

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
SETOR CIÊNCIAS DA TERRA

REAValiação DE JAZIDA DE MÁRMORE DOLOMÍTICO EM RIO BRANCO DO
SUL, PARANÁ

LUIZ FELIPE NADALIN

CURITIBA – PR
2015

LUIZ FELIPE NADALIN

REAValiação DE JAZIDA DE MÁRMORE DOLOMÍTICO EM RIO BRANCO DO
SUL, PARANÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina TCC-II como requisito à obtenção do grau de geólogo no curso de graduação em Geologia, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Rubens José Nadalin

CURITIBA – PR

2015

A todos aqueles que de alguma forma estiveram e estão próximos de mim,
fazendo esta vida valer cada vez mais a pena.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Rubens José Nadalin, pelo acompanhamento e orientação.

Ao curso de Geologia do Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná, na pessoa do coordenador Prof. Rubens José Nadalin.

Aos professores Fernando Mancini, Barbara Trzaskos e Maria Cristina de Souza pelas contribuições, acompanhamento e sugestões no trabalho.

Ao geólogo Rosiney Gandolfi Machado, proprietário da empresa Mineral Geologia, por fornecer os recursos financeiros e logísticos necessários para o projeto.

À empresa Cal Cem Indústria de Minérios Ltda por permitir o trabalho na mina Boa Vista.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

RESUMO

Este trabalho de Conclusão de Curso teve como objetivo principal aprender na prática como avaliar uma jazida de mármore dolomítico utilizando o método das seções geológicas. A área selecionada, de propriedade da empresa Cal Cem Indústria de Minérios Ltda, fica situada no município de Rio Branco do Sul (PR), na localidade de Boa Vista. Foram realizadas atividades de mapeamento geológico na escala 1:3.000, coletadas amostras de fragmento de rochas carbonáticas e realizadas sondagens com trado manual. Paralelamente foram feitos estudos bibliográficos com o intuito de conhecer os usos e aplicações industriais dessas rochas. A cubagem da jazida revelou um volume de 3.169.629,206 toneladas de reserva medida e uma vida útil para a jazida em torno de setenta e seis anos. As análises químicas mostraram que o material possui características para uso em diversos ramos da indústria, como por exemplo em corretivo de solos, fabricação da cal, vidros, produtos farmacêuticos, ração animal, entre outros.

Palavras-Chave: Cubagem; Formação Capiuru; Mármore dolomítico. Rochas e minerais industriais.

ABSTRACT

This final paper aimed to learn in practice how to evaluate a dolomitic marble deposit using the geological sections method. The selected area, Cal Cem Indústria de Minérios Ltda, is located in Rio Branco do Sul city, Boa Vista town, Paraná. It was made a geological mapping with the scale 1: 3,000, collected fragment samples of carbonatic rocks for chemical analysis and drilled boreholes with manual auger. At the same time, bibliographic studies were made in order to know the uses and industrial applications of these rocks. The calculation of the deposit revealed a measured reserve of 3,169,629.206 tons and a lifespan for the mine around seventy-six years. The chemical analysis revealed that the material has characteristics for the use in various branches of industry, eg in soils amendments, lime manufacturing, glass, pharmaceutical products, animal ration, among others.

Keywords: Deposit calculation; Capiru Formation; Dolomitic marble; Rocks and industrials minerals.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – (a) Mapa do Estado do Paraná com destaque dos municípios de Curitiba e Rio Branco do Sul, em vermelho. (b) Imagem do Sistema <i>Google Earth</i> com a rota para chegar à mina Boa Vista, a partir da Rodovia dos Minérios (PR-092), passando pelo município de Rio Branco do Sul.	13
Figura 2 – Localização da área de estudo no contexto regional do sudeste do Paraná, com a seta vermelha apontando para a localização aproximada da mina Boa Vista. Extraído do Fiori, 1992.	15
Figura 3 – Vista panorâmica da mina Boa Vista, evidenciando as bancadas atuais que foram cubadas.	21
Figura 4 – Mapa base do processo minerário DNPM nº 801.919/1974 com os pontos de controle utilizados na atualização das frentes de lavra, em comparação com a imagem do Sistema <i>Google Earth</i>	23
Figura 5 – Imagem demonstrando como foi calculada a altura aproximada do talude em relação a altura de uma pessoa de dois metros. Essa bancada possui altura de aproximadamente dezessete metros.	24
Figura 6 – Mateiros abrindo uma picada de aproximadamente um metro de largura em mata fechada seguindo o azimuth W.	25
Figura 7 – Imagem demonstrando o material recolhido pela sondagem do trado manual no ponto de trado 04, com o detalhe de fragmentos de mármore dolomítico em meio a solo castanho avermelhado argiloso.	26
Figura 8 – Mapa Geológico da Mina de Boa Vista na escala 1:3000	27
Figura 9 – Todos os fragmentos que foram retirados para compor a amostra AM-01, retirados a cada dez centímetros da frente de lavra do afloramento 01, com volume aproximado de 1 cm ³	28
Figura 10 – Face sul do afloramento 03 de mármore dolomítico, indicando o local de coleta de oito metros (linha vermelha) da amostra AM-04, evidenciando intenso fraturamento.	29
Figura 11 – Seções geológicas A, B, C, D indicando as reservas medida, indicada e o material estéril.	31
Figura 12- Seções geológicas E, F, G e H indicando as reservas medida, indicada e o material estéril.	32
Figura 13 – Esquema das áreas de influência dos blocos de cubagem.	34
Figura 14 – (a) Frente de lavra da mina Boa Vista com bandamento composicional bem marcado, ponto 01. (b) Afloramento no meio da mata com cabeça de mármore dolomítico de um metro de altura, mostrando a rocha intemperizada, ponto 08.	35
Figura 15 – (a) Amostra de mármore dolomítico cinza com detalhe do bandamento composicional evidente pela intercalação de níveis milimétricos de cor cinza clara, ponto 18. (b) Amostra de mármore dolomítico com níveis milimétricos de xisto, ponto 01.	36

Figura 16 – (a) Quartzo-sericita filito castanho com cristais de até dois milímetros de quartzo orientados definindo a foliação S1, ponto 07. (b) Metarenito com cristais subarredondados e esféricos de quartzo de até um milímetro, orientados definindo a foliação S1, ponto 07.	37
Figura 17 – Amostra de quartzo-muscovita xisto com cristais milimétricos orientados, definindo a S1.	38
Figura 18 – Estereograma das medidas de S1 de bandamento composicional do mármore dolomítico e xistosidade fina do filito. A linha vermelha representa a direção média N30E/80NW. Total de 14 medidas.....	39
Figura 19 – Dobra milimétrica em amostra de mão de mármore dolomítico observada na frente de lavra do ponto 02, ocorrendo próximo ao plano de falha N65E/65NW.	40
Figura 20 – (a) Espelho de falha de direção N65E/65NW com preenchimento de material micáceo esverdeado no mármore dolomítico do ponto 02. (b) Espelho de falha transcorrente dextral com direção N15W/88NE e estria N176/25 no mármore dolomítico do ponto 03.	41
Figura 21 – Resultados das análises químicas para os óxidos de cálcio, magnésio, ferro e sílica+ resíduos insolúveis, feita pelo laboratório da Cal Cem.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das rochas carbonáticas segundo Bigarella (1956) e Pettijohn (1957) <i>apud</i> Nadalin (1986).	17
Tabela 2 – Tabela demonstrativa dos cálculos das reservas medida e indicada, realizado no Microsoft Excel.....	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 LOCALIZAÇÃO.....	12
1.2 OBJETIVOS.....	14
2 GEOLOGIA REGIONAL	14
3 MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	17
3.1.1 Classificação das Rochas Carbonáticas	17
3.1.2 Aplicações das Rochas Carbonáticas	18
3.1.3 Reservas Medida e Indicada.....	20
3.2 MAPEAMENTO GEOLÓGICO.....	21
3.2.1 Fotointerpretação Geológica	22
3.2.2 Trabalho de Campo.....	22
3.2.2.1 Atualização do Mapa Base.....	22
3.2.2.2 Abertura de Picadas.....	24
3.2.2.3 Trado Manual	25
3.2.2.4 Mapa Geológico	26
3.2.2.5 Coleta de Amostras.....	28
3.3 CUBAGEM DA JAZIDA.....	29
3.3.1 Reserva Medida e Indicada.....	29
3.3.2 Área de Influência	34
3.3.3 Cálculo	33
3.4 LABORATÓRIO.....	33
4 RESULTADOS.....	34
4.1 GEOLOGIA.....	35
4.1.1 Mármore Dolomítico	36
4.1.2 Quartzo-Sericita Filito	36
4.1.3 Quartzo-Muscovita Xisto	38
4.1.4 Estruturas Dúcteis	38
4.1.5 Estruturas Rúpteis.....	40
4.2 CUBAGEM	41
4.3 ANÁLISES QUÍMICAS.....	43

5 DISCUSSÕES.....	44
5.1 VIABILIDADE ECONÔMICA.....	44
5.2 APLICAÇÕES DO MINÉRIO.....	45
6 CONCLUSÕES.....	45
REFERÊNCIAS	47
ANEXO 1	48
ANEXO 2	49

1 INTRODUÇÃO

A cubagem de jazidas minerais é uma etapa obrigatória para todo projeto de pesquisa mineral requerido ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), órgão gestor e regulador da mineração no Brasil, vinculado ao Ministério de Minas e Energia.

A pesquisa desenvolvida nesse trabalho consiste em reavaliar o volume de minério de mármore existente na porção ocidental da área da Portaria de Concessão de lavra outorgada ao processo Minerário DNPM nº 801.919/1974, com uma superfície de 26 hectares, de titularidade da empresa Cal Cem Indústria de Minérios Ltda. A mina Boa Vista está em atividade e localiza-se no município de Rio Branco do Sul, sudeste do estado do Paraná. O material explotado no local destina-se principalmente à indústria de fabricação de tinta.

As rochas mapeadas pertencem à Formação Capiru, Grupo Açungui, de idade Neoproterozóica (Fiori, 1992). Predominam na área os mármore dolomíticos intercalados por lentes de filitos, metarenitos e xistos, apresentando direção das camadas N30E com altos ângulos de mergulho.

O método de avaliação da jazida adotado nesse trabalho é a cubagem por seções geológicas, sendo então definidos os volumes em tonelada das reservas medida e indicada da pedreira, juntamente com sua viabilidade econômica. As análises químicas realizadas revelaram que o material pode ser utilizado em diversas áreas da indústria, como cal e corretivo de solo, entre outras.

1.1 LOCALIZAÇÃO

Rio Branco do Sul é um município localizado a sudeste do estado do Paraná a cerca de trinta quilômetros de distância de Curitiba. Para acessar a área de estudo, deve-se seguir pela Rodovia dos Minérios (PR-092), passar pela cidade de Almirante Tamandaré até chegar no município de Rio Branco do Sul. Na entrada do mesmo, deve-se tomar a rua Otávio Furquim e seguir em frente até chegar à rua Palmeira. Após percorrer dois quilômetros, chega-se à sede da Cal Cem Indústria

de Minérios Ltda, e mais dois quilômetros à frente chega-se à mina Boa Vista, local em que foi realizado o trabalho (figura 1).



Figura 1 – (a) Mapa do Estado do Paraná com destaque dos municípios de Curitiba e Rio Branco do Sul, em vermelho. (b) Imagem do Sistema *Google Earth* com a rota para chegar à mina Boa Vista, a partir da Rodovia dos Minérios (PR-092), passando pelo município de Rio Branco do Sul.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo aprender na prática como avaliar uma jazida de mármore utilizando o método das seções geológicas, para determinação das reservas medida e indicada da área e a viabilidade econômica do material.

Outro objetivo é verificar quais os usos e aplicações das rochas carbonáticas nas diferentes indústrias que utilizam esse bem mineral, determinando qual a melhor aplicação para o minério da jazida estudada.

2 GEOLOGIA REGIONAL

O Grupo Açungui, de idade Neoproterozoica, foi inicialmente descrito por Bigarella e Salamuni (1958) com as seguintes formações, da base para o topo: Setuva, Capiu e Votuverava. Posteriormente, Marini et al (1967) desmembraram a Formação Votuverava e adicionam uma nova formação em seu topo estratigráfico, a Formação Água Clara. Com a evolução dos conhecimentos nos anos 80 e em função do grau metamórfico mais elevado e padrão estrutural, as formações Setuva e Água Clara foram consideradas mais antigas (Mesoproterozoico) e posicionadas abaixo do Grupo Açungui (Pontes, 1982; Fritzsons *et al.*, 1982; *apud* Fiori, 1992. Pontes (1982) desmembra a Formação Votuverava criando a Sequência Antinha, mais jovem e de grau metamórfico mais baixo, e Dias & Salazar Jr. (1987) *apud* Fiori (1992) a posicionam no topo do Grupo Açungui.

Outros autores apresentam propostas estratigráficas diferentes para o Grupo Açungui, como Campanha & Sadowski (1999). Eles o classificam como Supergrupo Açungui, composto pelo Grupo Itaiacoca, Formação Água Clara, Grupo Votuverava, Formação Capiu e Grupo Setuva.

Neste trabalho será considerada a proposta estratigráfica de Fiori (1992), que apresenta o Grupo Açungui como sendo composto pelas formações Capiu, Votuverava e Antinha. Mesmo cada Formação podendo ser elevada à categoria de Grupo, a nomenclatura de Fiori (1992) será mantida, pela falta de informações conclusivas sobre sua estratigrafia, que não é original devido ao grande retrabalhamento tectônico (figura 2).

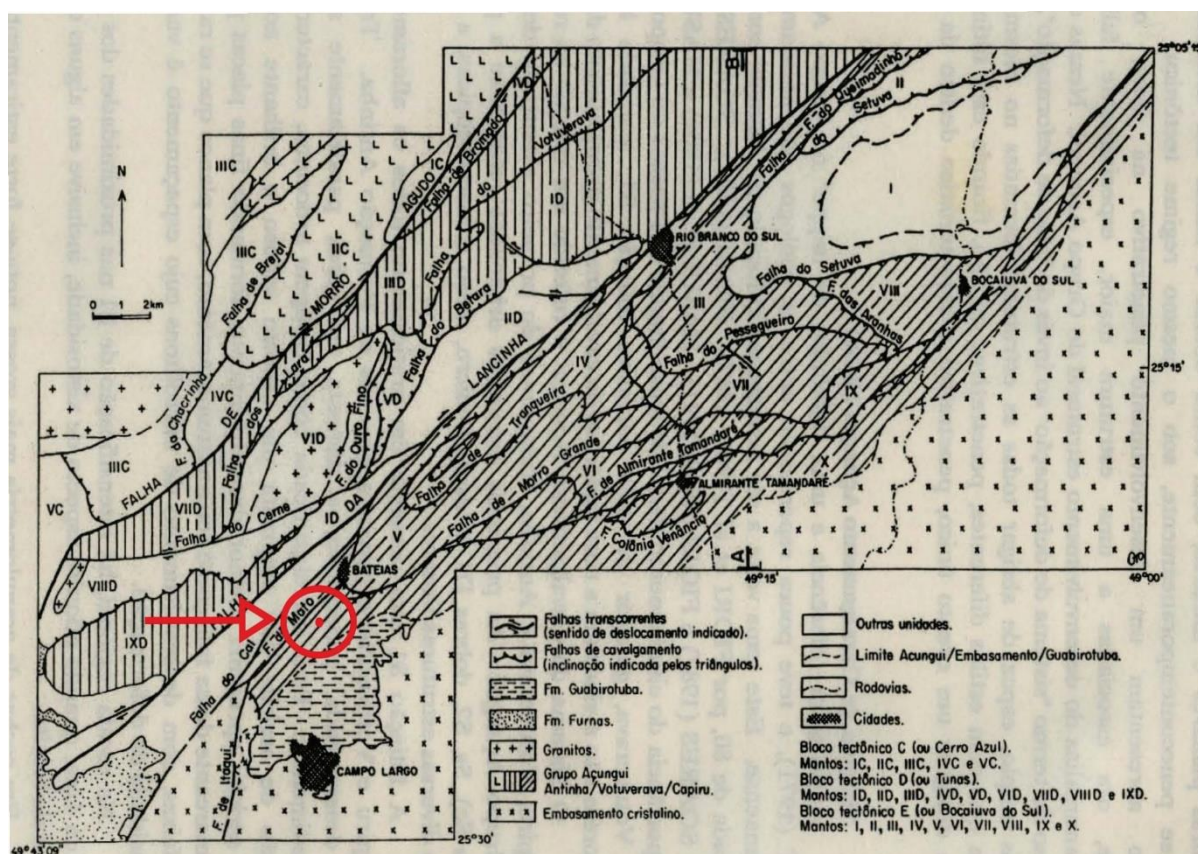


Figura 2 – Localização da área de estudo no contexto regional do sudeste do Paraná, com a seta vermelha apontando para a localização aproximada da mina Boa Vista. Extraído do Fiori, 1992.

A Formação Capiru pode ser subdividida em três conjuntos litológicos distintos: Juruqui, Rio Branco e Morro Grande, todos separados entre si por falhas de cavalcamento. O Conjunto Juruqui é composto predominantemente por filitos com intercalações lenticulares de quartzitos, de leques deltaicos. O Conjunto Rio Branco é composto por mármore dolomíticos com intercalações de filitos e quartzitos de plataforma carbonática rasa. O Conjunto Morro Grande é composto por quartzitos e filitos intercalados, com espessura de centena de metros, com dois níveis de mármore dolomítico na sua base, depositados numa plataforma estável.

A Formação Votuverava apresenta três conjuntos litológicos distintos: Bromado, Coloninha e Saivá. O Conjunto Bromado é composto por filitos, quartzitos, metaconglomerados polimíticos e filonitos, registrando atividade glacial. O Conjunto Coloninha possui metarenitos, metassiltitos, metarritmitos e metaconglomerados, classificados como turbiditos distais e proximais, com canais submarinos. O

Conjunto Saivá apresenta na sua base filitos carbonosos, seguido de mármore, filitos e metabásicas, indicando depósitos em bacia estável de profundidade média.

A Formação Antinha é subdividida em três conjuntos litológicos distintos: Tacaniça, Capivara e Vuturuvu. O Conjunto Tacaniça é composto por rochas clásticas finas, com predomínio de metarritmitos, metarenitos finos, metassiltitos e metaconglomerados oligomíticos, depositados por correntes de turbidez. O Conjunto Capivara é composto essencialmente por metacalcários rítmicos, com frequentes intercalações de níveis grafitosos e filíticos no topo, de bacia profunda e ambiente redutor. O Conjunto Vuturuvu apresenta metarritmitos arenosos, níveis metaconglomeráticos, metassiltitos, metarenitos e metargilitos, de depósitos de turbidez imaturos.

Segundo Fiori (1992), a primeira deformação a afetar o Grupo Açungui foi classificada como Sistema de Cavalgamento Açungui, relacionada às principais estruturas como falhas de cavalgamento e retrocavalgamento (modelo duplex), dobras D₁, foliação S₁, S, S₂ e lineações do tipo “a” e “b”. Posteriormente, o Sistema de Dobramento Apiaí afetou as rochas, causando dobras de dimensões variadas com eixos mergulhando para sudoeste e nordeste, com plano axial subvertical, desenvolvendo uma foliação S₃ local. Por fim o Sistema de Transcorrência Lancinha, de cinemática dextral, associada a Falha de Morro Agudo, que dividem a área em três blocos tectônicos distintos, cada um com geologia estrutural e estratigrafia próprias. Estruturas secundárias como dobras escalonadas e falhas sintéticas e antitéticas são comumente observadas.

Por fim, ocorre um magmatismo Mesozóico representado por diques de rochas básicas orientados com direção preferencial N45W, relacionados com a evolução estrutural da Bacia do Paraná e abertura do Oceano Atlântico. São diques constituídos por diabásio e diorito, ocorrendo em grande quantidade associados ao Arco de Ponta Grossa. Ocorrem também intrusões de rochas alcalinas e carbonatíticas em pequenos diques e plugs, cujos principais representantes são os maciços alcalinos do Banhadão e Tunas, e os carbonatitos de Mato Preto e Itapirapuã. O magmatismo manifesta-se com duas faixas de idades, sendo a primeira de 110-100 Ma e a segunda de 73-67 Ma. (MINEROPAR, 2001).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos listados na sequência fazem parte da avaliação da jazida de mármore dolomítico e consistem basicamente de pesquisa bibliográfica, mapeamento geológico, amostragem, análise química, avaliação da aplicação industrial das rochas carbonáticas e cubagem.

3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A consulta à bibliografia serviu como base para a revisão de trabalhos anteriores da geologia regional, classificar as rochas carbonáticas, bem como verificar seus usos e aplicações na indústria e, principalmente, definir a metodologia a ser adotada para definir as reservas medida e indicada da jazida.

3.1.1 Classificação das Rochas Carbonáticas

As rochas carbonáticas são subdivididas em cinco classes em função da porcentagem de óxido de magnésio (MgO) presente na rocha, segundo classificações de Bigarella (1956) e Pettijohn (1957) *apud* Nadalin (1986), apresentadas na tabela 1. Nestas classificações, a composição química da rocha é mais importante que a mineralógica, devendo ser especificados os teores de: óxido de cálcio (CaO), óxido de magnésio (MgO), junto com a quantidade máxima de impurezas, como sílica (SiO₂) e (ou) resíduos insolúveis e óxido de ferro (Fe₂O₃).

Classificação de rochas carbonáticas	%MgO (Bigarella, 1956)	%Mgo (Pettijohn, 1957)
Calcário calcítico	0,0 a 1,1	0,0 a 1,1
Calcário magnesiano	1,1 a 4,3	1,1 a 2,1
Calcário dolomítico	4,3 a 10,5	2,1 a 10,8
Dolomito calcítico	10,5 a 19,1	10,8 a 19,5
Dolomito	19,1 a 22,0	19,5 a 21,7

Tabela 1 - Classificação das rochas carbonáticas segundo Bigarella (1956) e Pettijohn (1957) *apud* Nadalin (1986).

Os carbonatos puros são brancos, porém, à medida em que traços de elementos químicos considerados como impurezas fazem parte da sua composição, sua cor pode variar nos mais variados tons (cinza claro, cinza escuro, azul, amarelo, rosa etc). Os minerais carbonáticos possuem propriedades físicas muito semelhantes, sendo muito difícil distingui-los sem os equipamentos adequados. Para auxiliar nesta identificação, é recomendada a utilização de análises químicas, difração de raios-x e (ou) microscopia eletrônica (Sampaio e Almeida, 2008).

3.1.2 Aplicações das Rochas Carbonáticas

Diversas fontes bibliográficas a respeito da utilização das rochas carbonáticas podem ser encontradas facilmente na literatura. Foram utilizadas nesse trabalho as seguintes referências: Nadalin (1986), Coordenação de Produção Mineral – CPM (1986), Sampaio e Almeida - Cetem (2008) e Ministério de Minas e Energia - MME (2009).

Os calcários e mármore são as rochas com as mais variadas aplicações na indústria, principalmente no Estado do Paraná, e serão listadas a seguir com as suas respectivas especificações.

Cimento – Dentre os vários tipos de cimento, o mais conhecido é o *Portland* (cimento utilizado na construção civil), que é uma mistura de calcário dolomítico e argilas numa proporção 4:1, com teor máximo de MgO de 6%.

Metalurgia – O calcário pode ser utilizado para fins de fundente para eliminar impurezas na produção de ferro gusa, aço e ferro-manganês, e como escorificante (substância que ajuda a separar a escória de uma liga ou metal) na obtenção de estanho primário, chumbo e cobre secundário. Suas especificações necessitam de CaO maior que 50 %, MgO entre 2 e 6 %, SiO₂ entre 1,4 e 3 % e granulometria de 9 a 150 mm. O dolomito é utilizado na fabricação de sinter, ferro gusa, aço e como proteção de refratários. Suas especificações devem conter MgO entre 15 a 20 %, CaO entre 30 a 35 %, SiO₂ até 5 % e granulometria de 9 a 30 mm.

Corretivo de solo – As rochas carbonáticas são utilizados em solos ácidos a fim de corrigir seu pH e a falta de nutrientes necessários para os vegetais. A rocha

deve ser friável ou moída, sua granulometria deve passar 100 % na peneira de 2 mm e 50% na peneira de 0,30 mm e a soma dos teores de CaO e MgO deve ser maior que 38%.

Cal – A calcinação das rochas carbonáticas em temperaturas elevadas (900° C) gera a cal virgem, que ao ser adicionada água resulta na cal hidratada Ca(OH)_2 , sendo utilizada principalmente na construção civil. Para produzi-la, a rocha deve ter teores de SiO_2 e resíduos insolúveis inferiores a 8 %.

Papel – O carbonato de cálcio vem substituindo o caulim e óxido de titânio na indústria do papel, que cresce significativamente. Sua granulometria deve variar entre 0,5 a 4 μm , com predomínio de partículas variando de 1 a 2 μm .

Plástico – Quando adicionado na fabricação de plástico, o calcário proporciona maior rigidez e resistência. O teor de CaO deve ser maior que 54 % e MgO menor que 1 %, com teores de sílica e resíduos insolúveis inferiores a 0,7% e cor de queima branca.

Tinta e verniz – O calcário é empregado como impermeabilizante e deve ser moído na malha 325 *mesh*, possuir cor branca e teores máximos de SiO_2 de 3 %, Fe_2O_3 de 0,03 %, absorção de óleo máxima de 20% e umidade máxima de 1 %. Para tintas látex e a óleo o MgO deve ser entre 19 a 22 %, o CaO entre 30 a 33 %. Para massa corrida o teor de MgO deve ficar entre 18 a 22 % e CaO entre 29 a 33 %. Para a produção de esmaltes o MgO deve ser maior que 20 % e CaO entre 30 a 32 %.

Vidro – A cal atua como fundente da sílica, aumentando a insolubilidade e resistência do material, reduzindo sua fragilidade. A proporção ideal de CaO/MgO deve ser 3:2, com granulometria 100% passante na malha 9 *mesh* e 65 % na malha 65 *mesh*, SiO_2 entre 1 e 4 % e Fe_2O_3 menor que 0,15 %. Para cristais finos o Fe_2O_3 deve ser menor que 0,05 % e a SiO_2 deve ser menor que 1 %.

Cerâmica – os carbonatos utilizados na indústria cerâmica atuam como fundentes, mantêm a retração e fornecem maior resistência mecânica aos produtos. Sua granulometria deve ser fina, MgO entre 17 e 21 %, CaO entre 28 a 31 %, e no caso da cerâmica branca exige-se Fe_2O_3 menor que 0,05 e queimar branco a 1300° C.

Explosivo – O calcário é utilizado na obtenção de nitrato de cálcio juntamente com ácido nítrico. Suas características devem possuir mínimo de 98 %

de carbonato de cálcio, máximo de 1,5 % de carbonato de magnésio, 0,025 % de Fe_2O_3 e máximo de 0,6 % de insolúveis.

Ração animal – O calcário é uma fonte de cálcio no suplemento alimentar de animais, como bois e frangos. A granulometria do carbonato deve estar 95 % abaixo de 150 μm e 80 % abaixo de 74 μm , com baixo teor de sílica e elevadas restrições a arsênio e flúor.

Rocha ornamental – Usados como revestimentos de interiores ou calçamento de residências, o carbonato deve apresentar um efeito decorativo atraente, sem fraturas ou impurezas.

Tratamento de água – A cal hidratada é um reagente utilizado na remoção de íons de cálcio e magnésio da água, impedindo sua precipitação e incrustação nas tubulações.

Produtos farmacêuticos – O magnésio da dolomita pode ser empregado como carga na produção de sais minerais e suplementos alimentares em pó, ou granulados para uso veterinário. Sua granulometria deve ser fina, passando na malha de 325 *mesh*, cor branca, MgO acima de 21 %, CaO entre 27 e 30 %, SiO_2 abaixo de 4 % e Fe_2O_3 até 1 %.

Agente abrasivo – O dolomito é utilizado na produção de saponáceos, incorporando-se a massa dos produtos. Deve possuir cor branca, densidade de 1,8 g/cm^3 , umidade máxima de 1 %, SiO_2 máxima de 2 % e 50% da granulometria passando pela peneira de 400 *mesh*.

3.1.3 Reservas Medida e Indicada

Segundo Maranhão (1982), uma reserva medida deve apresentar o resultado com erro máximo aceito de até 20 % em relação à quantidade real de minério existente, confiabilidade de 95 % para depósitos com minérios regulares e 90 % para depósitos com distribuição irregular de teor, espessura ou conteúdo. A reserva indicada possui erro máximo aceito de 40 % em relação à quantidade real de minério, com confiabilidade de 90 %. A reserva inferida possui erro máximo acima de 40 % e serve para obter uma ideia da potencialidade do depósito.

Para o DNPM, segundo o decreto nº 62.934, de 2 de julho de 1968, Artigo 26, Parágrafo Único, a reserva medida é a tonelagem de minério calculada a partir das dimensões reveladas por afloramentos, trincheiras, galerias, trabalhos subterrâneos e sondagens, e o teor é determinado por resultados de amostragem. A tonelagem e o teor computados devem ser rigorosamente determinados dentro dos limites estabelecidos, com variação máxima de 20 % da quantidade verdadeira. A reserva indicada apresenta tonelagem e teor do minério calculado parcialmente de medidas e amostras específicas, ou de dados de produção, com base em evidências geológicas. A reserva inferida é uma estimativa feita com base nos conhecimentos geológicos do depósito mineral, com pouco ou nenhum trabalho de pesquisa mineral.

3.2 MAPEAMENTO GEOLÓGICO

A avaliação do volume da jazida começou com as atividades de mapeamento geológico (escala 1:3.000), realizado na porção oriental da área original (figura 3), objeto do presente trabalho, totalizando 15,35 hectares. Primeiramente ocorreram as atividades de fotointerpretação geológica, seguidas por etapas de campo (atualização do mapa base, mapeamento, abertura de picadas, trado manual e coleta de amostras), laboratório (análises químicas) e escritório (confecção do mapa geológico no *software ArcGIS*).



Figura 3 – Vista panorâmica da mina Boa Vista, evidenciando as bancadas atuais que foram cubadas.

3.2.1 Fotointerpretação Geológica

A fotointerpretação (escala 1:25.000) revelou a presença de uma textura cárstica em toda área, com intercalações de pequenas lentes de outras litologias, destacando-se na imagem uma direção aproximada N30E, confirmada posteriormente em campo. Alguns alinhamentos expressivos foram identificados e devidamente marcados.

3.2.2 Trabalho de Campo

Os trabalhos de campo tiveram duração de cinco dias. No primeiro foi feita a atualização do mapa base, no segundo foram abertas as picadas e os furos de sondagem (trado manual) e nos últimos três dias foi realizado o mapeamento geológico de detalhe.

3.2.2.1 Atualização do Mapa Base

A base cartográfica mais recente disponível para consulta na Mineral Geologia, empresa que faz a consultoria da mineração Cal Cem, é do ano de 2007. Desde então, as frentes de lavra da mina Boa Vista avançaram significativamente, sendo necessário atualizar o mapa base com as informações mais recentes das bancadas.

As curvas de nível da base cartográfica antiga possuem equidistância de cinco metros, e a partir delas foi criado um Modelo Digital de Elevação (MDE) no *Software ArcGIS 10.2.2* com a ferramenta *Topo to Raster*. A ferramenta *Countour* do *ArcGIS* utiliza o MDE para interpolar e gerar novas curvas de nível com equidistância de dois metros, possibilitando uma melhor visualização das feições topográficas no mapa e nas seções geológicas.

As frentes das bancadas foram atualizadas manualmente com o auxílio do *GPS Garmin Etrex 30*, de croquis e da imagem do Sistema *Google Earth*, sendo a

mais recente de 2014 (figura 4). Para realizar esse trabalho, foram obtidos quarenta e oito pontos de controle próximos à base e crista dos taludes, assim como o caminhamento de campo registrado no *GPS*. O desenho das bancadas seguiu preferencialmente os croquis feitos em campo e as informações dos pontos de controle. O erro provável apresentado pelo *GPS* no momento da leitura, em função das condições locais (como por exemplo, número de satélites observados), é de até três metros, de acordo com as especificações do equipamento utilizado.

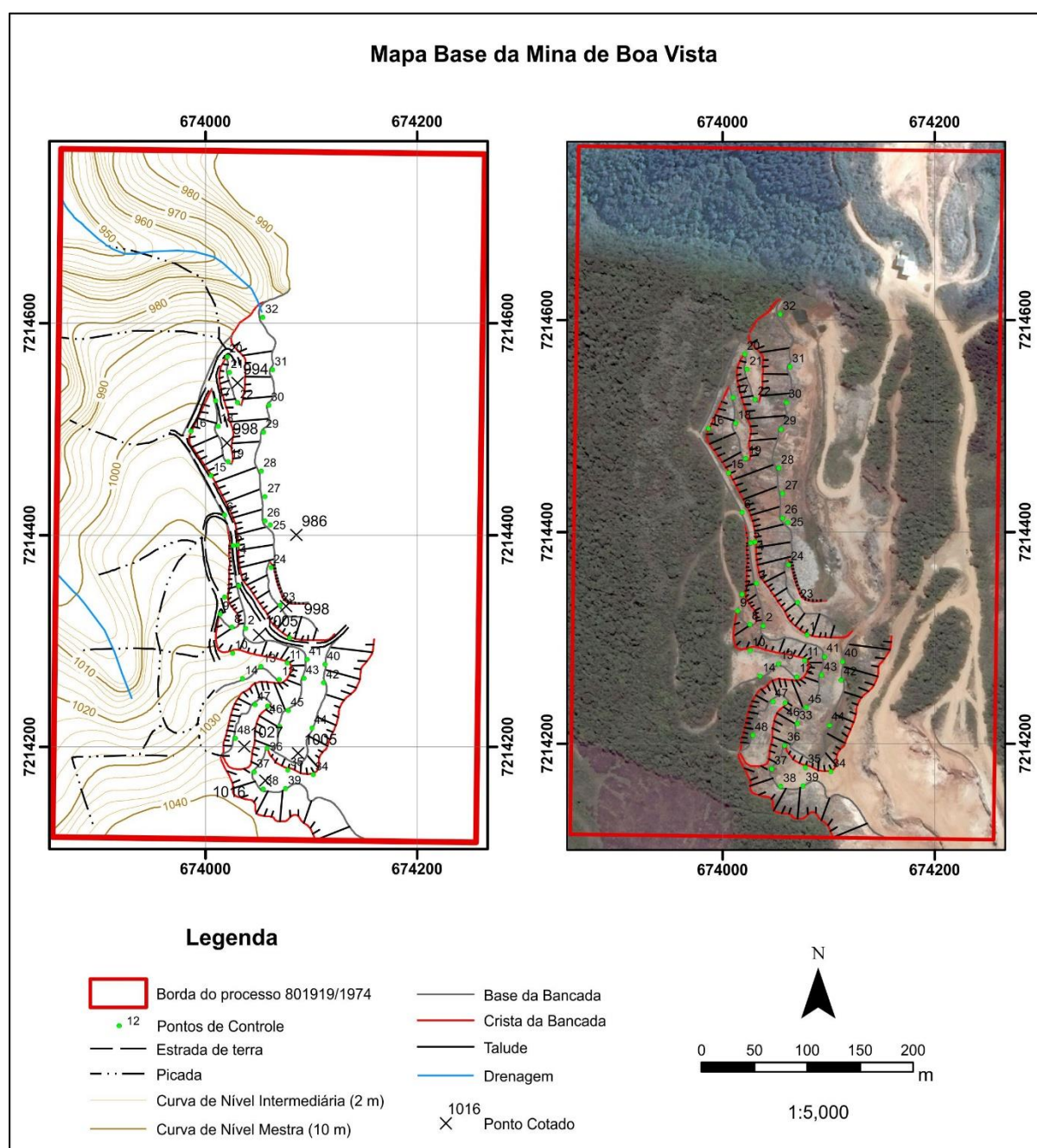


Figura 4 – Mapa base do processo mineral DNPM nº 801.919/1974 com os pontos de controle utilizados na atualização das frentes de lavra, em comparação com a imagem do Sistema *Google Earth*.

Para calcular a altura das bancadas e os pontos cotados, foi utilizado o método de comparação da altura de uma pessoa (dois metros com o capacete) em relação à altura do talude, que de acordo com a representação esquematizada na figura 5, totaliza dezessete metros de altura. Para se obter um mapa topográfico com maior precisão, o ideal seria contratar um topógrafo. Com auxílio do teodolito ou estação total, esse profissional delimitaria com precisão de poucos centímetros as atuais frentes de lavra, a altura das bancadas e, por fim, toda a altimetria no restante da área.

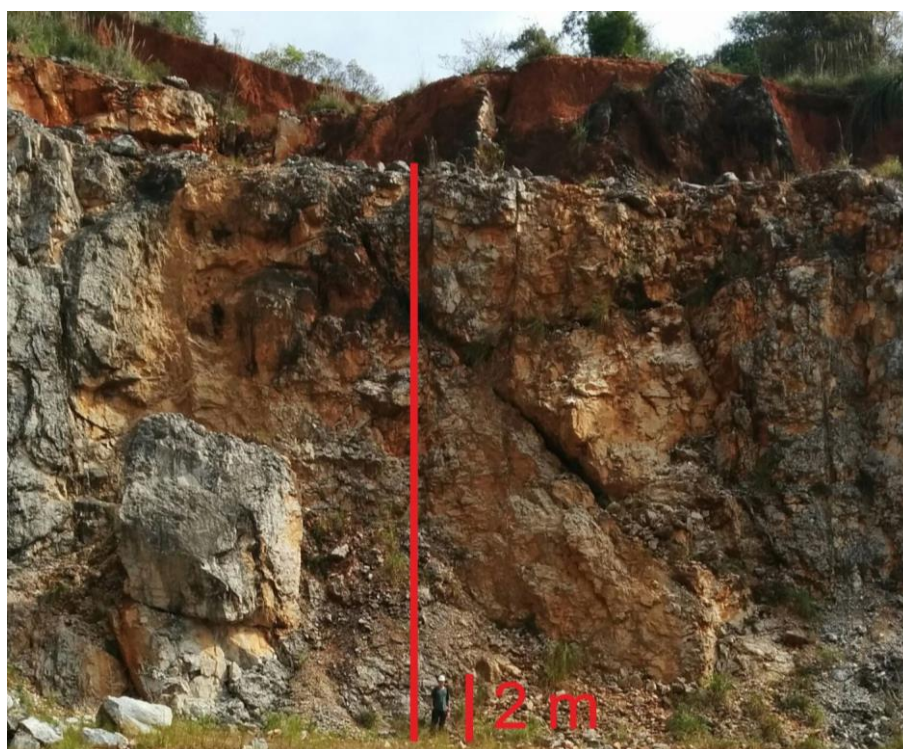


Figura 5 – Imagem demonstrando como foi calculada a altura aproximada do talude em relação a altura de uma pessoa de dois metros. Essa bancada possui altura de aproximadamente dezessete metros.

3.2.2.2 Abertura de Picadas

Para abrir as picadas, foram contratados três mateiros que trabalharam no segundo dia de campo, devidamente equipados com foices e facões. No total, foram abertas seis picadas de aproximadamente um metro de largura com o auxílio da

bússola de geólogo, com direção preferencial E-W, a fim de se facilitar o deslocamento dentro da mata fechada e visualizar novos afloramentos (figura 6). Para manter as picadas na direção correta dentro da mata, foram utilizadas três balizas de madeira, as quais, devidamente alinhadas no rumo pré-determinado, serviram de base para abrir caminho dentro da mata fechada e não mudar a orientação inicial da picada.

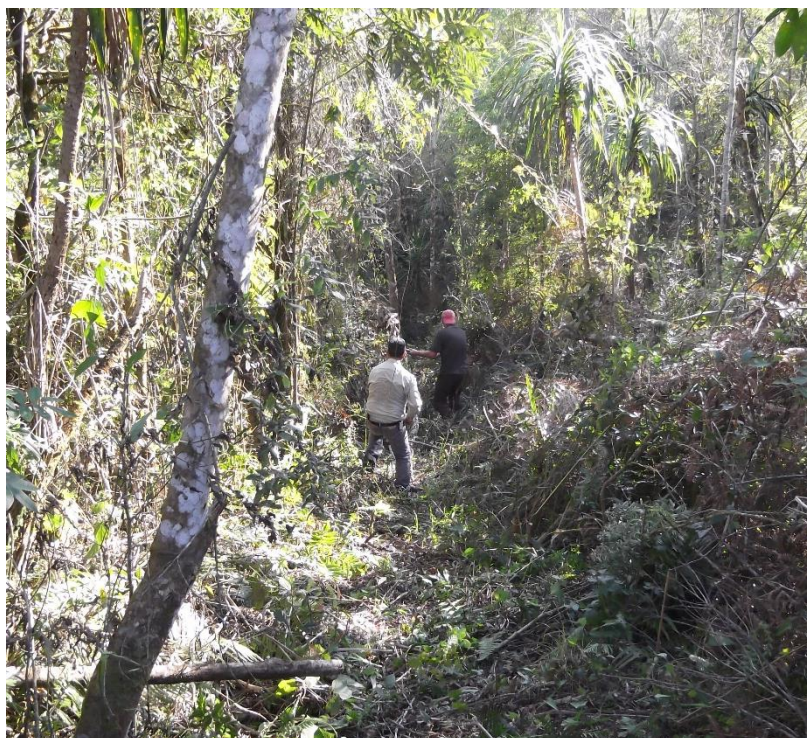


Figura 6 – Mateiros abrindo uma picada de aproximadamente um metro de largura em mata fechada seguindo o azimute W.

3.2.2.3 Trado Manual

Ao longo das picadas, foram realizadas oito sondagens com trado manual com o objetivo de determinar a profundidade média do solo da jazida, que variou de poucos centímetros até quatro metros. Esse procedimento foi importante para a cubagem, pois a quantidade média de solo nessa área deve ser calculada e considerada como estéril da pedreira, devendo ser removida à medida em que a extração do minério avançar. O trado também pode ser útil para auxiliar na

confirmação do tipo de rocha existente no subsolo, caso a sondagem traga à superfície fragmentos da rocha, como pode ser observado na figura 7.



Figura 7 – Imagem demonstrando o material recolhido pela sondagem do trado manual no ponto de trado 04, com o detalhe de fragmentos de mármore dolomítico em meio a solo castanho avermelhado argiloso.

3.2.2.4 Mapa Geológico

Os últimos três dias de campo foram destinados ao trabalho de mapeamento geológico de detalhe em escala 1:3.000 (figura 8). Foram descritos todos os afloramentos encontrados, tanto nas frentes de lavra como os encontrados ao longo das picadas e arredores. Quando possível, foram feitas medidas estruturais de foliação, falhas e fraturas. Em determinados locais considerados estratégicos, foram coletadas amostras do mármore dolomítico para análise química.

No total foram mapeados dezoito pontos de afloramento, entre os quais, quinze são de mármore dolomítico, dois de filito e um de xisto, sendo encontrados também oito pontos de blocos rolados dessas litologias.

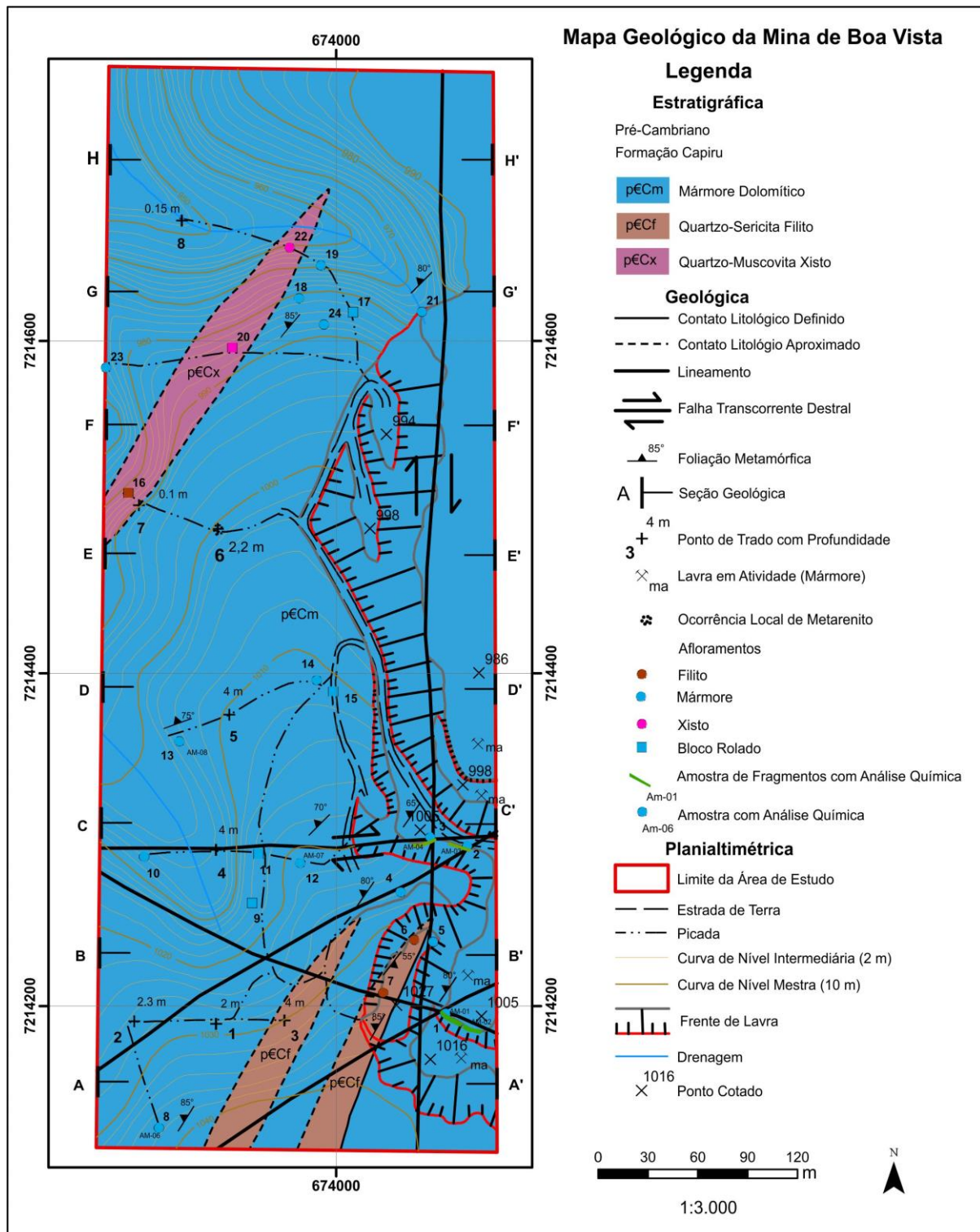


Figura 8 – Mapa Geológico da Mina de Boa Vista na escala 1:3000

3.2.2.5 Coleta de Amostras

Durante as atividades de campo, foram coletadas sete amostras para serem encaminhadas ao laboratório da Cal Cem. O tipo de amostragem realizado foi o de fragmentos (Adaptado de Maranhão, 1982), que consiste na retirada de pequenos pedaços de rocha (entre 1,5 – 3 cm³), distanciados aproximadamente dez centímetros, de modo que cada amostra será composta por diversas lascas de rocha (figura 9). A área máxima para amostrar o afloramento deve ter aproximadamente dez metros de largura, consequentemente, nos afloramentos maiores foram realizadas duas amostragens.



Figura 9 – Todos os fragmentos que foram retirados para compor a amostra AM-01, retirados a cada dez centímetros da frente de lava do afloramento 01, com volume aproximado de 1 cm³.

No total foram coletadas quatro amostras em algumas das frentes de lava, localizadas perpendicularmente à direção geral das camadas. A presença de intenso fraturamento facilitou significativamente na remoção dos fragmentos do afloramento (figura 10).

O restante das amostras foi coletado em afloramentos de pequenas dimensões encontrados ao longo das picadas e arredores. Entretanto, as proporções reduzidas destes afloramentos resultaram em um volume menor de amostras. Antes de serem encaminhados ao laboratório responsável, estes fragmentos foram lavados com intuito de eliminar prováveis contaminações.



Figura 10 – Face sul do afloramento 03 de mármore dolomítico, indicando o local de coleta de oito metros (linha vermelha) da amostra AM-04, evidenciando intenso fraturamento.

3.3 CUBAGEM DA JAZIDA

Os métodos mais comuns para seubar um depósito mineral são: o processo da área de Influência, dos triângulos, dos quadriláteros, krigagem, Euler Maclaurin, cálculo a partir de valores médios e das seções geológicas (Maranhão, 1982). Foi aplicado nesse trabalho o método da cubagem por seções geológicas, o qual consiste na construção de diversas seções paralelas igualmente espaçadas entre si. Foram construídas oito seções geológicas de direção E-W (denominadas AA' a HH') ao longo da área de estudo com espaçamento de 80 metros entre si e nelas foram caracterizadas as reservas medida e indicada da mina (figuras 11 e 12).

3.3.1 Reserva Medida e Indicada

A reserva medida segue a definição de Maranhão (1982) e apresenta variação de tonelagem inferior a 20 % da quantidade real, considerada como o volume de minério que pode ser extraído da pedra com uma maior lucratividade

do material. A cota topográfica estabelecida como limite inferior da reserva, corresponde à altitude da bancada situada na parte mais baixa da mina (novecentos e setenta e cinco metros).

Todo minério situado entre as cotas novecentos e setenta e cinco e novecentos e quarenta e cinco metros (menor cota da área de estudo) foi considerado como reserva indicada, levando em consideração a definição de Maranhão (1982) e também devido a fatores econômicos, pois os custos de extração do material abaixo desse limite aumentam bastante, diminuindo a rentabilidade ou lucro final. Também foram considerados como reserva indicada os blocos de cubagem de difícil acesso para execução da lavra, como aqueles situados atrás de lentes de filito a sul ou de xisto a norte, pelo fato de ser necessária a remoção de uma grande quantidade de rocha para se chegar ao minério, aumentando o custo da mineração. Por fim, o bloco situado mais a norte (seção H-H') foi considerado indicado devido à pouca informação de campo no local.

A profundidade do solo foi determinada a partir das diversas sondagens realizadas com auxílio de um trado manual. Em função dos resultados obtidos nestas sondagens, foi definida uma espessura média de quatro metros.

A escala adotada para a confecção das seções geológicas foi de 1:2.500, sendo aplicado um exagero vertical de duas vezes, com o objetivo de obter uma topografia mais detalhada, posteriormente digitalizadas no *software CorelDraw X7*.

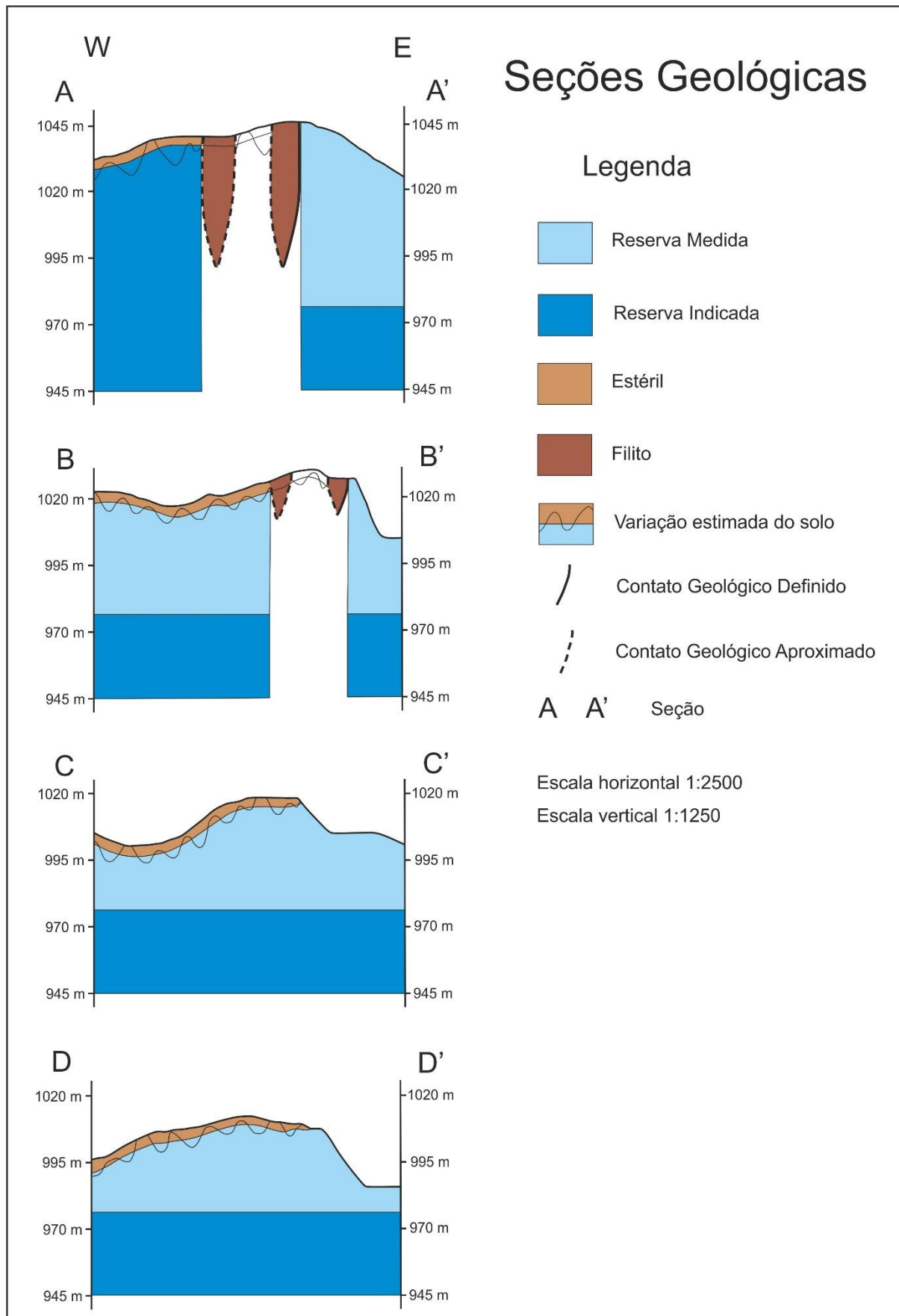


Figura 11 – Seções geológicas A, B, C, D indicando as reservas medida, indicada e o material estéril.

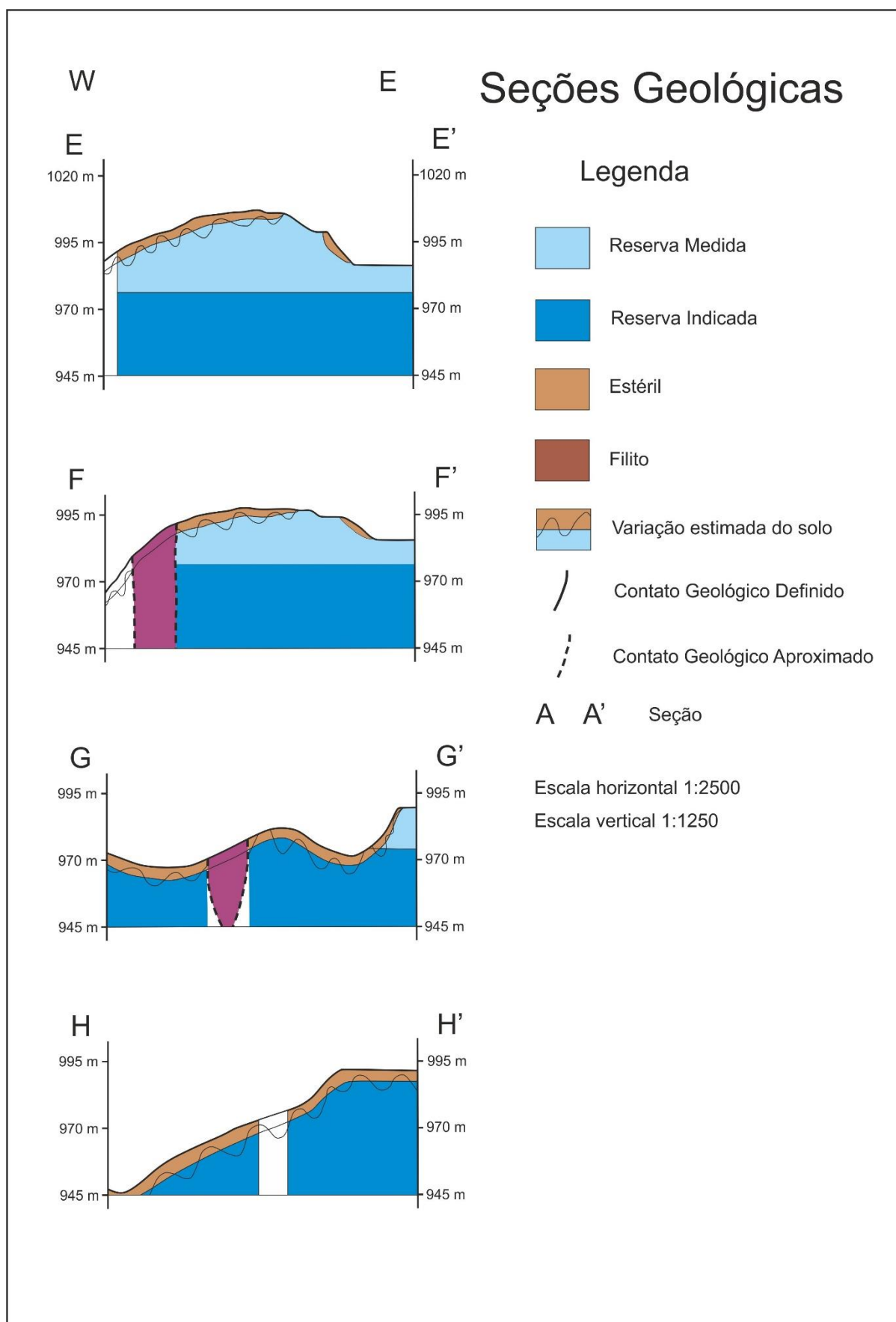


Figura 12- Seções geológicas E, F, G e H indicando as reservas medida, indicada e o material estéril.

3.3.3 Cálculo

O primeiro procedimento foi calcular as diversas áreas em metros quadrados referente a cada uma das seções (reservas medida e indicada e capeamento do solo) utilizando o *software ArcGIS*, georreferenciando-as para se chegar a um valor preciso. Para conseguir o volume dos diversos blocos de minério, multiplicaram-se as áreas em metros quadrados de cada uma das seções (A-A a H-H') pelas suas respectivas áreas de influência, obtendo-se, assim, o resultado em metros cúbicos. Por fim, o volume de minério foi multiplicado pela densidade do mármore dolomítico, que é $2,86 \text{ g/cm}^3$ (Deer, Howie e Zussman, 2008), chegando-se ao valor em toneladas.

O mármore dolomítico é uma rocha que pode ter seu carbonato dissolvido pela água meteórica, formando uma porosidade secundária na forma de condutos internos, e até cavernas. A mina Boa Vista possui grande quantidade de fraturas e falhas, o que aumenta o índice de espaços vazios e facilita a percolação da água, acelerando o processo de dissolução do carbonato. Por esses fatores, considera-se que a rocha não é maciça e sua densidade é menor do que $2,86 \text{ g/cm}^3$, aplicando-se então um fator de segurança de 15 % para reduzir o erro no cálculo final da cubagem.

Os volumes dos blocos de minério e estéril (em metros cúbicos) foram calculados separadamente. Com isso, foi possível obter a relação estéril/minério, importante indicador econômico para a lavra do material.

3.4 LABORATÓRIO

As amostras coletadas foram analisadas quimicamente pela técnica da fluorescência de raios-x no laboratório da empresa Cal Cem Indústria de Minérios Ltda. Elas foram realizadas com o intuito de obter os teores de óxido de magnésio, óxido de cálcio, sílica e ferro, e consequentemente, verificar a qualidade do minério existente.

3.3.2 Área de Influência

Para configurar os blocos de cubagem, foi adotado como padrão que as áreas de influência teriam a metade da distância entre as seções, ou seja, oitenta metros, com exceção do último bloco (H-H'), que ficou com noventa metros de extensão (figura 13).

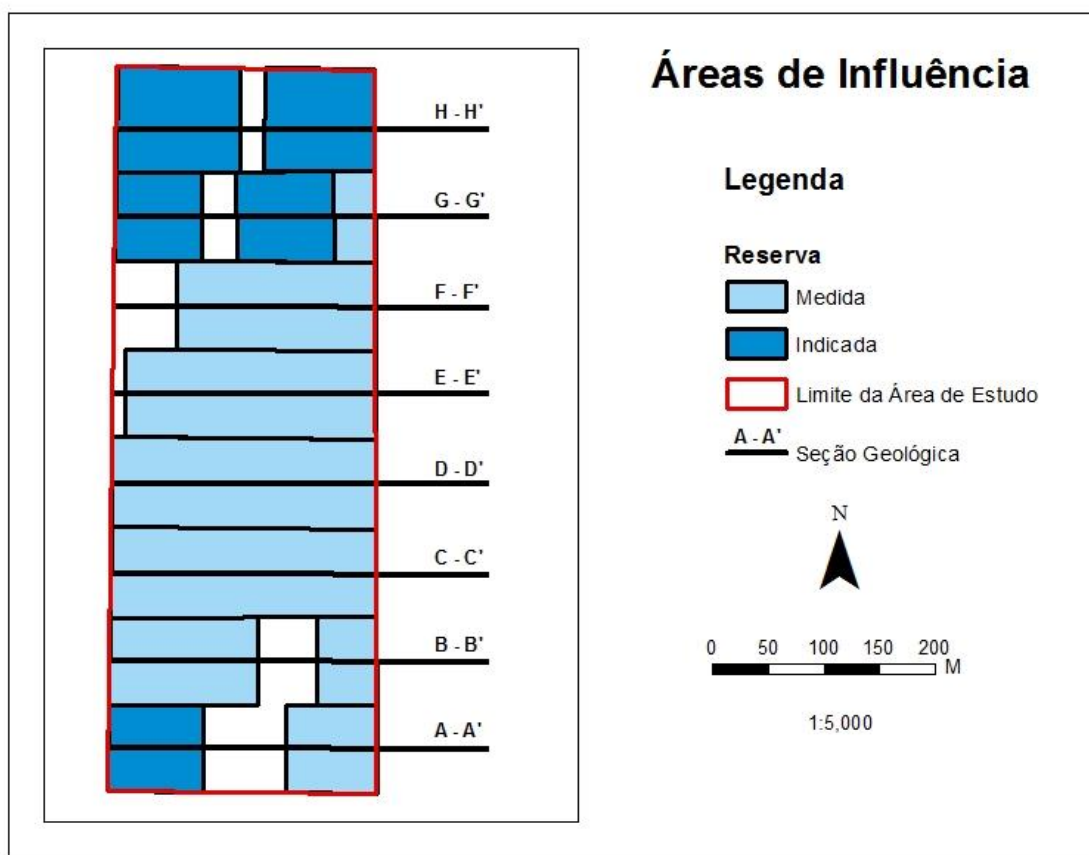


Figura 12 – Esquema das áreas de influência dos blocos de cubagem.

4 RESULTADOS

Neste capítulo estão relacionados os resultados referentes às atividades de mapeamento geológico, reavaliação da jazida e análises químicas realizados na mina de mármore dolomítico da empresa Cal Cem Ltda.

4.1 GEOLOGIA

As litologias apresentadas no Mapa Geológico da Mina de Boa Vista (anexo 1) pertencem ao Conjunto Rio Branco da Formação Capiru, Grupo Açungui. No local predomina amplamente o mármore dolomítico, seguido de filitos, xistos e metarenitos, todos com metamorfismo de grau baixo, fácies Xisto Verde. As camadas possuem direções próximas a N30E, com mergulhos elevados, em torno de 70° a 80° para noroeste. As rochas carbonáticas afloram artificialmente na forma de frentes de lavra e também como cabeças de mármore em meio à mata fechada a oeste da área pesquisada (figura 14).

Os filitos, xistos e metarenitos ocorrem na forma de lentes milimétricas (não mapeáveis na escala 1:3.000), intercaladas aos mármore. Ao sul da área, foram mapeadas duas lentes maiores de filito e, mais a norte, ocorre uma lente de xisto, sendo todas estas litologias com aproximadamente trinta metros de espessura.

Ocorrem ainda estruturas dúcteis como xistosidade fina e dobras suaves de pequeno porte, e grandes lineamentos rúpteis como falhas e fraturas.



Figura 14 – (a) Frente de lavra da mina Boa Vista com bandamento composicional bem marcado, ponto 01. (b) Afloramento no meio da mata com cabeça de mármore dolomítico de um metro de altura, mostrando a rocha intemperizada, ponto 08.

4.1.1 Mármore Dolomítico

O mármore possui coloração branca a cinza claro e sua composição mineralógica é composta por cristais de dolomita submilimétricos de até 2 milímetros, que reagem fracamente ao ácido clorídrico diluído (1:10) quando em contato com o pó da rocha. A granulometria é muito fina a fina, com textura granoblástica e estrutura maciça, sem orientação mineral. Ocorre nessa rocha um bandamento composicional (figura 15a) evidenciado pela alternância de níveis de cor cinza média a escura, que variam de lentes milimétricas até decamétricas em meio ao mármore branco, caracterizando uma foliação metamórfica S_1 . O acamamento sedimentar S_0 está paralelo ao S_1 , evidenciado pelo próprio bandamento composicional e por pequenas lentes de xisto (figura 15b) intercalados com o mármore. Apenas em alguns blocos rolados nas frentes de lavra percebe-se a presença de lentes de dois milímetros com rodocrosita.

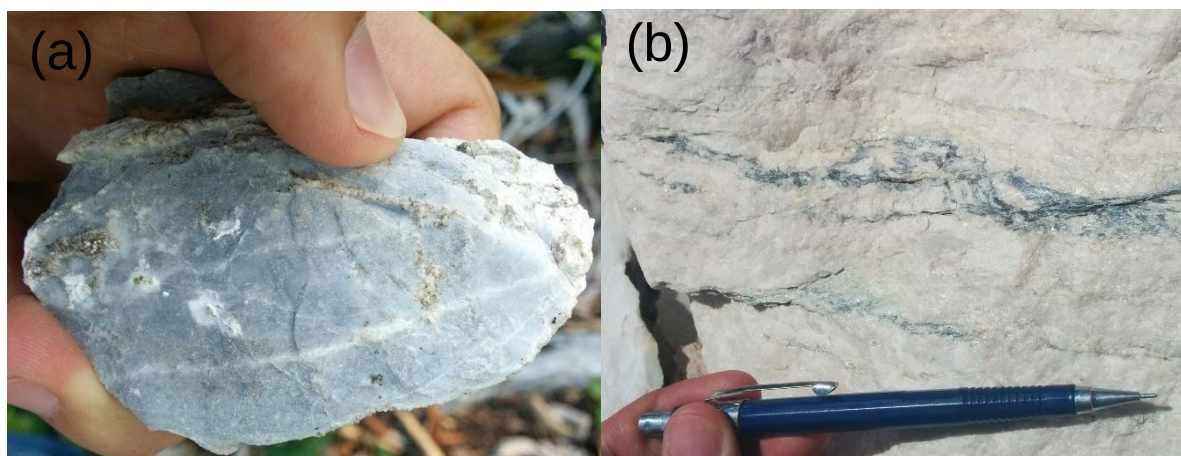


Figura 15 – (a) Amostra de mármore dolomítico cinza com detalhe do bandamento composicional evidente pela intercalação de níveis milimétricos de cor cinza clara, ponto 18. (b) Amostra de mármore dolomítico com níveis milimétricos de xisto, ponto 01.

4.1.2 Quartzo-Sericita Filito

O quartzo-sericita filito possui cor castanho avermelhada é composto por cristais muito finos de sericita na matriz e cristais de um a dois milímetros de quartzo

subarredondados e esféricos, levemente orientados (figura 16a). A rocha possui textura lepidoblástica e estrutura foliada, definida como xistosidade fina. Foi observada uma foliação contínua e penetrativa definida pela orientação da sericita, classificada como S_1 .

Intercalado ao filito, ocorrem lentes centimétricas a métricas de metarenito de cor castanho claro a cinza claro, levemente intemperizado e friável, composto de grãos de quartzo subarredondados e esféricos de até um milímetro (figura 16b). A rocha possui granulometria fina, textura granoblástica e estrutura foliada, caracterizada pela orientação incipiente dos grãos de quartzo, definindo uma foliação S_1 .



Figura 16 – (a) Quartzo-sericita filito castanho com cristais de até dois milímetros de quartzo orientados definindo a foliação S_1 , ponto 07. (b) Metarenito com cristais subarredondados e esféricos de quartzo de até um milímetro, orientados definindo a foliação S_1 , ponto 07.

4.1.3 Quartzo-Muscovita Xisto

O xisto possui cor cinza média e castanha clara nas porções intemperizadas, e é composto por cristais de quartzo e muscovita de um a dois milímetros (figura 17). A rocha apresenta textura lepidoblástica e estrutura foliada, definida como xistosidade fina. Foi observada uma foliação S_1 contínua e penetrativa definida pela orientação da muscovita.



Figura 17 – Amostra de quartzo-muscovita xisto com cristais milimétricos orientados, definindo a S_1 .

4.1.4 Estruturas Dúcteis

Durante a etapa de mapeamento, foram identificados dois tipos de estruturas dúcteis na área de estudo: uma foliação metamórfica e dobras milimétricas locais.

As foliações metamórficas encontradas nas rochas da mina Boa Vista são o bandamento composicional dos mármore dolomíticos e a xistosidade fina dos filitos e xistos. Ambas as estruturas foram classificadas como a foliação S_1 e sua atitude média evidenciada a partir da construção do diagrama estereográfico estrutural é N30E/80NW (figura 18).

O bandamento composicional dessas rochas é paralelo ao acamamento sedimentar original, observado pela variação na composição do mármore que se evidencia pela cores mais claras e escuras. O bandamento está concordante com o contato litológico das lentes de filito, metarenito e xisto. A xistosidade fina dos filitos e xistos é definida pela orientação dos cristais de sericita e muscovita, respectivamente, com cristais variando de submilimétricos até um milímetro de espessura.

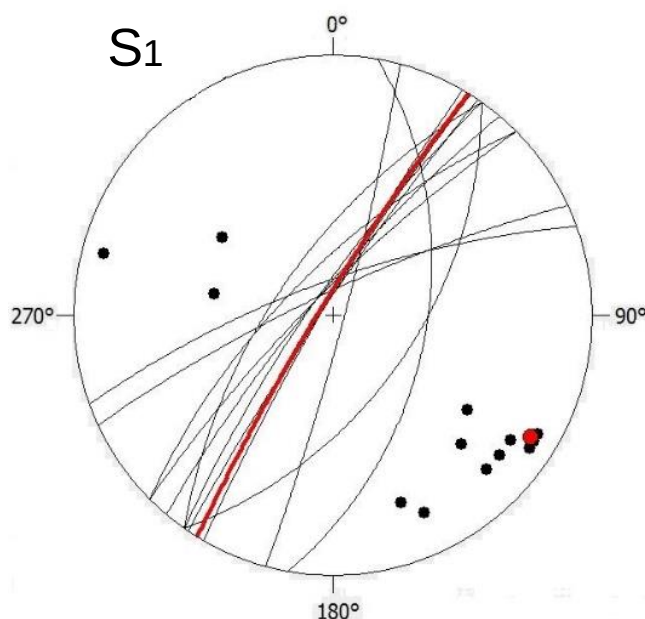


Figura 18 – Estereograma das medidas de S1 de bandamento composicional do mármore dolomítico e xistosidade fina do filito. A linha vermelha representa a direção média N30E/80NW. Total de 14 medidas.

Apenas no ponto 02 foram evidenciadas dobras milimétricas no mármore dolomítico, que, segundo Fleuty (1964), são classificadas como suaves, fracamente inclinadas e com caimento moderado do eixo. Sua amplitude possui apenas quatro a cinco milímetros e seu comprimento de onda apresenta dois a três centímetros, aproximadamente (figura 19). O dobramento parece estar relacionado com um falhamento de alto ângulo, pois ocorre no espelho de falha de atitude N65E/65NW.



Figura 19 – Dobra milimétrica em amostra de mão de mármore dolomítico observada na frente de lavra do ponto 02, ocorrendo próximo ao plano de falha N65E/65NW.

4.1.5 Estruturas Rúpteis

As estruturas rúpteis encontradas fazem parte de zonas de cisalhamento, sendo evidenciadas falhas e uma grande quantidade de fraturas que trituram as rochas nas frentes de lavra do mármore dolomítico.

As falhas foram definidas em campo através de suas atitudes estruturais combinadas com estrias e steps que ocorrem em seus planos. Elas são reflexo das zonas de cisalhamento de direção N60E/80NW e seus rejeitos não foram evidenciados em campo, sendo consideradas como falhas locais.

No ponto 01 ocorre uma falha destal de direção N53W/80SW com estrias de sentido N120/20. A direção principal das fraturas é N45E/85NW, porém, tem-se a ocorrência de fraturamentos de menor intensidade, com direções N85E/70SE e N25W/40SW.

No ponto 02, evidencia-se a falha de direção N65E/65NW com preenchimento de material micáceo esverdeado e dobras suaves em seu espelho de falha (figura 20a), e predomínio de fraturas de direção N10W/80NE.

O ponto 03 apresenta duas falhas distintas, sendo a mais penetrativa a transcorrente destal de direção N15W/88NE com estria N176/25 (figura 20b), e a menos expressiva uma transcorrente sinistral de direção N85E/75NW com estria N264/05.

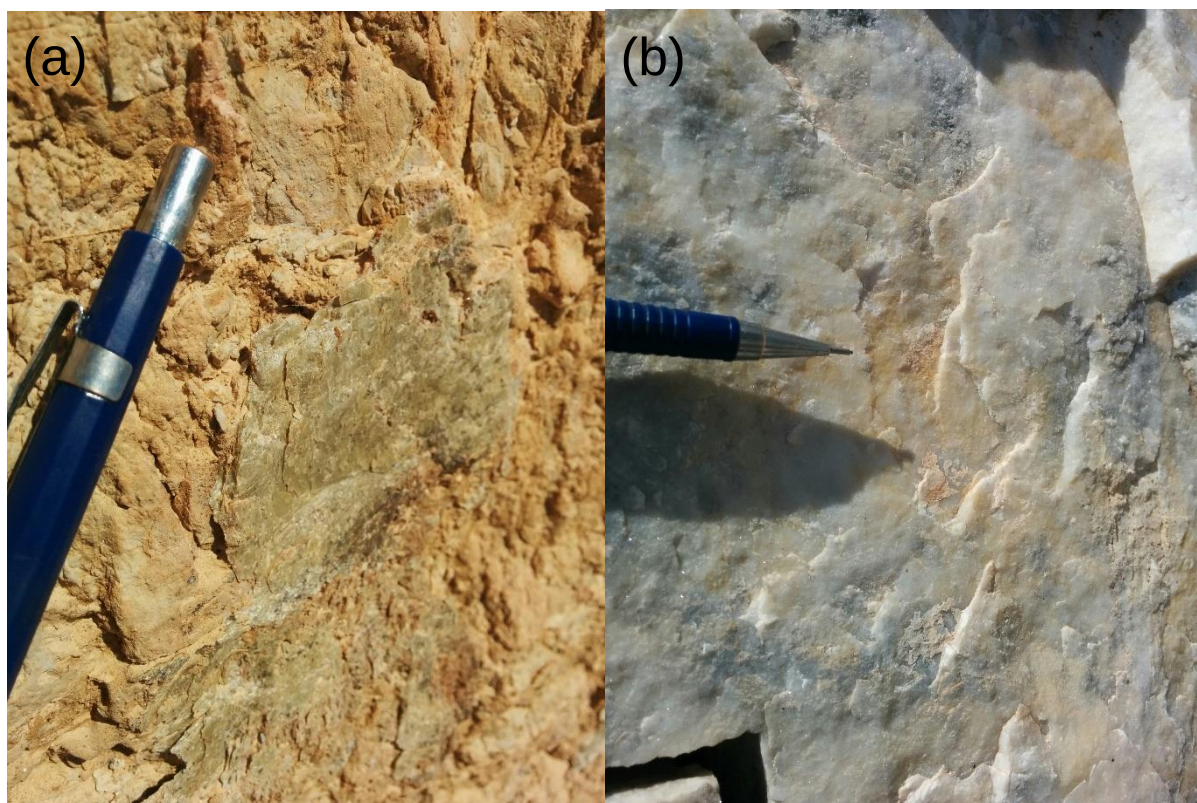


Figura 20 – (a) Espelho de falha de direção N65E/65NW com preenchimento de material micáceo esverdeado no mármore dolomítico do ponto 02. (b) Espelho de falha transcorrente destal com direção N15W/88NE e estria N176/25 no mármore dolomítico do ponto 03.

4.2 CUBAGEM

Após aplicação do método das seções, a cubagem atingiu os seguintes valores: reserva medida = 3.169.926,206 toneladas e reserva indicada = 4.984.563,97 toneladas, conforme pode ser observado na tabela 2.

A relação entre o estéril/minério fornece as indicações dos blocos com maior facilidade ou economicidade para a lavra.

Cubagem da Reserva Medida								
Minério				Estéril (espessura média = 4 m)			Relação Estéril / Minério	Tonelagem de Minério (Densidade = 2.86 g/cm³)
Seção	Área (m²)	Área de Influência (m)	Volume (m³)	Área (m²)	Área de Influência (m)	Volume (m³)		
A	2160.77	80	172861.6	-	-	-	-	494384.176
B	3591.22	80	287297.6	243.29	80	19463.2	1 - 14.76	821671.136
C	3605.49	80	288439.2	264.31	80	21144.8	1 - 13.64	824936.112
D	3013.89	80	241111.2	281.13	80	22490.4	1 - 10.72	689578.032
E	2276.67	80	182133.6	252.37	80	20189.6	1 - 9.02	520902.096
F	1513.25	80	121060	172.29	80	13783.2	1 - 8.78	346231.6
G	136.68	80	10934.4	29.96	80	2396.8	1 - 4.56	31272.384
Sub Total (Toneladas)								3728975.536 t
Fator de Segurança (15%)								559346.3304 t
Volume Total (Toneladas)								3169629.206 t

Cubagem da Reserva Indicada								
Minério				Estéril (espessura média = 4 m)			Relação Estéril / Minério	Tonelagem de Minério (Densidade = 2.86 g/cm³)
Seção	Área (m²)	Área de Influência (m)	Volume (m³)	Área (m²)	Área de Influência (m)	Volume (m³)		
A	5030.08	80	402406.4	157.04	80	12563.2	1 - 32.03	1150882.304
B	2565.69	80	205255.2	-	-	-	-	587029.872
C	3503.56	80	280284.8	-	-	-	-	801614.528
D	3433.21	80	274656.8	-	-	-	-	785518.448
E	3296.36	80	263708.8	-	-	-	-	754207.168
F	2608.03	80	208642.4	-	-	-	-	596717.264
G	2504.14	80	200331.2	355.06	80	28404.8	1 - 7.05	572947.232
H	2390.35	90	215131.5	521.167	90	46905.03	1 - 4.59	615276.09
Sub Total (Toneladas)								5864192.906 t
Fator de Segurança (15%)								879628.9359 t
Volume Total (Toneladas)								4984563.97 t

Tabela 2 – Tabela demonstrativa dos cálculos das reservas medida e indicada, realizado por meio do *Software Microsoft Excel*.

4.3 ANÁLISES QUÍMICAS

Os resultados das análises químicas (anexo 2) realizadas no laboratório da Cal Cem são apresentados nos gráficos a seguir (figura 21). Foram analisados os teores em porcentagem de óxidos de CaO, MgO, SiO₂ e Fe₂O₃ e a perda por calcinação.

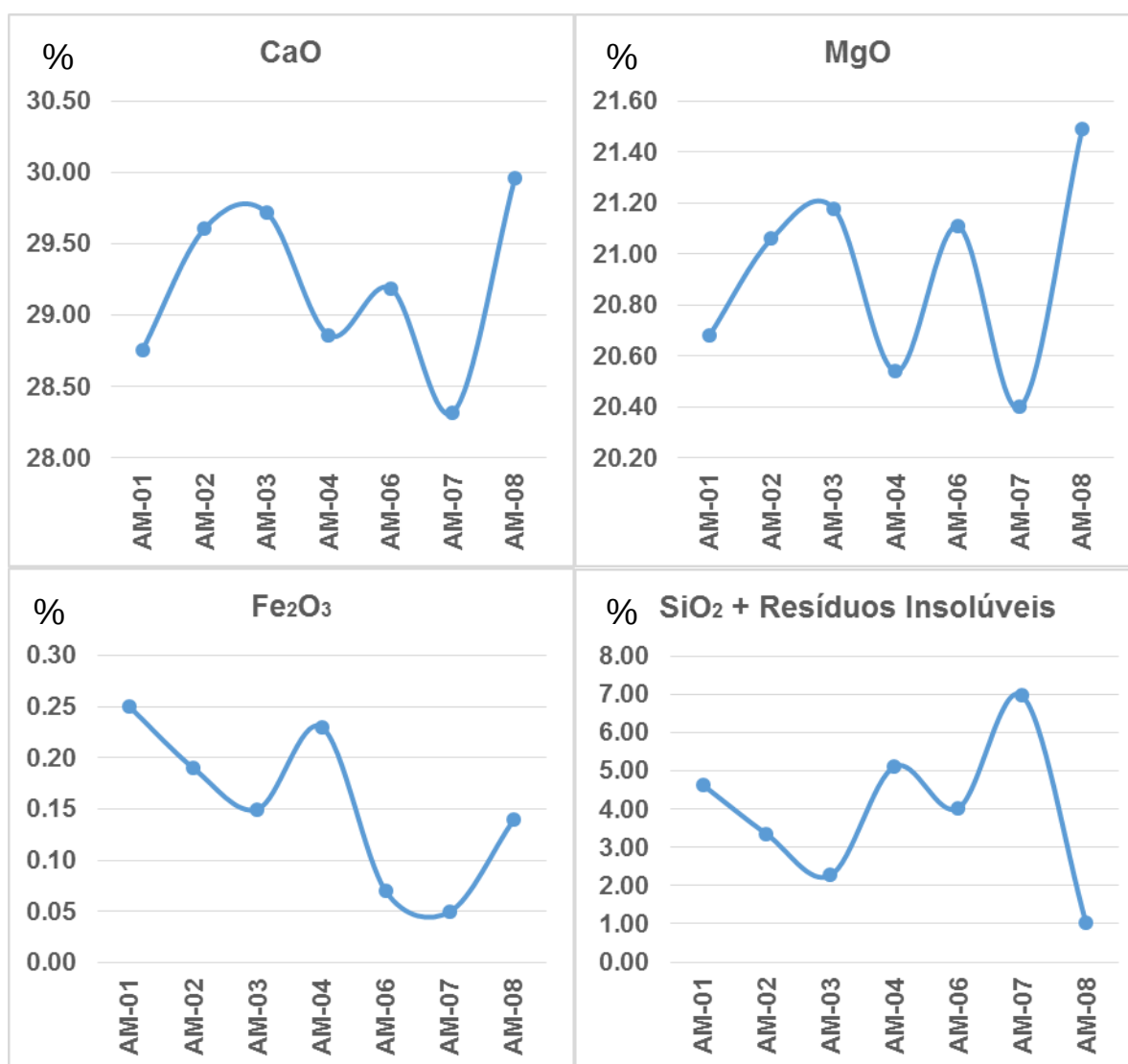


Figura 21 – Resultados das análises químicas para os óxidos de cálcio, magnésio, ferro e sílica+ resíduos insolúveis, feita pelo laboratório da Cal Cem.

Os valores dos óxidos de cálcio variam de 28,32 a 29,96 %, com valor médio de 29,20 %, e a variação dos óxidos de magnésio é de 20,40 até 21,49%,

com valor médio de 20,92 %, sendo classificados segundo Bigarella (1956) como mármore dolomíticos. O teor de Fe_2O_3 varia de 0,05 a 0,25%, com média de 0,15, % e a variação dos valores de SiO_2 e resíduos insolúveis é de 1,02 até 6,97 %, com valores médios de 3,91 %.

Percebe-se com esses resultados que mesmo o mármore dolomítico possuindo um bandamento composicional por vezes métrico, nenhum dos elementos analisados interfere na composição da rocha. Conclui-se que a cor cinza média a escura do bandamento ocorre devido à presença de elementos químicos traço não identificados em laboratório, sem afetar a qualidade do minério.

5 DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta as discussões sobre a viabilidade econômica da mina Boa Vista e as aplicações industriais do seu minério, segundo suas especificações químicas.

5.1 VIABILIDADE ECONÔMICA

No ano de 2014, foi extraída da mina Boa Vista uma quantidade mensal aproximada de 3.444 toneladas de minério, totalizando um valor anual de 41.330 toneladas. Se a empresa continuar a extrair anualmente essa quantidade de material, a vida útil da jazida poderá durar, com base na reserva medida (3.169.629,20 toneladas), um total de setenta e seis anos.

Os trabalhos de cubagem da jazida demonstraram que os blocos B e C possuem o maior volume de minério para a reserva medida de toda a jazida, com 821.671,136 e 824.936,112 toneladas, respectivamente. Estes blocos também apresentaram a relação estéril/minério mais favorável em termos de lavra (Bloco B = 1:14; Bloco C = 1:13), conseqüentemente, são os blocos mais rentáveis a serem explorados, visto que a qualidade do minério é muito boa (relação cálcio/magnésio) e o teor de ferro e impurezas (resíduos insolúveis) é muito baixo.

O alto grau de fraturamento observado nas frentes de lavra irá dificultar e encarecer a exploração, sendo que, para realizar seu desmonte será necessário

uma quantidade maior de explosivos de baixa velocidade e grande teor de gás. A onda mecânica gerada nesse tipo de explosivo tem sua energia dissipada quando atravessa a região fraturada, sendo pouco eficaz, dependendo apenas da expansão dos gases para desmontar efetivamente a rocha da pedreira.

Duas amostras com baixo teor de Fe_2O_3 foram evidenciadas em dois resultados de análise química, indicando que nessas porções da jazida o minério possui uma qualidade excelente, pois raramente são encontrados valores tão baixos de óxido de ferro em rochas carbonáticas (menor que 0,07 %). Para confirmar esses valores, serão necessários trabalhos adicionais de pesquisa, como abertura de poços, realização de sondagem rotativa e mais análises químicas. Essa atividade adicional se justifica pelo preço elevado de comercialização do minério com baixo ferro e sílica (menos que 1%), utilizado na indústria de cristais finos.

5.2 APLICAÇÕES DO MINÉRIO

Atualmente, a empresa Cal Cem vende todo seu estoque de mármore dolomítico para a indústria de tinta e verniz. A qualidade do minério evidenciada pelas análises químicas é muito boa, e caso exista a demanda no mercado, seu produto pode ser comercializado nos setores de metalurgia, corretivo de solo, cal, vidro, cerâmica, ração animal, produtos farmacêuticos e agente abrasivo.

6 CONCLUSÕES

O método da cubagem por seções geológicas utilizado na mina Boa Vista revelou-se eficaz e muito simples de ser aplicado neste tipo de depósito mineral. O volume de mármore dolomítico é de 3.169.926,206 toneladas para a reserva medida e 4.984.563,97 toneladas para a reserva Indicada. Os blocos de maior viabilidade econômica para serem lavrados são os blocos B e C, por apresentarem os maiores volumes da reserva medida, aliado a uma relação estéril/minério mais favorável.

As análises químicas revelaram um minério muito homogêneo em relação aos teores dos óxidos de magnésio e cálcio, sendo utilizado atualmente na indústria de tinta e verniz. Outras aplicações para essa rocha compreendem o uso na

metalurgia, corretivo de solo, cal, vidro, cerâmica, ração animal, produtos farmacêuticos e agente abrasivo, conforme a demanda pelo material no mercado.

Existe a necessidade de realizar uma pesquisa complementar, mais detalhada (mais amostras, sondagem etc) em parte da área, que revelou percentuais muito baixos de óxido de ferro. Caso os teores sejam confirmados, poderá ser viabilizado um destino mais nobre para o material, como por exemplo, na fabricação de cristais finos, que dará um retorno financeiro maior ao minerador.

REFERÊNCIAS

Almeida S. L. M., Sampaio J. A. 2008. Calcário e dolomito. In: Rochas e minerais industriais. 2.ed. CETEM/MCT, Rio de Janeiro, 989p.

Bigarella J. J., Salamuni R. 1958. Estudos preliminares na Série Açungui. VIII. A Formação Votuverava. Instituto de História Natural, Boletim de Geologia, Curitiba, 2:6.

Campanha G. A. C., Sadowski G. R. 1999. Tectonics of the Southern Portion of the Ribeira Belt (Apiaí Dominion). Precambrian Research, São Paulo, **98**:31-51.

Deer W. A., Howie R.A., Zussman J., 2008. Minerais constituintes das rochas. 3ed. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 727p.

Fiori A.P. 1992. Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui, PR. Bol. IG-USP, Sér. Cient., v. **23**:55-74.

Fiori A.P, Gaspar L.A. 1993. Considerações sobre a estratigrafia do Grupo Açungui (Proterozóico Superior), Paraná, Sul do Brasil. Geo.USP, ser.cient.; São Paulo, v. **24**:1-19.

Fleuty M. J. 1964. *The description of folds. Proceedings of the Geologists' Association*, 75: 461-492.

Google Maps. Rio Branco do Sul - PR, Brasil. 1 mapa, color. Esc. Indet. Disponível em: <https://www.google.co.uk/maps/dir/Curitiba+-+PR,+Brasil//@-25.2710655,-49.4179467,11z/data=!4m8!4m7!1m5!1m1!1s0x94dce3f5fc090ff1:0x3c7a83b0092bb747!2m2!1d-49.2653819!2d-25.4244287!1m0>. Acesso em: 17 nov. 2015.

Maranhão R.J.L. 1982. Introdução à pesquisa mineral. 2.ed. Fortaleza, CE: ed. B.N.B, 680p.

Marini O. J., Trein E., Fuck R. A. 1967. O Grupo Açungui no Estado do Paraná. Boletim Paranaense de Geociências, Números 23 a 25: 43-104.

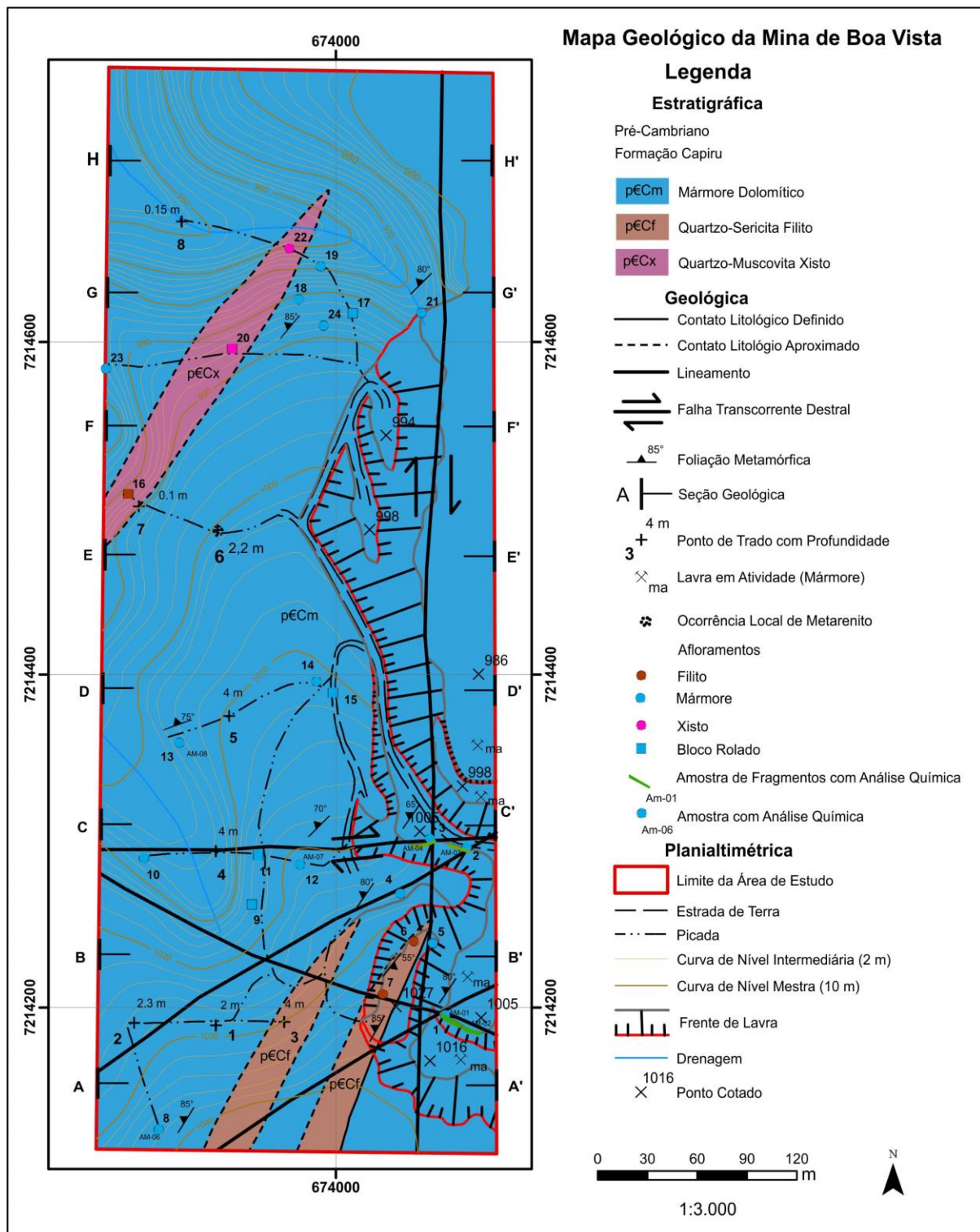
Mineropar. 2001. Atlas geológico do Estado do Paraná. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/MapasPDF/atlasgeo.pdf>. Acesso em 20/07/2015.

Nadalin R. J. 1986. Rochas calcárias na Folha Geológica de Capirú dos Dias. Monografia de Especialização. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, 18p.

Nadalin R. J. 2014. Tópicos especiais em cartografia geológica. Editora UFPR, Curitiba, 296p.

Silva J. O. 2009. Perfil do calcário. Ministério de Minas e Energia, 56p.

ANEXO 1 – Mapa Geológico



ANEXO 2 – Análises Químicas

 Cal Cem Indústria 	
LAUDO DE ANÁLISE FÍSICA & QUÍMICA	
Data de Registro	
Cliente	CAL CEM INDUSTRIA DE MINÉRIOS LTDA.
Data da Coleta	terça-feira, 22 de setembro de 2015
Período Ensaio	24/09/2015 a 25/09/2015
Produto	AM-01 PROCESSO DNPM Nº 801.919/1974
Identificação Técnica	MARMORE DOLOMÍTICO (CARBONATO DE CALCIO E MAGNÉSIO)
Nº do Lote	
Nº da Nota Fiscal	
Norma de Referência	Ensaio realizado em conformidade com a Norma NBR 6473 / 6453

Os resultados são restritos ao material ensaiado no laboratório da Cal Cem Indústria de Minérios Ltda.
Este documento só poderá ser reproduzido por inteiro.

Análise Química		
Ensaio	Unidade	Resultado
Perda por Calcinação	%	44,93
Sílica e Resíduo Insolúvel (SiO ₂ + RI)	%	4,64
Óxido de Cálcio (CaO)	%	28,76
Óxido de Magnésio (MgO)	%	20,68
Óxido de Ferro (Fe ₂ O ₃)	%	0,25
CaO + MgO	%	49,44
Análise Física		
Ensaio	Unidade	Resultado
Granulometria # 18 (1,00mm)	%	N/A
Granulometria # 50 (0,30mm)	%	N/A

Observações:	
---------------------	--



Técnico Químico Responsável: **Vagner Rodrigues Martins**

CRQ Nº 09403859 - 9ª Região

Rua Antônio Gasparim, 9586 • CEP 83415-070 • Colombo/PR • Telefone: (41) 3656-3636

www.calcem.com.br

laboratorio@calcem.com.br

 Cal Cem Indústria 	
LAUDO DE ANÁLISE FÍSICA & QUÍMICA	
Data de Registro	
Cliente	CAL CEM INDUSTRIA DE MINÉRIOS LTDA.
Data da Coleta	terça-feira, 22 de setembro de 2015
Período Ensaio	24/09/2015 a 25/09/2015
Produto	AM-02 PROCESSO DNPM Nº 801.919/1974
Identificação Técnica	MARMORE DOLOMÍTICO (CARBONATO DE CALCIO E MAGNÉSIO)
Nº do Lote	
Nº da Nota Fiscal	
Norma de Referência	Ensaio realizado em conformidade com a Norma NBR 6473 / 6453

Os resultados são restritos ao material ensaiado no laboratório da Cal Cem Indústria de Minérios Ltda.
Este documento só poderá ser reproduzido por inteiro.

Análise Química		
Ensaio	Unidade	Resultado
Perda por Calcinação	%	45,05
Sílica e Resíduo Insolúvel (SiO ₂ + RI)	%	3,35
Óxido de Cálcio (CaO)	%	29,61
Óxido de Magnésio (MgO)	%	21,06
Óxido de Ferro (Fe ₂ O ₃)	%	0,19
CaO + MgO	%	50,67
Análise Física		
Ensaio	Unidade	Resultado
Granulometria # 18 (1,00mm)	%	N/A
Granulometria # 50 (0,30mm)	%	N/A

Observações:	
---------------------	--



Técnico Químico Responsável: **Wagner Rodrigues Martins**

CRQ Nº 09403859 - 9ª Região

Rua Antônio Gasparim, 9586 • CEP 83415-070 • Colombo/PR • Telefone: (41) 3656-3636

www.calcem.com.br

laboratorio@calcem.com.br

 Cal Cem Indústria 	
LAUDO DE ANÁLISE FÍSICA & QUÍMICA	
Data de Registro	
Cliente	CAL CEM INDUSTRIA DE MINÉRIOS LTDA.
Data da Coleta	terça-feira, 22 de setembro de 2015
Período Ensaio	24/09/2015 a 25/09/2015
Produto	AM-03 PROCESSO DNPM Nº 801.919/1974
Identificação Técnica	MARMORE DOLOMÍTICO (CARBONATO DE CALCIO E MAGNÉSIO)
Nº do Lote	
Nº da Nota Fiscal	
Norma de Referência	Ensaio realizado em conformidade com a Norma NBR 6473 / 6453

Os resultados são restritos ao material ensaiado no laboratório da Cal Cem Indústria de Minérios Ltda.
Este documento só poderá ser reproduzido por inteiro.

Análise Química		
Ensaio	Unidade	Resultado
Perda por Calcinação	%	45,90
Sílica e Resíduo Insolúvel (SiO ₂ + RI)	%	2,27
Óxido de Cálcio (CaO)	%	29,72
Óxido de Magnésio (MgO)	%	21,18
Óxido de Ferro (Fe ₂ O ₃)	%	0,15
CaO + MgO	%	50,90
Análise Física		
Ensaio	Unidade	Resultado
Granulometria # 18 (1,00mm)	%	N/A
Granulometria # 50 (0,30mm)	%	N/A

Observações:	
---------------------	--



Técnico Químico Responsável: **Wagner Rodrigues Martins**

CRQ Nº 09403859 - 9ª Região

Rua Antônio Gasparim, 9586 • CEP 83415-070 • Colombo/PR • Telefone: (41) 3656-3636

www.calcem.com.br

laboratorio@calcem.com.br

 Cal Cem Indústria 	
LAUDO DE ANÁLISE FÍSICA & QUÍMICA	
Data de Registro	
Cliente	CAL CEM INDUSTRIA DE MINÉRIOS LTDA.
Data da Coleta	terça-feira, 22 de setembro de 2015
Período Ensaio	24/09/2015 a 25/09/2015
Produto	AM-04 PROCESSO DNPM Nº 801.919/1974
Identificação Técnica	MARMORE DOLOMÍTICO (CARBONATO DE CALCIO E MAGNÉSIO)
Nº do Lote	
Nº da Nota Fiscal	
Norma de Referência	Ensaio realizado em conformidade com a Norma NBR 6473 / 6453

Os resultados são restritos ao material ensaiado no laboratório da Cal Cem Indústria de Minérios Ltda.
Este documento só poderá ser reproduzido por inteiro.

Análise Química		
Ensaio	Unidade	Resultado
Perda por Calcinação	%	44,60
Sílica e Resíduo Insolúvel (SiO ₂ + RI)	%	5,12
Óxido de Cálcio (CaO)	%	28,86
Óxido de Magnésio (MgO)	%	20,54
Óxido de Ferro (Fe ₂ O ₃)	%	0,23
CaO + MgO	%	49,40
Análise Física		
Ensaio	Unidade	Resultado
Granulometria # 18 (1,00mm)	%	N/A
Granulometria # 50 (0,30mm)	%	N/A

Observações:	
---------------------	--



Técnico Químico Responsável: **Wagner Rodrigues Martins**

CRQ Nº 09403859 - 9ª Região

Rua Antônio Gasparim, 9586 • CEP 83415-070 • Colombo/PR • Telefone: (41) 3656-3636

www.calcem.com.br

laboratorio@calcem.com.br

 Cal Cem Indústria 	
LAUDO DE ANÁLISE FÍSICA & QUÍMICA	
Data de Registro	
Cliente	CAL CEM INDUSTRIA DE MINÉRIOS LTDA.
Data da Coleta	segunda-feira, 28 de setembro de 2015
Período Ensaio	29/09/2015 a 02/10/2015
Produto	AM-06 PROCESSO DNPM Nº 801.919/1974
Identificação Técnica	MARMORE DOLOMÍTICO (CARBONATO DE CALCIO E MAGNÉSIO)
Nº do Lote	
Nº da Nota Fiscal	
Norma de Referência	Ensaio realizado em conformidade com a Norma NBR 6473 / 6453

Os resultados são restritos ao material ensaiado no laboratório da Cal Cem Indústria de Minérios Ltda.
Este documento só poderá ser reproduzido por inteiro.

Análise Química		
Ensaio	Unidade	Resultado
Perda por Calcinação	%	44,85
Sílica e Resíduo Insolúvel (SiO ₂ + RI)	%	4,03
Óxido de Cálcio (CaO)	%	29,19
Óxido de Magnésio (MgO)	%	21,11
Óxido de Ferro (Fe ₂ O ₃)	%	0,07
CaO + MgO	%	50,30
Análise Física		
Ensaio	Unidade	Resultado
Granulometria # 18 (1,00mm)	%	N/A
Granulometria # 50 (0,30mm)	%	N/A

Observações:	
---------------------	--



Técnico Químico Responsável: **Wagner Rodrigues Martins**

CRQ Nº 09403859 - 9ª Região

Rua Antônio Gasparim, 9586 • CEP 83415-070 • Colombo/PR • Telefone: (41) 3656-3636

www.calcem.com.br

laboratorio@calcem.com.br

 Cal Cem Indústria 	
LAUDO DE ANÁLISE FÍSICA & QUÍMICA	
Data de Registro	
Cliente	CAL CEM INDUSTRIA DE MINÉRIOS LTDA.
Data da Coleta	segunda-feira, 28 de setembro de 2015
Período Ensaio	29/09/2015 a 02/10/2015
Produto	AM-07 PROCESSO DNPM Nº 801.919/1974
Identificação Técnica	MARMORE DOLOMÍTICO (CARBONATO DE CALCIO E MAGNÉSIO)
Nº do Lote	
Nº da Nota Fiscal	
Norma de Referência	Ensaio realizado em conformidade com a Norma NBR 6473 / 6453

Os resultados são restritos ao material ensaiado no laboratório da Cal Cem Indústria de Minérios Ltda.
Este documento só poderá ser reproduzido por inteiro.

Análise Química		
Ensaio	Unidade	Resultado
Perda por Calcinação	%	43,47
Sílica e Resíduo Insolúvel (SiO ₂ + RI)	%	6,97
Óxido de Cálcio (CaO)	%	28,32
Óxido de Magnésio (MgO)	%	20,40
Óxido de Ferro (Fe ₂ O ₃)	%	0,05
CaO + MgO	%	48,72
Análise Física		
Ensaio	Unidade	Resultado
Granulometria # 18 (1,00mm)	%	N/A
Granulometria # 50 (0,30mm)	%	N/A

Observações:	
---------------------	--



Técnico Químico Responsável: **Wagner Rodrigues Martins**

CRQ Nº 09403859 - 9ª Região

Rua Antônio Gasparim, 9586 • CEP 83415-070 • Colombo/PR • Telefone: (41) 3656-3636

www.calcem.com.br

laboratorio@calcem.com.br

 Cal Cem Indústria 	
LAUDO DE ANÁLISE FÍSICA & QUÍMICA	
Data de Registro	
Cliente	CAL CEM INDUSTRIA DE MINÉRIOS LTDA.
Data da Coleta	segunda-feira, 28 de setembro de 2015
Período Ensaio	29/09/2015 a 02/10/2015
Produto	AM-08 PROCESSO DNPM Nº 801.919/1974
Identificação Técnica	MARMORE DOLOMÍTICO (CARBONATO DE CALCIO E MAGNÉSIO)
Nº do Lote	
Nº da Nota Fiscal	
Norma de Referência	Ensaio realizado em conformidade com a Norma NBR 6473 / 6453

Os resultados são restritos ao material ensaiado no laboratório da Cal Cem Indústria de Minérios Ltda.
Este documento só poderá ser reproduzido por inteiro.

Análise Química		
Ensaio	Unidade	Resultado
Perda por Calcinação	%	46,60
Sílica e Resíduo Insolúvel (SiO ₂ + RI)	%	1,02
Óxido de Cálcio (CaO)	%	29,96
Óxido de Magnésio (MgO)	%	21,49
Óxido de Ferro (Fe ₂ O ₃)	%	0,14
CaO + MgO	%	51,45
Análise Física		
Ensaio	Unidade	Resultado
Granulometria # 18 (1,00mm)	%	N/A
Granulometria # 50 (0,30mm)	%	N/A

Observações:	
---------------------	--



Técnico Químico Responsável: **Wagner Rodrigues Martins**

CRQ Nº 09403859 - 9ª Região

Rua Antônio Gasparim, 9586 • CEP 83415-070 • Colombo/PR • Telefone: (41) 3656-3636

www.calcem.com.br

laboratorio@calcem.com.br