cria o tão desejado perfil topográfico.
Ver no Capítulo VI como confeccionar no MapInfo/Discover.

III.4 – Blocos Diagramas, Desenhos Esquemáticos e Documentação Fotográfica

Um bom desenho, croqui ou diagrama vale por milhões de palavras. Desde relações geológicas gerais, de detalhes, integrando uma idéia geral com o detalhe, é de suma importância a representação esquemática das situações geológicas.

Figura III.30 – É um Depósito Filoneano já ilustrado na Figura II.3 com o detalhe da relação de contato entre o Filão e a Encaixante, marcado por uma zonação mineralógica e formas sinuosas. Notar que neste desenho foi colocada uma escala para servir de ilustração aos propósitos deste item.



O **Bloco Diagrama** é a representação tri-dimensional de uma situação geológica em perspectiva cavaleira, isométrica ou cônica. Em geologia é como apresentássemos o mapa e dois perfis geológicos ortogonais entre si (figura III.31).

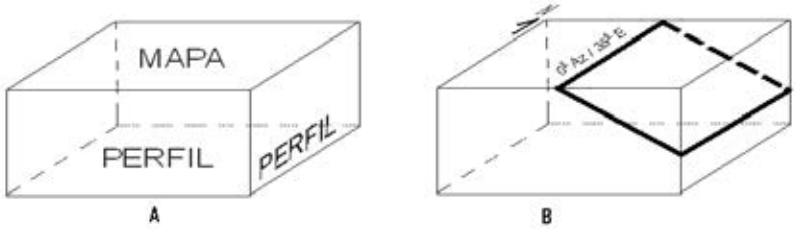


Figura III.31 – Bloco Diagrama. (A) Constituição básica de um Bloco Diagrama. (B) Representação de um plano de atitude 0 º Az/35º E.

As Figuras III.32 (A) representam 3 (três) diferentes tipos de Dobras em Bloco Diagrama (Normal, Reclinada e Recumbente). Outra forma de representação é o desenho tridimensional sem os limites formais dos planos verticais e horizontais impostos pelo Bloco Diagrama. Em III.30 (B) apresenta-se em três dimensões uma seqüência de dobramentos enfatizando o desenvolvimento de clivagem de fratura paralela ao plano axial e fraturas de extensão ortogonais aos eixos dos do-bramentos. Finalmente em III.32 (C) um esquema de falhamentos normais com indicações de estruturação em "Horst" e "Grabens", do movimento que originou os falhamentos e o sentido relativo de movimento dos blocos: os que desceram (Grabens) e os que subiram (Horst).

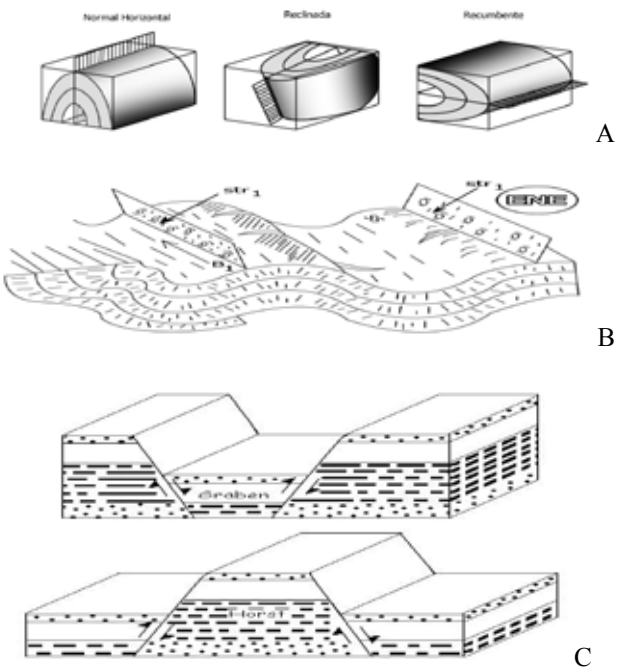


Figura III.30 – Bloco Diagramas (A) e representações tridimensionais (B e C). Ver texto para mais explicações. Compilado de Hobbs et. al. 1976.

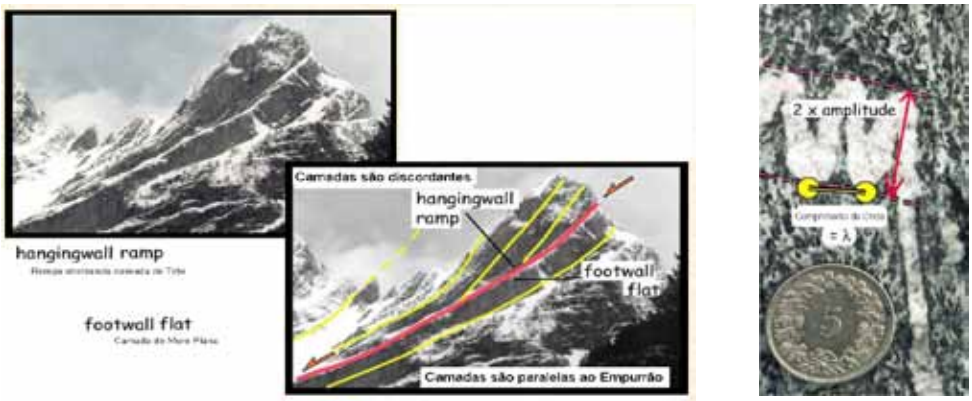


Figura III.33 – Fotografia e Interpretação geológica e Foto de Dobra com indicação de amplitude e comprimento de onda.

Outra forma de registro e interpretação são as Fotografias Interpretadas. Além de constituírem a documentação fotográfica do Depósito Mineral em estudo, as fotos interpretadas auxiliam no entendimento de idéias, formulação de modelos, explanação de metodologias de trabalho, entre outros objetivos.

As fotos sempre devem ser acompanhadas de Escala. Na foto da Figura III.33 a moeda serve de escala para se ter uma idéia do tamanho do que está sendo representado em fotografia.

Croquí é um desenho, rápido, um rascunho ou esboço, que visa representar graficamente uma situação geológica sem muito rigor com escala, precisão etc.

III.5 – Levantamentos Expeditos

Conforme já mencionado os Levantamentos Expeditos são métodos rápidos, econômicos e pouco precisos para coleta de dados para o registro em mapa da topografia (plani-altimetria) e/ou da Geologia de uma área.

Os Levantamentos Expeditos podem ser feitos com GPS de bolso, ou GPS + Bússola + Trena, Passo e bússola; Bússola e trena; somente com Trena, entre outros.

Os **Caminhamentos** são distâncias percorridas para realizar um levantamento e a **Estação** (ou Estações) é a parada para registro de informações ao longo do caminhamento (ver mais em Levantamento Geológico III.3.3).



Figura III.34: Explicações sobre cada parte de uma bússola do tipo BRUNTON. Modificado a http://www.dicionario.pro.br/dicionario/index.php/B%C3%BAssola.

Com o GPS, além das coordenadas, a Cota pode ser obtida diretamente do aparelho. Assim, um Levantamento Expedito Altimétrico ou Plani-altimétrico pode ser realizado somente com o GPS ou com GPS e bússula.

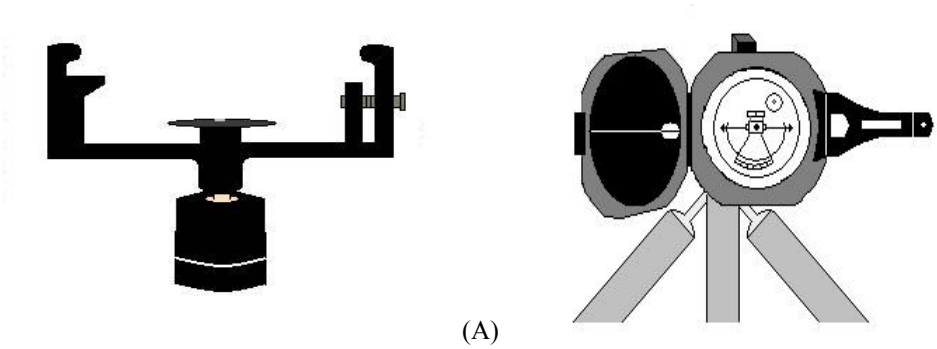
IMPORTANTÍSSIMO LEMBRAR QUE APESAR DO GPS GRAVAR AS INFORMAÇÕES, É IMPRESCINDÍVEL A ANOTAÇÃO EM CADERNETA OU NUMA PLANILHA PREVIAMENTE ELABORADA PARA O LEVANTAMENTO. Lembre-se que, apenas para apertar um BOTÃO, a empresa não precisaria contratar um Técnico de Geologia e/ou de Mineração. Qualquer analfabeto faria isso após um "ADESTRAMENTO". Outra "falha" comum é o tal de "***deixar para depois***" essa é a primeira regra a ser utilizada num levantamento desorganizado e fatalmente mal sucedido.

Mesmo nos Levantamentos Expeditos pode-se fazer uso de malhas de coleta de informações ou de estações de amostragens com espaçamentos adequados à Escala de Levantamento. Essas Malhas podem possuir uma Linha Base (LB) e Picadas, ou Caminhamentos, perpendiculares a LB, instalação de piquetes e estações intermediárias caso exista um detalhe importante entre uma estação e outra.

Em Levantamentos topográficos expeditos que tenham como objetivo a Geologia, geralmente a LB tem direção paralela à Direção ("trend") principal das rochase as Picadas perpendiculares.

Os equipamentos necessários para um Levantamento Expedito são: GPS, Pilhas sobressalentes, Bússola (figura III.34), Suporte de Bússola, equipamentos de segurança individual, tripé, trena grande (mínimo 50 m), mira e piquetes. Podem ser ainda necessários: baliza, Mapa-Base, Fotografias aéreas, Imagem de Satélite ou Radar, hipsômetro, lanterna, trena pequena de bolso, facão, foice, martelo de geólogo, lupa, além de material para registro das informações (lápis, borracha, caderneta de campo ou formulário previamente elaborado). Particularmente, os professores do IFRN, em especial aqueles do Grupo de Pesquisa Mineral,

(http://dgp.cnpq.br/buscaoperacional/detalhegrupo.jsp?grupo=2815107ZC6HDJL), recomendam que todo o registro gráfico deve ser elaborado ainda na fase de campo, junto ao levantamento de dados. Assim sendo, é necessário escalímetro, transferidor, esquadros, papel milimetrado, prancheta, calculadora, se possível um laptop com um programa SIG/GIS instalado, coleção de lápis de cor, kit para identificação preliminar de rochas (lápis de dureza, imã, ácidos etc). Se houver coleta de amostras concomitante ao Levantamento Expedito é essencial levar sacos apropriados para coleta de amostras, etiquetas, pincel, fita crepe, pá, enxada, boca de lobo, papel de medição do pH entre outros para auxiliar a coleta. Interessante elaborar um "*check-list*" de materiais necessários para as diferentes atividades e, como Rotina Operacional, os mesmos serem preenchidos, após a checagem, pelo Técnico de Geologia ou de Mineração sempre que uma equipe se desloque para uma campanha de campo.



(A) (B)

Figura III.35 – (A) Suporte de Bússola tipo Brunton; (B) Tripé com bússola tipo Brunton acoplada. Modificado a partir de http://www.dicionario.pro.br/dicionario/index.php/B%C3%BAssola

Em alguns casos as coordenadas das Estações são previamente definidas pela equipe de coordenação do Projeto, ainda na fase de planejamento. Por exemplo, através do MapInfo e de uma subrotina chamada de ***Coordinate Extractor*** pode ser realizada uma programação prévia das Estações ainda no escritório. As coordenadas são inseridas no GPS (através de cabo ligado ao PC e GPS ou manualmente) e, no campo, o Técnico navega para cada um dos pontos para a coleta de informações (topográfica, geológica etc).

Se o Levantamento Expedito exige informações em escala de detalhe e a área não disponibiliza bons sinais de satélite, apresentando erros elevados, a alternativa para o Levantamento Expedito seria combinar GPS + Bússola + Trena e, se for o caso, uma Mira que pode inclusive ser improvisada (madeira retilínea com graduações). Nesse caso seria muito importante dispor também de um tripé de Bússola para que as medidas angulares sejam as mais precisas dentro das possibilidades. Assim, com o GPS, em local de melhor sinal, se estabeleceria um ponto (Ponto de Amarração) onde a Bússola com o tripé seriam instalados. Por outro lado, se a área dispuser de um ponto de coordenadas e cotas conhecidas,

proceder-se-ia o transporte de coordenadas. As visadas devem ser dadas usando a mira e a haste com mira na ponta da bússola (ver figura III.34) em direção da "mira" improvisada construída com madeira retilínea.

Com uma trena grande esticada na horizontal se mede a distância entre aquele "ponto de amarração" tomado com GPS e a mira improvisada. Observando o alinhamento entre a mira do espelho da bússola, a mira no final da haste da bússola (ver figura III.34) e a mira improvisada, anota-se a direção ou o rumo e a altura indicada na mira improvisada. Importante descontar (subtrair) a altura do tripé da bússola para se ter uma cota da superfície do chão.

Se a área que está sendo levantada permitir, a bússola pode continuar instalada naquele ponto de amarração e se fazer várias visadas da forma descrita acima (por exemplo: em bancadas de uma mina a céu aberto). Se o levantamento for segundo uma Malha (Linha Base e Picadas – ver figura III.36), pode ser realizadas várias visadas ao longo do alinhamento até o limite da visualização da pessoa que está operando a bússola. Nesse momento, transporta-se a bússola com o tripé até esse último ponto (limite do alcance da vista do técnico que está fazendo as leituras com a bússola) e prossegue o Levantamento (após nivelar a bússola) até o novo limite do alcance da visão do operador.

Num levantamento expedito de subsolo o procedimento pode ser o mesmo, entretanto se faz medições perpendiculares à visada para registrar a largura da galeria (se a representação for no plano horizontal - Planta) ou da altura (se a representação for no plano vertical - Perfil). As visadas podem ser pré-determinadas (por exemplo, de 5 em 5 m ou de 10 em 10 m ou etc) ou até o limite do alcance da vista do técnico que opera a bússola. Novamente, com a bússola instalada sobre tripé e devidamente nivelada, se lê a Direção ou o Rumo e se mede a distância entre a bússola e o local da mira improvisada (caminhamento). Lê-se também a altura indicada pela mira improvisada (descontando-se a altura do tripé). Com a trena maior esticada ao longo do caminhamento utiliza-se uma segunda trena para realizar medições das paredes direitas e esquerdas da galeria (se a largura da galeria estiver sendo medida) ou da altura da parede (se a altura da galeria estiver sendo medida), indicando a que distância, na trena maior, foi realizada cada uma dessas medições. Em realces (ou salões) do subsolo pode-se fazer aquele procedimento de instalar a bússola em um local e proceder várias visadas visando registrar o realce em planta, semelhante ao procedimento utilizado em bancadas de mina a céu aberto.

O Levantamento Altimétrico, ou seja, as medições de cota podem ser feitas utilizando-se o clinômetro da bússola, juntamente com as medições horizontais ou inclinadas com posterior cálculo trigonométrico. Assim, com a bússola sobre tripé, coloca-a na vertical para poder nivelar o clinômetro (ver figura III.35 A). Com a mira do espelho da bússola e com a mira da haste da bússola se procede a visada ao ponto que se quer calcular a cota. Mede-se, então, a distância entre o tripé e o ponto desejado. Essa distância pode ser horizontal ou mesmo inclinada. Com o ângulo lido no clinômetro e a distância pode se construir ou se calcular, por trigonometria, a cota do referido ponto.



Figura III.36 – Fotografia de uma Picada com piquetes instalados. Foto do autor.

IV - SELEÇÃO DE ALVOS ("TARGET") E CARACTERIZAÇÃO DE PROSPECTOS

IV.1 – Introdução

Neste Capítulo apresentaremos algumas técnicas e ferramentas para a seleção de "alvos" para estudo, descoberta e desenvolvimento de Depósitos Minerais com vistas à mineração. Grosso modo, são quatro as fases de uma Mineração, a saber: (1ª) Geração, (2ª) Exploração, Descoberta e Avaliação, (3ª) Desenvolvimento (que pode ser dividida em Pré-desenvolvimento e Desenvolvimento) e (4ª) Produção. Outros autores relacionam como estágios de um Projeto de Mineração o planejamento, compilação de dados e pesquisa bibliográfica, reconhecimento, identificação de alvos, testes dos alvos, desenvolvimento dos estudos sobre o Depósito Mineral, Desenvolvimento da Mina e, finalmente, a Mineração (ver Capítulo I, item I.1).

Apesar de redundante, lembramos (ou relembramos) que o enfoque da questão reside naqueles aspectos que dizem respeito ao Técnico de Mineração e ao Técnico de Geologia.

TABELA IV.1 – COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES PROPOSIÇÕES ACERCA DOS ESTÁGIOS DE UM PROJETO DE MINERAÇÃO.

(1ª) Geração:	Planejamento, compilação de dados e pesquisa bibliográfica, reconhecimento, identificação de alvos
(2ª) Exploração, Descoberta e Avaliação:	Testes dos alvos, desenvolvimento dos estudos sobre o Depósito Mineral
(3ª) Desenvolvimento (que pode ser dividida em Pré-desenvolvimento e Desenvolvimento):	Desenvolvimento da Mina
(4ª) Produção:	Mineração

O objetivo é sempre reunir a maior quantidade de informações possíveis visando reduzir os riscos de retorno do investimento e aumentando a certeza de sucesso. Ao fim de cada etapa ou fase do Projeto Mineiro se avalia as informações obtidas e se toma decisões a respeito do prosseguimento do Projeto bem como as revisões das estratégias e planejamentos da etapa seguinte. Essas informações vão sendo acumuladas a medida que o Projeto avança e os riscos vão diminuindo (figura IV.1).

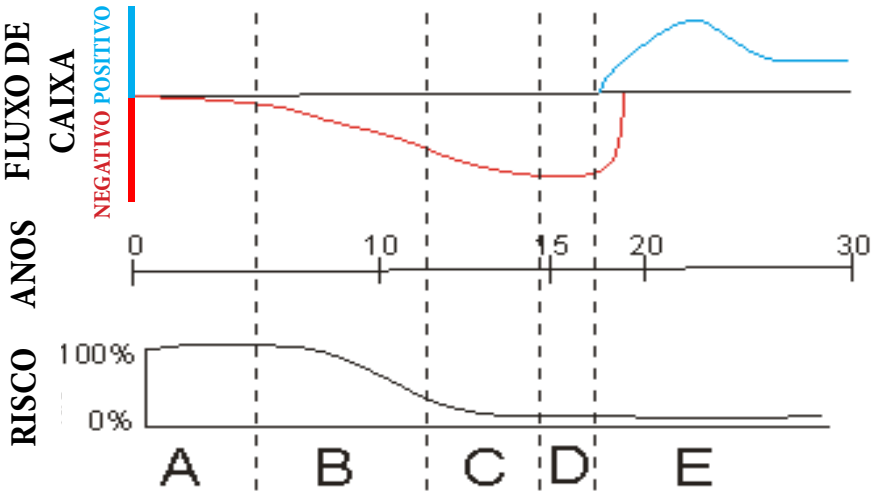


Figura IV.1 - Fases de um Projeto Mineiro e variáveis envolvidas de Tempo, Risco e Fluxo de Caixa. A= Geração, B = Exploração, Descoberta e Avaliação, C = Pré-desenvolvimento, D = Desenvolvimento e E = Produção.

Inicialmente trataremos esse tema na escala regional, envolvendo as fases de Geração do Projeto e Exploração e Descoberta do Depósito Mineral com o objetivo de encontrar "Alvos" (ou "Target") interessantes para serem estudados. São os chamados projetos "*grass root*". Em seguida o estudo desses alvos visando caracterizar um prospecto ou um Depósito Mineral digno de ter os investimentos carreados no sentido de estudá-lo mais detalhadamente, ou seja, visando a Avaliação.

A Geração de um Projeto não será objeto de nossa preocupação maior neste Capítulo, pois não é assunto que diz respeito à maioria dos técnicos de Geologia e Mineração (importante registrar que alguns técnicos seniores e com muita experiência numa determinada *commodity* tem participado dessa fase).

A exploração mineral visa achar o **Alvo** (ou "**Target**") enquanto a Descoberta já caracteriza um "**Prospecto**", se o potencial vislumbrado atender o "Target" da empresa. Contudo, apenas após a fase de Avaliação ter-se-á condições de afirmar se existe uma Jazida Mineral, suas dimensões, reservas etc. A Avaliação inclui Serviços Mineiros (ver Capítulo VIII) que visam acessar diretamente o minério e tais serviços já podem ser aproveitados como Desenvolvimento (ou Pré-desenvolvimento) de Blocos de Reservas, apesar do objetivo do serviço ser a Avaliação.

Nas fases de Desenvolvimento (incluindo pré-desenvolvimento) e Produção o Depósito Mineral já está caracterizado como "Mina" e os Trabalhos de Pesquisa e Prospecção visam agregar novas Reservas, subsidiar o engenheiro de minas no planejamento e execução de desmontes, produção de mineral de minério, entre outros objetivos (ver Capítulo VIII).

São critérios para Seleção de Áreas "Alvos" ("Target") e/ou Prospectos, os aspectos econômicos da *commodity* e da empresa, informações preliminares da região (Bibliografia, Mapas, inclusive Metalogenéticos Previsionais, Histórico), informações de habitantes ou de pessoal que trabalhou na área, Informações sobre Ambiente Geotectônico favorável, Associações Geoquímicas, presença de metallotectes, Semelhanças com Depósitos Tipo (ou Jazida Padrão), Geoquímica e/ou Geofísica Regional, Guias da Prospecção e Controles da Mineralização, entre os mais comuns.

IV.2 – O Aspecto Econômico

A Mineração é um dos ramos da atividade econômica de maior risco (ver figura IV.1). A seleção criteriosa de dados e dos "Alvos" visa reduzir os riscos de investimento e dar subsídios para a tomada de decisão mais acertada possível. Do outro lado da balança está a performance da *commodity* no mercado. Se os preços e a demanda estiverem em alta, e com tendência de valorização, torna mais estimulante a decisão para o investidor. Um "Alvo" ou mesmo um Prospecto desinteressante em determinado cenário de mercado, poderá ser muito atrativo num cenário diferente e mais favorável àquela commodity.

Lembramos da corrida à tantalita entre 1999 e 2001, chegando a ser cotada pela LME (London Metal Exchange) em Janeiro de 2001 a USD 260 a libra peso e caindo aos patamares de USD 25 (e ainda menores para vendas do tipo "*spot*" ou eventuais) em abril daquele ano. No período de alta as Reservas Mundiais cresceram em mais de 100% motivadas pelos financiamentos na Pesquisa Mineral desta *commodity*. As razões para esta queda nos preços são as mais variadas, mas a principal é a diminuição na demanda de tântalo para capacitores (60% do mercado mundial).

A seleção de um "Alvo" envolve diversos fatores e formas de seleção. A decisão e os fatores políticos - empresariais não serão nosso foco, mas a execução de formas e técnicas utilizadas para tal.

Um dos fatores preponderantes para seleção de "Alvos" é a política da empresa (o "*target*" da empresa), uma vez que algumas companhias focam seus alvos em depósitos "*world class*", enquanto outras estão voltadas para Depósitos de pequeno e/ou médio porte. Essa política tem várias variáveis como: objetivo dos acionistas e investidores, capital de risco disponível, posição da empresa e da "*commodity*" no mercado, entre inúmeras outras variáveis.

IV.3 – Informações Existentes

Sob essa denominação agrupamos as informações bibliográficas existentes sobre a área (relatórios, Mapas, informações de habitantes, histórico da área). Todo trabalho de Pesquisa Mineral (e de qualquer outra área do conhecimento) é precedido de um levantamento das informações já existentes, incluindo não só artigos, livros, relatórios, mapas, etc., mas

entrevistas com os autores ou com pessoas que detenham as informações desejadas (ou parte delas). O objetivo é construir um acervo com o máximo de informações da área.

Os garimpeiros são grandes descobridores de ocorrências minerais. Por serem muitos, espalhados por todo o país, estes saem com equipamentos manuais, bateias em busca de locais mineralizados. Além de muita disposição para andarem grandes regiões, trazem consigo uma elevada carga de esperança. Às vezes, por falta de conhecimento e/ou recursos, deixam "coisas" importantes, mas guardam a informação. Uma boa entrevista com um garimpeiro pode ser muito importante para a seleção de Alvos.

Dentre essas informações se incluem mapas (ou outros tipos de informações) que dêem subsídios para a seleção de alvos através de Associações Geotectônica, Metallotectes, Guias da Prospecção e Controles da Mineralização ou ainda que propiciem estabelecer relações com Depósitos Tipos. O Técnico de Geologia e Mineração é o responsável para organizar um completo dossiê com todas as informações disponíveis sobre a área.

A Província Metalogenética da Borborema é uma região razoavelmente bem conhecida, na qual estão caracterizadas as Províncias Scheelitífera e Pegmatítica do Seridó com seus vários Distritos Mineiros. Um grande acervo de informações pode ser encontrado tanto em instituições governamentais (DNPM, CPRM, Coordenadoria de Recursos Minerais dos Estados da PB e RN), bem como na INTERNET e organizações científicas e de classe que publicam artigos técnico-científicos. Entre esses acervos citamos: Mapas Geológicos da Província, Mapa Metalogenético Previsional, Imagens de Radar, de Satélite, Fotografias Aéreas, Aeromagnetometria, Aeroradiometria, Geoquímica (Análise de Rocha e Sedimento de Corrente), Cadastramentos de ocorrências minerais (inclusive com coordenadas, dados de produção e de tamanho da ocorrência etc), artigos técnicos e científicos sobre várias ocorrências, etc.

Nessa Província Metalogenética todos os elementos químicos cujos metalotectes são o "skarn" e o "pegmatito" são possíveis de formarem Depósitos Minerais. Merecem destaques aqueles que formam associação geoquímica com os metais cujo potencial econômico já está identificado, como a scheelita, por exemplo, e seus associados Mo, Bi, Cu, Au, Te e Ag. De posse de mapas geológicos regionais já seria possível selecionar alvos para serem pesquisados preliminarmente, usando os critérios de: metalotecte (skarn) e Controle da Mineralização, restringindo, nos mapas existentes, áreas da Formação Jucurutu (Controle Estratigráfico), locais onde afloram escarnitos (Controle Litológico) e de dobramentos (Controle Estrutural). Os **Controles da Mineralização**, conforme definido no capítulo II.6, são aspectos geológicos relacionados à existência do Depósito Mineral, sem o qual a concentração anômala não existiria. O **Guia da Prospecção** é qualquer aspecto não relacionado com a gênese da mineralização, mas que pode indicar a sua presença. Citam-se como exemplos: vegetação de menor porte e de folhas mais amareladas sobre os "gossans" na região amazônica; pegmatitos em altos topográficos na região do Seridó; etc. Cada região e/ou depósito mineral tem algumas características que podem ser utilizadas para identificar sua ocorrência.

Retornando ao caso da Província Scheelitífera da Borborema é mencionado o crescimento de uma planta chamada macambira em solo rico em cálcio (mármore, calcário, escarnito / calciossilicática, etc). Assim, esse Guia da Prospecção pode ser utilizado para auxiliar na pesquisa de depósitos de scheelita (junto com os demais indicadores). Como existe um bom histórico de atividade de mineração, não é muito difícil encontrar pessoas para dar informações a cerca de locais de ocorrência de minerais de scheelita e algumas pessoas que possam falar de produção anterior, etc. Note que foram mencionados vários critérios para a seleção de "Alvos" de scheelita no Serido dos Estados do RN e PB: grande acervo de dados preliminares; entrevistas, metalotectes, Associações Geoquímicas, Controles da Mineralização e Guia da Prospecção. Esse conjunto de informações visa facilitar e reduzir os riscos da tomada de decisão da empresa.

Alguns exemplos de utilização de ambiente geotectônico na seleção de "Alvos" podem ser citados. A Faixa Andina, para pesquisa de cobre (inclusive pórfiro), por estar situada nas proximidades de uma zona de subducção. O Norte / Noroeste do Ceará já foi foco (ainda hoje é) de pesquisa de cobre uma vez que se interpreta que aquela região situa-se numa zona de colisão ocorrida durante o brasiliano (Proterozóico Superior) e outras associadas a crosta oceânica (Mn por exemplo). Zonas de Cisalhamento (inclusive transformante) para a pesquisa de ouro (região da PB e RN). Uma associação típica do Arqueano, os terrenos Granito – Greenstones, são locais alvos para a pesquisa de ouro em todo o mundo (ouro em Greenstones Belts).

IV.4 – Seleção de Alvos com Imagens de Satélite, Radar e Fotografia Aérea

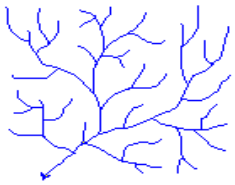
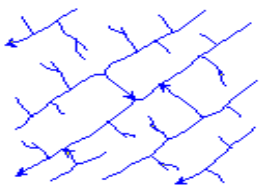
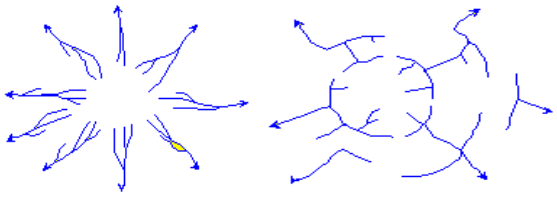
A interpretação de Imagens de Satélite, Radar e de Fotografias aéreas, grosso modo, objetiva a elaboração de mapas topográficos (tanto planimetria como altimetria) e geológicos prévios, para posterior checagem e correções em campo. São utilizados desde a fase de planejamento, passando pela etapa de campo e indo até a elaboração de estudos conclusivos a cerca de Depósitos Minerais. Tem sido utilizada como ferramenta para auxiliar a identificação de Alvos, uma vez que as mesmas possibilitam uma visão geral das litologias, estratigrafia, Estruturas etc., de uma área ou mesmo de uma região.

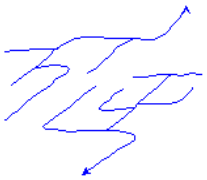
A tarefa de interpretação geológica de Imagens de Satélite, Radar e Fotografias Aéreas geralmente é reservada aos Geólogos, mas temos informações que técnicos também realizam esses trabalhos (em áreas já conhecidas e técnicos seniores em áreas pioneiras). Mais comum, entretanto, é a interpretação planimétrica ser executada por Técnicos, especialmente a confecção de Mapas Temáticos como o de drenagens para planejamento e execução de coleta de amostras de sedimento de corrente e também da presença de atividades contaminantes (ver mais no Capítulo VI – Geoquímica). A observação tridimensional proporcionada pelos pares de fotografias aéreas observadas com estereoscópio possibilita uma visualização prévia das dificuldades de locomoção (quer pela altimetria, pela vegetação etc) e planejamento da etapa de campo. Essas interpretações proporcionam uma melhor visualização de toda a área ou de uma região, ao contrário do que ocorre em campo cuja escala é restrita a afloramentos.

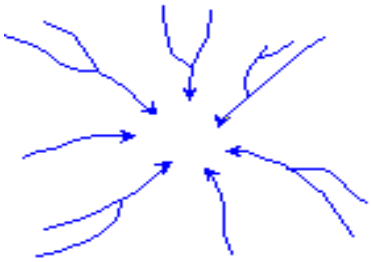
Alguns Alvos podem ser selecionados a partir de interpretações de Imagens de Satélite, Radar e/ou Fotografias Aéreas, pois proporcionam uma visão prévia aos trabalhos de campo do comportamento das Litologias, Geologia Estrutural, estratigrafia, tectônica, etc. Assim, os Alvos são pré-selecionados para posterior checagem em campo. Dependendo dos objetivos do trabalho de Pesquisa Mineral essas interpretações auxiliam no entendimento da área com maior rapidez e menor custo. Proporcionam também a confecção de Mapas Fotogeológicos e de Zonas Homólogas que são muito importantes tanto no planejamento da etapa de campo, como na execução destes. A título de exemplificação podemos listar:

a) Mapa de Fotolineações (objetivando a interpretação estrutural) para identificar Alvos de Depósitos Minerais cujo controle é o Estrutural, como, por exemplo: Zona de Charneira de Dobramentos no caso da scheelita do Seridó (RN e PB), Zonas de Cisalhamento visando Alvos para Ouro (Au de São Francisco, Bonfim, Caicó-São Fernando, todos no RN), Fraturas e Falhas em Rochas Ornamentais e Prospecção Hidrogeológica, etc.

TABELA: SIGNIFICADO GEOLÓGICO DE PADRÕES DE DRENAGENS

Dendrítico	**Treliça / Retangular**	**Radial e Anelar**
		
Rochas de pouca resistência à erosão tipo mica xistos, rochas sedimentares horizontalizadas, sedimentos (inconsolidados) e sem sistema de falhamentos (e fraturas) pronunciados,	Sugere materiais de diferentes resistências a erosão aflorando paralelamente entre si com predominância do mais resistente ou estruturas paralelas, condicionado pelas diáclases e falhas que se cruzam em ângulos retos.	Típico de regiões com domos estruturais ou vulcões. Estágio inicial de erosão de um domo, por exemplo, formaram-se cursos com padrão radial que posteriormente, em função de processos erosivos, descobrem em vários níveis do declive estratos de menor resistência, ao longo dos quais se desenvolvem tributários subseqüentes de forma circular; estes, crescendo em comprimento, atingem cursos de água conseqüentes que correm radialmente em relação à crista da estrutura e capturam a porção superior dos referidos cursos conseqüentes; o resultado será uma série de cursos subseqüentes com traçado anular

Paralelo e Pinado	**Anastomosado**	**Angular**
		
Cursos de água que correm mais ou menos paralelos entre si em uma extensão relativamente grande. Sugere a existência de declives unidirecionais extensos e suficientemente pronunciados ou cristas lineares homoclinais alongadas, constituídas por estratos resistentes uniformemente inclinados.	Representa mais uma modificação do padrão dendrítico, com presença de meandros, pântanos, canais entrelaçados, característico de áreas de planícies aluviais e deltas.	Representa uma modificação do padrão retangular e sugere a presença de sistemas de falhas e diáclases com ângulos não retos.

Retangular-Dendrítico	**Centrípeto**
	
Sugere áreas com rochas homogêneas cortadas por sistemas de fraturas intercruzadas com malhas relativamente grandes. O padrão dendrítico é implantado nos corpos de rochas isolados pelas fraturas enquanto o padrão retangular instala-se nos planos de menor resistência	Representa uma variação do padrão radial e é característico de áreas com declives internos de crateras e caldeiras e onde cristas topográficas bordejam, circularmente, depressões, como no caso de domos brechados e bacias estruturais

(Modificado de Ricci & Petri, 1965)

b) Mapa de Zonas Homólogas (mapa de zonas de mesmo padrão fotogeológico – possivelmente diferentes litologias) visando identificar hospedeiras de mineralizações.

c) Mapas de Drenagens: o padrão de drenagens sugere alguns tipos de litologias e estruturas propícias à mineralização. É utilizado também para planejamento e execução de amostragens de Sedimento de Corrente.

d) Mapas Hipsométricos: Em fotografias aéreas, principalmente, e através de equipamentos (por ex: barra de paralaxe) pode se confeccionar mapas altimétricos ou Mapas Hipsométricos. São mapas temáticos que possibilitam o entendimento das formas de relevo e, assim, selecionar alvos como, por exemplo, pegmatitos na região do Seridó oriental (RN e PB) em que um dos Guias da Prospecção são os altos topográficos.

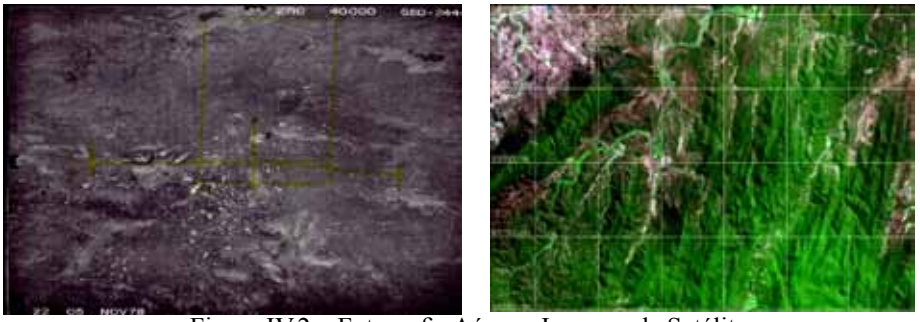


Figura IV.2 – Fotografia Aérea e Imagem de Satélite

Outras várias aplicações visando à seleção de Alvos são possíveis a partir de Imagens de Satélite, Radar e Fotografias Aéreas, das quais citamos acima, resumidamente, aquelas que consideramos as mais importantes para os objetivos deste capítulo.

IV.5 – Seleção de Alvos com a Geofísica

A seleção de "Alvos" para a Prospecção Mineral através da Geofísica na maioria das vezes envolve métodos aéreos e, secundariamente, os terrestres, uma vez que geralmente, nos métodos terrestres, o Alvo já foi determinado por outro método e pretende-se localizar o Depósito Mineral, determinar possível "ore shoot", dimensões etc. O assunto Geofísica não será detalhado nesta edição deste livro.

A geofísica terrestre regional é muito dispendiosa de recursos financeiros e de tempo. Por isso evita-se o seu uso específico para localização de Alvos e cobertura de grandes regiões. Assim, a Geofísica Terrestre tem sido utilizada após a identificação de um Alvo ou que se tenha uma probabilidade de que uma determinada região seja um Alvo.

Aviões com o equipamento geofísico acoplado sobrevoam regiões e registram as anomalias existentes. As anomalias detectadas são checadas com outras informações disponíveis e verificadas "in loco" através de mapeamento geológico e amostragens geoquímicas.

Os levantamentos **Aerogeofísicos** caracterizam-se pela rapidez com que permitem obter resultados significativos, além de poder se utilizar mais de um método geofísico em uma única passagem da aeronave. A **Aerogeofísica** utiliza equipamentos sofisticados, modificado e acoplado as aeronaves. Os sensores e/ ou transmissores são instalados na aeronave e possuem compensações que eliminam os efeitos do vôo. As sondagens por avião ou helicóptero cobrem grandes áreas e viabilizam locais inacessíveis à geofísica terrestre, ou quando estas áreas devem ser estudadas rapidamente. O relativo baixo custo destas sondagens são atrativos para projetos de Exploração Mineral e Geotécnicos.

A Aerogeofísica surgiu com objetivos militares na década de 40 (magnetometria), sendo utilizado no Brasil apenas em 1953 (radiometria). Somente nos últimos anos a aerogeofísica ganhou um papel de destaque na identificação de "Alvos" no Brasil, especialmente por inspiração nos bons resultados obtidos pela Austrália e Canadá na descoberta de Depósitos Minerais. Com a evolução dos sensores, dos sistemas de navegação, da eletrônica digital e da informática, a aerogeofísica ganhou profundidade, precisão e rapidez, tornando-se uma ferramenta fundamental para reduzir riscos de campanhas de Prospecção e Pesquisa Mineral.

A geofísica detecta as descontinuidades de um campo, isto é, onde uma região difere de outra em alguma propriedade física, podendo então, caracterizar aquilo que é homogêneo na natureza; distinguindo aquilo que apresenta alguma variação no tempo e/ ou espaço. Neste sentido define-se a anomalia geofísica.

O termo anomalia geofísica se refere a uma propriedade física da terra, que em um volume definido difere apreciadamente com respeito a seu valor comum ou normal correspondente a esta área. Em caso favorável uma anomalia geofísica corresponde a um depósito mineral. Uma anomalia de gravidade pode ser causada, por exemplo, por um depósito mineral de cromita ou por uma mudança lateral na litologia de um arenito para um dunito. Se a anomalia geofísica, detectada por um método geofísico, está relacionada com um depósito mineral ou com outro fenômeno geológico ou físico, se comprova aplicando outros métodos de prospecção como outros métodos geofísicos, o método geológico e o método geoquímico.

Os Métodos Geofísicos principais são: Gravimetria (Grav), Magnético (Mag), Elétricos (Resistividade, Potencial Espontâneo, Polarização Induzida, Magnetotelúrico), Eletromagnético (EM), Sísmicos (Reflexão, Refração), Radiométricos (gama) e Ground penetrating radar (GPR) ou Georadar.

A Aerogeofísica utiliza mais comumente os métodos Magnéticos (Mag), Radiométricos (gama) e Gravimétricos (Grav). Mais recentemente outros métodos geofísicos têm sido utilizados na geofísica aérea como o Georadar e o Eletromagnético.

Os **Métodos Radiométricos** medem anomalias radioativas, podendo utilizar para tal aparelho denominado de cintilômetro (cintilometria) para contagem gama total visando detectar a presença dos elementos radioativos K40, U e Th. Por meio de espectômetros de vários canais (espectrometria gama), pode se determinar a radioatividade de cada um desses elementos individualmente.

Com a radiometria podemos selecionar alvos para depósitos minerais radioativos (Urânio, Tório etc) e seus associados geoquímicos em certos ambientes geológicos como a tantalita, columbita, cassiterita, wolframita, terras raras, minerais de minério de pegmatitos e granitos (especialmente os mais félsicos). Tem sido utilizada também para identificação de estruturas e mineralizações fortemente controladas por falhas e zonas de cisalhamento. A figura IV.3 , apresenta as imagens radiométricas de uma porção dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, onde as anomalias estão representadas pela cor vermelha. Essas anomalias coincidem com as principais zonas de cisalhamento (ZC) onde se identifica nitidamente a ZC Patos, ZC Santa Mônica e ZC Picui-João Câmara (no canal de K essa ZC é mais nítida) e os principais batólitos e stock graníticos.

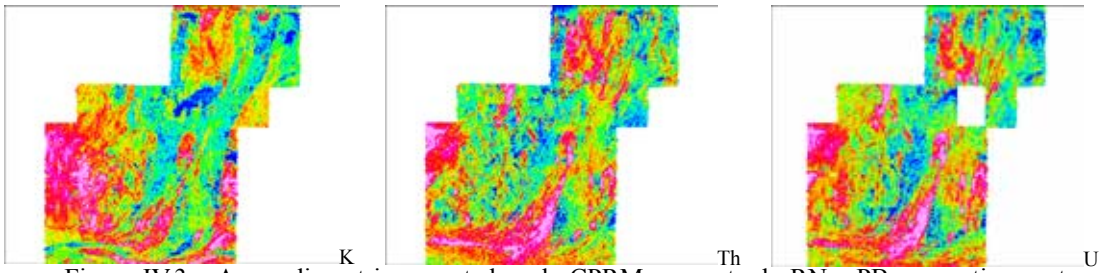


Figura IV.3 – Aeroradiometria executada pela CPRM em parte do RN e PB, respectivamente canal de potássio, tório e urânio na escala 1:250.000.

A **Gravimetria** mede as variações do campo gravitacional terrestre provocada por diferentes densidades das rochas tendo as mais densas, maior influência no campo gravitacional. Dependendo da escala de levantamento aerogeofísico a Gravimetria pode ser aplicada para a Detecção de déficit de massa: carvão, depósito de sal, etc., Estudo de "placers", para dar uma idéia do tamanho de depósitos, da topografia do embasamento e estudos morfológicos e estruturais do substrato – bedrock, estudo de aqüíferos subterrâneos, como auxiliar no Mapeamento geológico regional e no estudo do arcabouço estrutural de bacias sedimentares.

A anomalia Bouger é computada de uma anomalia ao ar livre (free-air) removendo dela, por métodos computacionais, a atração do terreno (a Redução de Bouguer) uma correção do efeito da variação da distância do ponto de observação em relação ao centro da terra, o efeito gravitacional das rochas presentes entre o ponto de observação e o nível de referência. A maioria dos levantamentos gravimétricos é apresentada com as correções de Bouger (Mapa de Anomalia Bouger).

Uma anomalia Gravimétrica indica que as rochas na região anômala têm densidade diferente daquela que é objeto de comparação. A anomalia Bouger é a mais utilizada para corrigir as distorções, em detrimento de outros métodos de correção. São cálculos realizados visando reduzir os efeitos gravitacionais das rochas presentes, variação de distância (ver mais no Capítulo V). Quando o efeito do terreno é removido precisamente se denomina "*Redução Bouguer refinada ou completa*". No caso de um terreno com forma aproximada a

uma placa plana de espessura H, a altura do local de medição da gravidade acima do nível médio do mar, nós falamos de uma "*Redução Bouguer simples*". A diferença entre os dois, o efeito diferencial gravitacional dos desníveis do terreno, é chamado efeito do terreno. Ele é sempre negativo. A equação para uma Redução Bouguer simples é "$\delta G_f = 2H\rho\pi\gamma$", onde H é a espessura da placa "y" é a constante de gravitação e "ρ" é a densidade do material.

A FTG (Gravimetria Tensorial Total) ou 3D *Air-FTG* ™ mede diretamente os dados do campo da gravidade em todas as direções e proporciona ou realça a distribuição da gravidade. Tem sido utilizada em Mapeamento Geológico, Localização de corpos superficiais e Kimberlitos e Depósitos de área e Cascalhos / Aqüíferos.

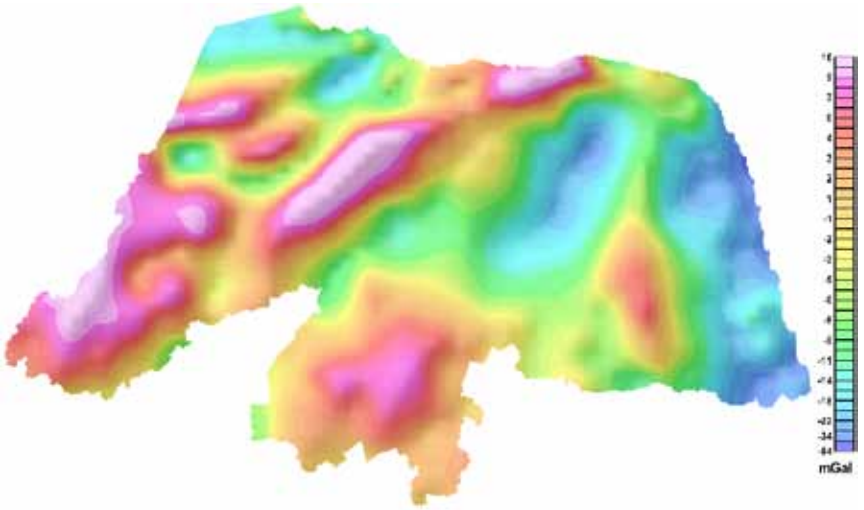


Figura IV.4 – Mapa Aerogravimétrico do Estado do Rio Grande do Norte, elaborado pela CPRM, 2007.

A **Magnetometria** aérea mede as variações no campo magnético terrestre, causadas pelas propriedades magnéticas das rochas. A sua utilização na detecção de objetos metálicos enterrados (minas explosivas de guerra, dutos, tangues, etc), inspirou os militares a sua utilização na década de 40. Em Pesquisa e Prospecção Mineral a Aeromagnetometria é utilizada na detecção de Ferro e outros minerais magnéticos, na localização e caracterização de kimberlitos, asbestos e placers, na Identificação de estruturas geológicas que envolvem contraste de magnetização (falhas, fraturas, dobras, diques, soleiras de diabásio, etc), no Mapeamento da profundidade de embasamento entre outros.

IV.6 – Seleção de Alvos com a Geoquímica

O método geoquímico utilizado para Seleção de Alvos é o Sedimento de Corrente, ou sedimento ativo de corrente, no qual a amostra fornece informações a respeito do material que está à montante da Estação de Coleta e que está sendo carreado pela Bacia de Captação.

Desta forma a informação é areal e não pontual como nos demais métodos geoquímicos. Detalharemos este tema no Capítulo V – Geoquímica (item V.10).

Numa campanha regional de Sedimento de Corrente o conceito de Associação Geoquímica, Elemento Farejador é muito importante, enquanto aqueles relacionados à Cut-Off, Teor Crítico não tem muito sentido nesta fase. Devem ser coletadas amostras no canal ativo da drenagem visando à análise do sedimento (aluvião) que está sendo transportado pelo rio, riacho ou córrego. Esse sedimento foi produzido a partir do intemperismo de rochas a montante e subseqüentemente transporte pelos canais de drenagens que constituem a Bacia de Captação, carreando os elementos químicos que constituem as rochas e quiçá um Depósito Mineral.

Aqui o Conceito de Anomalia é bastante relativizado, levando em conta diversos fatores. Dependem do elemento que está sendo pesquisado, sua mobilidade no ambiente secundário em função das características desse ambiente, presença de farejadores, conhecimento da Geologia da área, etc. Assim, podem ser consideradas anomalias interessantes, de modo a justificar a continuidade dos trabalhos, teores maior que o clarque do metallotecte do elemento, pelo menos 10x maior que o clarque, a média mais 1, 2 ou 3 ou mais Desvio Padrão, teores próximos ao clarque em associação geoquímica com elementos característicos de Depósitos Minerais Padrões, etc.

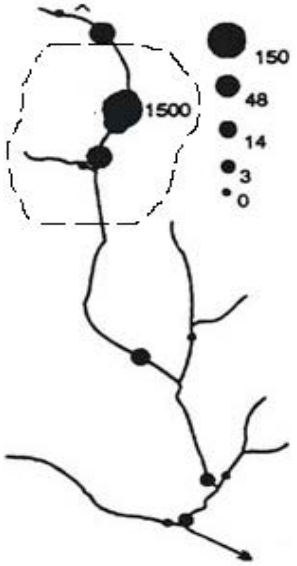


Figura IV.5: Apresentação dos resultados de amostragem geoquímica de sedimento de corrente e identificação de área anômala. Elaborado pelo autor.

Uma combinação de métodos de Seleção de Alvos é sempre recomendada, visando reduzir os riscos do empreendimento. Em seguida o Alvo passará para as fases de testes dos alvos, desenvolvimento dos estudos sobre o Depósito Mineral, Desenvolvimento da Mina e, finalmente, a Mineração.

V – NOÇÕES DE GEOQUÍMICA DE EXPLORAÇÃO

V.1 – Definições Básicas

Geoquímica de Exploração, segundo W. M. White, utiliza ferramentas da Química para resolver problemas Geológicos, ou seja, utiliza-se da Química para entender a Terra e seus processos.

Outros Conceitos: Estudo sistemático da dispersão dos elementos químicos através dos materiais naturais que cercam ou estão em associação ou derivam de um deposito mineral. Geoquímica é a ciências que estuda a abundância (relativa e absoluta) as leis que regem a distribuição e migração dos elementos na terra. A geoquímica de exploração é uma subdivisão da geoquímica que objetiva a descoberta de depósitos minerais e de parâmetros sobre o quimismo das rochas.

A GEOQUÍMICA DE EXPLORAÇÃO É qualquer método baseado na medição sistemática de uma ou de várias propriedades químicas de material naturalmente formado. Exemplos de Materiais naturalmente formados: Rochas, Solos, gossans, sedimentos glaciais, vegetação, sedimentos de rios e lagos, água, vapor. O Foco da Geoquímica de Exploração é a descoberta de distribuições anômalas de elementos.

Na definição de GOLDSCHMIDT - A geoquímica se ocupa de dois ramos:

1. a determinação da abundancia relativa e absoluta dos elementos da terra;

2. o estudo da distribuição e da migração de elementos individuais em várias partes da terra com o objetivo de descubrir os principios, que controlam a distribuição e a migração dos elementos.

V.2 – Abundância dos elementos químicos na crosta

Solicitamos, aqui, uma revisada no Capítulo I para rever os conceitos de Clarque, Background, Anomalia, Metallotecte entre outros.

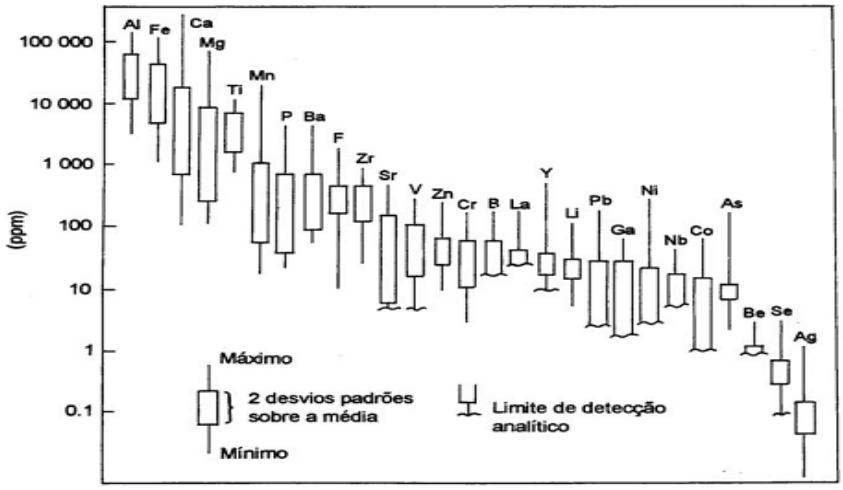


Figura V.1 – Amplitude de variação dos elementos maiores e traço nos solos. Segundo Connor e Schacklette (1975, em Rose, Hawkes e Webb, 1979)

Os elementos químicos, quanto a sua abundância na crosta terrestre, são classificados em:

Elementos maiores quando possuem teores de Clarque acima de 1% (Figuras V.1 e V.2);

Elementos menores quando possuem teores de Clarque entre 0,1-1% (Figura V.3);

Elementos traços quando possuem teores de Clarque < 0,1% (Figuras V.1 e V.2).

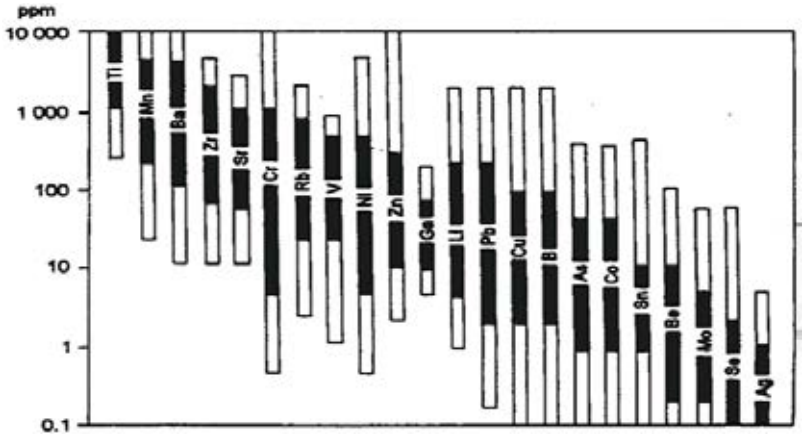


Figura V.2 – Amplitude de variação dos elementos maiores e traço em solos. As porções brancas das barras indicam os teores menos comuns. Foram ignorados os teores anormalmente elevados encontrados nas proximidades das mineralizações. Segundo Fletcher (1981).

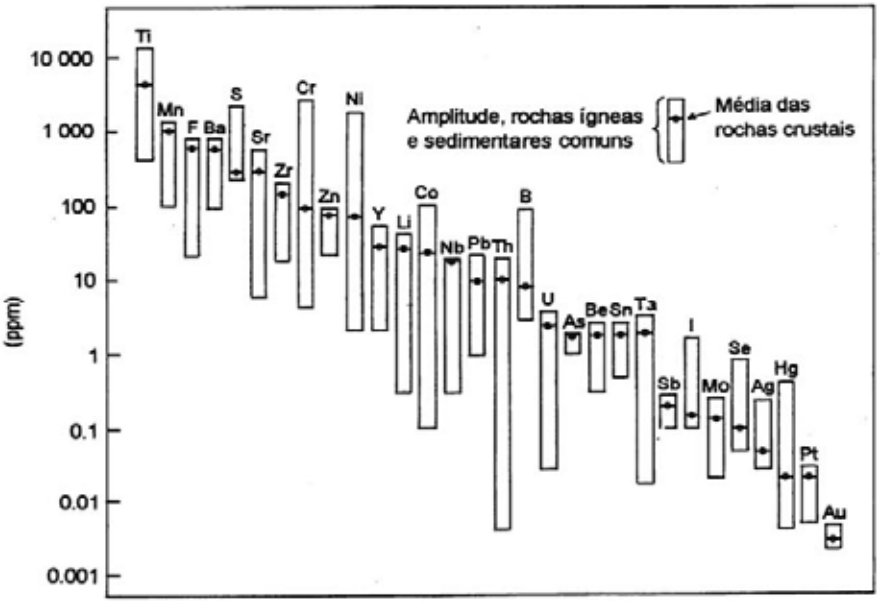


Figura V.3 – Médias e amplitudes dos teores dos principais elementos menores em rochas normais. Segundo Rose, Hawkes e Webb (1979).

A tabela V.1 abaixo é uma listagem de valores absolutos do Clarque de alguns elementos químicos.

TABELA V.1 – VALORES DE TEOR DE CLARQUE (ou Clarke) em ppm

VALORES DO INDICE - I CLARKE.

Elemento	Símbolo	Clarke	Elemento	Símbolo	Clarke	Elemento	Símbolo	Clarke
Alumínio	Al	83600,0	Flúor	F	544,0	Platina	Pt	0,0005
Antimônio	Sb	0,2	Fósforo	P	1120,0	Potássio	K	18400,0
Arsênio	As	1,8	Gadolínio	Gd	6,14	Praseodímio	Pr	9,1
Bário	Ba	390,0	Gálio	Ga	19,0	Prata	Ag	0,08
Berílio	Be	2,0	Germânio	Ge	1,5	Rênio	Rh	0,0007
Bismuto	Bi	0,0082	Háfnio	Hf	2,8	Ródio	Ro	0,0002
Boro	B	9,0	Hólmio	Ho	1,26	Rubídio	Rb	78,0
Bromo	Br	2,5	Indio	In	0,24	Rutênio	Ru	0,001
Cádmio	Cd	0,16	Iodo	I	0,46	Samário	Sm	7,02
Cálcio	Ca	46600,0	Irídio	Ir	0,000002	Selênio	Se	0,05
Carbono	C	180,0	Ítrio	Y	31,0	Silício	Si	27,30 %
Cério	Ce	66,4	Lantânio	La	34,6	Sódio	Na	22700,0
Césio	Cs	2,6	Lítio	Li	18,0	Tântalo	Ta	1,7
Chumbo	Pb	13,0	Lutécio	Lu	0,54	Tálio	Tl	0,72
Cloro	Cl	126,0	Magnésio	Mg	27640,0	Telúrio	Te	0,004
Cobalto	Co	29,0	Manganês	Mn	1060,0	Térbio	Tb	1,18
Cobre	Cu	68,0	Mercúrio	Hg	0,086	Titânio	Ti	6320,0
Cromo	Cr	122,0	Molibdênio	Mo	1,2	Tório	Th	8,1

VALORES DO INDICE - I CLARKE.

Elemento	Símbolo	Clarke	Elemento	Símbolo	Clarke	Elemento	Símbolo	Clarke
Cromo	Cr	122,0	Molibdênio	Mo	1,2	Tório	Th	8,1
Disprósio	Dy	5,0	Neodímio	Nd	39,6	Túlio	Tm	0,5
Enxofre	S	340,0	Nióbio	Nb	20,0	Urânio	U	2,3
Érbio	Er	3,46	Níquel	Ni	99,0	Vanádio	V	136,0
Escândio	Sc	25,0	Nitrogênio	N	19,0	Wolfrâmio	W	1,2
Estanho	Sn	2,1	Ósmio	Os	0,00002	Ytérbio	Yb	3,1
Estrôncio	Sr	384,0	Ouro	Au	0,004	Zinco	Zn	76,0
Európio	Eu	2,14	Oxigênio	O	45,60 %	Zircônio	Zr	162,0
Ferro	Fe	62200,0	Paládio	Pd	0,015			

Fonte: Ronov e Yaroshevsky (1972) e Bowen (1979) *apud* Fortescue (1985). Teores expressos em ppm, exceto quando indicado.

Conforme já mencionado no Capítulo I, alguns elementos apresentam teores elevados nas rochas que são o seu Metallotecte natural, sem que isto se constitua numa Anomalia.

A tabela V.2 lista o teor de alguns elementos em algumas rochas e ambientes geoquímicos.

TABELA V.2 – DISTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS NA CROSTA TERRESTRE(ppm)

Elemento	Crosta Terrestre (7)	Granitos Alcalinos (1)	Granitos Calcoalcalinos (1)	Granodioritos (7)	Sienitos (3)	Basaltos (1)	Ultrabásicas (1)	Folhelhos (1)	Arenitos (1)	Calcários (1)	Folhelhos Negros (2)	Solos (7)	Água de rio (7)
Ag	0,07	0,037	0,051	0,07	0,0X	0,11	0,06	0,07	(1) 0,4	(7) 1	5 a 50	0,10	0,30
Al	(3) 83.000	72.000	82.000		88.000	78.000	20.000	80.000	25.000	4.200			
As	1,8	1,5	1,9	2	1,4	2	1	13	1	1	75 a 225	1 a 50	2
Au	0,004	0,004	0,004	0,004	0,00X	0,004	0,005	(7) 0,004	(2) 0,03	(7) 0,005	0,01 a 1		0,002
B	10	10	9	20	9	5	3	100	35	20		2 a 100	10
Ba	425	640	420	500	1.600	330	0,4	580	(2)100a500	10	450 a 700	100 a 3.000	10
Be	2,8	3	2	2	1	1	(5) 0,2	3	(2) < 1	(7) 1	1	6	(7) 0,1
Bi	0,17	0,01				(7) 0,15	(7) 0,02	(7) 0,18	(2) 0,3				
Br	2,5	1,3	4,5		2,7	3,6	1	4	1	5,2			20
Ca	(3) 82.000	5.100	25.300		18.000	76.000	25.000	22.100	39.100	302.300			
Cd	0,2	0,13	0,13	0,20	0,13	0,22	0,05	0,30	0,0X	0,035		1	
Ce	60	92	81	40	161	48	(7) 8	59	92	11,5		(4) 50	0,06
Cl	130	200	130		520	60	85	180	10	150			7.800
Co	25	1	7	10	1	48	150	19	0,3	0,1	5 a 50	1 a 40	0,2
Cr	100	4,1	22	20	2	170	1.600	90	35	11	10 a 500	5 a 1000	1
Cs	3	4	2	2	0,6	1,1	0,X	5	0,X	0,X		5	0,02
Cu	55	10	30	30	5	87	10	45	(67) 10	4	20 a300	2 a 100	7
Dy	3	7,2	6,3	3,2	13	3,8	(7) 0,69	4,6	7,2	0,9			0,06
Er	2,8	4	3,5	4,6	7	2,1	(7) 0,36	2,5	4	0,5			0,06
Eu	1,2	1,6	1,4	1,2	2,8	0,8	(7) 0,16	1	1,6	0,2			0,07
F	625	850	620		1.200	400	100	740	270	330		(2) 200	100
Fe	(3) 58.000	14.200	29.600		36.700	86.500	94.300	47.200	9.800	3.800		(2)10:40(mil)	(2)40 - 1500
Ga	15	17	17	18	30	17	1,5	19	12	4		15	0,09
Gd	5,4	10	8,8	7,4	18	5,3	(7) 0,65	6,4	10	1,3			0,04
Ge	1,5	1,3	1,3	1	1	1,3	1,5	1,6	0,8	0,2		1	
Hf	3	3,9	2,3	2	11	2	0,6	2,8	3,9	0,3			
Hg	0,08	0,08	0,08	0,08	0,0X	0,09	(5) 0,01	0,4	0,03	0,04		0,03	0,007
Ho	1,2	2	1,8	1,6	3,5	1,1	(7) 0,14	1,2	2	0,3			0,01
I	0,5	0,5	0,5		0,5	0,5	0,5	2,2	1,7	1,2			7
In	0,1	0,26	0,0X	0,1	0,0X	0,22	0,01	0,1	0,0X	(7) 0,02			
Ir	0,0004												
K	(3) 17.000	42.000	25.200		48.000	8.300	40	26.600	10.700	2.700			
La	30	55	45	55	70	15		92	30	(7) 6		(2) 40	0,2
Li	20	40	24	25	28	17	(5) 0,05	66	15	5	17	5 a 200	3
Lu	0,5	1,2	1,1		2,1	0,5	(7) 0,064	0,7	1,2	0,2			0,008
Mg	(3) 28.000	1.600	9.400		5.800	46.000	204.000	15.000	7.000	47.000			
Mn	950	390	540	1.200	850	1.500	1.620	850	(2) 385	1.100		850	7
Mo	1,5	1,3	1	1	0,6	1,5	0,3	2,6	0,2	0,4	10 a 300	2	1
Na	(3) 23.600	25.800	28.400		40.400	18.600	4.200	9.600	3.300	400			
Nb	20	21	20	20	38	19	14	11	0,0X	0,3	0,6	(4) 15	
Nd	28	37	33	25	65	20	(7) 15	24	37,0	4,7			0,2
Ni	75	4,5	15	20	4	130	2.000	68	2,6	20		5 a 500	0,3
Os	0,0004												
P	(3) 120	600	920		800	1.100	220	700	170	400			
Pb	12,5	19	15	15	12	6	1	20	7	9	20 a 400	2 a 200	3
Pd	0,004	0,00X	0,00X			0,02	0,12						
Pr	8,2	8,8	7,7	8,5	15	4,6	(7) 1,02	5,6	8,8	1,1			0,03
Pt	0,002				(7) 0,02	(7) 0,02							
Rb	90	170	110	150	110	30	0,2	140	60	3		20 a 500	1

Continuação da tabela V.2

Elemento	Crosta Terrestre (7)	Granitos Alcalinos (1)	Granitos Calcoalcalinos (1)	Granodioritos (7)	Sienitos (1)	Basaltos (1)	Ultrabásicas (1)	Folhelhos (1)	Arenitos (1)	Calcários (1)	Folhelhos Negros (2)	Solos (7)	Água de rio (7)
Re	0.0005					0.0005							
Rh	0.0004												
Ru	0.0004												
S	*(3) 400	300	300		300	300	300	2.400	240	1.200		(2) 850	(2) 5.500
Sb	0,2	0,2	0,2	0,2	0,X	0,2	0,1	1,5	(2) 1	0,2		5	1
Sc	16	7	14	10	3	30	15	13	1	1			0.004
Se	0,05	0,05	0,05		0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08		0,2	0,2
Si	*(3)270.000	347.000	314.000		291.000	230.000	205.000	73.000	368.000	24.000			
Sm	6	10	8,8	8,8	18	5,3	0,57	6,40	10	1,3		(2) 10	0,03
Sn	2	3	1,8	2	0,X	1,8	0,8	6	0,X	(7) 0,8		10	
Sr	375	100	440	450	200	465	1	300	20	610		50 a 1000	50
Ta	2	4,2	3,6	2	2,1	1,1	1	0,8	0,0X	0,0X			
Tb	0,9	1,6	1,4	1,3	2,8	0,8	(7) 0,088	1	1,6	0,2			0,008
Te	0,001			0,001		(7) 0,001	(7) 0,001	(7) 0,01					
Th	10	17	8,8	10	13	4	0,004	12	1,7	1,7		13	0,1
Ti	5.700	1.200	3.400	3.000	3.500	13.800	300	4.600	1.500	400		5.000	3
Tl	0,45	2,3	0,72	0,5	1,4	0,21	0,06	1,4	0,82	0,0X		0,1	
Tm	0,45	0,30	0,3	0,5	0,6	0,2	(7) 0,053	0,2	0,3	0,04			0,009
U	2,7	3	3	3	3	1	0,001	3,7	0,45	2,2	5 a 50	1	0,4
V	135	44	88	100	30	250	40	130	20	20	50 a 2000	20 a 500	0,9
W	1,5	2,2	1,3	2	1,3	0,7	0,77	1,50	1,6	0,6			0,03
Y	30	40	35	30	20	21		26	40	30			0,7
Yb	3	4	3,5	3,6	7	2,1	0,43	2,6	4	0,5			0,06
Zn	70	39	60	60	130	105	50	95	16	20	100-1000	10 a 300	20
Zr	165	175	140	140	500	140	45	160	220	19		300	

X - somente pode ser estimada a ordem de grandeza. **Reedição de FULLER, O. (1977).**

* - gramas por tonelada

REFERÊNCIAS:

1 - TUREKIAN, K. K. & WEDEPOHL, K. H. - 1961 - **Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust.** Geol. Soc. of Am. Bull., v. 72, pp. 175-192.

2 - HAWKES, H. E. & WEBB, J. S. - 1962 - **Geochemistry in Mineral Exploration.** New York, Harper & Row. 415 p.

3 - TAN, L. & CHI-LUNG, Y. - 1965 - **Abundance of Chemical Elements in the Earth's Crust and its Major tectonics Units.** Acta Geol. Sinica., 45 : 82 - 91.

4 - ANDREWS-JONES, D. A. - 1968 - **The Application of Geochemical Techniques to Mineral Exploration** - Min. Ind. Bull., Col. Sch. Min. 11: 1 - 31.

5 - WYLLIE, J. P. - 1967 - **Ultramafic and Related Rocks.** New York, John Wiley & Sons, 354 p.

6 - COX, D. P. et Alli - 1973 - **Cooper.** Unites States Mineral Resources. U. S. Geol. Survey Prof. Paper. 820: 163 - 190.

7 - LEVINSON, A. A. - 1974 - **Introdution to Exploration Geochemistry.** Calgary. Applied Publishing Ltd., 612 p.

V.3 – Classificação Geoquímica dos Elementos

Goldschmidt propõe uma classificação dos elementos químicos em:

Sideróﬁlos (Afinidade com o Fe e concentrado no centro da terra);

Calcóﬁlos (Afinidade pelo enxofre e concentrado nos sulfetos);

Atmóﬁlos (Presentes nos gases da atmosfera);

Litóﬁlos (Afinidade pela sílica e concentrados na crosta terrestre na forma de silicatos) e;

Bióﬁlos (Comumente encontrados nos seres vivo).

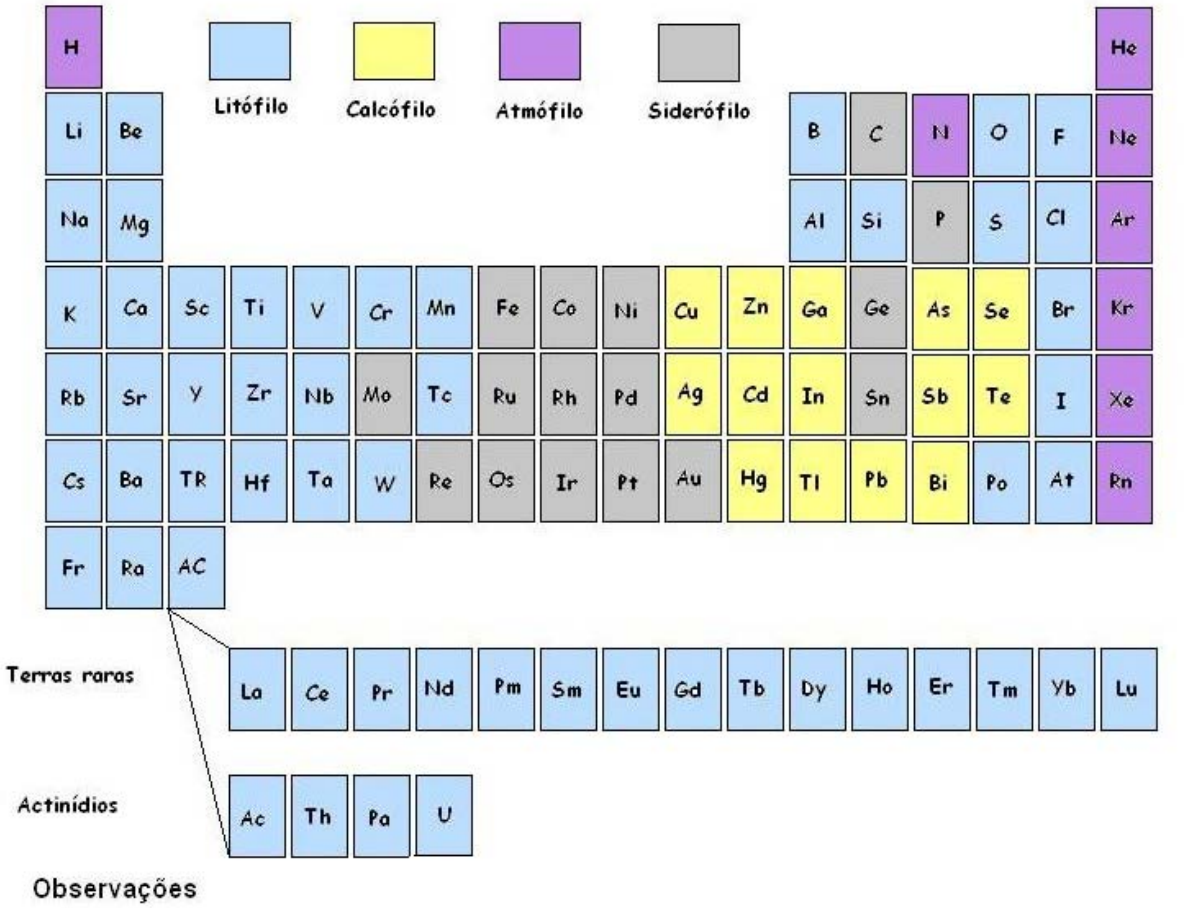


Figura V.4 - Classificação Geoquímica dos Elemento segundo características físico-químicas (Goldschmidt 1937, 1954) – Fonte Levinson (1980).

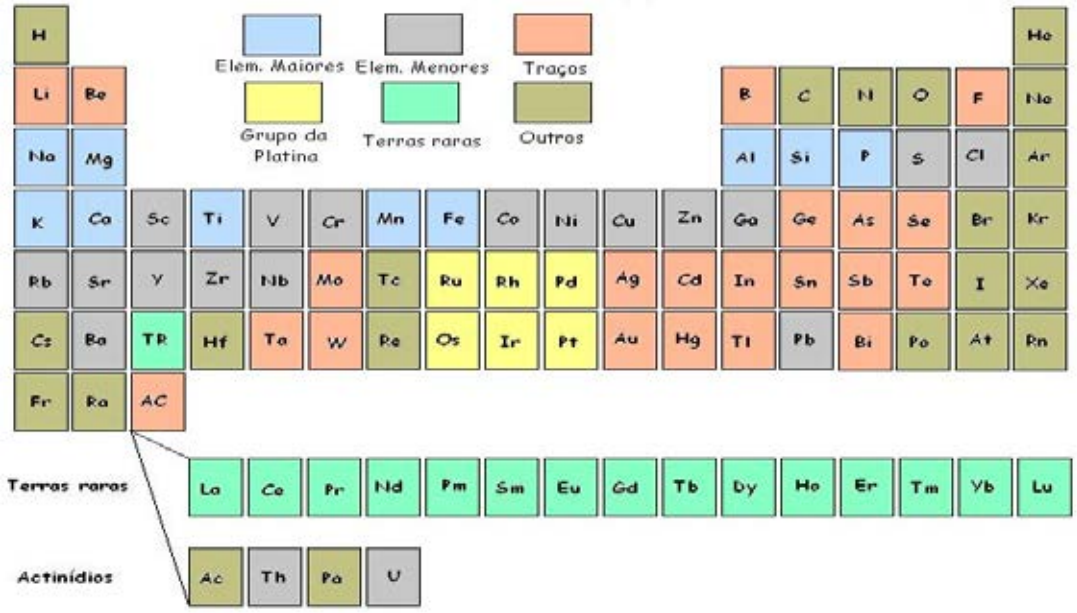


Figura V.5 – Classificação Geoquímica dos Elemento segundo Critérios de Abundância e Relações Físico-Químicas (Fonte Fortescue, 1992)

V.4 - Ciclos Geoquímicos e Ambientes Geoquímicos

Todos os Depósitos Minerais encontrados na Terra foram o resultado de um ou mais ciclos geoquímicos. Segundo Skinner (1986) existe uma multiplicidade de ciclos envolvendo interações entre o manto, a crosta, a biosfera, a atmosfera e a hidrosfera, cada um desenvolvendo e mantendo uma composição química distinta, os quais são designados como CICLOS GEOQUÍMICOS.

O ambiente geoquímico pode ser Primário ou Secundário. O ambiente PRIMÁRIO abrange a zona abaixo dos níveis inferiores de circulação das águas meteóricas até as profundidades onde se processam os fenômenos de diferenciação magmática e metamorfismo. São características do ambiente primário:

⇒ Alta pressão (P) e temperatura (t);
⇒ Pouco oxigênio (O_2) livre;
⇒ Pouca circulação de fluidos;
⇒ Os depósitos podem ser singenéticos e epigenéticos;
⇒ *Exemplos:* Cu-Ni em rochas máfica - ultramáficas, berilo e tantalita em pegmatitos; Au em veios de quartzo.

O ambiente SECUNDÁRIO compreende a zona onde se desenvolvem os processos superficiais de intemperismo, erosão, sedimentação, diagênese, pedogênese e atividade biológica. São características do ambiente secundário:

⇒ Baixa P e T;
⇒ Presença de O_2 e CO_2 (abundante);
⇒ Fluxo de fluidos relativamente livres;
⇒ Os depósitos podem ser singenéticos e epigenéticos;
⇒ *Exemplos*: Placers, BIFs; bauxita

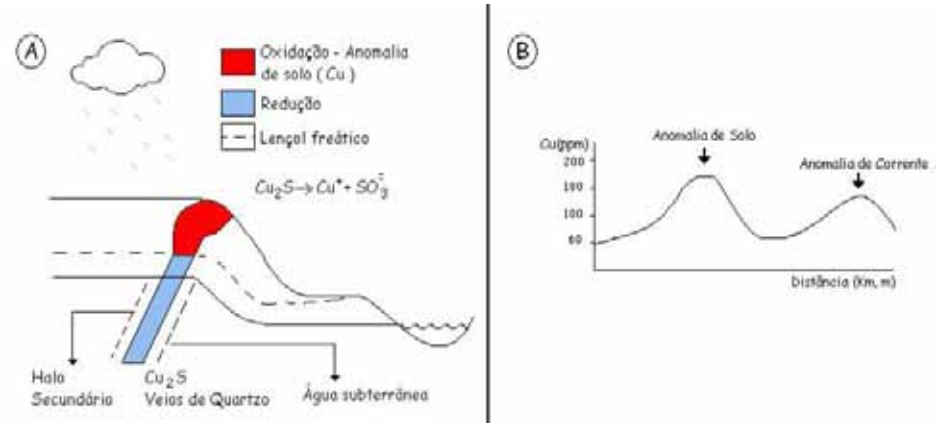


Figura V.6 – Perfil geológico (figura superior) e geoquímico (figura inferior) esquemático mostrando halo de dispersão secundário e anomalias em solo e sedimento de corrente.

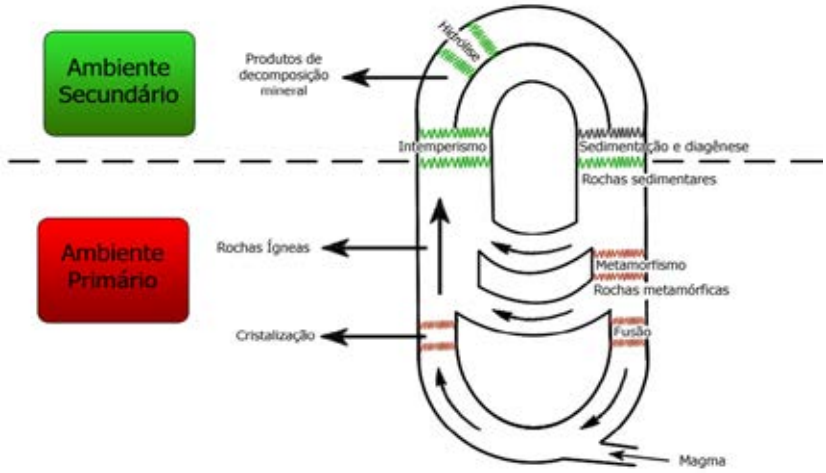


Figura V.7 – O ciclo geoquímico

Os minerais formados em condições primárias são geralmente instáveis no ambiente secundário, no qual são alterados, permitindo a liberação dos elementos os quais são transportados e redistribuídos (Figura IV.7 - CICLO GEOQUÍMICO). É graças à evolução lenta e constante desse processo (dispersão) que os métodos geoquímicos são aplicados com sucesso na busca das fontes primárias e secundárias de um Depósito Mineral.

As Anomalias relacionadas com as fases líquida, sólida e gasosa dos Processos Hipogênicos são co-responsáveis não só pela concentração de elementos (e/ou minerais), mas também pela dispersão dos elementos químicos no entorno do Depósito Mineral. **Halo geoquímico** é a região que contém teores anormalmente elevados ou reduzidos de elementos químicos nas rochas encaixantes, solos, vegetação, águas superficiais e subterrâneas, de modo a revelar a presença de um alvo geoquímico. A origem do halo geoquímico está relacionada com os processos de formação do alvo (**halo geoquímico primário**), ou de sua distribuição supergênica (**halo geoquímico secundário**).

Dispersão geoquímica é o resultado de um conjunto de processos de ordem química, mecânica e bioquímica, os quais remobilizam os elementos químicos tanto no ambiente primário quanto no secundário.

Segundo Rose *et al* (1979), os modelos de dispersão secundária podem ser divididos em clásticos, quando a dispersão é feita basicamente por partículas sólidas em movimento (suspensão, arraste e saltação); hidromórficos, quando o agente dinâmico é uma solução aquosa com carga iônica (solução); e biogênicos, quando a movimentação é o resultado da atividade biológica (acumulação de detritos da atividade orgânica).

V.5 - Mobilidade Geoquímica

Fundamentalmente, a resposta de um elemento a processo de dispersão é governado por sua mobilidade, isto é, a facilidade com o qual pode ser movimentado em qualquer ambiente dado. De certa maneira, a mobilidade depende das propriedades mecânicas da fase móvel e de fatores tais como, viscosidade de magmas e soluções, tamanho, forma e densidade de grãos clásticos em água corrente. Por outro lado, a inter-relação entre mobilidade e diferenciação química é muito mais complicada. Aqui os fatores principais são as mudanças na estabilidade relativa dos vários fluidos coexistentes (móveis) e nas fases cristalinas (imóveis) que resultam de mudanças nas condições ambientais (clima, velocidade de erosão, pH, etc.).

A interrupção de equilíbrio (Estabilidade Mineral), causada pela mudança de uma parte do ciclo geoquímico para outra, geralmente, manifesta-se pelo aparecimento de novas espécies minerais que são estáveis no ambiente. O desenvolvimento de quaisquer minerais novos às custas de fases previamente existentes, sempre tem um efeito que tende a ser opor e neutralizar as novas condições . Assim, às expensas de minerais de densidade mais baixa, e com aumento de temperatura a formação de novas fases minerais é, normalmente, uma reação que absorve calor. Similarmente, um aumento na concentração de um dos constituintes químicos favorecerá o aumento de fases minerais que tendem a reduzir a concentração destes constituintes na fase fluida.

Pelo menos duas fases devem estar presentes, sempre que novos minerais estão sendo formados – uma móvel, geralmente fase fluida, e uma (mais ou menos) imóvel, cristalina.

Na cristalização de uma rocha ígnea, fase móvel é o magma. No metamorfismo, é um fluido intercristalino alimentado, em parte, por material introduzido e, em parte, por produtos da decomposição dos minerais localmente ocorrentes, que são instáveis sob as condições dominantes de temperatura e pressão. No ambiente superficial, a fase móvel é a solução aquosa na qual os produtos solúveis de intemperismo de minerais primários são carreados.

Onde estáveis, e conseqüentemente imóveis, os minerais estão crescendo as custas da fase móvel. Certos elementos químicos, que podem ser acomodados nas redes cristalinas do mineral em desenvolvimento, são removidos da fase fluida e imobilizados. Elementos que não podem ser acomodados permanecem na fase móvel e ficam livres para mudarem de sistema se houver oportunidade. Um conhecimento de que os minerais são estáveis sob quaisquer condições é, assim, a chave para compreensão da mobilidade dos elementos contidos nestes minerais.

A maioria dos minerais é estável somente num sistema onde a concentração dos elementos componentes é, relativamente, alta. Sob condições hipotermais, somente os 10 elementos mais comuns, que compreendem cerca de 98% do total da crosta terrestre, normalmente ocorrem em concentrações suficientemente altas para satisfazer esta especificação. Esses elementos são, em ordem de abundância decrescente: **O, Si, Al, Fe, Ca , Na , K , Mg , Ti e H.**

As maiorias das rochas ígneas comuns e metamórficas são formadas de minerais contendo somente estes elementos como constituintes principais. Se carbono for adicionado às listas, o mesmo pode ser dito a respeito dos minerais de rochas sedimentares. Poucos outros elementos, tais como, **Zr, F, P, S** e lantanídeos (terras raras) podem ocorrer como componentes principais de minerais acessórios.

Elementos Traços em Minerais Estáveis ---A maioria dos elementos menos comuns podem ser incorporados em um ou mais minerais comuns formadores de rochas, ocupando uma posição na rede cristalina que é, ordinariamente, preenchida por um ou dos constituintes principais. A intermutabilidade de cátions, numa estrutura cristalina, esta relacionada a sua contribuição para energia de ligação do cristal. Isto pode ser expresso como um "índice de reposição iônica" computando a partir da valência, raio iônico, do n^{O} de coordenação e da configuração eletrônica do cátion (Green, 1956, p. 1155). Cátions possuindo índices iônicos comparáveis apresentam a tendência mais forte para serem reposicionados mutuamente. Assim, **Mn, Zn, Cu, Co, e Ni** tendem a ocorrer nos minerais ferro-magnesianos, e **U e Th** tendem a ser, preferencialmente, enriquecidos de zircão.

É razoável presumir-se que o teor dos constituintes menores de minerais é uma função de sua concentração na fase móvel a partir da qual os minerais foram formados. Onde outros fatores, tais como temperatura, são constantes, entretanto, uma mica rica em **Sn** num pegmatito implica um fluido pegmatítico rico em **Sn** , e uma limonita rica em **Cu** numa área de infiltração implica num alto teor de **Cu** na água subterrânea da qual foi precipitada.

Mobilidade sob condições de alta P-T (mobilidade hipogênica)- na cristalização de magmas, os constituintes que não podem ser acomodados na rede cristalina de minerais estáveis, formadores de rochas , são concentrado no fluido residual móvel.Quando as rochas resfriam uma parte ínfima desta fase móvel pode ficar, mecanicamente, presa tanto como incorporações dentro da "rede cristalina", como bolhas ou filmes minúsculos entre as interfaces do cristal. Sua maioria, entretanto, fica livre para sair do sistema, contanto que encontre uma saída. A água que não pode ficar totalmente acomodada nos minerais de rochas ígneas, e progressivamente enriquecida nos fluidos residuais. Com acréscimo da temperatura, os fluidos residuais ricos água começam a assumir propriedades típicas de soluções aquosas. Depósitos de veios hidrotermais podem ser precipitados neste estágio no ciclo geoquímico primário. Eventualmente, os fluidos residuais atingem a superfície da terra onde tanto podem se misturar com a água subterrânea como atingirem a superfície como nascente.

Em metamorfismo as mesmas tendências gerais podem ser traçadas em temperatura e pressões altas, os minerais hidratados de rochas sedimentares tornam-se instáveis, e a água é liberada para se tornar o principal constituinte da fase móvel. Quais querem outros constituintes das rochas originais, que não podem ser acomodados na nova série de minerais, também se juntam à fase móvel, rica em água. Estes constituintes podem incluir quantidade substancial de elementos menores, incluindo muitos dos metais de minério. Os dados quantitativos presentemente disponíveis nos campos de estabilidade de minerais, sob condições de alta temperatura e pressão, não são adequados para permitirem os cálculos de mobilidade de elementos menores baseados em considerações puramente teóricas. A estabilidade de minerais é, conseqüentemente, as imobilidades relativas dos elementos que estão contidos neles, portanto deve ser presumida a partir de observações empíricas.

Informações empíricas, sobre a mobilidade hipogênica de elementos menores, podem ser obtidas observando seu empobrecimento progressivo, ou enriquecimento, numa espécie mineral especificas formada em estágios diferentes de um ciclo de diferenciação profunda. Assim, o teor mais alto de **Sn, Sr** e **Li** de mica no pegmatito tardio diferencia-se quando comparado com a mesma espécie de mica na massa ígnea fonte (da qual se originou) sugerindo que estes elementos são relativamente móveis sob as condições prevalecentes. A ocorrência de um elemento como constituinte característico como depósitos formados de fluidos de vários tipos, ou vapores, soluções supercríticas, ou soluções aquosas normais, podem também ser uma indicação de sua mobilidade hipogênica. Neste grupo estão os elementos de pegmatitos complexos, depósitos de veios hidrotermais, nas águas juvenis (derivadas diretamente a partir do magma) e emanações gasosas.

Mobilidade sob Condições de Baixa P-T (mobilidade supergênicas) - A relação entre os campos de estabilidade de minerais e a mobilidade dos elementos constituintes é, essencialmente, a mesma sob condições de baixo P**-T** que sob condições profundas. Onde a identificação das espécies minerais estáveis e das fases iônicas solúveis é conhecida e onde ao mesmo tempo, as constantes termodinâmicas para estas espécies tenham sido

determinadas, é possível computar a solubilidade relativa e, por conseguinte, a mobilidade de elementos menores em águas naturais superficiais (Garrels, 1960). Infelizmente, os equilíbrios são, normalmente, perturbados por uma variedade de fatores que ainda não pode ser quantitativamente estimada.

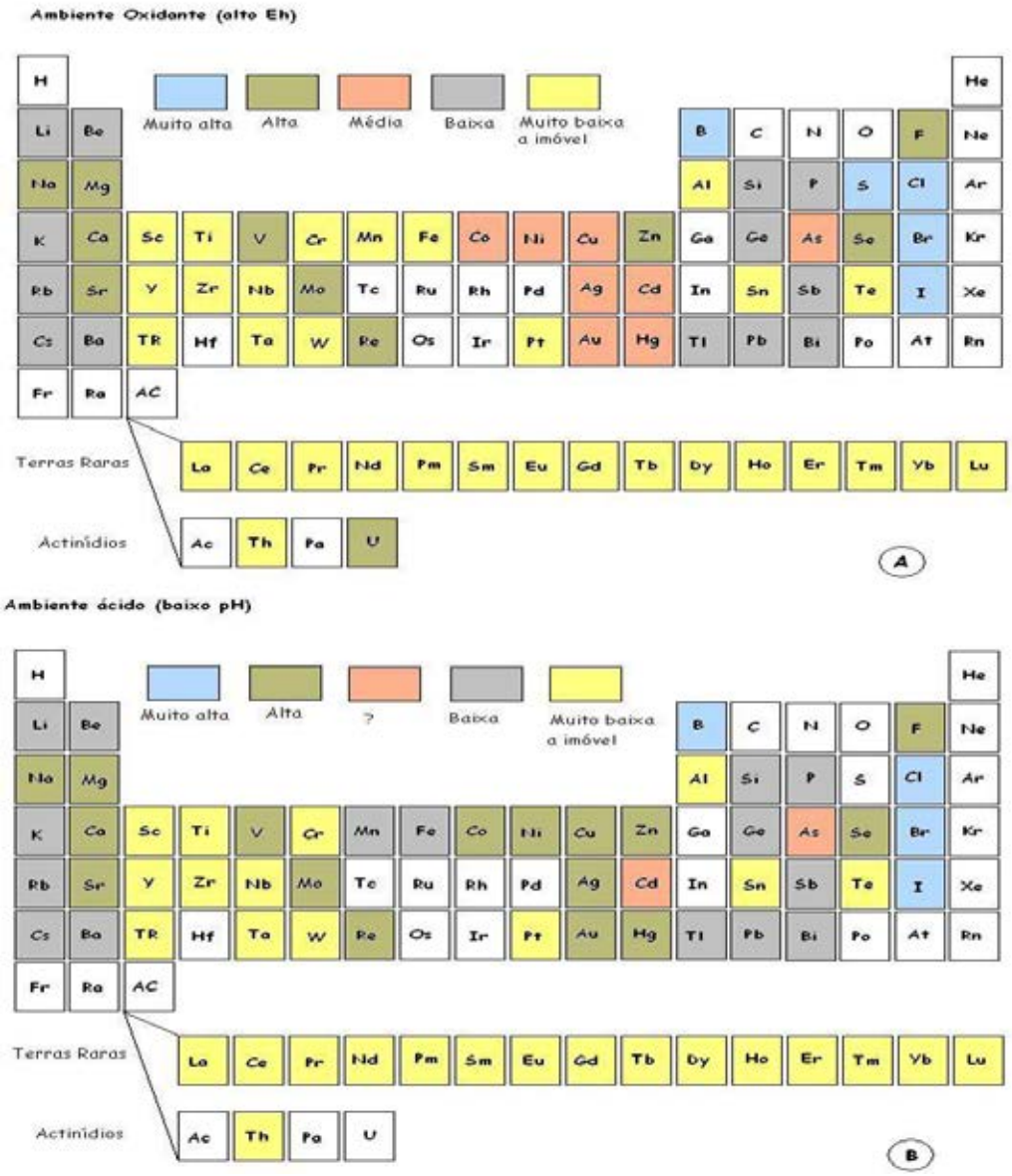


Figura V.8 – Classificação Geoquímica dos Elemento em Relação à mobilidade relativa dos elementos no ambiente secundário. (A) Ambiente Oxidante – Alto Eh; (B) Ambiente ácido – baixo pH. Segundo Andrew Jones (1968).

O mais importante deles são os efeitos de co-precipitacão de elementos menores com certas espécies minerais comuns que possuem uma forte ação de retenção (principalmente os hidróxidos de **Fe** e óxidos de **Mn)** e o efeito de reações orgânicas e dos processos de vida de organismo em contato com soluções naturais na superfície da terra. O efeito qualitativo destes fatores é discutido posteriormente.

Embora uma estimativa quantitativa de mobilidade relativa, sob condições superficiais, seja difícil, pode-se obter uma estimativa empírica comparando-se a composição de elementos menores de fases móveis e imóveis coexistentes. Equilíbrio completo entre estas duas fases é raramente, ou nunca, conseguido no ambiente superficial dinâmico. Contudo, uma aproximação pode ser conseguida, comparando-se a composição de água escoamento natural e o solo com o qual esta em contato. Informação equivalente pode também ser obtida, comparando-se a composição tanto da água como do solo com a composição da rocha não intemperizada que serviu de mat6erial precursor (fonte) pra os produtos intemperizados.

Smyth (1913) e Polynore (1937) indicaram o significado destas inter-relações como uma medida da mobilidade dos elementos na zona de intemperismo. A avaliação de Smyth da mobilidade relativa dos elementos principal é baseada em hipóteses simplificadas: **1-**que a composição de rochas precursoras (fonte) poderia ser aproximada pela composição de rochas crustais comuns e **2-**que a composição da água de escoamento (drenagem) resultante de intemperismo poderia ser aproximada pela composição de água fresca comum. Polynov, usando uma aproximação similar para o problema, comparou a composição média de rochas ígneas com a composição do resíduo mineral de rios cujas bacias de represa estão, na maioria, em áreas de rochas ígneas maciças. A ordem apresentada de mobilidade (decrescente) mostrada por ambas computações foi Ca, Na, Mg, K, Si, Al = Fe

Posteriormente, Anderson e Hawkes (1958) fizeram análises químicas de águas correntes e rochas provenientes de três bacias locais de drenagens em áreas glaciais da New England setentrional. A mobilidade relativa de cada elemento maior foi expressa como a proporção de seu teor no resíduo mineral da água corrente para seu teor na rocha drenada pela corrente. A ordem de mobilidade em cada um dos três casos foi: Mg>Ca>Na>K>Si>Al=Fe.

De uma maneira similar, a mobilidade relativa dos elementos menores, bem como dos maiores, deve ser obtida comparando-se a composição da água corrente com a composição das rochas. Infelizmente, dados confiáveis adequados para se fazer tais cálculos ainda não são disponíveis.

Em prospecção geoquímica, dá-se especial atenção à dispersão de metais resultantes da decomposição de corpos de minério. Nas adjacências de um depósito de sulfeto oxidado, por ex., as reações químicas que determinam a mobilidade de elementos, podem ser bastante diferentes daquelas características de ambientes normais.

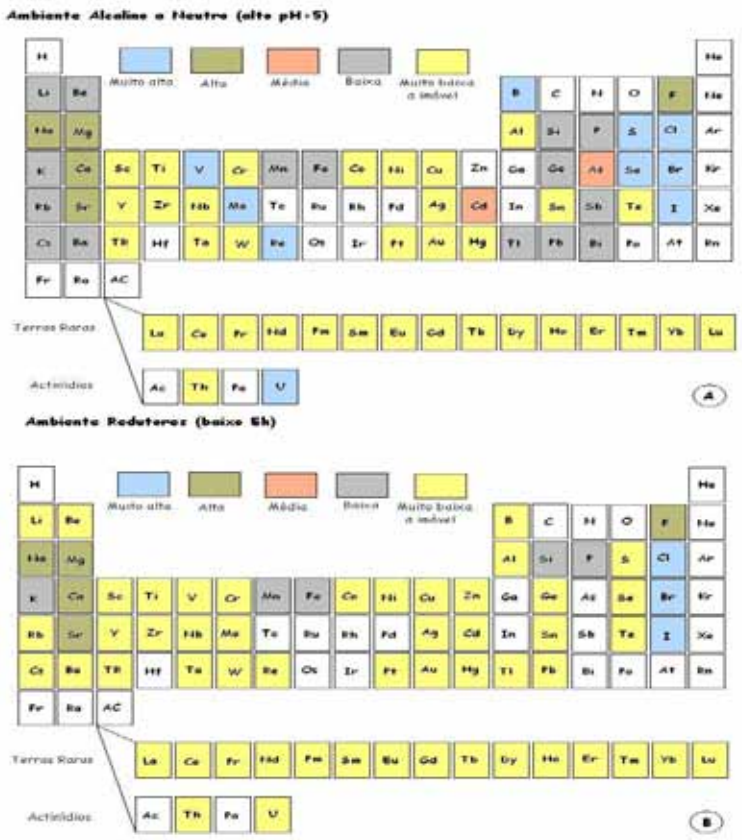


Figura V.9 – Classificação Geoquímica dos Elemento em Relação à mobilidade relativa dos elementos no ambiente secundário. (A) Ambiente Alcalino a Neutro – Alto pH > 5; (B) Ambiente Redutor – baixo Eh. Segundo Andrew Jones (1968).

Grandes quantidades tanto de sulfato como de metais entram na solução de águas subterrâneas, e condições extremas de acidez são criadas pela oxidação de pirita e marcassita.

Observações empíricas têm sido feitas por diversos pesquisadores sobre a mobilidade de metais de minério em águas ácidas (de minas) ricas em sulfatos. Emmons (1917, pp. 68-70) concluiu que na zona de enriquecimento secundário, a Ag, na ausência de cloreto, é mais móvel do que Pb ou Au; Cu é, relativamente, móvel sob condições oxidantes, e Zn é móvel em ambiente ácido. No seu estudo do distrito mineiro de Breckenridge-Colorado, Lovering (1934), concluiu que Zn é lixiviado do material superficial ao passo que Pb tende a ser enriquecido, embora aparentemente algum Pb mova-se a pequenas distancias como compostos solúveis, formados por reações com matéria orgânica, derivada de húmus da floresta. Em trabalho posterior sobre o teor de metal de eflorescências em trabalhos subterrâneos das minas do distrito de tintic-Utah, Lovering (1952) declarou que onde as rochas encaixantes consistem de folhelhos e quartzitos, os metais do minério poderiam ser arranjados na ordem de mobilidade crescente como segue: Pb, Au, Cu, Zn e Ag. Em fraturas

cortando rochas carbonatadas, preferencialmente a folhelho e quartzito, Ag é relativamente, imóvel. Suas conclusões foram baseadas na distância máxima do minério conhecido mais próximo, que cada um destes metais percorreu nas soluções circulantes através de fissuras capilares da rocha. Trabalhos pela U.S. Geological Survey, na mina de Union Copper, distrito de Gold Hill-Carolina do Norte , mostraram que a razão Pb:Zn, no horizonte C de solo residual derivado do intemperismo de mineralização de sulfeto, é 30 vezes maior do que a proporção dos mesmos elementos no minério não intemperizado: o decréscimo no teor absoluto de Zn durante o intemperismo é de 4 para 0,04, um fator de 100 (Hawkes, 1957, p. 265). Dados do Northern Rhodesian Copperbelt indicam que em Baluba a razão Cu:Co sofre pequena mudança durante o intemperismo, sugerindo, assim, que a mobilidade relativa destes dois elementos é equivalente sob tais condições.

Os parâmetros controladores da Mobilidade Geoquímica no Ambiente Primário - Processo de cristalização magmática, dependendo basicamente da composição e velocidade dos fluídos. No Ambiente Secundário depende das águas superficiais e vento (dispersão mecânica ou clástica) e solução (hidromórfica).

Potencial Iônico de um elemento é expresso pela relação entre sua carga iônica (Z) e seu raio iônico (r).

Baixo → **Z/r < 3** → os elementos são móveis e transportados em solução durante o Intemperismo;
→Na+, K+, Ca++, Mg++.

Intermediário → **Z/r ≥ 3 e ≤ 12** → os elementos são imóveis e precipitam por hidrólise;
→ Al , Ce, Ti.

Alto → **Z/r > 12** →Ânions complexos com radicais muito solúveis e móveis;
→ PO4-3, SO4-2, MoO4-2

Adsorção → Capacidade que determinados materiais apresentam de adsorverem (atraírem para sua superfície) certos elementos químicos;
→Argilo-minerais, óxidos secundários de ferro e manganês, matéria orgânica e colóides.

Velocidade da corrente;

Armadilhas;

pH e Eh

Os produtos do intemperismo são os (a) Constituintes solúveis: K+, Fe+3, Ca++, etc.; (b) Constituintes insolúveis: Argilo-minerais, óxidos secundários de Fe, Mn e Al , etc.; (c) Resistatos: Óxidos – Cassiterita, rutilo, cromita, ilmenita etc.; Silicatos – Quartzo, zircão, berilo, turmalina etc.; Fosfatos- monazita etc.; Elementos nativos- Ouro, diamante etc.

V.6 - Associacões Geoquímicas

Os Depósitos minerais, quase sem exceção, são polimetálicos, ou seja, um conjunto de elementos quimicamente afins está reunido no mesmo depósito e por isso formam as Associações Geoquímicas (reveja o Capítulo I, item I.4 e também a Tabela I.8). Conforme mencionado no Capítulo I essa relação de afinidade entre os elementos químicos possibilita a pesquisa de minerais mais raros. Assim, a Pesquisa Mineral enfoca o elemento mais abundante em Associação Geoquímica com aquele mais raro ou de dispersão mais restrita. Este é o **elemento farejador** ou Indicador (*pathfinder*) – ver na tabela I.9 relação de alguns elementos farejadores.

Elemento Farejador ou Indicador é o elemento que ocorre no depósito mineral em estreita associação com o elemento que se procura (principal = valor econômico). São qualidades que justificam sua utilização em lugar dos elementos principais: (a) Relativamente móveis e conseqüentemente mais facilmente encontrados; (b) Mais fáceis de serem determinados analiticamente; (c) Formam halos de dispersão mais extensos e mais intensos;

V.7 - Províncias Geoquímicas X Províncias Metalogenéticas

Grosso modo as Províncias Geoquímicas são áreas relativamente grandes, bem definidas na crosta terrestre e de composição química distinta, enquanto as Províncias Metalogenéticas são áreas caracterizadas pela abundância incomum de um certo metal de minério através de um grande segmento da crosta terrestre. Uma província metalogênica é, simplesmente, uma manifestação de uma província geoquímica.

Uma província geoquímica pode ser definida como um segmento, relativamente grande, da crosta terrestre, no qual a composição química é significativamente diferente da média. Províncias geoquímicas são, na maioria, comumente manifestadas por suítes de rochas ígneas, nas quais todos os membros são relativamente ricos ou, relativamente, empobrecidos em certos elementos químicos. Estas rochas, necessariamente, não precisam ser da mesma idade. De fato, um dos critérios de uma província geoquímica autêntica é que as peculiaridades químicas características devem ser reconhecíveis em rochas que representam um período considerável de tempo geológico.

Grandes áreas da superfície terrestre também podem ser caracterizadas por uma abundância incomum de minérios de um metal particular ou de um tipo particular. Áreas deste tipo conhecido como províncias metalogênicas tem sido por longo tempo, objeto de especulação por geólogos (Turneaure, 1955).

Províncias metalogênicas podem ser o efeito de qualquer combinação de diferentes fatores. Podem coincidir com áreas que são caracterizadas por processos similares de concentração de minério, condições similares de tectonismo ou rochas hospedeiras similares. A abundância de depósitos de minério pode, contudo, ser, pelo menos em parte, o efeito de

uma abundância incomum dos metais de minério através de um grande segmento da crosta terrestre. Neste evento, uma província metalogênica é, simplesmente, uma manifestação de uma província geoquímica. Onde a província metalogênica for, de fato, coextensiva com uma província geoquímica, estudos simples da composição de elementos-traços de rochas ígneas podem ajudar na definição de áreas geográficas dentro das quais as chances para descoberta de mineral são, relativamente, boas. Particularmente, em terrenos inacessíveis ou escassamente explorados, províncias geoquímicas podem fornecer um guia extremamente útil em exploração de reconhecimento.

Uma província geoquímica, definida por uma diferença total na composição, pode ser facilmente confundida com variações na composição de rochas ígneas, ou metamórficas, devido a outras causas. Processos normais de petrogênese, começando com matérias de composição comum, podem produzir grandes volumes de rochas que diferem, substancialmente, de rochas ígneas comuns. Acidentes de erosão podem provocar produtos de diferenciação não representativos que afloram na superfície mais comumente do que outros membros da mesma suíte ígnea. Similarmente, a história tectônica de uma área pode ter resultado na introdução de grandes volumes de rochas ígneas normais, porém nas representativas, tais como basalto ou peridotito, para dar uma composição aparente que difere da média para a crosta terrestre. Os resultados destes processos, enquanto produzem uma distribuição superficial de rochas que, materialmente, divergem da média, não refletem diferenças absolutas na composição e, assim, não são províncias geoquímicas no sentido exato da palavra.

Uma província geoquímica pode ser indicada por rochas de distribuição vasta que, dentro de uma área bem definida, apresentam uma variação característica em teor de elemento menor. Corpos intrusivos dispersos de diabásio, por ex., podem ser distribuídos numa escala continental. Possivelmente, uma área restrita dentro do padrão grande pode ser encontrada, onde todas as intrusões diabásicas contêm 4 vezes mais Ti, por ex., que intrusões similares Fora da área. Uma ocorrência de diabásio rico em Ti deste tipo seria, então, uma indicação de uma província rica em Ti, pelo menos no que diz respeito a composição de diabásio.

A origem de províncias geoquímicas está além do escopo desta discussão. Indubitavelmente, algumas províncias geoquímicas refletem variações na composição primitiva da terra. Outras províncias podem ser o efeito de diferenciação química de áreas muito grandes, como um resultado de processos sedimentares, seguidos de reconstituições posteriores dos sedimentos.

V.8 – Etapas e Níveis dos Levantamentos Geoquímicos

Os Levantamentos Geoquímicos envolvem, em geral, quatro etapas, a saber: Pré-Levantamento de Campo, Levantamento de Campo, Retorno à Base de Operações e Pós-Levantamento.

Na **etapa Pré-Levantamento de Campo** o deslocamento das equipes de amostragem deve ser precedido pela: (a) Preparação do material e documentos de campo; (b) Preenchimento de um controle do fluxo da amostragem geoquímica, desde o momento da coleta até o envio ao laboratório; (c) Reprodução de cópias heliográficas do mapa preliminar de trabalho em número suficiente para todos os amostradores; (d) Transferência das estações de amostragem programadas para o GPS; (e) Numeração antecipada dos sacos de amostragem, com pincéis atômicos ou tinta indelével; (f) Aquisição de materiais de consumo, como fitas plásticas, tintas *spray,* papel medidor de pH, bússolas, balizas, pás, enxadas, etc. (ver mais algumas indicações de material de campo no Capítulo III, item III.5).

Na **etapa de Levantamento de Campo** se reserva o(s) primeiro(s) dia(s) de campo para atividades de reconhecimento (principalmente quando se tratar de levantamento em escala regional ou de semi-detalhe), o que possibilitará a verificação dos principais acessos e feições geográficas importantes, que servirão de auxílio à navegação e para a localização das estações de amostragem. A título de sugestão se possível fazer todas estes trilhas e salvar no GPS. As amostras podem ser armazenadas em sacos de algodão cru ou plástico. Os sacos de plástico apresentam a desvantagem de não permitirem a secagem da amostra, o que pode ocasionar modificações no modo de ocorrência de certos elementos, caso a armazenagem úmida perdure por muito tempo. O transporte desde a estação de amostragem até a base de campo deve ser feito em dupla embalagem, colocando-se o saco de pano dentro de um saco plástico individual. Esse procedimento elimina a possibilidade de contaminação pelos fluidos expulsos das amostras ainda molhadas. A localização e identificação da estação de amostragem devem ser precisas para permitir a reamostragem ou identificação, no caso de verificações ou detalhamentos. Porém em muitas empresas a coleta se dá diretamente em sacos plásticos.

Em malhas regulares, o piqueteamento da linha-base e linhas transversais deve ser feito com cuidado. No caso de malhas irregulares, algumas amostras devem ser materializadas no terreno por meio de estacas identificadas. O conhecimento da topografia local é de enorme valia para os trabalhos de interpretação. Caso não existam mapas topográficos, um Levantamento Expedito (ver Capítulo III) como nivelamento com GPS poderá esboçar o modelo do terreno. As anotações de campo devem considerar a identificação da amostra, suas coordenadas, a profundidade de amostragem, a descrição do material amostrado e quaisquer outras informações acerca do tipo de solo, situação topográfica, possibilidades de contaminação, etc. A preparação das amostras é iniciada ainda na base de campo, através de uma pré-secagem para um transporte seguro. Em quase todas as regiões brasileiras e na maioria das épocas do ano, a pré-secagem pode ser feita pela simples exposição dos saquinhos ao ar livre. O aquecimento das amostras na base de campo deve ser evitado, pela impossibilidade de controle da temperatura, o que pode inutilizar as amostras para a dosagem de elementos voláteis como o Hg.

Na **etapa de Retorno à Base de Operações** os coletores deverão executar as seguintes atividades, após cada jornada de amostragem: (a) Conferir as amostras coletadas contra as fichas de campo e, quando possível, pendurá-las num varal protegido para secagem; (b) Registrar as amostras coletadas no mapa de trabalho, assinalando as eventuais alterações na localização das estações de amostragem; (c) Registrar as amostras coletadas em uma lista de controle de amostragem; (d) Preparar as amostras duplicatas (as duplicatas são também coletadas no campo concomitante à amostra da estação de amostragem – ver adiante em "Controle de Qualidade da Amostragem"); (e) Organizar o material de trabalho e as tarefas do dia seguinte; (f) No encerramento da campanha, conferir a relação das amostras coletadas com a listagem de controle de amostragem.

Na **etapa de Pós-Levantamento**, com o encerramento da campanha de amostragem e com o retorno das equipes de coleta ao escritório, caberá ainda aos coletores: (a) Conferir as amostras coletadas; (b) Introduzir tantas amostras-padrão e "*blancks*" quantas forem os lotes estabelecidos para controle (ver a seguir em "Controle de Qualidade da Amostragem"); (c) Encaminhar ao geólogo ou geoquímico responsável pelo projeto as amostras, as fichas de campo, as listagens de controle de amostragem, base de dados e mapa-base de campo; (d) As fichas de campo deverão estar cuidadosamente preenchidas, pois a precisão das informações registradas será de inteira responsabilidade do amostrador.

Quando a base de campo dispuser de local apropriado, a secagem e a peneiração podem ser efetuadas, mas sempre cercadas dos maiores cuidados para evitar contaminação. Esta pode ocorrer pelo uso descuidado dos recipientes de secagem, ou quando estes forem construídos de material inadequado ou pelo uso de peneiras com malha de latão (contaminação de Zn e Cu); as peneiras com malha de náilon são as mais seguras. Os procedimentos analíticos serão determinados pelos resultados dos **estudos orientativos** (*conjunto de procedimentos que visam determinar a melhor forma, técnica, metodologia de coleta e análise geoquímica de amostras. Esses procedimentos envolvem, entre outros, a coleta de várias amostras de diferentes locais, utilizando várias maneiras, diversas análises químicas por diferentes métodos, etc., etc., etc., para ver o mais adequado ao Levantamento Geoquímico da Área*) ou então pelo conhecimento prévio das condições da área. *Muita atenção deve ser dispensada á presença de qualquer material estranho (rochas, minerais, sacos de defensivos ou fertilizantes, etc.) que for encontrado durante os deslocamentos no campo.* Finalmente, há que considerar que a posição das estações de amostragem, previamente planejadas, tem uma razão técnica de ser e, portanto, sua localização não deverá ser alterada durante a coleta, salvo raríssimas exceções e somente por decisão do geólogo ou geoquímico responsável pelo projeto.

Uma campanha de Exploração Geoquímica deve levar em consideração os seguintes passos:

1. Seleção dos métodos, dos elementos de interesse, da sensibilidade e a precisão necessárias e da rede de amostras. As seleções se toma com base nos custos, nos conhecimentos

geológicos, na capacidade do laboratorio disponível e numa investigação preliminar ou nas experiências com áreas parecidas.

2. Programa de amostragem preliminar, que inclui análises imediata de algunas amostras tomadas na superficie e em varias profundidades no subsolo para establecer as margens de confiança e para avaliar os factores, que contribuem para o ***ruído de fundo***. "CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA"

3. Análises das AMOSTRAS no terreno e em laboratório, incluindo análises por meio de vários métodos.

4. Estatísticas dos resultados e evolução geológica dos dados tomando em conta os dados geológicos e geofísicos.

5. Confirmação de anomalias aparentes, amostras canalizadas em áreas menores (rede de amostras com espaçamento curto), análises das amostras e avaliação dos resultados.

6. Investigação cruzando informações das amostras e análises adicionais e amostras tomadas na etapa anterior.

Segundo Closs L.G. (1986), uma campanha de exploração geoquímica se constitui em quatro componentes básicos, que levam em consideração os seguintes aspectos:

1. **Concepção** ⇒ Tipo de alvo ou mineralização procurado, a escala e o tipo de trabalho, as condições fisiográficas acerca do tipo de intemperismo e solo, o material disponível para amostragem, a mobilidade dos elementos de interesse e as técnicas analíticas mais adequadas e disponíveis.
2. **Amostragem** ⇒ Técnicas de campo, registro de parâmetros descritivos de campo, representatividade da amostragem e quantidade e densidade média de amostras por unidade de área.
3. **Análise** ⇒ Preparação das amostras, análise química, qualidade dos dados analíticos e forma de registrar os resultados.
4. **Interpretação** ⇒ Classificação dos dados, apresentação dos dados, comparação com outros tipos de dados, como geofísica ou unidades litológicas, identificação das áreas consideradas como prioritárias para o detalhamento das informações e continuidade dos trabalhos de exploração.

Os Níveis de Levantamento Geoquímico **são classificados em função da escala de trabalho, podendo ser Regional (ou de Reconhecimento) e Detalhe, sendo que alguns autores indicam ainda o de Semi-detalhe, de escala intermediária em relação ao Regional e de Detalhe.**

O Levantamento Geoquímico Regional tem por finalidades ou características: (a) de investigar áreas pouco conhecidas ou desconhecidas; (b) Fornecer indicações favoráveis a existência de depósitos; (c) Áreas de milhares de quilômetros quadrados; (d) Baixa densidade de amostragem: 1/km2 até 1/200km2; (c) Baixo custo; (d) Informações areais: ***Sedimento de Corrente e Água*****;** (e) Escalas: ***1:1.000.000, 1:500.000, 1:100.000, 1:50.000***

O Levantamento Geoquímico de Detalhe tem por finalidades ou características: (a) Finalidade de localizar e delimitar mineralizações com a máxima precisão possível ; (b) Antecede a fase de abertura de trincheira, poços, sondagens etc.; (c) Pode preceder a fase de reconhecimento ou não; (d) Áreas menores; (e) Alta densidade de amostragem; (f) Alto custo; (g) Informações pontuais: ***Rocha, Solo e Vegetação;*** (h) Escalas: ***1:5.000, 1:2.000, 1:1.000, 1:500, 1:100, 1:25***

TABELA IV.3 - CARACTERÍSTICAS DOS NÍVEIS DE LEVANTAMENTO REGIONAL E DETALHE

DENSIDADE	**FINALIDADES**	**ANÁLISES**	**MATERIAIS**
1/50-200km²	⇒Delimitar províncias geoquimicas. ⇒Distinguir e diferenciar unidades litológicas regionais ⇒Não identifica mineralizações. ⇒Primeira avaliação	Geralmente analisa vários elementos - 50	**Sedimento de corrente Água**
1/10-50km²	⇒Detectar particularidades nas provícias geoquímicas menores ⇒Determ. mineralizações de grande porte (Sn em granitos, Cu pórfiro, Nb em carbonatitos)	30 elementos	**Sedimento de corrente Água**
1/2-10km²	⇒Mais utilizada. ⇒Reconhecer e identificar sub-áreas, mas não delimita-as. ⇒Auxilia na definição de contatos geológicos	Mais de 30 e elementos específicos	**Sedimento de corrente**
1/2 km² a 5/1km²	⇒Localizar e circunscrever áreas anômalas (anomalia/background). ⇒Selecionar áreas de solo residual.	Somente elementos específicos	**Sedim. de corrente Solo**
> 5/1km²	⇒Delimitar anomalias com maior precisão. ⇒Precede abertura de trincheiras, poços, sondagens.	Elementos específicos	**Solo, Rocha Vegetação**

Para aqueles que consideram as Escalas de Trabalho Regional, Semi-Detalhe e Detalhe, na **Regional** o objetivo é detectar anomalias, na de **Semi-Detalhe** o objetivo é localizar o corpo mineralizado e na de **Detalhe** o objetivo é o delineamento e a caracterização geoquímica do corpo mineralizado da maneira mais precisa possível (espaçamentos de 1 a 100 m). A densidade de amostragem numa área de 10 a 1000 km² é de 1 amostra por 1 km² à 1 amostra por 100km². Em campanhas de Detalhe ou Semi-Detalhe os espaçamentos devem obedecer a Regularidade (COEFICIENTE DE VARIAÇÃO ESTATÍSTICA).

Deve ser utilizado todas as informações disponíveis (mapas geológicos, Geofísica, etc.) antes de decidir por um método mais caro.

V.9 – Anomalias e Paisagem Geoquímica

Anomalia é a abundância ou a concentração que se afasta do normal e cuja magnitude está acima do valor do limiar.

As Anomalias podem ser: **Significativas** - relacionadas á mineralização (Figura V.10) e **Não significativas** - relacionadas à variação litológica dentro de uma área. Algumas rochas possuem naturalmente teores elevados em determinados elementos (Figuras 1.10 e 1.12).

ANOMALIAS NÃO RELACIONADAS A DEPÓSITOS MINERAIS.

Variações ocasionais em litologias de *"bedrock"* podem resultar em padrões residuais simulando aqueles relacionados ao depósito mineral. Em kilembe (Uruguai) para solo sobre diques de diabásio, por exemplo, podem conter até acima de 250ppm de Cu e 140ppm de Ni, sendo que o valor "beckgraund" normal é 50 ppm Cu e 20 ppm Ni sobre granulitos e gnaisses. As anomalias de Cu relacionadas a mineralização de cobre-cobalto podem ser distinguidas, no entanto, por seu baixo teor de Ni e alta razão de Co:Ni. Na Rodésia, solos anômalos associados com depósitos de Cu contém mais Co do que Ni, enquanto associados com depósitos de Cu contem mais Co do que Ni, enquanto o reverso ocorre com rochas gabróicas, mas as anomalias de cobre em ambos os podem estar em torno de 150 ppm para um "background" normal de 20 a 70 ppm de Cu.

Falsas anomalias estão relacionadas às contaminações (campo e laboratório), erros analíticos, concentrações extraordinária por co-precipitação de Fe e Mn no ambiente secundário.

As maiorias dos levantamentos geoquímicos revelaram um desconcertante de anomalias uo desvios dos padrões geoquímicos que são considerados normas para a área de levantamento. Uma das tarefas mais criticas e , freqüentemente , umas das mais difíceis é a discriminação entre anomalias que deveriam ser consideradas e as que não tem significado econômico. Os padrões anômalos insignificantes geralmente caem dentro de um dos três tipos principais:

1. Padrões relacionados a certas rochas que são caracterizadas por um , teor metálico de "background" relativamente alto.
2. Anomalias devido à contaminação , como um resultado de atividades do homem.
3. Anomalias aparentes resultantes de erros de amostragem ou analíticos.

Muitos tipos de rochas são caracterizados concentrações relativamente altas de muito dos mesmos elementos que ocorrem em depósitos de minério, mas que não têm nenhuma

relação genética com o minério. Os padrões de dispersão secundária desenvolvidos do intemperismo desta rocha de alto *"background"* podem apresentar muitas das feições de padrões que derivam de minério. A discriminação entre anomalias insignificantes, resultante de rochas de alto *"background"*, e anomalias significantes, resultantes de depósitos de minério , podem ser um problema extremamente difícil. Felizmente, muitos metais em rochas de alto *"background"* ocorrem em uma forma diferente e são acompanhados por elementos associados ou minerais primários distintos daqueles que ocorrem em minérios. Onde estes contrastes em mineralogias primárias e associações são transportados para os padrões secundários, é possível desenvolver-se um critério para separar as anomalias devidas somente à rocha de alto *"background"*.

A família das rochas ultramáficas, incluindo peridotito, serpentinito e kinberlito ,é, provavelmente , o exemplo mais espetacular de rocha de alto teor *"background"*. Estas são, tipicamente , muito enriquecidas em Cr , Ni, Co e Mg . O produto de imtemperismo de rochas ultramáficas , e , assim , tem uma concentração alta de montmorilonita , e , assim, tem uma capacidade alta de troca e, possivelmente, Também um alto teor de cátions provavelmente extraíveis . A associação do 4 elementos, Cr , Ni , Co e Mg , normalmente ocorre nos padrões de dispersão secundária e serve como guia para estas rochas .A natureza atrofiada da vegetação que cresce em "solos de serpentina" é também um guia para rochas ultramáficas.

A família de rochas máficas , incluindo gabro , basalto e diabásio ou dolerito , é caracterizada por um teor relativamente alto de Fé , Ti e Cu . O ph alto associado com rochas calcárias de intemperismo pode restringir a dispersão de seu teor metálico à proporção que os padrões aparentemente anômalos no resíduo . O ácido a partir da oxidação de rochas ricas em pirita ,tais como folhelho piritico , pode ter o efeito de contrario e pode causar lixiviação acelerada de metais de rochas de composição normal e o desenvolvimento resultante de padrões hidromórficos anômalos não relacionados ao minério.

As rochas de alto *"background"* menos comum , que deveriam ser mantidas em mente ao separar-se anomalias, são folhelhos pretos , fosforitos (P , V , U, Mo, Zn), depósitos salinos (SO4) e carbonatitos (Zr , Nb , terras raras).

Fontes prováveis de contaminação metálicas surgidas das atividades humanas são muitas e variáveis . As mais comuns são lixos de minas, trabalhos mineiros antigos, operações de fusão , produtos químicos agrícolas ricos em metais , metalização de rodovia , fumaças industriais e domesticas .

A dispersão é normalmente por movimento de gravidade de partículas sólidas, material levado pelo vento ou em soluções aquosas , enquanto as plantas podem ingerir metal contaminado em qualquer estagio de sua dispersão . Os padrões de contaminações podem, assim, formar-se em qualquer tipo de ambiente clástico , hidromórfio ou biogênico .

Em padrões clásticos, os modos de ocorrência de metais contaminados são geralmente muito diferente daqueles do metal natural , embora a diferença não possa ser facilmente

detectada quando as fontes contaminadas derivam-se de produtos de produtos de pilhas de atividade antiga de mina . Na maioria dos padrões de dispersão hidromórfica e biogênica, contudo , é extremamente difícil dizer se o metal é proveniente de uma fonte natural ou artificial.

Inicialmente, a forma de padrões de contaminação é condicionada pela forma geométrica da área fonte. Na dispersão, fora da fonte caso de material levado vento, sedimento de corrente e solução aquosa, podem ser muito extensos . A característica marcante da contaminação, contudo, é o fato de que quase invariavelmente se origina na superfície do solo. Como resultado, padrões de solo são desenvolvidos mais fortemente nos (e em muitos casos confinados a) horizontes superficiais em contraste com os padrões do solo sobrejacente naturais de rochas clásticas e hidromórficas. Fora isto, contudo, a origem superficial da contaminação não precisa conduzir a nenhuma dissimilaridade com padrões hidromórficos e biogênicos, ou no capeamento ou no sistema de drenagem.

Erros de amostragem - Os processos naturais de erosão, intemperismo e dispersão secundária, comumente resultam em padrões de enriquecimento de metais de minério em áreas de valores de *"background"* que podem ser facilmente confundidos com anomalias significantes relacionadas aos depósitos de minérios. As anomalias aparentes surgidas da coleta inadequada de material naturalmente enriquecidos, podem tender a ser relacionadas a algumas feição geomorfológica reconhecível do ambiente, tal como a topografia.

Erros analíticos - Padrões anômalos de nenhuma significância com minério podem aparecer em dados geoquímicos, com resultados de erros na técnica analítica. Tais padrões, se suspeitos, podem ser eliminados simplesmente por uma analise repetida das amostras em questão. Valores erráticos isolados são imediatamente suspeitos e deveriam ser revisados. Os padrões aparentes surgidos de tendências analíticas podem ser reconhecidos, por sua associação com grupos ou series de amostras, ou através de exames individuais. Um método comumente usado de proteção contra tendência analíticas é um sistema de analise de rotina repetida para amostras selecionadas.

Em qualquer área dada, o efeito líquido de todas as forças dinâmicas, envolvidas no movimento dos materiais terrestres, refletirá no padrão total de distribuição dos elementos. Este padrão tem sido citado como "paisagem geoquímica" (*geochemical landscape*) na qual o "relevo geoquímico" é determinado por variações "geográficas" nos níveis de concentração dos elementos. O "relevo geoquímico" é definido não somente pelo contraste entre valores baixos e altos, mas também pela homogeneidade de sua distribuição.

De acordo com condições locais, a distribuição de cada unidade geológica será mais ou menos igual aos padrões que compõe a "paisagem geoquímica". O reconhecimento destes padrões, caracteristicamente relacionados aos depósitos de minérios, é, naturalmente, o objetivo e a função da exploração geoquímica. Com o fim de realizar isto, efetivamente, é necessário primeiro determinar-se o "background" relativo às rochas não mineralizadas.

Valores de *"background"* normais – a abundância normal de um elemento em

material não mineralizado (estéril) é comumente referida como *"background"*. Para qualquer elemento particular, o valor de "*"background"* variará, consideravelmente, de acordo com a natureza do material no qual ocorre. Além disso, a distribuição de um elemento em qualquer classe particular de material é, raramente, uniforme. Assim, é mais realístico ver o *"background"* como um valor relativo (variável) do que como um valor absoluto. Isto é verdadeiro mesmo num ambiente relativamente uniforme. A própria natureza do ambiente, contudo, pode também ter influência marcante na distribuição; nele, sob certas condições, alguns elementos podem ser enriquecidos ou empobrecidos. Conseqüentemente, qualquer que seja o material envolvido, é necessário sempre se determinar a variação do *"background"* numa nova área.

Como um guia para a ordem geral de magnitude de valores do *"background"* que podem ser separados nas rochas é interessante fazer referência aos dados que foram copiados na composição de rochas ígneas comuns (tabela 6). A composição de muitos tipos de rocha, contudo, difere, substancialmente, da média, no que diz respeito aos elementos menores e aos constituintes maiores. Por ex: rochas ultramáficas são caracterizadas por um alto teor de Cr, Ni e Co, e algumas rochas graníticas contem quantidades acima da media de Li e Rb.

Para muitos elementos, a composição de solo residual e "till" glacial não muito daquela das rochas das quais são muito derivados. Assim, os dados de rochas podem ser usados como uma aproximação para a composição do "background" do capeamento. Contudo, *"background"* em solos é, também, sujeito à variação apreciável, de acordo com o tipo de solo e o horizonte do solo, particularmente em perfis bem diferenciados caracterizados por enriquecimento marcante de algum constituinte, tal como óxido de ferro ou matéria orgânica. A variação de valores realmente observada em solos normais.

Distribuição estatística de valores de *"background"*- seguindo um papel polemico por Ahrns (1954), a literatura geoquímica carrega uma controvérsia no que diz respeito a distribuição estatística de elementos em rochas (chayes, 1954; Miller e Goldberg, 1955, Aubrery,1956; vistelius, 1960). Arens argumentou que a maioria das distribuições geoquímicas em rochas félsicas e máficas parece se mais lognormal do que normal, isto é, em uma representação gráfica, a curva de freqüência mostra uma distribuição assimétrica, com média geométrica dos valores ocupando posição intermediaria entre o pico da curva e a media aritmética, mas se as variáveis são substituídas pelos logaritmos, a curva apresenta o mesmo aspecto de uma curva gaussiana (distribuição simétrica), porém a abscissa correspondente ao pico da curva é ocupada somente pela média geométrica, ficando a média geométrica em posição assimétrica em relação á curva. Nas populações que apresentam distribuição normal (gaussiana) a me dia aritmética e a media geométrica são coincidentes e dividem a curva em duas partes iguais.

Podendo ou não ser generalizada a hipótese de distribuição lognormal de Ahrens, dados coletados em levantamentos geoquímicos, normalmente, mostram distribuição lognormal.

Padrões de dispersão – A classificação de padrões de dispersão como primários ou secundários, de acordo com o setor do ciclo geoquímico no qual foram formados, já foi discutida. Podem ser subdivididos em padrões singenéticos, formados ao mesmo tempo em que matriz na qual ocorrem, ou como padrões epigenéticos formados pela introdução subseqüente de metal proveniente de uma fonte exterior.

Exemplos de padrões singenéticos incluem aqueles desenvolvidos em:

1) rochas ígneas durante sua cristalização;

2) em solo residual de intemperismo e

3) "till"glacial, como material clástico mecanicamente transportado e deposi-tado por ação glacial.

Padrões primários epigenéticos são, na sua maioria, o efeito de precipitações de soluções hidrotermais ou outros fluidos nas fissuras e espaços porosos das rochas através das quais circulam. Os padrões secundários epigenéticos são formados por precipitações de material introduzido tanto por circulação de água subterrânea como por atividades de vegetais. Os diferentes tipos de padrões primários e secundários e os processos pelos quais são formados serão considerados, detalhadamente, nos capítulos seguintes.

A fim de definir o que constitui uma anomalia, tornar-se necessário estabelecer o limiar (valor que limita os valores anômalos dos valores regionais) ou limite superior de flutuação de "background" (média geométrica dos resultados analíticos em setores não mineralizados) normal. A magnitude de anomalias pode. Então, ser expressa em termos de contraste entre valores máximos e o limiar.

Algumas vezes acham-se as próprias anomalias ficam estabelecidas numa área vasta de valores de limiar mais alto do que o normal, apresentado um relevo geoquímico composto de:

1) uma planície baixa nas cercanias do limiar regional;

2) um platô de limiar local mais alto a partir do qual aumenta;

3} as anomalias como picos separados.

Nestas circunstancias, o contraste de anomalias é baseado no valor limiar local. O reconhecimento de limiar regional e local pode ser extremamente importante na prospecção, já que pode, então, ser extremamente importante na prospecção, já que pode, então ser possível limitar a procura de picos de anomalias aos platôs de limiar local alto delimitado por reconhecimento preliminar.

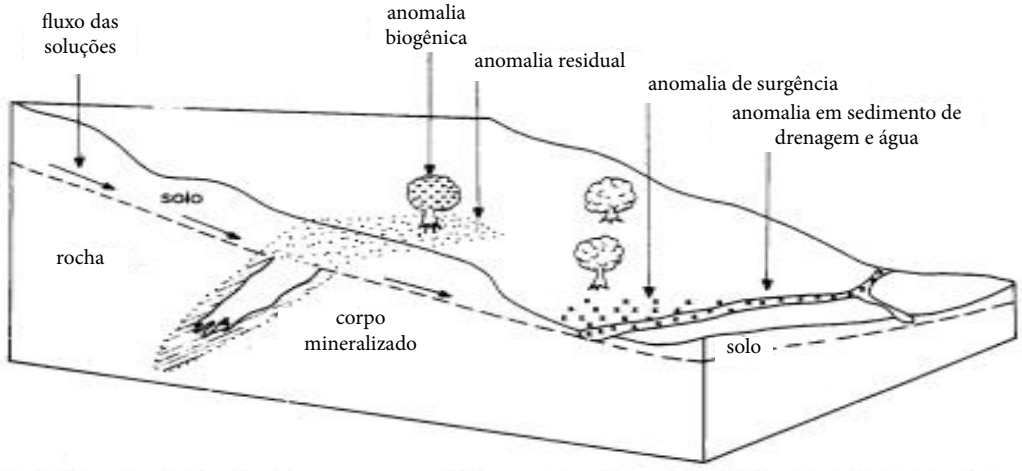


Figura V.10 – Modelo simplificado do processo de formação dos principais tipos de anomalias geoquímicas no ambiente supergênico. Segundo Hoffman e Thompson (1986).

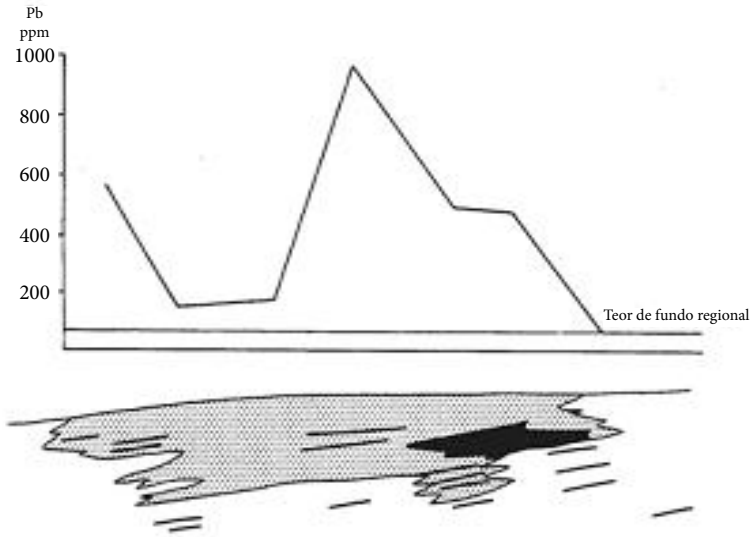


Figura V.11 – Comparação do teor de fundo regional do membro Vargas com o teor de fundo local da jazida Santa Maria, RS. Segundo dados da Cia. Brasileira do Cobre (inéditos)

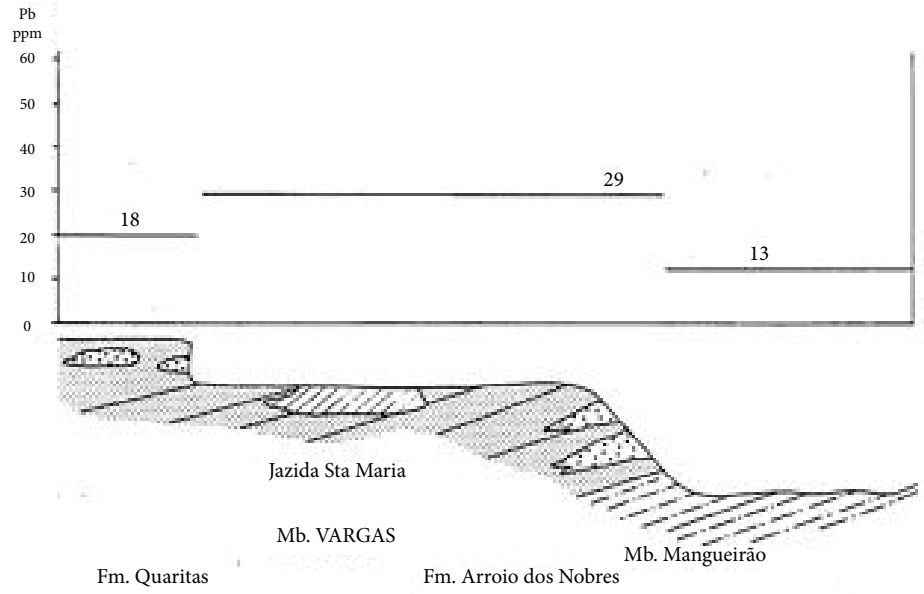


Figura V.12 – Teores de fundo em Pb de três unidades litoestratigráficas diversas na região das minas do Camaquá, Janela Bom Jardim, RS. Segundo dados da Cia. Brasileira do Cobre (inéditos)

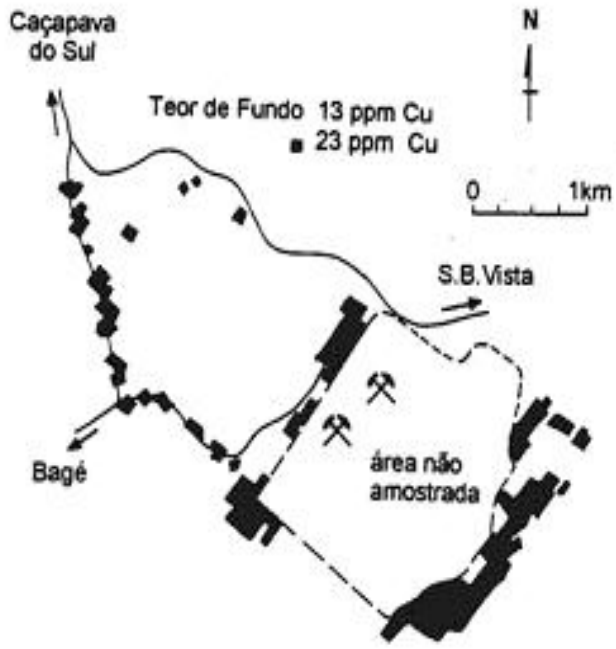


Figura V.13 – Contaminação ao longo do leito de uma rodovia abandonada e que serviu ao transporte de concentrado de cobre das minas do Camaquã, RS. Notar o alinhamento de pontos anômalos seguindo o traçado da estrada. Segundo dados da Cia. Brasileira do Cobre (inéditos).



Figura V.14 - Amostragem se solos em profundidade constante e no horizonte correto. Observar a eliminação de anomalias no primeiro caso. Segundo Elliot (em Bradshaw, Clews e Walker, 1972). Em (a) Amostras coletadas a profundidade constante principalmente no horizonte A e (b) Reamostragem do Horizonte B.

V.10 - Contraste Geoquímico

Contraste geoquímico de uma anomalia expressa sua magnitude como sendo a razão entre o valor da anomalia e o teor normal médio, ou até mesmo o limiar.

O contraste em teor metálico entre as anomalias geoquímicas secundárias e o "background" normal depende de um grande número de fatores. Estes incluem (1) o contraste primário entre minério e rocha e rocha encaixante, (2) a mobilidade relativa de elementos no ambiente de dispersão e (3) diluição com material estéril. O contraste primário varia amplamente para os metais e classes de depósitos minerais diferentes. Em anomalias clásticas, o contrate primário é preservado numa proporção por elementos imóveis, tais como Sn e Be, do que por elementos mais móveis. Tais como Zn e Cu, que São mais susceptíveis à lixiviação. No entanto, mesmo com os elementos mais móveis, o grau de lixiviação é determinado pela intensidade do intemperismo, a proporção de fluxo de água, o pH e muitos outros fatores que participam da formação de padrões de dispersão. Estes mesmos fatores influenciam o contraste apresentado por anomalias hidromórficas. Em águas, o contraste também é uma função da mobilidade já que, outros fatores sendo iguais, o contraste maior é mostrado por elementos que possuem a maior mobilidade. Os elementos móveis, que são susceptíveis à precipitação com mudanças, desde moderadas até críticas, nos ambientes químicos e biológicos tendem a dar o melhor contraste em solo hidromórficos e em anomalias de sedimentos.

O contraste em anomalias de plantas depende, até certo ponto, do contrate metal disponível no solo da zona da raiz. A disponibilidade de um elemento para as plantas é, freqüentemente, um reflexo aproximado de sua mobilidade no sentido mais geral. Em anomalias de solo biogênico, por outro lado, o contraste é governado pelo teor metálico da vegetação atual, sujeita somente à modificação, numa proporção maior ou menor, por acumulação ou lixiviação, do metal biogênico durante o curso da formação do solo.

A diluição, conseqüente da mistura com material estéril, é, essencialmente, um problema local, embora o efeito seja sujeito a ser marcante em alguns ambientes do que em outros.

Falando de maneira geral, a diluição rápida de uma anomalia distanciada da fonte é mais séria com um mecanismo de dispersão vigorosa e com um fornecimento abundante de material estéril no ponto de origem do padrão de dispersão. Assim, a diluição e uma redução resultante em contraste são características de dispersão glacial e fluvial, e é menos severa com solos residuais em terrenos planos.

Idealmente, o objetivo de um levantamento de exploração geoquímica é detectar somente aqueles somente aqueles padrões de metal derivados de depósitos minerais. Se for possível excluir a parte do teor metálico total que não é relacionado à mineralização, então o contraste de anomalia será grandemente aumentado. A análise fracionada é mais indicada para levantamentos de padrões epigenéticos tanto hidromórficos como biogenéticos, onde o metal introduzido normalmente é mais prontamente extraível do que o componente original. Mesmo em anomalias singenéticas, contudo, o metal derivado de minerais de minério pode ocorrer em forma diferente daquela da rocha fonte, embora para muitos metais a divisão seja, geralmente, menos marcante ou não seja tão prontamente detectável por analise parcial.

V.11- Principios de Interpretação de Dados Geoquímicos

Os desenvolvimentos de um sistema efetivo de interpretação de dados geoquímicos envolvem uma consideração de populações múltiplas de dados. Minério ou minério potencial é somente um de um grande número de fatores genéticos que participam do desenvolvimento do padrão geoquímico total ou da passagem geoquímica. Estes incluem uma variedade de fatores comuns, ou normais, que contribuem para irregularidades menores, em áreas de *"background"*, juntos com fatores mais raros que aumenta os padrões que desenvolvidos as sua escassez relativa são considerados anômalos, cada um desses deixam suas marcas registradas num padrão total.

O teor de Ni de solo residual fornece um exemplo ilustrativo de populações múltiplas. Em solos sobre granito ou folheto homogêneo o teor de Ni será, provavelmente, um pouco mais alto e uniforme; e sobre serpentina poderá ser muito alto e um pouco errático; e sobre depósitos de sulfeto de Ni poderá ser muito alto e muito errático. O teor de Ni de solos, em uma área na qual ocorra somente uma destas rochas, apresentará média e desvio padrão

característicos. Uma área apoiada por mais de um dos tipos de rochas mencionadas, onde cada população corresponde a uma das rochas fontes contrastantes, conterá uma população múltipla de valores Ni. Devido às diferenças surpreendentes nas médias e desvios padrões dos associados, em muitos casos serão imediatamente reconhecíveis através da simples inspeção do mapa geoquímico.

Este exemplo naturalmente é raramente simples. Mais comumente, a escolha de populações múltiplas é impedida pela extrema dificuldade, primeiro em reconhecer a existência de mais de uma fonte de metal e, depois, em determinar o valor limiar através do qual os membros d e cada população são definidos.

Um valor totalmente seguro para limiar só pode vir de um estudo orientativo numa área de geologia e mineralização conhecida, conduzido e interpretado por um geólogo experimentando em interpretações geoquímicas. Por enquanto não ha substituto real para uma estimativa visual competente, baseada numa comparação dos padrões geoquímicos dados por uma série de valores de limiar experimentais , correlacionados com a distribuição conhecida de metal na "bedrock" .

Infelizmente, para muitos problemas de exploração, áreas apropriadas para estudos orientativos, ou estão em falta, ou não são completamente apropriadas. Aqui, os níveis de Limiar escolhidos, baseados em análises qualitativos simples dos dados, poderão precisar de confirmação posterior antes que seja feita a interpretação. Para problemas desta natureza, aproximações estatísticas e semi-quantitativas e quantitativas estão atraindo cada vez mais a atenção e mostram esperança de ter um campo considerável de aplicação na interpretação de dados geoquímicos. Deveria ser salientado, entretanto, que métodos estatísticos deveriam ser usados, exclusivamente, co mo um guia disciplinar e nunca como um substituto para avaliação qualitativa. Visto que a aproximação estatística é baseada nos mesmos princípios usados na apreciação subjetiva, talvez mereça alguma explicação.

A distribuição estatística de um elemento num tipo particular de amostra pode ser apresentada como um histograma simples ou diagramas em barras, no qual a freqüência de valores é plotada "versus" a concentração em papel gráfico normal. Se os dados são de uma única população e normalmente distribuídos, a representação mostra simetria com disposição em forma de sino. Distribuições lognormais dão um desvio positivo quando plotadas desta maneira, porém serão simétricas se plotadas em papel logarítmico. Distribuições de freqüência podem também ser examinadas usando-se papel gráfico especial conhecido como papel de probabilidade no qual plotando-se a concentração "versus" a percentagem cumulativa de freqüência, obtem-se uma linha reta se a distribuição de freqüência for normal. Distribuições lognormais resultarão em linhas retas quando as concentrações forem plotadas logaritmicamente.

Desvios a partir de distribuições normais e lognormais, respectivamente, aparecerão como curvas nas linhas traçadas.

Onde os dados forem feitos de duas ou mais populações contrastantes, cada uma distribuída normalmente ou lognormalmente, o traçado de freqüência cumulativa resultante não será reto, mas mostrará intervalos ou inflexões conforme ilustrado pela curva A+B.

Para uma única população de valores que são distribuídos simetricamente (tanto normalmente como lognormalmente), o limiar para este material pode ser, convencionalmente, obtido como a média mais duas vezes o desvio padrão, isto equivale a dizer que no ex: somente uma em quarenta amostras de *"background"* excederá o teor de limiar, visto que somente uma em 667 amostras de *"background"* excederá a media mais três vezes o desvio padrão.

Com pequenos corpos de dados de *"background"* de população única, ou onde a distribuição estatística foi regular, provavelmente, a melhor aproximação é tirar o valor médio como "background" e estimar o limiar como este valor o qual é inserido por não mais do que 2, 5% do numero total de observações, exceto os valores erráticos marcantemente altos .

Muito mais trabalho permanece para ser feita a investigação de métodos estatísticos de tratamento de dados geoquímicos, antes que sua finalidade máxima e utilidade possam ser determinadas. Particularmente, é necessário que o efeito de erros de amostragem e analíticos seja totalmente considerado. Dever-se-ia enfatizar que embora as estatísticas possam ajudar na apresentação e análises de dados geoquímicos, não pode fornecer a interpretação. Uma interpretação confiável de anomalias em termos de minério requer uma combinação de experiências humanas complexas e uma capacidade para reconhecer correlações geométricas significativas. Análises matemáticas puros, entretanto, provavelmente não substituirão os talentos interpretativos subjetivos dos geólogos de exploração, por algum tempo.

V.12 - Principais Métodos da Geoquímica de Exploração

Dependendo dos objetivos do trabalho de exploração mineral, a amostragem pode ser de Sedimentos de Corrente, Solo (Pedogeoquímica), Rocha (Litogeoquímica), Botânica (Biogeoquímica), Água (Hidrogeoquímica) ou ainda Concentrado de Batéia.

Em qualquer um dos métodos acima listado devemos responder as seguintes questões:

- Onde, O que e Como coletar a Amostra?

- Qual o tamanho da fração a analisar?

- Qual o método analítico a utilizar?

O Estudo Orientativo visa responder essas questões. Nos casos de amostragens para quantificação de Reservas Minerais essas respostas podem ser dadas pela Estatística (ver Classificação das Reservas Minerais Quanto a Regularidade - INTRODUÇÃO - 8a PARTE e em Litogeoquímica a seguir). Nos demais casos essa é uma questão mais complicada e depende de vários fatores (expectativa quanto ao tamanho do Depósito Mineral, foco/ objetivo dos trabalhos, Geologia do Depósito, Padrões de Dispersão etc).

‘TABELA V.4-CARACTERÍSTICAS DOS NÍVEIS DE LEVANTAMENTO REGIONAL E DETALHE

	FINALIDADES	**ANÁLISES**	**MATERIAIS**
1/50-200km²	⇒Delimitar províncias geoquímicas. ⇒Distinguir e diferenciar unidades litológicas regionais ⇒Não identifica mineralizações. ⇒Primeira avaliação	Geralmente analisa vários elementos - 50	**Sedimento de corrente Água**
1/10-50km²	⇒Detectar particularidades nas provícias geoquímicas menores ⇒Determ. mineralizações de grande porte (Sn em granitos, Cu pórfiro, Nb em carbonatitos)	30 elementos	**Sedimento de corrente Água**
1/2-10km²	⇒Mais utilizada. ⇒Reconhecer e identificar sub-áreas, mas não delimita-as. Auxilia na definição de contatos geológicos	Mais de 30 e elementos específicos	**Sedimento de corrente**
1/2 km² a 5/1km²	⇒Localizar e circunscrever áreas anômalas (anomalia/ background). ⇒Selecionar áreas de solo residual.	Somente elementos específicos	**Sedimento de corrente Solo**
> 5/1km²	⇒Delimitar anomalias com maior precisão. ⇒Precede abertura de trincheiras, poços, sondagens.	Elementos específicos	**Solo, Rocha Vegetação**

V.13 – Sedimento de Corrente

V.13.1 – Introdução

Esse Método é utilizado principalmente em Pesquisa Regional, onde o objetivo é definir um Alvo a ser estudado posteriormente. As amostras coletadas informam possíveis anomalias a Montante do local da coleta de amostra, pois o fundamento desse Método Geoquímico baseia-se no fato de que o sedimento de corrente reflete a composição das rochas localizadas na bacia (ou sub-bacia) de drenagem estudada.

Sedimento de Corrente é todo sedimento que está sendo transportado por uma corrente fluvial. É usado em levantamentos regionais, semi-regionais e semi-detalhe. As águas pluviais, ventos e outros fatores promovem o intemperismo e, subseqüentemente, o transporte das rochas até os córregos, riachos e rios e a partir destes, o transporte pelos sistemas de drenagem da área.

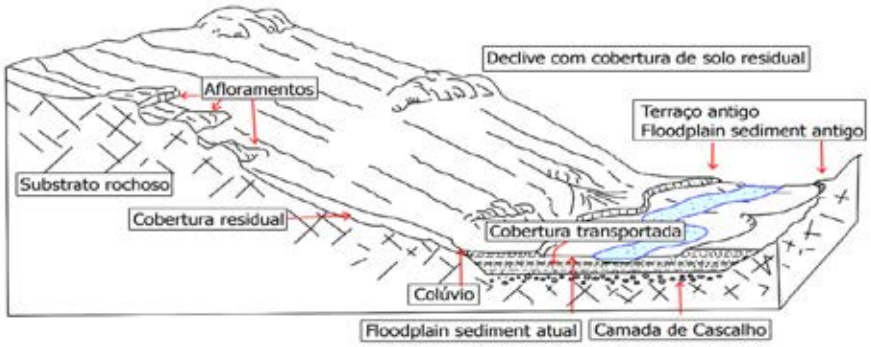


Figura V.15: Cobertura Residual (solo), Colúvio, Floodplain sediment antigo e atual (figura do Manual Técnico da área de Geoquímica da CPRM, Versão 5.0)

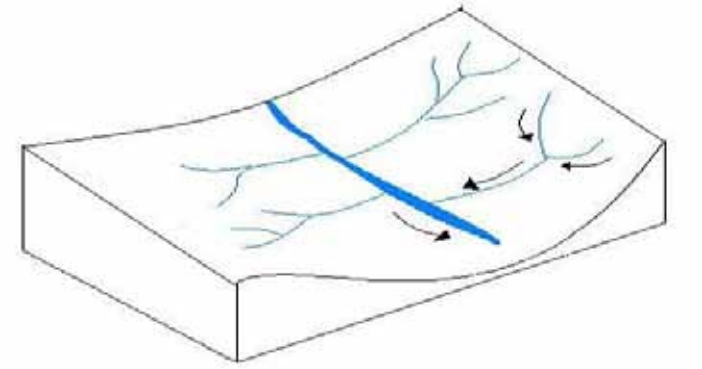


Figura V.16: Bacia de Captação

V.13.2 – Mecanismo de Formação das Anomalias

O metal contido em sedimentos de correntes anômalos pode ter alcançado sua posição atual por um ou mais de um grande número de rotas diferentes. Alguns podem ser atribuídos a erosão e transporte de solos ricos em metal, gossans, ou outros produtos anômalos de intemperismo que se originam muito perto do depósito de minério-fonte. Outros podem ser provenientes da erosão do minério. As anomalias clásticas e as anomalias hidromórficas em áreas de infiltração e nascentes ou nos limites superiores da corrente. E, finalmente, algum metal pode ter sido localmente precipitado de águas correntes diretamente para as partículas clásticas do sedimento.

Os metais anômalos em sedimentos de corrente podem ocorrer como minerais de minério primários, minerais secundários resistentes e precipitados da vários tipos. Os minerais de minério primários resistentes possuem, comumente, uma alta densidade específica e, desta maneira, viajar com a fração de mineral pesado de sedimentos de corrente. Uma exceção marcante é o berilo, o qual possui, aproximadamente, a mesma densidade do quartzo e, assim, tende a viajar com os componentes minerais leves de sedimentos de corrente. Os fragmentos clásticos pesados, de material limonítico, ou outros minerais de minério secundários, também podem contribuir para a anomalia de sedimento de corrente. Os produtos intempéricos residuais de depósitos de minério, que normalmente se retêm nos componentes do tamanho de argila de solos residuais, têm a probabilidade de serem removidos, em suspensão, ao sofrer erosão. Contudo, a maioria dos sedimentos, geralmente, contém algum deste material fino, apesar da proporção ser, geralmente, muito menor do que no material fonte. Todos estes materiais, sendo, ultimamente, de origem residual, tenderão a apresentar uma baixa proporção cxMe:Me, geralmente menos de 5%.

Anomalias hidromórficas de sedimentos de consistem de material precipitado de solução aquosas, na superfície de fragmentos clásticos. O metal anômalo será, provavelmente, concentrado nas frações menores, como íons adsorvidos em superfícies minerais e matéria orgânica, em compostos metalorgânicos ou como componentes de precipitados que revestem os grãos detríticos. A proporção cxMe:Me neste material de origem hidromórfica tende a ser moderadamente alta, geralmente mais do que 5%.

Em qualquer anomalia dada, as proporções relativas destes materiais diferentes de um grande número de fatores, incluindo a natureza da fonte primária do *"bedrock"*, a origem do sedimento de corrente e o grau de separação do material dentro do canal de corrente. Por ex., minerais não portadores de sulfeto, contendo minerais como cassiterita, wolframita, columbita, pirocloro e pirocloro e berilo, comumente, produzem anomalias de sedimentos compreendidas, predominantemente, de minerais de minério primário desgastado.

O **Contraste** de anomalias de sedimentos de correntes depende do contraste primário do *"bedrock"* e, portanto, é uma função mais direta do contraste no local onde a drenagem está sendo alimentada.

Onde as anomalias de sedimentos ou de infiltração, o contraste no sedimento simplesmente, onde refletira o contraste na anomalia de solo. Similarmente, onde o padrão anômalo em sedimentos resultara da precipitação de água corrente rica em metal, o contraste de anomalia de sedimento dependera mais diretamente do contraste entre a água com valores anômalos e a de valores de "beckground". Em ambos os casos, o contraste na anomalia de sedimento de corrente diminuirá com a distância crescente, como um resultado de diluição com material estéril.

O contraste também varia com o modo de ocorrência do metal anômalo na amostra e, assim, com métodos usados para detectá-lo. Dependendo da mineralogia do minério primário, o metal anômalo de sedimentos de corrente pode ser preferencialmente concentrado na fração fina, na fração leve grosseira ou na pesada grosseira.

A maioria dos metais anômalos em sedimentos de corrente é, geralmente, concentrada nas frações mais finas. Assim, uma relação inversa entre o teor metálico e o tamanho do grão é observada em uma grande variedade de climas.

Os minerais primários resistentes, freqüentemente, tendem a ser concentrados nas frações mais grosseiras do sedimento. Um exemplo desta relação é ilustrada na fig. 19, onde o contraste maior, para Be, nas frações mais grosseiras, deve-se ao berilo, sempre que os valores nas frações provavelmente deve-se a presença de Be em minerais de argila. A maioria dos minerais de minério primários, resistentes, são relativamente pesados e tendem a ser enriquecidos na fração mineral pesada do sedimento. Assim, na prospecção para Sn e Nb, os valores relativos mais altos podem ser obtidos somente por análise de fração mineral pesada, na qual a cassiterita detritica e a columbita foram concentradas. A extensão até a qual o contraste será acentuado desta maneira dependerá da composição da ocorrência do mesmo mineral detrítico como um acessório normal das rochas hospedeiras. Assim, o "beckground" para Sn de cassiterita detritica, a qual freqüentemente ocorre no "bedrock" somente como um material de minério, pode ser relativamente baixo, enquanto que o "background" para Cr de cromita, um material que ocorre como um acessório menor em rochas ultramáficas, pode ser razoavelmente alto.

A forma geral do **Padrão de Decomposição** de anomalias de sedimentos é, aproximadamente, a mesma, tanto para anomalias devidas a minerais detríticos residuais, como a precipitação de origem hidromórfica. Os fatores principais que afetam a persistência destas anomalias são (1) o contraste na fonte, (2) o "input" de material pelo curso da corrente e (3) diluição por erosão do material na margem e por confluência com afluentes estéreis.

O teor metálico das margens ao lado do canal de corrente ativa é um fator de importância óbvia ao determinar a persistência de anomalias de sedimentos. Na maioria dos casos, este fator relaciona-se à origem aluvial ou coluvial do material de margem. A persistência de uma anomalia é amplamente determinada com correntes estéreis e pelo tamanho destas correntes relativos às correntes anômalas. Onde as margens compõem-se de coluvião derivado de encostas de vale vizinho, por outro lado, a diluição progressiva e continua da anomalia de

sedimentos começa tão logo que a corrente anômala deixa a área, a fig. 20 exemplifica a diluição de padrões anômalos por erosão de material estéril das margens.

De acordo com o modo de ocorrência do metal, o efeito de diluição pode, às vezes, ser reduzido por tratamento das amostras para separar os diluentes estéreis dos componentes anômalos do sedimento. As anomalias de mineral pesado, provavelmente, se decompõem mais rapidamente em áreas onde as rochas estéreis locais contêm minerais acessórios, pesados e abundantes, tais como magnetita, ilmenita, granada, zircão e monazita. Onde isto acontece, é possível, algumas vezes, salientar a persistência de anomalias por separações eletromagnéticas ou eletrostáticas, ou por procedimentos envolvendo ataque químico seletivo. Alguns minerais detríticos são, preferencialmente, enriquecidos na fração clástica fina de sedimentos de correntes. Os minerais detríticos leves, tal como berilo, não podem ser separados tão prontamente do Quartzo, o qual atua como o principal mineral diluente, na maioria dos sedimentos. Mesmos assim, sob condições apropriadas, o teor metálico anômalo pode ser detectável a distância apreciáveis, corrente abaixo.

Acentuação de anomalias em barreiras de precipitação – A maioria dos metais de minério tende a ser solúveis no ambiente ácido de um deposito de sulfeto oxidado. Como a acidez das águas que drenam um depósito é, progressivamente, reduzida com a distância, os metais tendem a ser precipitados como hidróxidos ou sais básicos. Assim. A distribuição de metal nos sedimentos de corrente naturalmente será condicionada, fortemente, pelo pH da água da corrente em contato com ele. O efeito nos sedimentos serão, precisamente, a recíproca disto na água de drenagem.

Já se fez referência à precipitação do metal acima da confluência de 2 correntes de composição contraste . Efeitos similares podem ser esperados em qualquer ponto pelo ponto de corrente, quando grandes mudanças no ambiente químico conseguem produzir uma barreira de precipitação.

A **homogeneidade** de anomalias de correntes de sedimentos é governada:

(1) pela distribuição dos pontos de entrada do metal no canal da corrente;

(2) pelo modo de ocorrência do metal anômalo e;

(3) por variações na natureza do sedimento ao longo do curso da corrente.

Um ponto único de entrada de metal anômalo, num sistema de drenagem, resulta numa formação progressiva de valores para um corte bem definido e nítido. Mais comumente, material rico em metal é despejado na corrente em um grande número de pontos, resultando que o padrão anomal0o na área fonte pode ser razoavelmente complicado.

A ocorrência de metal anômalo como um constituinte principalmente de um, ou mais, minerais específicos resulta numa falta de homogeneidade, tanto em amostra,

como em padrões anômalos. As amostras tendem a ser mais homogêneas onde o metal é espalhadamente impregnado através das frações mais finas, como em padrões hidromórficos.

As variações de uma amostra para outra, nas proporções relativas de material grosseiro a fino e de matéria orgânica, podem reduzir a homogeneidade química. Onde o material está concentrado nas frações silte e argila, o peneiramento para remover a areia estéril mais grossa freqüentemente suprirá algumas das irregularidades aparentes nos padrões anômalos. Padrões desiguais devido às variações em tipos de sedimentos são, na maioria das vezes, relacionados às variações locais na velocidade locais na velocidade e mo fluxo das águas correntes. Os minerais pesados grosseiros tendem a ser selecionados e concentração em profundidade em sedimentos de correntes, comumente diferente na superfície do "bedrock". Tais concentrações podem ser irregulares distribuídos no leito da corrente, de acordo com variações nas correntezas, ao redor das curvas, no curso da corrente ou pelo efeito "riffle" de irregularidades na topografia do leito da drenagem. Quando o metal ocorre nas frações finas, a homogeneidade aparente pode ser reduzida, onde a velocidade da corrente aumenta impede a deposição do material estéril grosseiro.

Variações de Tempo - Nosso conhecimento da variação do teor metálico de sedimentos com o tempo limita-se somente a 2 séries de observações sistemáticas. Uma foi um estudo do teor de cxCu dos sedimentos anômalos coletados de canais de correntes ativa na Rodésia setentrional (Govett, 1958), onde variações sazonais, acima de um fator de cerca de 3, ocorrem perto da fonte e crescem a mais 5, quando o padrão decompõe-se corrente abaixo. Esta variação, então, reduz o comprimento efetivo da linha de dispersão, durante a estação das chuvas. Acha-se que a causa desta variação sazonal seja a acumulação de material rico em metal fino, durante o período de fluxo mínimo, extremamente vagaroso, na estação seca.

Contudo, não se tem nenhuma informação, referente ao modo de dispersão do metal, ou se a velocidade possui qualquer efeito considerável na composição mecânica do sedimento.

Os padrões de metais anômalos em sedimentos de planície de inundação refletida sua distribuição nos canais abandonados. Como um regra, a parte da anomalia de planícies de inundação, que é devida aos minerais detríticos., tenderá a ser mais pronunciada junto a base do aluvião. Onde o metal anômalo é dispersado nas frações mais finas, contudo, outros fatores intervém. Normalmente, os sedimentos de planície de inundação caracterizam-se por uma proporção mais alta do material fino, e, assim, podem carregar um teor de metal anômalo maior do que sedimentos ativos de um local equivalente. Este efeito pode ser compensado pelo fato de que os sedimentos de planícies de inundação estão mais sujeito à lixiviação por água de chuva, ou por água subterrânea estéril, que entra no canal pelo lado, enquanto que o teor metálico de sedimentos ativos pode ser mantido por troca química com a água anômala.

A distribuição lateral de metais anômalos pela planície de inundação varia, de certa forma, dependendo das condições locais nos "molhes" que separam a planície de inundação

do local ativo, os valores são, relativamente, baixos comparados com os sedimentos da planície de inundação, mais finos e ricos organicamente.

O perfil de distribuição dos metais nos sedimentos de planície de inundação pode ser afetado por processos formadores de solos.

V.13.3 – Amostragem de Sedimento de corrente

A coleta de amostras deve obedecer a um planejamento prévio, onde as equipes devem ter em mente **o que coletar**, **como coleta** e **quanto coletar** em cada Estação de Amostragem. Uma idéia preliminar da área é essencial, não só da Geologia como também de Atividades Contaminantes (Agricultura, Pecuária, Indústria, Mineração ou Garimpagem, Habitações etc) – rever itens anteriores.

Sobre **Quanto Coletar**, via de regra, se estabelece que o ***mínimo de amostra a ser coletada deva ser 4 vezes maior que a alíquota a ser enviada ao laboratório para análise***. Algumas empresas recomendam pelo menos 1 litro a 2 litros de amostra de sedimento de corrente, enquanto outras chegam a recomendar 5 litros.

O Serviço Geológico Britânico recomenda, na fase de Pesquisa Geoquímica Regional, uma densidade de 1 amostra a cada 1,5 Km^2 (quilômetros quadrados) podendo sofrer um adensamento maior naqueles afluentes que apresentaram anomalias.

Outra regra é coletar amostra na confluência de rios, independentemente de uma densidade previamente pré-estabelecida, já que o objetivo é detectar anomalias a montante da Estação de Amostragem e abrangendo o máximo possível a Bacia de Captação. O não cumprimento rigoroso da densidade de amostragem poderia deixar regiões importantes sem a varredura geoquímica adequada.

TABELA V.5 – ESPAÇAMENTOS DE AMOSTRAGEM PARA LEVANTAMENTOS GEOQUÍMICOS DE SEDIMENTO DE CORRENTE (SEDIMENTO DE DRENAGEM) REGIONAIS E SEMI-REGIONAIS.

Escala do Levantamento	Intervalo de Amostragem (m)	Comprimento mínimo das drenagens	Quantidade de pontos por Km de drenagem	Amostras por Km^2
1:200.000	800	0,8	1,25	1,7 – 2,1
1:100.000	400	0,4	2,5	4,0 – 5,0
1:50.000	200	0,2	5,0	8,5 – 14,0
1:25.000	100	0,1	10,0	18,0 – 32,0

Segundo Kreiter (1968).

No tocante a **o quê coletar** existe um elenco de proposições:

(i) Algumas empresas alegam que o sedimento de corrente (solo também) deve refletir o ambiente em que foram coletadas com a maior exatidão possível. Nesses casos as amostras costumam ser de uma quantidade maior e abrangendo todo o material (aluvião, água, vegetação etc);

(ii) Outras orientam as equipes de campo a amostrarem apenas a fração granulométrica silte-argila, implicando no uso de peneiras durante a coleta.

(iii) Outras recomendam além do peneiramento para uma determinada fração, uma pré-concentração manual com uso de batéia, visando amostrar os minerais mais pesados (ver a seguir em Concentrado de Batéia).

(iv) Outras proíbem o uso de peneiras e recomendam a coleta com as mãos ou pás de plástico, com expresso cuidado para coletar somente o sedimento ativo de corrente.

As amostras podem ser **Simples**, a coleta é de apenas 01 (uma) só porção, a qual não tem representatividade e só deve ser utilizada quando não existe Sedimento de Corrente em quantidade ou **Composta**, onde se coleta várias porções em torno de uma estação de amostragem, que constituirão uma única amostra (em média em torno de 5 porções). A amostra **Duplicata** é coletada na mesma estação de amostragem, objetivando testar se está havendo erro na amostragem e/ou análise.

No local de coleta da amostra (Estação de Amostragem) deve ser marcada no mapa onde serão extraídas as amostras; Este local pode sofrer alteração. Deve abranger toda largura do canal ativo.

Os **sedimentos de corrente Inativos** são um conjunto de material que foi depositado marginalmente ao trecho de maior velocidade da corrente (canal), durante ou após o período das cheias.

Os **sedimentos de corrente Ativos** são um conjunto de sedimentos não consolidados que está sendo ou que foi transportado mecanicamente na corrente do rio, pôr saltação, tração ou suspensão, juntamente com o material quimicamente precipitado. O sedimento de corrente Ativo tem as seguintes características:

(a) é o material constantemente movimentado e misturado na zona de maior turbulência da corrente, adquirindo uma tendência à homogeneização;

(b) Material de granulação fina (areia muito fina, silte e argila) resultante da alteração das rochas de toda bacia de captação (bacia de drenagem);

(c) Sempre traz informações da montante do local da amostragem; Apresenta alto poder de adsorção, devido a grande quantidade de argilo-minerais.

Onde Coletar e **Como** também varia em conformidade com os objetivos da prospecção e em função da orientação de determinadas empresas ou chefes de equipe. O cuidado com os contaminantes, evitando-se coletar amostras onde existam atividades agrícolas, industriais, etc é uma recomendação generalizada.

Algumas empresas orientam coletar somente o Sedimento situado no Leito Ativo de Corrente (ou seja, aquele que está sofrendo transporte ou que foi transportado pelas últimas correntes) vai ao encontro dos objetivos aqui descritos de conhecer a composição química dos elementos das rochas localizadas na Bacia (ou sub-Bacia) de Drenagem (ou Bacia de Captação). Nesses casos, sempre que possível, coletar em trechos retos do canal e evitar coletar, juntamente com o sedimento de corrente, Matéria orgânica, óxidos secundários de Fe e Mn e material de colapso. Coletar nas confluências dos tributários, para melhor bloquear a área. Coletar preferencialmente nas drenagens de 2a, 3a e 4a ordem.

Entretanto, algumas empresas orientam coletar amostras compostas abrangendo todo o leito do rio, enquanto outras, objetivando os minerais pesados, recomendam a coleta na porção de deposição dos rios evitando as margens de erosão.

Em Rios profundos (>2m) deve-se utilizar Trados manuais (4 ou 6" φ), em Rios rasos é mais fácil de visualização dos sedimentos Finos. Utiliza-se Pá de plástico ou as próprias mãos e em Rios secos deve-se coletar os Sedimentos finos (silte+argila) que podem existir ou não. Na ausência de finos coleta-se uma amostra total do aluvião em maior volume.

Na Presença de finos algumas empresas aconselham a cavar cerca de 15 cm e embaixo de blocos de rochas e árvores visando pegar minerais mais pesados concentrados naturalmente. Algumas vezes processa-se um peneiramento prévio, no próprio local da coleta, da fração mais grossa, com peneira de nylon ou alumínio.

Algumas empresas realizam a Preparação de Amostra para Análise da seguinte maneira:

(a) 300 g de material coletado;

(b) Peneiramento da fração grossa, se ainda existir;

(c) Secagem em estufa a aproximadamente 60°C por 2 horas; Desagregação;

(d) Peneiramento a menos oitenta mesh (- 80#);

(e) Quarteamento e;

(f) embalagem adequada para transporte para o laboratório onde será procedida a Analise química ou mineralógica.

Esse assunto será tratado em Controle de Qualidade de Amostragem.

V.13.4 – Apresentação dos Resultados

O Mapa de símbolos divide os teores em intervalos (classes) e determina as relativas legendas. O Mapa de drenagem enlarguesce os traços das drenagens em função dos intervalos de teores (Figura V.17).

TABELA V.6 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DA AMOSTRAGEM DE SEDIMENTO DE CORRENTE

VANTAGENS	DESVANTAGENS
- Poucas amostras cobrem uma grande área; - Mostram teores (relativos) mais elevados que outros métodos (hidrogeoquímica) - Estuda um grande número de elementos. - Maior independência climática. - A análise química pode ser realizada após longo tempo de coleta.	- Não serve para prospecção de detalhe - Heterogeneidade dos aluviões

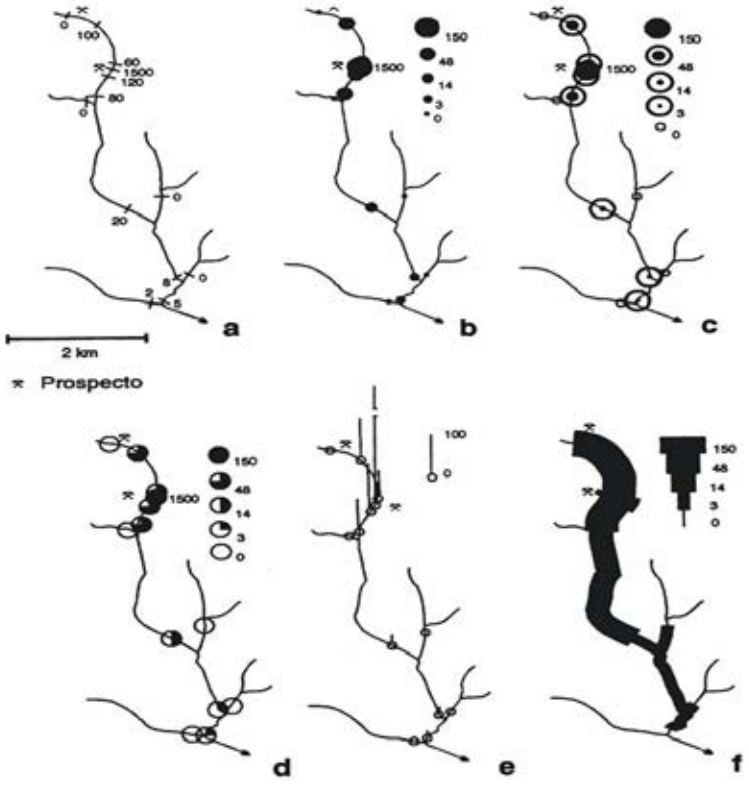


Figura V17. Exemplos de símbolos: pontuais (a – e) e diagrama linear (f) usados para categorizar anomalias em mapas de sedimentos de drenagem e água, segundo Howarth (1983)

Numa campanha regional de Sedimento de Corrente o conceito de Associação Geoquímica, Elemento Farejador é muito importante, enquanto aqueles relacionados a Cut-Off, Teor Crítico não tem muito sentido nesta fase.

V.14 - Pedogeoquímica

É o método de Geoquímica de Exploração de coleta de solo. **SOLO** é a camada que recobre as Rochas, sendo constituído de proporções e tipos variáveis de Minerais (formados por Intemperismo da rocha subjacente, a rocha-mãe) e de húmus (matéria orgânica decomposta por ação de organismos do solo).

Via de regra, após a identificação de uma anomalia por Sedimento de Corrente, o trabalho seguinte é delimitar essa anomalia através de coleta de amostras de Solo (Pedogeoquímica). Alguns já classificam essa etapa como de semi-detalhe.

O solo pode estar "*in situ*" ou ter sofrido transporte (Solo Transportado). O solo "*in situ*" é produto da alteração das rochas subjacentes efornece informações pontuais do material situado imediatamente abaixo da amostra colet. Ao contrário do Sedimento de Corrente que fornece informações do material a montante do local da coleta da amostra.

As camadas individuais são denominadas ***horizontes do solo*** e sua espessura pode variar desde alguns centímetros até mais de um metro. nimo de formação do solo ou ***pedogênese***.

⇒ Os horizontes do solo são identificados pelas letras **A**, **B**, **C** e **R**.
⇒ Os horizontes **A** e **B**, em conjunto, constituem o *solum,* ou solo verdadeiro, enquanto o horizonte **C** é o material original, parcialmente intemperizado, do qual o *solum* deriva pela ação dos processos pedogênicos.
⇒ Finalmente, o horizonte **R** é o material rochoso subjacente.

Um horizonte de matéria orgânica quase pura (0 ou A0) pode estar sobre o horizonte A.

Outra divisão do Perfil do Solo considera sua composição e modificações pelas quais passou. Segundo esta o Horizonte **A**- horizonte mais superficial, rico em matéria orgânica e com grande atividade biológica dada por uma fauna e flora própria. Horizonte **E**- de cor mais clara, devido à retirada de matéria orgânica, e óxidos de ferro e alumínio. Horizonte **B** - de cor mais escura, devido ao acúmulo do material trazido do horizonte E.

REGOLITO (= SOLO) - Capeamento natural das rochas (manto de intemperismo), inconsolidado, composto por fragmentos de rocha e solo, incluindo solo transportado, solo autóctone, depósitos residuais.

Saprolito - Horizonte C- constituído por rocha em vários estágios de alteração *in situ*, e também conhecido como saibro. No saprolito ainda é possível distinguir algumas estruturas originais da rocha, como foliação, veios feldspáticos, falhas, fraturas, gnaissificação, etc.

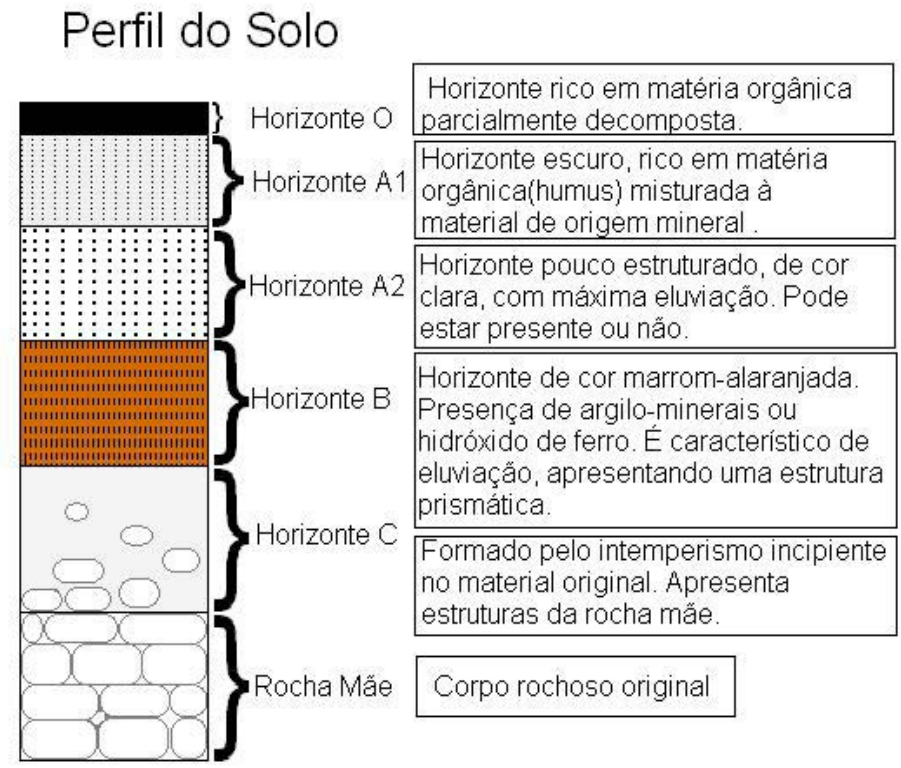


Figura V.18 – Horizontes do perfil de um solo.

Horizonte O: representa a matéria orgânica presente na superfície
Horizonte A: representa a região em que o solo perde material para as camadas mais profundas.
Horizonte B: local em que se acumulam os materiais perdidos pelo horizonte A.
Horizonte C: rocha matriz decomposta.
Horizonte R: rocha matriz não decomposta.

Geralmente as amostras de solo são coletadas segundo uma Malha pré-estabelecida com espaçamento entre as linhas de amostragem e afastamento das amostras dentro destas Linhas. As Linhas, via de regra, são perpendiculares ao "trend" principal ou a Direção do Corpo de Minério. Inicialmente realizam-se Malhas mais espaçadas para depois adensá-la caso os resultados justifiquem (**follow-up**).

Dependendo da região coleta-se apenas o Horizonte B. Em regiões de pouco solo, como no semi-árido do RN as amostras são coletadas até o nível do Saprolito com auxílio de

equipamentos como pás, picaretas, trado manual ou mecânico (dependendo da profundidade do solo). Num primeiro estágio a equipe de coordenação do Projeto pode entregar ao técnico uma planilha com as coordenadas pré-estabelecidas de coleta de amostras (no MapInfo isso pode ser feito com o "Coordinates Extractor" no Menu "Tools" e "Run MapBasic Program). O Técnico de Geologia ou de Mineração navega com GPS até a coordenada e procede a coleta. Ver Figura V.14.

No Estado do RN (e em quase todos os Estados do semi-árido do Nordeste) o solo é muito raso, dispensando o uso de equipamentos para coletas mais profundas. O padrão de dispersão e a formação de Halos, por esta razão, são mais restritos implicando, via de regra, em Malhas mais adensadas.

O espaçamento da Malha é definido pela chefia (e/ou coordenação) do projeto levando em consideração a mobilidade do elemento / dispersão e halos geoquímicos (a espessura do solo ajuda nessa definição), tamanho do Depósito e o tamanho da área identificada como anômala pelos trabalhos prévios. Se a Malha for muito aberta (espaçamento e afastamento muito distantes) corre-se o risco de perder o alvo, pois o mesmo pode estar entre as linhas ou as amostras. Se a Malha for muito apertada corre-se o risco de estar gastando recursos financeiros desnecessariamente em um alvo pouco promissor.

V.15 – Litogeoquímica

É o Método de Geoquímica de Exploração que se utiliza das rochas. Basicamente dois tipos de amostragem Litogeoquímica são realizados: Chip Sample (ou amostras de pedaços de rocha) e Amostragem de Canal (também chamada de Channel Sample). Ambas podem ser utilizadas em campanhas de amostragens sistemáticas visando a Cubagem de Reservas Minerais, entretanto, utiliza-se prioritariamente as Amostragens de Canal, conforme a espessura do minério e o coeficiente de Variação (reveja a Classificação dos Depósitos Quanto a Regularidade e as Tabelas de Amostragem de Canal).

Tanto as dimensões do canal como o espaçamento entre as amostras para que tenhamos uma amostragem representativa e apropriada ao Cálculo de Reservas Medidas é função do Coeficiente de Variação Estatístico, Espessura do Minério e objetivos da campanha litogeoquímica.

As amostras de canal são coletadas com equipamentos pontiagudos manuais ou mecânicos pneumáticos semelhantes a marteletes. Uma lona é colocada abaixo do local de amostragem para que a rocha amostrada caia sobre ele, evitando contaminações. A largura e a profundidade do canal devem seguir as recomendações estatísticas (ver tabelas II.9 e II.8) e o comprimento do canal deve ser igual à espessura da camada.

Aqui os conceitos de Teor de Corte (cut-off), Crítico, Diluído ganham em importância e, ainda mais a medida que os trabalhos evoluem visando a quantificação do Depósito Mineral. As comparações com Depósitos Padrão (ou Jazida Tipo) devem ser consideradas, desde

que a amostragem seja na Rocha Hospedeira da mineralização (metallotecte ou minério). É que às vezes a Hospedeira não é estabelecida prontamente e se faz necessário delimitar a partir do Halo de Dispersão primário. Nesse caso, ainda não cabe se pensar naqueles teores supramencionados e muito menos em quantificar o Depósito Mineral.

O Técnico de Geologia e Mineração devem acompanhar essas amostragens visando assegurar as dimensões requeridas e o espaçamento entre as amostras para que se tenha uma amostragem representativa e sem contaminação. A embalagem, a identificação da amostra, expedição para laboratório, etc. também é função do técnico.

As amostragens de Litogeoquímica podem ser realizadas em Travessas ou malhas, Afloramentos, testemunhos de sondagem, trincheiras, poços ou em trabalhos de sub-superfície (galerias, inclinados e shafts → paredes, piso e teto). Uma variação da amostra de canal é a denominada Amostra de Painel, utilizada para maior detalhamento, pois a largura é de no mínimo 2,0 metros.

Outros cuidados na amostragem de rocha do tipo "chip sample": As amostras não devem apresentar indícios de alteração, ou seja, rochas não afetadas pelo intemperismo.
Rocha homogênea (mármore, quartzito etc): coleta-se uma lasca (fragmento - chip) de rocha por estação de amostragem → AMOSTRA SIMPLES.
Para Rochas heterogêneas (gnaisses, migmatitos etc) recomenda-se coletar várias lascas de rocha na estação de amostragem (CHIP SAMPLE ou amostragem de canal).

O Volume a ser amostrado varia com a granulometria/textura da rocha.
Textura pegmatítica → > 5 cm → 5 kg
Textura grossa → 1-3 cm → 2 kg
Textura média → 1-10 mm → 1 kg
Textura fina → 0-1 mm → 0,5 kg

Geralmente as empresas de Pesquisa Mineral dispõem de um Galpão para armazenagem e Preparação das Amostras: Britagem, Moagem (pulverização) e Separação de minerais a qual é dispensada quando a análise é de rocha total (RT). O Técnico de Geologia e de Mineração é responsável por esta preparação.

As análises químicas podem ser de Rocha Total ou Minerais individuais. A apresentação dos Resultados pode ser através de Mapas de isoteores, Perfis (superficial e furos de sonda), Blocos diagramas, etc.

TABELA V. – VANTAGENS E DESVANTAGENS DA AMOSTRAGEM LITOGEOQUÍMICA

VANTAGENS	DESVANTAGENS
• Revelar depósitos do tipo "blind" utilizando-se dos halos primários	• O contraste de anomalias é baixo
• Na exploração regional, com um pequeno número de amostras pode-se identificar uma província geoquímica.	• O halo primário geralmente é bastante pequeno.

V.16 – Concentrado de Batéia

Esse método de Geoquímica de Exploração tem por finalidade obter um resíduo pesado (concentrado pesado) por meio de concentração gravimétrica utilizando uma batéia. É utilizado principalmente na procura de elementos/minerais que ocorrem como resistatos no ambiente secundário, os quais provocam realce nas anomalias. Pode ser aplicado em qualquer dos métodos anteriores, pois este método visa a concentração de minerais pesados para ressaltar possíveis anomalias. Os defensores desse método afirmam que, se o objetivo da Pesquisa Mineral é os Minerais Pesados (ouro, scheelita, tantalita, etc) o concentrado de batéia apresenta maior probabilidade de se obter resultados positivos, diminui a possibilidade de erros analíticos devido à baixa concentração do elemento procurado ou seu farejador.

Dependendo da abundância do elemento, do estágio do trabalho de prospecção, entre outros fatores, o concentrado de batéia pode oferecer informações importantes ainda no campo. A antecipação das informações favorece as tomadas de decisão e agilizam alguns procedimentos em campo.

Aqueles que argumentam contrariamente ao Método de Concentrado de Batéia explicam que o Material enviado ao laboratório é constituído dos minerais mais densos. Obviamente isso é uma grande distorção da realidade, ou seja, das características do material original. Ademais são perdidos alguns minerais leves que podem dar informações importantes da presença do metal procurado, como por exemplo, as moscovitas de pegmatito que geralmente catalisam íons de Ta ou adsorvem esse metal se o mesmo estiver presente no pegmatito. No concentrado de batéia esta informação estaria perdida.

TABELA V. – VANTAGENS E DESVANTAGENS DO MÉTODO – CONCENTRADO DE BATÉIA

VANTAGENS	DESVANTAGENS
- Análise rápida e barata – realizada com ou sem lupa – no próprio campo. - Anomalias são realçadas devido a eliminação do estéril	- Suprimento intenso e permanente de água - O transporte do volume total de amostra é desaconselhado em virtude dos grandes volumes amostrados



Figura V.19 – Aluna do IFRN bateando durante aula prática de campo (alvo – scheelita)

De qualquer forma, a aplicação de Concentrado de Batéia em Pesquisa Mineral deve levar em conta o estágio do projeto, o que se coleta, entre outras informações. A presença de Ta em muscovita pode não ter nenhum significado econômico, uma vez que a presença do mesmo como traços não excitaria o investidor a prosseguir com os trabalhos se os mesmos já se encontram na fase de detalhe ou mesmo semi-detalhe.

V.17 - Controle de Qualidade de Amostragem

Todo o trabalho de campo, recursos investidos em pessoal, infra-estrutura, equipamentos, etc., bem como o futuro do prospecto "*esbarra*" no Laudo Laboratorial dos resultados de teor de amostras coletadas.

Uma coleta mal feita, um controle deficiente das amostras, preparação das amostras (moagem, homogeneização, ataque químico, quarteamento, etc) passivas de contaminação e análises químicas (método analítico inadequado, pessoal despreparado e/ou equipamentos imprecisos) podem levar a descartar áreas promissoras ou influenciar investimentos desastrosos. Visando evitar tais problemas as empresas investem cada vez mais em Programas de Qualidade de Amostragem (bem como na capacitação de pessoal) visando a Acurácia, Precisão e a Confiabilidade da Coleta e do laboratório que analisa as amostras.

Alguns manuais recomendam simplesmente a coleta de duplicatas (também chamadas de "*replicatas*") a cada quantidade "X" de amostras coletadas. Essa quantidade "X" varia de empresa para empresa. A duplicata é enviada ao laboratório como se fosse uma amostra qualquer, ficando com o Técnico de Geologia o Controle dessas amostragens, em um Banco de Dados para posterior averiguação.

Outras empresas fazem um controle mais rigoroso no seu Programa de Qualidade. Assim, a cada "X" amostras, é enviada ao laboratório: (a) uma Duplicata; (b) uma amostra "Branca", ou seja, sem teor algum daquele elemento que se pesquisa; (c) uma Amostra Padrão onde se conhece o teor dos elementos, pois os mesmos foram analisados em vários outros laboratórios e naquele para o qual se está enviando a amostra.

Outras empresas incluem ainda amostras de concentrado de batéia visando testar a precisão do equipamento de análise.

A Planilha de Levantamento deve conter as seguintes informações abaixo listadas. Algumas podem ser omitidas e outras podem ser inseridas em função dos objetivos da campanha:

- Planilha com cabeçalho - identificação do nome da empresa, departamento etc;
- Informações sobre proveniência do Conjunto de Dados ou nome do projeto;
- Identificação da amostra
- Tipo de Amostra (sedimento de corrente, solo, etc);
- Tipo de Grid ou Referência Geográfica (Datum, Zona etc);
- Coordenadas de Localização da Amostra;
- Cota;
- Método de Obtenção de Coordenadas e Cota;

- Informações sobre a Linha e Estação de Amostragem (quando a amostragem seguir uma Malha);
- Data da Amostragem;
- Nome do Amostrador;
- Profundidade de coleta da Amostra;
- Peso da Amostra;
- Volume da Amostra;
- Nome do Alvo (Target);
- Descrição da Geologia do local de amostragem;
- Descrição das alterações (por ex: hidrotermais) do local de amostragem;
- Descrição da Cor, Textura, Vegetação, Fragmento de Rocha;
- Descrição da Litologia, Petrografia, Estrutura;
- Comprimento, Espessura, Parâmetros da Rocha. Inclusive se um desses dados é aparente ou real (por exemplo: espessura aparente);
- Tamanho dos Grãos (principalmente para sedimento de corrente e às vezes solo);
- Código de Cor (o código de cor de Munsill é bastante detalhado e utilizado para solo e sedimento de corrente – ver http://soil.gsfc.nasa.gov/pvg/munsell.htm);
- pH;
- Fonte de Dados;
- Informar se a amostra duplicata, branca, padrão ou outro tipo de amostra;
- Nome do Técnico que alimentou o banco de dados e data.

A Ficha de Controle de Amostra é mais resumida e se destina a uma breve identificação da amostra (ver figura V.20) para acompanhamento e controle. É aquela que acompanha a amostra. O Técnico de Geologia e Mineração geralmente é o responsável pelo acompanhamento e controle. Nesta ficha tem um local apropriado para o técnico indicar qual é o tipo de amostra que está sendo enviada ao laboratório. Note que, para o laboratório vai apenas à amostra e a ficha destacável abaixo com o número da amostra. Quando o relatório de análise chega do laboratório, o Técnico de Geologia alimenta o banco de dados (pode ser uma extensão daquela Planilha de Levantamento apresentada anteriormente) com as informações de teor.



Figura V.20 – Exemplo de uma Ficha de Controle de Amostra.

V.18 – Evolução Teórica de uma Campanha de Amostragem Geoquímica

A figura V.21 ilustra a evolução teórica, sob o aspecto geoquímico, de um Alvo. Primeiramente é delimitada uma região anômala a SE e a montante de uma pequena área estudada, através de sedimento de corrente. Foi considerada ANOMALIA os teores acima de 20 ppb.

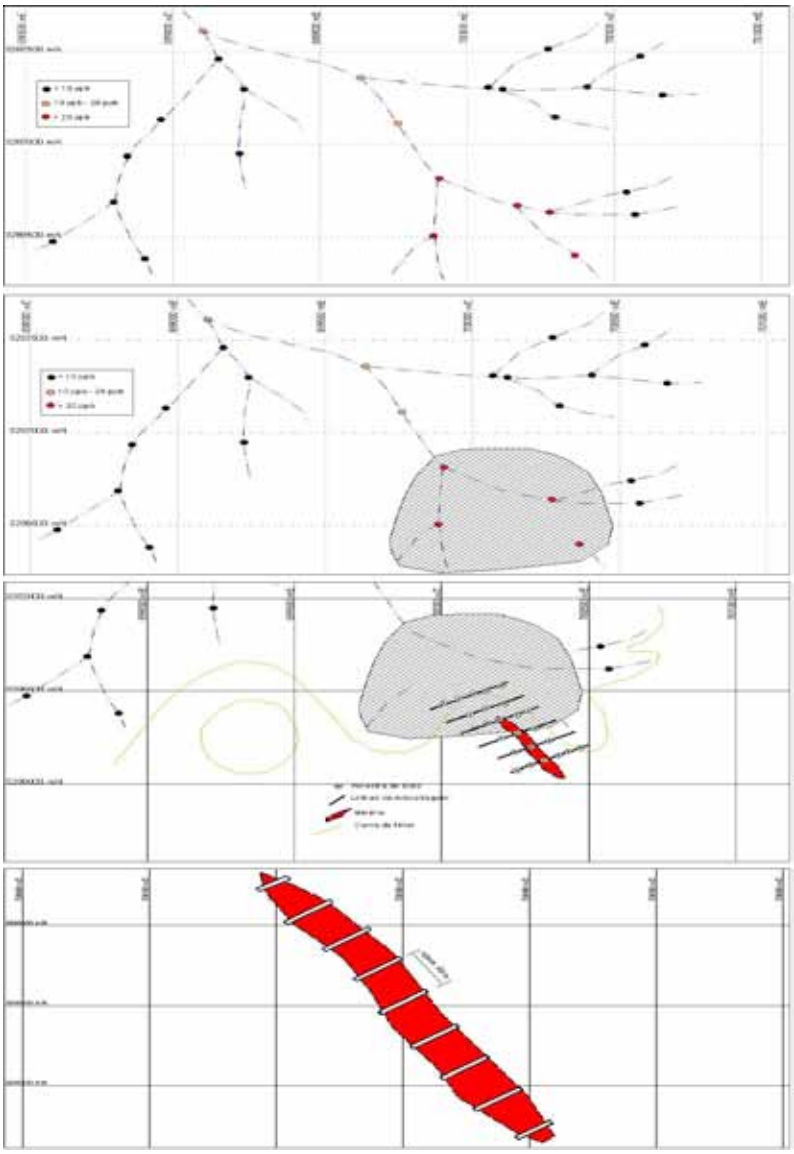


Figura V.21 – Evolução teórica de uma campanha geoquímica, desde sedimento de corrente até litogeoquímica.

Em seguida é realizada uma campanha pedogeoquímica onde um corpo de minério é localizado com Direção N 30º W o qual é paralelo ao "trend" regional. As Linhas de Solo foram planejadas tendo em vista o "trend" regional observado em fotografias aéreas e Imagens

de Satélite. A área situa-se em Caicó, Estado do RN, em pleno semi-árido Nordestino, com solo de pequena profundidade e halo de dispersão restrito, apesar da Mobilidade do Ouro nesse ambiente ser considerada alta. Os resultados de teor não estão apresentados na figura, mas espera-se, devido o ambiente geoquímico, teores elevados, muito próximos daqueles em rocha. O maior teor encontrado foi 1.350 ppb e o menor abaixo do limite de detecção (fire assay).

Localizado o corpo foi realizada uma amostragem Litogeoquímica do tipo Chip Sample numa eqüidistância de 45 m aproximadamente para, na dependência dos resultados, continuar a campanha com um *follow-up* de maior adensamento. O corpo apresenta uma extensão de 400 m e espessura aparente de 40 m. Se o teor médio estiver em torno de 1 ppm em superfície pode tratar-se de um bom prospecto. Serviços de Trincheira, Sondagem, etc serão necessários se o prospecto prosperar.

V.19 – Tipos de Análises Químicas em Pesquisa Mineral (referência: GEOSOL - LAKEFIELD)

ABSORÇÃO ATÔMICA (AA) - Determinações de metais em nível de ppm para exploração geoquímica. Dissolução das amostras de material geológico por digestão com água régia a quente, digestão multiácida (fluorídrico, nítrico, clorídrico e perclórico) ou por outras técnicas de abertura. Elementos usuais e limites de detecção (ppm) = Ag (1) Bi (10) Cd (1) Co (2) Cr (2) Cu (2) Fe(2) K (10) Li (5) Mn (2) Mo (5) Na (10) Ni (2) Pb (5) V (10) Zn (2). Limite superior de teor = 5.000 ppm (0,5%), exceto Fe (1%).

PLASMA ICP - GEOQUÍMICA MULTIELEMENTAR - Propicia dosagem simultânea de um conjunto de 30 elementos em nível de ppm. A digestão com água régia é o método preferencial por apresentar melhor sensibilidade. A digestão multiácida assegura dissolução mais eficiente da amostra, mas apresenta limites de detecção mais elevados em vista da maior concentração dos sais resultantes**.**

Determinação de 30 elementos ICP Água Régia = Ag Ba Be Cd Cr Cu Li Mo Ni Sc Sr Zn Zr Y (1 ppm) Co Pb Sb V (3 ppm) Bi Sn W (10 ppm) La B (10 ppm) Al Ca Fe K Mg Mn Na P Ti (0,01%). Limite superior 5.000 ppm.

Determinação de 30 elementos ICP Digestão Multiácida = Ag Ba Be Cd Cr Cu Li Mo Ni Sc Sr Zn Zr Y (3 ppm) Co Pb Sb V (8 ppm) Bi Sn W (20 ppm) La B (10 ppm) Al Ca Fe K Mg Mn Na P Ti (0,01%). Limite superior 5.000 ppm.

FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X - Método particularmente indicado na pesquisa de elementos que não são detectados ou não apresentam boa sensibilidade por outras técnicas. Elementos e limites de detecção (pellet de pó prensado) As (30) Sn (5) Ta (10) Ba (10) Sr (5) Th 5) Br (30) P (50) (W (10) Cs (5) Ga (5) U (10) Cl (20) Hf (10) Y (3) S (50) Nb (5) V (10) Sc (10) Rb (5) Zr (5). Limite superior 5.000 ppm.

GERAÇÃO DE HIDRETOS **- A/A** - Para detectar As, Se ou Sb (1 ppm a 5.000 ppm) o Lakefield Geosol emprega o método de geração de hidretos conjugado com absorção atômica. Para a determinação de Hg usamos a técnica de geração de vapor frio/ AA (0,05 ppm a 5.000 ppm).

OURO - GEOQUÍMICA (ABSORÇÃO ATÔMICA) - Determinação de ouro com ataque água régia a quente e extração por solvente orgânico. O ouro é determinado por Absorção Atômica. Disponíveis dois processos, alcançando detecção de 0,05 ppm ou 1 ppb.

OURO - FIRE-ASSAY - É uma análise quantitativa pelo qual o metal é separado por fusão em meio redutor por fusão em meio redutor, dissolvidos em água régia e determinados por Absorção Atômica.

Alíquota de 30 gramas – Limite de Detecção: 5 ppb
Alíquota de 50 gramas – Limite de Detecção: 3 ppb

OURO BLEG - (BULK LEACH EXTRACTABLE GOLD) - Submissão de amostra à cianetação seguida da determinação do ouro via fire assay, no lixiviado, limite de detecção: 0,5 ppb.

PLATINA, PALÁDIO, RÓDIO, OURO – FIRE ASSAY - A amostra sofre fusão com óxido de chumbo resultando na coleta dos metais em botão, o qual é copelado para separá-los em pérola. Esta é dissolvida e a solução analisada por absorção atômica. O ródio é determinado com fusão especial. Limites de detecção: Pt = 10 ppb, Pd = 2 ppb, Rh = 2 ppb, Au = 5 ppb.

MINERAÇÃO E PESQUISA MINERAL

Análise de rochas industriais (calcário, bauxita, dolomita, magnesita, fosfatos, argilas, caolim, feldspato, barita e outros).

Análise de minérios metálicos (ferro, manganês, niquel, metais básicos –Cu Pb Zn – nióbio, titânio, e outros).

Análise de metais nobres Ouro / Platina

FUSÃO COM TETRABORATO

Minério de Ferro -Fe Mn Al Si P - Minério de Manganês Mn Fe Si Al P Ca Ti Ba Na K - Silicatos (Argila, Caolim, Bauxita, Feldspato) Al Si Fe Ca P Ti Ca K Mn Mg - Calcário, Dolomito, Magnesita Ca Mg Si Al Fe P Ti Na K Mn Perda ao Fogo - Fosfato e Rocha Fosfática P Ca Fe Si Al Ti Ba Mg – Cromita Cr Fe Mg Ca Si Al - Minério de Níquel Ni Co Cu Fe Mg Cr Ca Si Al - Minério de Titânio Ti Fe Al Si Ca Mg Cr Ni V - BaritaBaSO4 Mg Si Al Ca Na K

MINÉRIO METÁLICO - FUSÃO COM PIROSSULFATO DE POTÁSSIO

Cromo (Cr) - Cobre (Cu) - Cobalto (Co) - Chumbo (Pb) - Níquel (Ni) - Molibdênio (Mo) - Ferro (Fe) - Tungstênio (W) - Zinco (Zn)

FUSÃO OU SOLUBILIZAÇÃO ESPECIAL

Minério de Estanho (Sn Fe Si Al Ti Nb Ta) Tantalita ou Columbita (Ta Nb Sn Ti Mn V Fe)

Scheelita ou Wolframita (W Mo Si Ca Al Sn P) Minério de Urânio ou Tório (U Th)

OURO, PLATINA, PALÁDIO Au Pt Pd Fusão-Copelação (Fire Asssay) Determinação via Absorção Atômica ou Plasma ICP

ELEMENTOS DE TERRAS RARAS - Ce, La, Nd, Sm, Pr, Y

Os cuidados gerais com as amostras, expedição para laboratório, organização do Banco de Dados, entre outros são serviços típicos do Técnico de Geologia e Mineração. Já a interpretação dos dados e sua apresentação em Mapa são tarefas do pessoal de nível superior e com experiência (os chamados geólogos seniores). Esses Mapas basicamente apontam os locais anômalos, segundo os critérios de Anomalia definidos pelo(s) responsável (eis) pelo Projeto. O chefe ou a equipe coordenadora do projeto definirá se recomenda ou não a Diretoria da empresa a continuidade do Projeto.

VI – TRINCHEIRAS E POÇOS DE PESQUISA

VI.1 – Definições, Tipos, Planejamento e Execução

VI.1.1 – Definições e Tipos

Trincheiras são valas retilíneas abertas com o objetivo de fazer as rochas aflorarem artificialmente.

A vala deve ser aberta até se atingir a rocha sã e, dependendo da situação (dureza da rocha, profundidade etc.) cortar para atingir a maior quantidade possível de litologias.

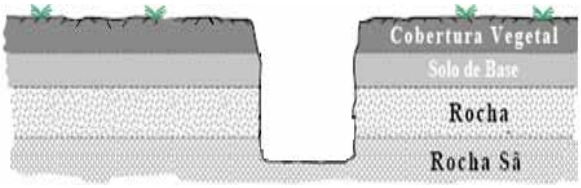


Figura VI.1 – Abertura de Trincheira até atingir a rocha sã, ou o minério objeto dos trabalhos de Pesquisa. Do autor.

A profundidade é uma das limitações das trincheiras, haja vista que as mesmas não podem ser muito profundas. Não existe uma profundidade máxima rigorosa, pois varia muito dependendo da região, consistência das litologias a serem cortadas, etc. Entretanto, não se tem mencionado trincheiras com profundidade maior que três metros, sendo este o limite que poderia ser considerado como máximo. Para situações onde a profundidade é maior que 3,0 m deve ser aberto o **Poço de Pesquisa**.

As Trincheiras podem ser abertas manualmente, mecanicamente ou por explosivos. Paralelas ou perpendiculares ao "*trend*" principal.



Figura VI.2 – Trincheira aberta manualmente e mecanicamente. Fotografia do autor

VI.1.2 - Planejamento e Execução das Trincheiras

São inúmeras as situações que motivam a realização de trincheiras, desde uma simples verificação ou checagem, até a realização de aberturas sistemáticas onde várias trincheiras são executadas como parte de um trabalho de Pesquisa Mineral.

Durante o planejamento da Trincheira tomam-se por base as informações até então disponíveis de campo, como Mapa Geológico, Geofísica, Geoquímica, etc. e dos objetivos que se pretende alcançar com a realização desses serviços. O planejamento inclui a localização, conseqüentemente a orientação em relação ao "trend" (paralelo ou perpendicular), a profundidade, o espaçamento entre os piquetes na trincheira, a escala do levantamento, a distância entre as Estações (ver a seguir) e o que será mapeado (piso ou parede). Uma etapa de campo para validar o planejamento deve ser realizada.

Com auxílio de programas SIG/GIS (MapInfo, ArcGis, Idrisi, Geosoft etc.) se define as coordenadas de localização das trincheiras (início e fim) ainda no escritório. A locação da trincheira em campo pode ser feita com GPS, tomando-se as coordenadas do início e do final da vala e também dos piquetes, após a piquetagem. Se a área está levantada topograficamente com piquetes (Mapeamento segundo Piquetes e LB), a Trincheira pode ser locada a partir destes, tomando o rumo e a distância do piquete até o início e final da vala. Ou, após aberta, a equipe de topografia faz os devidos levantamentos.

As trincheiras devem ser abertas com o monitoramento de sua direção, uma vez que devem ser retilíneas. Esse monitoramento pode se dar visualmente, com GPS, com bússola, teodolito (ou nível ou estação total) e mira, etc. Na abertura das trincheiras é muito importante o posicionamento do material desmontado. Este não pode ficar alojado de forma a propiciar o soterramento da vala. Portanto, verificar a direção dos ventos, a inclinação do terreno, entre outros aspectos é muito importante para que o retorno do material a vala não ocorra ou, pelo menos, seja dificultado até que os serviços de pesquisa mineral estejam concluídos.

As trincheiras perpendiculares ao "trend" têm por objetivo (dentre outros) verificar relações de contato, continuidade de uma seqüência de rochas e relações estratigráficas. Aquelas paralelas ao "trend" visam principalmente verificar a continuidade do corpo mineralizado.

A decisão entre mapear o piso ou a parede depende do mergulho das rochas cortadas pela Trincheira. Geralmente, se a estrutura é horizontalizada, mapeia-se a parede e se é verticalizada o mapeamento é do piso.

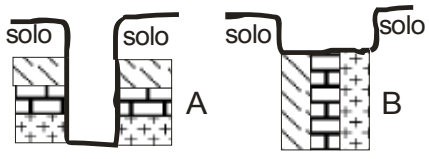


Figura VI.3 – Seção retangular de duas Trincheiras, Na figura A a trincheira aborda litologias horizontalizadas e na figura B as litologias estão verticalizadas. Na Trincheira A a parede deve ser mapeada, enquanto na B o piso.Do autor.

A eqüidistância entre os piquetes e o espaçamento das Estações deve levar em conta o quê foi planejado. Entretanto, quando o mapeamento é da Parede em regiões íngremes, essa eqüidistância fica condicionada ao nivelamento da Trincheira (ver a seguir).

Algumas trincheiras muito longas e mal monitoradas, podem apresentar-se curvadas. Nestes casos as eqüidistâncias são limitadas à visada (de um piquete o obervador deve ver o outro piquete).

Uma trincheira bem executada deve ter, pelo menos, as seguintes características, sem descartar outras: (a) Corte até a(s) rocha(s) sã(s) aflorar(em) artificialmente. Se a abertura for com retro-escavadeira, ter o cuidado de limpar com pás e picaretas, visando a melhor exposição possível das rochas; (b) O material desmontado deve estar em local que não propicie o soterramento da trincheira; (c) A trincheira deve ser retilínea;

VI.2 – Levantamento

VI.2.1 – Introdução:

Uma vez aberta a trincheira, o passo seguinte é o seu Levantamento. Este consiste de locação da trincheira, instalação de piquetes/nivelamento, mapeamento topográfico e geológico.

VI.2.2 - Localização da Trincheira, Instalação de Piquetes/Nivelamento

Conforme mencionado anteriormente a localização da Trincheira pode ser planejada em escritório ou ainda, no campo, tendo como base os objetivos pretendidos (a serem alcançados com a Trincheiras) e os dados de campo.

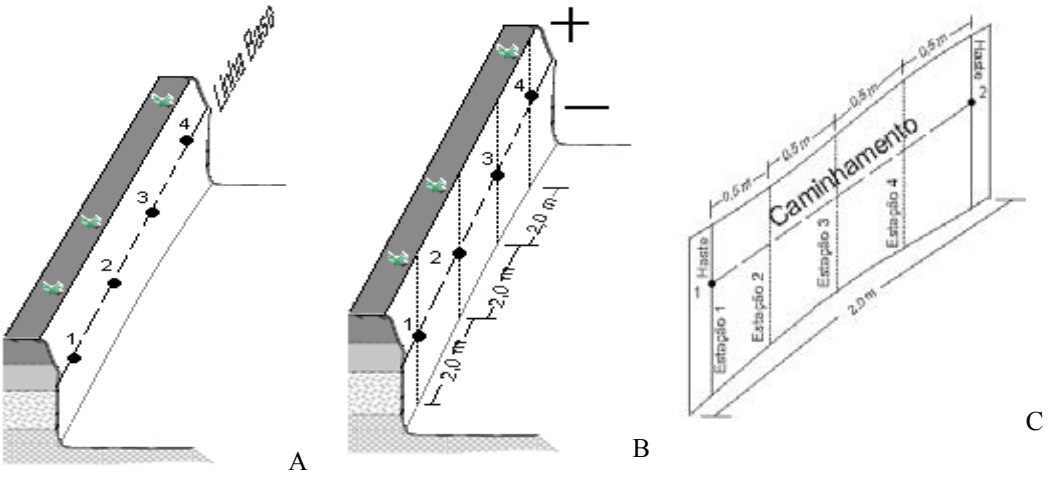


Figura VI.4: Instalação de Piquetes em uma parede de trincheira aberta em região plana. A equidistância estabelecida é de 2,0 m. Em (A) piquetes instalados e Linha-Base; (B) Equidistância e convenção de medidas positivas e negativas; (C) Detalhe do Primeiro Caminhamento com Estações de 0,5 m. Figura do autor.

Nos casos de aberturas esporádicas, onde um mapeamento não é realizado, a locação é feita com GPS do início e do final da vala e daqueles locais objeto da verificação esporádica. No caso de trabalhos de detalhe, cada um dos piquetes têm suas coordenadas estabelecidas com GPS, ou equipamento topográfico.

Os piquetes devem ser instalados seqüencialmente e com identificação numérica ou com letras e números e constar numa caderneta de campo e num mapa de campo (geralmente em papel milimetrado quando a escala de levantamento for muito grande). A ordem de instalação deve obedecer o mesmo sentido da escrita (esquerda para a direita). Esta será a ordem dos levantamentos subseqüentes – topografia e geologia.

O espaçamento entre dois piquetes consecutivos é chamado de **caminhamento**. A Trincheira, portanto, é composta por vários caminhamentos cuja equidistância foi definida na fase de planejamento sob as condicionantes mencionadas em VI.1.2. O alinhamento entre dois piquetes consecutivos é o local onde deve situar-se a Linha-Base (ver figura VI.4).

Entre as diversas situações possíveis, consideremos os seguintes casos: (a) Mapeamento de piso em região plana; (b) mapeamento de piso em região íngreme; (c) Levantamento de parede em região plana; (d) Levantamento de parede em região íngreme. Nas duas primeiras situações os piquetes devem ser instalados no meio da trincheira, de modo a dividi-la em duas partes iguais (ou o mais próximo possível disso).

Em regiões íngremes a cota de cada piquete deve ser tomada, e o mapa final deve vim acompanhado de curvas de nível. Tais procedimentos podem ser realizados também em áreas mais planas, dependendo das exigências do projeto.

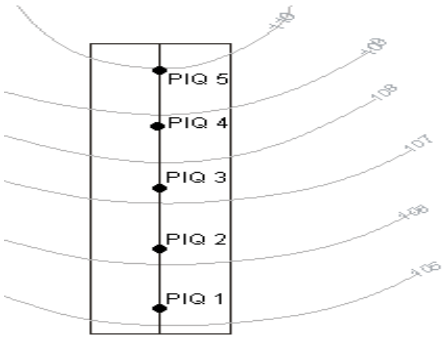


Figura VI.5 – Croqui de Piso de Trincheira em região íngreme com curvas de nível. Figura do autor.

Naqueles casos de levantamento de parede, os piquetes devem ser fixados em uma altura que favoreça o trabalho posterior de mapeamento (geralmente a altura do peito, se a trincheira tiver profundidade para essa opção) e horizontais um em relação ao outro (nivelados).

O nivelamento pode ser feito com equipamentos singelos como nível de pedreiro (mangueira transparente com água) prumo e trena. Assim, o primeiro piquete é instalado na altura do peito ou na altura que melhor propicie condições ergométricas dos trabalhos posteriores. Com auxílio do nível e da trena se instala o segundo piquete nivelado com o primeiro e na eqüidistância planejada.

Geralmente o segundo piquete atinge o piso devido ao nivelamento, sendo mais comum isso ocorrer quando o terreno é muito íngreme. Nesse caso utiliza-se o prumo para fazer a projeção vertical do segundo piquete e prosseguir com o nivelamento. O segundo piquete projetado recebe a mesma numeração do segundo piquete acrescido de linha (ver figura VI.6 ao lado). Na continuação do nivelamento repete-se o procedimento narrado anteriormente até se concluir a trincheira.

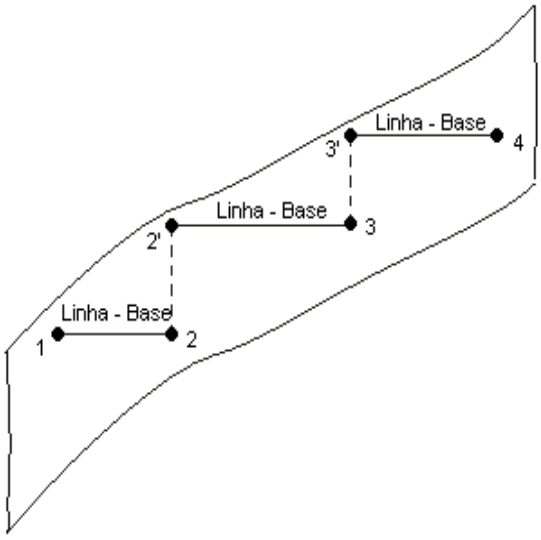


Figura VI.6 – Esquema de Nivelamento e projeção de piquetes em parede de trincheira em região íngreme. Figura do autor.

A caderneta de Nivelamento deve constar, pelo menos: o número dos piquetes, suas respectivas coordenadas, distância entre os piquetes (= comprimento do **caminhamento**) e a altura (em metros) da projeção dos piquetes (ver figura VI.7). Essa altura entre os piquetes subseqüentes e projetados é também chamada de **Mudança de Estação**. A figura VI.7 é uma parte da caderneta de campo de um nivelamento realizado em uma parede de uma trincheira em região íngreme, onde se descreve os principais dados do trabalho realizado.

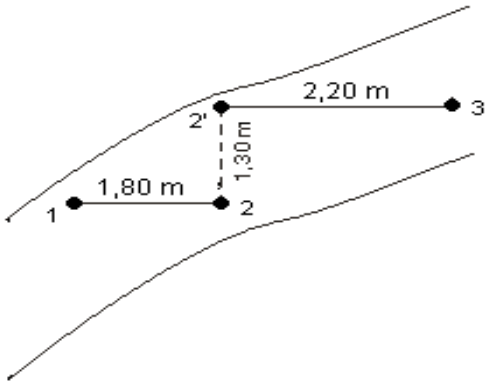


Figura VI.7 – Nivelamento da parede de uma trincheira em região íngreme e, no lado direito, uma descrição de caderneta de campo resumida deste levantamento. Figura do autor.

Caminhamento 1 – Piquete 1 ao Piquete 2
Distância = 1,80 m
Coordenadas do Piquete 1: 708.869 mE e 9.303.076 mN
Coordenadas do Piquete 2: 708.870,80mE e 9.303.076 mN
Mudança de Estação – Piqute 2 para o Piquete 2' = 1,30 m
Caminhamento 2 – Piquete 2' ao Piquete 3
Distância = 2,20 m
Coordenadas do Piquete 2': 708.870,80mE e 9.303.076 mN
Coordenadas do Piquete 3: 708.873,00 mE e 9.303.076 mN

As figuras até então exibidas não levam em conta a escala, pois tem como objetivo explicações descritas no texto. Entretanto é de fundamental importância que os nivelamentos e instalação de piquetes sejam plotados em escala adequada aos trabalhos posteriores e, em papel milimetrado visando facilitar a inclusão das futuras informações.

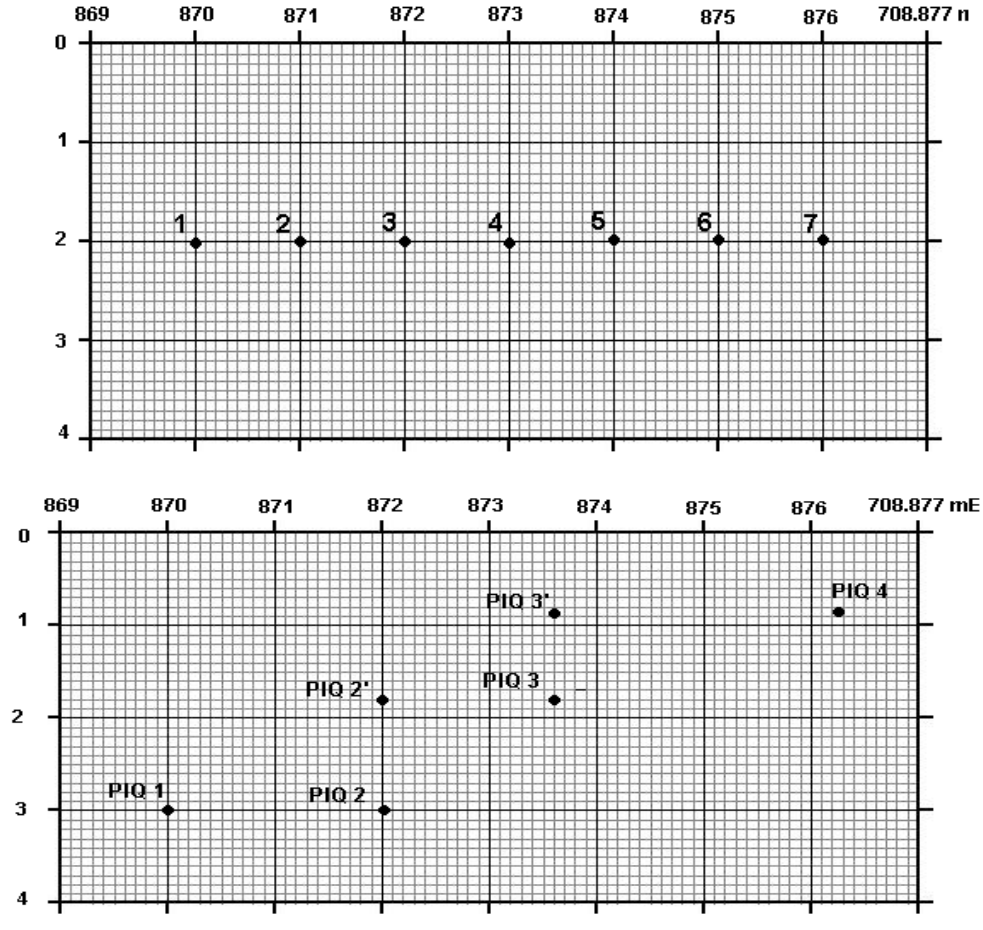


Figura VI.8 – Mapa de Nivelamento: (A) de uma parede em uma região plana e (B) de uma parede em região íngreme. Figura do autor.

As figuras VI.8 (a) e (b) são ilustrativas de uma sugestão de como deve ser o mapa de nivelamento. Em ambos os casos a escala está implicita pela indicação das coordenadas e mapa minlimetrado, onde cada 1 cm equivale a 1,0 m. Em (A) foi realizada piquetagem segundo uma eqüidistância de 1,0 m, enquanto em (B) não foi padronizada uma eqüidistância pois o caminhamento foi definido em função do nivelamento.

VI.2.3 - Mapeamento Topográfico

Após a instalação dos piquetes e nivelamento, a trincheira está pronta para ser mapeada. A topografia e a geologia podem ser feitas concomitantemente ou separadamente. Aqui trataremos em separado por questão didática.

Cada Caminhamento é composto por Estações (vide Capítulo sobre Registro Gráfico de Depósitos Minerais). A eqüidistância das estações foi definida previamente na fase de planejamento e depende da escala do levantamento. Quanto maior o detalhe, menor a distância entre as estações.

Em alguns casos as Estações são planejadas de modo a coincidirem com os piquetes. Portanto, cada piquete define uma estação. Os equipamentos básicos para o levantamento topográfico são praticamente os mesmos do Nivelamento (exceto nível e prumo), quais sejam: duas trenas, papel milimetrado, prancheta, escalímetro, lápis, borracha, entre os essenciais.

Uma trena é esticada unindo os dois piquetes consecutivos que definem o caminhamento. Essa trena é chamada aqui de Linha Base (ou LB). O levantamento consiste, basicamente, em medir a distância da LB aos limites perpendiculares ao comprimento da trincheira.

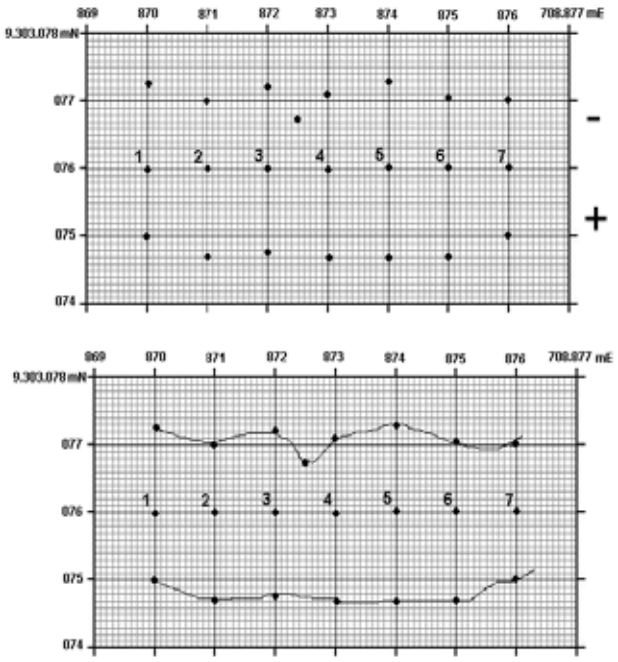


Figura VI. 9 - Levantamento topográfico planimétrico do piso de uma trincheira. Os pontos de 1 a 7 são piquetes seqüencialmente numerados, onde se instala uma trena Linha Base (LB). Nesse levantamento considerou-se que cada piquete é coincidente com uma Estação de leitura de dados planimétricos. Essa leitura consiste na medição da distância entre a LB e o lado direito (positivo) e a LB e o lado esquerdo (negativo). Figura do autor.

Entre os piquetes 3 e 4 foi realizada uma Estação intermediária, devido a um estreitamento do lado esquerdo da trincheira. Abaixo a representação planimétrica da Trincheira Mapeada. É importante fazer esse traçado em campo e checar sua semelhança com a realidade. Caso seja necessário, outras estações intermediárias devem ser feitas de modo a representar o mais próximo possível da realidade.

Caso esteja sendo mapeada a parede as medições seriam da LB ao piso (medida negativa) e da LB à superfície (medida positiva). Em caso de mapeamento do piso as medições seriam da LB ao vértice direito (positivo) e da LB ao vértice esquerdo (negativo). Se entre duas estações consecutivas a trincheira tiver uma particularidade importante a ser registrada é feita uma Estação intermediária.

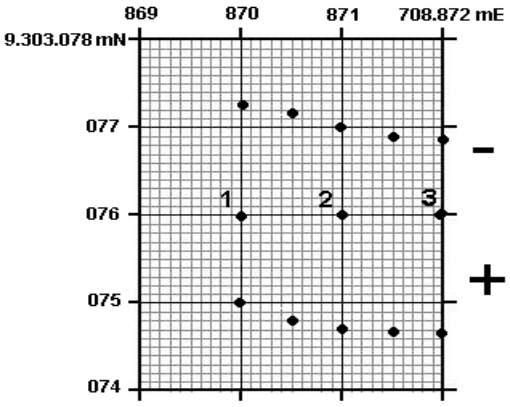


Figura VI.10 – Levantamento planimétrico do piso de uma trincheira e respectivo mapa de pontos para ser interpretado. Os Caminhamentos são de 1,0 m e Estações são de 0,50 m. Figura do autor.

Caminhamento 1 – Piquete 1 ao Piquete 2

Distância = 1,0 m

Coordenadas do Piquete 1: 708.869 mE e 9.303.076 mN

Coordenadas do Piquete 2: 708.870 mE e 9.303.076 mN

1ª Estação = Piquete 1 + 0,00 m

LB - 1,25 m = Lado Esquerdo (Aresta Esquerda)

LB + 1,00 m = Lado Direito (Aresta Direita)

2ª Estação = Piquete 1 + 0,50 m

LB – 1,15 m = Lado Esquerdo (Aresta Esquerda)

LB + 1,20 m = Lado Direito (Aresta Direita)

Caminhamento 2 – Piquete 2 ao Piquete 3

Distância = 1,0 m

Coordenadas do Piquete 2: 708.870 mE e 9.303.076 mN

Coordenadas do Piquete 3: 708.871 mE e 9.303.076 mN

1ª Estação = Piquete 2 + 0,00 m

LB – 1,00 m = Lado Esquerdo (Aresta Esquerda)

LB + 1,30 m = Lado Direito (Aresta Direita)

2ª Estação = Piquete 2 + 0,50 m

LB – 0,90 m = Lado Esquerdo (Aresta Esquerda)

LB + 1,35 m = Lado Direito (Aresta Direita)

Os procedimentos são os mesmos mostrados na figura VI.10 para as situações de levantamento de paredes. No caso de levantamento de piso em regiões íngremes deve tomar o cuidado para realizar medidas projetando-as ao plano horizontal.

VI.2.4 – Mapeamento Geológico.

A mesma sistemática utilizada para o levantamento topográfico deve ser utilizada para o mapeamento geológico. Obviamente, ao invés de medir a distância entre a LB e os limites da trincheira perpendicular ao seu comprimento, se medirá aqui os contatos geológicos e estruturas geológicas.

As Estações devem ser pintadas e/ou ter inserido seu símbolo gráfico, conforme ilustra a figura VI.11. Nessa figura, além da representação gráfica e colorida das litologias

em cada Estação (inclusive em uma Estação intermediária), apresentamos também uma descrição resumida das litologias mapeadas.

Foram omitidas, por questão de espaço, descrições petrográficas detalhadas com mineralogia, textura, estrutura, medição de parâmetros etc. Obviamente, essas descrições detalhadas devem constar na caderneta de campo de um mapeamento real.

Em áreas de Geologia bem conhecidas as empresas de mineração adotam siglas, geralmente iniciais da descrição da rocha. Pelo mesmo motivo de espaço, apresentamos somente a descrição resumida dos quatro primeiros caminhamentos. Os demais caminhamentos até o sexto seguem a mesma sistemática dos quatro primeiros.

Após o Mapeamento de cada Estação, passa-se à fase de interpretação do mapa, onde serão traçados os contatos geológicos. Essa tarefa deve ser executada dentro da trincheira observando-se os aspectos da geologia com o que está sendo interpretado, de modo que o mapa geológico represente fielmente as relações de campo. Caso alguma particularidade seja observada entre uma estação e outra, esta deve ser registrada por uma estação intermediária.

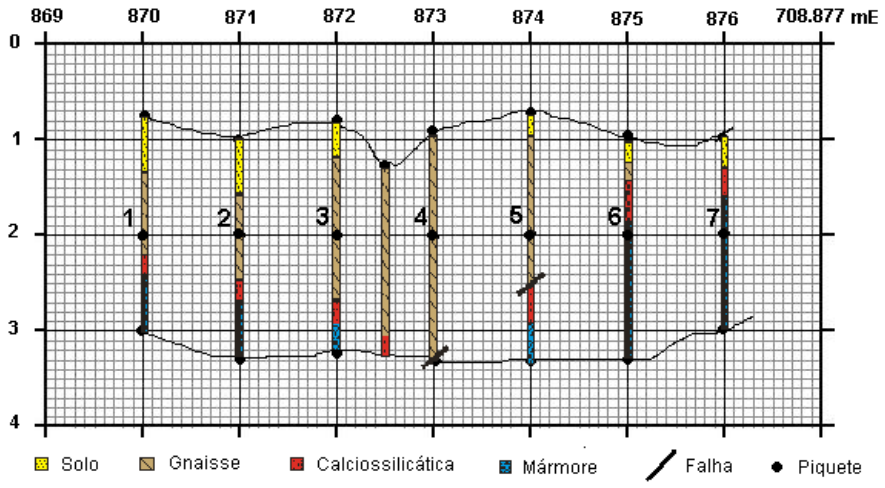


Figura VI.11 – Mapeamento Geológico da parede de uma Trincheira aberta em terreno plano e respectiva descrição resumida em caderneta de campo. Figura do autor.

Figura VI.11 - Continuação

Caminhamento 1 – Piquete 1 ao Piquete 2

Distância = 1,0 m

Coordenadas do Piq. 1: 708.869 mE e 9.303.076 mN

Coordenadas do Piq. 2: 708.870 mE e 9.303.076 mN

1ª Estação (Estação única) = Piquete 1 + 0,00 m

LB + 0,70 m = Bi- gnaisse
LB + 1,25 m = Superfície e Solo
LB – 0,20 m = Bi- gnaisse
LB – 0,50 m = Calciossilicática
LB – 1,00 m = Piso e Mármore

Caminhamento 2 – Piquete 2 ao Piquete 3

Distância = 1,0 m

Coordenadas do Piq. 2: 708.870 mE e 9.303.076 mN

Coordenadas do Piq. 3: 708.871 mE e 9.303.076 mN

1ª Estação (Estação única) = Piquete 1 + 0,00 m

LB + 0,55 m = Bi- gnaisse
LB + 1,00 m = Solo e Superfície
LB – 0,55 m = Bi- gnaisse
LB – 0,70 m = Calciossilicática
LB – 1,30 m = Piso e Mármore

Caminhamento 3 – Piquete 3 ao Piquete 4

Distância = 1,0 m

Coordenadas do Piq. 3: 708.871 mE e 9.303.076 mN

Coordenadas do Piq. 4: 708.872 mE e 9.303.076 mN

1ª Estação: Piquete 3 + 0,00 m

LB + 0,82 m = Bi- gnaisse
LB + 1,25 m = Superfície e Solo
LB – 0,68 m = Bi- gnaisse
LB – 0,90 m = Calciossilicática
LB – 1,25 m = Piso e Mármore

Estação Intermediária = Piquete 3 + 0,50 m

LB + 0,78 m = Bi-gnaisse + Superfície
LB – 1,05 m = Bi – gnaisse
LB – 1,25 m = Calciossilicática e Piso

Caminhamento 4 – Piquete 4 ao Piquete 5

Coordenadas do Piq. 4: 708.872 mE e 9.303.076 mN

Coordenadas do Piq. 5: 708.873 mE e 9.303.076 mN

1ª Estação (Estação única) = Piquete 1 + 0,00 m

LB + 1,10 m = Bi-gnaisse e superfície
LB – 1,30 m = Bi-gnaisse e piso

A figura VI.12 é a interpretação do que foi mapeado nas estações apresentadas na figura VI.11. Importante observar que interpretou-se uma dobra (sinforme) cujo plano axial passa nas proximidades do piquete 4. Supondo tratar-se de uma calciossilicática mineralizada em scheelita, e que o Depósito da mina Brejuí pode ser invocado como Jazida – Tipo, essa informação se reveste da maior importância, haja visto que um dos controles da mineralização scheelitífera mais importante é o estrutural, ou seja, concentração do mineral-minério em região de charneira de dobramentos.

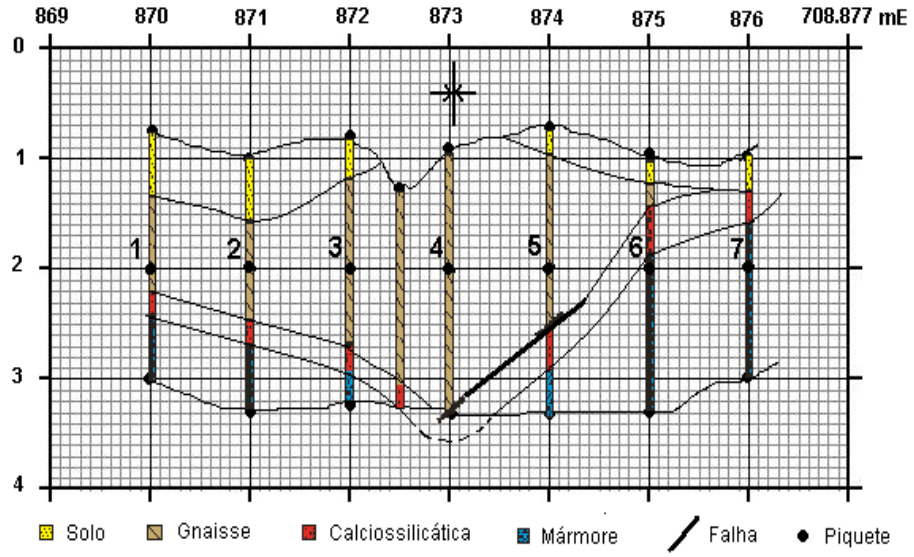


Figura VI. 12 – Interpretação geológica da trincheira da figura VI.11. Figura do autor.

Na figura VI.13 abaixo ilustra o mapa geológico da Mina Brejuí e, em detalhe de uma área a sul da Brejuí e a coluna estratigráfica das hospedeiras da mineralização scheelitífera. Entre linhas pontilhadas de cor verde (ver Mapa da figura VI.13) se destaca a zona de interesse da empresa empreendedora, pois nela estão as calciossilicáticas com scheelita.

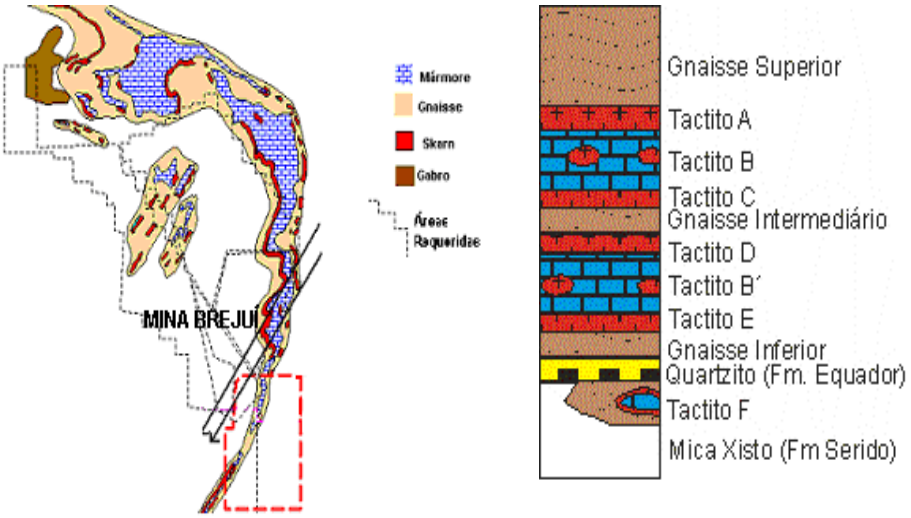
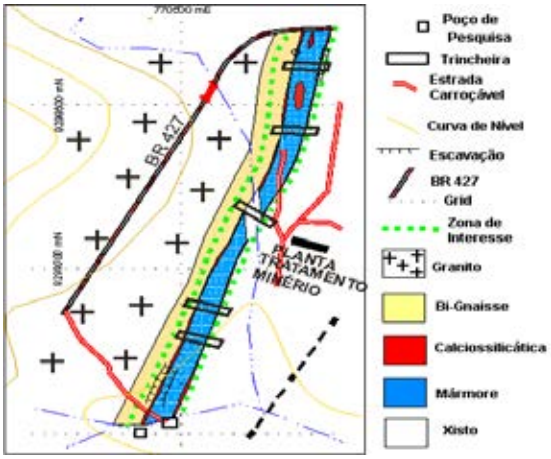


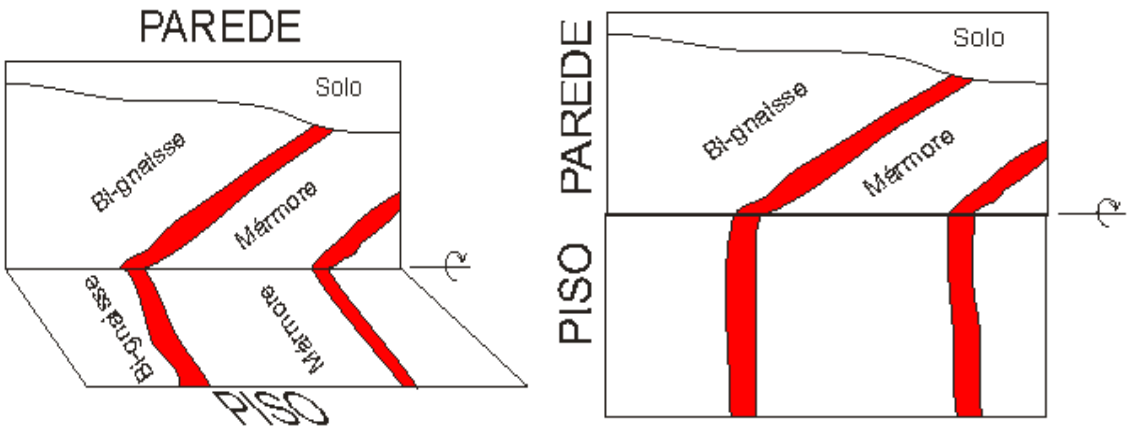
Figura XIII - (A) Mapa Geológico do Depósito Scheelitífero da mina Brejuí; (B) Coluna estratigráfica (invertida) da mina Brejuí, com ênfase nas hospedeiras de scheelita;



C

Figura VI.13 – (C) Mapa Geológico Simplificado e de Programação de Trincheira e Poço de Pesquisa em uma área a sul da mina Brejuí, Currais Novos/RN. Em A baseada na figura de Lima et. al. 1980. OBS: a área em vermelho tracejada está representada, em outra escala, na figura (C).

A "Zona de Interesse" foi correlacionada ao gnaisse superior, "tactito A", Mármore, "tactito B" e "tactito C" da coluna estratigráfica da mina Brejuí. Portanto, a expectativa é encontrar os "tactitos A e C" na base como no topo do mármore respectivamente, já que este corpo se comporta continuamente neste contato e, eventualmente, bolsões do "tactito B". A seqüência mergulha 45º a 60º para NW. O mapeamento geológico confirmou, através de afloramentos em várias regiões, a presença dos tactitos citados, em outras tais exposições estavam encobertaS por solo. Nesses locais encobertos foram planejadas 5 trincheiras perpendiculares a direção da seqüência de interesse e mapeamento conjunto das paredes e piso.



A B

Figura VI.14 – Estilo de Mapeamento de Trincheira conjunto PISO + PAREDE, utilizado quando a seqüência a ser mapeada tem inclinações medianas entre horizontalizadas e verticalizadas e quando se deseja ter uma visualização tridimensional da geologia. Em alguns casos mapeia-se as duas paredes e mais o piso. Figura do autor.

Outro estilo de mapeamento de trincheira é aquele que integra as informações da parede e do piso em um plano horizontal. Isso é possível devido ao rebatimento da parede através da aresta (figura VI.14). A aresta (linha que separa o quê é parede do que é piso) funciona como um eixo de rotação, uma vez que para a apresentação do mapa no plano horizontal é necessário fazer um rebatimento. Na figura ao lado, por questões didáticas, desenhou-se a aresta retilínea de forma inequívoca. As vezes, na prática, não é tão óbvio assim a definição da aresta.

Algumas informações ausentes são necessárias na apresentação do mapa, como as coordenadas, escala, orientação da trincheira, representação gráfica (e colorida) das litologias mapeadas, etc. Como as trincheiras ao lado referem-se ao mapa geológico da Figura VI.13, podemos concluir a direção aproximada N-S (pelo Piso) e o mergulho para W (parede).

VI.3 – Poço de Pesquisa

São escavações destinadas a fazer aflorar artificialmente as rochas quando a cobertura é muito espessa impossibilitando a realização de trincheira. Os poços podem ter seção quadrática, retangular ou circular, ser aberto manualmente, mecanicamente ou com explosivos.

No caso descrito anteriormente e exposto na Figura VI.13, obeserva-se que nas proximidades de um riacho foram planejados dois **Poços de Pesquisa**, pois a profundidade do aluvião é maior que 3,0 m e o material arenoso, aluvionar com alta umidade, dificultando a abertura de trincheira. Devido as características do aluvião, aconselhou-se, no planejamento

da etapa de Pesquisa Mineral, que os Poços de Pesquisa tivessem escoramento para evitar desmoronamentos e dotar os trabalhos de maior segurança.

De posse do Mapa Geológico da área a sul da Mina Brejuí (Figura VI.13 C) projetou-se a "Zona de Interesse" até o riacho e, assim, foram locados os dois Poços de Pesquisa. Os dados de fotografia aérea e/ou Imagem de Satélite e Radar podem auxiliar bastante nessa locação. Outra informação importante é a do solo que, se "in situ", pode auxiliar na interpretação da rocha subjacente. Entretanto, como se trata de aluvião, as informações do solo não contribuem muito para a locação. Uma informação de extrema importância foi a amostragem de sedimento de corrente, realizada em etapas precedentes a esta. Utilizando essas informações disponíveis foram planejados os poços com absoluto sucesso.

Para abrir os Poços de Pesquisa utilizou-se manilhas de 2,0 m (dois metros) de diâmetro de modo que a medida que o Poço era aprofundado o cano de cimento armado (anéis de concreto) descia, tal qual se procede na construção de poços amazonas (cacimba). Mapeou-se o piso (fundo do poço) da seguinte forma: (1) determinou-se o centro do poço; (2) com um vara retilínea de comprimento maior que a profundidade do poço tomou, na superfície, as coordenadas do centro do Poço com GPS de mão. (3) marcou-se na vara o ponto em que a mesma atingia a superfície e, assim, mediu-se a altura do poço. (4) Com auxílio de uma bússola de geólogo mediu-se, no fundo do poço, uma direção do centro do poço à parede do poço. (5) Devido a existência de muita água no fundo do poço, utilizou-se alavancas e martelo de geólogo para coletar amostras segundo aquela direção tomada com a bússola de geólogo. (6) mediu-se o local de coleta da amostra ao centro do poço, local em que estava a vara.

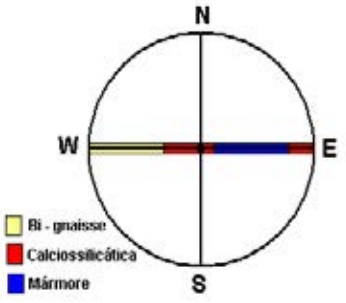


Figura VI.15 – Mapeamento Geológico do piso do Poço de Pesquisa. Escolheu-se uma direção E-W por ser perpendicular ao trend da área. Figura do autor.

Uma outra situação em que se utilizou Poços de Pesquisa foi num trabalho de Prospecção Mineral de laterita na chã da Serra das Umburanas. A estratigrafia é composta basicamente de uma seqüência sedimentar terrígena correlata à Formação Serra dos Martins do Grupo Barreiras (Terciário), assentada discordantemente sobre quartzitos metamórficos da Formação Equador, do Grupo Seridó (Pré - cambriano). A seqüência sedimentar é definida por variações faciológicas verticais mais pronunciadas e horizontais, tendo na base conglomerados, sequido por arenitos grosseiros, médios, caulinítico, ferruginosos (laterita) e finos no topo. Os tipos denominados simploriamente de arenito grosseiro, caulinítico e ferruginosos apresentam interdigitações (variações faciológicas horizontais) com ampla predominancia do tipo ferruginoso.

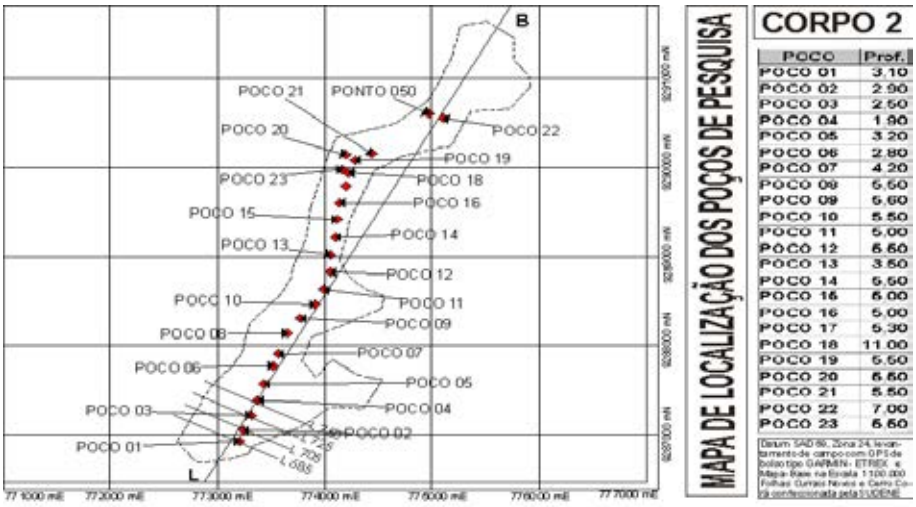


Figura VI.16 – Mapa de localização dos Poços de Pesquisa e de delimitação da laterita. Não foram traçadas todas as picadas para não carregar o mapa de informações e para facilitar o entendimento do texto. Figura do autor.

Os trabalhos iniciais contemplaram interpretação de fotografias aéreas e imagens de satélite visando delimitar a seqüência sedimentar, o que foi facilitado pela diferença de textura e os limites da laterita (tonalidade cinza mais escura). Em seguida se programou a abertura de uma Linha Base N 20º E e de picadas S 70º E cortanto o comprimento maior da seqüência sedimentar. As picadas foram espaçadas de 20 m, e numeradas de acordo com a coordenada UTM Norte da intersecção da picada com LB. Os poços deveriam estar locados na interseção da LB com as picadas, entretanto, alguns não obedeceram essa determinação, quer devido a interseção não estar sobre a seqüência sedimentar, facilidade de escavação entre outros. As coordenadas de localização de cada um dos poços foi tomada com GPS de bolso, do tipo ETREX.

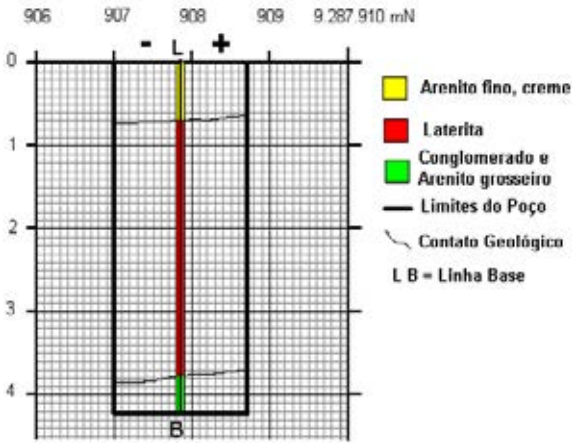
Planejou-se que os Poços de Pesquisa deveriam atravessar toda a seqüência laterítica, objeto dos trabalhos de Prospecção Mineral e, se possível, atingir o substrato cristalino (quartzitos da Formação Equador). Foram abertos 23 Poços de Pesquisa manualmente, com pás e picaretas, de seção quadrática 1,70 x 1,70 m. Como as rochas tinham boa consistência não foi necessário escoramentos. Devido as variações faciológicas os Poços atingiram diferentes profundidades, desde 1,90 m até 11,00 m. Nenhum dos poços atingiu o substrato cristalino, embora todos eles tenham atravessado a laterita.



Figura VI.17 – Fotografia de um dos Poços abertos na Serra das Umburanas, divisa dos estados do RN e PB. Foto do autor.

Após a abertura dos Poços passou-se a fase de mapeamento topográfico e geológico. A topografia consistiu, primeiramente, na localização do Poço com GPS de bolso, na medição da seção do poço. Em seguida escolheu-se a parede (camadas sedimentares horizontalizadas) com melhor exposição para ser mapeada (não foi estabelecida previamente uma regra, em alguns casos se estabelece). Definida a parede, se determinava o centro da mesma e nela se esticava uma trena que seria a Linha Base (LB). As regras foram as mesmas utilizadas para as trincheiras. Com auxílio de uma escada de madeira e uma segunda trena foram feitas as leituras de topografia e geologia em estações de 1 em 1 metro. O caminhamento era único e igual a profundidade do poço.

Figura VI.18 – Mapa Topográfico e Geológico do Poço 07. Mapeamento da Parede Sul, onde se abordou 3 tipos de rochas sedimentares: arenito fino, Laterita e uma litologia de base mapeada como Conglomerado a Arenito Grosseiro. No Poço 7 a camada de Laterita tem 3,05 m de espessura e teor de Fe_2O_3 de 49,5%, SiO_2 25,1%, Al_2O_3 24%, TiO_2 0,69%, V_2O_5 0,38 %, P_2O_5 0,07%, SO_3 0,11%, além de CaO e ZrO_2. Essas análises foram realizadas por Fluorescência de Raio X no laboratório do CT Gás do RN. Figura do autor.



Um aspecto importante a observar do mapeamento dos poços foi o estágio de laterização ainda precoce, onde a sílica, a alumina e o ferro ainda não sofreram processos de lixiação natural mais avançado a ponto de constituírem Depósitos Minerais de bauxita. Como a lixivia não foi suficiente para a diferenciação, o conteúdo de ferro alto (em torno de 35% Fe e 50% de Fe_2O_3) tinha no Al e Si contaminantes prejudiciais ao seu uso industrial. Além do baixo teor de Al (em torno de 25%) e Al útil (< 5%) o ferro e a sílica também configuram como contaminantes impeditivos de quaisquer aproveitamento econômico. Em função dessas observações não foram executados todos os Poços programados.

VII – SONDAGEM GEOLÓGICA

VII.1 – Objetivos e Definições

A **Sondagem Geológica** tem por objetivo abordar as rochas em profundidades que não possam ser atingidas por trincheiras ou poços de pesquisa, podendo ser sistemática ou assistemática (eventual), dependendo dos objetivos do estudo de Pesquisa Mineral. As Sondagens sistemáticas obedecem a uma **Malha de Sondagem** definida por perfis (ou seções) geológicos transversais e longitudinais ao "trend" principal objeto da pesquisa mineral. Perfis Diagonais (intermediários) podem ser utilizados. A intersecção de um perfil transversal com um longitudinal é denominada "**Nó da Malha**", sendo justamente nesse local onde se deve realizar o furo de sonda. O espaço entre dois Perfis Geológicos Transversais consecutivos e dois Perfis Longitudinais consecutivos é um **Bloco de Reserva**.

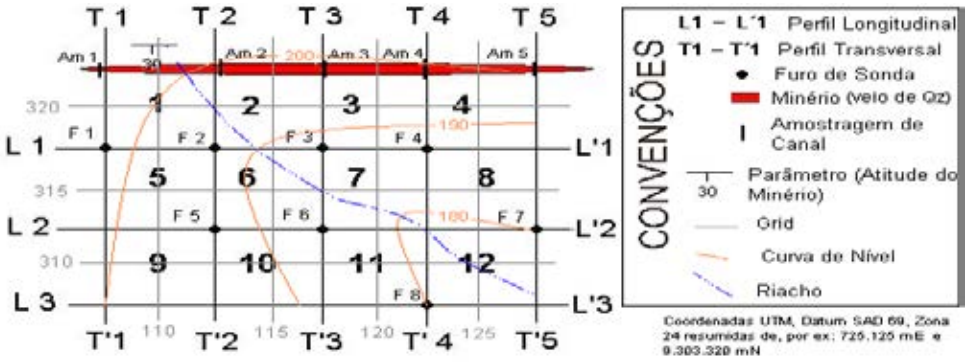


Figura VII.1 – Parte de uma Malha de Sondagem (plotada sobre Mapa Geológico e Plani-altimétrico) de um prospecto hipotético de Ouro, no município de Caicó/RN. Figura do autor.

Uma **Sondagem Assistemática** ou eventual é realizada com os mais diversos objetivos, como estabelecer a estratigrafia de uma área, comprovar a continuidade de uma camada em profundidade etc. Geralmente são Furos de Sonda isolados. A **Sondagem Sistemática** (figura VII.1) é somente utilizada em áreas que tem sido selecionada como "Alvo" pela geologia, geofísica e/ou geoquímica. Com a sondagem se define as três dimensões de um depósito, a geometria de sub-superfície é definida. A Sondagem fornece a maior parte das informações para a avaliação final de um prospecto e, em última análise, determinar se o prospecto é uma Jazida Mineral (passivo de se tornar uma mina). Análises geoquímicas de testemunhos de sondagens (amostras) fornecem as bases para determinar o teor médio do Depósito Mineral. Essas amostras são cuidadosamente "guardadas" em caixas de madeira e ajuda a delinear a geometria do Depósito Mineral, calcular seu volume e fornece importantes detalhes estruturais.

Utilizaremos o argumento sintetizado na Figura VII.1 para apresentar, ao longo desse Capítulo, exemplificações necessárias ao entendimento de alguns dos assuntos aqui abordados. A figura VI.1 é um Mapa Geológico e Plani-altimétrico de um caso hipotético

em que um Veio de Quartzo está mineralizado em ouro possui atitude 90º Az/30º S. Foram coletadas 5 amostras de canal ao longo da linha de afloramento com resultados interessantes (ver Tabela VII.1).

TABELA VII.1 – SÍNTESE DOS DADOS DA AMOSTRAGEM DE CANAL (vide Mapa da Figura VII.1)

Amostra	Am1	Am2	Am3	Am4	Am5
Teor (g/ton)	12	5	1	25	3,5
Espessura (m)	0,55	0,60	0,85	0,70	0,95

Devido a estes resultados se planejou uma Malha de Sondagem para verificar o comportamento da mineralização em profundidade. A Malha é retangular, de 5,0 m x 5,0 m e visa bloquear Reservas Medidas, uma vez que esse Depósito Mineral é classificado como do 3º Grupo segundo a Classificação quanto a Regularidade (Capítulo II, item II.6.3). Poder-se-ia planejar uma malha mais aberta, de 10 x 10m ou 20 m x 20 m (Capítulo II, item II.6.3), entretanto se optou por uma menor pelas seguintes razões: (i) os furos de sonda são de pequena profundidade (o maior tem 29 metros – ver Figura VII.18), portanto os custos não seriam muito altos; (ii) necessidade de se ter um grau de confiabilidade maior nos resultados de cubagem e, assim, (iii) ter argumentos mais convincentes para iniciar a fase subseqüente de abertura de trabalhos mineiros (inclinado, galerias, etc).

VII.2 – Tipos de Sondagem

VII.2.1 - Introdução

Grosso modo existem dois tipos gerais de sondagem: Percussão e Rotativa. Na Sondagem a Percussão um peso cai em queda livre sobre o conjunto de equipamentos que penetra na rocha. Na Sondagem Rotativa a rocha é perfurada pelo movimento de rotação que corta a rocha.

TABELA VII.2 – TIPOS DE SONDAGENS ROTATIVA E A PERCUSSÃO

Rotativa	**Manual**: Sondagem a trado, Sondagem “empire” ou “banka” e **Mecânica**: Sondagem a diamante, Sondagem a grenalha ou calix e Sondagem “rotary”.
Percussão	**Manual** e **Mecânica**: alguns tipos de Banka, SPT, DER.

Testemunho de Sondagem é o nome dado as amostras coletadas por ocasião da realização dos Furos de Sonda. Nos tipos a percussão os testemunhos são fragmentos de rocha, enquanto nas Rotativas, a depender do material perfurado, são amostras íntegras e contínuas (têm aspecto de cilindro).

TABELA VII.3- ALGUMAS CONDIÇÕES PARA UTILIZAÇÃO DAS SONDAGENS ROTATIVAS E PERCUSSIVA

CONDIÇÕES REQUERIDAS ou OBJETIVO DA CAMPANHA DE SONDAGEM	ALTERNATIVAS DE SONDAGEM			
	R MA	R ME	P MA	P ME
Os furos inclinados, descendentes, laterais ou ascendentes, em superfícies ou galeria subterrânea				
Testemunhos constantes, recuperando-se cilindros da rocha atravessada onde se identificam textura, composição, estrutura e mergulho.				
Amostra irregular, constituídas por fragmentos das rochas				
Amostras em maior quantidade, podendo ser utilizadas para ensaios de beneficiamento.				
Furos em rochas duras e extremamente duras.				
Profundidades superiores a 100 metros				
Menor possibilidade de contaminação das amostras				
Menor Custo por metro perfurado				
Sondagem em Solo e Pedogeoquímica				

R MA = Rotativa Manual, R ME =Rotativa Mecânica, P MA =Percussiva Manual. P ME = Percussiva Mecânica.

Nunca Indicada | Pouco Indicada | Possível ser indicada | Mais Indicada

VII.2.2 – Sondagens a Percussão

Conforme definido em VII.2.1, na Sondagem a Percussão um peso cai em queda livre sobre o conjunto de equipamentos que penetra na rocha. Esse peso desfere golpes ritmados contra o fundo do poço de sondagem cortando a rocha em fragmentos. As Sondagens Percussivas podem ser **Manuais** ou **Mecânicas** e com ou sem circulação de água.

Grosso modo a Sondagem Percussiva apresenta como principal vantagem o baixo custo por metro linear perfurado, possibilidade de coletar amostras maiores, inclusive para testes industriais, melhor recuperação de materiais inconsolidados, quebradiços e muito friáveis.

Como principais desvantagens citam-se, sem excluir outras, as seguintes: a impossibilidade de realização de furos inclinados, ascendentes (em subsolo), baixo rendimento em rochas duras, maior possibilidade de contaminação de amostras, testemunhos de sondagem em fragmentos dificultando identificação petrográfica como textura, composição, estrutura e mergulho.

A Sondagem Manual é constituída basicamente por um Tripé, contendo uma Roldana ou Polia na parte superior, por onde passa uma corda grossa ou um cabo de aço, que se liga a um Peso de Bater contendo uma haste-guia (Figura VII.2 A e B).

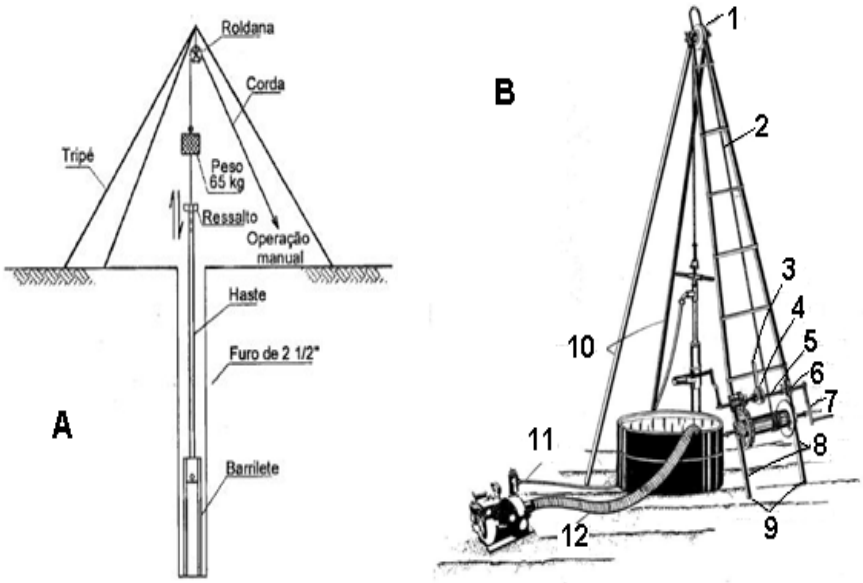


Figura VII.2 – (A) Esquema Geral de Sondagem a Percussão; (B) Sondagem a Percussão com circulação de água e os seguintes equipamentos: 1 – Roldana; 2 - Cabo de Aço; 3 - Alavanca do Engate de Redução; 4 - Engate de Redução; 5 - Eixo de Transmissão; 6 – Mancal; 7 – Manivela; 8 - Pernas com escada; 9 - Cone para apoio das pernas; 10 – Pernas Simples; 11 – Mangueira de Recalque; 12 – Mangote de Sucção. Baseada em Maranhão 1982

A Haste Guia é introduzida na Haste de Percussão (Figura VII. B) através de um Cabeçote de Bater, atarraxado a primeira haste, que contem um orifício, para ultrapassagem da haste-guia, como mostra a Figura VII.3 A.

Na extremidade inferior da coluna da haste de percussão é atarraxado um amostrador, sendo que os tipos mais usados são amostradores de solo bipartido e o tubo solido, mostrados nas Figuras VII.3 C e VII.3 D (adaptado de Maranhão, 1982).

Figura VII.3 – Sonda a Percussão.

A) Componentes de uma Sonda Percussiva (peso debater, haste--guia, que penetra na haste de perfuração através do cabeçote de bater).

B) Haste de percussão de aço especial trefilado a frio sem costura com roscas em ambas as extremidades e luva externa.

C) Amostrador de tubo sólido.

(D) Amostrador bipartido. Compilado de Maranhão, 1982.

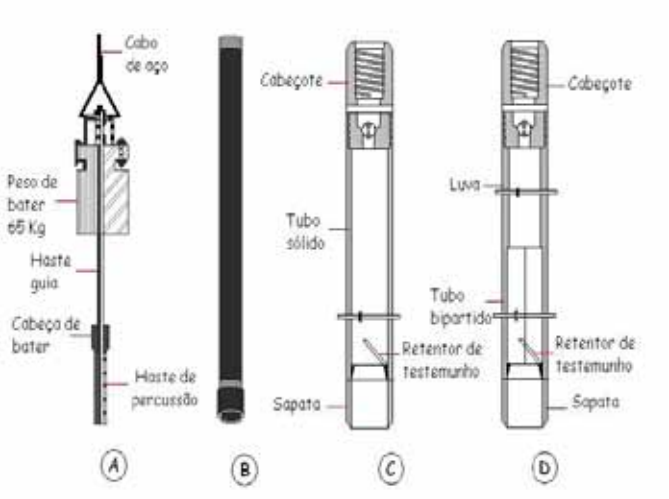
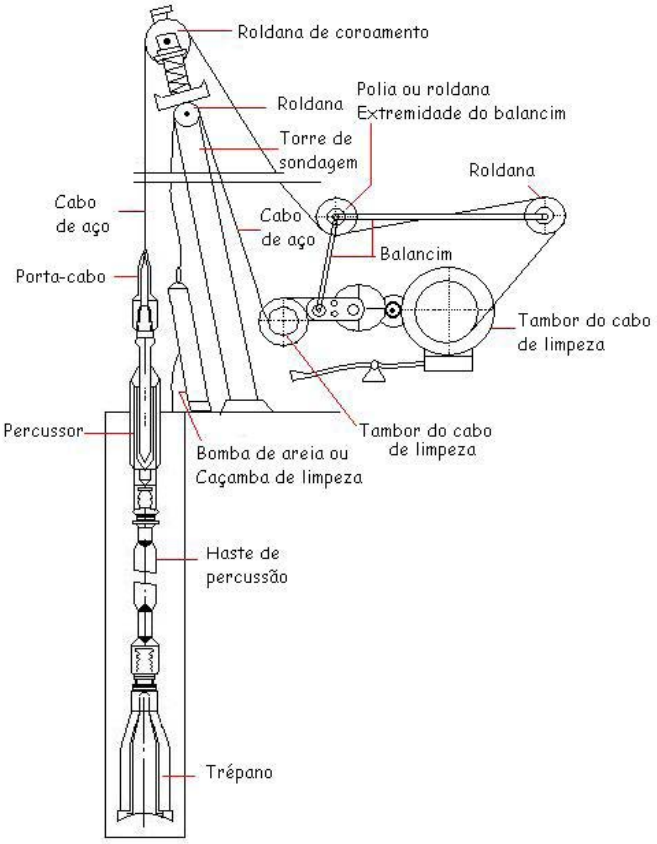


Figura VII.4: Sondagem a Percussão Mecânica é composta de Trepano, Haste de Percussão, percussor e porta-cabo, que são suspensos por um cabo de aço que passa por uma roldana de coroamento localizada na extremidade da torre de sondagem, e por uma segunda polia situada na extremidade do balancim vai a uma terceira roldana e atinge depois o tambor do cabo de perfuração, onde se enrola. A limpeza do furo é realizada por bombas de areia ou caçamba de limpeza, que se liga por um segundo cabo de aço a uma outra roldana e atinge depois o tambor do cabo de limpeza. Acionando todo este sistema há um motor geralmente a óleo diesel que transmite a força motriz necessária a dois ou três guinchos, responsáveis pelo processo de elevação da coluna de perfuração, da caçamba de limpeza e do revestimento, quando o poço é revestido.



O peso de bater é levantado por dois operários, puxando a corda que passa na roldana. Um terceiro operário introduz a haste-guia no orifício do cabeçote e o peso é deixado cair em queda livre, iniciando a penetração do amostrador.

À medida que penetra no terreno, parte do material atravessado penetra no amostrador através da sapata que é oca. Toda a composição é retirada para a coleta da amostra que fica presa no amostrador (ou barrilete) devido ao retentor de testemunhos (figuras VII.4 C e D).

Uma nova haste de percussão é atarraxada e a operação é reiniciada, aprofundando-se o furo. Cada operação desta (perfuração e retirada do amostrador) é denominada de **Manobra** (um furo é, portanto, constituído de várias manobras). Se o material atravessado é pouco coeso os riscos de desabamentos são maiores e se faz necessário o revestimento do furo.

A Sondagem Percussiva Mecânica consiste numa coluna pesada de percussão, sustentada por cabos de aço ("cable tools"), que é deixada cair de forma rítmica sobre o fundo do poço, graças ao movimento de um braço excêntrico, chamado balancim.

Os **Testes de Penetração** tem por objetivo obter informação sobre solos de fundações para construção civil. Os testes "in situ" de penetração podem ser de dois tipos: Penetração dinâmica contínua (DPL, DPM, DPH e DPSH) e Penetração dinâmica descontínua - SPT (*Standart Penetration Test*).

Os ensaios de penetração dinâmica contínuos consistem na determinação do número de pancadas (N) de um pilão de massa (M) em queda livre de uma altura (H) sobre o conjunto constituído, de cima para baixo, por um batente, um trem de varas e uma ponta cônica (cuja área tem base A), para que ocorra determinado comprimento de penetração (L).

TABELA VII.4 – CARACTERÍSTICA DE CADA TIPO DE ENSAIO DE PENETRAÇÃO DINÂMICA CONTÍNUOS

Tipos do ensaio	M (kg)	H (m)	A (cm^2)	L (cm)	N
Penetrómetro Dinâmico Ligeiro (DPL)	10	0.50	10	10	3-50
Penetrómetro Dinâmico Médio (DPM)	30	0.50	10	10	3-50
Penetrómetro Dinâmico Pesado (DPH)	50	0.50	15	10	3-50
Penetrómetro Dinâmico Super Pesado (DPSH)	63.5	0.75	20	20	5-100

O SPT (Standard Penetration Test ou Ensaio de Penetração Dinâmica Descontínua) é um dos ensaios correntemente mais usados e o mais econômico para obter informação sobre solos de fundações. Consiste em **cravar** no fundo de um furo de sondagem, devidamente limpo, um amostrador normalizado.

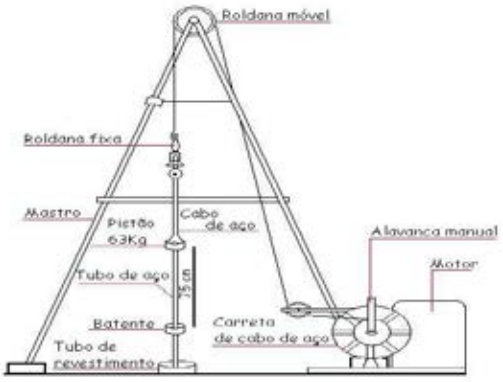


Figura VII.5 - **PM -** Penetração com o peso do material; **n1 -** Nº pancada para atingir 15 cm ou Penetração conseguida com 30 pancadas; **N -** Nº pancadas para atingir 30 cm ou Penetração conseguida com 60 pancadas (repartido em duas medições **N = n2+n3**).

A Figura VII.6 Ilustra o Perfil de Sondagem Geológica de um ensaio de penetração padrão SPT



(A)



(B)

Figura VII.6 – (A) Amostrador SPT; (B) Perfil de Sondagem Geológica com Ensaio de Penetração segundo Padrão STP. O Diagrama das Penetrações é a representação gráfica da penetração medida pela quantidade de golpes por 30 cm. Notar que os primeiros 10 cm de profundidade correspondem a fase 1 descrita anteriormente.

A **cravação** é feita recorrendo-se a um pilão com 63.5 kg de peso que cai livremente de uma altura de 30'' (~ 75 cm), sobre um batente que por sua vez está ligado a um trem de varas, cuja ponta é um amostrador normalizado.

Fase 1: O amostrador é cravado 15 cm, registrando o respectivo número de pancadas; a esta fase correspondem em regra solos remexidos pelo que o valor obtido nesta fase é meramente indicativo.

Fase 2: O amostrador é cravado mais 30 cm, sendo o resultado do ensaio SPT o número de pancadas (N) obtido. Se após 60 pancadas, a penetração não atingir os 30 cm, termina-se o ensaio medindo a penetração obtida.

VII.2.3 – Sondagens Rotativas

Conforme mencionado no item VII.2.1 as Sondagens Rotativas podem ser Manuais (a trado, empire ou banka) ou Mecânica (a diamante, a grenalha ou calix e "rotary").

As **Sondagens Manuais** são utilizadas em rochas inconsolidadas, para coleta de amostras de solo de pouca profundidade entre outros.

O **trado manual** tem mais restrições na sua empregabilidade. A perfuração progride graças à rotação manual do trado diretamente no terreno. São constituídos de um punho, um conjunto de hastes (simples canos de ferro com roscas nas extremidades) e um elemento cortante.

Devido a adaptações para melhor desempenho em determinados tipos de litologia, existem vários tipos de Trados Manuais: em hélice (argila), caçamba (areia e solos em geral), boca de lobo (para pequenos furos onde é necessário o emprego de força percussiva e rotativa daí poder ser utilizado em solos mais resistentes, porém de pouca profundidade < 1,0 m). A Figura VII.7 ilustra alguns tipos de trados manuais.

O Furo a trado manual progride por manobras. A manobra é semelhante àquela descrita para as sondagens a percussão. Toda a composição penetrante é retirada e os canos desengatados com chaves de cano, até chegar ao último (próximo ao elemento cortante) onde a amostra do trecho perfurado está alojada.

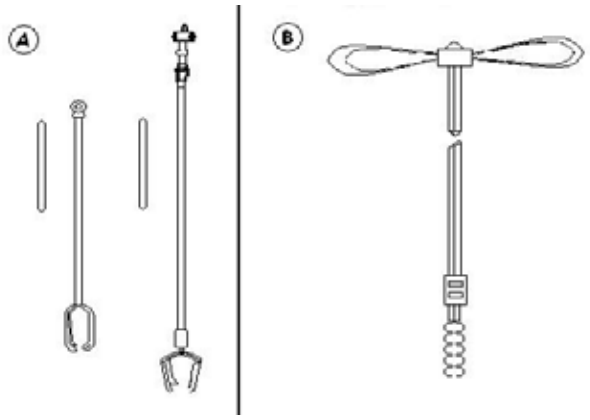


Figura VII.7 – Trado manual com elemento cortante em forma de caçamba (A) e Espiral (B). Compilado de Maranhão 1982.

Uma nova manobra é executada ao limite do comprimento da haste (e na dependência da resistência do terreno), onde todas as hastes serão novamente engatadas juntamente com mais a nova haste que é a responsável pelo progresso do furo (aprofundamento) e realização da nova Manobra.

A **Sondagem Empire ou Banka** é indicada na pesquisa de aluviões com espessuras de no máximo 30 m a 40 m dependendo da consistência da aluvião, em áreas de acesso difícil e com disponibilidade de trabalhadores braçais. Indicadas para Depósitos Aluvionares, Tailings de Minas, Argila, Bauxita e Minério de Ferro Laterítico, Camadas muito úmidas, Geoquímica de profundidade em solos saturados de água, Testes de solo para Geotecnia.

Os tipos mais comuns são denominados de tamanho 4 (4 polegadas "inch" em inglês) com diâmetro externo de 121 mm, o tamanho 6 (6 polegadas) com diâmetro externo de 165 mm é e o tamanho 8 (polegadas). 1 polegada (inch) é igual a 0,0254 metros ou 2,5 cm e seu símbolo são (") duas aspas.

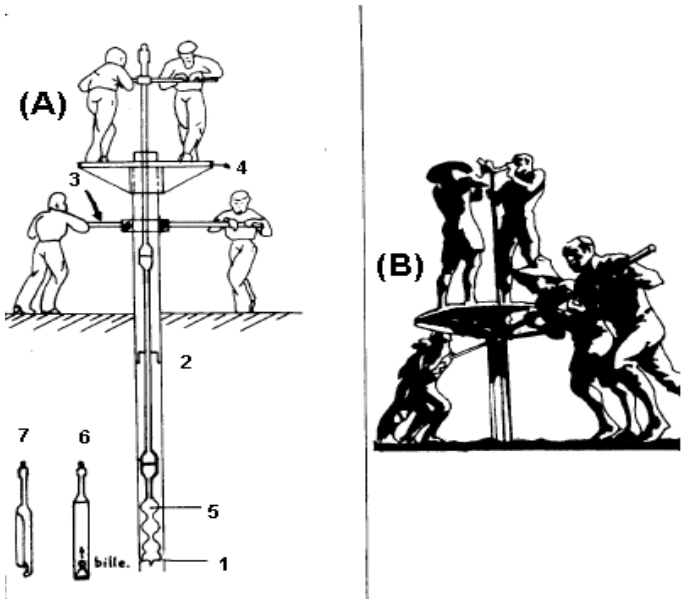


Figura VII.8 – Sondagem Empire ou Banka. Maranhão, 1982.

A) Desenho esquemático de sonda "empire" ou Banka indicando os seus principais componentes, quais sejam:
1 - coroa ou sapata dentada;
2 - tubos;
3 – braços radiais;
4 - plataforma;
5 - composição interna para limpeza;
6 - bomba de areia;
7 - trado "colher" para início do furo.
B) sonda em operação.

A Banka 4" (tamanho 4) é indicada para profundidades de até 40 m em terrenos de rochas de fácil penetração, embora tendência seja utilizar o método de furo telescópico, iniciando com 6", por exemplo, e concluindo com o 4". A Banka 6" é tem sido utilizada para avaliação de placers de baixa resistência a penetração e/ou de grãos grosseiros (ouro – diamantes).



Figura VII.9 – Foto da realização de Furo de Sondagem Manual tipo Empire ou Banka. Autor desconhecido.

As **Sondagens Rotativas Mecânicas** principais são: a diamante, a grenalha ou calix e "rotary". A mais utilizada em Pesquisa Mineral é a Sondagem a diamante em que se desejam testemunhos contínuos para estudo petrográfico (textura, estrutura incluindo mergulho, mineralogia etc) e lito-geoquímico. Não são indicadas para rochas inconsolidadas, pulverulentas, de matriz mole ou rochas muito fraturadas.

Os dois principais tipos de Sondagem Rotativa a Diamante são a Sondagem a Diamante ou Diamond Core Drilling e Sondagem com Circulação Reversa ou RVC.

A Sondagem a Diamante (Diamond Core Drill) pode ser de dois tipos: com manobra e sem manobra (ou wire line).

O tipo Diamond Core Drilling usa uma coroa com bit de diamantes que gira no final das hastes (ou tubulações). Uma abertura, no final da coroa diamantada (bit) permite que a rocha mova-se para dentro do Barrilete (onde ficará alojada até que seja retirada), tendo passado antes pelo Calibrador. A composição penetrante é composta, pela ordem, de coroa, calibrador, barrilete e hastes (ou haste-guia). Basicamente a coroa tem a função de cortar a rocha, o Calibrador (acoplado à coroa) tem a função de reabrir o furo para facilitar o trabalho da sondagem e evitar aprisionamento da composição penetrante. O Barrilete tem a função de armazenar as amostras e as hastes e de permitir o aprofundamento do furo e transmitir a rotação e pressão para que a sondagem possa progredir (ver Figura VII.10).

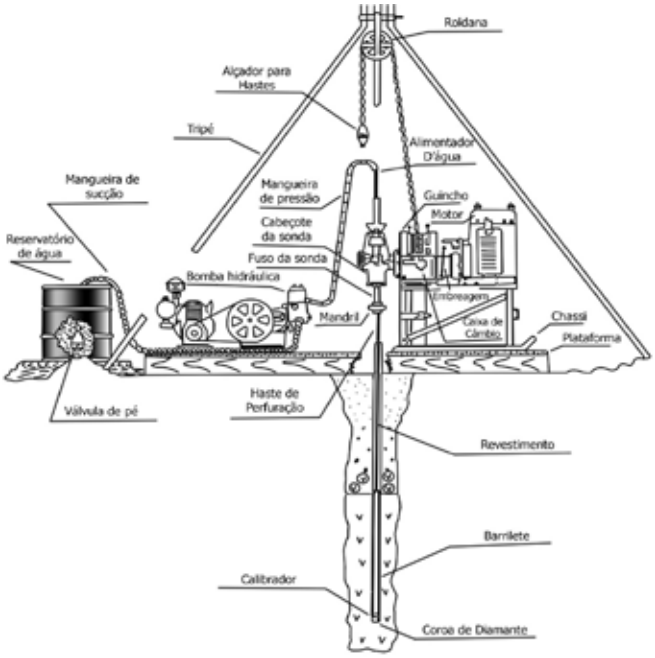


Figura VII.10 – Equipamentos de uma Sondagem Rotativa a Diamante, incluindo a composição penetrante e equipamentos externos ao furo. Compilada parcialmente de http://www.lapes.ufrgs.br

Esses diamantes, chamados de diamantes industriais são feitos principalmente de carbeto de tungstênio. Existem também coroas (e calibradores) de Diamantes naturais de qualidades não-gemológicas e, também de minerais de Coríndon devido sua dureza ser próxima a do diamante. O material de suporte da coroa (e também dos calibradores) é feito de aço carbono altamente resistentes a abrasão. A tabela VII.6 lista os diâmetros dos furos por cada tipo de coroa.

TABELA VII.5 – TIPOS E DIMENSÕES DE COROA E HASTES DE SONDA ROTATIVA A DIAMANTE

COROA			**HASTES**		
Tipos	**ϕ int.(mm)**	**ϕ ext (mm)**	**Tipos**	**ϕ int (mm)**	**ϕ ext (mm)**
Ex	21,4	37,7	E	11,1	33,3
Ax	30,1	48,0	A	14,3	41,3
Bx	42,0	60,0	B	15,9	48,4
Nx	54,7	75,7	N	25,4	60,3

A coroa de diamante gira lentamente e com suave pressão enquanto é lubrificada com água para evitar o superaquecimento devido à abrasão do trabalho de corte da coroa nas rochas.

O sondador deve estar atento, escutando o trabalho da coroa para avaliar o andamento da perfuração em profundidade. Ele ajustará a velocidade de rotação, a pressão e a circulação da água para os diferentes tipos de rochas e condições de perfuração, de forma a evitar problemas, tais como desgastes da coroa, superaquecimento entre outros.



Figura VII.11 – Coroa de diamante.

Os **calibradores** são anéis diamantados balanceados. O calibrador é um componente auxiliar do barrilete que une a coroa ao tubo externo do barrilete. Serve também como estabilizador, reabre o furo visando dar uma folga de espaço para o trabalho da coroa.

O anel diamantado do calibrador possui diamantes cravados, assegurando um furo de diâmetro constante, independente do desgaste da coroa. As saídas d´água, entre os gomos diamantados, facilitam a refrigeração e contribuem para prolongar a duração tanto dos calibradores como das coroas.



Figura VII.12 - Calibrador

Os Barriletes são tubos ocos destinados a receber o testemunho de sondagem e são presos à primeira haste a penetrar no solo.

Nas Sondagens Rotativas a Diamante com Manobra toda a composição penetrante é retirada do furo quando o Barrilete está cheio de testemunhos de sondagem. Em superfície os testemunhos são retirados e ordenados em caixas de madeira (vide figura VII.13). Todo cuidado para colocar os testemunhos na ordem seqüencial da profundidade com que foram cortados pela sonda. Uma Plaqueta Indicativa de Manobra (pode ser de madeira) deve ser colocada na caixa de Sondagem após a colocação do último testemunho da manobra. Nessa plaqueta devem constar informações de profundidade, do intervalo perfurado pela manobra e recuperação.

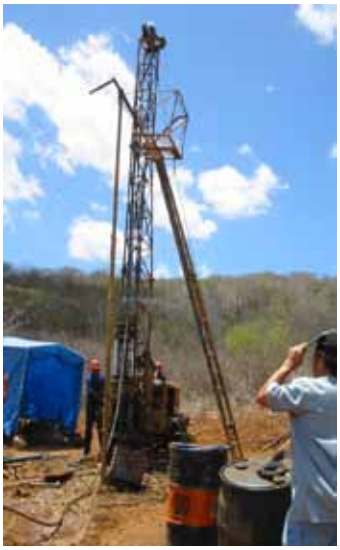


Figura VII.13 Sondagem Rotativa a Diamante em Operação na Região de Bonfim II, LAJES/ RN

A **Recuperação** é uma medida relativa entre o intervalo perfurado e a quantidade de testemunho efetivamente recuperada. Supondo que o intervalo perfurado foi de 1,0 m se esperaria ter 1,0 m de testemunhos de sondagem caso a recuperação fosse 100%. Se apenas 0,90 m (90 cm) foi recuperado diz, então, que a Recuperação foi de 90%.

Os tipos mais usuais de Barrilete são:
- barriletes simples (rocha sã, alteração de rocha).
- duplo rígido (melhor recuperação – formações geológicas médias e duras, pouco fraturadas).
- duplo giratório (formações moles e fragmentadas – garantem boa recuperação).
- especial (série D, M ou L, usados em materiais onde é fácil obter a alta recuperação do testemunho).

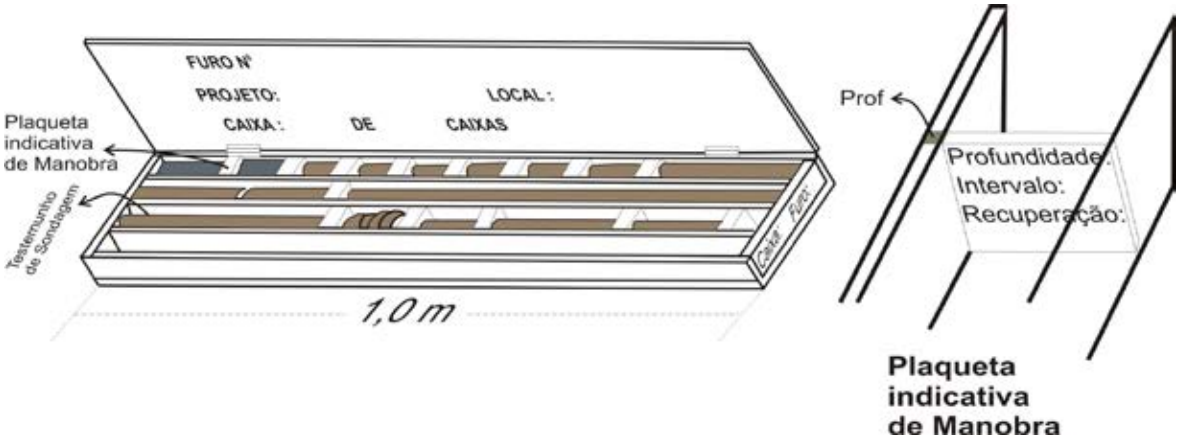


Figura VII.14 – Caixa de Sondagem com detalhe das Plaquetas Indicativas de Manobra e as informações que devem constar nessas plaquetas. Na tampa da Caixa é importante colocar informações como o número do Furo (ou outra indicação do Furo), Local, as vezes com as coordenadas, Inclinação do Furo (intensidade e Sentido), número da Caixa, Nome do Projeto, entre outras informações.

A maioria das empresas de Pesquisa Mineral contrata empresas prestadoras de serviço para executar sua programação de sondagem. É praxe, nesses Contratos de Prestação de Serviço, uma cláusula indicando a recuperação requerida pelo Contratante e que o Contratado deve cumprir às vezes sob pena de pagamento de multa. Também é comum que o Técnico de Geologia ou de Mineração da empresa Contratante seja o responsável pela fiscalização dos trabalhos de sondagem, inclusive de checagem da recuperação indicada pela Contratada.

Em áreas pioneiras a Descrição dos Testemunhos de Sondagem fica a cargo de Geólogos, às vezes com auxílio de Técnicos. Entretanto, em áreas cuja Geologia está razoavelmente conhecida, esse trabalho é feito comumente por Técnicos de Geologia e Mineração. A descrição geralmente é realizada em escala de 1:1 e depois é feito um resumo do Furo (perfilagem) na mesma escala em que serão feitas as Seções Geológicas.

O técnico deve dispor daqueles equipamentos habituais para descrição petrográfica, quais sejam (sem excluir outros): lupa com aumento de pelo menos 10 x, canivete, imã, pelo

menos ácido clorídrico comercial, água para molhar o testemunho e facilitar a observação da mineralogia, prancheta com papel milimetrado de preferência ou ficha de descrição padrão adotada pela empresa (ver fichas nas figuras VII.15 A e B a seguir), régua, transferidor, coleção de lápis de cor, trena e luvas para manusear as caixas, além das tradicionais borrachas, lápis e outros necessários ao trabalho de descrição. Ergometricamente é importante se ter uma bancada com cadeiras que facilitem essa tarefa. Com o acúmulo de conhecimentos sobre uma área específica as rochas passam a ter uma denominação própria, válida no âmbito da empresa. Geralmente são siglas que definem determinadas litologias importantes no contexto do Depósito Mineral.

As Fichas de Descrição de Testemunhos de Sondagem não seguem um padrão rígido. Cada empresa adota um padrão ou exige da prestadora de serviço a inclusão ou exclusão de informações, caso o modelo da empreiteira não atenda totalmente as necessidades da empresa. Assim, existem modelos bastante simples até modelos mais elaborados, com mais informações requeridas.

Em ambos os Projetos o "target" era tungstênio e sua associação geoquímica mais usual na Faixa Serido, que é o molibdênio. Notar que o modelo apresentado na figura VII.15 a é mais simples e requer informações da profundidade, intervalo perfurado e descrição petrográfica da rocha, além do local, número do Furo de Sonda e no me do Projeto.

Já o modelo de Descrição apresentado na Figura VII.15 B solicita que sejam prestadas mais informações como início e término da furação, diâmetro do furo, coordenadas de localização, direção e inclinação (mergulho) do furo, número da caixa de sondagem que está sendo descrita, log (representação gráfica), recuperação do testemunho e da lama (também chamada de amostra de calha e é justamente o material em pó produzido pela sondagem) e reserva um espaço para colocação dos dados de teor do trecho amostrado para análise química

C P R M
DIRETORIA DE OPERAÇÕES
AGÊNCIA Recife

BOLETIM 04/00
FURO DE SONDA 1 LG-15-RN

Pesquisa de Scheelita Projeto Bonfim Profundidade 86,95
Local Mina Bonfim Município Lages

De	Até	Esp.	Material atravessado
0,00	14,70	14,70	Solo coluvial areno-argiloso de colorações cinzenta e amarronzada
14,70	36,95	22,25	Biotita-Xisto de granulação fina coloração cinza. Localmente apresenta-se um pouco alterado com transformações parciais biotita para anfibólio. No intervalo de 24,30 a 24,40 calcário cristalino grosseiro de coloração branca. Finos veios de quartzo (até 5 cm) hialino localmente intercalam no xisto.
36,95	39,85	2,90	Rocha calciossilicática de coloração esverdeada constituída de diopsídio, anfibólio, quartzo, calcita e micas.
39,85	43,50	3,65	Calcário cristalino, granulação fina, coloração predominantemente branca, geralmente impuro, com diopsídio, micas e anfibólios (actinolita e ou tremolita).
43,50	43,90	0,40	Anfibílio - Biotita - Xisto

(A)

FURO DE SONDA DE SUPERFÍCIE

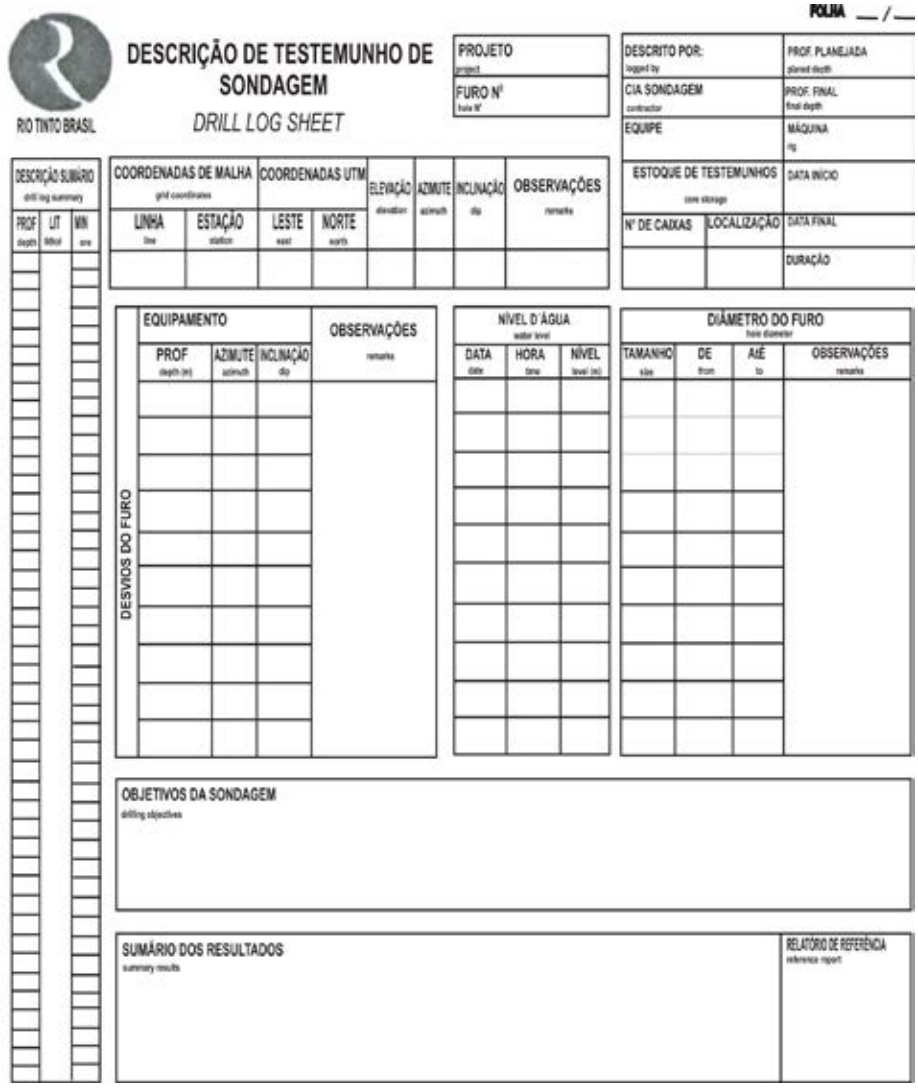
LOCALIZAÇÃO
COORDENADA DO COLAR
COTA DO COLAR E ELEVAÇÃO
DIREÇÃO
MERGULHO
COMPRIMENTO
DIÂMETRO DO FURO
SONDADO COM
INÍCIO ___ / ___ / __
TÉRMINO ___ / ___ / __
SONDADO POR:
PÁGINA ___ DE ___

CAIXA Nº	DIÂ-METRO	m	Log	PROFUN-DIDADE	RECUPERAÇÃO		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	ANÁLISE		INTERVALO
					Testemunho	LAMA		% WO_3	% Mo	m

(B)

Figura VII.15 – (A) Modelo de Fiha de Descrição de Testemunhos de sondagem utilizado pela CPRM na mina Bonfim, Lajes/RN (B) Modelo o de Ficha de Descrição de Testemunhos de Sondagem utilizado pela CPRM na mina Zangarelhas, Currais Novos - Acari /RN. Figura do autor.

A seguir dois outros modelos de descrição de testemunhos de sondagem da empresa Rio Tinto Zinc (RTZ) utilizado na mina Bonfim após a confirmação da mineralização de ouro associado à scheelita.



INTERVAL (m) INTERVALO (m)		LENGTH	HOLE ATTITUDES ATITUDE DO FURO		GRID COORDINATES COORDENADAS GRID		UTM COORDINATES COORDENADAS UTM		ELEV. (m)	Geology Geologia	DESCRIPTION DESCRIÇÃO
FROM DE	TO PARA	COMPRIMENTO	Az	INCL. (°)	LINE (N-S) LINHA	STATION (E-W) ESTAÇÃO	EAST	NORTH			

Figura VII.16 – Dois modelos diferentes de descrição de Testemunho de sondagem utilizados pela RTZ, no Projeto Bonfim, Lajes/RN. Compilada parcialmente da RTZ.

I – **LOCALIZAÇÃO**

FURO:	FMA-312	**LOCAL:**	MORRO AGUDO
MUNICÍPIO:	XXXXXXX	**Estado:**	XXXX
COORDENADAS:	9.232.400 UTM_N	236.500 UTM_E	

II – **CARACTERÍSTICAS DO FURO**

COTA DO FURO	33,50m	**SONDADOR:**	Zé Soares	**D E S C R I T O POR:**	Miguel
PROFUNDIDADE:	m	**DATA INÍCIO:**	10/11/01	**D A T A TÉRMINO**	10/0111/02
ESCALA:	1:100	**RECUPERAÇÃO GERAL:**			

III – **PERFIL DE SONDAGEM**

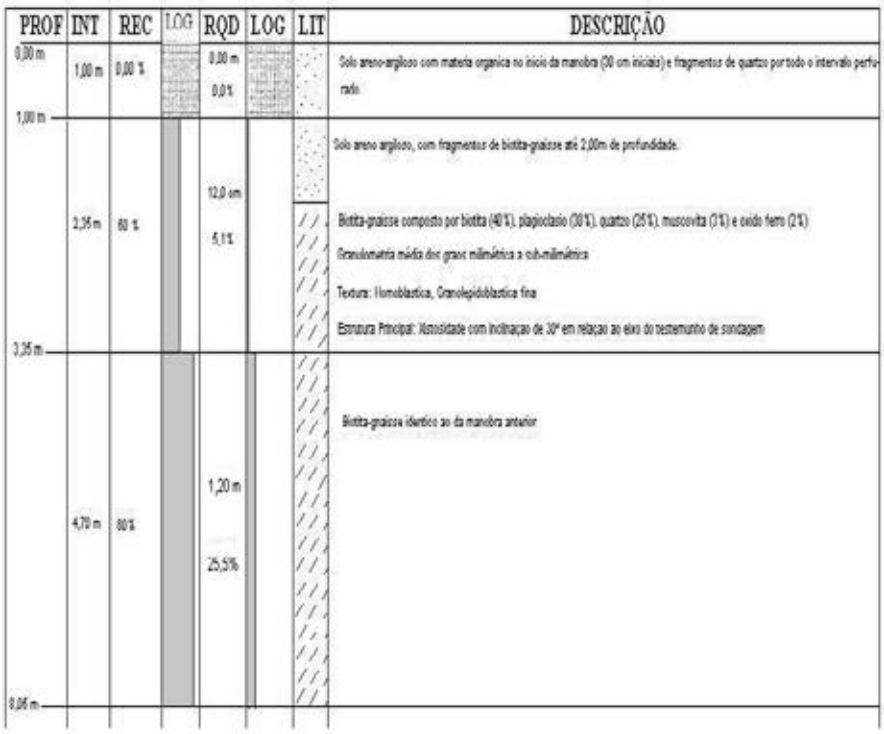


Figura VII.17 – Ficha de Descrição de Furo de Sondagem. Os "LOG" são representação gráfica de Recuperação e RQD (veja texto para saber o que é RQD e Recuperação) e LIT é a representação gráfica das litologias descritas. Os locais de coleta de amostras devem ser indicados na descrição e, depois, na perfilagem do furo, bem como mudanças no diâmetro do furo.

O principal objetivo da sondagem é a coleta de amostras para análise de teor (além de espessura, densidade e outros que sejam importantes para o estudo do Depósito Mineral). É de suma importância que o técnico disponha de uma serra elétrica ou uma máquina denominada "Divisor de Testemunhos" para proceder à amostragem.

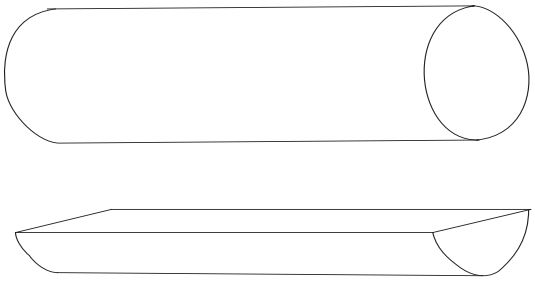


Figura VII.18 – Testemunho de Sondagem e depois de amostrado (serrado ao meio). Figura do autor

O Testemunho de Sondagem é amostrado serrando o cilindro de rocha ao meio segundo seu comprimento maior (ver figura VII.18), onde uma metade permanece na Caixa de Testemunho e a outra metade segue para análises em laboratório.

RQD Rock Quality Designation é uma medida de recuperação de testemu-nhos modificada, que consi-dera o grau de fraturamento e o grau de alteração da rocha. Serve de parâmetro para se ter uma idéia da resistência da rocha e da possibilidade futura de desenvolver galé-rias com ou sem escora-mento. É definida como o somatório dos comprimentos dos testemunhos de rocha sã, maiores ou iguais a 10,0 cm.

TABELA VII. 6 – CLASSIFICAÇÃO DE RQD

RQD - %	QUALIDADE DA ROCHA
91 – 100	Excelente
90 -76	Boa
75 – 51	Regular
50 – 26	Má
25 -0	Péssima

Rochas altamente fraturadas (freqüentemente encontradas próximas a superfície) em adição ao risco de desgaste da coroa propiciam o escape de fluidos deixando a coroa superaquecida.

TABELA VII.7 – CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS QUANTO AO FATURAMENTO

ESTADO DE ROCHA	**NR. DE FRATURAS/m.linear**	**% RECUPERAÇÃO**
Fraturada	*1*	*> 90%*
Pouca fraturada	*1 a 5*	*75 - 90%*
Medianamente Fraturada	*6 a 10*	*50 - 75%*
Muito fraturada	*11 a 20*	*25 - 50%*
Extremamente fraturada	*21 a 30*	*10 - 25%*
Em fragmentos	*> 30*	*0 - 10%*

Concluída a descrição se faz a perfilagem. A **Perfilagem** é um resumo do Furo de Sonda, ou seja, é a representação gráfica do furo de sonda em uma escala de menor detalhe onde apenas o tipo de rocha é representado, sem acompanhamento de sua descrição petrográfica (ver figura VII.18).

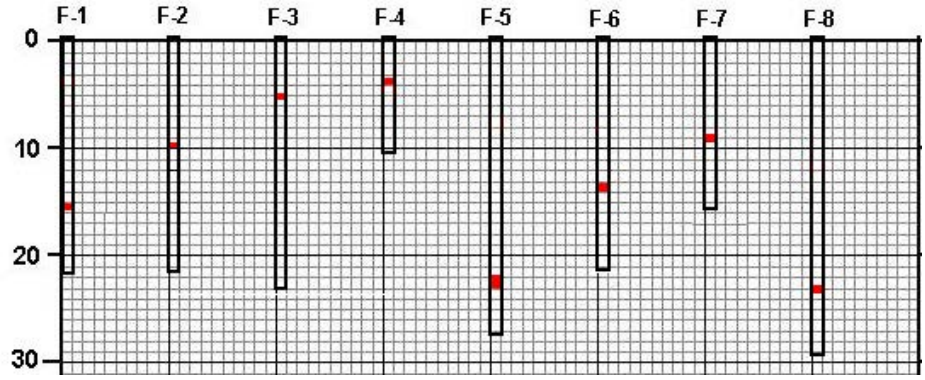


Figura VII.19 – Perfilagem dos Furos de Sonda do Mapa da figura VII.1. Figura do autor

Na campanha de sondagem da figura VII.1, os furos foram executados com Sondagem Rotativa a Diamante. Os testemunhos de sondagem do veio de quartzo foram amostrados e os resultados obtidos se encontram listados na tabela VII.8 abaixo.

TABELA VII.8: RESULTADOS DE TEOR E ESPESSURA DOS FUROS DE SONDA DA FIGURA VII.1.

	F-1	**F-2**	**F-3**	**F-4**	**F-5**	**F-6**	**F-7**	**F-8**
Au (ppm)	58,0	21,6	3,40	2,05	12,3	0,25	1,55	1,10
Esp. (m)	0,80	0,50	0,65	0,85	1,05	1,00	0,70	0,75

Optou-se pela sondagem rotativa devido à dureza extremamente alta das rochas a serem cortadas pela sonda, planejamento de continuar a campanha com furos mais profundos e eliminar os custos de mobilização com dois tipos de sondagens diferentes. Na tabela VII.4 foram listadas as condições e o tipo de sondagem mais adequado.

Após a elaboração do Perfil Topográfico (Capítulo III), os furos que o compõem são plotados a partir da perfilagem da figura VII.19.

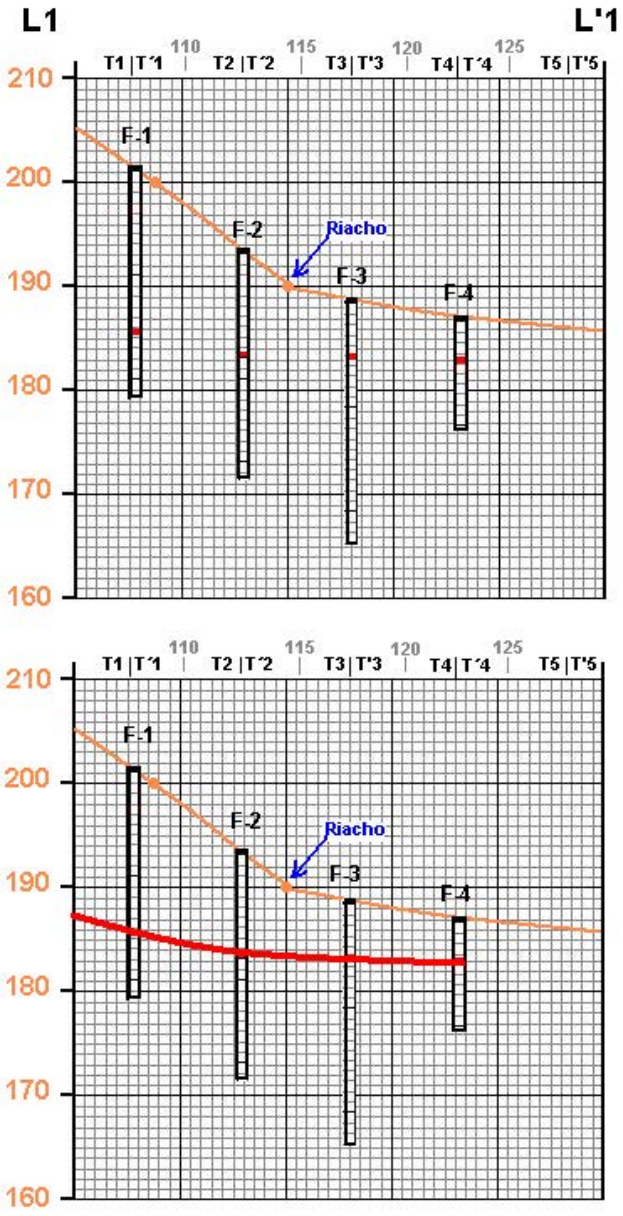


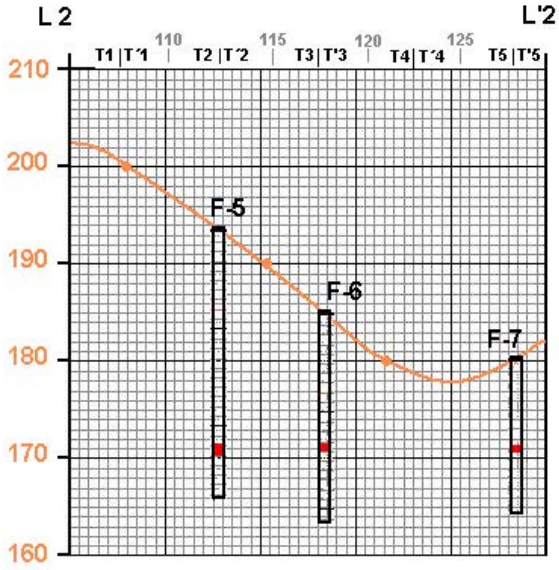
FIGURA VII. 19 – A Figura VII.20 ao lado é a plotagem da perfilagem dos Furos F1, F-2, F-3 e F-4 pertencentes a Seção L1-L'1 (vide figura VII.1). Os pontos em laranja são a intersecção do Perfil com Curvas de Nível. A linha laranja é a interpretação da geometria do relêvo (Capitulo III) no Perfil L1-L'1, ligando-se aqueles pontos de intersecção do modo mais aproximado da realidade topográfica do terreno. Figura do autor.

Após a Plotagem da Perfilagem dos Furos de Sonda no Perfil Topográfico da Seção L1–L'1, passa-se a fase de interpretação da Geologia do Perfil L1 – L'1 a partir dos dados de sondagem. Aqui não foi feita a indicação tradicional de escala horizontal e vertical, pois foram plotados os valores de coordenadas UTM_E (horizontal) e a gradação de cotas (vertical). Figura do autor.

É muito importante conferir cota e coordenadas antes de plotar as perfilagens no Perfil Topográfico, pois o traçado da topografia e Geologia tem algo de interpretativo e, portanto, de subjetivo.

Geralmente o trabalho de interpretação das Seções Geológicas fica a cargo de Geólogos experientes (Geólogo Sênior) que comanda uma equipe de trabalho de campo. É um bom hábito socializar as interpretações e escutar opiniões sobre a interpretação realizada, modificando-a sob argumentação. Nesse momento, é muito importante que o Técnico

de Geologia e Mineração esteja preparado para prestar a melhor contribuição possível e modelar a Geometria do Depósito Mineral o mais aproximado possível da realidade. Afinal de contas, boa parte dos trabalhos de campo esteve sob sua responsabilidade e, a esse estágio do Projeto, ele tem já uma boa percepção do comportamento da mineralização estudada.

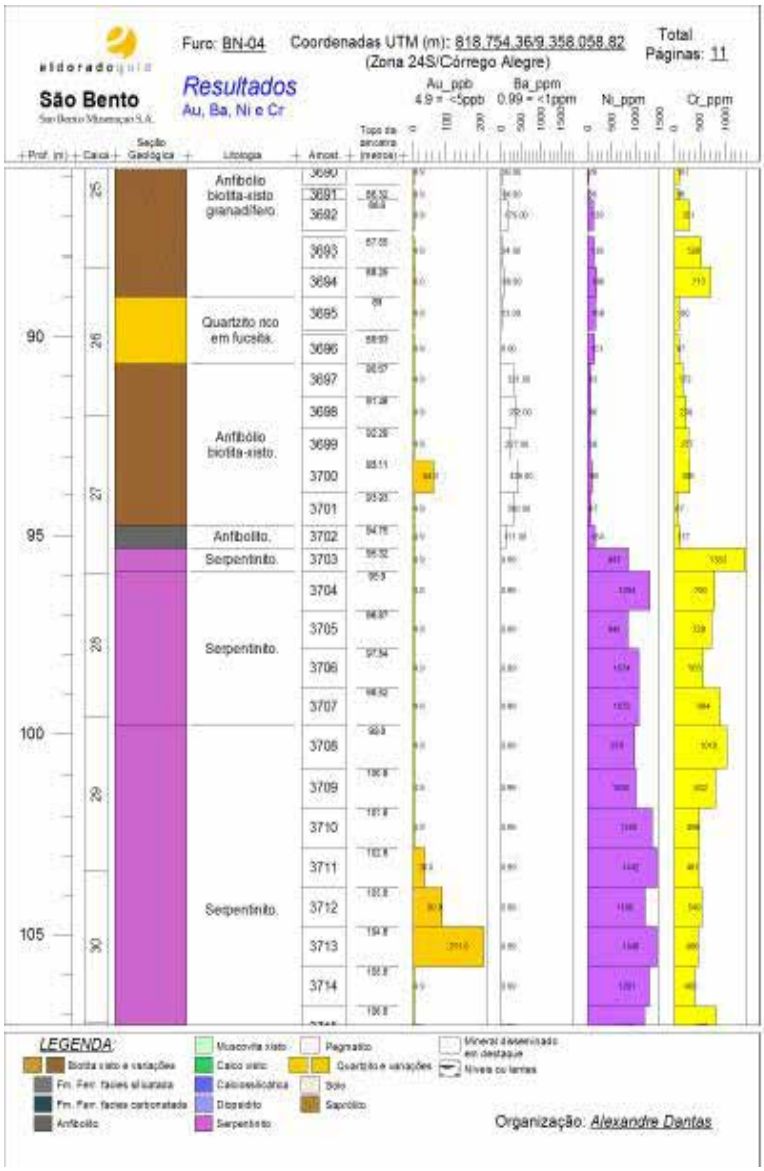


A Figura VII.20 ao lado é a plotagem da perfilagem dos Furos F5, F-6 e F-7 pertencentes a Seção L2-L'2 do Mapa de Malha de Sondagem da figura VII.1. A numeração em laranja ao lado do Perfil são as cotas, podendo-se observar que cada 1 cm no perfil corresponde a 10 metros de diferença de cota. As indicações de coordenadas UTM_E indicam que cada 1 cm no Perfil corresponde a 5 m no terreno. Estão indicadas também as Seções Transversais que cortam perpendicularmente a Seção Longitudinal em apresentação (no caso L2-L´2). Figura do autor.

Não foi feita a interpretação da Geologia do perfil L2-L'2 e nem os demais perfis longitudinais e transversais para que tais tarefas sejam realizadas como exercício. Aproveite para determinar qual a escala horizontal e vertical dos Perfis, pois todos eles devem ter as mesmas escalas verticais e horizontais. Nunca, em um mesmo Projeto, devem ser apresentados perfis em escalas diferentes um do outro.

Além da Perfilagem são elaborados modelos gráficos representativos da Sondagem. Não é a Ficha de Descrição utilizada pelo técnico e/ou pelo geólogo para descrição dos testemunhos de sondagem, mas uma apresentação graficamente mais elaborada daquela Ficha de Descrição. Essas apresentações se destinam a apresentação de Relatórios sobre Prospectos e Alvos e podem ser feitas na mesma escala da Descrição dos Testemunhos de Sondagem ou em outra escala. A diferença fundamental é que a perfilagem se destina a resumir o que foi descrito na Ficha de Descrição dos Testemunhos de Sondagem. Esse resumo servirá depois para formar uma síntese do que foi sondado, para confeccionar Seções Geológicas etc., enquanto os **Modelos Gráficos de Sondagem** são utilizados para apresentações, expor idéias ou simplesmente para constar na documentação do projeto de uma forma mais palatável ao observador, inclusive ao observador leigo. Existe uma infinidade de modelos gráficos, praticamente cada empresa adota um que mais atenda os seus objetivos.

Figura VII.21 – Parte de um Modelo Gráfico de Sondagem da empresa São Bento Mineração S/A, a subsidiária brasileira da nadense Eldorado Gold.



Esse furo foi realizado numa área denominada Bonfim III, prolongamento Norte do "ore shoot" principal da mina Bonfim, em Lajes/RN.

Nesse fragmento da representação gráfica do furo de sonda apresenta-se, entre outras informações, o número do furo, Coordenadas do furo (do **Collar** = "boca do furo"), dados de teor de Au (ppb), Ba, Ni e Cr (os 3 em ppm) em gráfico de barras, descrição resumida das litologias, profundidade, número da Caixa de Sondagem, número da amostra analisada, a profundidade em que o topo da amostra foi atingida, entre outras informações.

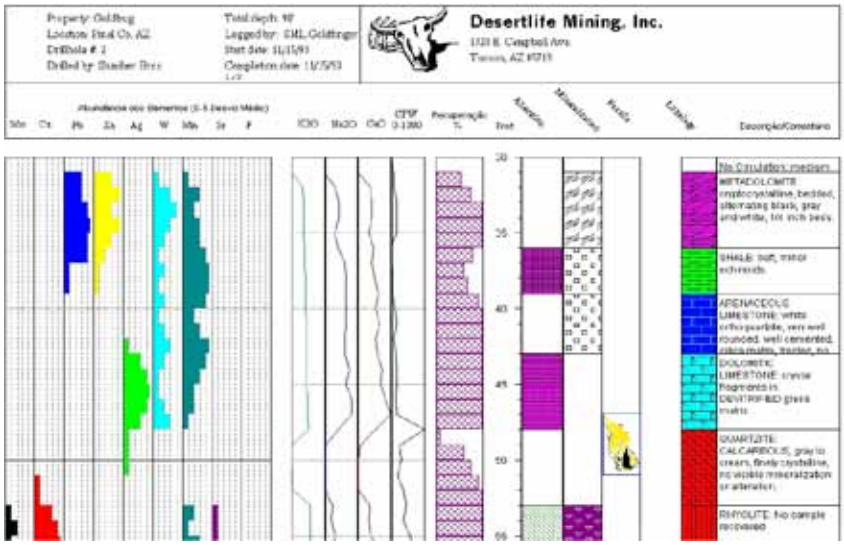


Figura VII.22 - Modelo Gráfico de apresentação de Furo de Sondagem da "Desertlife Mining Inc." com indicação de teor de metais e recuperação em gráfico de barras, entre outras informações. Compilada do site da desertlife mining inc.

Softwares GIS como o MapInfo / Discover realizam a perfilagem considerando a localização do furo e sua cota. Outras informações podem ser incluídas. No Discover 5.0, pode ser acessado um banco de Dados no Microsoft Access e Excel, já na extensão TAB, que permitirá a plotagem de furos de sonda. O Caminho é MapInfo – Discover – Discover_Tutorial – Drillholes. Notar que um dos Furos tem **DESVIO**.

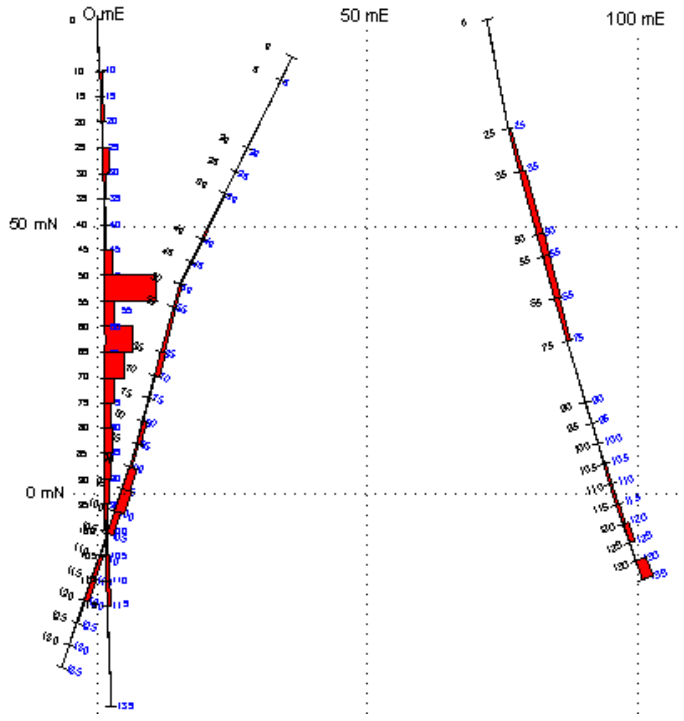


Figura VII.23 – Plotagem do Banco de Dados do Discover 5.0 de três furos de sonda. O Histograma em vermelho junto com o furo indica o teor de Au. Do autor a partir figura do Discover 5.0.

Os Desvios voluntários em Furos de Sonda se devem a introdução de “Joelhos” que têm por objetivo corrigir ou desviar a direção de Furos. Além disso, tem os Desvios involuntários que são devidos a resultante das forças atuantes de perfuração da máquina de sondagem contra a resistência da rocha à perfuração. Na literatura mencionam-se desvios de 2º 30’ a 150 metros de profundidade, atingindo 48º a 1.200 metros. Existem aparelhos (como os clinômetros) que são utilizados para monitorar os Desvios. No caso da Figura VII.23 o Desvio foi voluntário.

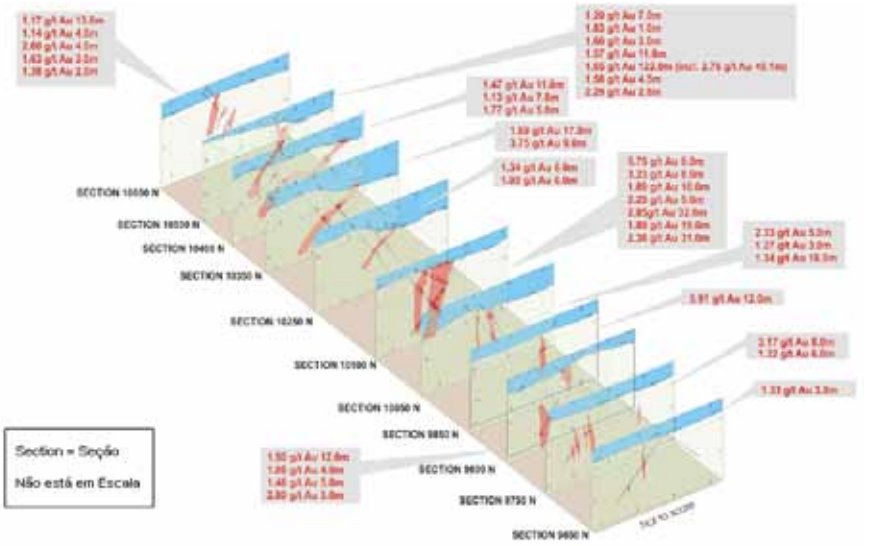


Figura VII.24 - Seções Geológicas de um pros-pecto da AMI Resources Inc. chamando “Beposo” onde são estimados recursos da ordem de 120 mil onças de ouro contido (Indicada e Inferida) através de 7 mil metros lineares de furos de sonda. De vermelho de Au os teores e espessuras em cada Seção. Compilado de http://www.amiresources.com/properties.html.

A Malha de Sondagem deve ser vista, em três dimensões, como uma grade tipo a grade de refrigerante (se você preferir de cerveja) com informações das Seções Geológicas de modo a propiciar a visualização do Depósito Mineral tridimensionalmente.

As **Hastes** (ou Haste – Guia) são tubos ocos sem costuras de comprimentos variáveis, ligados entre si. Transmitem à peça de corte no fundo do furo os movimentos de rotação e penetração para o avanço da sondagem e conduzem água e lama para a refrigeração das peças de corte e ao transporte dos detritos da perfuração à superfície.

Muitas hastes de sondagem têm comprimento de 10 polegadas que são utilizadas para iniciar o furo. Depois de sondada as 10’’ iniciais, uma nova tubulação é acoplada. A profundidade da sondagem é estimada pela contagem do número de hastes de sondagem colocadas no furo

A sondagem “**Rotary**” é utilizada principalmente na pesquisa de petróleo e gás e na captação de água subterrânea, onde não é necessária uma testemunhagem continua de toda formação, mas apenas de alguns intervalos potencialmente mineralizados.

O processo de perfuração é realizado com auxílio de um trépano ou broca que produz fragmentos devido a rotação e corte da rocha. O fluido de perfuração é bombeado através das hastes, sai com forte pressão por orifícios existentes na broca e sobe ainda com grande pressão até a superfície carregando o material cortado e efetuando, desta forma, a limpeza do furo. As amostras são recuperadas no Tanque de Decantação com auxílio de uma peneira.

Essa amostra de calha será descrita petrograficamente e dará as informações de profundidade.

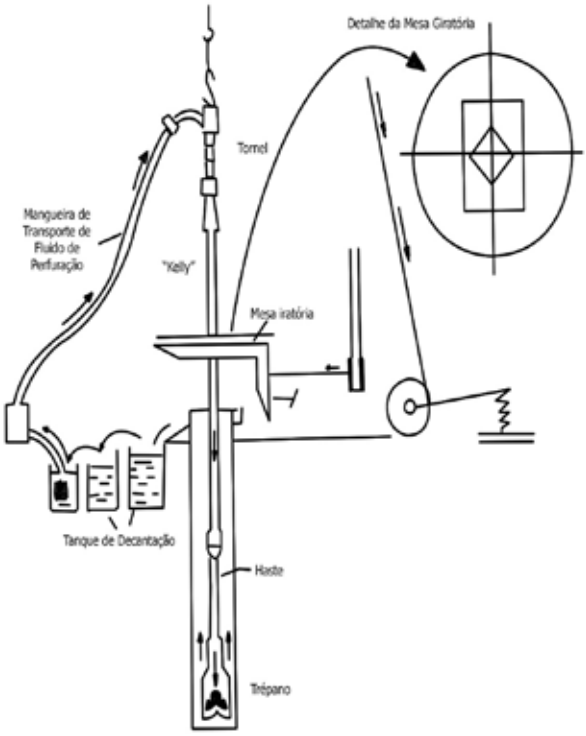


Figura VII.25 – Equipamentos de uma sondagem Rotary. Compilado de http://www.lapes.ufrgs.br

A sondagem a grenalha é atualmente pouco utilizada, uma vez que as sondagens a diamante substituem esse tipo com vantagens econômicas e práticas. A coroa é comprimida sobre grãos abrasivos (grenalhas) que cortam o material a ser atravessado pela abrasão.

A RVC ou **Sondagem de Circulação Reversa** é fundamentalmente diferente da Sondagem a diamante em termos de equipamentos e amostragem. A Figura VII.26 ilustra o funcionamento de uma sonda RVC e alguns equipamentos.

Uma das maiores diferenças é que a sondagem RVC produz testemunhos de sondagem em pequenos pedaços de rochas ao invés de um testemunho contínuo.

Outra grande diferença são as taxas de penetração e custo por metro perfurado, sendo a RVC muito mais rápida e muito menos dispendiosa.

A Sondagem de Circulação Reversa requer equipamentos maiores, incluindo compressor de ar de alta capacidade e uma tubulação dupla. O compressor força o ar para baixo através de uma tubulação externa. O ar circula de volta para a superfície através de uma tubulação interna transportando pedaços de rocha que são recuperados na superfície.

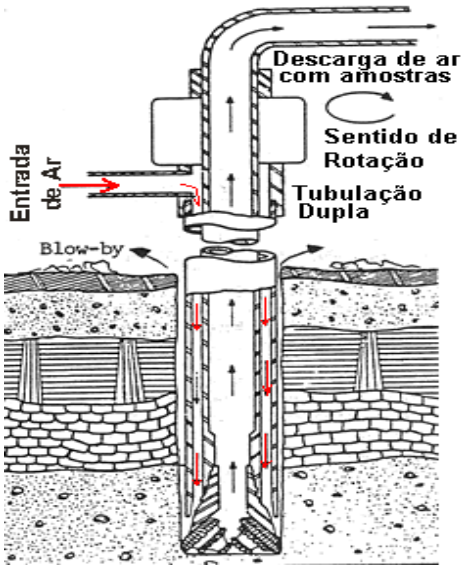
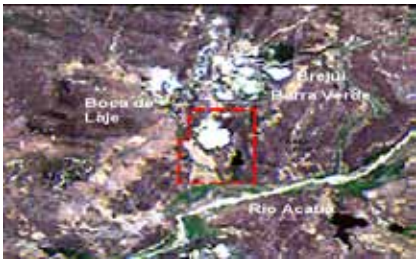


Figura VII.26 – Sondagem de Circulação Reversa.
Baseada em http://www.lapes.ufrgs.br

VII.3 – ALGUNS EXEMPLOS PRÁTICOS (RESUMIDOS)

VII.3.1 – Sondagem a Trado Manual

O "tailing" (rejeito do processamento de minério) de scheelita da Mina Barra Verde já foi apresentado no Capítulo III onde se listou na TABELA III.1 os Dados do Levantamento Altimétrico. As coordenadas foram apresentadas em UTM, Datum Córrego Alegre, Zona 24 e os dados relativos às Cotas em metros. A planimetria do "tailing" foi baseada principalmente em dados de fotografias aéreas e Imagens de Satélite (Figura VII.27).



(A)



(B)

Figura VII.27 – (A) Imagem de Satélite com destaque para os "Tailings" da mina Barra Verde delimitado por área vermelha tracejada e (B) Coluna Estratigráfica da área. Google Earth

A Imagem de Satélite foi georreferenciada em software GIS MapInfo versão 7.5 e o "Tailing" foi digitalizado. Na etapa de campo o "Tailing" foi individualizado através da plotagem do seu contorno com GPS de bolso e plotado em banco de dados GIS, para comparações entre o que foi mapeado e o que foi interpretado em Satélite.

TABELA VII.9 –RESULTADOS DA SONDAGEM A TRADO MANUAL EM "TAILINGS"

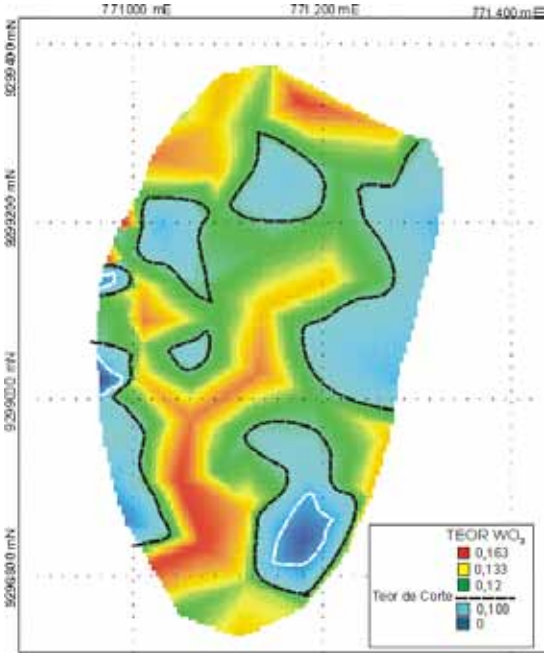
AMOSTRA	KmE	KmN	PROF	WO_3	AMOSTRA	KmE	KmN	PROF	WO_3
T 01	770997	9299158	1,65	0,12	T 37	771076	9298838	2,80	0,16
T 02	770998	9299159	1,85	0,09	T 38	771137	9299030	2,50	0,15
T 03	771067	9299132	1,45	0,11	T 39	771050	9298904	2,75	0,16
T 04	771091	9299090	0,85	0,12	T 40	771208	9299131	2,80	0,14
T 05	771180	9299336	0,75	0,16	T 41	771261	9299136	3,00	0,11
T 06	771108	9299354	1,80	0,14	T 42	771009	9299025	3,50	0,14
T 07	771086	9299308	2,00	0,14	T 43	770981	9298904	3,10	0,08
T 08	771031	9299196	2,25	0,08	T 44	770993	9298864	3,00	0,05
T 09	771196	9299068	2,10	0,10	T 45	771053	9298756	3,00	0,12
T 10	771195	9299002	2,05	0,12	T 46	771123	9298792	3,20	0,13
T 11	771093	9298920	2,30	0,12	T 47	771184	9298763	3,30	0,13
T 12	770972	9298940	2,50	0,11	T 48	771226	9298823	3,40	0,13
T 13	770964	9298992	3,12	0,10	T 49	771276	9298960	3,40	0,14
T 14	770984	9299188	3,25	0,11	T 50	770964	9299110	3,50	0,12
T 15	770970	9299134	2,55	0,05	T 51	770962	9299065	4,00	0,11
T 16	770964	9299021	3,25	0,00	T 52	770975	9299155	2,85	0,16
T 17	771020	9298810	2,80	0,16	T 53	770988	9299193	3,10	0,17
T 18	771115	9298730	2,60	0,14	T 54	771006	9299227	3,00	0,12
T 19	771181	9298836	2,00	0,02	T 55	771023	9299274	4,25	0,15
T 20	771257	9298892	2,75	0,14	T 56	771097	9299365	3,80	0,14
T 21	771189	9298916	1,50	0,10	T 57	771148	9299377	3,60	0,13
T 22	771284	9299021	1,65	0,08	T 58	771193	9299292	3,20	0,13
T 23	771297	9299073	1,40	0,09	T 59	771221	9299263	3,20	0,12
T 24	771280	9299215	1,80	0,10	T 60	771332	9299253	2,80	0,11
T 25	771316	9299292	1,90	0,11	T 61	771159	9299251	2,50	0,09
T 26	771280	9299304	1,85	0,14	T 62	771330	9299195	1,80	0,08
T 27	771218	9299204	1,85	0,12	T 63	771315	9299134	0,75	0,10
T 28	771135	9299310	1,70	0,12	T 64	771261	9299136	1,20	0,13
T 29	771053	9299316	1,65	0,13	T 65	771142	9299100	1,30	0,14
T 30	771091	9299256	2,60	0,14	T 66	771149	9299174	1,20	0,12
T 31	771090	9299206	3,15	0,12	T 67	771009	9298973	4,10	0,11
T 32	771013	9299087	3,85	0,15	T 68	770976	9299034	3,45	0,08
T 33	771064	9299051	3,60	0,10	T 69	771012	9299061	2,95	0,13
T 34	771128	9298960	3,50	0,11	T 70	770988	9299094	3,00	0,12
T 35	771064	9298974	3,00	0,15	T 71	771012	9299123	3,25	0,14
T 36	771124	9298874	2,70	0,14	T 72	771009	9299193	2,00	0,12

COMPLEMENTAÇÃO DA TABELA VII.9 – VALORES DA MÉDIA ARITMÉTICA

LOCAL	ÁREA (m^2)	PROF. MÉDIA (m)	TEOR MÉDIO (%)
TAILING	186.700	3,14	0,11

Valores de média aritmética

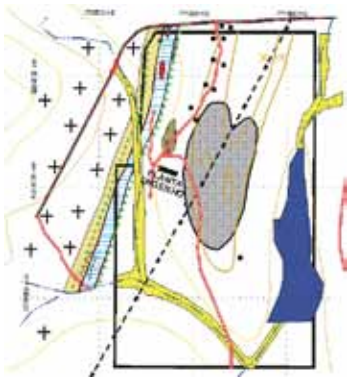
A área do "Tailing" pode ser calculada através de recursos do MapInfo. A Altimetria já narrada no Capítulo III, está sintetizada na tabela III.1. O passo seguinte foi a realização de uma campanha de sondagem a trado manual cujos resultados estão listados na tabela VII.9. Optou-se pelo Trado Manual devido os custos extremamente baixos e ao material a ser atravessado (areia sem nenhuma coesão) ser propício a este tipo de sondagem. Além do mais a empresa responsável pelos trabalhos de Pesquisa Mineral já dispunha desse equipamento.



(A)



(B)



(C)

Figura VII.28 – (A) Mapa de Isoteor de WO3 com limites de teor de Corte (tracejado preto) e Teor Limite (tracejado branco). (B) Fotografia do Tailing no qual foram realizados os trabalhos de Pesquisa Mineral aqui informado. (C) Mapa Geológico da área com destaque para o "Tailing" em cinza. Foto e Figuras do autor.

De cada furo de sonda foi tomada a coordenada do "*collar*" com GPS de bolso e depois a profundidade do furo (igual à espessura do "Tailing") através do comprimento dos canos (hastes). As amostras coletadas foram colocadas em sacos de ráfia e depois quarteadas onde uma fração de ½ Kg foi enviada a laboratório para análise de teor de WO_3. São esses os dados que compõem a Tabela VII.4. Essa tabela foi tratada em MapInfo através da ferramenta *Create Thematic Map* do *Map*, onde através da ferramenta "Grid" se interpolou isoteores (figura VII.26 A). Na época da realização desses trabalhos o teor de corte seria

de aproximadamente 0,12% WO_3, portanto na figura VII.26 (A) as regiões de cores verde, amarela e vermelho estão acima do teor de corte e as de cores azul claro e azul escuro estão abaixo. De posse deste Mapa é possível se elaborar um plano de lavra racional, com as devidas blendagens e programação de desmontes. O Técnico realizou todos esses trabalhos, inclusive o tratamento em MapInfo, sob a orientação de um Geólogo.

A situação que se desejava explicar termina no parágrafo acima. Entretanto, para efeito de informações, o projeto de aproveitamento do "Tailing" se mostrou inviável com as máquinas e equipamentos tradicionais e disponíveis para concentração (jig, mesa, célula de flotação, eletroímã, moinho, peneira, etc) devido a granulometria da scheelita ser muito fina provocando uma recuperação muito baixa (menor que 30%). Nesse contexto, o teor de corte recalculado seria muito maior que 0,12% WO_3.

VI.3.2 – Prospecto da Mina Bonfim

A Mina Bonfim é um Prospecto polimetálico (Au, W e Bi) da Verena Corp., empresa canadense com sede em Brasília –DF e escritório no município de Lajes/RN, hoje com a mineração Nosso Senhor do Bonfim.

A scheelita de Bonfim (Lajes/RN) foi descoberta pelo Sr. Eurico Pereira em 1969. Após um período inicial de garimpagem foi explorada pela Mineração Tomaz Salustino S/A (MTS) através de participação acionária na Mineração Potyra, onde era majoritária. A MTS e a CPRM realizaram sondagens rotativas a diamante (com manobra), mapeamento sistemático de subsolo (topográfico e geológico) com amostragens de canal espaçadas de 3,0 m em 3,0 m e 10 cm de largura por 3 cm de profundidade (compatíveis com Depósitos do 3º Grupo). Essas amostras eram analisadas somente para os elementos WO_3 e Mo, por via úmida, no laboratório da Mina Brejuí em Currais Novos/RN pelos métodos de Colorimetria e Gravimetria. As análises de testemunhos de sondagens, até então realizadas, também só analisaram esses dois elementos.

A scheelita da mina Bonfim era comercializada junto com aquela produzida na mina Brejuí indistintamente. Comenta-se que uma empresa japonesa, compradora da scheelita da MTS, sob a argumentação de implantar uma unidade para processamento de APT (paratungstato de amônia), teria a intenção de beneficiar outro bem mineral que não o W.

Na metade da década de 80, a MTS paralisou os trabalhos de Lavra em Bonfim devido aos preços extremamente baixo atribuído a forte concorrência da produção da China (maior produtor do mundo de W).

No início da década de 90, Antônio Cassiano em sociedade com o Sr. Eurico Pereira, montou umas "caixas" para concentração garimpeira de rejeitos e descobriu ouro. Entre 1992 e 1993, o Sr. Vilanir Brito em sociedade com o Sr. Eurico Pereira, produziu cerca de 60 Kg de ouro dos rejeitos de scheelita através da lixiviação em pilha. Como os Direitos Minerários ainda pertenciam a MTS, esta reivindicou seu direito e iniciou uma curta produção.

Em seguida a MTS assinou Contrato de Parceria com a CVRD que executou trabalhos de Geofísica (IP, radiometria e magnetometria), pedogeoquímica, trincheiras e sondagens rotativas a diamante. Foram detectadas anomalias de Pedogeoquímica, IP e MAG (ver figura VII.29).

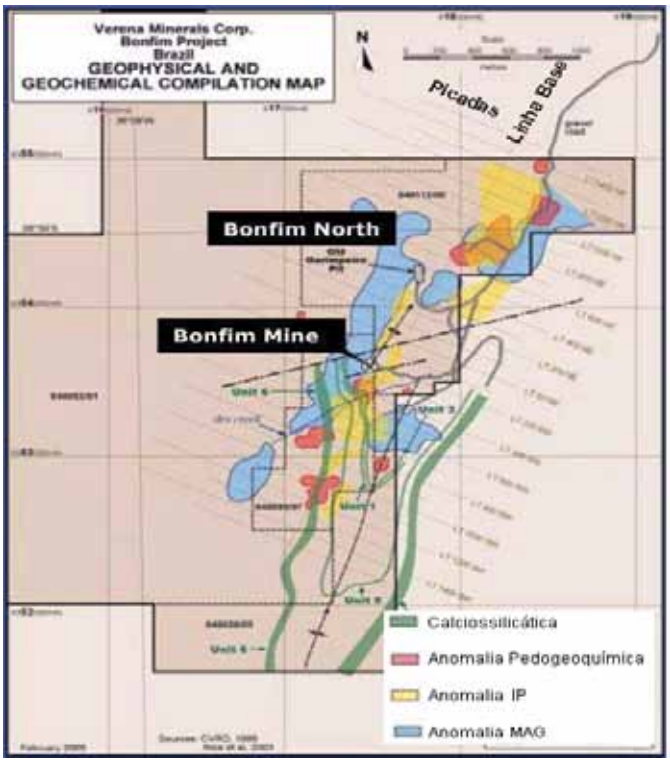


Figura VII.29 – Mapa das anomalias Geofísicas e Geoquímicas do Prospecto polimetálico de Bonfim, Lajes/ RN. (executado pela CVRD/ www.verena.com).

O Sr. Eurico Pereira conseguiu rever os Direitos Minerários de Bonfim, após o cancelamento, pelo DNPM, dos Direitos da MTS. Este negociou em 1998 com a Verena Corp., com intermediação de Vilanir Brito e esta, por sua vez, em 1999 negociou um Contrato de Opção com a RTZ que executou uma programação de Furos de Sondagem Rotativa a Diamante. Ambas, RTZ e, anteriormente, a CPRM, chegaram à conclusão que a mineralização aurífera (também a scheelitífera) era restrita a zona de charneira, sendo quase nula (ou mesmo inexistente) nos flancos das dobras. O "Target", da CVRD e RTZ, era bem maior que o potencial (nos melhores cenários de potencial) que Bonfim poderia oferecer e, portanto, aquele "Alvo" não seria um bom prospecto para aquelas empresas. Entretanto, era interessante para a Verena, uma empresa de porte bem menor que as duas mencionadas.

A partir de 2000 a Verena passou a desenvolver seu próprio plano de pesquisa mineral que culminou com o Relatório Final de Pesquisa positivo entregue ao DNPM em 2007. Consta desse relatório uma re-análise de todas as amostras de canal da MTS, agora incluindo 33 elementos, trabalhos de sondagem, trincheiras, limpeza de acessos subterrâneos, entre vários outros serviços. A Verena se associou à Minerçao Santo Expedito em 2008 e este criou a Mineração Nosso Senhor do Bonfim

A Estrutura da Mina Bonfim pode ser resumida, com omissões pela simplificação, em um sinforme regional, com dobras parasíticas, associado a uma Zona de Cisalhamento dextral. Os "ore shoots" explorados para scheelita pela MST são eixos das Dobras Parasíticas afetando pelo menos 6 níveis calciossilicatados. O eixo do Sinforme regional não foi abordado pelos trabalhos prévios. Em 2005 a São Bento Mineração S/A (SBM) adquiriu uma área (DNPM 848.153/2002) localizada a 2.200 m a Norte da Mina Bonfim. O eixo do Sinforme tem uma atitude média de 5º/10º Az. Interpretações de Imagem de Satélite e Fotografia Aérea indicam a continuidade da estrutura principal para nordeste.

A hospedeira da mineralização scheelitífera e aurífera foram designadas de nível 1 ao nível 6, mas não seguiu uma ordem geométrico–estratigráfica como na Mina Brejuí e outras do Seridó. As denominações foram dadas à medida que a hospedeira era descoberta pelos trabalhos mineiros ou de Pesquisa Mineral. Assim, depois de descoberto o nível 1 foram descobertos, estratigraficamente acima do 1, os níveis 3 e 2. A seguir, e estratigraficamente abaixo do Nível 1, foram descobertos o 4, 5 e 6. Todo esse conjunto é denominado de Horizonte Bonfim, sendo as calciossilicáticas caracterizadas pela presença de rodocrosita (e rodonita) na zona mineralizada. O principal mineral é o diopsídio, seguido, em ordem de abundância, do epidoto. A mineralogia pode ser assim resumida: Diopsídio (40 - 60%), Epidoto (5 - 20%), Vesuvianita (0-10%), Rodocrosita (3 – 15%), Plagioclásio (5 – 10%), Quartzo (2-8%), Hornblenda (5%), Actinolita/tremolita (1-15%), Bismuto (0 - 25%), Calcita (0-3%) e traços de scheelita, molibdenita, serpentina, talco (ensteatita), Rodonita, Granada (grossulária e/ou andradita), Sulfeto de ferro e cobre eventualmente alterado para malaquita e crisocola, óxido de ferro, clorita.

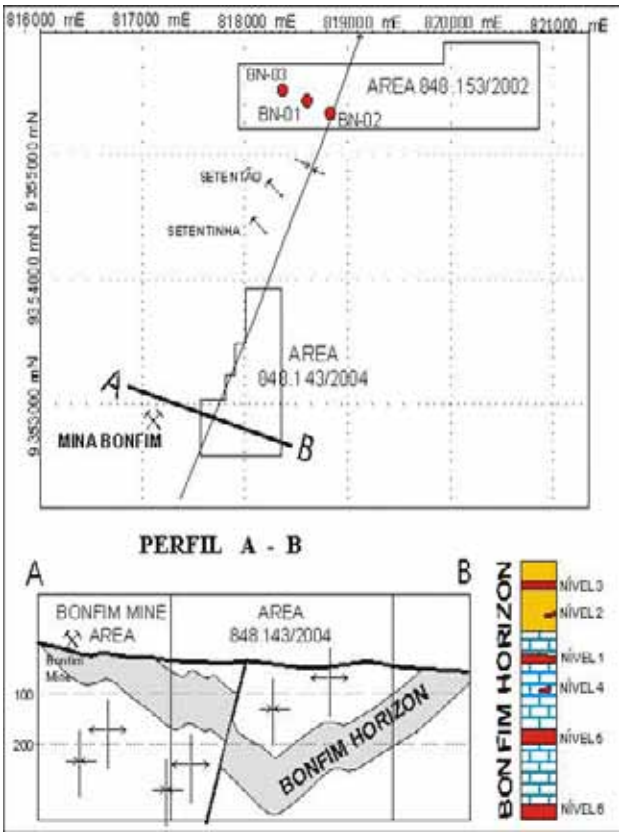
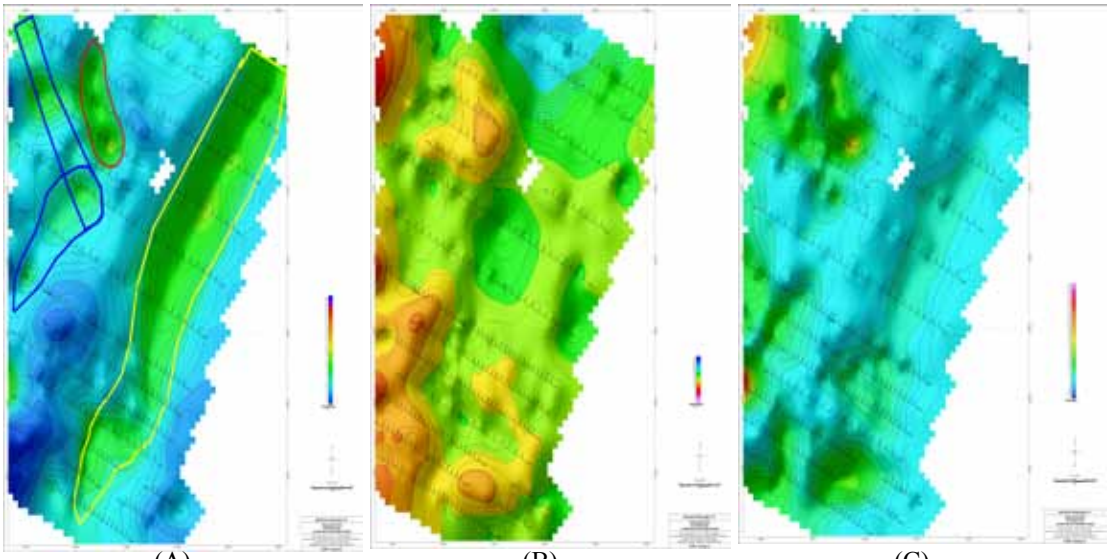


Figura VII.30 – Projeção dos dados da mina Bonfim, Seção Geológica e estratigrafia do Horizonte Bonfim. Figura do Autor.

A SBM realizou um levantamento geológico plani-altimétrico numa malha de 200 x 50 m, abrindo picadas transversais à estrutura principal a cada 200 metros e, nessas picadas, Estações a cada 50 m. Realizou também um Mapeamento Geológico pelo método do caminhamento ao longo de LB e picadas (ver Capítulo III) e uma campanha de Pedogeoquímica segundo a mesma malha da topografia.

Executou também um levantamento geofísico de Polarização Induzida IP pelo método de Polarização Induzida no Domínio do Tempo com período (duração de pulso) de 02 (dois) segundos; sendo utilizado o sistema IP da *IRIS*, constituído por 01 Transmissor *VIP4000* e 01 receptor *ELREC- 6*, com 06 (seis) níveis de investigação (ver Capítulo IV). O espaçamento entre eletrodos utilizado inicialmente foi de 50 metros ao longo das linhas: L41800E, L42000E, L42200E, L42600E, L42800E, L43000E, e 75 metros ao longo das linhas topográficas (picadas): L42400E, L43400E, L43800E, L44000E, L44200E, L44400E, L44600E, L45000E e L45200E. Foi mantido o mesmo afastamento das linhas da topografia de 200 m.

Foi decidido um arranjo com distância entre os eletrodos de corrente e de potencial constante durante o levantamento. Devido a esta simetria do arranjo as anomalias possuem formas simétricas, tornando mais fácil a identificação, o delineamento e interpretação dos corpos anômalos observados nas pseudo-seções geradas. Essa campanha foi executada por um Geofísico, um técnico de Geologia e dois braçais e foram produzidos Mapas de Cargabilidade, Resistividade e Fator Metal.



(A) (B) (C)

Figura VII.31 – Mapas IP (A) Cargabilidade; (B) Resistividade e (C) Fator Metal. Levantamento sob auspício da São Bento Mineração S/A em parceria com a EMPROGEO LTDA.

No relatório da empresa executora dos serviços de geofísica GEOMAG S.A., concluiu-se sobre a existência de um grande trend com direção N 34º E bem definido no Mapa de Cargabilidade (contorno de amarelo em VII.31 A).

No Mapa de Resistividade entre as linhas 45200E e 42000E, com indicação de uma descontinuidade na altura da linha 42600E, devido provavelmente a uma falha de direção aproximada NW-SE. Este corpo posssui uma cargabilidade aparente média entre 8,0 a 12,0 mV/V, e resistividade aparente de 500 a 750 ohm.m, representado no mapa em planta, Figura VI.32, como **Corpo A**, contornado de amarelo.

O corpo A apresenta um modelo representado por uma cargabilidade média/ baixa e resistividade média, e de acordo com as características descritas acima, parece estar associado a uma feição estrutural presente na área.

A segunda feição de interesse é denominada de **Corpo B**, localizada na porção NW do Alvo Bonfim Norte, compreendida entre as linhas 44600E a 44200E, com um *trend* de direção N18°W, aproximadamente.

Este Corpo B está indicado na Figura VI.32 em vermelho, representando um modelo caracterizado por uma cargabilidade aparente baixa/média, em torno de 10 a 14 mV/V, e resistividade aparente baixa, entre 150 a 500 ohm.m. Este corpo é muito bem definido através do mapa de cargabilidade e resistividade, além das seções aparentes e invertidas. Inclusive, as seções invertidas sugerem uma característica intrusiva para o Corpo B, conforme representado na figura VI.33.

Finalmente, temos o **Corpo C** localizado também na porção NW do Alvo Bonfim Norte, paralelo ao Corpo B, que está compreendido entre as linhas 44600E a 43800E, com um *trend* de direção N18°W, aproximadamente. Este Corpo C está desenhando na Figura VI.30 em Azul, representando um modelo caracterizado por uma cargabilidade aparente baixa, em torno de 07 a 10 mV/V, e resistividade aparente alta, entre 500 a 1000 ohm.m. (parcialmente compilado da GEOMAG S.A.).

O Levantamento Geofísico apontou para a existência de três corpos anômalos denominados Corpos A, B e C, sendo o corpo A provavelmente associado a uma feição estrutural, o corpo B a uma intrusiva e o corpo C a uma zona de contato entre rochas mais e menos resistivas.

O corpo C aparece mais nitidamente no mapa de cargabilidade aparente, além das seções, não estando muito bem definido, entretanto no mapa de resistividade.

A pouca densidade de linhas nesta zona também contribui para dificultar um melhor entendimento do comportamento deste corpo, pois através do mapa de cargabilidade sugere-se que a partir da linha 43800E, este corpo muda de direção, passando de N18°W para N35°E, mantendo-se paralelo ao Corpo A deste ponto até o extremo SW da malha Bonfim Norte, conforme representado na Figura VI.32; e que estamos considerando como Corpo C também.

Esta última interpretação está baseada na análise das seções invertidas, que estão muito semelhantes no intervalo descrito acima.

A feição definida como Corpo C também parece estar relacionada a uma zona de contato entre uma rocha mais resistiva, acima de 1.000,00 ohm.m, e uma rocha encaixante menos resistiva, por volta de 750 ohm.m, de acordo com os dados das seções invertidas.

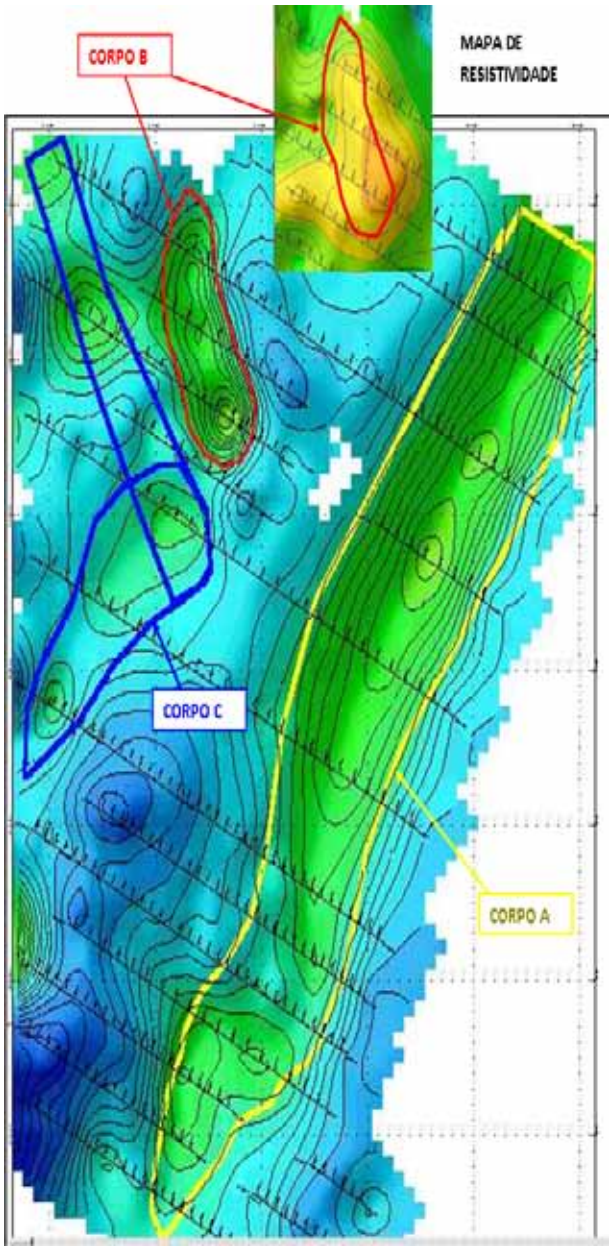


Figura VII.32 – Mapa de contorno de Cargabilidade com indicação de anomalias e localização dos corpos A, B e C. Levantamento sob auspício da São Bento Mineração S/A em parceria com a EMPROGEO LTDA.

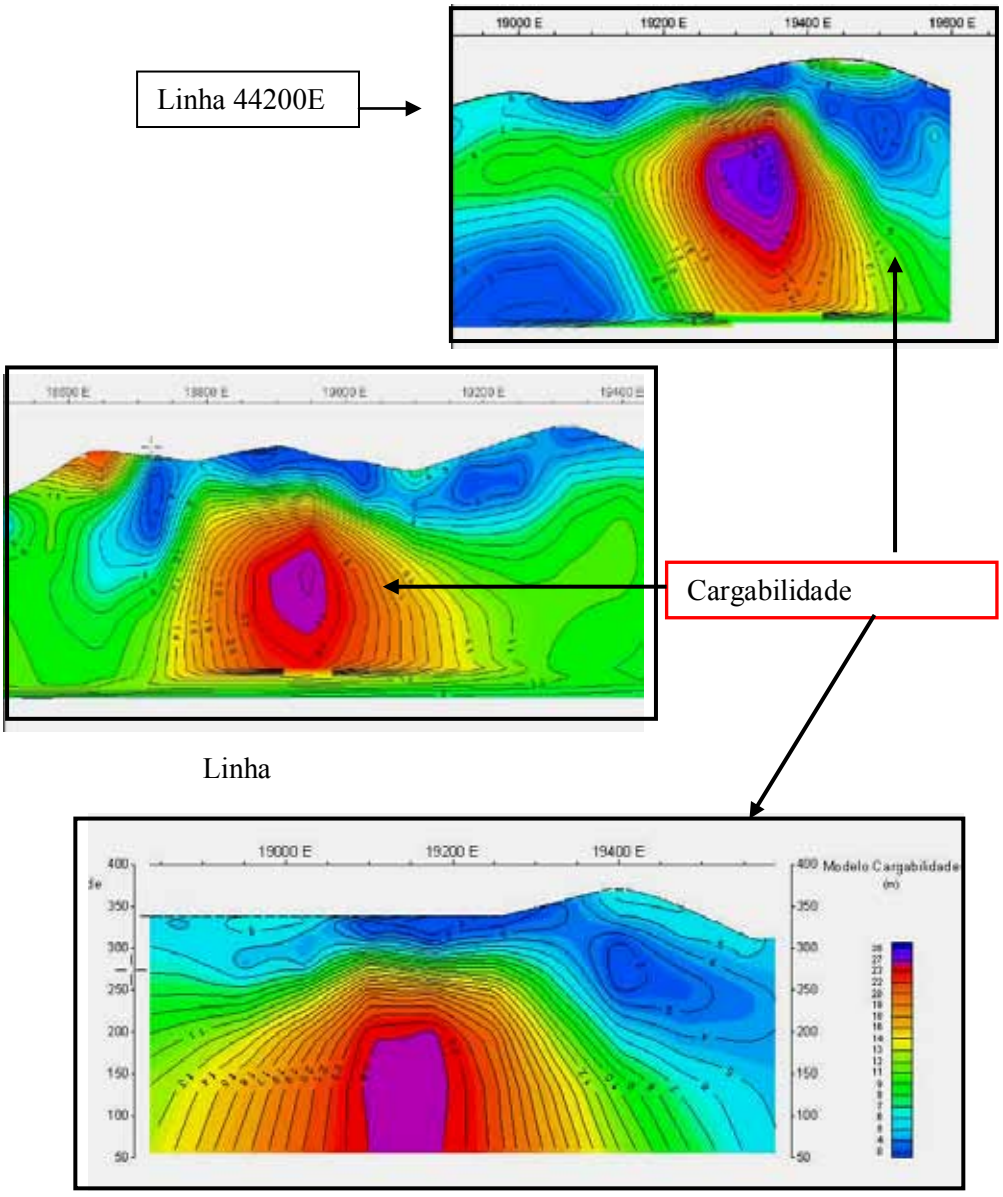


Figura VII.33 – As seções modeladas apresentam uma cargabilidade verdadeira entre 14 a 24 mV/V para este Corpo B, com uma profundidade do Topo em torno de 100 metros, estendendo-se em profundidade até a base da seção, permanecendo inclusive aberto para baixo. A resistividade verdadeira referente ao Corpo B permenece na faixa de 200 a 500 ohm.m, estando localizado em uma zona de contato entre uma rocha mais condutiva, que parece ser intrusiva, e uma encaixante mais resistiva. Levantamento sob auspício da São Bento Mineração S/A em parceria com a EMPROGEO LTDA.

A Pedogeoquímica, na Malha 200 m x 50 m, entretanto, não identificou nenhum teor interessante, sendo aproximadamente 99% abaixo do limite de detecção (< 5 ppb). Apenas duas amostras mostraram algum teor, sendo o maior igual a 14 ppb.

Os trabalhos de Geoquímica de Solo foram executados por um Técnico de Geologia (Gustavo) assistido por 3 braçais e consistiu na coleta de amostras até o nível saprolítico (via de regra a espessura do solo na região do Seridó é muito baixa). Os piquetes previamente instalados pela topografia serviram de referência para o cumprimento da malha pré-estabelecida. Em cada Estação foi coletado 1 litro de material para análise no laboratório da GEOSOL/LAKEFIELD em MG.

O Mapa Geológico, bem como as interpretações de Imagem de Satélite e Fotografias Aéreas, indicavam que a estrutura principal de Bonfim (Sinforme Regional) prosseguia para Norte, passando a Oeste da Anomalia de IP denominada de corpo A (figura VII.34).

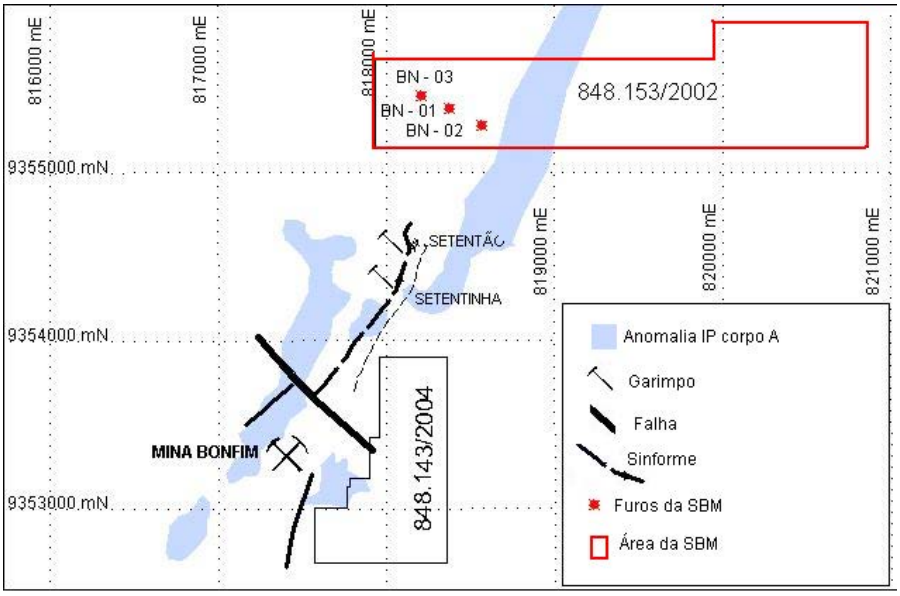


Figura VII.34 – Mapa da Área da SBM em relação à mina Bonfim, anomalias geofísicas e estrutura geológica. Apresenta também a locação dos furos de sondagem executados pela SBM. Modificado de www.verena.com

Para a tomada de decisão de continuidade do Projeto, após o recebimento dos resultados de laboratório das amostras de solo levou em consideração que a inexistência de corpos mineralizados em superfície não implicava na inexistência de "ore shoots" em profundidade. Foram, então, programados a execução de 1.500 metros lineares de furos de sondagem rotativa a diamante pelo sistema "wire line" a serem executados pela Geosol. A programação levou em conta as anomalias Geofísicas (Furos BN-01, BN-03 no corpo C e BN-04 no corpo B) e a Geologia Estrutural (Furo BN-02). Os furos nas anomalias geofísicas

revelaram teores baixos e profundidades compatíveis com aquelas esperadas em função das seções modeladas. O BN-02, que abordou o eixo do sinforme regional, foi o Furo mais profundo atingindo 481 metros e atingindo o Horizonte Bonfim aos 380 m. O teor mais conspícuo (23 g/ton) foi obtido a aproximadamente 400 m. Em função da alta profundidade desse "ore shoot" a São Bento desistiu do Projeto. A descrição dos testemunhos de sondagem ficou a cargo de dois geólogos assistidos por um técnico de geologia. Todos os testemunhos foram amostrados, serrados ao meio com serra elétrica de 1,0 em 1,0 m e/ou respeitando-se as diferenças litológicas. Essa amostragem, a organização das amostras nos sacos com respectiva identificação das amostras, a expedição para o laboratório, a re-organização nas caixas de testemunhos, entre outros serviços afins foram de responsabilidade do Técnico de Geologia sob a supervisão dos geólogos. Após a chegada dos resultados, a montagem do Banco de Dados no padrão da empresa, inclusive em ambiente GIS foi de responsabilidade do Técnico.

Conforme já concluído pela CVRD e RTZ, as mineralizações estão restritas aos eixos de dobramentos / região de charneira. Assim, as sondagens necessitam de uma programação extremamente cautelosa visando abordar os "ore shoots" limitados a 2 à 5 m de largura e extensões (baseado no furo BN-02) de mais de 2 Km. As empresas devem ser aquelas voltadas a um "target" mais modesto e não aquelas que desejam Depósitos "world class" a baixa profundidade e/ou aflorando. Para a área trabalhada pela SBM aconselha-se, preliminarmente, a realização de uma campanha de sondagem rotativa a diamante entre a linha de afloramento da calciossilicática denominada nível 3 e a região do eixo do Sinforme regional (traço axial, ou seja, o traço do plano axial no terreno) onde se situa o furo BN-02 (ver figura VII.35). Objetiva-se, assim, abordar "ore shoots" das Dobras Parasíticas, similares àquelas já lavradas na mina Bonfim.

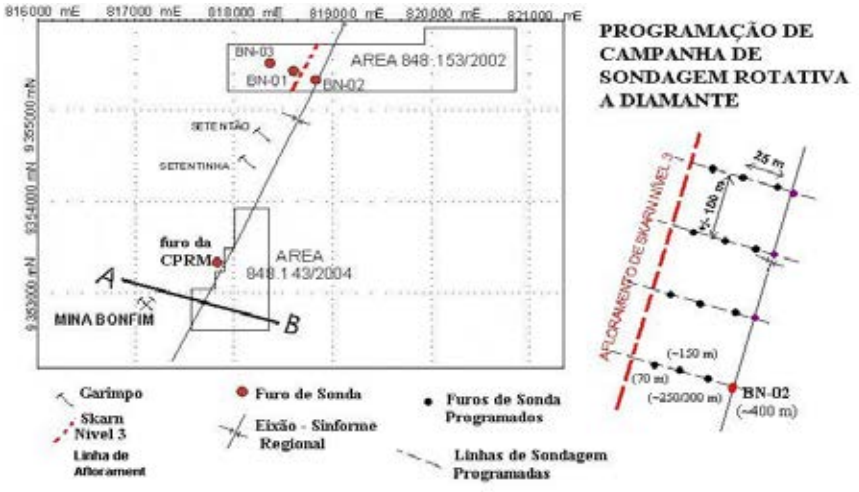


Figura VII.35 – Mapa da Programação preliminar de sondagem. Figura do autor.

VIII – AVALIAÇÃO

VIII.1 – Introdução

A Avaliação de um Depósito Mineral depende de fatores geológicos, econômicos, tecnológicos, regionais e de mercado.

Os **fatores geológicos** referem-se a: tipo genético da jazida, tipo de ambiente geológico, tipos morfológicos, arquitetura (forma) da jazida, composição química e mineralógica da jazida. Os **fatores econômicos** dependem da capacidade produtiva e da grandeza dos investimentos e abrangem: custos de extração, perdas e empobrecimento do minério. Os **fatores tecnológicos** abrangem a problemática do beneficiamento e extração e transformação tecnoló ‘gica. Os **fatores regionais** abrangem os seguintes problemas: comunicação, demográficos, climáticos, fonte de energia, abastecimento em água e materiais.

Os fatores geológicos têm um significado muito grande na avaliação de jazidas. Cada tipo genético de jazida distingue-se por determinadas condições de ocorrência, forma e estruturas, grau de mineralização, uma determinada qualidade do minério, coeficiente de variação, grau de concentração de reservas, etc.

O conhecimento da gênese da jazida possibilita prever uma série de parâmetros, os quais são muito úteis na sua prospecção e avaliação. Certos tipos genéticos são interessantes sob o ponto de vista de um minério, outros não. Por exemplo; depósitos sedimentares de minérios de Zn, Pb, Cu, U, Fe e etc, em geral caracterizam-se por possuírem reservas significativas, fáceis de explorar, porém em veios hidrotermais as suas reservas são pequenas e irregulares.

O ambiente geológico de ocorrência da jazida também tem um significado muito grande na sua avaliação. As jazidas podem ocorrer em regiões de geossinclinais, depressões, em coberturas de plataformas, embasamento ou escudos, em regiões de fissuras e brechas. Podem também estar associadas a diversos complexos de rochas. Durante a avaliação da jazida podem ser consideradas as mais diversas informações, tais como: metalogênicas, estruturais, lito-estratigráficas, etc. Por exemplo, as reservas de uma unidade de superfície numa bacia carbonífera tipo geossinclinal serão maiores (entre 10 a 20 milhões de toneladas por km^2) do que jazida de plataforma (4 - 7 milhões de toneladas por km^2). Da mesma forma as jazidas de fosfato do tipo geossinclinal (várias camadas) terão as reservas muito superiores que a mesma jazida em plataforma (uma camada) . Do ponto de vista econômico, as jazidas formadas em ambientes marinhos, são mais vantajosas do que as formadas em ambientes fluviais, fluvioglaciais , etc .

O significado da arquitetura ou forma da jazida, na avaliação industrial, decorre dos seguintes fatos: formas simples, regulares e com dimensões grandes, principalmente isométricos e tabulares, tem um papel positivo durante a avaliação de jazidas, enquanto

jazidas complexas e irregulares, bem como pequenas (veios, bolsões) diminuem o seu valor. A forma da jazida tem um significado decisivo durante a sua prospecção bem como durante a sua exploração, isto é: as suas dimensões. Quanto maiores forem as dimensões tanto mais positiva será a avaliação da jazida.

A forma de localização espacial da substância mineral tem um significado menor na avaliação da jazida. Interessantes são jazidas concentradas em formas isométricas (stockwerke - corpo aproximadamente equidimensional constituído por matéria rochosa venulada por finos filões mineralizados e impregnada por minerais de minério, colméia - stock, camadas), dispostas horizontalmente sem deformações tectônicas. As camadas verticalizadas ou que ocorrem em zonas de dobras com grande ângulo de mergulho, geralmente contém reservas menores do que as mesmas jazidas dispostas horizontalmente em formações de plataforma contendo geralmente grandes reservas.

Kreiter (1968) define o **coeficiente (fator) de mineralização** como sendo a relação entre a soma das áreas ocupadas por mineralização econômica e a área total do depósito ou, então, entre a soma dos comprimentos das obras de pesquisa que atravessaram minério e a soma dos comprimentos de todas as obras ou, ainda, é a razão da parte da jazida ou minério e o estéril, e é determinado pela razão do comprimento, superfície ou volume das partes de jazida citadas, às vezes pela razão de poços/furos de sonda positivos e negativos. Este coeficiente é muito útil na condução de trabalhos prospectivos, bem como na avaliação dos resultados obtidos.

A **qualidade do minério** tem um significado todo especial na avaliação de jazidas e depende de: composição química e mineral, teor de substância mineral útil, configuração estrutural e textural, uma série de propriedades físicas, tais como; pêso específico, densidade, composição granulométrica, porosidade, resistência mecânica, propriedades magnéticas, elétricas, superficiais, etc. A qualidade frequentemente depende do tipo de minério bem como do tipo genético da jazida, por ex . depósito magmático de minério de ferro contém frequentemente teores mais elevados de titânio e fósforo, enquanto os depósitos derivados de jazidas lateríticas formados a partir do intemperismo dos serpentinitos, terão teores elevados de niquel, cromo ou outros metais. Minérios de ferro de jazidas sedimentares possuem frequentemente acréscimo de manganês e fósforo, e os depósitos escarníticos - de sulfetos.

O **coeficiente de variação** de uma jazida tem uma importância fundamental durante a determinação do intervalo de amostragem (distância entre os pontos de amostragem), densidade de trabalhos mineiros, bem como para uma correta interpretação dos resultados de análises. O seu valor dependerá principalmente do tipo de minério e tipo genético da jazida. O seu valor é maior para os minérios de metais raros e nobres (preciosos) e é menor para os minérios de metais coloridos (não ferrosos/leves).

Os geólogos da escola soviética de exploração mineral utilizam extensamente o coeficiente de variação como meio de classificação de depósitos minerais para efeito de pesquisa (Kreiter, 1968; Böhmer, 1978). Estes autores apresentam uma classificação,

fornecendo os valores de coeficientes de variação para dois atributos fundamentais dos depósitos minerais , a saber: a espessura e o teor .

Os **fatores técnicos** são determinados pela profundidade de ocorrência do depósito, acessibilidade mineira, condições hidrogeológicas, propriedades das massas rochosas, presença de gases (CH_4, CO_2, SO_2, H_2S), condições térmicas, etc.

Cada um desses parâmetros individualmente ou em conjunto, podem constituir-se em barreiras com mais diversificados graus de dificuldade, que em determinadas condições, podem excluir a possibilidade de se minerar o depósito. Em casos extremos, existem barreiras técnicas que inviabilizam a exploração tais como; mineração abaixo de uma certa profundidade, drenagem das frentes de trabalho, controlar os gases, dominar e controlar altas temperaturas, etc.

Os fatores econômicos determinam ou limitam a possibilidade de se iniciar a exploração devido à sua inviabilidade econômica, mesmo nos casos em que técnicamente seja possível. A inviabilidade econômica pode ser provocada pela baixa qualidade do minério, altos custos de extração, localização dentro de reservas florestais ou ecológicas, regiões de alta produtividade agrícola. As barreiras econômicas podem eliminar a possibilidade de se conduzir uma extração por causa de: elevados custos de acessibilidade, grande distância entre a jazida e o local de transformação do minério, reservas pequenas, etc.

Durante a avaliação técnica e econômica se leva em consideração, entre outros, os custos de extração, capacidade de produção (função reservas e período de amortização), grau de eficiência de extração (perdas de minério - condições geológicas, pilares, etc), grandeza dos investimentos necessários.

Os fatores tecnológicos que decidem sobre a utilidade do minério na indústria são: suscetibilidade ou possibilidade de beneficiamento; e suscetibilidade de transformação tecnológica. O desenvolvimento dos métodos ou técnicas de beneficiamento bem como as de transformação tecnológica, possibilita o aproveitamento cada vez maior de minérios de baixa qualidade. Isto garante a obtenção de concentrados de alta qualidade, bem como fazem com que aumentem as reservas mundiais, e também possibilitam o aumento da quantidade de minério passível de uso na indústria .

O desenvolvimento de tecnologia provoca aumento de produção de substitutivos, o que pode limitar o fornecimento de certos minérios. Esta situação deve ser levada em consideração por ocasião da avaliação de jazidas, pois uma parte delas pode perder o significado prático.

Durante a avaliação de uma jazida, devemos considerar os seguintes parâmetros: suscetibilidade ao beneficiamento do minério, qualidade dos concentrados e dos produtos obtidos a partir dos mesmos, custos de beneficiamento e transformação tecnológica e os investimentos indispensáveis

Somente alguns poucos minérios podem ser dirigidos diretamente para a indústria logo após a sua extração sem um beneficiamento prévio. A maioria dos minérios exige um tratamento visando melhorar a sua qualidade, bem como aumentar a concentração dos componentes úteis de acordo com a exigência tecnológica e de mercado. Muitos processos de beneficiamento são caros (por ex. flotação), mas mesmo assim são utilizados por apresentarem algumas vantagens posteriores durante os processos tecnológicos de transformação. O aproveitamento de uma jazida depende freqüentemente da possibilidade de se beneficiar ou não o minério. Os processos de beneficiamento são muitos, sendo os mais importantes: cominuição, peneiramento e beneficiamento: manual, jigues, mesas concentradoras, espirais, separação por flotação, separação eletromagnética, amalgação, cianetação, secagem, etc.

A grandeza de investimentos para a sua realização dependerá das propriedades fisicas, quimicas, estruturais e texturais do minério beneficiado e a profundidade das operações indispensáveis realizadas. A remoção e o transporte do rejeito têm também uma participação significativa nos custos gerais do beneficiamento dos minérios. Estes custos poderão ser reduzidos pela reutilização do rejeito.

A qualidade dos concentrados deve corresponder às exigências das tecnologias. Quanto mais alta ela for e mais facilmente atingida, tanto mais positiva será a avaliação do minério e conseqüentemente a jazida.

O valor geológico-econômico de uma jazida dependerá também de **fatores regionais**, entre os quais podemos destacar os seguintes: posição geográfica, condições climáticas, condições de comunicação, situação demográfica, possibilidade de suprimento e abastecimento em água, abastecimento em energia, abastecimento em materiais, proximidade do centro consumidor etc. Estes fatores atuam em conjunto. A ação de um provoca a interação/participação, de outros, por ex: a posição geográfica está relacionada com clima, situação demográfica, abastecimento de água e etc. A rentabilidade da exploração de uma jazida dependerá freqüentemente da sua localização em relação ao mercado consumidor, possibilidade de abastecimento da mina e planta de beneficiamento em materiais etc.

A avaliação de uma jazida do ponto de vista de fatores regionais, exige um tratamento isolado em função da posição geográfica. Esta avaliação terá um comportamento nos países europeus, outro na Sibéria setentrional, outro no deserto da Sahara, outro na região amazônica, outro no sul do Brasil, e etc.

A posição (localização) da jazida em relação ao mercado consumidor e fornecedores de material têm um significado grande durante a avaliação da mesma. Distâncias grandes demais entre esses centros diminuem a rentabilidade, e muitas vezes até inviabilizam a exploração. A avaliação negativa de uma jazida pode ocorrer quando: a jazida pequena, baixa qualidade do minério ou jazidas de minérios comuns e baratos.

Os depósitos de minérios ocorrem em mais diversas condições, em longitudes e latitudes geográficas diferentes , em diferentes pontos dos continentes , nas ilhas , em áreas cobertas por oceanos, diversas morfologias do terreno. Cada uma dessas ocorrências tem a

sua própria situação climática, comunicação e demográfica, o que terá uma influência muito grande na avaliação da jazida bem como a sua utilização na indústria.

As **Condições de comunicação** têm um significado muito grande durante a avaliação de jazidas. A distância que separa jazida do local de utilização do minério pode ser decisiva por ocasião da avaliação de implantação da mina. Os custos de transporte podem chegar a 2 - 4 vezes superiores aos custos de extração. As decisões dependerão da rede de comunicação existente: rodoviária, fluvial, marítima, aérea, etc. Depósitos localizados longe das artérias de comunicação e centros de consumo devem possuir um minério de alta qualidade e reservas grandes, para compensarem a sua exploração. Minérios baratos tornam-se inviáveis quando os custos de transporte são altos, isto é; grandes distâncias.

Os custos do transporte dependerão de: falta ou péssima condição da rede de comunicação, distância entre a mina e a rede de comunicação existente, tipo de transporte, dimensões das unidades transportadoras, distância a ser percorrida pelo transporte, taxas portuárias, aduaneiras, seguros etc.

A **Situação demográfica** revelará a possibilidade de contratação de quadros de pessoal para trabalhar na mina e planta de beneficiamento. Se o depósito ocorre numa área desabitada, surge a necessidade de deslocamento de pessoal de outras áreas, garantindo-lhes as mínimas condições de vida. Isto provocará aumento nos custos de investimento. Este tipo de operação só será rentável para depósitos com reservas grandes e minério de valor. Abertura de minas em local sem tradição mineira, além de não ter mão de obra especializada criará problema de emigrantes.

O **Abastecimento de água** de uma mina tem um significado decisivo na avaliação de uma jazida bem como nas condições de sua exploração. Trata-se tanto de água potável quanto água industrial a qual geralmente é indispensável nas plantas de beneficiamento. Em certas regiões por motivos de segurança e garantias de abastecimento de água são construidos: barragens , aquidutos e outros tipos de precauções os quais aumentarão os custos de investimento.

A **Fonte de energia** é indispensável na instalação de uma mina e planta de beneficiamento. A sua existência bem como a sua distância da mina frequentemente tem um significado decisivo na avaliação da possibilidade e rentabilidade de explotação da jazida. A falta desta fonte elevará os investimentos mineiros causados pela construção de usinas próprias, bem como provocará o aumento de despesas com a geração de energia causada pelo transporte de combustível (carvão, petróleo e gás natural). Em casos especiais poderão ser aproveitados recursos energéticos locais (turfa, linhito, folhelhos oleígenos), energia hídrica, eólica, etc.

O Abastecimento de material para a construção da mina e plantas de beneficiamento, bem como do material que será usado durante as operações de explotação e beneficiamento, terão uma participação significativa nos custos. A quantidade deste material, principalmente se as operações forem subterrâneas, será significativa.

A **Questão de mercado** é a razão econômica da existência de uma unidade mineira exige que a sua produção tenha colocação (aceitação) no mercado (nacional e/ou internacional) em condições vantajosas, tanto para a empresa quanto para o país. O exemplo mais simples seria a explotação de recursos minerais locais, isto é; a sua transformação se daria próximo à mina; por exemplo: construção de termoelétrica Presidente Médici em Candiota à boca da mina de carvão, ou ainda a construção da fábrica de cimento Cimbagé (utilização das cinzas) próximo à termoelétrica Presidente Médici. Nesta situação a produção será de acordo com a necessidade da usina.

A demanda de recursos minerais, que determina as possibilidades de mercado, e conseqüentemente a própria produção da indústria extrativa é a responsável pelas limitações de aproveitamento de jazidas. Um exemplo drástico desta situação é a indústria carbonífera do sul do Brasil, a qual tem todas as possibilidades de aumentar a produção, exceto a demanda: Este fator determina tanto no mercado nacional quanto internacional os limites de aproveitamento destas jazidas.

VIII.2 - Parâmetros de avaliação de jazidas

Leva em consideração, principalmente: a qualidade do minério e seu mineral-minério e a quantidade do minério e do seu mineral-minério.

A **qualidade do minério** depende principalmente da sua composição mineral, teor de componentes úteis, suas propriedades estruturais e físicas, se é passível de beneficiamento, etc. A composição mineral determina o grau de aproveitamento do minério, tem influência nos custos de beneficiamento e transformação tecnológica.

Em depósitos de metais coloridos (não ferrosos) e raros, a composição mineral decidirá não somente sobre a eficiência do beneficiamento, mas também sobre a rentabilidade de explotação da jazida.

A qualidade do minério dependerá também, além dos elementos úteis, da composição mineral dos minerais acessórios e da rocha encaixante, por serem extraídos simultaneamente. Isto terá influência na eficiência e custos do processo de beneficiamento bem como na tecnologia de transformação, por ex: a qualidade de um minério com o mesmo teor de ferro dependerá do teor de SiO_2 e CaO que são componentes da rocha encaixante.

As constituições estruturais e a granulometria dos minerais também terão uma influência significativa nos resultados do beneficiamento. No caso de estruturas com granulação grosseira constituídas de grãos grandes e isolada, a eficiência do beneficiamento será maior e a qualidade do concentrado também.

Para se beneficiar minérios de granulometrias finas é necessária a sua cominuição até a granulometria de liberação, o que elevará os custos de beneficiamento bem como as estruturas de granulometrias finas provoca grandes perdas de minério por ocasião do beneficiamento.

Durante a análise da qualidade do minério, principalmente referente a componentes úteis, consideram-se os parâmetros de teor crítico do componente útil e de teor limite do componente útil (ver Capítulo I).

A determinação das reservas, do teor médio, do custo de extração do minério e das receitas permite a obtenção do Teor Crítico e do teor de Corte do depósito estudado, que representa o valor mínimo para o qual é rentável a sua explotação. O seu cálculo depende de um grande número de variáveis, mas uma idéia aproximada do seu valor pode ser obtida na expressão seguinte:

$$T_c = 100.\left(\frac{E}{P}\right)$$

onde:

- T_c - é o teor crítico expresso em %
- E - representa o somatório dos custos de extração e beneficiamento de uma tonelada de minério, mais as despesas unitárias de administração e comercialização
- P - expressa o preço de venda de uma tonelada de concentrado obtido:

O teor de Corte é o Teor Crítco + Lucro. O termo "Corte" se refere a Desmonte (ver VIII.3 e também Capítulo I, item I.3).

Na explotação de jazidas minerais, freqüentemente são extraídos minérios com o teor inferior ao crítico e este material pode ocasionalmente ser aproveitado com lucro, pois a mistura com um material rico possibilita a formação de um minério misto, com teor superior ao crítico **("Blend"** ou **Blendagem**). Há, entretanto, um limite, **o teor limite**, abaixo do qual a mistura não deve ser efetuada sob pena de ocasionar prejuízo.

Se o minério contém mais de um componente útil possíveis de se recuperar (subproduto), neste caso o teor limite do componente principal pode ser reduzido.

A **Reserva Mínima** é a **quantidade de minério** que garante a explotação rentável de uma jazida. A determinação de reservas mínimas é feita individualmente para cada jazida, de acordo com as condições geológicas, econômicas e minerais, próprias de uma determinada jazida e tipo de minério.

Antes de avançar nesse tema é importante definir o que é uma **RESERVA MINERAL** e o que é um **RECURSO MINERAL**. A primeira refere-se a uma massa individualizada e apta a ser lavrada (alguns autores também denominam de Reservas a Vista – ver figura VIII.1), enquanto a segunda é uma massa individualizada que ainda não está preparada para ser lavrada. De outra forma, a Reserva Mineral é um bloco delimitado por abordagem direta do minério, onde uma pessoa tem acesso ao corpo hospedeiro da mineralização.

Para exemplificar: a quantidade de minério (e mineral-minério) calculada através exclusivamente de trabalhos de Sondagem é um **RECURSO MINERAL** pois não está pronto para ser lavrado, enquanto a quantidade de minério (e mineral-minério) calculada através do bloco desenvolvido (por exemplo, por serviços subterrâneos como mostrado na figura VIII.1) é uma **RESERVA MINERAL**.

VIII.3 – Serviços Mineiros

VIII.3.1 – Introdução

Os Serviços Mineiros em Pesquisa Mineral visam uma abordagem direta do corpo de minério em profundidade para estudo de Avaliação, incluindo, entre outros, o Levantamento Topográfico, Mapeamento Geológico sistemático, amostragem geoquímica sistemática, sondagem subterrânea, etc. O objetivo principal é acessar diretamente o corpo de minério. Os objetivos secundários são: determinar a relação entre estéril e minério, defenição mais apurada da Geometrização do Depósito Mineral, teor médio recuperável, espessura lavrável de minério, diluição ou teor diluído, recuperação da Lavra, método de lavra mais adequado, cálculo (Cubagem) de Reservas, testes de Lavra, testes de Beneficiamento e a viabilidade técnica e econômica do Jazimento Mineral.

Estes Serviços Mineiros podem ser a **Céu Aberto** ou **Subterrâneo** dependendo da localização, forma do Depósito Mineral, segurança e economicidade.

Às vezes a abordagem direta pode ser suficiente através de afloramento, trincheira, decapeamento do estéril sobrejacente ou de poços de pesquisa.

Grosso modo se considera duas fases distintas na produção de minério: **Desenvolvimento** e **Lavra** Propriamente dita. A primeira visa preparar os blocos de reservas para serem lavrados na fase subseqüente.

Nos Serviços Mineiros de Pesquisa Mineral se leva em conta a melhor forma de Avaliar o Minério (e o mineral-minério) e, se já existir informações suficientes, se leva em consideração também a Metodologia de Lavra que será empregada na fase subseqüente de Exploração, visando adequar a Pesquisa Mineral a fase futura de exploração.

O termo **Desmonte de Rocha** se refere a um conjunto de operações que visam o arranque do material rochoso, o qual pode ser efetuado por meios manuais, hidráulicos, mecânicos e a explosivos ou combinando dois ou mais desses métodos.

Os desmontes manuais são utilizados por garimpeiros em serviços de exploração artesanal. Os desmontes hidráulicos e mecânicos são típicos de Mineração a Céu Aberto, sendo o hidráulico mais comumente utilizado por garimpeiros que utilizam bombas para jatear água sob pressão em barrancos para efetuar o arranque de material. O Mecânico

utiliza máquinas (retro-escavadeiras por exemplo) para desmontar materiais brandos (de fácil desagregação). Já o desmonte a explosivo é o mais amplamente utilizado por empresas de mineração que trabalham com rochas duras e será mencionado mais tarde neste Livro.

O **Avanço** é a medida linear da Frente de Lavra (ou Desenvolvimento) entre dois Desmontes consecutivos. O conjunto de processos utilizados para a remoção da substância útil contida numa Jazida Mineral é denominado de **Operação de Lavra**, ainda que estejam sendo realizado na fase de Pesquisa Mineral. Procuraremos aqui abordar somente o assunto inerente a Pesquisa Mineral, sem adentrar naqueles relativos à Engenharia de Minas.

VIII.3.2 – Céu Aberto

Mineração a Céu Aberto ou "Open Pit" são escavações realizadas para a exploração do minério ao ar livre. Os Serviços Mineiros a Céu Aberto são desenvolvidos segundo método de bancadas em cava ou encostas dependendo das condições topográficas do terreno, onde a profundidade máxima da cava dependerá diretamente do teor e da relação estéril/ minério, como também, as dimensões das plataformas de trabalho dependerão da produção e da conveniência dos equipamentos.

Nas explorações a céu aberto a dimensão das Bancadas (ou degraus) deve garantir a execução das manobras com segurança, obedecendo às seguintes condições:

- A altura dos degraus não deve ultrapassar 15 m, mas na configuração final, antes de se iniciarem os trabalhos de recuperação paisagística, esta não deve ultrapassar os 10 m;

- Na base de cada degrau deve existir um patamar, com, pelo menos, 2 m de largura, para permitir, com segurança, a execução dos trabalhos e a circulação dos trabalhadores, não podendo na configuração final esta largura ser inferior a 3 m, tendo em vista os trabalhos de recuperação;

- Os trabalhos de arranque num degrau só devem ser retomados depois de retirados os escombros provenientes do arranque anterior, de forma a deixar limpos os pisos que os servem;

- Relação entre o porte da máquina de carregamento e a altura da frente não inferior a 1.

A maioria das explorações a céu aberto é realizada por degraus (**Bancadas**). No seu planejamento é necessário considerar os seguintes elementos, segundo a Legislação Mineral em vigor: altura das frentes de desmonte (degraus); largura das bases dos degraus, diagramas de fogo (caso existam), situação das máquinas de desmonte em relação à frente e as condições da sua deslocação; condições de circulação das máquinas de carregamento; perfuração e transporte; condições de circulação dos trabalhadores; configuração da escavação durante os

trabalhos e no final dos mesmos, devendo-se ter em conta a estabilidade das frentes e taludes e local de deposição de eventuais escombros e terras de cobertura, área e forma a ocupar por estes.

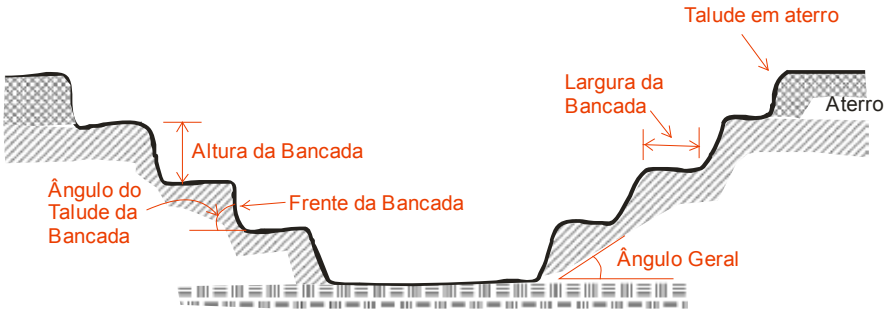
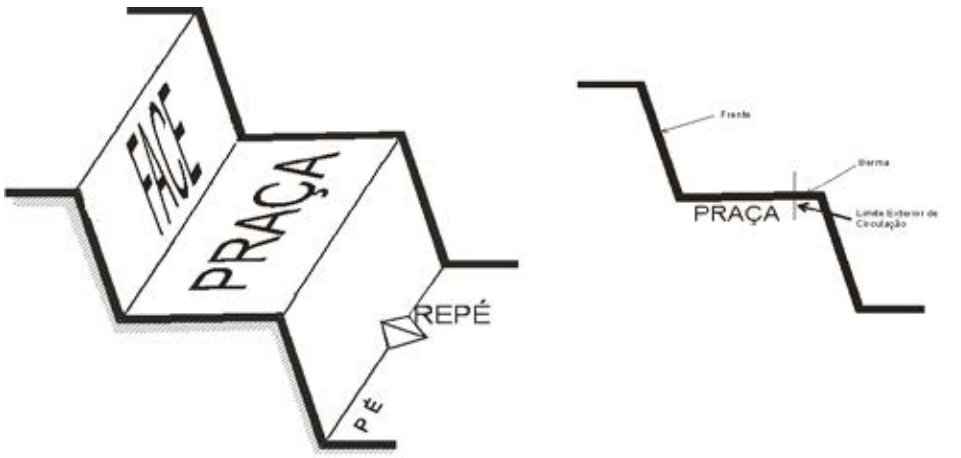


Figura VIII.2 – Elementos de uma Bancada – Método de Lavra em Degraus. Figura do autor

Para a Pesquisa Mineral de Rochas Ornamentais o enfoque é peculiar. A Lavra é por um ou vários dos seguintes métodos: Lavra de matacões, Lavra por desabamento, Lavra em tiras (ou Strip Mining), Lavra em bancadas horizontais sucessivas, Métodos mistos a céu aberto. Alguns desses métodos são utilizados para outros tipos de Avaliação que não o de Rochas Ornamentais, como, por exemplo: (Strip Mining)**.**



(a) (b)

Figura VIII.3 – Elementos de uma Bancada individual – Método de Lavra por Degraus. (a) em três dimensões e (b) em perfil. Figura do Autor.

A furação para colocação de explosivos é realizada na Praça segundo um Plano de Fogo pré estabelecido pela engenharia (ver figura VIII.4). A cada desmonte deve ser procedida uma atualização da topografia e da Geologia (mapeamento geológico e amostragens) para, entre outras razões, se obter uma medição do Avanço, quantidade de material desmontado, cálculo da relação minério / estéril, prosseguir com a geometrização da Jazida, controle de qualidade do minério lavrado etc.

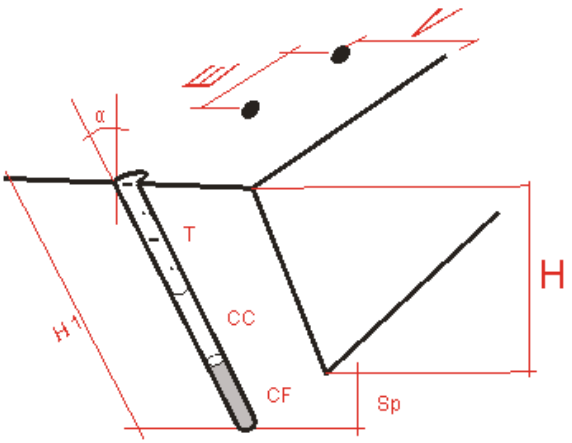


Figura VIII.4 – Nomenclaturas utilizadas em Planos de Fogo (Desmonte a Explosivo) e no carregamento do furo com explosivos. α = Inclinação do Furo; T = Tampão; CC = Carga de Coluna; CF = Carga de Fundo; H = Altura da Bancada; H1 = Comprimento do Furo; E = Espaçamento; V = Afastamento; Sp = Subperfuração. ● = "Boca" (collar) do Furo para colocação de explosivos

Em Avaliações de Jazida de Minerais Metálicos o teor da substância útil obtido no material desmontado (teor diluído) é o teor de alimentação da Planta de Processamento Mineral. A eficiência desta Planta, rotas de processamento mineral etc., aqui reunidos sob a denominação de Teste de Beneficiamento, depende da relação entre a quantidade de substância útil que alimenta a planta e aquela que será produzida após o processamento mineral.

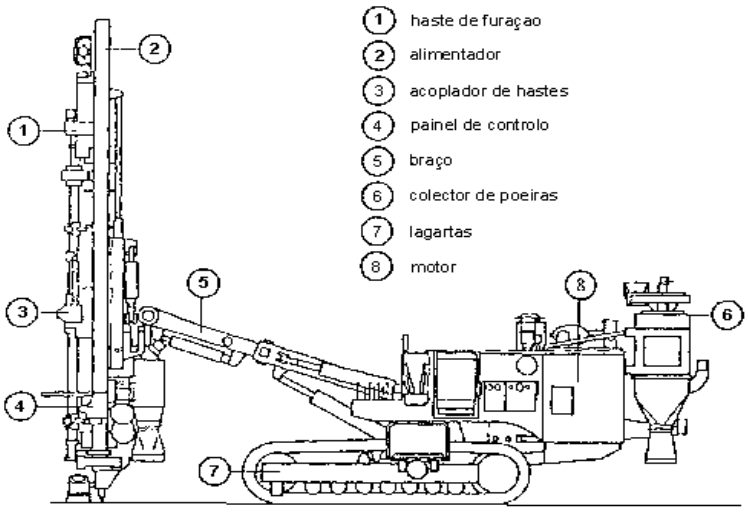


Figura VIII.5 - Componentes principais de um Jumbo de furação de bancada (Adaptado de Tamrock, 1984 www.machinerytrader.com.br)

Lavra em tiras – strip mining que se aplica no caso da extração de uma camada mineralizada cuja espessura é extraída toda de uma vez. O método permite o re-aterro e a recuperação da parte escavada, utilizando o material de capeamento, imediatamente após a extração, otimizando a operação sob o aspecto de impacto ambiental. Minas a céu aberto de onde se extrai material de construção são muitas vezes chamados de **pedreiras**. Há diferencas entre as minas a céu aberto, as pedreiras, as borrows, os aluviões, e as strip mines.

As atualizações topográficas e geológicas acompanham os trabalhos de Mineração até a exaustão da Jazida Mineral. Durante a fase de Lavra, esses trabalhos devem ser rápidos para não atrapalhar a produção, de preferência, concomitantemente aos trabalhos de Lavra. Assim, a Geologia recebe Mapas pré-concebidos da frente de lavra onde serão plotadas as feições geológicas (litologias, parâmetros de atitude etc). Uma série desses mapas superpostos ilustra a configuração tri-dimensional do Depósito.

Correntemente a Geometrização da Jazida, os Mapas Topográficos e Geológicos de atualização, os serviços de engenharia, as informações de sondagens, etc, são tratadas em softwares como o Data Mine, Surpac, Vulcan, Gemcom, etc., sendo uma poderosíssima ferramenta para o planejamento da mina e o acompanhamento e controle da Mineração.

VIII.3.3 - Subterrâneo

A Lavra Subterrânea é aquela realizada em profundidade e sem contato com o ar livre. Esta pode ser iniciada após a exaustão de condições técnicas de engenharia para o prosseguimento de uma Lavra a Céu Aberto, simultaneamente à Lavra a Céu Aberto, ou exclusivamente por acessos subterrâneos.

Durante os trabalhos exclusivamente de Pesquisa Mineral os Serviços Subterrâneos geralmente são de pequenas dimensões, visando abertura de acessos visitáveis e o tráfego de material e equipamentos. Assim, são realizados desmontes em seções quadráticas, retangulares ou em abóboda, em torno de 2,0 m x 2,0 m. Na fase subseqüente de produção mineral, ou ainda em determinadas condições na Fase de Pesquisa, os serviços podem atingir dimensões maiores oportunizando o acesso de caminhões, inclusive “fora-de-estrada”, e outros equipamentos pesados.

Via de regra, quanto maior as dimensões de um acesso subterrâneo maior a diluição, ou seja, maior será a quantidade de estéril em relação à quantidade de minério. Portanto, deve ser observada a relação entre o Teor Diluído e o Teor de Corte (ver Capítulo I) para a dimensão do acesso subterrâneo planejada. Outro fator é a escala de produção pretendida, pois a mesma pode não exigir o uso de máquinas e equipamentos pesados e, assim, não faria sentido realizar aberturas de acessos com grandes dimensões só porque o teor diluído é igual ou superior ao teor de corte.

Na fase de Desenvolvimento (figura VIII.6) os **Blocos de Reservas Minerais** são preparados para a posterior fase de Lavra, que é fase onde o Bloco será desmontado para retirada do mineral-minério. Durante a Pesquisa Mineral, tais Blocos já devem ser preparados

para a Lavra, mesmo que depois seja necessária a re-abertura dos acessos para as dimensões maiores compatíveis com os equipamentos que serão utilizados.

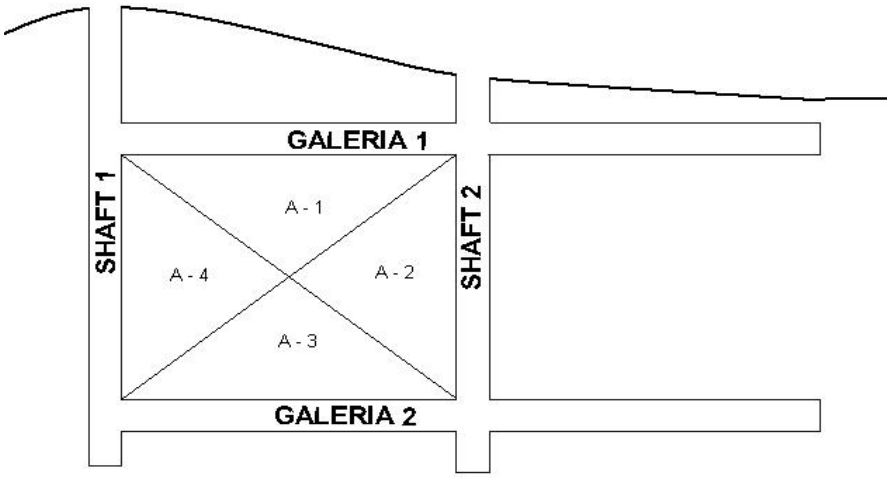


Figura VIII.6 – Bloco de Reserva Mineral hipotético desenvolvido por dois shafts e duas galerias de nível. A-1, A-2, A-3 e A-4 são áreas de influências das informações (teor e espessura principalmente) obtidas nas respectivas galerias e shafts. Figura do autor.

O Bloco situado entre os shafts 1 e 2 e as galerias de nível 1 e 2 (figura VIII.6) estaria desenvolvido e pronto para a fase subseqüente de Lavra. Essa preparação consiste basicamente em desenvolver galerias, inclinados, shaft e/ou chaminés (ver VIII.3.4) visando delimitar o Bloco a ser lavrado. Este é um **Bloco de Reserva Mineral**. Para contextualizar, poderíamos imaginar que na fase de Sondagem foram elaboradas Malhas estatisticamente coerentes com a Classificação do Depósito Mineral quanto a Regularidade. Essas Malhas definem Blocos (figuras geométricas) com volume de minério bloqueado entre dois perfis longitudinais e dois perfis transversais consecutivos (Reveja Sondagem – Cap. VII). Este Bloco seria um **Recurso Mineral**.

A Lavra Subterrânea pode ser realizada por um dos seguintes métodos: (a) realce auto-portantes (câmaras e pilares, subníveis e VCR – Vertical Crater Retreat); (b) suporte das encaixantes (shirinkage - recalque e corte e enchimento). Backfill é o enchimento com material de rejeito; (c) e abatimento (abatimento em subníveis ou sublevel caving, por blocos ou block caving e longwall). Não vamos detalhar esses métodos uma vez que existem disciplinas específicas para tal e este é um tema mais apropriado para a Engenharia de Minas.

VIII.3.4 – Galeria, Shaft, Inclinado e Chaminé

Visando o desenvolvimento de um Bloco de Reserva e/ou a Pesquisa Mineral em profundidade através da abordagem direta do Minério, podem ser realizadas aberturas subterrâneas de Galeria, Shaft, Inclinado e/ou Chaminé.

Uma Galeria é um acesso subterrâneo horizontalizado, ou seja, com um pequeno ângulo de inclinação ascendente em direção à frente de lavra. Essa inclinação varia desde 1º até no máximo 5º com o objetivo de fazer escoar as águas para fora da galeria. Se o acesso subterrâneo tem inclinação maior que 5º e menor que 90º é conhecido como Inclinado e, se tem 90º é denominado Shaft.

As **chaminés** são aberturas subterrâneas, geralmente de pequena dimensão, que têm como objetivo a ventilação, acesso de pessoal e equipamentos etc.

A **Rampa** é um termo empregado para acessos subterrâneos de inclinação menor que 45º e que tem como principal função o transporte de material. Alguns autores incluem o sentido de desenvolvimento de baixo para cima como uma característica de uma Rampa.

Os elementos topográficos de uma Galeria são basicamente: o **Eixo da Galeria** e a **Linha de Grade**.

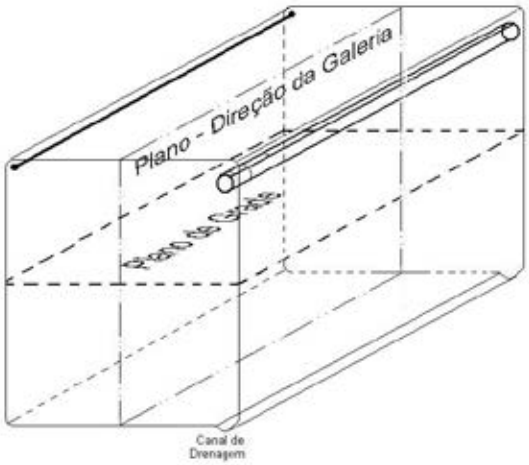
O Eixo da Galeria é a interseção entre um plano vertical de direção coincidente com a direção da galeria e a frente desta. Já a Linha de Grade é a interseção entre um plano de inclinação suave (ascendente entre 1º e 5º) e a frente da galeria. Ambos os planos devem cortar o mais próximo possível o centro da galeria.

Uma mina subterrânea bem planejada deve levar em conta os elementos topográficos para a realização de todos os serviços e instalações de todos os equipamentos.

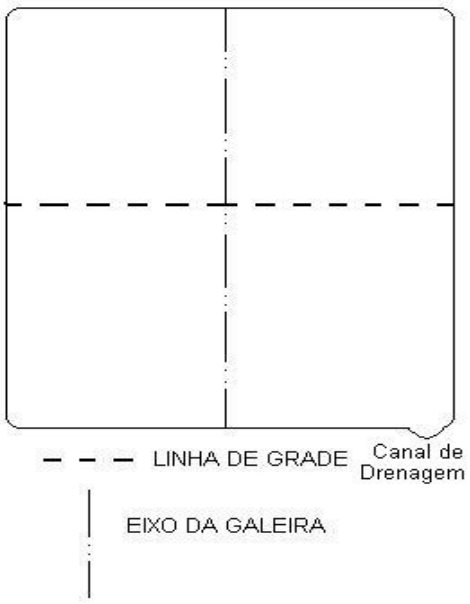
Assim, por exemplo, a furação em esquema de "pilão de sete furos" teria o furo central na interseção entre a Linha de Grade e o Eixo da Galeria. As instalações de ar comprimido, elétricas etc são planejadas a partir desses elementos topográficos.

Reserva-se o termo **Cabeceira** para as galerias desenvolvidas paralelamente ao corpo de minério e **Travessa** para as galerias desenvolvidas transversalmente ao corpo de minério.

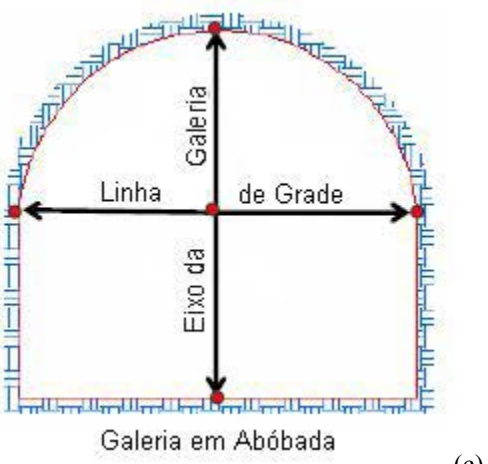
Os mesmos parâmetros com as adaptações pertinentes são utilizados para abertura dos demais Serviços Subterrâneos (shaft, inclinado, rampa, chaminé, etc).



(a)



(b)



(c)

Figura VIII.7 – Elementos topográficos de uma galeria subterrânea. (a) em três dimensões; (b) Na frente de galeria de seção quadrática e (c) Na frente de galeria de seção em abóboda ou capela. Figura do autor.

Aqueles serviços de Pesquisa Mineral já listado permanecem essenciais no subsolo. A topografia subterrânea de acompanhamento do desenvolvimento e da lavra visa medir os Avanços e atualizar mapas e reservas. Na fase de desenvolvimento os piquetes, devidamente identificados, são instalados no teto da galeria e os caminhamentos são feitos observando ou o alcance da visada ou uma eqüidistância previamente definida (desde que no limite da visada). Em cada caminhamento são realizadas medições de distância, rumo, coordenadas,

cota e largura. Essa largura é entre as paredes no caso de camadas horizontalizadas ou entre o teto e o piso da galeria (altura) se o minério estiver verticalizado. São também pré-definidas a eqüidistância das Estações de cada Caminhamento.

Algumas empresas adotam outra metodologia e registram apenas as informações da frente da galeria, com as medições de distância a cada Avanço, coordenadas da frente, registro da geometria da frente e a cota de um elemento da topografia da galeria (geralmente a intersecção entre o Eixo e a Linha de Grade).

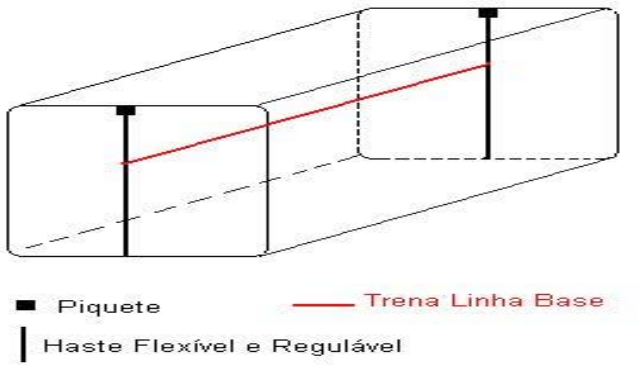


Figura VIII.8 – Esquema ilustrativo da instalação de Haste e Linha Base para mapeamento de galeria. Figura do autor

Os métodos de Mapeamento Geológico consideram o mapeamento da parede, do teto, da frente da galeria ou do rebatimento conjunto das paredes e do teto. O Teto é escolhido nos casos em que a estrutura é verticalizada, enquanto a Parede para o caso de estrutura horizontalizada. O Método do rebatimento conjunto das paredes e do teto visa proporcionar uma visão tridimensional.

Em qualquer um dos casos uma Trena é esticada entre os dois piquetes previamente instalados pela topografia definindo o caminhamento. Como na fase de Pesquisa Mineral a maioria das galerias tem altura pequena (seção de 2,0 x 2,0 m), uma haste regulável e flexível pode ser instalada em cada um dos piquetes e uma trena (Linha-Base) esticada entre as hastes. Com uma segunda trena se mapeia a parede ou o teto ou ambos dependendo do método. Essas medições com a segunda trena (ESTAÇÕES) são feitas a uma metragem pré-determinada em relação à Linha Base.

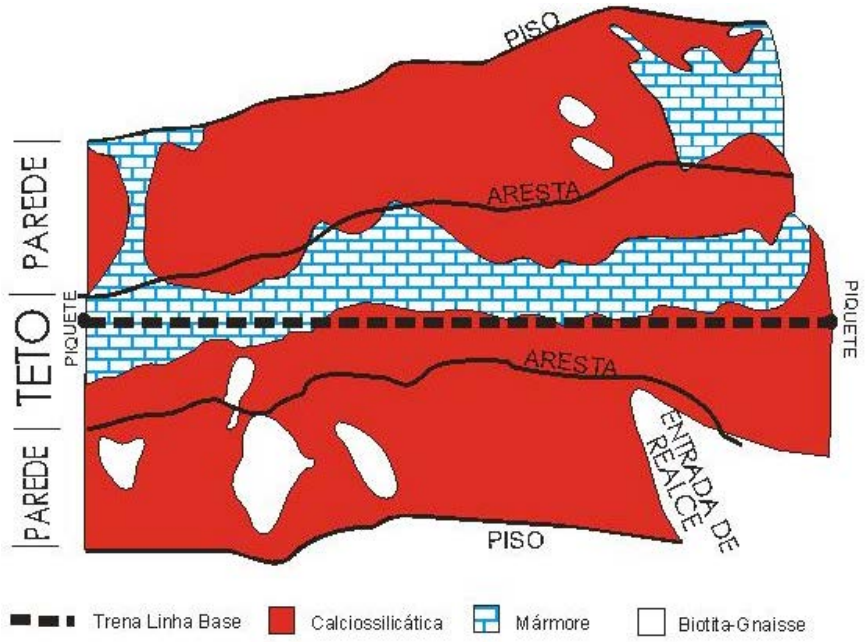


Figura VIII.9 – Mapa Geológico de Galeria (Mina Saco dos Veados) pelo método do Rebatimento conjunto das paredes e teto (compilado de Melo, 1984).

A frente da galeria é mapeada a cada Avanço ou a cada metragem pré-definida de Avanço visando não interferir na produção, já que os demais métodos implicam na permanência de pessoas ao longo do trecho a ser mapeado. Existem também os casos em que a galeria é alta e dificulta o acesso, implicando em instalação de equipamentos (andaimes p. ex).

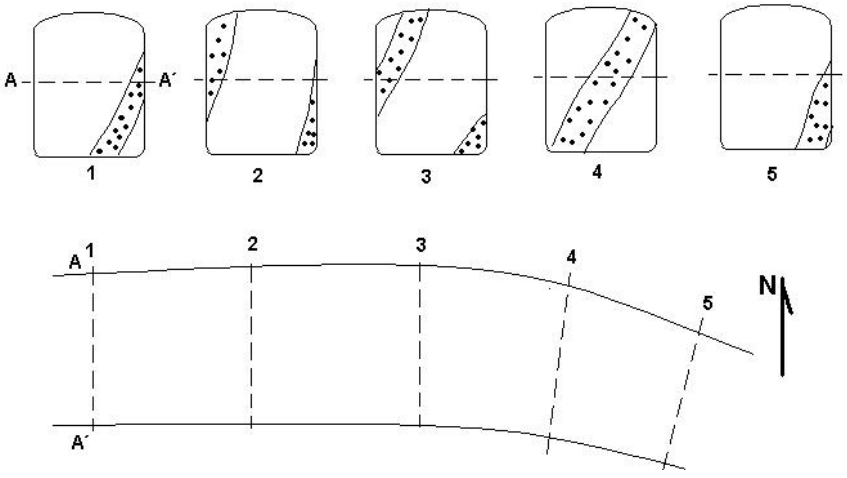


Figura VIII.10 – Mapa de 5 frentes de galeria consecutivas e sua respectiva localização em planta. Figura do autor.

Geralmente o técnico de Mineração ou Geologia se dirige até a frente da galeria com o desenho da seção nas dimensões planejadas e em escala apropriada (isso economiza tempo, pois dispensa o levantamento topográfico da seção) e sobre esse desenho é realizado o mapeamento geológico. A Linha de Grade e o Eixo da Galeria são elementos importantes e devem estar indicados no desenho da seção. Com a integração dos dados, ou seja, a plotagem dos dados geológicos obtidos nos sucessivos mapeamentos das frentes de galerias, mapeadas sobre o mapa topográfico (planta), se obtém o Mapa Geológico da galeria (ver figura VIII.10).

A figura VIII.10 apresenta 5 frentes mapeadas e suas indicações em planta. A linha tracejada em cada frente é a Linha de Grade (o eixo da galeria) não foi mostrado aqui. Como exercício dobre cada frente de galeria na parte correspondente a Linha de Grade e transfira para a planta (porção inferior da figura acima) na respectiva frente. Depois interprete a geologia.



Figura VIII.11 – Foto do interior de uma Galeria de Nível com escovamento de madeira da Mina Cafuca, Bodó-RN. Foto do autor.

VIII.4 - Cubagem de Reservas

VIII.4.1 - Introdução

Grosso modo existem dois métodos gerais a partir dos quais podemos calcular a quantidade de minério e mineral-minério: Método das Seções Geológicas (**Recurso Mineral**) e Método de McKinstry (**Reserva Mineral**), sendo o primeiro baseado em informações obtidas por sondagem e o segundo por abordagem direta do minério (afloramentos, trincheira, galeria, inclinado, shaft e chaminé).

Existem variações, adaptações e junções desses dois métodos que têm sido empregados por empresas de mineração e aceitos pelo DNPM.

VIII.4.2 – Tipos de Reservas

As Reservas (e também os Recursos Minerais) são classificadas em Medidas, Indicadas e Inferidas evolutivamente em função da Precisão e Acurácia das informações. O erro permitido é de até 20% para a do tipo Medida, até 50% na do tipo Indicada e em torno de 70% ou mais para as do tipo Inferidas.

Segundo o **Código JORC,** (ver Guia Prático para Classificação de Recursos e Reservas Minerais -http://www.geologo.com.br/JORC.ASP) **Precisão** é o rigor adotado na determinação dos parâmetros considerados na Pesquisa Mineral, com a determinação da faixa de sua variação, para mais ou para menos, do valor estimado, para um determinado nível de probabilidades. **Acurácia** é a proximidade entre o valor medido experimentalmente e o valor real, no processo de medição de parâmetros. No caso da Pesquisa Mineral, dos parâmetros físicos e químicos do depósito, sendo, para cada um deles, calculado o respectivo "erro de estimativa", levando-se em consideração o método de estimativa usado.

A "coleta de informações" deve levar em consideração o tipo de Jazida em Função da sua **Classificação Quanto a Regularidade**, a quantidade de informações disponíveis para bloquear a figura geométrica que define o Bloco de Reserva (ou de Recurso) e o espaçamento e dimensões das amostragens (ver Capítulo II, ítem II.6).

Para efeito de aprovação do Relatório Final de Pesquisa o DNPM só considera as Reservas Medidas. Faz exceção para os casos de Depósitos Minerais de altíssimo Coeficiente de Variação, como é o caso dos Depósitos de Minerais Gemas. Por outro lado a distinção aqui feita entre Recursos e Reservas Minerais não é, ainda, amparada pela Lei e, por isso, o DNPM tem aprovado Relatório Final de Pesquisa com Recursos Minerais Medidos.

A **Área de Influência** é o espaço em que se admite que os teores e espessuras são os mesmos obtidos a partir de uma amostra ou de um conjunto de amostra (figura VIII.6).

As minas de scheelita do Seridó do RN adotam as seguintes dimensões de amostragem de canal: Espaçamento entre as amostras de 3,0 m, Canais de 10 cm de largura por 2,5 cm de profundidade. Como se trata de um Depósito Mineral com Coeficiente de Variação em torno

de 100% (2º Grupo), qualquer trecho assim amostrado seria uma Face Medida de um bloco de reserva. Para o Bloco de Reserva como um todo ser considerado Reserva Medida, todas as Faces teriam que ser do tipo Medida e as Dimensões do Bloco poderia ser de 25 m à 100 m conforme o Coeficiente de Variação esteja mais próximo a 25% ou a 100% respectivamente. Evitaremos aqui demonstrar como se procedem aos cálculos para encontrar as dimensões exatas do Bloco de Reserva, ou a da amostra de canal, etc., por não ser este foco do Técnico de Geologia ou de Mineração.

Na Mina Brejuí a média que mais se aproxima da realidade é a do tipo Ponderada. Em outras palavras podemos dizer que a média ponderada é a que fornece melhor Acurácia à Cubagem de Reserva. Assim, consideramos um trecho de galeria subterrânea de 9,0 m de comprimento para demonstrar como se procede ao cálculo da média ponderada a espessura e a área de influência da amostra.

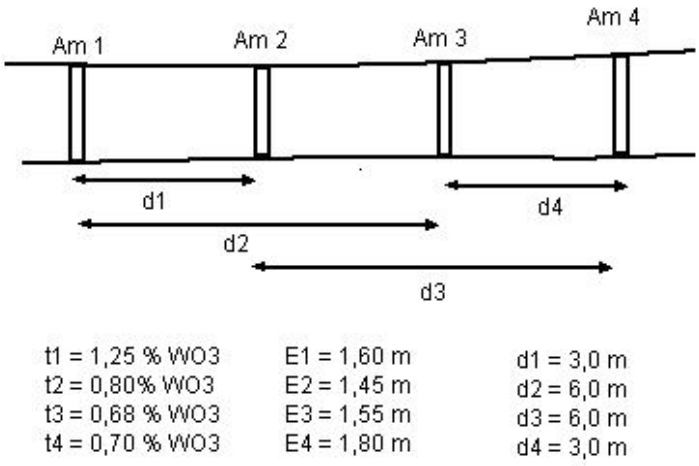


Figura VIII.12 – Amostragem de Canal ao longo de 9,0 m de uma camada de calciossilicática. Figura do Autor.

A figura VIII.12 ilustra amostragens de canal ao longo de uma hospedeira da mineralização scheelitífera (Escarnito) exposta por uma galeria de nível. Os valores de teor e espessura da camada obtidos na Amostra denominada Am 1 permanecem os mesmos até a metade da distância entre Am1 e Am2 - essa é a área de influência da Amostra Am1. Já a amostra Am2 tem área de influência que vai desde a metade da distância entre Am1 e Am2 até a metade da distância entre Am2 e Am3 (veja a figura VIII.12). Como se trata de um Depósito do 2º Grupo, onde 40% < V < 100%, para se ter uma face Medida da figura geométrica que define o Bloco de Reserva, a eqüidistância das amostras deve ser de 2,5 a 4,0 m e cada amostra de canal deve ter o comprimento igual a espessura do minério e a Largura e profundidade do canal deve ser consoantes também com a espessura do minério, além do Coeficiente de Variação (V). No caso das minas de scheelita de Currais Novos adotou-se um padrão único, independentemente da espessura do minério, que consiste em 10 cm de largura por 2,5 cm de profundidade do canal (OBS: compatível com espessura do minério de menos de 0,5 m. Ver Capítulo II e Tabelas II.7, II.8, II.9 e II.10).

O teor médio ponderado é calculado pela expressão (por exemplo Mina Brejuí):

$$\text{Teor} = \frac{[t_1 \times e_1 \times (d_1/2)] + [t_2 \times e_2 \times (d_2/2)] + [t_3 \times e_3 \times (d_3/2)] + [t_4 \times e_4 \times (d_4/2)]}{e_1 \times (d_1/2) + e_2 \times (d_2/2) + e_3 \times (d_3/2) + e_4 \times (d_4/2)}$$

onde:

e_1 .... e_4 é a espessura do minério na Am 1 ..... Am 4

t_1 .... t_4 é o teor de trióxido de tungstênio na Am1 ..... Am4

$d_1/2$ ..... $d_4/2$ é a área de influência de Am1 ..... Am4 (veja a figura acima).

Sugerimos como exercício, calcular o Teor Médio Ponderado utilizando os dados da figura VIII.12. Sugerimos também retornar ao capítulo de Sondagem (Cap. VII) para ver a Figura VII.1, onde uma campanha sistemática de sondagem segundo uma malha de 5,0 m x 5,0 m, num Depósito Mineral do 3º Grupo foi realizada: identificar quais os Blocos de Recursos Minerais Medidos, Indicados e Inferidos, justificando cada um deles.

As médias aritmética, geométrica, harmônica, além da ponderada, e até a moda e mediana têm sido utilizadas por empresas para cálculo de espessuras e teor médios. A escolha se baseia na Acurácia observada em Jazidas Padrões. Apesar de não ser regra, utiliza-se bastante a média geométrica em depósitos de cobre, a aritmética em ouro, ponderada em scheelita etc.

Uma vez com as médias de teor e espessura calculadas para uma face do Bloco de Reserva a área de influência desta face passa a ser a metade da distância às outras faces. A figura VIII.13 ilustra dois Blocos de Reservas Medidos pelo Método de McKinstry e suas respectivas áreas de influência, considerando que cada uma das faces que delimitam o Bloco é do tipo Medida e que as dimensões do Bloco são compatíveis com reservas medidas para o tipo de depósito mineral segundo sua Regularidade Estatística.

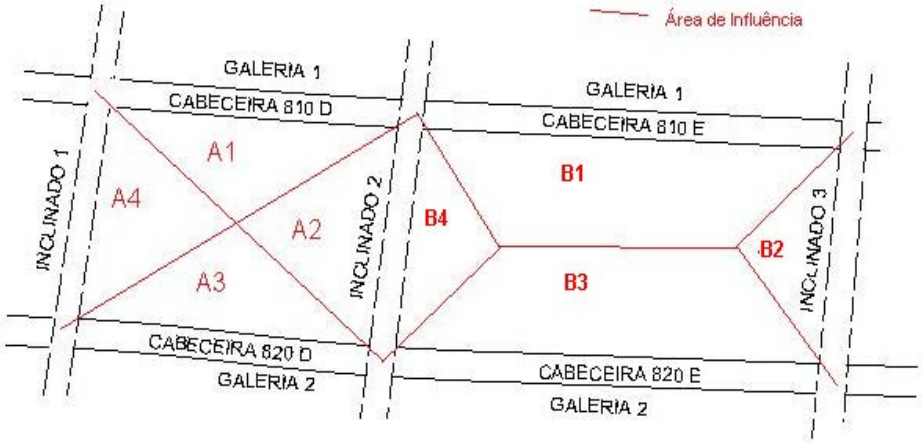


Figura VIII.13 – Dois Blocos de Reservas Medidos pelo método de McKinstry. Figura do Autor.

Na Figura VIII.13, A1, A2, A3 e A4 são as áreas de influência respectivamente da Cabeceira 810 D, Inclinado 2, Cabeceira 820 D e Inclinado 1, considerando que as amostras de canal para obtenção de teor e espessura foram coletadas segundo espaçamentos e dimensões (largura e profundidade do canal) compatíveis com a Classificação deste Depósito quanto a Regularidade.

Para entender melhor a classificação dos Recursos Minerais em Medida, Indicada e Inferida, elaboramos uma malha abaixo definindo nove blocos abordados por sondagens. Sugerimos, para melhor compreensão, uma revisão do Capítulo II.

O Depósito Mineral da Figura VIII.14 é do 1º Grupo (5% <V<40%). A Malha de Sondagem é de 100 m x 100 m. O único Bloco de Recurso Mineral Medido é o de número 7, pois as quatro faces estão bloqueadas por sondagem. Os Blocos 4, 5 e 8 são do tipo Indicada e os Blocos 1, 2 e 6 Inferida.

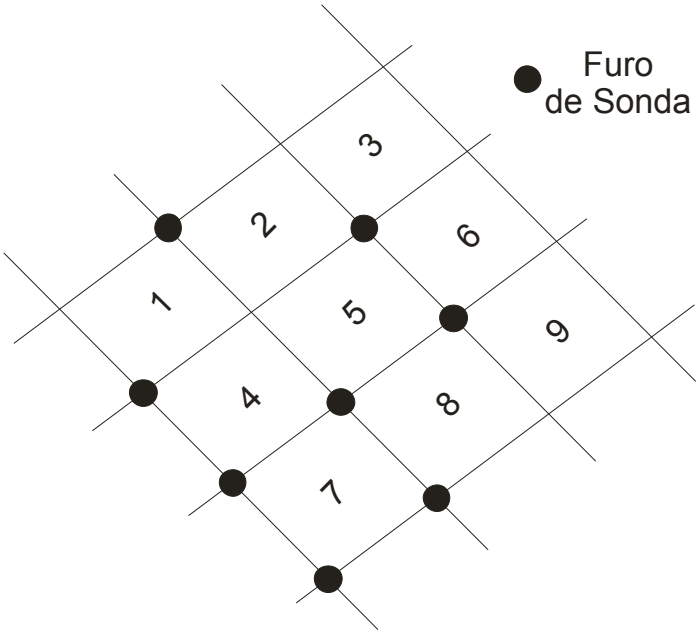


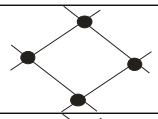
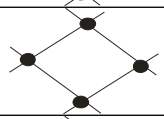
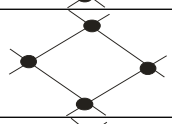
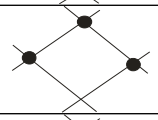
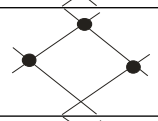
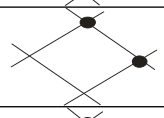
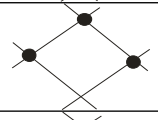
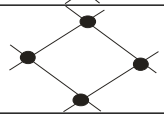
Figura VIII.14 – Classificação de Recursos Minerais Medido, Indicado e Inferido - Método das Seções Geológicas. Figura do Autor.

A Tabela VIII.1 ilustra algumas situações e a respectiva classificação. Para facilitar consideramos malhas quadráticas onde os círculos pretos são furos de sondagem a partir dos quais se obteve informações de espessura e teor.

Notar que mesmo aqueles Blocos com furos abordando os seus 4 vértices podem ser classificados como Recursos Indicados ou Inferidos em função da eqüidistância dos furos de sonda e da Classificação do Depósito Mineral quanto a Regularidade.

A situação com Reservas Minerais é idêntica àquela mostrada na Tabela VIII.1. Ao invés dos furos de sonda nos vértices do bloco, teríamos abordagens diretas das faces do Bloco ou por afloramento, trincheira, shaft, galeria, inclinado etc.

TABELA VIII.1 – EXEMPLOS DE CLASSIFICAÇÃO DE RECURSOS MINERAIS MEDIDO, INDICADO E INFERIDO DE ACORDO COM A REGULARIDADE, DISTÂNCIA E QUANTIDADE DE INFORMAÇÕES

CONFIGURAÇÃO	DISTÂNCIA	QTO. A REGULARIDADE	CLASSIFICAÇÃO
	10 m x 10 m	3º Grupo	Medida
	60 m x 60 m	3º Grupo	Indicada
	150 m x 150 m	3º Grupo	Inferida
	10 m x 10 m	3º Grupo	Indicada
	60 m x 60 m	3º Grupo	Inferida
	10 m x 10 m	3º Grupo	Inferida
	150 m x 150 m	3º Grupo	Nenhum Tipo
	300 m x 300 m	1º Grupo	Indicada

VIII.4.3 – Cubagem

Basicamente resume-se ao cálculo de área, volume, tonelagem de minério e tonelagem de mineral-minério, esse último específico para Depósitos Minerais Metálicos.

O cálculo da área (A) depende da forma geométrica do Bloco de Reserva (ou Bloco de Recurso). O volume (V) = A x Em (espessura média). Tonelagem de Minério (TM) = V x d (densidade). Tonelagem de Mineral – Minério (TMM) = TM x tm (teor médio).

A reserva de um bloco é o somatório das reservas das áreas de influência que o compõe. Assim, na figura VIII.13, a reserva do Bloco delimitado pelos Inclinados 1 e 2 e pelas cabeceiras 820 D e 810 D é o somatório das reservas de A1 + A2 + A3 + A4.

A figura VIII.15 ilustra parte da figura VIII.13 com indicação de escala gráfica para propiciar o cálculo das áreas de influências denominadas B1, B2, B3 e B4. A tabela VIII.2 lista os valores médios de teor e espessura obtidos nas Faces Medidas das Cabeceiras 810E e 820 E e dos Inclinados 2 e 3. Sugerimos como prática, que se calcule a Reserva deste Bloco e classifique sua Reserva, sabendo que o mesmo é um Depósito de scheelita do 2º Grupo. A densidade do minério é de 3 ton/m^3.

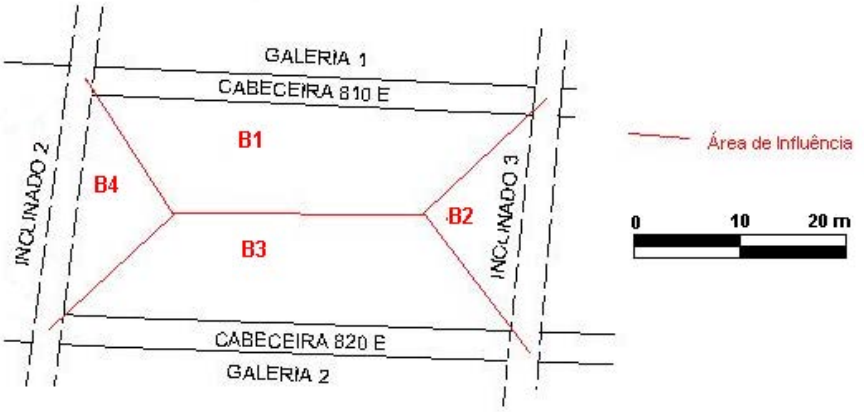


Figura VIII.15: Bloco de Reserva pelo Método de McKinstry para aplicação de exercício prático. Figura do Autor.

TABELA VIII.2 – DADOS DE MÉDIA PONDERADA DE TEOR E ESPESSURA

	Inclinado 1	Inclinado 2	Cabeceira 810E	Cabeceira 820E
Teor Médio	1,05	0,58	0,85	0,30
Espessura Média	0,50	1,00	0,70	0,70

As questões acima estão colocadas numa "simplicidade franciscana", pois o intuito é somente introduzir e aplicar esses conceitos. Questões mais complexas, cálculo de Krigagem, modelagens, etc., não serão tratadas aqui por considerarmos que foge do campo de atuação do Técnico de Geologia e Mineração.

Às vezes os resultados de Cubagem de Reservas informam a quantidade de minério e o teor médio do Bloco ou da Jazida (por ex: 10 milhões de toneladas a 1% WO_3). É muito comum também expressar várias quantidades de minério para diferentes teores ou faixas de teores de mineral-minério (por ex: 1 milhão de ton acima de 100 g/ton Au, 50 milhões de ton com 50 a 100 g/ton Au). Este esquema de apresentação é principalmente de Recursos Minerais em prospectos que dependem de aporte de recursos financeiros de investidores.

VIII.4.4 – Prognósticos de Produção e Viabilidade Econômica

Para vislumbrar a atividade em termos econômicos se faz necessário ir mais além da cubagem de reservas mencionadas em VIII.4.3. Ali se tem conhecimento da quantidade de mineral-minério existente, mas a viabilidade está condicionada às Entradas, ou seja, ao Faturamento da empresa com a venda de seu produto final. Aqui entra o conceito de Reserva Lavrável e Reserva Vendível.

Reserva Lavrável á aquela que será efetivamente Desmontada e transportada à planta de tratamento.

Alguns autores calculam essas reservas como sendo a Tonelagem de Mineral-Minério x Recuperação da Lavra. Outros utilizam o **Teor Recuperável** multiplicado à Tonelagem de Minério para encontrar a Reserva Lavrável. O teor recuperável é um conceito um tanto abstrato: em alguns casos ele é simplesmente igual ao Teor Diluído, em outros se considera além da diluição (se houver) o teor deixado na mina em função do método de lavra adotado.

Reserva Vendível é aquela que será efetivamente comercializada pela empresa. Matematicamente é a Reserva Lavrável x a recuperação da planta de processamento mineral.

O desafio da engenharia (Lavra e Processamento Mineral) é tornar a Reserva Vendível a mais próxima possível da Reserva de Mineral-Minério.

Mudando de escala do Jazimento Mineral como um todo e partindo para as operações diárias de Desmonte de Frentes de Lavra, o Técnico de Geologia e Mineração deve se preocupar com os parâmetros de Diluição de modo que o teor diluído seja igual ou o mais próximo possível do Teor de Corte. As técnicas para tal envolvem a blendagem e o conceito de Teor Limite, ambas já mencionadas anteriormente. Outra técnica envolve o conceito de **Lavra Seletiva** que deve ser aplicada com objetivo de adequar o teor do Run of Mine (ROM) ao teor de alimentação exigido pela planta de processamento Mineral.

A Lavra Seletiva pode ser explicada como aquela em que é desmontado, numa primeira etapa, somente o minério, sem diluição. Numa segunda etapa, desmonta-se apenas o estéril. Em termos de economia é uma técnica injustificável, bem mais cara quando observado exclusivamente os custos de Desmonte. Entretanto, pode se justificar em termos de processamento, uma vez que a recuperação da Planta com teores de alimentação baixos pode ser tão alta que o aumento dos custos de Desmonte tenha menor importância quando comparado a perda da planta.

ROM (Run Of Mine) é todo o material desmontado e que é transportado da mina para a Planta. Na Lavra Seletiva os custos de transporte do estéril são minimizados com a sua disposição em locais denominados de Rejeitos de ROM ou da Lavra, inclusive no subsolo

(setores abandonados, por exemplo), de modo que o transporte seja o menor possível. O foco é agregar o mínimo valor possível ao estéril.

Numa mina se tem dois tipos genéricos de Rejeitos: o da Lavra e o do Processamento. Especificamente os processos de Lavra e o de Processamento Mineral podem ter alguns tipos específicos de Rejeitos (rejeito do jig, de mesa, do eletroímã, etc).

No estudo de viabilidade econômica de uma Jazida vários conceitos são envolvidos, tais como Fluxo de Caixa, Taxa Interna de Retorno, Valor Líquido Presente, Pay-back, entre vários outros. Entretanto, julgamos que esses temas não fazem parte dos atributos do Técnico de Geologia e Mineração, razão pela qual não serão tratados aqui.

Exercício de Fixação:

Supondo que o teor crítico da mina retratada na figura VIII.15 seja de 0,45%, teor de corte de 0,70% analise a economicidade deste Bloco sob o aspecto dos teores envolvidos. Sendo a espessura de corte das galerias, inclinados, realces etc de 2,0 m como se comportaria a diluição deste bloco e qual a sua viabilidade econômica?

REFERENCIAS

ANNELS, A.E. Mineral deposit evaluation - A pratical appraoch. - London (Chapman & Hall), 436 p. 1991.

ARAÚJO, Mário N. C.; SILVA, Fernando C. A. da; AMARO, Venerando E.; JARDIM DE SÁ, Emanuel F. Aplicação do Sensoriamento Remoto no Detalhamento da Arquitetura Crustal de Áreas Mineralizadas em Ouro da Porção Centro-Oriental da Faixa Seridó (NE do Brasil). Tese Doutorado, Pós-Grad em Geodinâmica e Geofísica, DG-UFRN, Natal/RN, 2001

BARNES, H.L. (ed.). Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits (2nd ed.). John Wiley & Sons, New York. 798p. 1979.

BIONDI, João Carlos. Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros. São Paulo: Oficina de Textos, 528 p. il. 2003.

CAVALCANTI NETO, Mário T. de O. Pesquisa Mineral para Técnicos de Geologia e Mineração. http://www.pesquisamineralcefet.hpg.com.br. DIETREN/IFRN, Natal/RN, 2008.

CHAVES, Mário L. de S. C.; KARFUNKEL, Joachim; TUPINAMBÁ, Miguel. Estruturação "em rosário" dos depósitos de quartzo hidrotermal do Morro do Juá (Gouveia, MG). R. Esc. Minas, Ouro Preto, 56(1): 15-20, jan. mar. 2003

CPRM. Avaliação e Diagnóstico do Setor Mineral Estado do Rio Grande do Norte. MME, SEDEC, SBG/CPRM, DNPM. Natal / RN, 2007.

_____. Manual Técnico PGAGEM – Brasil, baseado no Manual Técnico da Área de Geoquímica da CPRM - versão 5.0. CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 25 p. 2003.

CORBETT, G. J., and LEACH, T. M., 1998. Southwest Pacific rim gold-copper systems: structure, alteration, and mineralisation. Society of Economic Geologists Special Publication 6, 234 p.

CORSER, P. A North American Perspective on Mine Closure. Seminário Internacional "Novos Usos de Áreas Mineradas - O Fechamento de Minas no Século XXI". Realização: IBRAM/ FIEMG/ SINDIEXTRA. Belo Horizonte. 18 ago. 2005. Slides. Não publicado.

EVANS, Anthony M. Ore geology and industrial minerals: an introduction; 3 th edition. ISBN 0-632-02953-6, UK, 1993.

EINAUDI, M.T., and BURT, D.M., 1982, Introduction - terminology, classification, and composition of skarn deposits: Econ. Geol., v. 77, p. 745-754 (entire volume devoted to skarns).

FLETCHER, W.K., *Analytical Methods In Geochemical Prospecting*. Handbook of Exploration Geochemistry., vol. 1. Elsevier Publishing Co. 256 p. 1981.

FORTESCUE, J.A.C. Landscape geochemistry: retrospect and prospect – 1990. **Applied Geochemistry,** l. v. 7, p. 1-53. 1992.

GOLDSCHMIDT, Victor Moritz. Geochemistry. Alex Muir ed. Oxford University Press, 730pp, 1954.

GOVETT, G.J. Rock Geochemistry in Mineral Exploration. Handbook of Exploraion Geochemistry, vol. 3. Elsevier Publishing Co. 462 p. 1983.

GUILBERT, John M. e PARK Jr, Charles F. The Geology of Ore Deposits (Hardcover). Waveland Press Inc. 985 pp. 1986.

HAWKES, H. E. & WEBB, J. S. Geochemistry in Mineral Exploration. New York, Harper&Row. 415 pp. 1962.

HOBBS,B.E.; MEANS,W.D.; WILLIAMS,P.F. An Outline of Structural Geology. John Wiley & Sons, Inc. ISBN 13: 9780471401568, Ed. Wiley, UK 1976.

HCNDRY, D.A.F., CHIVAS, A.R., REED S.J.B., and LONGS J.V.P. Geochemical Evidence for Magmatic Fluids in Porphyry Copper Mineralization Part II. Ion-probe Analysis of Cu Contents of Mafic Minerals, Koloula Igneous Complex. Contrib. Mineral Petrol., 78:404-412. 1981.

HOFFMAN, S.J.; THOMPSON, I. Models, interpretation and follow-up. Soc. Of Econ. Geol., p 117-128. (Rev. in Econ. Geology, v. 3). 1986.

HOWARTH, R.J. Statistics and data analysis in Geochemical Prospecting. Handbook of Exploration Geochemistry, vol. 2. Elsevier Publishing., 438 p. 1982.

HOWARTH, R.J. (Ed.) Statistics and data analysis in geochemical prospecting. Elsevier, 437 p. 1983.

Instituto Geológico e Mineiro (1999). Regras de Boa Prática no Desmonte a Céu Aberto. Versão Online no site do INETI: http://e-Geo.ineti.pt/geociencias/edicoes_online/diversos/boa_pratica/indice.htm.

JARDIM DE SÁ, E. F. A Faixa Serido (Província Borborema NE do Brasil) e seu significado geodinâmico na Cadeia Brasiliana / Pan-Africana. Brasilia, UnB, Tese 803 p, 1994.

JORC Code. Australasian Code for Reporting of Mineral Resources and Ore Reserves (The JORC Code). Joint Ore Reserves Committee (JORC) – The JORC Code. 1989.

KREITER, V. M. Geological Prospecting and Exploration. Revised and Translated from the 1964 Russian edition by Alexander Gurevich. 383 p., 117 figs. Mir Publishers, Moscow (Central Books Ltd., London). 1968.

LEVINSON, A.A. Introduction to exploration geochemistry. Applied Publishing Ltda. 600p. 1980.

LIMA EAM, TORRES AG, WANDERLEY AA, BRITO ALF, VIEIRA AT, PEREIRA ACS, MEDINA AJM, BARBOSA AJ, VASCONCELOS AM, AGUIAR CBJ, JAEGER CRS, AMARAL SA, SATO EY, SILVA EHRO, FORTES FP, BE-NEVIDES HC, LEITE JF, MORAES JFS, RIGEIRO JA, NESIJR, ANGELIM LAA & CALHEIROS MEV. 1980. Projeto Scheelita do Seridó. Relatório Final. Recife: DNPM/CPRM. 1980. V. 1-5,1284 p.

LOVERING, J. F. (John Francis). Geochim. et Cosmochim. Acta, **12**, 253, 1952.

MARANHÃO, Ricardo Jorge Lobo. - Introdução à Pesquisa Mineral, 4ª ed., Banco do Nordeste do Brasil, ETENE, Fortaleza, 796p. 1983.

McKINSTRY, H.L. - Geologia de minas. Ed. Omega, Barcelona, 671 p. 1977.

MARJPRIBANKS, R.W. Geological Methods in Mineral Exploration and Mining, Chapman & Hall, London, 1997.

MELO E. B. Geologia e Petrologia da Jazida Scheelitífera Saco dos Veados, Currais Novos, Rn. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. *Orientador:* Hartmut Beurlen. 1984.

MEYER, C. and HEMLEY, J. J., 1967. Wall rock alteration: In: Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits. Barnes, H. L. (Ed) 166-235. Holt, Rinehart and Winston, Nueva York.

MOORES, E.M. Pre-1 Ga (pre-Rodinia) ophiolites: their tectonic and environmental implications. *GSA Bulletin*, **114 (1)**: 80-95. 2002.

NALDRETT, A.J. A model for the Ni-Cu-PGE ores of the Noril'sk region and its application to other areas of flood basalt. **Econ. Geol.**, v. 87, n. 8, pp. 1945-1962. 1992.

RAMSAY, J. G. & GRAHAM, R. H. Strain variation in shear belts. Canadian Journal od Earth Sciences, v.7, p786-813.

REED, M.H. Hydrothermal alteration and its relationship to ore fluid compoSítion. In: H.L. Barnes (ed.) Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1997. pp 303-365.

RICCI, M., PETRI, S. Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica. São Paulo: Ed Nacional, 1965. 226p.

RIGOTI Augustinho - Cursos de Aperfeiçoamento em Exploração Mineral, Promoção da ADIMB, Agência para o Desenvolvimento Tecnológico da Indústria Mineral Brasileira, Com Patrocínio do PADCT III – GTM, Módulo I, Exploração Geofísica Terrestre por Métodos Gravimétricos, Magnetométricos e Gamaespectrométricos, Primeira Parte, BASE TEÓRICA. EXMIN (1998), 54 pp.

ROBB, Laurence. Introduction to Ore-Forming Process. Blackwell Publishing Science Ltd., UK, 2004.

ROCHA DA ROCHA, Alexandre M. Apostila de Geoquímica de Exploração. DIETREN/ IFRN, Natal/RN, 2007.

ROSE A. W. and BURT D. W. (1979) Hydrothermal alteration. In Geochemistry of hydrothermal ore deposits 2nd edition (ed. H. L. Barnes). pp. 173–235. Wiley, New York. 1979.

ROSE A.W., HAWKES H.E., WEBB J.S. Geochemistry in mineral exploration. 2. ed. London, Academic Press, 657 p. 1979.

SHINTAKU, ISAO. Aspectos Econômicos da Exploração Mineral. Dissertação de Mestrado. UNICAMP, São Paulo – SP, março 1998. (http://www.cprm.gov.br/publique/media/isao_ shintaku.pdf)

SINKANKAS, J. Prospecting for gemstones and minerals. Van Nostrand Reinnold Co.,NY, 340p. 1970.

SMITH, P.S. Lode mining near Fairbanks: U.S. Geological Survey Bulletin 542-F, p. 137-202. 1913.

STANTON, R. L. – Ore Petrology. Mc Graw Hill, New York, 1972. 1 ed. 713 p.

SILVA, W. L. Mineralizações Auriferas em Veios de Quartzo na Faixa Seridó, NE do Brasil: Exemplos de Depósitos de Ouro de Fácies Anfibolito em Faixa Móvel Proterozóica. Tese Doutorado, UNESP, Rio Claro/SP, 2000.

TITLEY, S.R. (1992). Characteristics of Porphyry Copper Occurrence in the American Southwest. En: Mineral Deposit Modelling: Geological Association of Canada, Special Paper 40, 433-464.

WALTHER, John Victor. Essentials of geochemistry. 2005.

WHITE, William M. Geochemistry. John-Hopkins University Press. 1997.

_____. Geochemistry. Cornell University. Na on line textbook. Livro eletrônico http://www.imwa.info/geochemistry.

WINKLER, H.G.F. Petrogenesis of metamorphic rocks, - Berlin (Springer), 316 p. 1974.

WYLLIE, J. P. Ultramafic and Related Rocks. New York. John Wiley & Sons, 354 p. 1967.

TUKERIAN, K. K. & WEDEPOHL, K. H. Distribuition of the Elements in Some Major Units of the Earth´s Crust. Geol. Soc. Of Am. Bull. , vol. 72, pp 175-192, 1961.

XAVIER, Roberto P. Depósitos Minerais de Filiação Magmática. Instituto de Geociências – UNICAMP. Disciplina: Geologia Econômica (GE-803). 2009.

SITES CONSULTADOS

http://www.iodp.tamu.edu/publications/197_IR/chap_02/c2_f9.htm

http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/pt/Mineral_exploration#Stages_of_mineral_exploration

http://www.geovirtual.cl e http://www.geovirtual.cl/depos/000index.htm

http://pt.wikipedia.org/wiki/Classifica%C3%A7%C3%A3o_Goldschmidt

http://www.geologiacefetrn.hpg.ig.com.br/bowen

www.ige.unicamp.br/site/aulas/99/Maficas-ultramaficas.ppt

http://www.ugr.es/~geopeta/ej6.htm

http://www.science.smith.edu/departments/Geology/Skarn

www.ibge.gov.br

http://www.ibge.gov.br/ home/ geociencias/ cartografia/ manual_nocoes/ elementos_representacao.html

http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/manual_nocoes/elementos_representacao.html

http://www.cgp.igc.ufmg.br/especializacao.htm

www.metro.det.ufc.br/suelly/Topografia%20(Teoria)/Aula%2002%20-%20Escalas.ppt

http://egsc.usgs.gov/isb/pubs/booklets/symbols/

http://www.ptr.poli.usp.br/labgeo/graduacao/ptr321/material2/registro.pdf

http://www.webcalc.com.br/frame.asp?pag=http://www.webcalc.com.br/conversoes/angulo.html.

http://www2.nature.nps.gov/geology/usgsnps/gmap/gmap1.html

http://www.unb.br/ig/glossario

http://www.geo.umn.edu/mgs/xsections/sect.html

http://www.dicionario.pro.br/dicionario/index.php/B%C3%BAssola

http://dgp.cnpq.br/buscaoperacional/detalhegrupo.jsp?grupo=2815107ZC6HDJL

http://www.cprm.gov.br

http://www.amiresources.com/properties.html

http://www.verena.com/

www.machinerytrader.com.br

http://www.pesquisamineralcefet.hpg.com.br

http://www.imwa.info/geochemistry/

http://plata.uda.cl/minas/apuntes/Geologia/geologiageneral/geogenap.html

http://extranet.mapinfo.com/products/mipro/demo_75/323_mapinfo_80_intro.htm

http://soil.gsfc.nasa.gov/pvg/munsell.htm

http://www.amiresources.com/properties.html.

http://www.geologo.com.br/JORC.ASP

http://www.cartografica.ufpr.br/docs/levtopo/topo_subterranea.pdf

http://w3.ualg.pt/~fmmartin/files/topograf4/TSub_sebenta_MR.pdf

http://www.dnpm-pe.gov.br/Legisla/nrm_02.htm

http://www.dnpm.gov.br

http://www.ibge.gov.br