

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**MODELAGEM GEOLÓGICA E AVALIAÇÃO DOS
RECURSOS DE CALCÁRIO NA JAZIDA DE BOM
JARDIM, MUNICÍPIO DE BARROSO, MG.**

Leandro Guedes Bertossi

Orientador: Prof. Dr. Jorge Kazuo Yamamoto

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF - 2004/17)

TF
B547
LG.m

SÃO PAULO
2004

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Modelagem Geológica e Avaliação das Reservas de
Calcário da Jazida de Bom Jardim, Município de
Barroso, MG**

Leandro Guedes Bertossi

Monografia de Trabalho de Formatura

Banca Examinadora

Prof. Dr. Jorge Kazuo Yamamoto _____

Prof. Dr. Giorgio De Tomi _____

Prof. Dr. Marcelo Monteiro da Rocha _____

São Paulo

2004

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

**MODELAGEM GEOLÓGICA E AVALIAÇÃO DOS RECURSOS DE CALCÁRIO DA
JAZIDA DE BOM JARDIM, MUNICÍPIO DE BARROSO, MG.**

Leandro Guedes Bertossi

TF/2004-17



DEDALUS - Acervo - IGC



30900016380

Orientador: Prof. Dr. Jorge Kazuo Yamamoto

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping loops and strokes.

São Paulo

2004

TF
BS47
LG m

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE MINERAGENS E METALURGIA

RELATÓRIO DE ATIVIDADES DE PESQUISA
REALIZADAS NO LABORATÓRIO DE MINERAGENS E METALURGIA



Assinatura do Pesquisador

Assinatura do Orientador

[Handwritten signature]

Assinatura do Coordenador do Departamento

Assinatura do Diretor do Instituto

Assinatura do Chefe de Laboratório

Dedico este trabalho
às pessoas que mais amo:
minha mãe Cristina,
meu pai Marcos (*in memoriam*),
meus irmãos Laércio e Ádua Cristina,
e minha namorada Camila.

DOAÇÃO
IGC-USP
Data: 27/06/05

AGRADECIMENTOS

Agradeço as pessoas e empresas que de alguma forma contribuíram com o desenvolvimento deste trabalho, em especial:

O Prof. Dr. Jorge Kazuo Yamamoto pela dedicação e contribuição como orientador.

Ao Eng. de Minas Luiz Carlos Ghizzi e sua empresa, a Procalcim Consultoria Ltda, pela autorização da divulgação dos dados e auxílio no desenvolvimento do projeto.

Os geólogos Silvio Samir Saad e Eduardo Paszku pelo fundamental auxílio nas etapas de campo, descrição dos testemunhos e discussão dos resultados.

Ao Prof. Dr. Marcelo Monteiro Rocha pela ajuda no desenvolvimento do estudo geoestatístico.

A toda equipe da Procalcim Consultoria entre estes, o técnico em mineração Bruno Camargo Siqueira, pelo levantamento topográfico da área; os estagiários e colegas de turma Jorge Fernandes Augusto Basílio (Fofão) e Dimas Manoel Cardoso (Sheila); o Eng. de Minas Felipe Giusepone e os estagiários em engenharia de minas Paulo Gondo e Miguel Kato.

A equipe da Geotec – Levantamentos Geofísico, especialmente ao geólogo Gildézio Lessa, agradeço pelos serviços prestados e auxílio na interpretação dos resultados.

A equipe da Geosol – Geologia e Sondagem Ltda, que executou a campanha de sondagem na região, em especial ao encarregado Nivaldo Sousa de Freitas, pelos auxílios prestados nas etapas de campo.

Ao empresário e minerador da região de Barroso, Gabriel de Sousa Meneghin pelo essencial apoio e por disponibilizar seus funcionários e equipamentos para auxiliar nos trabalhos de campo.

Ao companheiro nas etapas de campo Aécio, mais conhecido como “T”, pelo apoio durante o mapeamento geológico e a campanha de sondagem, e principalmente por providenciar toda a manhã o café e o pão de queijo que animava o dia de trabalho que viria pela frente.

A minha querida namorada e futura geóloga Camila Antenor Faria (Rasga) pelo constante incentivo e ajuda na correção dos textos.

A minha querida mãe e meus irmãos por sempre me apoiarem em todos os momentos.

A Audrey Yumi Felipe, pela tradução e revisão do texto em inglês.

SUMÁRIO

1.	RESUMO	7
2.	ABSTRACT.....	8
3.	INTRODUÇÃO	9
4.	METAS E OBJETIVOS	9
5.	MATERIAIS E MÉTODOS	10
5.1.	Pesquisa bibliográfica.....	10
5.2.	Pesquisa mineral.....	10
5.3.	Modelagem geológica e avaliação das reservas de calcário	11
6.	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	13
7.	PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	13
7.1.	Cimento.....	13
7.2.	O mercado consumidor de calcário	18
7.3.	Conceitos aplicados na classificação de reservas minerais.....	20
8.	A JAZIDA DE BOM JARDIM	22
8.1.	Localização da jazida e vias de acesso	22
8.2.	Memorial descritivo da área.....	24
8.3.	Infra-estrutura local.....	24
8.4.	Descrição do meio físico.....	25
8.5.	Trabalhos anteriores.....	26
8.6.	Geologia regional	27
8.7.	Geologia da jazida.....	29
9.	INVENTÁRIO DA PESQUISA MINERAL.....	33
9.1.	Levantamento geofísico	33
9.2.	Campanha de sondagem	35
10.	MODELAGEM LITOLÓGICA DA JAZIDA	36
11.	VALIDAÇÃO DO BANCO DE DADOS	42
12.	MODELAGEM QUÍMICA DA JAZIDA.....	44
12.1.	Análise estatística.....	44
12.2.	Classificação pelo fator de saturação	49
12.3.	Análise geoestatística.....	50
12.4.	Modelagem química	54

12.5. Modelagem química na plataforma <i>Datamine</i>	55
12.6. Modelagem química na plataforma <i>Geovisual</i>	57
13. CLASSIFICAÇÃO DOS RECURSOS DA JAZIDA.....	59
13.1. Necessidade de Matéria-Prima.....	60
14. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

ANEXOS

- Anexo 01: Anexo fotográfico
- Anexo 02: Locação da campanha de sondagem e levantamentos geofísicos –
Escala 1:10.000

1. RESUMO

Este trabalho apresenta a avaliação dos recursos de calcário, para a produção de cimento, da jazida de Bom Jardim. Com o objetivo de gerar um modelo geológico completo que permita a realização de futuros estudos técnico-econômicos, visando à implantação de um empreendimento mineiro no local.

A jazida de Bom Jardim corresponde a um conjunto de rochas carbonáticas, pertencentes à Formação Barroso. Os calcários apresentam estrutura lenticular, NW-SE, com até 1 km de largura. A direção aproximada das camadas é de N70°E e mergulho variando entre 10° a subhorizontal. Gnaisses e granitos do Complexo Barbacena representam o embasamento na região.

O inventário da pesquisa mineral apresenta o mapeamento geológico da jazida, levantamentos geofísicos por sísmica de refração e eletrorresistividade, além da campanha de sondagem. Durante a campanha foram executados 27 furos de sonda, totalizando 3.272 metros de testemunhos que foram descritos e analisados para CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ além dos óxidos menores, alguns deles considerados contaminantes para a fabricação do cimento.

A modelagem litológica da jazida realizada na plataforma *Datamine*, software especializado em geologia e mineração com boa aceitação no mercado, teve como objetivo determinar a geometria do corpo de calcário, assim como estabelecer a espessura do capeamento na região.

Com base nos resultados das 886 amostras analisadas, foram estimados os recursos minerais através da construção de modelos químicos das variáveis de interesse pelo método da krigagem ordinária. Os recursos foram avaliados como recurso medido, segundo a proposta do DNPM e totalizaram 16 Mt de calcário de alto teor; 130 Mt de calcário de teor intermediário e 5 Mt de calcário de baixo teor.

2. ABSTRACT

Geologic Modeling and Evaluation of the Mineral Resources of the Deposit of Bom Jardim, city of Barroso, MG. This paper presents the evaluation of the calcareous rock resources for the cement production, of the deposit of Bom Jardim. In order to generate a complete geological model that allows the accomplishment of future technician-economic studies, aiming at to the implantation of a mining enterprise in the place.

The deposit of Bom Jardim corresponds to a set of carbonate rocks, pertaining of the Barroso Formation. Formation lime presents lenticular structure, NW-SE with up to 1 km wide. An approach direction of layers is of N70°E AND 10° diving varying between subhorizontal. Gneiss and granite of the Barbacena Complex represents the basement in the region.

The inventory of the mineral research presents the geologic mapping of the deposit, geophysical surveys for seismic of reflection and electrical resistivity. Beyond the sounding campaign. During campaign, it had been executed 27 drillholes, totalizing 3,272 meters of drill cores that had been described and analyzed for CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, beyond contaminants considered lesser oxides for the manufacture of the cement.

The litologic modeling of the deposit carried though in the *Datamine* platform, software specialized in mining with great acceptance in the market, had as objective to determine the geometry of the calcareous rock body, as well as establishing the thickness of the plating in the region.

Based on the results of the 886 samples analyzed had been esteem the mineral resources through the construction of chemical models of the ones of the variable of interest for the method of the ordinary kriging. Resources had been evaluated as measured resource according to classification of the DNPM, and had presented the following values: 16 Mt of the calcareous rock of high-grade; 130 Mt of calcareous rock of intermediate grade and 5 Mt of calcareous rock of low grade.

3. INTRODUÇÃO

A avaliação dos recursos/reservas minerais de uma jazida depende fundamentalmente de estimativas efetuadas a partir de variáveis (teor, densidade, espessura etc.) medidas no depósito. Estas estimativas podem ser realizadas através de diversos métodos que, na literatura especializada, são classificados como: convencionais e computacionais.

A pesquisa mineral é o primeiro passo para a avaliação das reservas de uma jazida. O mapeamento geológico de detalhe, as realizações de furos de sonda e análises químicas das amostras obtidas são fundamentais nesta fase.

Etapas posteriores, segundo de Tomi (2001), devem ser desenvolvidas seqüencialmente e consistem na elaboração e estruturação do banco de dados, validação dos dados, interpretação geológica, modelagem de superfícies (topografia e estruturas geológicas, tais como falhas, juntas etc.) e modelagem geométrica do depósito.

O último passo consiste no desenvolvimento de estudos estatísticos e geoestatísticos das variáveis de interesse visando a modelagem de teores e a avaliação dos recursos/reservas minerais da área de interesse a partir de métodos geoestatísticos.

4. METAS E OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho consiste na avaliação das reservas de calcário, para a produção de cimento, da jazida de Bom Jardim, município de Barroso, MG.

Para atingir o objetivo proposto, este trabalho foi desenvolvido conforme as seguintes etapas:

- Levantamento bibliográfico sobre a geologia da região;
- Revisão bibliográfica de conceitos teóricos relacionados à produção de cimento;
- Revisão bibliográfica de conceitos teóricos referentes à estatística, geoestatística e avaliação de recursos/reservas minerais;
- Mapeamento de detalhe da jazida de Bom Jardim;
- Locação e monitoramento da campanha geofísica (sísmica de refração e resistividade elétrica), assim como das sondagens testemunhadas executadas.
- Descrição dos testemunhos e composição das amostras;
- Análises químicas dos parâmetros de interesse (CaO , MgO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O , TiO_2 , MnO , S , Cl e P_2O_5 , além da Perda ao Fogo (P.F.)) das amostras;
- Consolidação e validação das bases de dados;
- Modelagem geológica tridimensional da jazida através do sistema *Datamine*;
- Análise estatística e geoestatística das variáveis de interesse;
- Modelagem química e avaliação dos recursos minerais da jazida de Bom Jardim.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Pesquisa bibliográfica

Os principais tópicos a serem desenvolvidos consistem em conceitos relacionados à qualidade do calcário utilizado na fabricação do cimento, assim como o mercado consumidor deste produto nos Estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro, além de conceitos teóricos em estatística, geoestatística e avaliação de recursos minerais.

5.2. Pesquisa mineral

Mapeamento geológico

Os trabalhos de mapeamento, realizados entre os dias 8 a 16 de maio de 2004, visaram a elaboração de um mapa geológico de detalhe da área da jazida, para assim distinguir as principais litologias que ocorrem no local, suas relações de contato com as encaixantes, sua distribuição geográfica em superfície e o detalhamento de possíveis controles estruturais que possam ocorrer na área.

O método de mapeamento consiste na aplicação das técnicas de interpretação fotogeológica, reconhecimento, amostragem e descrição das unidades geológicas observadas, com o auxílio dos instrumentos básicos de um geólogo de campo.

Levantamento geofísico

Com o objetivo de se conhecer, com mais precisão, a interface solo/rocha e o contato entre o calcário e o embasamento, bem como a detecção de descontinuidades, falhas, fluxo de água subterrânea, cavidades e outras estruturas geológicas, foram realizados levantamentos geofísicos na área da jazida.

Os trabalhos foram realizados pela empresa Geotec – Levantamentos Geofísicos Ltda, entre os dias 30 de Agosto e 12 de Setembro de 2004, que consistiram em:

- Sísmica de refração: Seu objetivo principal foi obter informações sobre as espessuras do horizonte superficial (solo). O método utilizado foi o “Arranjo Convencional” para 12 canais de gravação (10 em 10 metros) com fonte de geração de ondas mecânica (Foto 1 – Anexo 01). Foi utilizado um sismógrafo digital de 12 canais de gravação, modelo SMARTSEIS, fabricado pela GEOMETRICS INC, para a realização dos trabalhos.
- Eletroresistividade: objetivou determinar as espessuras do calcário são, ou seja, a espessura entre a base do capeamento e o topo do embasamento; além da presença de vazios, falhas/fraturas e/ou estruturas de dissolução nos calcários. O método utilizado foi o “Arranjo Dipolo-dipolo”, com espaçamento de eletrodos de 20m e 5 níveis de investigações. O material utilizado foi um eletrorresistivímetro digital (Foto 2 – Anexo 01), modelo SAS-1000, fabricado pela ABEM-AB, de procedência sueca.

Sondagem rotativa e análise química dos testemunhos

A campanha de sondagem foi executada entre os meses de Junho a Setembro de 2004 pela Geosol – Geologia e Sondagens Ltda, utilizando-se de três sondas MarkSondas (Mark 700 Foto 3 – Anexo 01), com capacidade de perfuração de 100m/dia em rochas calcárias no diâmetro NW (66,8mm).

Os testemunhos de sondagem, depois de fotografados, foram descritos quanto às suas características litoestruturais e posteriormente compostos em amostras de no máximo três metros.

Cada amostra foi serrada ao meio, onde uma metade é sempre devolvida à caixa de testemunho que é armazenada em uma litoteca. A outra parte é novamente serrada ao meio, gerando assim duas amostras do mesmo intervalo. Estas foram devidamente identificadas e encaminhadas a dois laboratórios distintos para a realização das análises químicas dos parâmetros de interesse.

No laboratório, é efetuada a homogeneização, separando 100 gramas de material. Deste material são separados oito gramas para preparação da pastilha (armazenado o restante como contra-amostra). A pastilha é analisada por fluorescência de Raios-X, (Espectrômetro de Fluorescência simultâneo, marca Philips, modelo PW 1660) aferido com padrões do próprio calcário.

5.3. Modelagem geológica e avaliação das reservas de calcário

A seqüência metodológica da modelagem computacional da jazida inicia-se com a etapa da consolidação dos dados, que consiste no inventário dos dados e na sua organização.

- Informações topográficas georreferenciadas – A topografia da jazida foi levantada em detalhe pela equipe de topografia da Procalcim Consultoria. Os pontos levantados em campo foram exportados para a plataforma *Datageosys* onde foram geradas as curvas de nível do local que posteriormente é exportada para a plataforma *Datamine* ;
- Informações geológicas – Consiste nos dados obtidos na etapa do mapeamento geológico, como a localização e descrição dos pontos levantados, contatos geológicos e estruturas observadas;
- Informações geofísicas – As informações interpretadas a partir dos estudos geofísicos, como os perfis do horizonte superior (solo), do contato calcário/embasamento, falhas/fraturas e cavidades foram georreferenciados e exportados para a plataforma *Datamine*.
- Informações da campanha de sondagem e análise química dos testemunhos – Todas as informações referentes à campanha de sondagem como localização, profundidade e

inclinação dos furos, a espessura das camadas litológicas, a espessura de solo e o contato calcário/embasamento, assim como a análise química dos trechos amostrados é organizada em planilha *Excel*, e posteriormente exportados para a plataforma *Datamine* e *Geovisual*.

Modelagem matemática

Gera-se em *Datamine*, o modelo matemático sob a topografia georreferenciada da jazida, em toda sua extensão.

Ajustam-se as dimensões máxima e mínima nas direções X, Y e Z do modelo total para a jazida. Determina-se pela malha de sondagem executada, o tamanho dos blocos, nas direções X, Y e Z. E por fim, preenche-se os blocos sob a superfície da jazida, obtendo-se assim o modelo tridimensional onde cada bloco é individualizado, está georreferenciado e tem um volume conhecido.

Modelagem litológica

Projeta-se a modelagem estrutural verificada nos mapas geológicos regionais e locais, além do mapeamento de superfície, levando-se em consideração as falhas, dobras e outras feições geológicas reconhecidas.

Projeta-se a litologia reconhecida pelos furos de sonda e/ou informações químicas previamente parametrizadas. Esta projeção é pesquisada e definida em planos verticais que são os perfis geológicos e de cubagem.

É realizada uma ampla pesquisa entre perfis verticais anteriores e posteriores dos furos próximos e das informações geoestruturais, com o objetivo de definir a configuração das litologias de cada perfil.

Obtém-se todas as linhas divisórias entre as litologias presentes. A seguir é feita a ligação entre as linhas de cada litologia entre um perfil e o seu posterior imediato (modelagem tipo “fatia interligada”), obtendo assim o modelo litológico da jazida.

Modelo geológico

Obtém-se, finalmente, o modelo geológico que é o resultado da integração entre o modelo matemático e modelo litológico da jazida, onde cada bloco de lavra tem associados, agora, uma litologia, e uma massa específica, esta obtida pela aplicação do peso específico do mineral de cada litologia sobre o volume do bloco tecnológico.

Sobre o modelo geológico georreferenciado podemos obter perfis geológicos, em diversos níveis topográficos.

Modelagem de teores

Consiste no cálculo dos teores de CaO, MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃ e SiO₂ para cada bloco gerado no modelo geológico, estimados através de métodos geoestatísticos computacionais. Neste trabalho, o método utilizado será a krigagem ordinária.

6. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O cronograma final de execução dos trabalhos dependeu de fatores administrativos e financeiros por parte da empresa responsável pelo financiamento do projeto. Estes trabalhos foram realizados com algum atraso em relação ao cronograma original, mas sem prejudicar o cronograma final e a entrega do relatório.

O cronograma de execução do presente trabalho segue abaixo exemplificado:

Descrição	mar/04	abr/04	mai/04	jun/04	jul/04	ago/04	set/04	out/04	nov/04	dez/04
Pesquisa Bibliográfica										
Mapeamento geológico										
Levantamentos Geofísicos										
Sondagem										
Análise química										
Relatório de progresso										
Modelagem geológica										
Análise geoestatística										
Modelagem por teores										
Avaliação das reservas										
Conclusões										
Relatório final										

Tabela 6.1. Cronograma de execução do projeto.

7. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

7.1. Cimento

O cimento é um dos materiais de maior importância para o homem do mundo moderno, pois é através de seu auxílio que se edifica a maioria das construções ao redor da Terra, (Bauer, 1994).

O cimento é constituído por um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água. Este material é obtido, na maioria das vezes através da calcinação (queima) de calcários naturais ou artificiais e argila, na proporção de 80 : 20%.

Tipos de cimento

A palavra cimento lembra a um primeiro momento, um único material, mas o conceito engloba vários tipos de materiais, cada qual com o mesmo objetivo, mas cada um manufaturado com matérias-primas, reações químicas e métodos de fabricação diferente.

Dentre os principais tipos de cimento podemos citar o solo-cimento, o cimento amianto, o cimento asfáltico e o cimento sorel; porém neste trabalho iremos estudar o cimento Portland, pois além de ser o tipo de cimento mais utilizado em todo o mundo, é o principal produto a ser fabricado a partir da extração do calcário da jazida de Bom Jardim.

Fabricação do Cimento Portland

O calcário natural, matéria-prima para a produção do cimento Portland possui um determinado processo para a sua extração e beneficiamento.

As principais fases do trabalho para extração da jazida mineral são:

- Previsão geológica - campanhas de pesquisa das áreas com potencial de lavra, para futura determinação da jazida;
- Anteprojeto de lavra e projeto final de lavra - papel imprescindível do engenheiro de minas, pessoa responsável pela elaboração do projeto de lavra, racionalização da metodologia a ser aplicada, analisando prós e contras, determinação da logística, na distribuição do mineral beneficiado;
- Preparação da mina - locação dos off-set's através de equipes de topografia, decapeamento e abertura de bancadas;

A fase produtiva de uma jazida mineral. Pode ser dividida da seguinte maneira:

- Perfuração - perfuração das bancadas, utilizando-se malha variável. Adapta-se explosivos às condições de rocha e necessidade de fragmentação, dependendo das dimensões dos equipamentos utilizados no carregamento e transporte, e também das dimensões das aberturas dos britadores primários.
- Desmonte - Operação realizada com a utilização de explosivos, com a finalidade de fragmentar o mineral "in-situ";
- Carregamento - São utilizadas carregadeiras de rodas (pneus), de esteira, escavadeiras a cabo e escavadeiras hidráulicas.
- Transporte - são utilizados caminhões tipo "Off-road" (fora-de-estrada), com capacidade de carga que variam entre 25 a 108 toneladas, conforme o porte da mina ou produção;

A fase de beneficiamento do mineral consiste na seguinte divisão:

- Britagem primária - operação realizada por britadores de mandíbula com capacidade de produção entre 700 a 1000 toneladas de mineral por hora, sendo que o mineral chega ao britador com dimensões variando entre 12 a 15 centímetros, e saem com 4 a 7 centímetros;
- Britagem secundária - nesta fase utiliza-se os britadores de martelo de dois eixos com capacidade de aproximadamente 300 toneladas/hora de material pré-britado, sendo sua granulação de saída menor que 2 centímetros;
- Pré-homogeneização - esta passagem é de suma importância na manufatura do cimento Portland. O processo de britagem libera materiais de diferentes granulações, portanto é necessária uma pré-homogeneização deste material para se obter uma matéria-prima de características mais uniformes.

Produção da farinha

Moagem da matéria-prima

A moagem é o processo pelo qual as matérias granuladas são reduzidas a um pó, motivo pelo qual denominamos o produto obtido de farinha. A moagem é feita, geralmente em moinhos de bolas, que possuem este nome pelo fato de que a moagem se dá através do

impacto das bolas contidas em seu interior (corpos moedores) com o material nele introduzido. Na maioria das vezes este moinho constitui-se um cilindro de aço, giratório, disposto na horizontal.

Homogeneização da farinha

Este processo, denominado aeração é realizado devido à variação química do produto de entrada, os níveis químicos sofrem uma atenuação a um nível tal, que a saída resulta em um produto composto.

Tem-se como objetivo, nesta fase, uma operação estável do fomo rotativo, e a segurança da qualidade do cimento Portland.

Para haver uma homogeneização segura, deve-se certificar do grau de umidade do material, que tem de ser o mais baixo possível, para isso utiliza-se secadores especiais que asseguram este índice.

Obtenção do clínquer

O clínquer é um produto intermediário na fabricação do cimento Portland. Mediante um tratamento térmico, a farinha, composta de calcário e argila, é transformada em uma mistura íntima de silicatos com propriedades aglomerantes.

O tratamento térmico de aquecimento e resfriamento responsável pela transformação denomina-se clinquerização.

Este tratamento é realizado nos chamados "fornos rotativos". Trata-se de um tubo cilíndrico de aço, disposto com pequena inclinação em relação à horizontal (2 a 3%). No caso da fabricação de cimento Portland "via seca", um forno rotativo possui 4 estágios distintos; o pré-aquecimento, a calcinação, a clinquerização e o resfriamento.

No estágio de pré-aquecimento, a farinha é aquecida até cerca de 830 °C. A esta temperatura, a farinha já se encontra parcialmente calcinada. Dentro do forno, entre 830° C e 1000 °C, a calcinação da farinha é completa.

A formação final do clínquer se dá entre 1300 °C e 1450 °C, na zona de queima do forno. Nesta etapa do processo, aproximadamente 25% do material está em estado líquido. As partículas se aglutinam na parte líquida formando grânulos de clínquer.

O resfriamento tem início, ainda dentro do forno, entre 1300 °C e 1250 °C, e se completa em resfriadores contínuos ao forno, em temperatura entre 1250 °C e 150 °C.

Composição química do cimento Portland

As propriedades químicas do cimento Portland estão diretamente ligadas ao processo de endurecimento por hidratação. Ainda não se conhecem, com muita precisão, as reações e os compostos envolvidos no processo de endurecimento, restando muitas questões a serem esclarecidas. O processo é complexo, admitindo-se a dissolução na água; precipitações de cristais e gel com hidrólises e hidratações dos componentes de cimento.

As reações químicas para a obtenção do clínquer, a partir da farinha, podem ser

sintetizadas da seguinte forma:

O processo inicia-se com a desidratação final e a descarbonatação (calcinação) dos carbonatos de cálcio e magnésio (CaCO_3 e MgCO_3), com a formação dos óxidos de CaO e MgO

O óxido de cálcio (CaO) reage primeiramente com a sílica (SiO_2), formando o silicato tricálcico ($3\text{CaO},\text{SiO}_2$) formalmente (C_3S – alita); numa segunda reação, o óxido de cálcio (CaO) reage novamente com a sílica (SiO_2), resultando no silicato bicálcico ($2\text{CaO},\text{SiO}_2$), formalmente (C_2S – belita). Em seguida, novamente o óxido de cálcio (CaO) reage com a alumina (Al_2O_3), tendo como resultado o aluminato tricálcico ($3\text{CaO},\text{Al}_2\text{O}_3$, formalmente C_3A). Finalizando, temos a reação entre o óxido de cálcio (CaO), a alumina (Al_2O_3) e o óxido de ferro (Fe_2O_3), formando o ferro aluminato tetracálcico ($3\text{CaO},\text{Al}_2\text{O}_3,\text{Fe}_2\text{O}_3$, formalmente o C_4AF).

De uma forma geral, o cimento apresenta a seguinte composição:

CaO	60 a 65%
SiO_2	17 a 25%
Al_2O_3	3 a 8%
Fe_2O_3	0,5 a 6%
MgO	0,1 a 5%
K_2O	0,5 a 1%
SO_3	1 a 3%

Além de outros possíveis componentes como (Mn_2O_3 , P_2O_5 , TiO_2).

Parâmetros de qualidade para a composição química do cimento

Com o intuito de se obter um produto com características preestabelecidas, são utilizados parâmetros ou módulos e fatores, mundialmente conhecidos, para controlar a dosificação da farinha crua durante a fabricação. (Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP).

Estes parâmetros seguem abaixo exemplificados:

Módulo de sílica (MS)

Fórmula:

$$\text{MS} = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

- Intervalo limitante: 1,9 – 3,9.
- Intervalo de referência: 2,3 – 2,7.

Alto MS:

- Eleva a carga térmica do forno;

- Reduz a quantidade da fase líquida;
- Resulta em clínquer pulverolento;
- Tende a causar expansividade;
- Deteriora o revestimento refratário do forno;
- Retarda a pega e o desenvolvimento da resistência final.

Baixo MS:

- Resulta em excesso de fase líquida;
- Favorece a formação de bolas e clínquer de alta dureza;
- Resulta em cimento de baixa resistência;

Módulo de alumínio (MA)

Fórmula:

$$MA = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

- Intervalo limitante: 0,5 – 2,5.
- Intervalo de referência: 1,3 – 1,6.

Alto MA:

- Torna a queima mais difícil e com maior consumo de combustível;
- Reduz a quantidade de fase líquida e a produção do forno;
- Tende a conferir ao cimento pega rápida e altas resistências a pequenas idades.

Baixo MA:

- Resulta em fase líquida mais fluída;
- Resulta em cimento de baixa resistência inicial.

Fator de saturação de cal (FSC)

Fórmula:

$$FSC = \frac{100.CaO}{2,8 SiO_2 + 1,18 Al_2O_3 + 0,65 Fe_2O_3}$$

- Intervalo limitante: 80 – 120.
- Intervalo de referência: 92 – 102.

Quanto menor o CaO e maior a SiO₂ – menor é a resistência do cimento.

Alto FSC:

- Resulta em queima difícil;
- Tende a causar expansividade do cimento;
- Causa retardamento da pega com altas resistências a pequenas idades.

Baixo FSC:

- Resulta em queima difícil;
- Resulta em pega lenta.

7.2. O mercado consumidor de calcário

O mercado do Cimento Portland

A produção mundial de cimento Portland é bastante difundida, pois seus lucros são altos, se comparados aos investimentos iniciais para a fabricação do mesmo. Atualmente, os maiores produtores mundiais de cimento são a China e a Rússia.

As duas nações supra citadas lideram o mercado em volume total de cimento fabricado, mas em qualidade do produto final, o cimento francês é o melhor do mundo, devido as altos índices de resistência.

No continente americano, os Estados Unidos lideram o mercado, seguido pelo Brasil, que no âmbito mundial é o mercado que mais cresce.

No Brasil

Entre julho de 1994 e dezembro de 1998, a produção de cimento no Brasil passou de aproximadamente 24 milhões para 40 milhões de toneladas ao ano, com uma taxa média de crescimento de 12% ao ano. Essa evolução perdeu dinamismo a partir do segundo semestre de 1998, após a crise cambial brasileira, deflagrada em janeiro de 1999. A partir de então, até os dias atuais, a indústria de cimento do país mostra sinais de estagnação, e até de retração, em decorrência dos efeitos da política econômica restritiva adotada para o combate à inflação e ao crescimento do endividamento público.

A distribuição do consumo de cimento no Brasil entre os estados mostra relevantes diferenças regionais. Em 2003, o Estado de São Paulo consumiu cerca de 28,8% do cimento produzido no país, Minas Gerais, 11%, Rio de Janeiro, 9%, Paraná, 6,1%, Rio Grande do Sul, 5,6%, Bahia, 5,1%, Santa Catarina, 4,8%, Goiás, 3,9%, Pernambuco, 3,3%, Ceará, 2,9%, e Pará, 2,8%.

Atualmente, no Brasil, o cimento é produzido por apenas 10 grupos empresariais, responsáveis pela operação de 57 fábricas, distribuídas em 22 unidades da Federação, destacando-se o estado de Minas Gerais como o maior produtor nacional, com 22,3%, seguido de São Paulo, com 17,3%, do Paraná, com 10,9%, do Rio de Janeiro, com 7,1%, e do Distrito Federal, com 5,1%. A produção nacional de cimento em 2003 foi de 38.027 mil toneladas, 2,3% menor que no ano anterior.(Fonte DNPM).

Principais reservas no Estado de Minas Gerais

As principais reservas conhecidas de calcário no Estado de Minas Gerais estão localizadas nos municípios de Arcos, Itacarambi, Matozinhos, Pains, Pedro Leopoldo e Prudente de Moraes. Estas reservas representam 63,4 % das reservas do Estado, que

representa 15,1 % das reservas brasileiras.

Estes dados foram extraídos do “Anuário Mineral Brasileiro” de 2001, e revelam que em 2000, Minas Gerais, em termos de reservas de calcário, ocupava a terceira posição em relação aos demais Estados.

As reservas de calcário, nos estados vizinhos a Minas Gerais, apresentam a seguinte distribuição: São Paulo, 5,8 % espalhados por 44 municípios, Rio de Janeiro, 4,1 % distribuídos por mais 9 municípios, Espírito Santo, 17,3% divididos em 2 municípios.

Destes estados vizinhos, São Paulo e Rio de Janeiro já importam calcário de Minas Gerais, provenientes da região de Arcos, e o estado de Espírito Santo produz apenas para consumo.

Com estas reservas e privilegiada posição geográfica, o estado de Minas Gerais tem consolidada a sua posição de grande produtor e exportador de calcário.

O quadro 7.1, a seguir, sintetiza as reservas brasileiras de calcário (DNPM, 2001).

Tabela 7.1. Reservas brasileiras de calcário.

Estados/Municípios	Reservas (1.000 t)	Participação % no Estado	Participação % no Brasil
Minas Gerais (53 municípios)	8.010.182	100	15,1
Arcos	924.892	11,5	1,7
Itacarambi	658.975	8,2	1,2
Matozinhos	979.575	12,2	1,8
Pains	1.353.147	16,8	2,5
Pedro Leopoldo	734.212	9,1	1,3
Prudente de Moraes	421.226	5,2	0,8
Outros (47 municípios)	2.938.155	36,6	5,5
Bahia (20 municípios)	1.767.680	100	3,3
Ceará (19 municípios)	2.289.819	100	4,3
Espírito Santo (2 municípios)	9.177.124	100	17,3
Mato Grosso (9 municípios)	1.356.791	100	2,5
Mato Grosso do Sul (5 municípios)	14.176.217	100	26,8
Goiás (20 municípios)	1.242.958	100	2,3
Paraná (15 municípios)	3.657.050	100	6,9
Rio de Janeiro (9 municípios)	2.179.951	100	4,1
Rio Grande do Norte (5 municípios)	2.359.176	100	4,4
São Paulo (44 municípios)	3.080.926	100	5,8
Total (Estados selecionados)	49.297.874	100	93,2
Outros Estados	3.545.484	100	6,7
BRASIL	52.843.358	100	100

Fonte:- DNPM.

7.3. Conceitos aplicados na classificação de reservas minerais

O objetivo principal na classificação de reservas minerais é a caracterização da quantidade de material e qual seu grau de certeza associado a esta quantidade (Froidevaux, 1982).

O termo reserva mineral implica que algum tipo de medição física tenha sido efetuada em relação ao teor e a quantidade mineral *in situ* e além disso, que sua extração seja viável do ponto de vista tecnológico, hoje ou num futuro próximo e que possa ser realizada com lucro. (Yamamoto, 1996).

Diversos fatores devem ser considerados para a classificação das reservas/recursos minerais de uma região, entre eles podemos citar a variabilidade natural do depósito, a estrutura geológica e a complexibilidade da mineralização.

Segundo Yamamoto (2001), antes de se realizar o cálculo das reservas minerais, deve-se seguir uma seqüência de procedimentos a fim de se conhecer melhor o comportamento das variáveis a serem calculadas dentro do depósito. Esta seqüência consiste em:

- Composição das amostras dos furos de sonda – consiste no agrupamento das amostras de sondagem com o objetivo de obter dados representativos para a unidade de mineração, que no caso em estudo é igual à altura da bancada;
- Análise estatística – tem como objetivo caracterizar e descrever estatisticamente as distribuições dos dados para o melhor entendimento do comportamento das variáveis de interesse dentro do depósito;
- Análise geoestatística – é a partir desta análise que se obtém a ferramenta básica da estimativa por meio da krigagem ordinária, o variograma. O variograma tende a expressar, por meios matemáticos, a variabilidade natural de um depósito, permitindo a realização de estimativas precisas bem como avaliar o erro cometido nessas estimativas.

Análise Estatística

A realização de uma análise estatística é recomendada, antes de se proceder à avaliação das reservas. Seu objetivo principal é caracterizar e descrever estatisticamente as distribuições dos dados, para um melhor entendimento das variáveis de interesse dentro do depósito.

A análise estatística começa pelo estudo da distribuição de freqüências, a partir da construção de um histograma, que descreve como as unidades de uma população estão distribuídas sobre o intervalo amostrado.

A estatística descritiva baseia-se no cálculo de medidas de tendência central: como a média, a mediana e a moda; e no cálculo de medidas de dispersão: como a variância, desvio padrão e do coeficiente de variação.

Métodos geoestatísticos

A aplicação de métodos geoestatísticos para o cálculo de reservas minerais tem sido, por várias razões, aceita como padrão da indústria mineral. O conhecimento do depósito, o estudo da variabilidade dos dados por meio do variograma e a estimativa das variáveis através da krigagem são as principais razões para esta aceitação.

A geoestatística foi definida inicialmente por Matheron (1971), como a aplicação da Teoria das Variáveis Regionalizadas para a estimativa de depósitos minerais. Nos dias de hoje a geoestatística tem aplicação nas mais diversas áreas do conhecimento como: geotécnica, agronomia, reflorestamento, meio ambiente, petróleo e hidrogeologia.

Uma variável regionalizada é qualquer função numérica com uma distribuição espacial que varia de um ponto a outro, com continuidade aparente, entretanto estas variações não podem ser representadas por uma função determinística (Blais & Carlier, 1968, *apud* Yamamoto, 2002).

Um conceito básico da Teoria das variáveis regionalizadas é a denominada hipótese intrínseca; esta assume que a distribuição das diferenças entre dois pontos amostrais é a mesma para todo o depósito e que depende apenas da distância e orientação entre os pontos (Yamamoto & Conde, 1999).

O variograma

O variograma, em termos práticos, é a ferramenta matemática que permite estudar a dispersão natural das variáveis regionalizadas.

A função variograma $2\gamma(h)$ é definida como sendo a esperança matemática do quadrado da diferença entre os valores de pontos no espaço separados por uma distância h , segundo a seguinte expressão:

$$2\gamma(h) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \{ [Z(x+h) - Z(x)]^2 \}$$

onde $2\gamma(h)$ é a função variograma, $Z(x)$ é o valor da variável no ponto x ; $Z(x+h)$ é o valor da variável no ponto $x+h$; e n é o número de pares por ponto separados por uma distância h .

No cálculo de variogramas experimentais, deve-se obter variogramas representativos. Estes dependem fundamentalmente da quantidade de pares de pontos encontrados numa determinada direção, por isso, as direções devem ser determinadas de forma que acolham o máximo de informação possível.

Definidas as direções e seus respectivos variogramas experimentais, o próximo passo é a obtenção dos modelos teóricos do variograma.

O modelo teórico é o ajuste matemático que descreve continuamente a variabilidade ou a correlação espacial existente entre os dados obtidos a partir do variograma

experimental.

Este ajuste é realizado de maneira interativa, utilizando os modelos de variogramas predefinidos (esférico, exponencial, gaussiano etc...), em que a partir dos parâmetros do variograma (efeito pepita, amplitude e patamar), o variograma teórico é desenhado juntamente com os pontos do variograma experimental até que este ajuste seja considerado satisfatório.

Estimativas por krigagem ordinária (KO)

O cálculo de recursos/reservas por métodos computacionais, é feito a partir da subdivisão do depósito em blocos de cubagem que apresentam a forma geral de paralelepípedos, cujas dimensões devem ser compatíveis com a densidade de pontos de amostragem. Ao conjunto de blocos de cubagem que compõem o depósito denomina-se modelo tridimensional de blocos

As técnicas geoestatísticas de estimativa baseadas no estudo da variabilidade espacial do corpo de minério, segundo Brooker (1979), são superiores pois permitem o cálculo do erro associado às estimativas (variância de krigagem).

Ao término dos estudos geoestatísticos, na qual os variogramas experimentais foram calculados e os modelos teóricos foram ajustados, iniciam-se o cálculo de estimativas das variáveis de interesse.

O estudo geoestatístico leva à definição do modelo de variograma, que servirá para inferir os valores da função variograma, a qual será utilizada para o cálculo das estimativas por krigagem ordinária. Entretanto, a análise geoestatística pode também indicar a não aplicação deste método, se o comportamento da variável regionalizada for totalmente aleatório, seja por dispersão natural ou por falta de pontos amostrais. Nestes casos, o cálculo das reservas minerais deverá ser realizado utilizando os denominados métodos convencionais de avaliação de recursos minerais.

A krigagem ordinária tem como característica principal a precisão local das estimativas, mas com perda da precisão global devido ao efeito de suavização (suavização da variância e do variograma). Embora se reconheça que exista o problema do efeito de suavização das estimativas através da krigagem ordinária, não se pode substituir os seus resultados por aqueles gerados em simulações estocásticas. Assim, ao término da estimativa, cada bloco de cubagem terá representado os valores calculados para as variáveis de interesse assim como o erro associado a este cálculo.

8. A JAZIDA DE BOM JARDIM

8.1. Localização da jazida e vias de acesso

A área em estudo localiza-se no Município de Barroso, Estado de Minas Gerais, no local denominado Bom Jardim, à margem direita do Rio das Mortes, como pode ser

observado na Fig 8.1.

O local está situado à margem esquerda da rodovia BR 265, tomada na direção de São João Del Rei para Barbacena. O acesso a partir de São Paulo é feito pela Rodovia Fernão Dias, BR 381, até o entroncamento com a Rodovia BR 265, na região de Lavras - MG, distante cerca de 360 km de São Paulo.

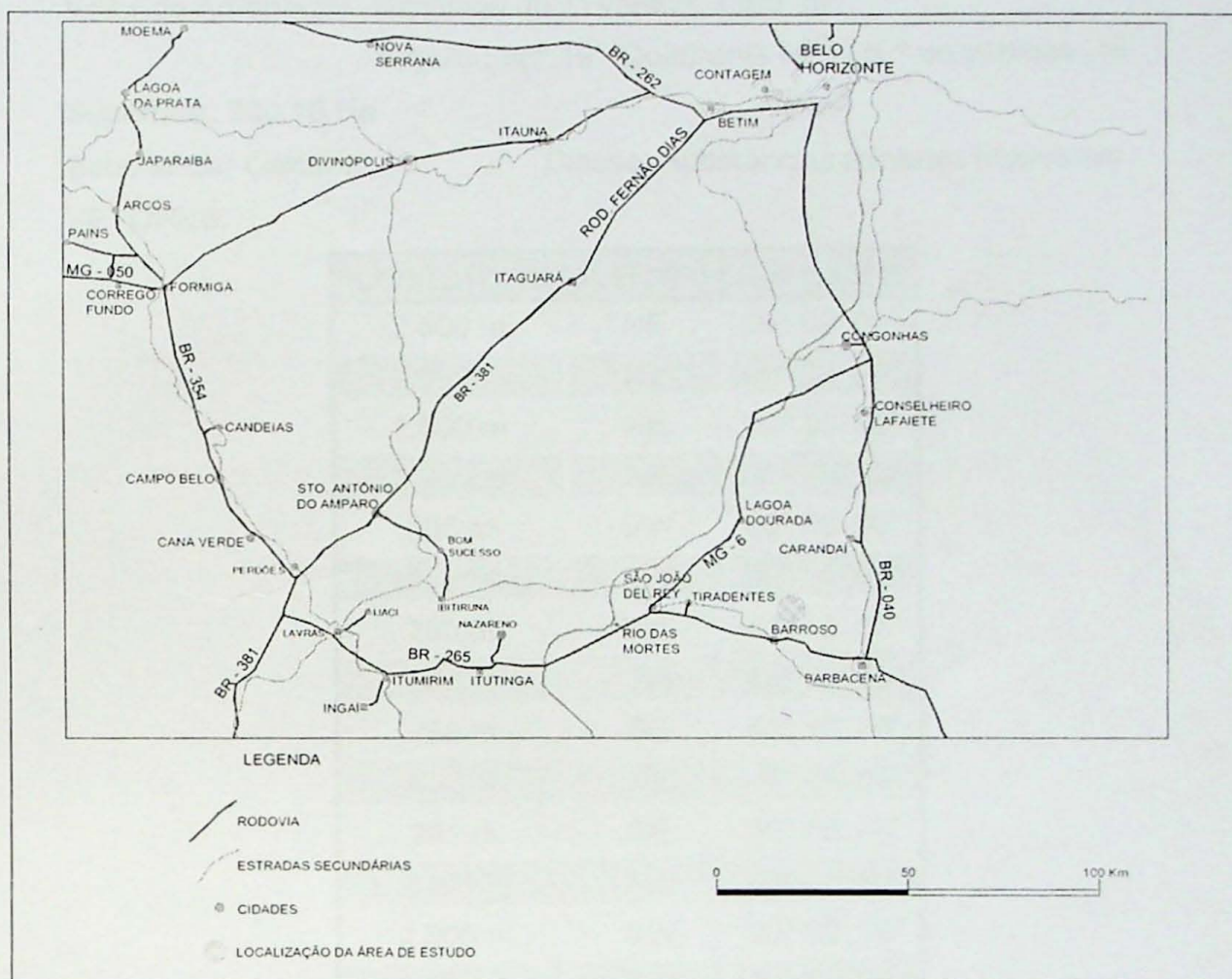


Fig. 8.1. Localização da área de estudo.

A partir daí, toma-se a Rodovia BR 265, na direção leste para a cidade de Barbacena, por uma distância aproximada de 135 km, até atingir o trevo de entrada para a Cidade de Barroso. Deste ponto, o acesso à área é feito na direção norte, por estradas vicinais não asfaltadas por mais 2 km. Até São Paulo, a distância rodoviária é de cerca de 500 km.

A partir da área acessa-se Barbacena, à beira da Rodovia BR 040, por apenas 30 km. De Barbacena segue-se na direção NW para Belo Horizonte, distante mais 155 km pela BR 040, totalizando 185 km até a capital mineira.

8.2. Memorial descritivo da área

Processo nº: 830401/82

Distrito: Barroso Município: Barroso Estado: Minas Gerais

Ponto de Amarração: Canto sudeste da ponte sobre o Rio das Mortes na BR-265.

Coordenadas Geográficas : Latitude : + 21° 10' 26,5"

Longitude : 43° 58' 42,9"

Vetor de Amarração: Distância do 1º vértice: 1360 m

Ângulo : 88° 19' Quadrante NE - N.º de vértices: 15

Superfície: 980,18 Ha

Substância: Calcário.

Classe: Substâncias minerais industriais

VETORES:

Distância	Rumo	Ângulo
2.500 m	NE	00° 00' 00"
2.000 m	NE	90° 00' 00"
1.500 m	NE	00° 00' 00"
2.000 m	NE	90° 00' 00"
308 m	SW	00° 00' 00"
280 m	SW	90° 00' 00"
250 m	NW	43° 10' 00"
800 m	SW	46° 50' 00"
250 m	SE	43° 10' 00"
800 m	NE	46° 46' 00"
281 m	SE	89° 39' 00"
2.191 m	SW	00° 00' 00"
2.000 m	SW	90° 00' 00"
1.500 m	SW	00° 00' 00"
2.000 m	SW	90° 00' 00"

8.3. Infra-estrutura local

A cidade de Barroso, tem grande tradição de mineração, existem várias instalações de calcário industrial e uma planta cimenteira de grande porte, Cimento Barroso, pertencente ao Grupo Holcim. Os municípios de Tiradentes, São João Del Rei, Barbacena e Prados fazem parte do roteiro das Cidades Históricas de Minas Gerais e têm sua economia baseada no turismo, produção agro pastoril e comércio local. Possuem, no seu conjunto, serviços básicos de água, esgotos, energia elétrica, transportes, telecomunicações, bancários, rede escolar de nível universitário, e hospitalar.

A região apresenta uma infra-estrutura consolidada, no que se refere à qualidade de estradas de ligação a outras regiões do Estado de Minas Gerais e aos estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro e São Paulo.

A MRS Logística, sucessora da RFFSA - Rede Ferroviária Federal, apresenta, além da alternativa anterior de terminal ferroviário, um ramal distante cerca de 45 km ao NW da área, entre os municípios de Prados e Resende Costa, excelente alternativa para o abastecimento do Grande São Paulo e Vale do Paraíba.

A CEMIG possui dois linhões de 138 kV a menos de 3 km da área.

8.4. Descrição do meio físico

8.4.1. Geomorfologia e relevo

A área estudada corresponde a uma região relativamente abatida, de padrão de drenagens notadamente subdendrítica a dendrítica reticular, visto que está restrita à zona de uma cobertura metassedimentar, e que as cotas altimétricas observadas no interior da mesma são menores ou semelhantes às observadas no domínio de seu embasamento.

A geomorfologia da região aparentemente tem um forte controle litológico, estando as regiões mais baixas associadas à ocorrência dos calcários, enquanto que a maior elevação relativa, a Serra de São José, situada a noroeste da área, se encontra sustentada pela seqüência estratificada de quartzitos com intercalações de filitos.

Feições cársticas não são observadas no campo e nem fotointerpretadas. A área não parece propícia à ocorrência de grutas significativas, pois o nível estrutural da camada de calcário é próximo ao nível de base local.

O relevo predominante é de morrotes mamelonizados, com o topo achatado e encostas íngremes.

8.4.2. Hidrografia

A área pesquisada se localiza na bacia hidrográfica do Rio das Mortes, imediatamente a oeste da área. A área é margeada ao norte, de leste para oeste, pelo córrego Caetés e no extremo NW pelo Ribeirão Loures, que coleta o Córrego Caetés e deságua no Rio das Mortes. Por sua vez, o Rio das Mortes é um grande contribuinte do Rio Grande, o mais importante da região. Esta região está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná.

Devido ao relevo de morrotes mamelonizados os rios principais, inclusive o Rio das Mortes, apresentam um padrão meandrante. Esta feição é especialmente desenvolvida no Ribeirão Loures e no Rio das Mortes.

As chuvas críticas da região, drenadas pelo Rio das Mortes, a jusante da ponte sobre a BR 265, podem atingir vazões máximas acima de $100 \text{ m}^3 / \text{s}$, (CEMIG -2000).

As drenagens secundárias são geralmente de pequena extensão, e mostram um padrão subdendrítico predominante.

8.4.3. Clima

O clima que predomina na região sul / sudoeste do Estado de Minas Gerais, segundo IBGE (1984), é o tropical mesotérmico brando. Este tipo climático foi dividido, segundo a distribuição pluviométrica, em vários subtipos. A área estudada se encontra na região abrangida pelo subtipo semi-úmido, caracterizado pela presença de sete a oito meses chuvosos e de quatro a cinco meses secos.

Este subtipo climático compreende áreas no sul de Minas Gerais e tem temperatura média anual variando em torno de 16 a 21°C. No verão, a média fica em torno de 20 a 26°C, enquanto que no inverno, a média fica em torno de 12 a 16°C. Entretanto, são comuns no inverno, temperaturas mínimas diárias em torno de 0°C, o que torna o fenômeno da geada muito comum.

O regime pluviométrico é típico de áreas tropicais, com precipitações máximas no verão e mínimas no inverno, sendo a média anual ao redor de 1500 mm. As chuvas anuais críticas (ocorrências centenárias) são: mínima de 1.040 mm e máxima 2.040 mm. No período chuvoso a pluviometria mensal crítica, geralmente nos meses de janeiro, apresenta média de 300 mm e máximas, de ocorrência milenar, de 700 mm.

8.4.4. Uso do solo

A vegetação predominante é do tipo cerrado, caracterizado por vegetação rasteira bem desenvolvida associada a pequenos arbustos. Próximo aos cursos de água, se desenvolve uma vegetação arbustiva característica (mata ciliar). O topo dos morrotes é caracteristicamente pelado (morros carecas).

Atualmente, o entorno da área é totalmente antropizado, com uso predominante agrícola, com culturas de subsistência e pastagens. Nas margens dos córregos, encostas e baixos dos morrotes, observa-se fragmentos descontínuos de mata ciliar remanescente e vegetação arbustiva de baixo desenvolvimento.

Prevalecem na área minifúndios e duas propriedades rurais de porte com lavoura de subsistência ou pequenas pastagens.

Na parte central da área em estudo, existe uma pequena mina de calcário abandonada e no extremo oeste outras duas frentes de lavra também abandonadas.

8.5. Trabalhos anteriores

A região sul do Estado de Minas Gerais corresponde ao limite sul do Cráton do São Francisco e tem sido alvo de estudos geológicos desde o final do século XIX. Os primeiros

trabalhos, de caráter local, visavam apenas o estudo de ocorrências minerais. Posteriormente, vieram os estudos destinados ao entendimento da geologia regional.

Os trabalhos pioneiros, realizados nos arredores da cidade de São João Del Rei, tiveram início com Lombard (1894) (*apud* Valeriano, 1985), que descreveu as principais ocorrências minerais da região. Entretanto, os primeiros trabalhos de mapeamento foram realizados por Erihsen (1929), ocasião em que foi formulado o primeiro esboço sobre a distribuição das litologias na região, juntamente com o esquema estratigráfico.

Rolff (1945, 1947, 1952, 1953 e 1957) trata de aspectos particulares dos pegmatitos, que afloram na região, e faz as primeiras considerações sobre a geologia da região.

Na década de 50, os trabalhos geológicos na região do Quadrilátero Ferrífero foram realizados através do convênio SUGS/DNPM, chefiado pelo geólogo J.V.N. Dorr. Na região sul do Estado de Minas Gerais, os trabalhos eram conduzidos por H. Ebert onde foi definida a base da geologia regional do limite sul do Cráton do São Francisco. Dentre os principais artigos, deste período, pode-se destacar os de Ebert (1956a e b, 1967, 1968 e 1971), onde foram desenvolvidos não só estudos relacionados à estratigrafia e a tectônica da cobertura sedimentar Proterozóica e seu embasamento, como também o modelo tectônico regional.

Nas décadas de 80 e 90, geólogos liderados pelo professor R.A.J. Trouw, da Universidade Federal do Rio de Janeiro desenvolveram diversos trabalhos de mapeamento geológico de detalhe e semidetalle na região que resultaram na realização de diversas dissertações de mestrado e doutorado, entre elas, Ribeiro (1996). Os resultados destes trabalhos estão sintetizados em diversos artigos publicados por Trouw *et al.* (1980, 1983, e 1986).

Viana (1991), através do Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, realizou uma revisão completa sobre a geologia da região de Barbacena e São João Del Rei.

8.6. Geologia regional

Na região em estudo, afloram rochas do embasamento, seqüências metassedimentares proterozóicas, sucessões aluviais terciárias, depósitos fluviais, colúvios e talus quaternários.

O embasamento, na região de São João del Rei, assim como em toda a porção sul do Estado de Minas gerais, é constituído por gnaisses de alto grau, faixas greenstone em fácies xisto-verde a anfibolito baixo, granitóides, metagabros e diques máficos. A divisão destas rochas é baseada nos trabalhos de Ebert (1967) e Trouw *et al.* (1986), que definem:

Complexo Mantiqueira – corresponde aos gnaisses de alto grau, migmatitos e

granulitos.

Complexo Barbacena – sucessões supracrustais que incluem metaultramáficas, metabasitos e metassedimentos com intrusões de aplitos, pegmatitos e corpos félsicos vinculados a “granitização pós-Barbacena” (Ebert, 1956a).

Formação Lafaiete – designação utilizada por Ebert (1956a, 1967), para sucessões semelhantes às do Complexo Barbacena pouco ou não atingidas por veios félsicos.

Corpos Granitóides – corpos intrusivos de composição variada, tonalítica ou trondjemítica, mais ou menos gnaissificados. Segundo Teixeira (1985), estes corpos podem ser relacionados a eventos de acreção crustal ocorridos entre 2.7 a 2.0 Ga.

Corpos de metagabros – corpos intrusivos que ocorrem nas proximidades das cidades de Tiradentes e Lavras.

Greenstone belt Barbacena – é representado por anfibolitos, komatiítos, peridotitos em complexos máficos-ultramáficos acamadados, e metassedimentos e rochas metavulcânicas.

As unidades do embasamento aparecem como faixas subverticais de direção NE-SW, metamorfizadas em fácies xisto verde/anfibolito baixo, com presença de foliação principal subvertical, paralela ao rumo das faixas. A deformação principal apresenta caráter heterogêneo, de modo que em determinadas regiões preservaram domínios com feições ígneas e sedimentares reliquias entre zonas de cisalhamento, onde as rochas, via de regra, estão deformadas.

As seqüências metassedimentares proterozóicas que afloram no limite sul do Cráton do São Francisco, próximo à cidade de São João Del Rei, foram estudadas em detalhe por Ebert (1967), que introduziu o termo Grupo São João Del Rei para englobar as Formações Prados, Barroso, Rio das Elvas e Tiradentes.

Formação Prados - é representada por filitos, filitos grafitosos, conglomerados e xistos finos, que se encontram afetados por intenso intemperismo que lhes conferiu colorações avermelhadas e amareladas. A característica marcante destes filitos é a laminação milimétrica com alternância de lentes composta essencialmente por quartzo, com pouca mica e lentes de minerais micáceos.

Formação Barroso - constituem metadiamiclitos, metapelitos e metacalcários. Os calcários ocorrem na forma de lentes e megalentes e foram classificados por Viana (1991) em:

- calcário sacaróide, cinza azulado, de aspecto maciço, por vezes com bandamento difuso dado por níveis de cor mais escura. Apresentam alta pureza, com teores de CaCO_3 superiores a 95%;
- calcário cinzento, ligeiramente micáceo; quando predomina a biotita, resultam planos de

orientação preferencial;

- calcário impuro, cinzento, com filmes de minerais silicatados e a depender do teor de silicatos, a rocha torna-se mais maciça ou mais estruturada;
- calcário esbranquiçado, muito impuro, com presença de mica e quartzo, é relativamente friável;
- calcário de aspecto marmóreo, coloração esbranquiçada, com bandamento dado por finas bandas escuras.

Formação Rio das Elvas - é constituída basicamente por xistos ricos em biotita, quartzo, muscovita e localmente granada, subordinadamente ocorrem lentes de quartzito.

Formação Tiradentes - composta por quartzitos, metapelitos e metaconglomerados expostos nas serras do Lenheiro e São José, com feições originais bem preservadas, possibilitando o reconhecimento de associações de fácies, paleoambientes e discordâncias intraformacionais. Inclui três seqüências plataformais basais ricas em quartzitos e uma seqüência deltáica superior com metapelitos na base, quartzitos e metaconglomerados no topo.

Em termos estruturais, as seqüências proterozóicas ocorrem num domínio tectônico autóctone marginal ao cráton. A intensidade da deformação e metamorfismo aumenta para sul onde as seqüências proterozóicas aparecem desmembradas em um sistema de nappes. A norte da área, as dobras são abertas com eixos de baixo caimento para NE ou SW e clivagem plano axial subvertical para SE a alto ângulo com o acamamento. A sul de São João del Rei ocorre uma brusca mudança, a foliação principal assume baixo mergulho para sul e se caracteriza como uma xistosidade ou clivagem de crenulação, plano axial de dobras fechadas ou isoclinais. O metamorfismo associado é de fácies xisto verde com granada, passando a fácies anfibolito com estaurolita e cianita.

8.7. Geologia da jazida

Após os trabalhos de reconhecimento regional, logístico e geológico da área, a área SW do decreto foi definida como o alvo principal para o prosseguimento dos trabalhos de pesquisa, onde a lente do corpo de calcário é mais espessa e apresenta maior profundidade.

A área da jazida de Bom Jardim, na região do alvo principal, pode ser subdividida em: calcários puros a impuros da Formação Barroso, gnaisses, migmatitos e granitos do Complexo Barbacena e sedimentos cenozóicos.

Sedimentos cenozóicos

Ocorre na planície de inundação do Rio Loures, na porção norte e nordeste da área em questão.

Constitui um material inconsolidado siltico arenoso (porção areia fina), de cor marrom

a amarelada (Foto 04 - Anexo 01). Ocasionalmente, observa-se clastos centimétricos arredondados de granitos, gnaisses e quartzo de veio.

Formação Barroso

É composta por rochas carbonáticas que variam de calcário calcítico a marga silicosa.

Representa uma lente que corta a área em questão a partir da porção sudoeste e termina na região nordeste, com até 1 km de largura.

Apresenta os melhores afloramentos em antigas frentes de lavra e em lages que afloram nas encostas dos morros.

O contato da Formação Barroso na área em questão é sempre tectônico, com rochas graníticas e gnáissicas do Complexo Barbacena, a norte o contato, é dado por um falhamento inverso, de direção N 50° e mergulho de aproximadamente 50 - 70° para SE. O contato sul apresenta em geral ângulos mais suaves, em torno de 20° para NW, a direção é de aproximadamente N 30° na região nordeste sofrendo inflexão para sul, na porção sudoeste.

Estruturalmente, os calcários da Formação Barroso apresentam direção entre N 60-70° com mergulho que varia entre 20° para NW a subhorizontal.

Estratigrafia

A estratigrafia dos calcários na região estudada pode ser resumida, do topo para a base, em:

Calcário cinza laminado

Corresponde ao litotipo mais abundante da região, este ocorre em diversas frentes de lavra abandonada na porção SW da área de estudo (Foto 05 - Anexo 01).

O calcário apresenta granulação fina, cor cinza a cinza escura e estrutura laminada (Foto 06 – Anexo 01). A matriz é constituída por cristais subdiomórficos, ligeiramente estirados de calcita. Lâminas mili a centimétricas de minerais micáceos (biotita, muscovita e vermiculita), idiomórficos, de granulação fina, por vezes cloritizados, que resultam em planos de orientação preferencial.

Ocasionalmente, ocorrem faixas milimétricas de argilominerais conferindo a rocha um aspecto bandado (faixas mais escuras).

Veios de quartzo métricos a centimétricos por vezes boudinados (Foto 07 - Anexo 01) são comuns nestes calcários.

A razão CaO/SiO_2 varia de acordo com a proporção minerais micáceos e argilominerais, estes podendo apresentar entre 5 a até 30% da composição da rocha.

Calcário cinza a branco laminado

Apresentam os melhores afloramentos na margem do Rio Loures (Foto 08 – Anexo 01).

Calcário de cor cinza clara a branca, impuro, que grada para uma marga silicosa. A textura é fina a média, conferindo à rocha um aspecto friável. A matriz é constituída por calcita e quartzo subdiomórficos, estirados segundo a foliação preferencial. Faixas mili a centimétricas de biotita, muscovita e argilominerais cloritizados são comuns. Cristais de pirita milimétricos, idiomórficos ocorrem nas fraturas.

Estratigraficamente, este calcário ocorre em lentes no interior do calcário cinza laminado, sendo brusco o contato entre eles. Estas lentes são mais representativas em regiões próximas ao contato com o embasamento.

Calcário sacaroidal

Ocorre na porção sudeste da área, sendo os melhores afloramentos em antigas pedreiras de exploração de calcário para a produção de cal.

Corresponde a um calcário calcítico, cor cinza escuro a azulado, granulação fina a média, com aspecto sacaroidal (Foto 09 – Anexo 01). Os cristais de calcita encontram-se recristalizados e levemente estirados no sentido da foliação principal, e raramente ocorrem lâminas milimétricas de minerais micáceos (biotita e vermiculita). Apresentam teor de CaO entre 48 e 55% e SiO₂ abaixo de 5%.

Este calcário, assim como o calcário branco laminado, ocorre em lentes no interior do calcário cinza laminado. A espessura máxima destas lentes é de 20 metros e o contato é brusco.

Calcário marmóreo

Apresenta coloração cinza esbranquiçada à branca e granulação fina a muito fina, conferindo-lhe um aspecto marmóreo.

A matriz é composta predominantemente por calcita microcristalina (efervesce bem ao HCl diluído a 10%). Por vezes ocorre um bandamento marcado por faixas centimétricas mais escuras (preto a marrom), constituído por uma mistura de cristais de calcita, minerais micáceos e argilominerais. É comum a presença de pirita milimétrica disseminada nas fraturas.

O contato com o calcário cinza laminado é gradacional, apresentando espessuras que podem variar de 20 a 40 metros.

Calcário marmóreo bandado

Corresponde a uma variação do calcário marmóreo e ocorre próximo ao contato do corpo carbonáticos com o embasamento gnáissico, o contato com o calcário marmóreo é gradacional, apresentando espessuras médias de 10 metros.

Diferencia-se do calcário marmóreo por apresentar bandas centimétricas de argilominerais por vezes cloritizados, conferindo à rocha um aspecto bandado de coloração branca com faixas marrom a preta.

A Figura 8.1 resume a estratigrafia da Formação Barroso na Jazida de Bom Jardim.

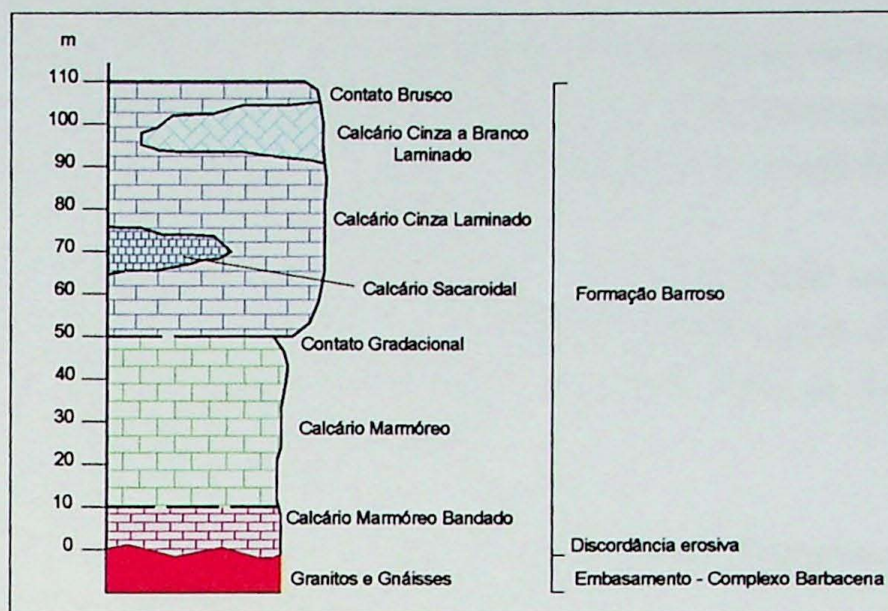


Fig. 8.1. Estratigrafia da Formação Barroso na jazida de Bom Jardim.

Geologia estrutural e metamorfismo

A foliação principal (S_1) dos calcários da Formação Barroso é paralela ao bandamento deposicional (S_0) e caracterizado pela formação de lâminas milimétricas a centimétricas, onde minerais micáceos, principalmente biotita, muscovita, vermiculita e clorita, se concentram. Além destas lâminas, pequenos bolsões de calcita branca de granulação média a grossa e faixas centimétricas onde predominam argilominerais e sericita ocorrem em S_1 . Sua direção predominante fica entre N 60 – 70° com mergulho médio de 10-5° para NW.

Eventualmente a foliação S_1 encontra-se crenulada e dobrada por uma superfície de transposição S_2 (Foto 10 – Anexo 3) responsável pela formação desde de microcrenulações, dobras milimétricas a centimétricas, abertas, simétricas; a até dobras de arrasto, fechadas, métricas e paralelas a foliação S_1 , como mostra a Figura 8.2.

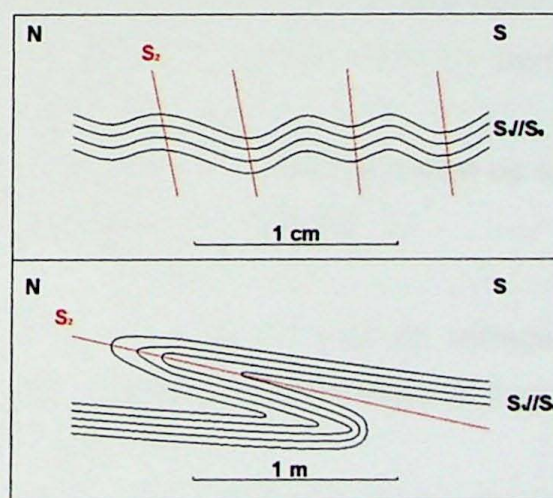


Fig. 8.2. Estruturas presentes nos calcários da jazida.

As feições rúpteis mais comuns nestes calcários são sistemas de fraturas que podem ser agrupados em duas famílias principais, a primeira com orientação média N50° e mergulho subvertical para SE; e a segunda, de orientação aproximada N110° e mergulho subvertical para W.

O metamorfismo principal progressivo dos calcários da região estudada atingiu o fácies xisto verde – zona da biotita, com a formação da biotita a partir de argilominerais. Com posterior retrometamorfismo para o fácies xisto verde – zona da clorita reconhecida pela paragénesese biotita clorita.

Complexo Barbacena

A sul da lente de calcário ocorrem rochas gnáissicas do Complexo Barbacena em contato tectônico.

Apresenta os melhores afloramentos em algumas pedreiras em atividade a sul da área mapeada (Foto 11 – Anexo 01).

A rocha apresenta granulação média à grossa, constituída por cristais idiomórficos a subidiomórficos de quartzo (30-40%), plagioclásio (20-30%) e feldspato potássico (20-30%). O índice de máficos varia em torno de 5-15%, sendo a biotita o máfico predominante e anfibólio secundário, titanita e apatita ocorrem como acessórios.

O bandamento gnáissico apresenta direção N30° a N40° e mergulhos subverticais.

É comum a presença de veios centimétricos a métricos de pegmatito grosso e diques de microgabro.

9. INVENTÁRIO DA PESQUISA MINERAL

9.1. Levantamento geofísico

O levantamento geofísico consistiu na aplicação das técnicas de sísmica de refração e eletrorresistividade por caminhamento elétrico em 15 perfis com 600 metros de comprimento, totalizando 9,000 metros.

Os perfis geofísicos coincidem com os perfis da malha de sondagem, porém com um detalhamento de 100 metros, como mostra o Anexo 2.

Sísmica de refração

Conforme já exposto, os ensaios de sísmica de refração tiveram o objetivo de fornecer informações sobre o comportamento do material inconsolidado sobreposto à superfície do maciço rochoso carbonático.

A partir da coluna litológica simplificada da área estudada (solos, calcário são, granito/gnaisses) tinha-se conhecimento de que as últimas refrações com retorno à superfície se dariam pelo topo do calcário são, que é o primeiro estrato sísmico de altas velocidades de propagação de ondas sísmicas.

Assim sendo, presumia-se a existência de forte contraste entre as velocidades de

propagação de ondas do calcário são e a do material sobrejacente. Este fato privilegiou a aplicação da técnica.

Os resultados obtidos a partir da aplicação deste método, (exemplo – Fig.12.1) apresentam as seguintes informações:

- estratos sísmicos identificados e as correlações efetuadas;
- espessuras dos estratos sísmicos;
- contorno do topo do maciço rochoso;
- velocidades de propagação de ondas sísmicas obtidas.

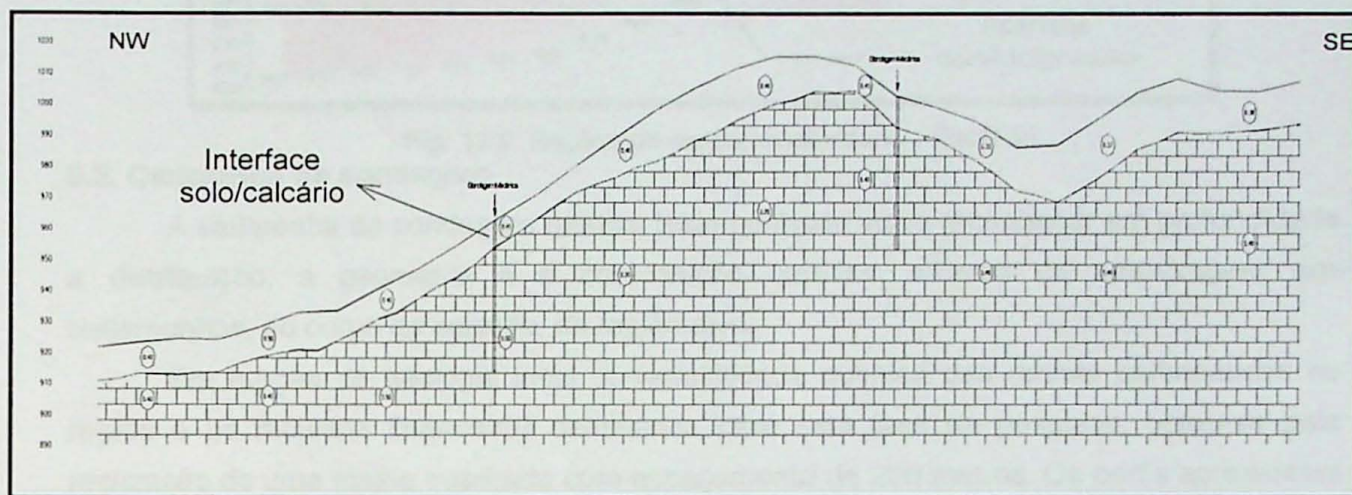


Fig. 12.1. Exemplo da interpretação do levantamento por sísmica de refração – Perfil 36.

Eletorresistividade por Caminhamento elétrico

A aplicação deste método objetivou determinar as espessuras do calcário são, ou seja, as espessuras do horizonte que ocorre entre o solo e o embasamento gnáissico. Este método também permite identificar a presença de vazios, falhas/fraturas e/ou estruturas de dissolução nos calcários.

Os resultados dos processamentos efetuados, juntamente com as interpretações das distribuições das resistividades elétricas em subsuperfície e os dados da campanha de sondagem possibilitaram a elaboração das “Seções de Caminhamento Elétrico” – exemplo Fig. 12.2.

Estes dados, juntamente com os resultados da sísmica de refração possibilitam calcular as espessuras da camada de calcário são na área estudada.

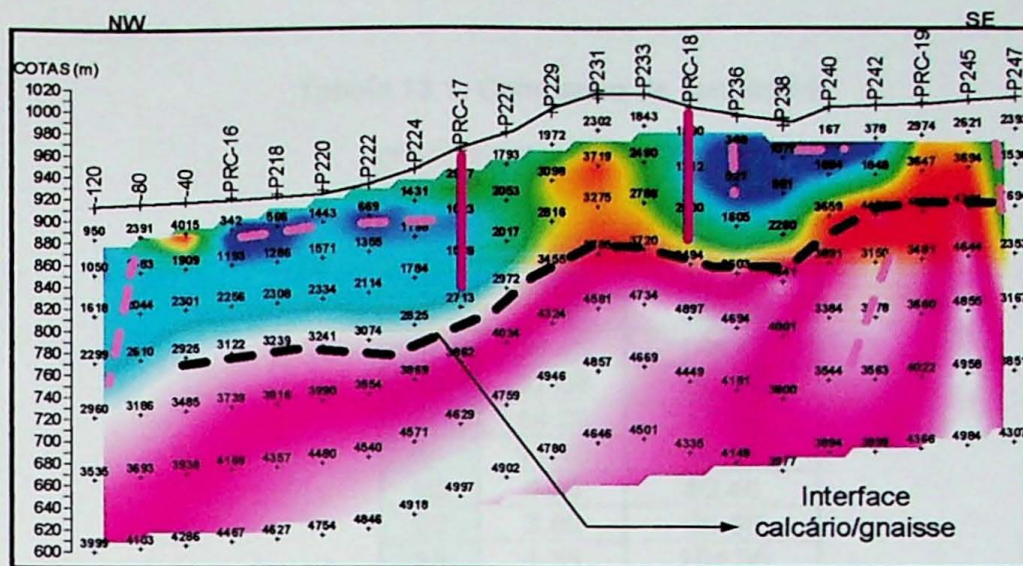


Fig. 12.2. Seções de eletrorresistividade – Perfil 36.

9.2. Campanha de sondagem

A campanha de sondagem rotativa testemunhada visou reconhecer em profundidade a distribuição, a geometria e a composição química, através da amostragem dos testemunhos, do corpo de calcário, na região alvo.

Em função da geologia local, a variabilidade química das rochas carbonáticas na região e os recursos financeiros destinados para esta fase da pesquisa, optou-se pela realização de uma malha quadrada com espaçamento de 200 metros. Os perfis apresentam direção N160°, como pode se observado no Anexo 02.

Apenas os furos PRC-27N PRC-27S e PRC-26N, apresentam inclinação de 45° para N340° (furos com final N) e N160° (furo com final S), pois se imaginava que o mergulho do corpo de calcário nesta região fosse mais acentuado, os demais furos apresentaram mergulho vertical.

Furos complementares foram realizados para confirmar a continuidade e a espessura dos corpos calcário de alto teor, nestes casos foram realizados furos verticais com espaçamento de 100 metros.

A Tabela 13.1 resume as informações referentes aos furos executados.

Tabela 13.1. Campanha de sondagem.

FURO	SOLO (m)	PROFUNDIDADE TOTAL(m)
2	5.50	54.51
3	8.40	87.90
6	11.60	109.40
7	32.45	156.60
8	37.95	143.50
9	14.36	97.54
9A	11.10	84.54
9B	6.69	62.40
9C	3.80	24.68
11	1.35	104.55
12	10.15	137.45
13	29.80	152.70
14	3.60	142.00
16	12.85	147.90
17	6.80	120.95
18	10.40	129.85
19	27.90	82.30
21	18.00	212.80
22	26.20	175.55
23	25.00	152.00
24	20.00	70.00
26 N	48.70	232.00
27N	9.95	213.20
28	2.14	88.55
27S	14.30	212.75
36	50.05	50.05
38	26.45	26.45
TOTAL	475.49	3272.12

10. MODELAGEM LITOLÓGICA DA JAZIDA

O modelo litológico tridimensional da área estudada tem como objetivo representar geometricamente a distribuição dos diversos litotipos de calcário identificados no mapeamento geológico e na descrição dos testemunhos, apresentado no Capítulo 11 – Geologia da Jazida, assim como definir os limites do pacote carbonático. Através do mapeamento geofísico auxiliado pelas informações obtidas na campanha de sondagem, foi possível determinar a geometria do corpo de calcário.

O modelo litológico realizado na plataforma *Datamine*, utilizou os seguintes dados:

- Topografia da área da jazida – Onde a partir das curvas de nível é gerado o modelo digital do terreno (MDT – Fig. 10.1).

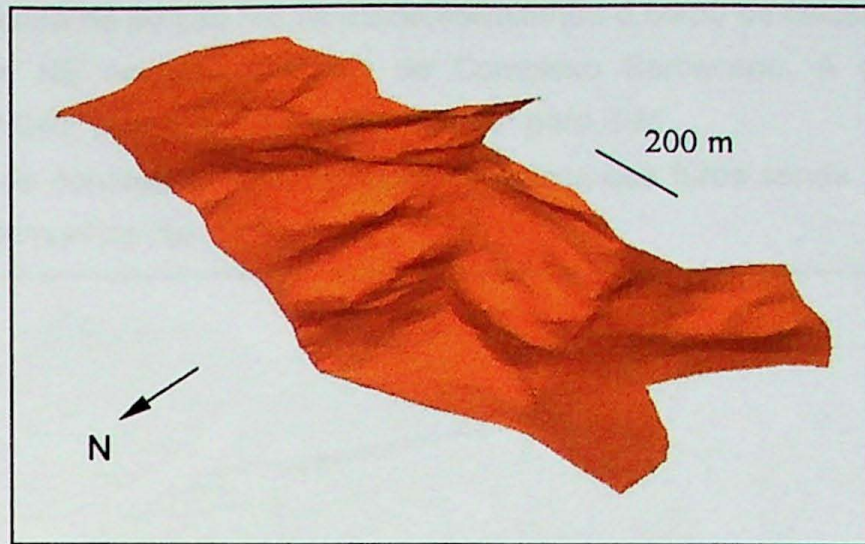


Fig. 10.1. Modelo digital do terreno da jazida de Bom Jardim.

➤ Interpretação das estruturas geológicas – Na área da jazida observou-se a partir de foto interpretação (Fig. 10.2) quatro grandes falhamentos que foram confirmados após a execução da campanha geofísica e a descrição dos testemunhos de sondagem.

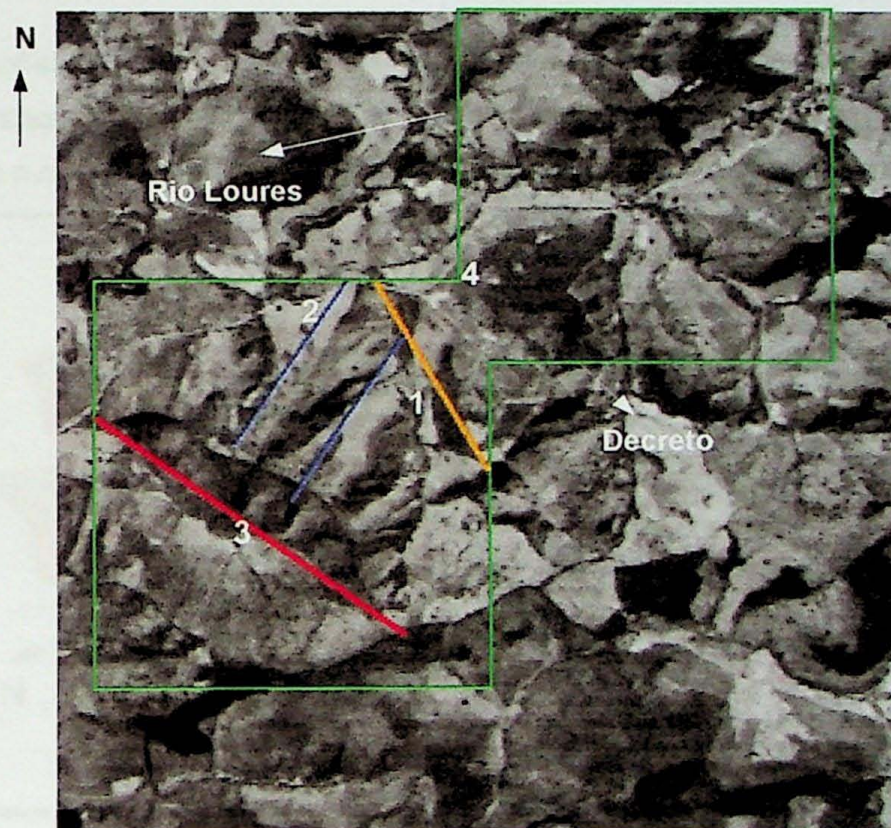


Fig. 10.2. Fotointerpretação da área da jazida, sem escala.

As falhas 1 e 2 apresentam direção aproximada N50° com mergulho subvertical e cortam toda a área da jazida. Apresentam rejeitos entre 10 e 15 metros.

A falha 3 que ocorre na porção SW da área, apresenta direção N140°, mergulho subvertical e rejeito em torno de 10 metros.

A falha 4 ocorre na porção NE da jazida delimitando o corpo de calcário que ocorre a SW da falha, a NE ocorrem gnaisses do Complexo Barbacena. A direção é de aproximadamente N340° com mergulho entre 50 e 70° para SW.

➤ Campanha de sondagem – Informações litológicas dos furos sonda executados e descrições dos testemunhos (fig. 10.3).

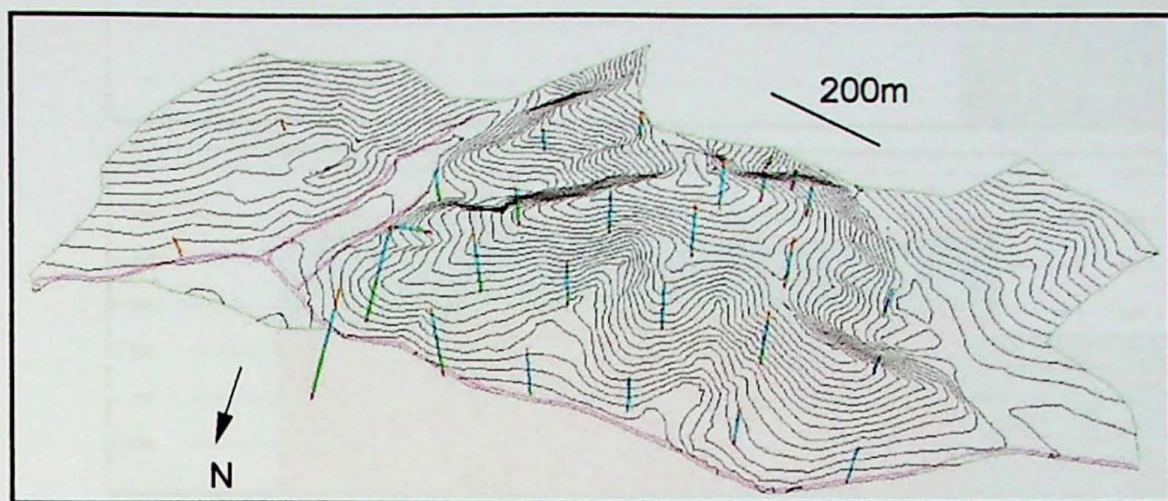


Fig. 10.3: Localização dos furos com informações litológicas.

➤ Perfis geofísicos – Os quinze perfis interpretados a partir do levantamento geofísico foram georreferenciados e ajustados em função das informações dos furos de sonda, gerando assim o modelo digital da interface solo/calcário e calcário/embasamento (fig. 10.4).

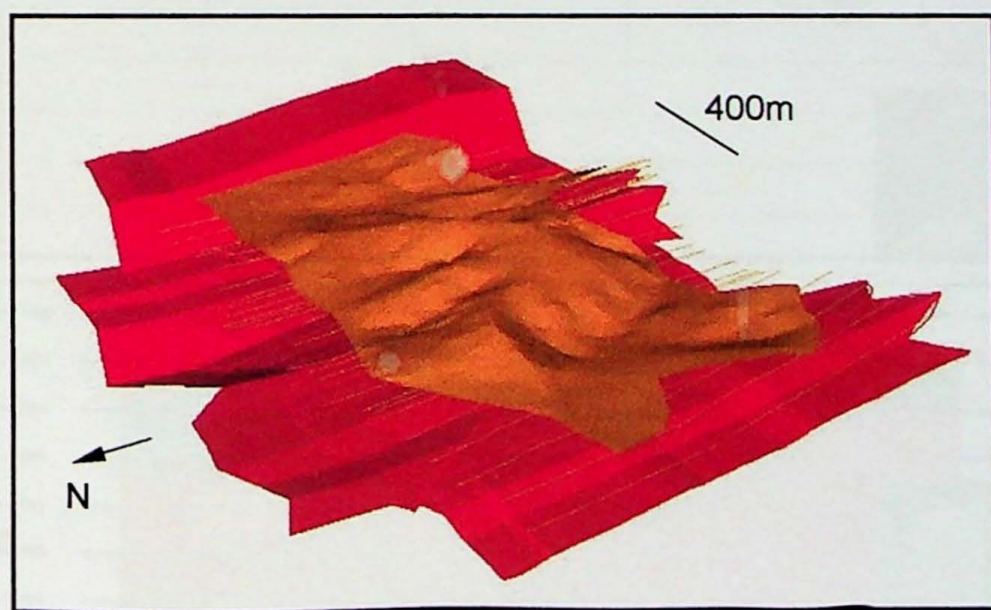


Fig. 10.4. DTM da área da jazida (em marrom), linhas da interface solo/calcário interpretada por sísmica de refração (linhas em amarelo) e modelo digital da interface calcário/embasamento interpretado por eletrorresistividade (em vermelho).

As figuras a seguir representam os perfis de sondagem e o modelo gerado a partir destas interpretações.

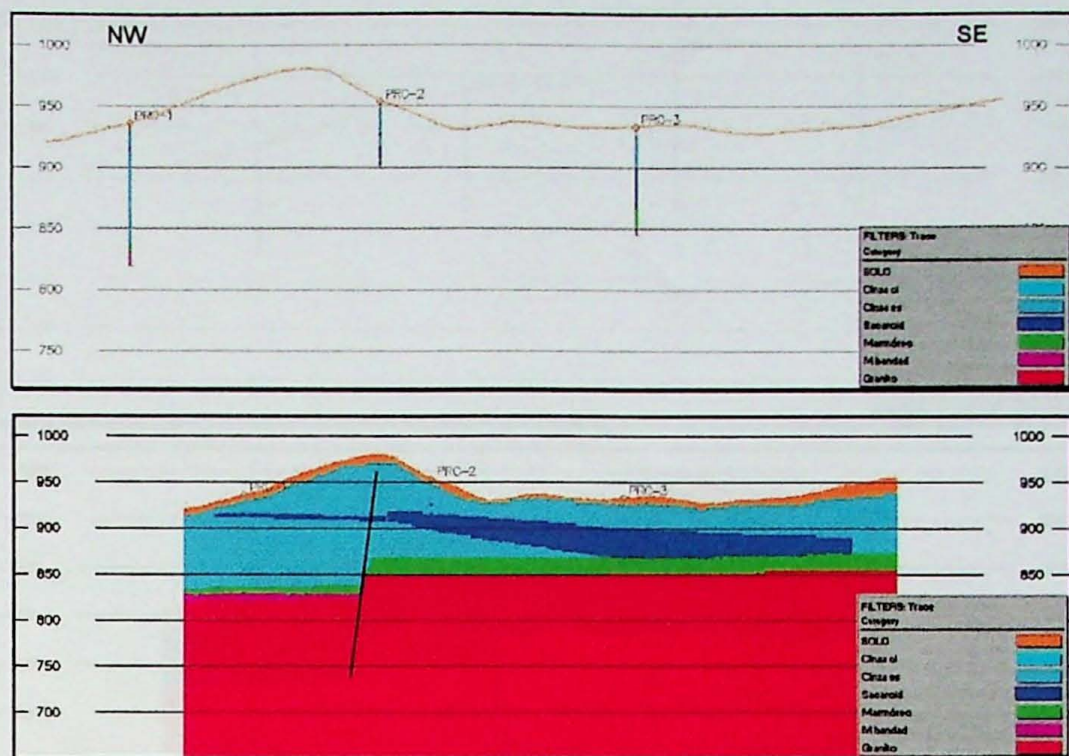


Fig. 10.5. Perfil de sondagem 12 e interpretação litológica.

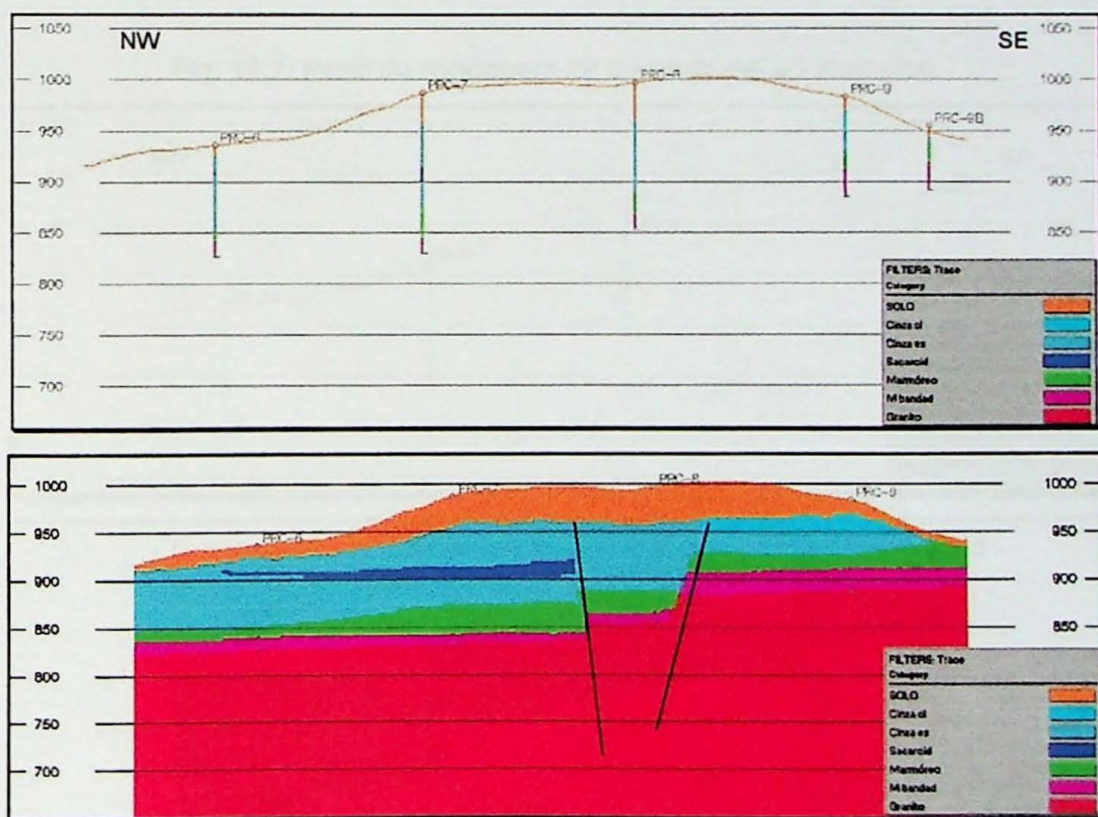
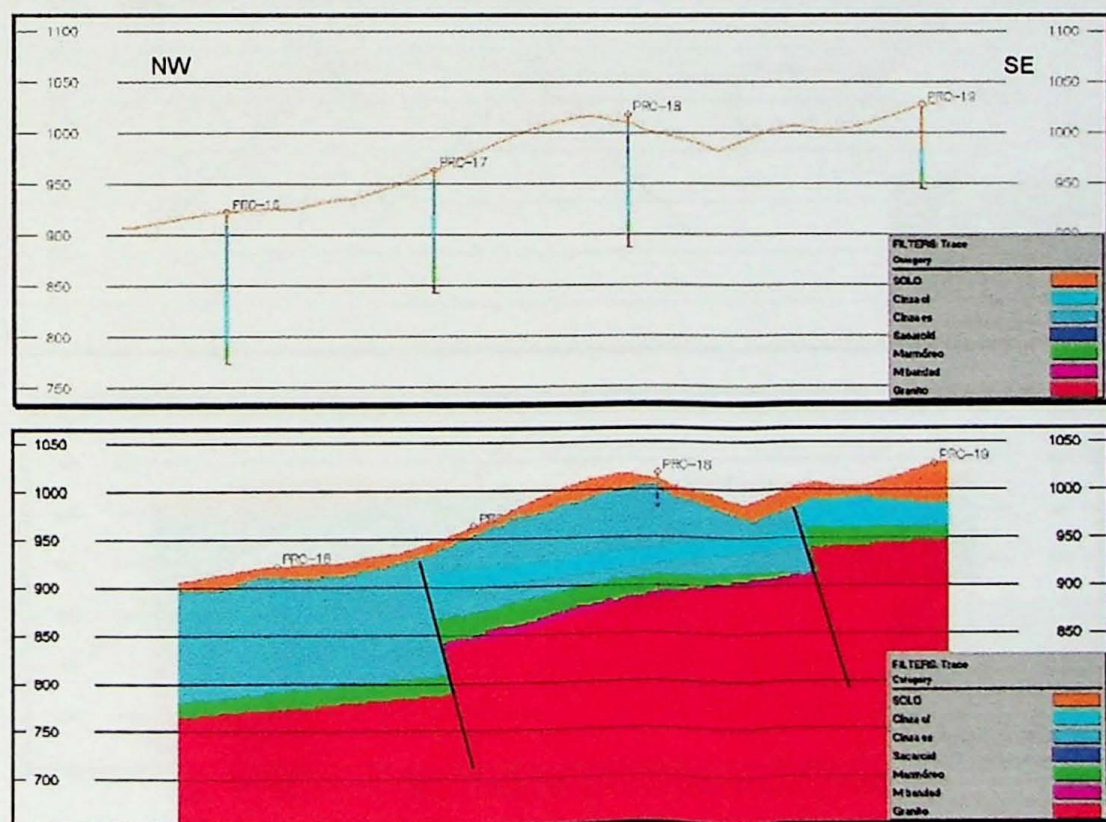
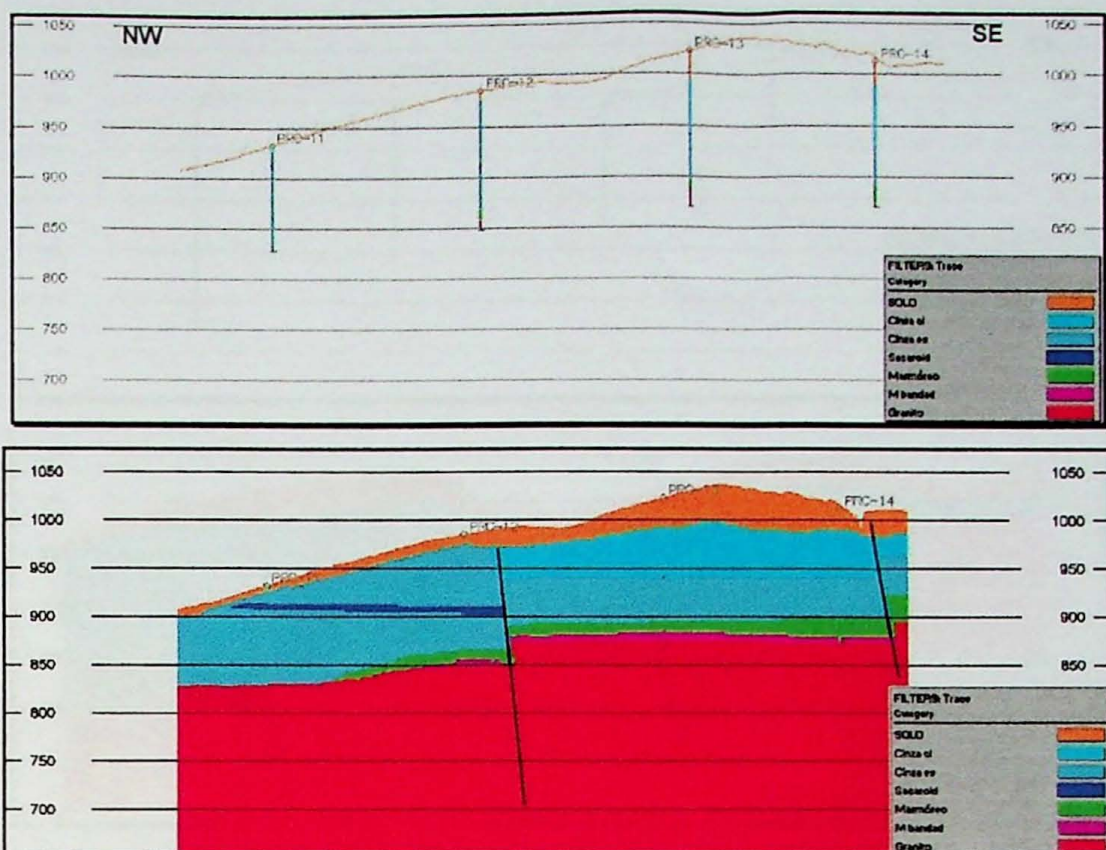


Fig. 10.6. Perfil de sondagem 20 e interpretação litológica.



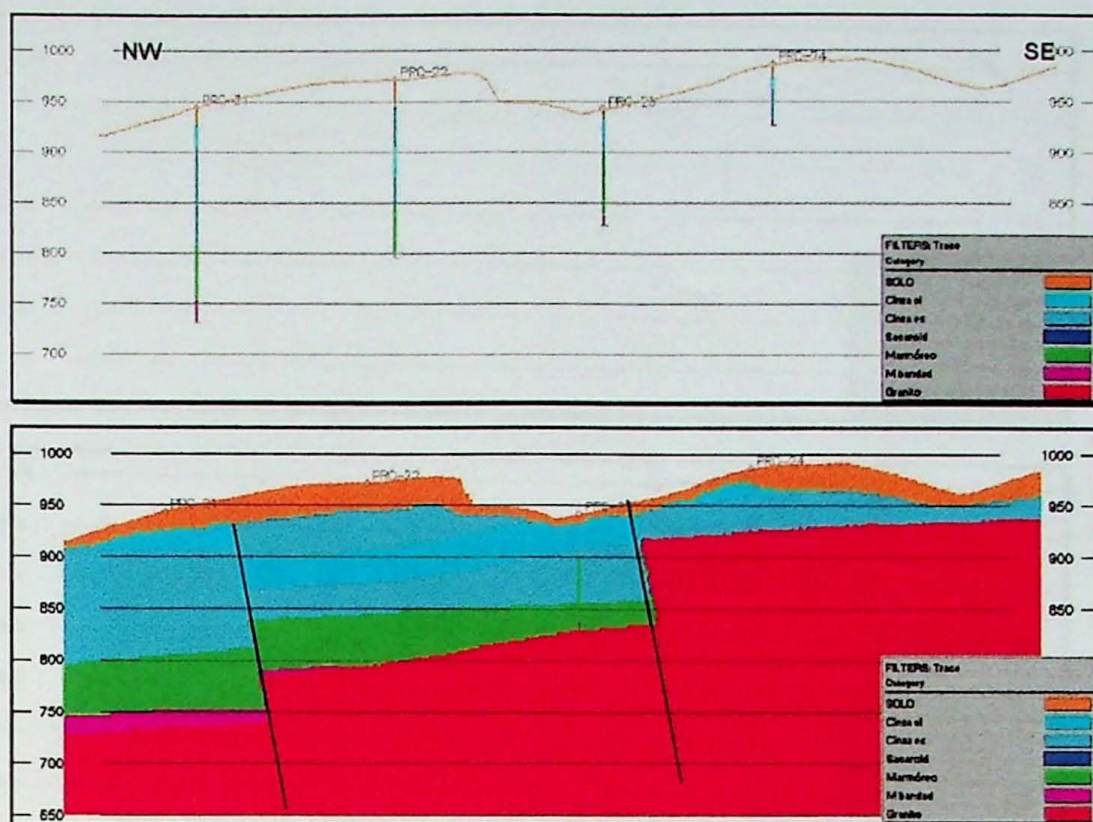


Fig. 10.9. Perfil de sondagem 44 e interpretação litológica.

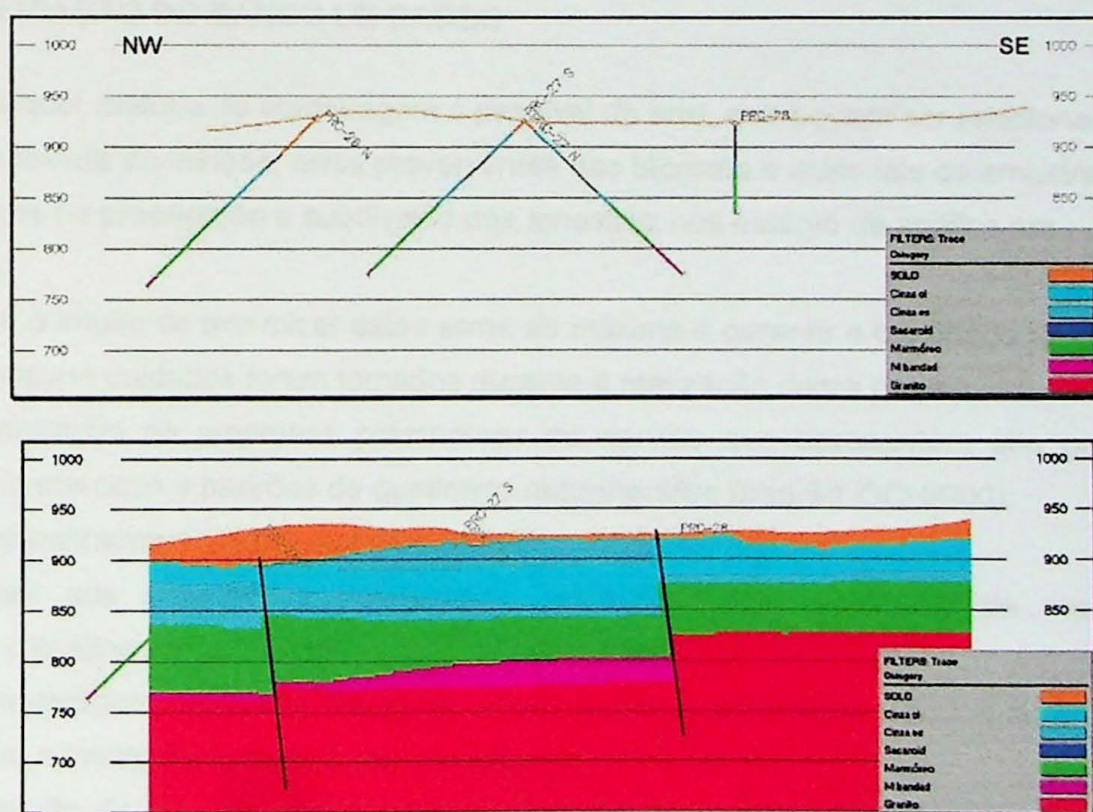


Fig. 10.10. Perfil de sondagem 52 e interpretação litológica.

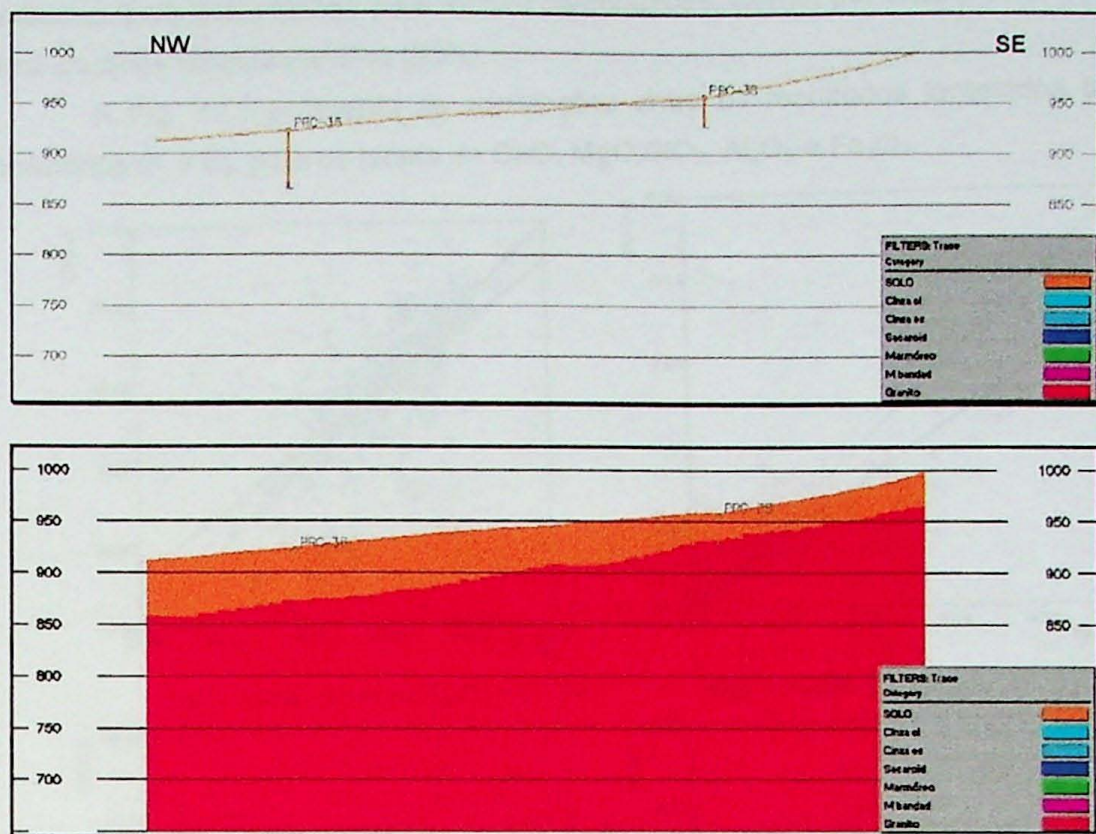


Fig. 10.10. Perfil de sondagem 68 e interpretação litológica.

11. VALIDAÇÃO DO BANCO DE DADOS

Qualquer método de amostragem é passível de erro, que podem ser relacionados à estrutura e textura do minério, erros provenientes das técnicas e materiais de amostragem, além de erros na preparação e subdivisão das amostras nos estágio de análise em laboratório.

Com o intuito de minimizar estes erros ao máximo e garantir a qualidade dos dados analíticos, alguns cuidados foram tomados durante a realização deste projeto:

- Contratação de empresas prestadoras de serviço que apresentam alto grau de aceitação no mercado e padrões de qualidade reconhecidos (padrão ISO-9000);
- Acompanhamento diário dos serviços executados;
- Visitas aos laboratórios contratados, verificação dos processos de moagem, subdivisão e análise das amostras;
- Amostragem duplicada: Todas as amostras foram analisadas em dois laboratórios distintos com o intuito de comparar seus resultados;
- Utilização de amostra padrão: A cada lote de 100 amostras, uma amostra de um calcário com teores conhecidos, e uma amostra de uma rocha de composição granítica é misturada ao lote;
- Checagem dos resultados: Antes de gerar os arquivos de análise utilizados neste trabalho, seus dados foram checados com o objetivo de se eliminar, caso houvessem,

resultados foras dos padrões para rochas carbonáticas. Como, por exemplo, teores de CaO acima do limite estequiométrico (56%).

A Fig. 11.1 apresenta as correlações entre os resultados fornecidos pelos dois laboratórios (A e B), para os teores de CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃.

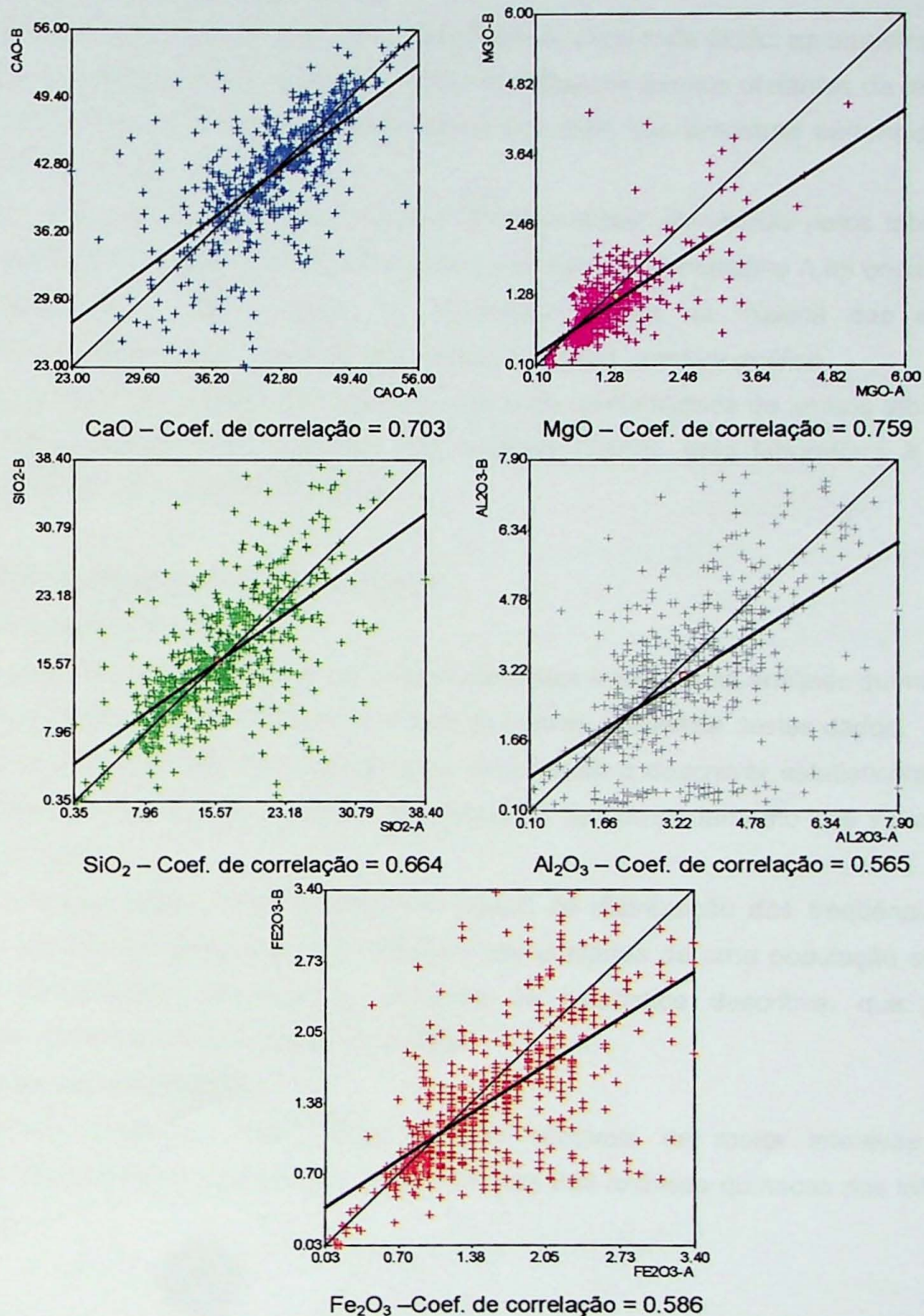


Fig. 11.1. Correlação entre os teores de CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ conforme resultados apresentados pelos dois laboratórios (A e B).

Como pode ser observado nos diagramas de dispersão da Fig.15.1, todos os gráficos apresentam correlação positiva, no entanto, entre 5 – 8% da população amostral apresentaram resultados insatisfatórios.

Mediante estes resultados, foram identificadas, para cada óxido, as amostras que se encontram fora do padrão de correlação obtido nos gráficos (pontos distantes da reta $x = y$). Onde a partir desta separação, reconheceu-se que 80% das amostras pertenciam a um mesmo lote de amostras.

As contra-amostras destas amostras “problemáticas” devolvidas pelos laboratórios foram novamente analisadas, no entanto a contra amostra do laboratório A foi encaminhada ao laboratório B e vice e versa. Os resultados obtidos na maioria das amostras apresentaram valores próximos ao do laboratório A em sua primeira análise.

Tendo em vista estas informações e o grau de confiabilidade de ambos laboratórios contratados decidiu-se pela utilização das análises obtidas pelo laboratório A para a elaboração do modelo químico da jazida.

12. MODELAGEM QUÍMICA DA JAZIDA

12.1. Análise estatística

Depois de conferido e validado o banco de dados referente às análises químicas dos testemunhos de sondagem, se dá início a fase da análise estatística destes dados.

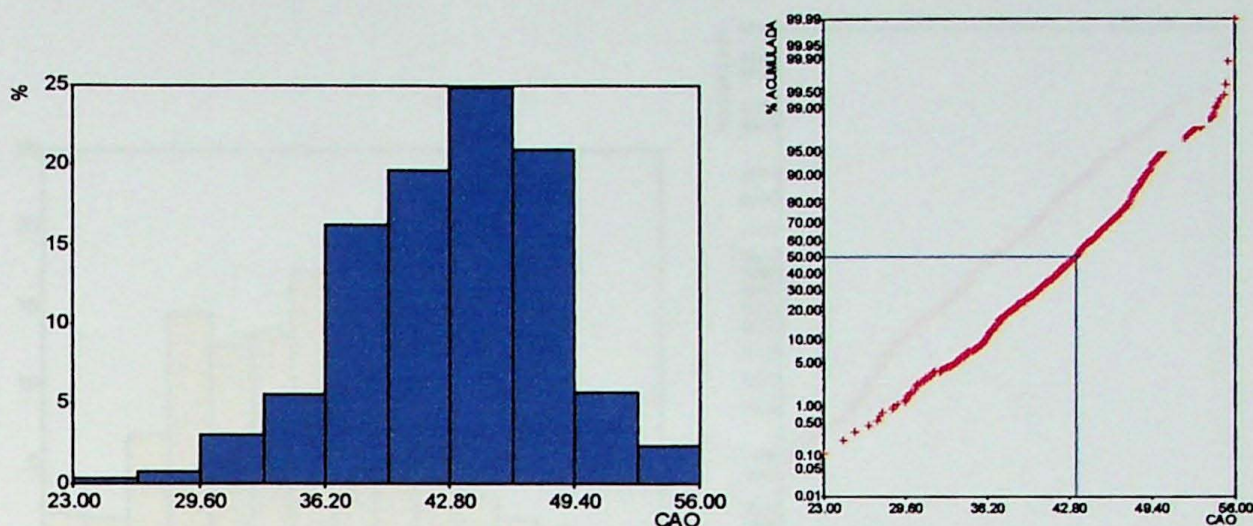
Essa análise é feita com o objetivo de caracterizar e descrever estatisticamente as distribuições dos dados para o melhor entendimento do comportamento das variáveis de interesse na jazida.

O primeiro passo desta análise é o cálculo da distribuição das freqüências, que descreve, através do histograma a distribuição das unidades de uma população sobre os intervalos amostrados. Em seguida, utiliza-se da estatística descritiva, que permite caracterizar numericamente estas distribuições.

Distribuição das freqüências

Foram construídos histogramas para as variáveis de maior interesse (CaO , MgO , SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3) a partir dos resultados das 896 análises químicas dos intervalos amostrados.

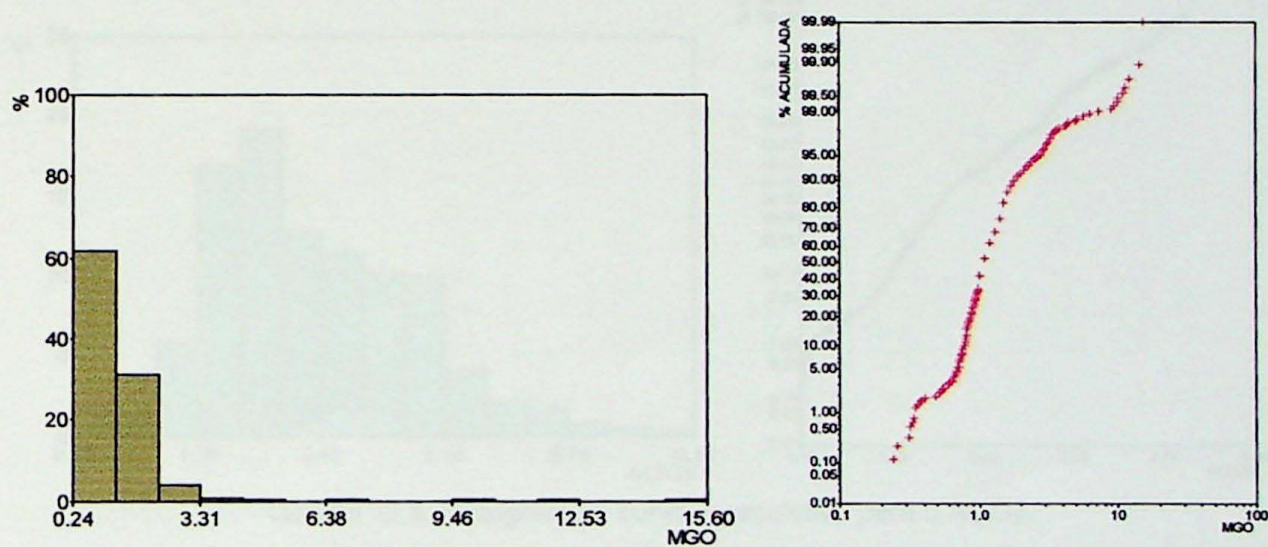
A seguir, são apresentados os histogramas e curvas acumulativas para cada variável.



O histograma obtido para a variável CaO indica uma distribuição com leve assimetria negativa; típico de rochas carbonáticas, onde o teor de CaO máximo é igual a 56%.

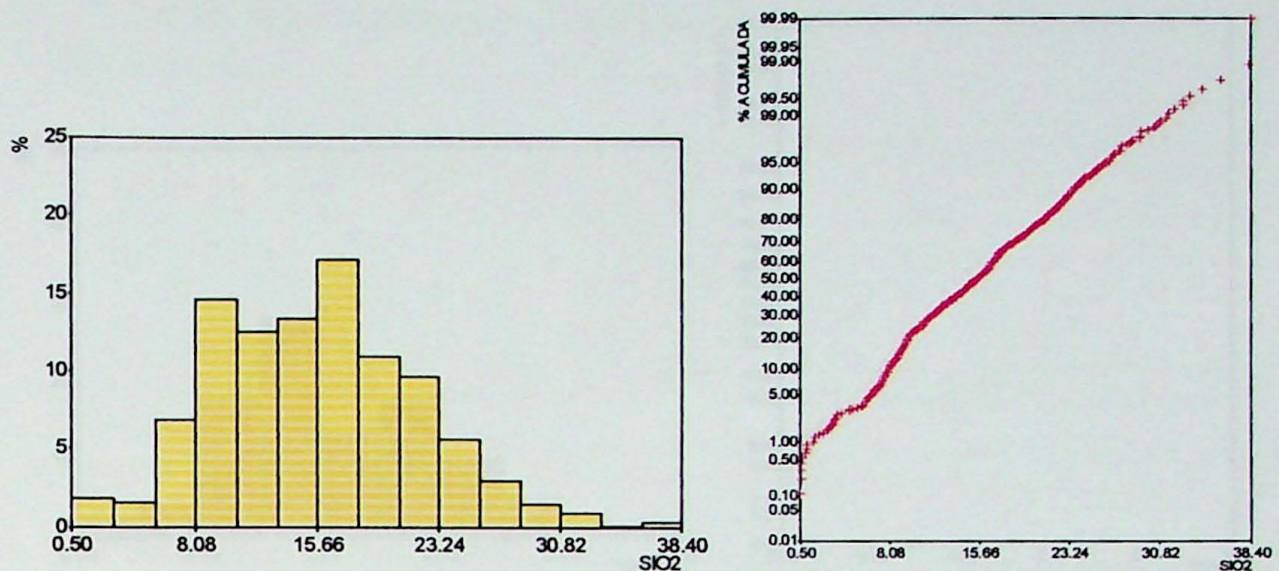
Entretanto, aproximadamente 40% das amostras encontram-se localizadas no intervalo 39.5 e 49.4% de CaO e menos de 10% das amostras apresentam teores maiores de 49.4% de CaO, estas características indicam a predominância de calcários impuros na área com baixa ocorrência de calcário puro.

A curva de frequência acumulada, novamente demonstra a impureza dos calcários na jazida, onde 50% das amostras analisadas apresentam teores de CaO abaixo de 43% (reta em azul).



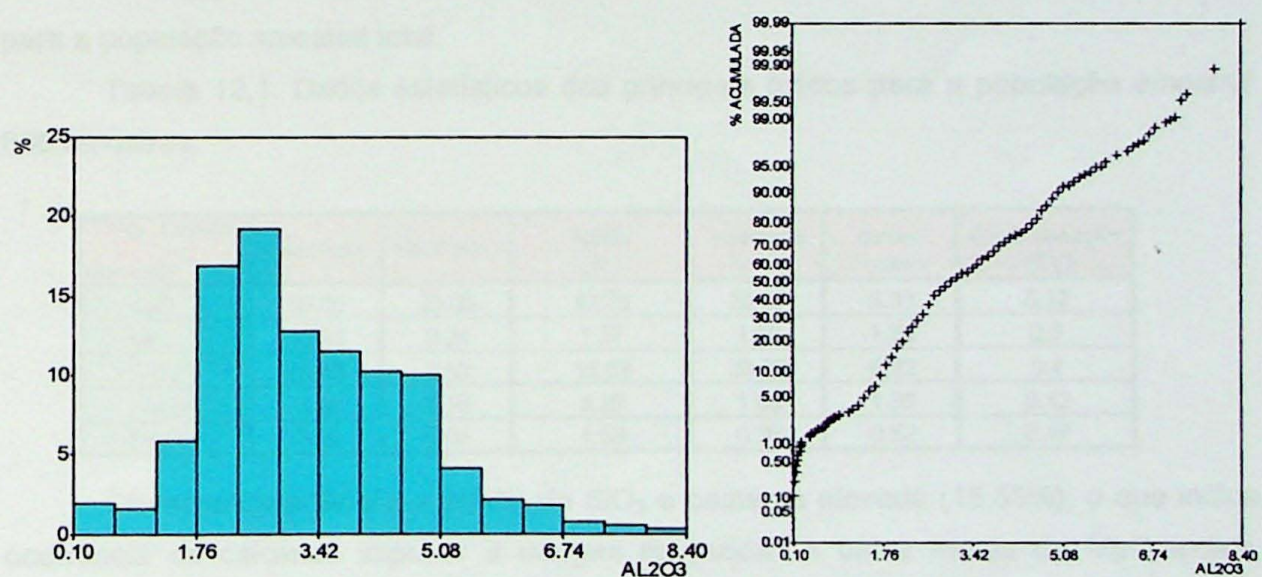
O histograma obtido para o MgO traduz uma distribuição com forte assimetria positiva, onde grande parte dos valores obtidos são baixos. Neste caso, mais de 95% das amostras com teores de MgO abaixo de 3.31%, que indica a não ocorrência de calcários dolomíticos

na região.



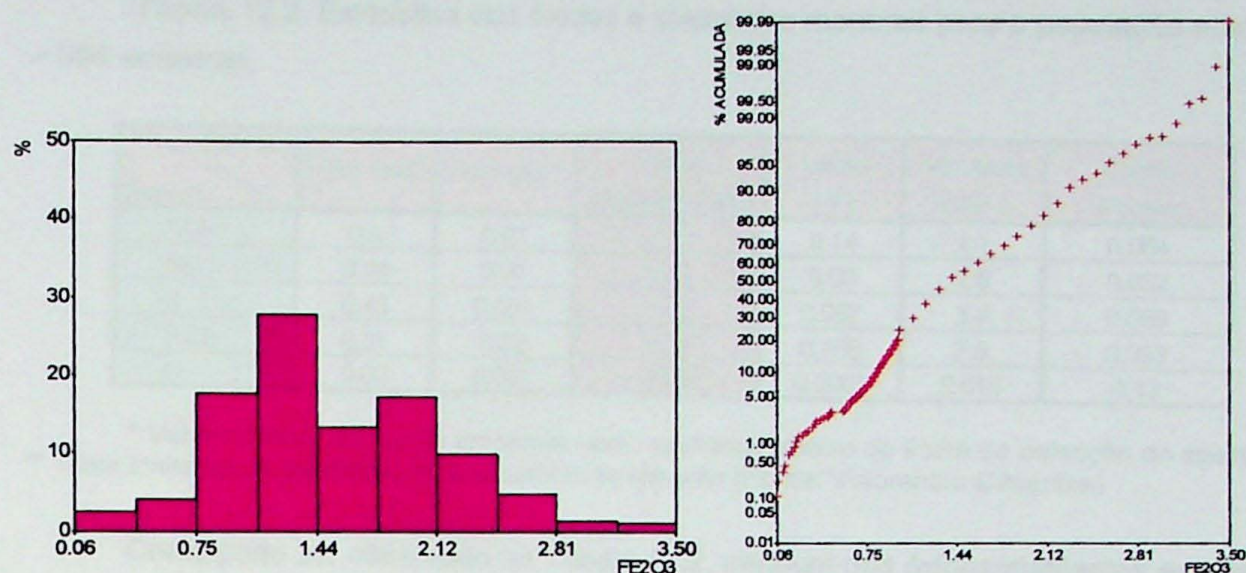
Quadro 12.3. Histograma e curva acumulativa para o SiO_2 .

No histograma da SiO_2 é possível identificar duas famílias: A primeira corresponde a 37,02% da população e apresenta média de 8,5% de SiO_2 e desvio padrão 4,28. A segunda corresponde aos 62,98% da população com média de 17,5% e desvio padrão de 2,53. A primeira família corresponde aos calcários que apresentam um grau de pureza maior, isto é com menor concentração de argilominerais e a segunda representa a família dos calcários impuros e margas.



Quadro 12.4. Histograma e curva acumulativa para o Al_2O_3 .

A variável Al_2O_3 apresenta uma distribuição com assimetria positiva, sendo que mais de 50% das amostras apresentam valores abaixo de 3,42%, entretanto aproximadamente 10% das amostras apresentaram mais de 5% de Al_2O_3 que indicam grande quantidade de argilominerais no calcário.



Quadro 12.5. Histograma e curva acumulativa para o Fe_2O_3 .

Assim como no histograma da SiO_2 , o Fe_2O_3 apresenta duas famílias de distribuição que representam as famílias de calcário impuro (31,28% da população amostral, com média = 2,18), isto é com grande concentração de argilominerais, e a família do calcário menos argiloso (68,72% da população amostral, com média = 1,26).

Estatística descritiva

A tabela 12.1 resume os parâmetros estatísticos dos óxidos principais, calculada para a população amostral total.

Tabela 12.1. Dados estatísticos dos principais óxidos para a população amostral – 886 amostras.

Parâmetro Óxido (%)	Valor máx.	Valor min.	Média ($\bar{x}$)	Variância (VAR)	Desvio Padrão	Coef. Variação (CV)
CaO	56.00	23.00	42.78	28.45	5.33	0.12
MgO	15.60	0.24	1.37	1.55	1.24	0.9
SiO_2	38.40	0.50	15.59	39.93	6.32	0.4
Al_2O_3	8.40	0.10	3.29	1.93	1.39	0.42
Fe_2O_3	3.50	0.06	1.53	0.39	0.62	0.47

Observando a tabela, a média da SiO_2 é bastante elevada (15,59%), o que indica a ocorrência de calcários impuros a margas na jazida. A baixa média de MgO indica a ausência de calcário dolomítico na jazida.

O fator de saturação (FSC) calculado para a média populacional é 88,15, abaixo dos limites de referência (92 - 96).

Para os óxidos menores, TiO_2 , Mn_2O_3 , S, P_2O_5 , Na_2O , considerados contaminantes para a indústria cimenteira, também foram calculados os parâmetros estatísticos (Tabela

12.2).

Tabela 12.2. Estatística dos óxidos e elementos menores para a população amostral – 886 amostras.

Parâmetro Óxido (%)	Valor máx.	Valor min.*	Valor Limitante** (%)	Média ($\bar{x}$)	Variância $\times 10E-3$	Desvio Padrão
TiO ₂	0.4	0.01	0.75	0.14	4.1	0.064
MnO	0.44	0.01	0.75	0.06	2.6	0.052
S	0.43	0.001	1.00	0.067	3.4	0.059
P ₂ O ₅	0.31	0.02	0.50	0.108	2.8	0.053
Cl	0.02	0.001	0.03	0.0001	0.015	0.12

* Valor mínimo, excluindo amostras com resultados abaixo do limite de detecção do aparelho.

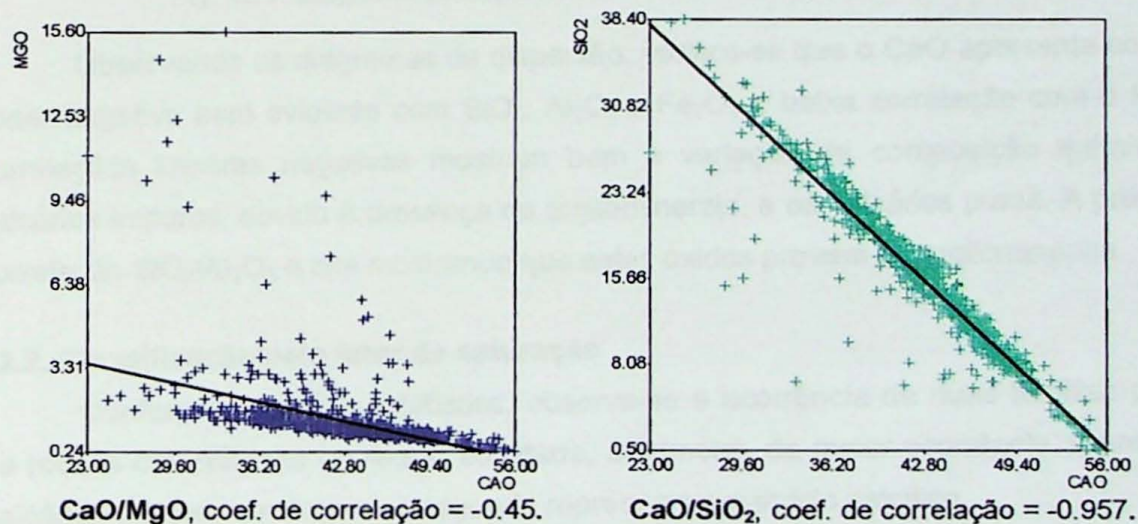
** Valor limitante de qualidade para a farinha de cimento (Fonte: Votorantim Cimentos)

Como pode ser observado na Tabela 12.2, nenhum dos óxidos/elementos estudados apresentam valores acima do valor limitante de qualidade para a farinha de cimento, o que significa que tais óxidos não serão problemáticos na área da jazida, e por esse motivo a modelagem geoestatística destes óxidos foi descartada neste trabalho.

Análise de regressão

A relação mútua entre duas variáveis aleatórias pode ser analisada através de diagramas de dispersão, onde pode ser calculada a reta dos mínimos quadrados e o coeficiente de correlação.

Os diagramas de dispersão entre as principais variáveis de estudo, obtida através do programa *Geovisual*, encontram-se apresentados na Fig. 12.1.



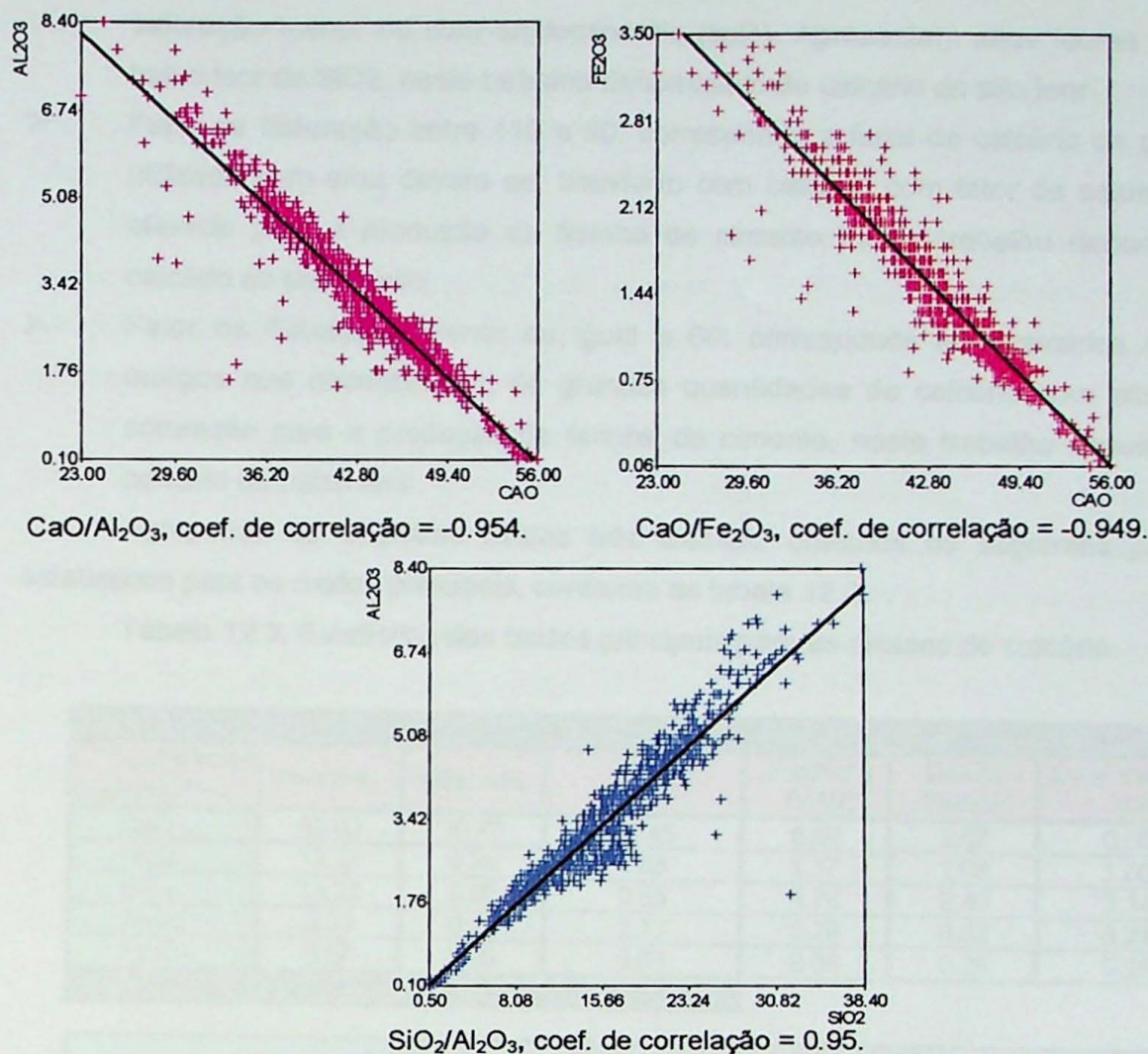


Fig. 12.1. Diagrama de dispersão para os principais óxidos analisados.

Observando os diagramas de dispersão, verifica-se que o CaO apresenta correlação linear negativa bem evidente com SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ e baixa correlação com o MgO. As correlações lineares negativas mostram bem a variação de composição química entre calcários impuros, devido à presença de argilominerais, e os calcários puros. A propósito, a correlação SiO₂/Al₂O₃ é alta mostrando que estes óxidos provem de argilominerais.

12.2. Classificação pelo fator de saturação

Conforme a análise estatística, observa-se a ocorrência de duas famílias principais de rochas carbonáticas na região estudada, a primeira, de maior ocorrência, representa os calcários impuros a margas e a segunda representa o calcário calcítico.

Tendo em vista que o presente trabalho tem o objetivo de avaliar as reservas de calcário para a produção de cimento, a população amostral foi subdividida em três classes:

- Fator de Saturação maior ou igual a 110: corresponde a faixa de calcário que para a produção da farinha de cimento deverá ser blendado com calcários com fator de

saturação menor ou com argilominerais (solo). Apresentam altos teores de CaO e baixo teor de SiO₂, neste trabalho denominado de calcário de alto teor.

- Fator de Saturação entre 110 e 60: corresponde a faixa de calcário de poderá ser utilizado puro e/ou devesa ser blendado com calcário com fator de saturação mais elevado para a produção da farinha de cimento, neste trabalho denominado de calcário de teor médio.
- Fator de Saturação menor ou igual a 60: corresponde aos calcários impuros e margas que necessitariam de grandes quantidades de calcário com alto fator de saturação para a produção da farinha de cimento, neste trabalho denominado de calcário de baixo teor.

Agrupando as amostras nestas três classes, obtemos os seguintes parâmetros estatísticos para os óxidos principais, conforme as tabela 12.3.

Tabela 12.3. Estatística dos óxidos principais para as classes de calcário.

Calcário Alto Teor (FSC > 110)						
Parâmetro Óxido (%)	Valor máx.	Valor min.	Média ($\bar{x}$)	Variância (VAR)	Desvio Padrão	Coef. Variação (CV)
CaO	56.00	30.70	47.45	6.60	2.57	0.054
MgO	13.37	0.24	1.08	1.17	1.08	1.002
SiO ₂	13.32	0.50	9.65	5.76	2.40	0.248
Al ₂ O ₃	3.20	0.10	2.13	0.28	0.53	0.248
Fe ₂ O ₃	0.07	0.06	0.99	0.06	0.25	0.250
Fator de saturação da média			157.24			

Calcário de teor intermediário (60 < FSC < 110)						
Parâmetro Óxido (%)	Valor máx.	Valor min.	Média ($\bar{x}$)	Variância (VAR)	Desvio Padrão	Coef. Variação (CV)
CaO	45.66	37.21	42.25	3.42	1.85	0.04
MgO	7.87	0.75	1.30	0.48	0.69	0.53
SiO ₂	21.04	11.33	16.54	4.28	2.07	0.12
Al ₂ O ₃	4.86	2.14	3.37	0.35	0.59	0.17
Fe ₂ O ₃	2.32	1.04	1.56	0.07	0.27	0.17
Fator de saturação da média			82.35			

Calcário Baixo Teor (FSC < 60)						
Parâmetro Óxido (%)	Valor máx.	Valor min.	Média ($\bar{x}$)	Variância (VAR)	Desvio Padrão	Coef. Variação (CV)
CaO	38.98	23.00	35.80	9.99	3.16	0.88
MgO	15.60	1.03	1.88	2.34	1.53	0.81
SiO ₂	38.40	15.47	23.78	12.82	3.58	0.15
Al ₂ O ₃	8.40	3.87	5.15	0.86	0.93	0.18
Fe ₂ O ₃	3.50	1.74	2.32	0.18	0.42	0.18
Fator de saturação da média			48.27			

12.3. Análise geoestatística

A análise geoestatística é uma etapa fundamental da avaliação de recursos por métodos geoestatístico. É dessa análise que se obtém o variograma, ferramenta essencial

para estimativas por meio da Krigagem ordinária (Yamamoto, 2001).

Para a construção dos variogramas, inicialmente os intervalos amostrados são compostos em comprimentos equivalentes às alturas das bancadas de lavra, que neste caso serão de 15 metros.

O cálculo dos variogramas experimentais, leva em conta os parâmetros de busca, que posteriormente foram ajustados, a fim de se obter o melhor modelo teórico possível. Estes parâmetros são definidos em função da geologia local (direção e mergulho das camadas) e da distribuição espacial das amostras.

Devido à quantidade de amostras e os espaçamentos entre as mesmas, não foi possível a construção de variogramas horizontais direcionais, apenas variogramas omnidirecionais puderam ser definidos e ajustados. Apesar do espaçamento médio entre os furos executados ser de 200 metros, a distância do passo utilizado nos variogramas foi de 100 metros com tolerância de 50 metros, pois variogramas calculados com passos maiores que esta não apresentaram estruturação.

A Tabela 12.4 resume os parâmetros para o cálculo dos variogramas experimentais utilizados para todas as variáveis:

Tabela 12.4. Parâmetros para o cálculo dos variogramas experimentais.

Parâmetros para o cálculo do variograma experimental						
Horizontal (omnidirecional)	Azimuth	0	Tolerância	90	Largura	1600
	Mergulho	0	Tolerância	0	Largura	0
	Passo (m)	100	Tolerância	50		
Vertical	Azimuth	0	Tolerância	22.5	Largura	30
	Mergulho	90	Tolerância	10	Largura	100
	Passo (m)	15	Tolerância	7.5		
Nº de passos	8					

Com exceção da variável MgO, que apresentou variograma experimental aleatório, os variogramas experimentais calculados para as demais variáveis foram ajustados, utilizando apenas pontos calculados para mais de 30 pares, definindo assim os variogramas teóricos e seus parâmetros.

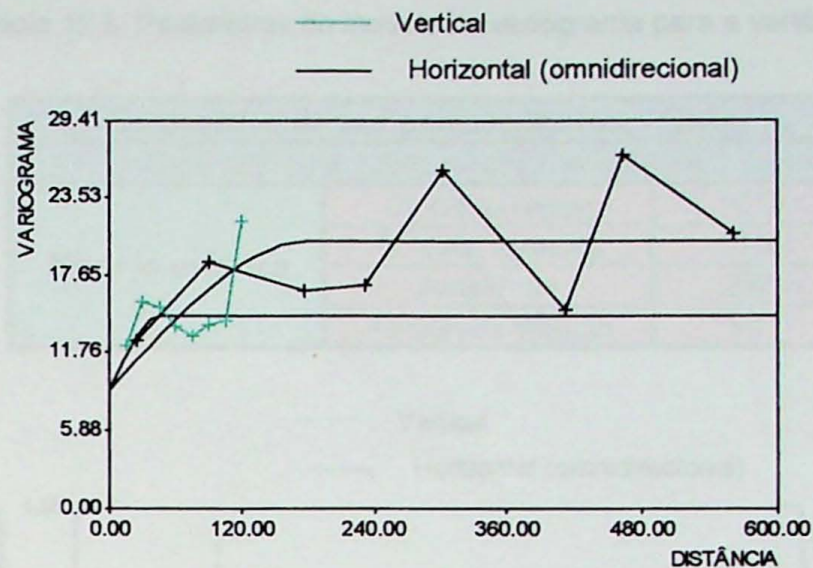


Fig. 12.2. Variograma para a variável CaO

Tabela 12.5. Parâmetros do modelo de variograma para a variável CaO.

Parâmetros do variograma teórico - CaO		
Duas estruturas - Anisotropia Mista		
Horizontal Modelo esférico	Co (Efeito pepita)	10
	C (Var. espacial)	5.6
	Amplitude	182
	Amplitude vertical	45.5
Vertical Modelo esférico	Co (Efeito pepita)	10
	C (Var. espacial)	5.6
	Amplitude	182
	Amplitude vertical	+ ∞

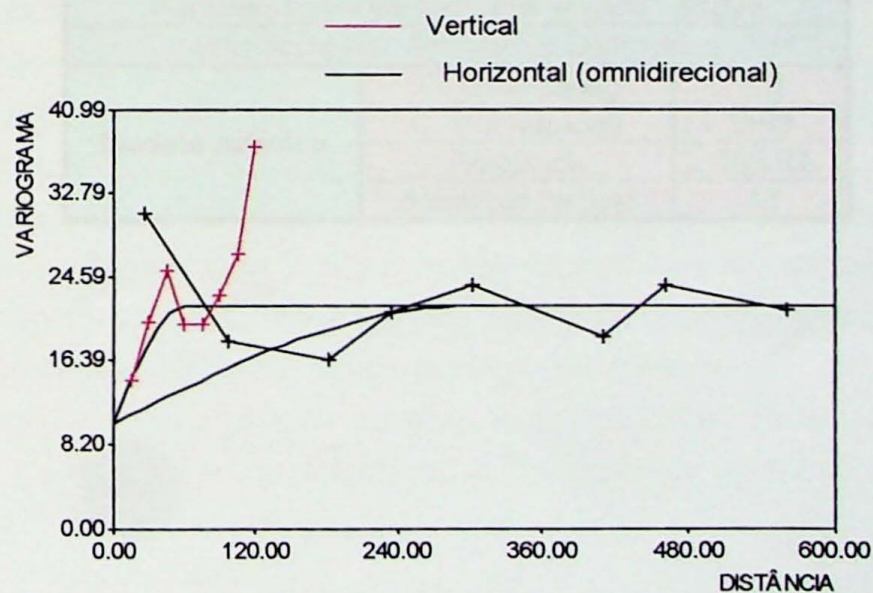


Fig. 12.3. Variograma para a variável SiO₂.

Tabela 12.6. Parâmetros do modelo de variograma para a variável SiO_2 .

Parâmetros do variograma teórico - SiO_2		
Uma estrutura - Anisotropia Geométrica		
Modelo esférico	C_0 (Efeito pepita)	10.3
	C (Var. espacial)	11.4
	Amplitude	297
	Amplitude vertical	58

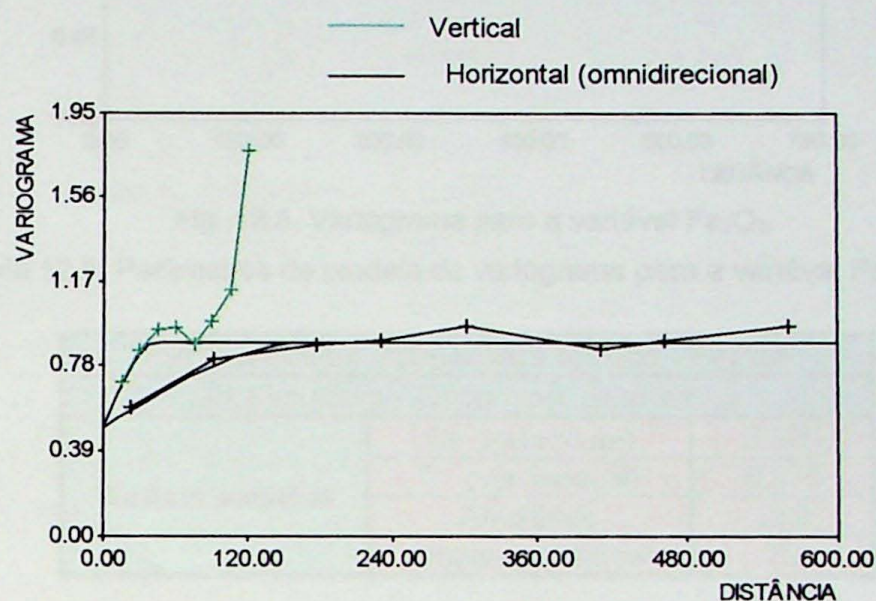


Fig. 12.4. Variograma para a variável Al_2O_3 .

Tabela 12.7. Parâmetros do modelo de variograma para a variável Al_2O_3 .

Parâmetros do variograma teórico - Al_2O_3		
Uma estrutura - Anisotropia Geométrica		
Modelo esférico	C_0 (Efeito pepita)	0.5
	C (Var. espacial)	0.39
	Amplitude	169.92
	Amplitude vertical	43

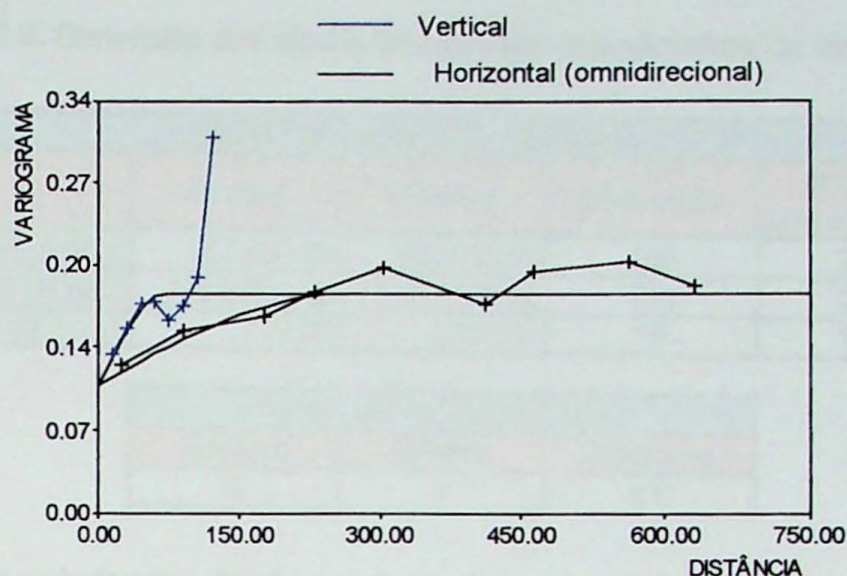


Fig. 12.5. Variograma para a variável Fe_2O_3 .

Tabela 12.8. Parâmetros do modelo de variograma para a variável Fe_2O_3 .

Parâmetros do variograma teórico - Fe_2O_3		
Uma estrutura - Anisotropia Geométrica		
Modelo esférico	Co (Efeito pepita)	0.105
	C (Var. espacial)	0.075
	Amplitude	260
	Amplitude vertical	70

12.4. Modelagem química

Calculado os parâmetros do variograma teórico para todas as variáveis, inicia-se a etapa de modelagem química da jazida, onde toda a área da jazida é dividida em blocos de cubagem e cada bloco tem um teor estimado, para cada variável estudada, por meio da krigagem ordinária.

Este trabalho, conforme descrito no Capítulo 04 (METAS E OBJETIVOS), a modelagem química da jazida será realizada com o auxílio de dois *softwares*: *Datamine* e *Geovisual*, com objetivo de comparar e complementar os resultados obtidos.

Os parâmetros dos variogramas descritos no capítulo anterior foram utilizados em ambos os *softwares*. Assim como o cálculo do teor de MgO , que foi estimado pelo método do Inverso do Quadrado da Distância (IQD), uma vez que tal variável apresentou variograma não estruturado impossibilitando os cálculos por krigagem ordinária.

Os parâmetros dos blocos de cubagem (coordenadas e cota máxima e mínima, dimensão dos blocos e número de sub-blocos) e a definição da vizinhança local (máximo, mínimo e distância máxima das amostras), utilizadas no cálculo dos modelos químico encontram-se na Tabela 12.9.

Tabela 12.9. Dimensão dos blocos de cubagem e parâmetros da vizinhança local.

Divisão dos blocos de cubagem				
	Mínimo	Máximo	Dimensão	Nº de sub-blocos
Coord. E (x)	607,600.00	608,800.00	100	2
Coord. N (y)	7,659,300.00	7,660,500.00	100	2
Cota (z)	710.00	1,050.00	15	1

Parâmetros da vizinhança		
Máximo	Mínimo	Distância
8	4	400

12.5. Modelagem química na plataforma *Datamine*

A modelagem em *Datamine* permite boa visualização do modelo construído, onde é possível visualizar perfis e plantas nas mais diversas direções e cotas. Outro ponto favorável é integração do modelo químico com o modelo litológico, onde é possível determinar a espessura do capeamento (solo) e do corpo de calcário. Através do modelo químico gerado também é possível planejar diversas alternativas de cavas e determinar os volumes de material (estéril e minério) extraídos, auxiliando no estudo da viabilidade econômica da jazida.

No entanto, o *Datamine* não calcula os parâmetros necessários para a determinação do erro associado à estimativa, como o desvio de krigagem e o desvio de interpolação.

Para a construção deste modelo foram utilizados os parâmetros do variograma definidos no *Geovisual*, e os parâmetros dos blocos de cubagem e da vizinhança local descritos anteriormente.

Após as estimativas dos teores, foi calculado o Fator de Saturação (FSC) bloco a bloco que posteriormente foram agrupados em calcário de alto teor (Calc_A – $FSC \geq 110$), calcário de teor intermediário (Calc_B – $60 < FSC < 110$) e calcário de baixo teor (Calc_EST – $FSC < 60$). Os blocos de lavra que não puderam ser estimados por falta de informações estão representados como Calc_IND.

As figuras a seguir apresentam o modelo químico nos diversos perfis de sondagem.

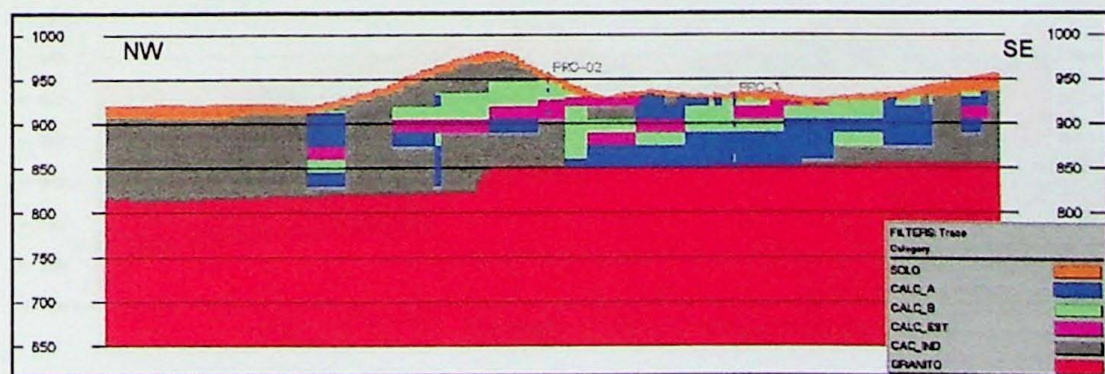


Figura 12.6. Modelo químico segundo perfil 12.

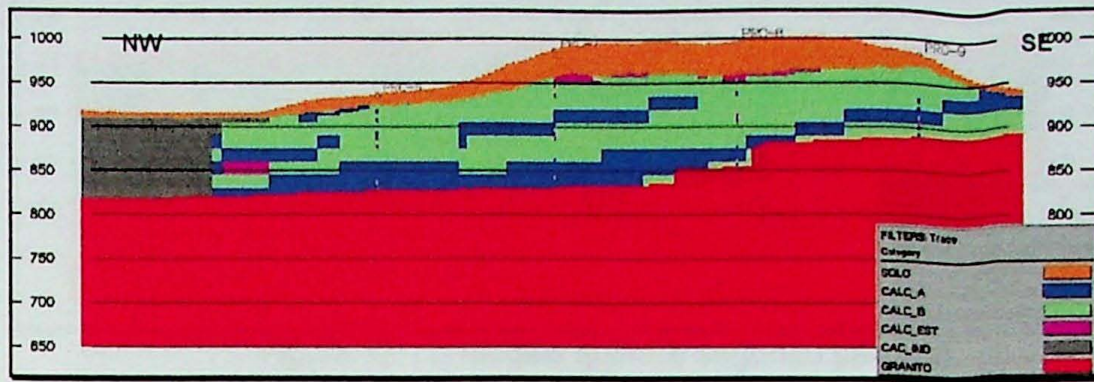


Figura 12.7. Modelo químico segundo perfil 20.

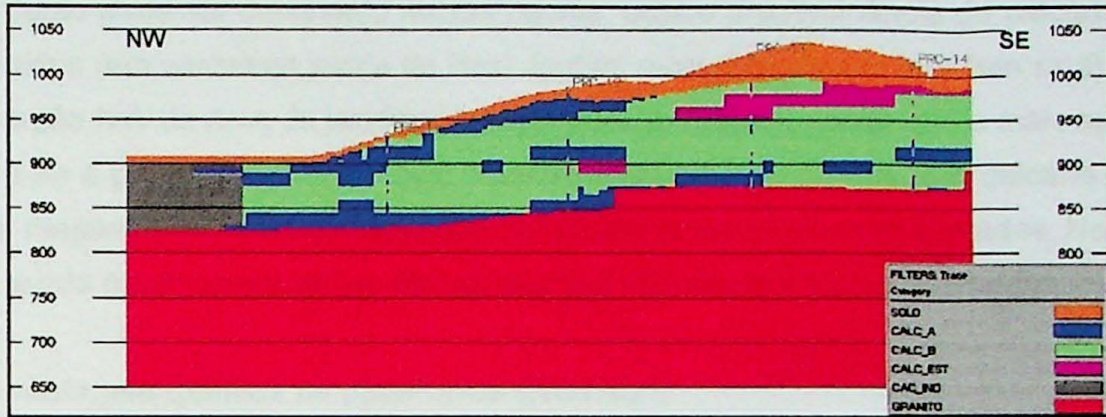


Figura 12.8. Modelo químico segundo perfil 28.



Figura 12.9. Modelo químico segundo perfil 36.

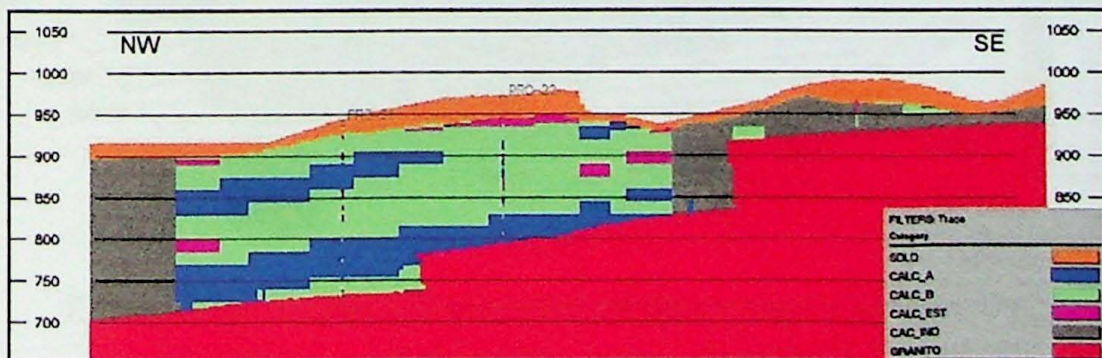


Figura 12.10. Modelo químico segundo perfil 44.

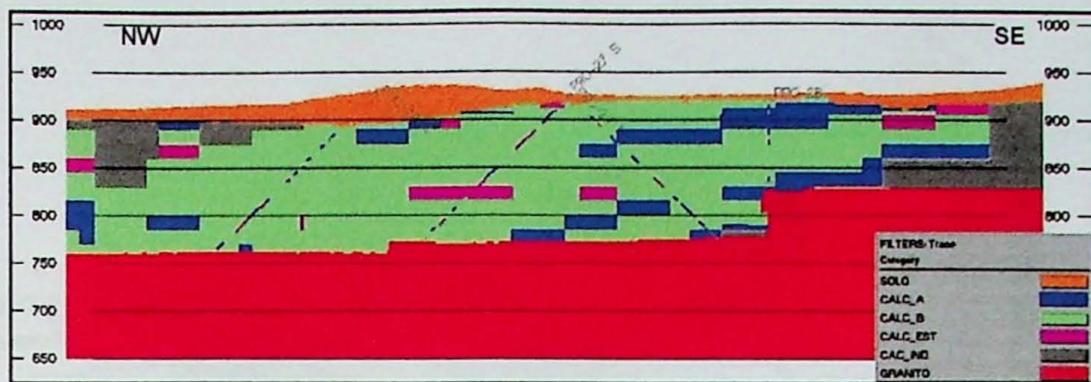


Figura 12.11. Modelo químico segundo perfil 56.

Como pode ser observado nestas figuras, ocorre predominância de calcário de teor intermediário (em verde) na jazida de Bom Jardim, o calcário de alto teor (em azul) localiza-se na porção NW da área da jazida em duas lentes principais, sendo que a mais expressiva encontra-se a grandes profundidades, mais ou menos a 150 metros, e o calcário de baixo teor (em magenta) encontra-se na porção SE da jazida em cotas mais elevadas. No extremo NW da jazida predominam blocos de calcário que não tiveram teores estimados (em cinza).

12.6. Modelagem química na plataforma *Geovisual*

Na plataforma *Geovisual*, foram construídos modelos de blocos para óxidos principais em separado com o objetivo de se conhecer e estudar a variabilidade de cada uma das variáveis ao longo da jazida.

As figuras a seguir ilustram os modelos obtidos para cada óxido, com o observador na posição N15°E e a 15° de elevação.

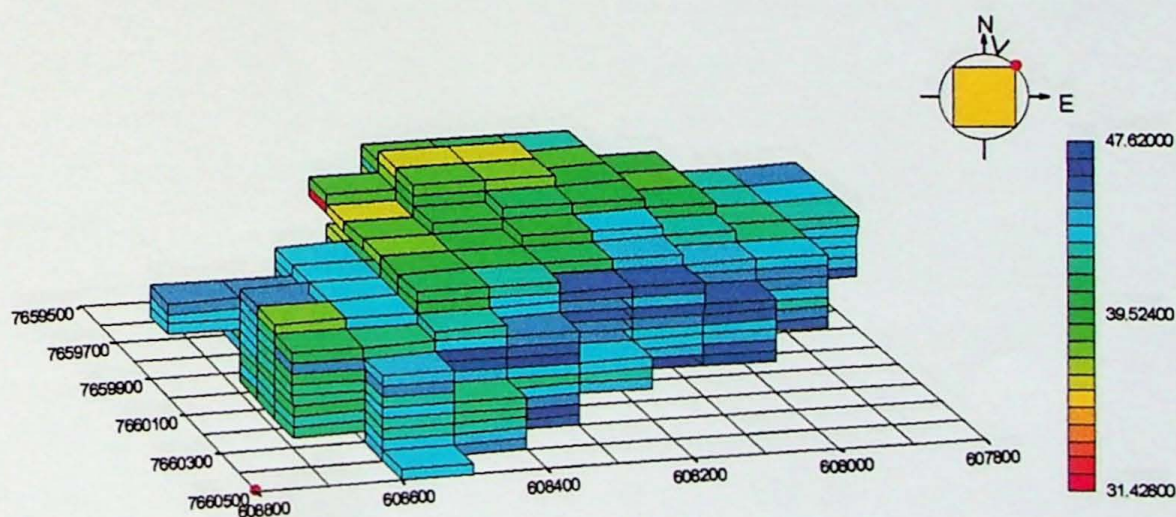


Figura 12.12. Modelo tridimensional de blocos para a variável CaO.

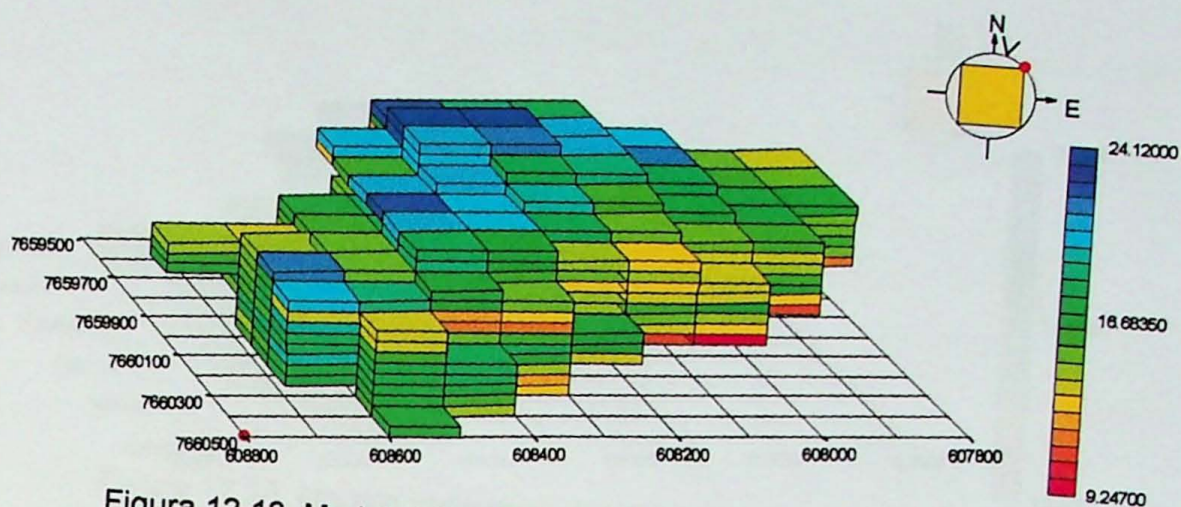


Figura 12.13. Modelo tridimensional de blocos para a variável SiO_2 .

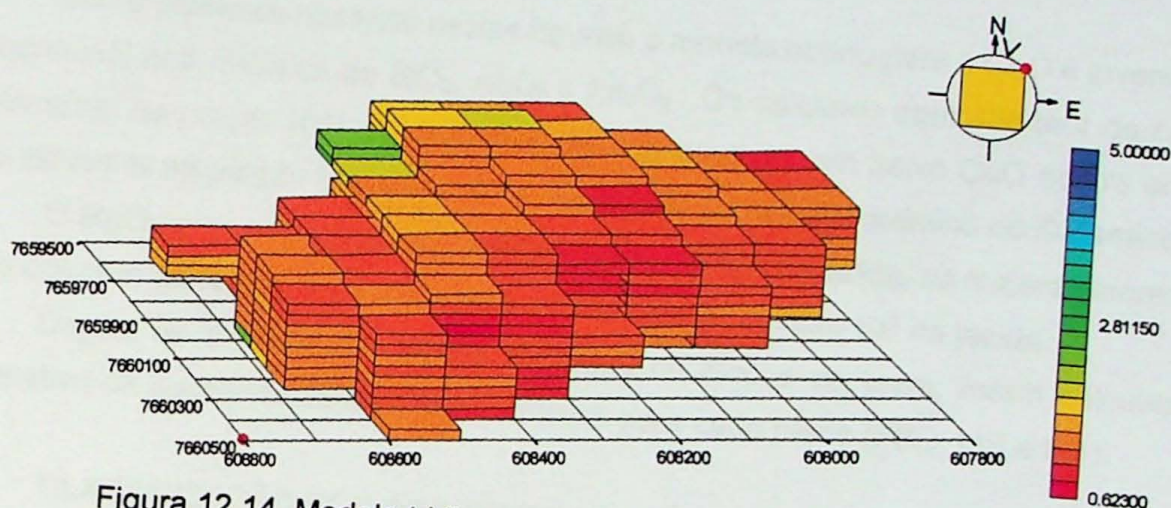


Figura 12.14. Modelo tridimensional de blocos para a variável MgO .

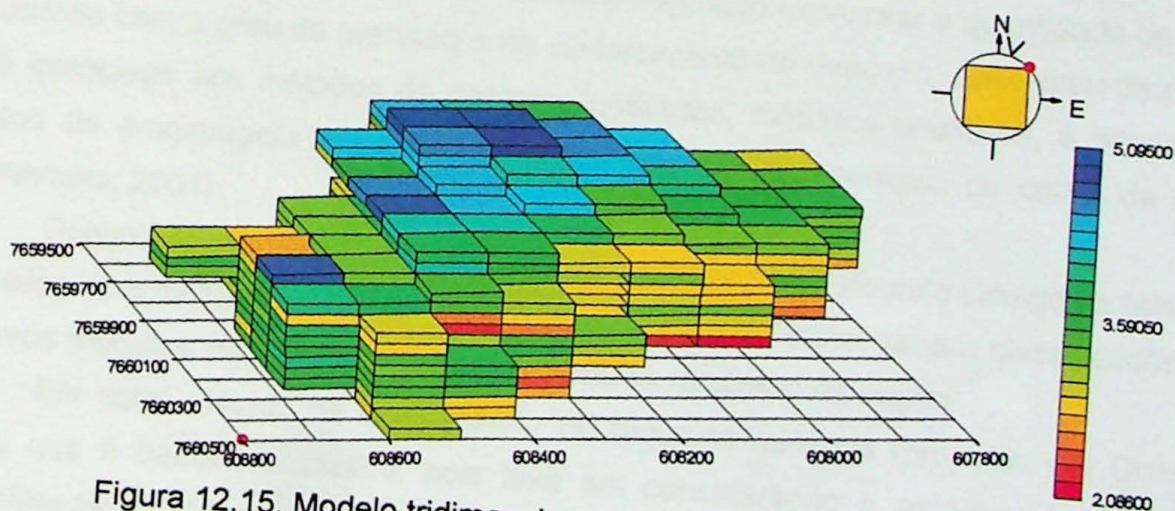


Figura 12.15. Modelo tridimensional de blocos para a variável Al_2O_3 .

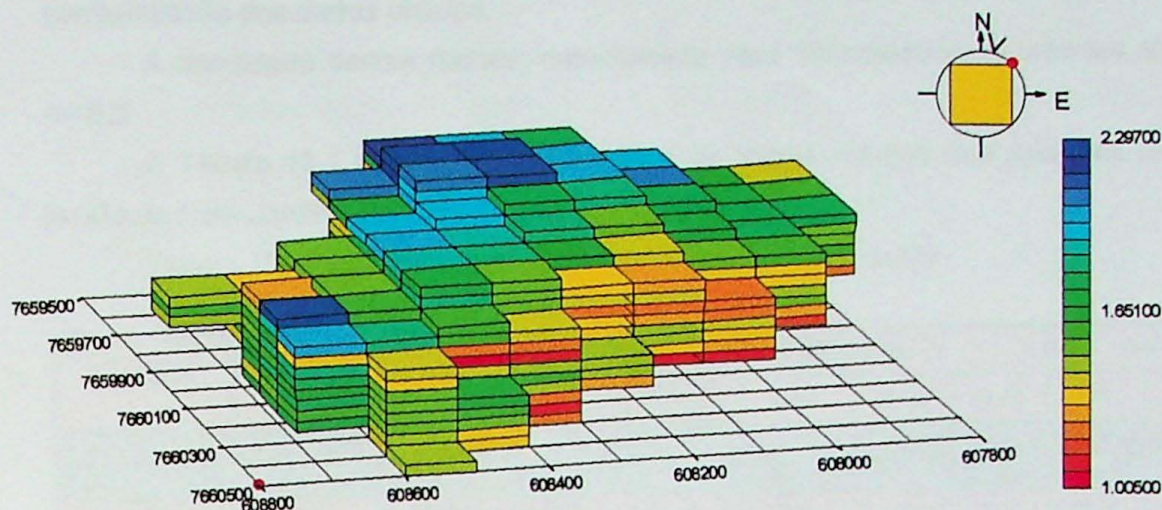


Figura 12.16. Modelo tridimensional de blocos para a variável Fe_2O_3 .

Como podemos observar nestas figuras, o modelo obtido para o CaO é inversamente proporcional aos modelos do SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 . Os calcários com alto teor de cálcio se concentram na porção NW da jazida enquanto o calcário com baixo CaO ocorre em cotas mais elevadas na porção SE, como já foi observado no modelo químico do *Datamine*.

O MgO apresenta pequena variabilidade ao longo da jazida, os maiores teores deste óxido ocorrem na região onde o calcário é mais impuro, porção SE da jazida.

Depois de calculado os teores de todos os blocos de lavra, foram calculados os parâmetros de qualidade da farinha de cimento para cada bloco (FSC, MS e MA).

13. CLASSIFICAÇÃO DOS RECURSOS DA JAZIDA

As classificações de recursos minerais permitem expressar a quantidade de minério de acordo com o grau de precisão e de conhecimento do depósito. Esse grau de precisão está associado aos métodos de pesquisa utilizados, métodos analíticos, à precisão dos pontos de amostragem e, sobretudo, à variabilidade apresentada do corpo de minério (Yamamoto, 2001).

Segundo o modelo de classificação de recursos proposto pelo Código de Mineração Brasileiro (DNPM, 1987), os recursos da jazida de Bom Jardim seriam classificados como recursos medidos, devido ao trabalho de pesquisa realizado na região.

Em outro método de classificação de recursos minerais (proposto por Diatchkov, 1994) que é bastante utilizado, pois leva em consideração a estrutura geológica e a variabilidade do depósito mineral, os recursos da jazida de Bom Jardim também são classificados em recursos medidos devido à baixa complexidade da mineração e baixo coeficiente de variação para a grande maioria das variáveis estudadas (entre 12 e 20%).

Para o cálculo dos volumes e teores de minério da área em questão utilizou-se os resultados obtidos na modelagem química, realizada na plataforma *Geovisual* dada a maior

confiabilidade dos dados obtidos.

A densidade destas rochas, determinada para 10 amostras escolhidas aleatórias é de 2,6.

A Tabela 13.1 resume a quantidade e os teores médios dos recursos medidos na jazida de Bom Jardim.

Tabela 13.1. Reservas calculadas na jazida de Bom Jardim.

TIPO	%	VOLUME (t)	TEORES MÉDIOS (%)				PARÂMETROS		
			CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FSC	MS	MA
Calc. A	10.50%	16,380,000	45.00	11.78	2.60	1.21	122.15	3.09	2.15
Calc. B	86.25%	134,560,000	42.15	15.96	3.39	1.56	84.71	3.23	2.17
Calc. Est	3%	5,070,000.00	37.79	21.62	4.64	2.11	56.08	3.20	2.20
Minério (A+B)	97%	150,930,000.00	42.46	15.52	3.30	1.52	87.81	3.22	2.17
Estéril	3%	5,070,000.00	37.79	21.62	4.64	2.11	56.08	3.20	2.20
TOTAL	100.00%	156,000,000.00	42.30	15.75	3.35	1.54	86.23	3.22	2.18

A Fig. 13.1, que representa os recursos por nível, observa-se que apenas nos níveis superiores é que ocorrem o calcário estéril e os níveis inferiores, principalmente os níveis 845 e 830, ocorrem as maiores concentrações de calcário de alto teor.

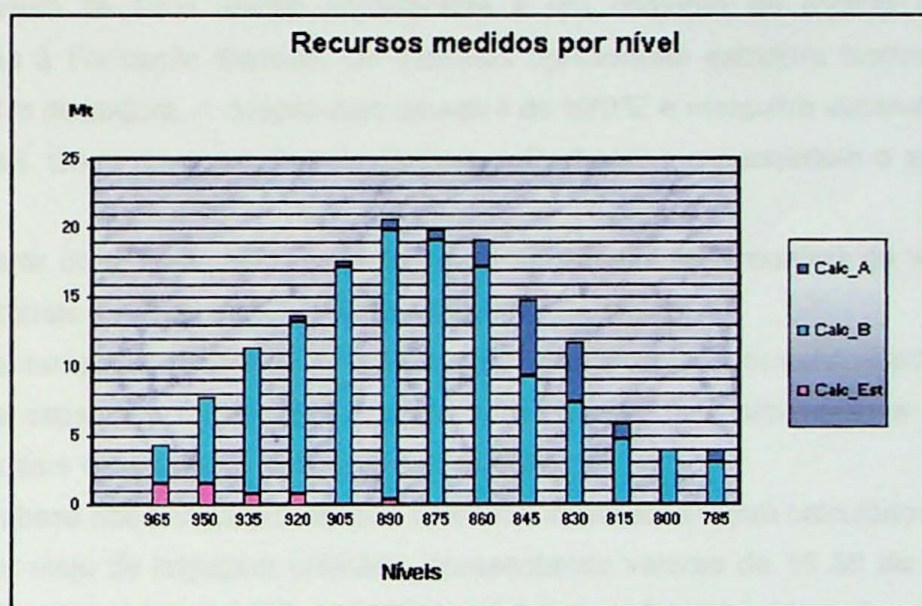


Fig. 13.1. Distribuição dos tipos de calcário por nível.

13.1. Necessidade de Matéria-Prima

Como pode ser observado na Tabela 13.1, os recursos de minério, ou seja a soma do calcário A com o calcário B, apresenta baixo valor de Fator de Saturação (média = 87.81), descartando a possibilidade da implantação de um empreendimento cimenteiro apenas com os recursos apresentados.

Num estudo preliminar, apresentado na Tabela 20.3., indica a necessidade de aproximadamente 20 milhões de toneladas de calcário com a média de fator de saturação

igual à média da reserva de calcário A, para atingir um fator de saturação médio considerado satisfatório para a indústria cimenteira nos dias de hoje.

Tabela 13.2: Estimativa de necessidade de matéria-prima para a produção de cimento.

TIPO	%	VOLUME (t)	TEORES MÉDIOS (%)				PARAMETROS		
			CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FSC	MS	MA
Calc_A	9.58%	16,380,000.00	45.00	11.78	2.60	1.21	122.15	3.09	2.15
Calc_B	78.72%	134,550,000.00	42.15	15.98	3.39	1.56	84.71	3.23	2.17
Necessidade	11.70%	20,000,000.00	45.00	11.78	2.60	1.21	122.15	3.09	2.15
TOTAL	100.00%	170,930,000.00	42.76	13.71	2.92	1.34	100.14	3.22	2.17

Grande parte destes 20Mt de calcário de alto teor necessário deverá ser usado para suprir a carência deste material nos níveis superiores, como mostra a Fig. 20.2.

É evidente que estudos detalhados referentes à viabilidade econômica tanto referente à implantação de um empreendimento mineiro como a viabilidade da aquisição de matéria-prima ou da implantação de uma lavra de calcário corretivo, deverão ser executados levando em consideração os valores apresentados neste trabalho.

14. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- A jazida de Bom Jardim corresponde a um conjunto de rochas carbonáticas, pertencentes à Formação Barroso. Os calcários apresentam estrutura lenticular, NW-SE, com até 1 Km de largura. A direção aproximada é de N70°E e mergulho variando entre 10° a subhorizontal. Gnaisses e granitos do Complexo Barbacena representam o embasamento na região;
- A partir do mapeamento geológico e descrição dos testemunhos de sondagem foi possível estabelecer a estratigrafia para os calcários da região;
- Levantamentos geofísicos por sísmica de refração e eletrorresistividade permitiram identificar a espessura de calcário e capeamento da jazida assim como a presença de falhas, fraturas e estruturas de dissolução do calcário.
- Com base nos resultados das 886 amostras analisadas foram calculados os recursos minerais por meio de krigagem ordinária, apresentando valores de 16 Mt de calcário com fator de saturação maior que 110; 130 Mt de calcário com fator de saturação entre 60 e 110 e 5 Mt de calcário com fator de saturação menor que 60, estes recursos foram classificados como medido segundo a classificação do DNPM.
- Tendo em vista a implantação de uma indústria cimenteira na região, estima-se a necessidade de aproximadamente 20 Mt de calcário corretivo com fator de saturação maior que 120.
- Recomenda-se a execução de três furos de sonda complementares na porção NW da área alvo, conforme indicado no Anexo 2. Esta pesquisa adicional tem como objetivo

confirmar a continuidade dos corpos de calcário de alto teor nesta região da jazida, pois se confirmada esta ocorrência a necessidade de calcário corretivo poderá ser diminuída ou, até, descartada. Assim como a execução de furos pioneiros na porção NE do decreto.

➤ A partir das informações contidas neste trabalho, estudos detalhados relativos à viabilidade econômica do empreendimento deverão ser executados, principalmente na questão referente à aquisição de matéria-prima.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAUER, L.A.F. 1994. Materiais de construção; vol.1; Ed. Ltc; São Paulo; 159p.
- BROOKER, P. I. 1979. Kriging. Eng. & Min. J., 88(A13-A22).
- DEPATAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL – DNPM, 1987. Código de mineração e legislação correlativa. Brasília, DNPM. 333p.
- DIATCHKOV, S. A. 1994. Principles of classification of reserves in the CIS countries. Min. Eng., 46 (3):214-217.
- EBERT, H. 1956a. Pesquisas geológicas na parte sudeste do estado de Minas Gerais. In: BRASIL. Divisão de Geologia e Mineralogia, *Relatório Anual do Diretor*. Rio de Janeiro DNPM/DGM. p. 79-83.
- EBERT, H. 1956b. Seção de Petrografia. In: BRASIL. Divisão de Geologia e Mineralogia, *Relatório Anual do Diretor*. Rio de Janeiro DNPM/DGM. p. 97-107.
- EBERT, H. 1967. A estrutura pré-cambriana do sudeste de Minas Gerais e áreas adjacentes. B. Paranaense de Geociências. Curitiba, 26:42-4.
- EBERT, H. 1968. Ocorrências de fácies granulíticas no sul de Minas Gerais e em áreas adjacentes, em dependências da estrutura orogênica; hipótese sobre sua origem. An. de Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro 40:215-29. (Suplemento).
- EBERT, H. 1971. Os paraibides entre São João del Rei, Minas Gerais e Araxáides. In: CONGR. BRAS. GEOL, 25, São Paulo, SP, 1971. Resumo das Comunicações, São Paulo, SBG, p. 177-78.
- ERICHSEN, A.I. 1929. Geologia da folha de São João del Rei, estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, SGMB. (Boletim 36).
- FROIDEVAUX, R. 1982. Geostatistics and ore reserve classification. CIM Bull. 75 (843): 77-83.
- GOOVAERTS, P. 1997. Geostatistics for natural resources evaluation. Oxford University Press, New York, 483p.
- MATHERON, G. 1971. The theory of regionalized variables and its applications. Fontainebleau, École Nationale Supérieure des mines de Paris. 211p. (Les Cahiers de Centre De Morphologie mathématique de Fontainebleau, 5).
- RIBEIRO, A. 1996. Estratigrafia e paleoambientes nas sucessões metassedimentares proterozóicas das Serras do Lenheiro e São José, São João del Rei, sul de Minas Gerais. Tese de Doutorado IG-UFRJ, Rio de Janeiro. 167p.
- ROLFF, P.A.M.A. 1945. A cassiterita de São João del Rei. Mineralogia e metalurgia. 10(56):83.
- ROLFF, P.A.M.A. 1947. A província estanífera do Rio das Mortes, Minas Gerais. Rev. EMOP. ano XII (3):25.
- ROLFF, P.A.M.A. 1952. Geologia da província estanho-litínifera do Rio das Mortes.

ROLFF, P.A.M.A. 1953. Os pegmatitos da Colônia, Prados, Minas Gerais. Rev. EMOP. ano XVIII (3):5.

ROLFF, P.A.M.A. 1957. Notas sobre a geologia de São João del Rei. Rev. EMOP. ano XXI (2):64.

TEIXEIRA, W. 1985. A evolução geotectônica da porção meridional do cráton São Francisco, com base em interpretações geocronológicas. Tese de doutorado IGc-USP, São Paulo, SP, 207p.

de TOMI, G. 2001. Modelagem geológica informatizada em *Datamine*. In: YAMAMOTO, J.K. ed. Edusp. Avaliação e classificação de reservas minerais. São Paulo, SP. p. 163-191.

TROUW, R.A.J.; RIBEIRO, A. & PACIULLO, F.V.P. 1980. Evolução estrutural e metamórfica de uma área a SE de Lavras, Minas Gerais. In: CONGR. BRAS. GEOL, 31, Camburiú, SC, 1980. Anais... Camburiú, SBG. v.5, p. 2773-84.

TROUW, R.A.J.; RIBEIRO, A. & PACIULLO, F.V.P. 1983. Geologia estrutural dos grupos São João del Rei, Carrancas e Andrelândia, sul de Minas Gerais. Anais da Acad. Bras. Ciên. Rio de Janeiro, 55(1):71-85.

TROUW, R.A.J.; RIBEIRO, A. & PACIULLO, F.V.P. 1986. Contribuição à geologia da folha Barbacena-1:250.000. In: CONGR. BRAS. GEOL, 34, Goiânia, GO, 1986. Anais... Goiânia, SBG. v.2, p.974-86.

VALERIANO, C.M. 1985. Geologia estrutural e estratigrafia do Grupo São João del Rei, Minas Gerais. Tese de Mestrado, IG-UFRJ, Rio de Janeiro. 105p.

VIANA, H.S. 1991. Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil. Folha Barbacena: SF.23-X-C-III. Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, DNPM/CPRM. 184p.

YAMAMOTO, J.K. & ROCHA M.M. 1996. Revisão e recomendações para o cálculo e classificação de reservas minerais. Rev. Bras. Geoc., 26(4): 243-254.

YAMAMOTO, J.K. & CONDE R.P. 1999. Classificação de reservas minerais usando a variância de interpolação: Rev. Bras. Geoc., 29(3): 465-474.

YAMAMOTO, J.K. 2001. Avaliação e classificação de reservas minerais. 1º ed, São Paulo, SP. ed. Edusp.

YAMAMOTO, J.K. 2002. 2º Curso de Geoestatística aplicada. 1º ed, São Paulo, IG-USP. 76 pág.

SITES CONSULTADOS NA WEB

Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP)

– www.abcp.com.br

Companhia Elétrica Mineira (CEMIG)

– www.cemig.com.br

Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM)

– www.dnpm.gov.br

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)

– www.ibge.gov.br

Votorantim Cimentos

– www.votorantimcimentos.com.br



Foto 01 – Levantamento geofísico por sísmica de refração.



Foto 02 – Levantamento geofísico por caminhamento elétrico.



Foto 03 – Campanha de sondagem (Sonda modelo Mark 700).

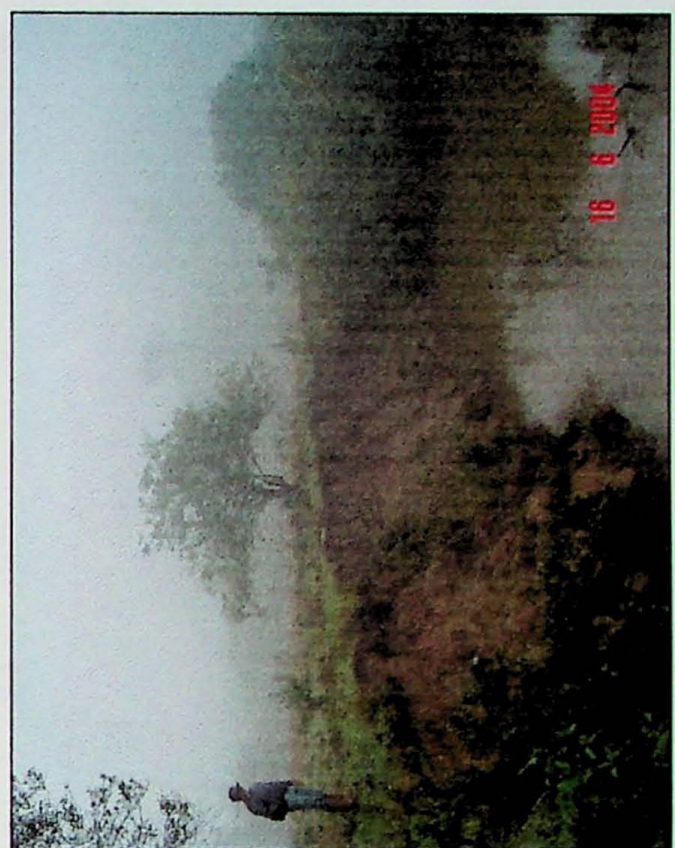


Foto 04 – Sedimentos cenozóicos às margens do rio Loures.

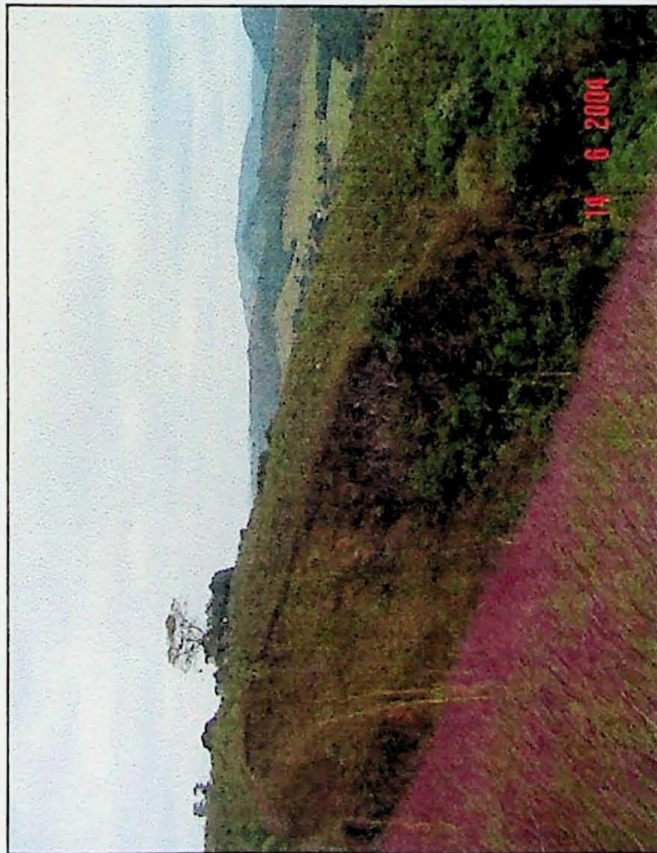


Foto 05 – Frente de lava de calcário cinza laminado.

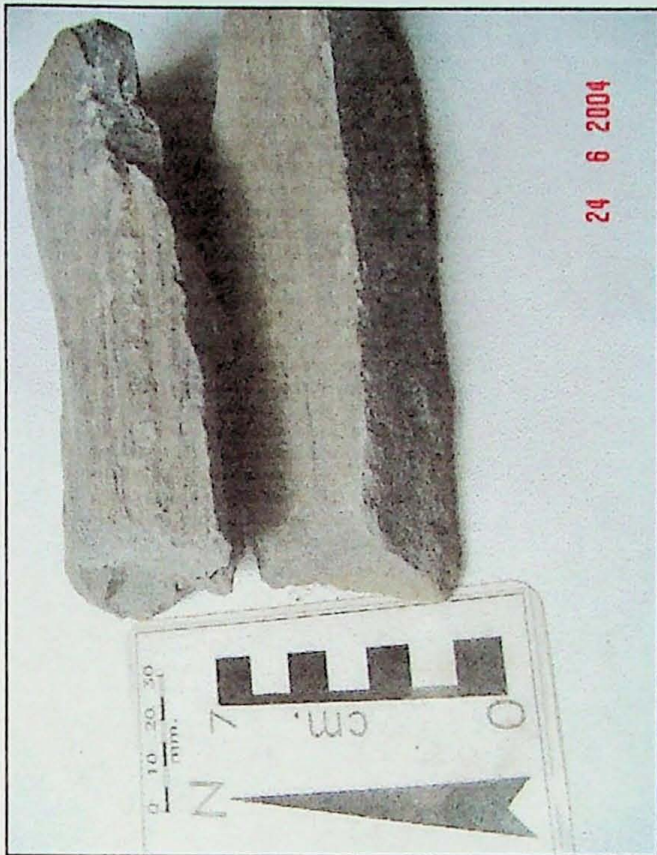


Foto 06 – Calcário cinza escuro laminado.

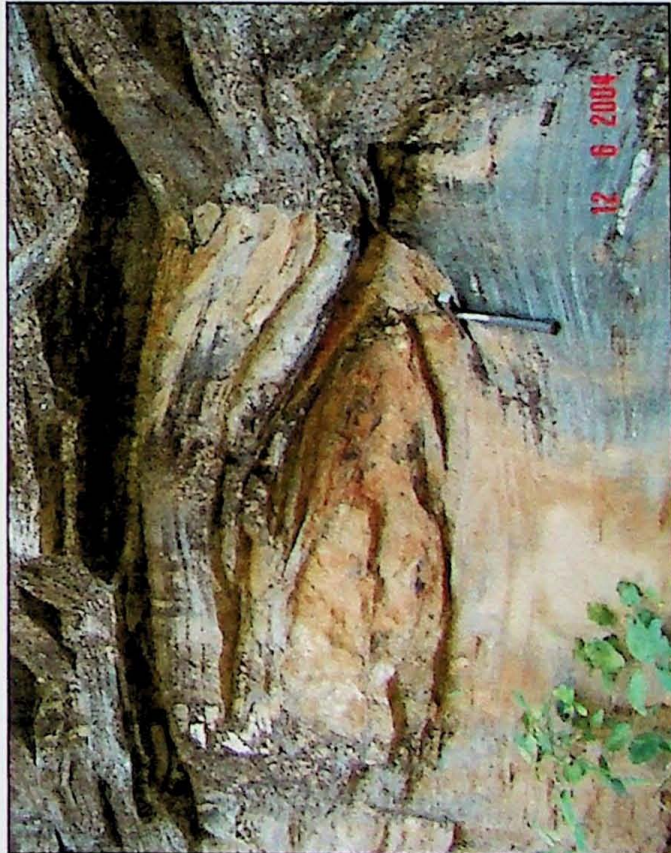


Foto 07 – Boudins de quartzito.

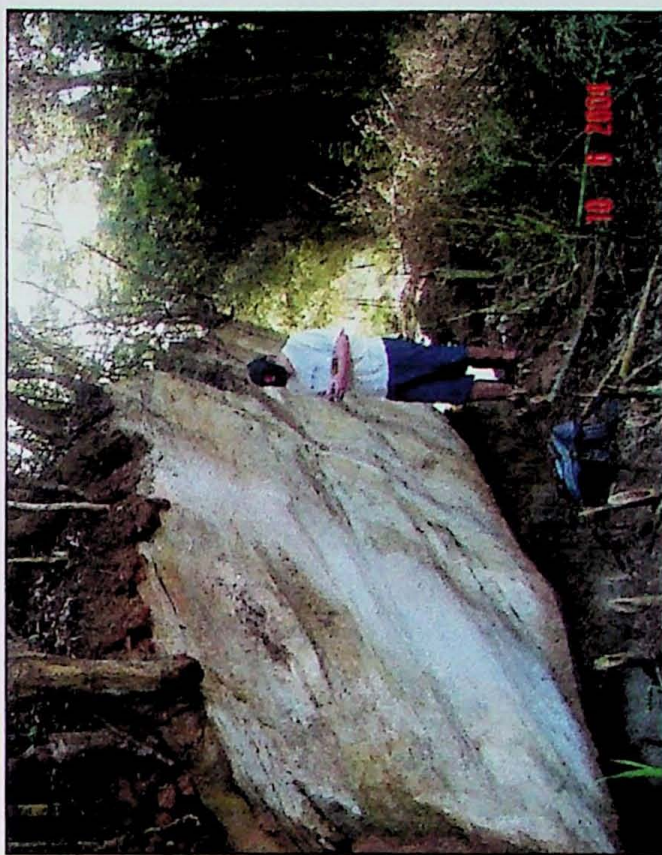


Foto 08 – Afloramento de calcário branco laminado (ponto 15).

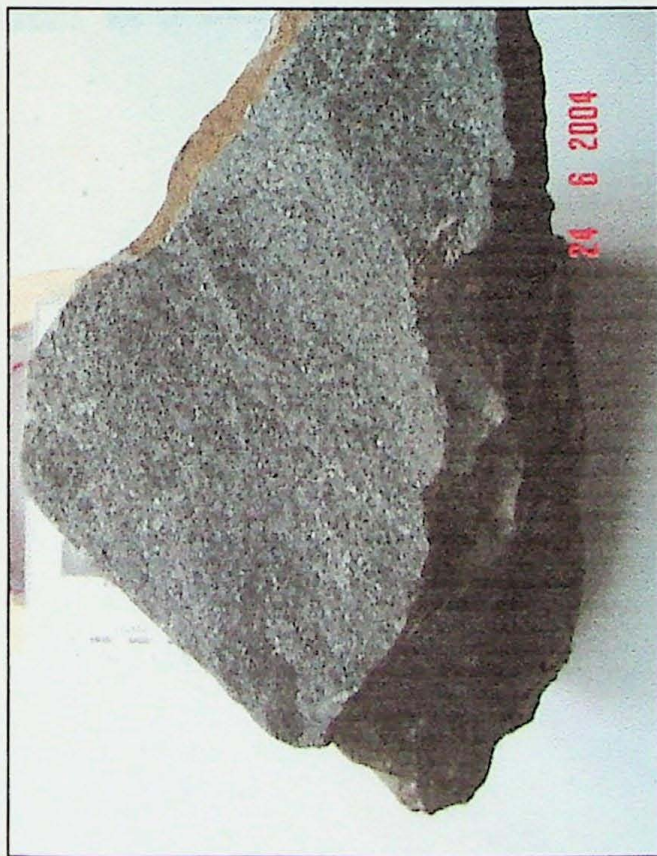


Foto 09 – Calcário cinza escuro sacaroidal.



Foto 10 – Veio de quartzo dobrado.

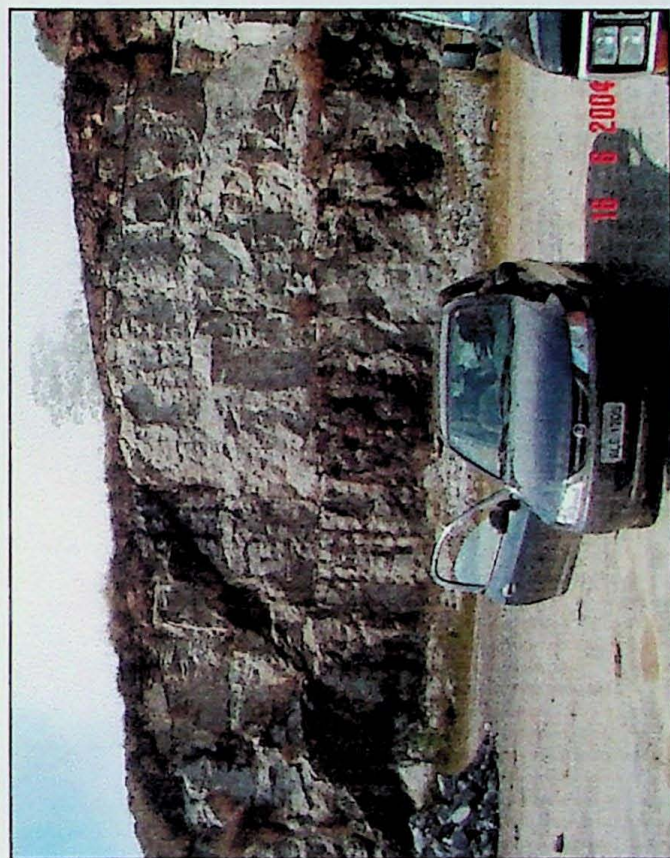


Foto 11 – Pedreira de gnaise do Complexo Barbacena.

