



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**



## TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANÁLISE DA MINERALIZAÇÃO DE MAGNESITA CRIPTOCRISTALINA,  
EM VEIOS *STOCKWORKS*, HOSPEDADOS EM CORPOS  
ULTRAMÁFICOS DA REGIÃO DE BRUMADO E ARACATU-BA

Gustavo de Aguilar Honorato

**MONOGRAFIA nº 335**

Ouro Preto, agosto de 2019



**ANÁLISE DA MINERALIZAÇÃO DE MAGNESITA  
CRIPTOCRISTALINA, EM VEIOS *STOCKWORKS*,  
HOSPEDADOS EM CORPOS ULTRAMÁFICOS DA REGIÃO  
DE BRUMADO E ARACATU-BA**

---





## **FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**

### **Reitora**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Aparecida Marlière de Lima

### **Vice-Reitor**

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

### **Pró-Reitora de Graduação**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Tânia Rossi Garbin

### **ESCOLA DE MINAS**

#### *Diretor*

Prof. Dr. Issamu Endo

#### *Vice-Diretor*

Prof. Dr. Hernani Mota de Lima

### **DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

#### *Chefe*

Prof. Dr. Marco Antônio Fonseca



# MONOGRAFIA

Nº 335

## ANÁLISE DA MINERALIZAÇÃO DE MAGNESITA CRIPTOCRISTALINA, EM VEIOS *STOCKWORKS*, HOSPEDADOS EM CORPOS ULTRAMÁFICOS DA REGIÃO DE BRUMADO E ARACATU-BA

**Gustavo de Aguilar Honorato**

*Orientador*

Prof. Edison Tazava

*Co-Orientador*

Hermínio Arias Nalini Jr

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2019/1.

OURO PRETO

2019

---



## Ficha de Aprovação

---

### TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

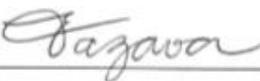
**TÍTULO:** ANÁLISE DA MINERALIZAÇÃO DE MAGNESITA CRIPTOCRISTALINA, EM VEIOS *STOCKWORKS*, HOSPEDADOS EM CORPOS ULTRAMÁFICOS DA REGIÃO DE BRUMADO E ARACATU-BA

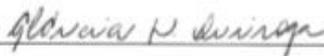
**AUTOR:** Gustavo de Aguiar Honorato

**ORIENTADOR:** Edison Tazava

**Aprovado em:** 20 de agosto de 2019

#### BANCA EXAMINADORA:

Prof. MSc. Edison Tazava  DEGEO/UFOP

Prof. Dr<sup>a</sup>. Gláucia Nascimento Queiroga  DEGEO/UFOP

Prof. Dr. Gustavo Henrique Coelho de Melo  DEGEO/UFOP

**Ouro Preto, 20 de agosto de 2019**



## Agradecimentos

---

Agradeço aos meu pais Edivânia e Edilson por serem minha inspiração, exemplo o por me incentivarem em todas às minhas decisões. À minha irmã Gabriele por estar sempre ao meu lado. Às minhas avós Selma e Joana pelo carinho, aos meus tios (as), primos (as) e à toda família Aguilár e Honorato pelo apoio.

Aos amigos de Belo Horizonte sempre presentes, apesar da distância. À Geoconsultoria Jr, ANM e Mg Óxidos pelas oportunidades profissionais durante a graduação. À toda geogalera, em especial, Tampinha, Trágica, João, Júlio, Prymatha, Belinha, Belle, Trágica, JH, Fidi, Perdoa, Smigol, Mari, Tite, Dorval, Tchovis, Bruna, Davidson, Budinha e à geologia, esta ciência mágica que nos faz enxergar o mundo de uma forma diferente.

Ao professor Edison Tazava, pelos ensinamentos, orientação e disposição para o desenvolvimento deste trabalho. À equipe do Laboratório de Geoquímica pela análise das amostras e a todo Departamento de Geologia pelos anos de aprendizado e excelência acadêmica.

Á Ouro Preto, que além de suas belezas, carrega na sua história a essência da minha futura profissão.

Á todos amigos de OP e às repúblicas Cravo, Querubim, Feitiço, Lua Azul, Patotinha, Girassol e Vila dos Tigres por compartilharem os melhores momentos. E, por fim, a Majestosa Mansão Canaan, lar de grandes lembranças, amizades e aprendizados. A todos Ex-alunos e atuais Moradores, que além de me fornecerem um lar, me fizeram crescer como pessoa e me orgulhar de ser um Canaense.



# SUMÁRIO

---

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	ix
<b>SUMÁRIO</b> .....	xi
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xiii
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	xv
<b>RESUMO</b> .....	xvii
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 APRESENTAÇÃO .....	1
1.2 LOCALIZAÇÃO.....	1
1.3 OBJETIVOS.....	2
1.4 JUSTIFICATIVA .....	2
1.5 MATERIAIS E MÉTODOS .....	3
1.5.1 Revisão bibliográfica .....	3
1.5.2 Levantamento de banco de dados .....	3
1.5.3 Trabalho de campo.....	3
1.5.4 Análise química de elementos maiores e menores.....	4
<b>2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL</b> .....	<b>5</b>
2.1 INTRODUÇÃO.....	5
2.2 LITOESTRATIGRAFIA.....	5
2.2.1 Cráton São Francisco .....	5
2.2.2 Bloco do Gavião – Embasamento Arqueano .....	6
2.2.2.1 Complexo de Brumado e Sequência Licínio de Almeida .....	10
2.2.2.2 <i>Greesntone Belt</i> Umburanas .....	11
2.2.2.3 Grupo Serra das Éguas .....	12
2.2.3 Supergrupo Espinhaço .....	13
2.3 ARCABOUÇO ESTRUTURAL.....	15
2.4 GEOFÍSICA REGIONAL.....	17
<b>3 DEPÓSITOS DE MAGNESITA</b> .....	<b>19</b>
3.1 INTRODUÇÃO.....	19
3.2 O MINERAL MAGNESITA .....	19
3.3 DEPÓSITOS DE MAGNESITA.....	19
3.3.1 Depósito tipo Kraubath (criptocristalina) .....	20
3.3.2 Depósito tipo Veitsch (macrocristalina) .....	21
3.3.3 Depósito tipo Greiner .....	23

3.3.4	Depósito tipo Bela Stena .....	23
3.4	DEPÓSITOS DE MAGNESITA NA SERRA DAS ÉGUAS (BRUMADO-BA) .....	23
3.4.1	Histórico .....	23
3.4.2	Gênese da magnesita na Serra Das Éguas .....	24
3.4.3	Komatiítos do <i>Greenstone Belt</i> Umburanas (GBU) .....	26
3.4.4	Outros minerais e minérios associados.....	27
<b>4</b>	<b>PARÂMETROS ECONÔMICOS DA MAGNESITA.....</b>	<b>29</b>
4.1	INTRODUÇÃO.....	29
4.2	RESERVAS DE MAGNESITA .....	29
4.3	PRODUÇÃO INTERNA .....	30
4.4	UTILIZAÇÃO .....	30
<b>5</b>	<b>ASPECTOS GEOLÓGICOS LOCAIS.....</b>	<b>33</b>
5.1	INTRODUÇÃO.....	33
5.2	GEOLOGIA LOCAL.....	33
5.3	TRABALHO DE CAMPO .....	34
5.4	GEOQUÍMICA.....	39
5.5	GEOFÍSICA LOCAL .....	41
<b>6</b>	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>43</b>
6.1	INTRODUÇÃO.....	43
6.2	GEOQUÍMICA.....	43
6.2.1	Princípio da afinidade geoquímica .....	43
6.2.2	Interpretação .....	46
6.3	TRABALHOS FUTUROS .....	50
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>51</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>53</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> - Localização da área de estudo. ....	2
<b>Figura 2.1</b> - Esboço geológico, com o alvo do TCC em vermelho .....	7
<b>Figura 2.2</b> - Mapa geológico esquemático mostrando os limites, cinturões de empurrão e unidades estruturais dominantes do CSF.....	8
<b>Figura 2.3</b> - Evolução Geotectônica estimada e formação dos protólitos durante os eventos Pré-Jequié (3,4 - 3,3 Ga) e Jequié (2,9 - 2,7 Ga) nos blocos Gavião, Jequié e Cinturão Contendas-Mirante .....	9
<b>Figura 2.4</b> - Distribuição geográfica do Complexo de Brumado .....	11
<b>Figura 2.5</b> - Litoestratigrafia do <i>Greenstone Belt</i> de Umburanas de adaptado .....	12
<b>Figura 2.6</b> -Coluna estratigráfica esquemática do Grupo Serra das Éguas, aflorante na serra homônima, da unidade basal do Complexo Brumado e do embasamento arqueano .....	13
<b>Figura 2.7</b> - Coluna estratigráfica englobando o embasamento arqueano, Complexo Brumado e Sequência Espinhaço (Lima 1986) .....	14
<b>Figura 2.8</b> - Mapa Geológico simplificado do Aulacógeno do Paramirim, enfatizando as principais unidades geológicas e estruturas tectônicas de idade brasileira. ....	16
<b>Figura 2.9</b> - Valores médios e intervalos de suscetibilidade magnética dos principais tipos de rocha. ....	17
<b>Figura 2.10</b> – Mapa de sinal analítico do campo magnético total de escala 1:580.000 do projeto Barra de Estiva/Tremedal, com escala de aquisição dos dados de 1:250.000.....	18
<b>Figura 3.1</b> – Foto ilustrativa da magnesita e sua estrutura cristalina.....	19
<b>Figura 3.2</b> - Modelo de depósito do tipo Kraubath, segundo um sistema epitermal raso .....	21
<b>Figura 3.3</b> - Esboço de mapa geológico do depósito de magnesita em Veitsch (Áustria) .....	22
<b>Figura 3.4</b> – Modelo de depósito de magnesita do tipo Veitsch, em ambiente evaporítico marinho de águas raras. ....	22
<b>Figura 3.5</b> – Sumário dos processos envolvidas na gênese da magnesita. ....	25
<b>Figura 3.6</b> – Reações de serpentinização de peridotitos. (Lima 1986).....	26
<b>Figura 4.1</b> - Localização de depósitos de magnesita no mundo. ....	29
<b>Figura 5.1</b> - Mapa geológico extraído e adaptado da Folha SD.24-A-II Tanhuaçu da CPRM. ....	33
<b>Figura 5.2</b> – Rocha ultramáfica intrusiva. ....	34
<b>Figura 5.3</b> - Fotos das trincheiras abertas por garimpeiros. ....	35
<b>Figura 5.4</b> - Contato do serpentinito cinza com o esverdeado.. ....	35
<b>Figura 5.5</b> – Foto do geodo de calcedônia coletado na porção mais superficial do afloramento. ....	36
<b>Figura 5.6</b> - Ortognaisse migmatítico como rocha encaixante da intrusão ultramáfica. ....	36

<b>Figura 5.7</b> – Mapa geológico da região do TCC.....	37
<b>Figura 5.8</b> – Seção geológico da região do TCC, em referência ao mapa anterior. ....	38
<b>Figura 5.9</b> – Amostras analisadas com seus respectivos códigos .....	39
<b>Figura 5.10</b> - Mapa de sinal analítico do campo magnético total em escala de aquisição de 1:250.000.....	41
<b>Figura 6.1</b> - Classificação de Goldschmidt (1937) dos elementos químicos.....	44
<b>Figura 6.2</b> - Potencial iônico dos elementos (Goldschmidt 1937 extraído de Santos 2014) ..	45
<b>Figura 6.3</b> - Gráfico de linhas com elementos maiores. ....	47
<b>Figura 6.4</b> - Gráfico de linhas com os óxidos dos elementos maiores.....	47
<b>Figura 6.5</b> – Gráfico de linhas com elementos menores.....	47
<b>Figura 6.6</b> – Comparativo entre os dois modelos hidrotermais em relação à proposta de gênese para a magnesita em questão.....	49
<b>Figura 6.7</b> – Modelo esquemático proposto para o processo de mineralização do MgO da área do estudo (baseado em Pohl 1989). ....	50

## ÍNDICE DE TABELAS

---

<b>Tabela 1.1</b> – Código das amostras. ....	4
<b>Tabela 4.1</b> – Reserva e produção mundial de magnesita. Fonte Sumário Mineral 2016. ....	30
<b>Tabela 5.1</b> – Dados da análise química de cinco amostras, realizado no Laboratório de Geoquímica do Degeo. ....	40
<b>Tabela 5.2</b> – Fatores de conversão para óxido.....	40
<b>Tabela 5.3</b> – Elementos maiores convertidos em óxidos (%). ....	41
<b>Tabela 6.1</b> - Mobilidade relativa dos elementos químicos no ambiente secundário (Andrews Jones,1968 <i>in</i> Santos 2014) .....	46



## RESUMO

---

Os maiores depósitos de magnesita ( $MgCO_3$ ) conhecidos, ocorrem de forma macrocristalina em lentes de sedimentos marinhos clásticos (tipo Veitsch) e/ou de forma microcristalina hospedadas em veios de corpos ultramáficos por conta de um fluido hidrotermal (tipo Kraubath). No caso da região de Brumado e Aracatu, no estado da Bahia, a chamada Serra das Éguas agrupa um conjunto de mineradoras que exploram este tipo de minério, sendo esta uma das maiores reservas do mundo. Incertezas relativas à fonte de Mg, transporte de carbono e estado de mineralização definem a complexidade de caracterizar este tipo de mineralização em corpos ultramáficos. Estudos anteriores atribuem a um influxo de  $CO_2$  de desgaseificação metamórfica em águas subterrâneas que fluem através do serpentinito, porém a precipitação de magnesita em veios ocorrem, no caso, a apenas alguns metros da superfície, o que permite uma interpretação de que há uma possível influência de um fluido supergênico responsável pelo enriquecimento. A fim investigar e entender como se dá este processo, o presente trabalho apresenta uma proposta de mineralização onde demonstra que os elementos como Mg e Ca, que possuem elevada mobilidade geoquímica e basicamente, compõem o mineral em questão, se tornam propícios a se concentrarem nestes veios por meio de um fluido hidrotermal e/ou supérgeno que percola nas zonas de fraqueza e lixivia a rocha ultramáfica hospedeira, os remobilizando nos chamados *stockworks*. Para isto, teve-se como base uma ocorrência localizada na zona rural do município de Aracatu-BA, onde há um corpo de rocha ultramáfica composto por serpentina, olivina e talco, podendo ser classificado como um serpentinito, com veios enriquecidos em magnesita criptocristalina, intrudido em um biotita-gnaiss granofels milonitizado. Além disso, foi verificado que estas ocorrências estão relacionadas à anomalias magnéticas positivas, tornando a utilização de métodos geofísicos uma importante ferramenta para a prospecção.

**Palavras chave:** Brumado, Aracatu, Serra das Éguas, corpos ultramáficos, magnesita, criptocristalina.



# CAPITULO 1

## INTRODUÇÃO

---

### 1.1 APRESENTAÇÃO

Fomentada pela descoberta dos primeiros depósitos na região de Veitsch na Áustria e de sua vasta aplicação na indústria, o contexto de formação dos depósitos magnésíferos é objeto de estudo há mais de um século. Dentre os modelos genéticos deste tipo de mineralização, pode-se destacar o sin-sedimentar, o epigenético-hidrotermal e o sin-sedimentar/diagenética precoce, sendo esta uma terceira hipótese que associa a sin-sedimentar com a epigenética.

A área investigada integra-se à unidade geotectônica Cráton do São Francisco, sobre o qual desenvolveram-se coberturas do Arqueano/Proterozóico Inferior (Complexos de Brumado e Licínio de Almeida), do Proterozóico Inferior (Complexo Contendas-Mirante), do Proterozóico Inferior/Médio (Unidade Bate-Pé) e Médio/Superior (Supergrupo Espinhaço), bem como intrusões proterozóicas diversas e sedimentos detríticos do Terciário-Quaternário (Inda & Barbosa, 1978 e Cordani *et al.*, 1985 *in* Almeida 1989).

No presente trabalho, pretende-se desenvolver uma análise quanto à mineralização de magnetita na região descrita, com foco em um afloramento presente na zona rural do município de Aracatu-MG, onde ocorre um enriquecimento em veios hospedados por uma rocha ultramáfica.

Os resultados aqui alcançados permitirão um melhor entendimento quanto ao processo de hidrotermalismo responsável pela mineralização da magnetita, além de expandir o conhecimento sobre a gênese deste mineral na região.

### 1.2 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo encontra-se na região centro sul do estado da Bahia (Figura 1.1), agrupando os municípios de Brumado, Aracatu e Tanhaçu. Esta tem aproximadamente 4.500Km<sup>2</sup> e abrange a carta geológica: folha Brumado – SD-Y-A-I e Tanhaçu – SD-Y-A-II, de escala 1:100.000 publicada pela CPRM e a carta topográfica Vitória da Conquista (SD-24-Y-A) em escala 1:250.000, elaborada pelo IBGE

A região posiciona-se a cerca de 650 Km de Salvador e o acesso, partindo da capital baiana, é realizado a partir das rodovias BR-324 com sentido à Feira de Santana, devendo-se entrar na BR-116 até a cidade de Vitória da Conquista, onde se segue para oeste pela BA-262, passando por Anagé, Aracatu, até o município de Brumado.

A ocorrência do mineral onde foram realizados o reconhecimento geológico e a amostragem, se localiza no perímetro da coordenada UTM 23S 883218/8411290.

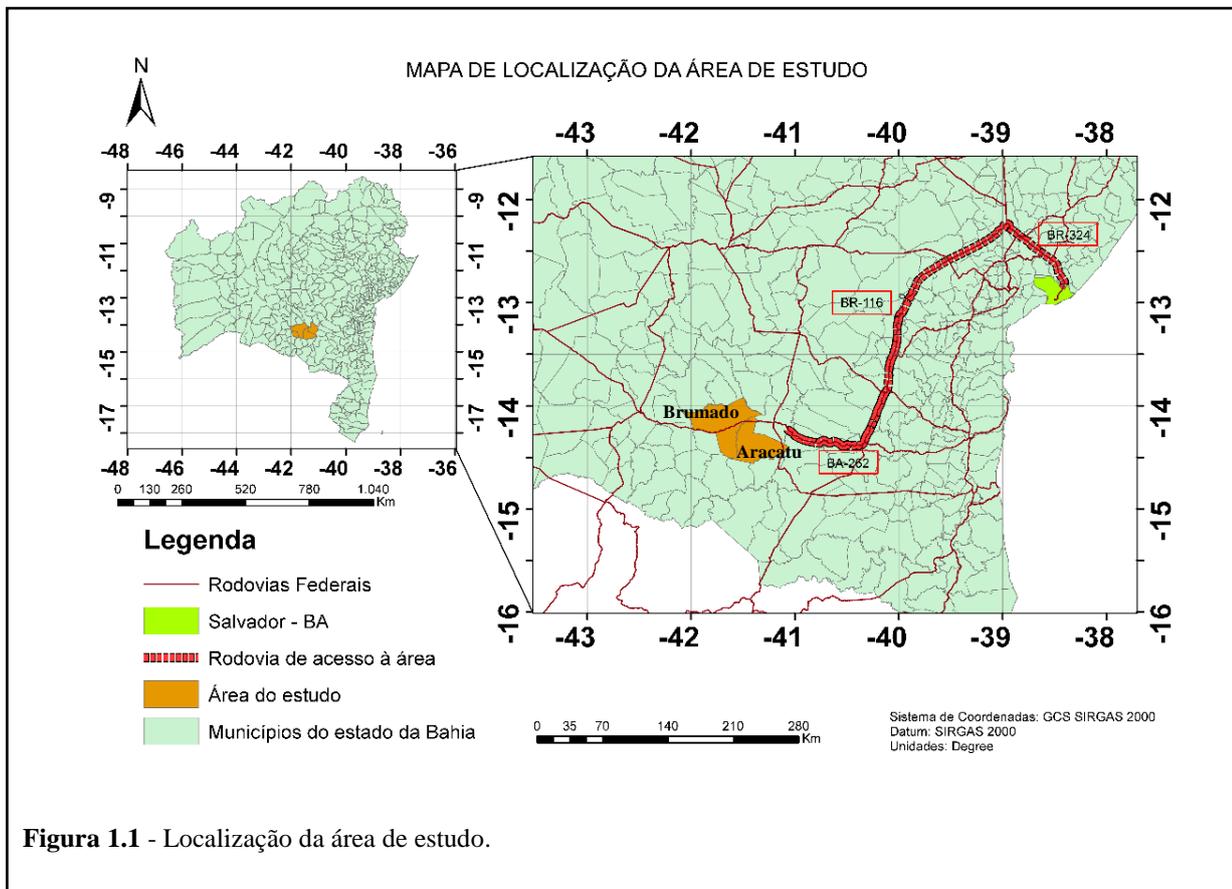


Figura 1.1 - Localização da área de estudo.

### 1.3 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma análise quanto à mineralização de magnesita criptocristalina presente em uma ocorrência geológica localizada na zona rural do município de Aracatu-BA, de modo a correlacionar dados bibliográficos de estudos mais antigos e mais recentes, e a partir daí, sugerir um possível modelo genético para a mineralização.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

Alguns projetos de prospecção regional, mapeamento geológico, teses de mestrado e doutorado foram realizados no final do século XX, permitindo um amadurecimento do conhecimento sobre a geologia da região. Dentre eles pode-se destacar o Projeto Rochas Básicas e Ultrabásicas de Vitória da Conquista em 1977, Projeto Contendas-Mirante em 1979, Projeto Anagé – Caldeirão em 1978, Projeto Análise e Integração de dados da região de Vitória da Conquista e Brumado de 1982, Projeto Ibitira-Brumado de 1994, além de trabalhos mais específicos sobre a mineralização de magnesita, como a tese de doutorado de Almeida 1989 e a dissertação de mestrado de Lima 1986, que serviram de referência bibliográfica para este trabalho.

No caso da ocorrência estudada, não há uma pesquisa direcionada que analise e interprete a gênese da magnesita nos veios em *stockworks*, definindo qual seria a fonte do óxido de magnésio (MgO), qual é a influência da rocha ultramáfica hospedeira e qual seria a fonte do fluido responsável pela precipitação nos veios.

Dessa forma, a presente pesquisa é justificada pela escassez de estudos direcionados ao processo, sendo ele hidrotermal ou supergênico, responsável pela mineralização na região, além das várias incertezas relativas a depósitos hospedados em rochas ultramáficas, tal como seu estado, causa da precipitação e a mineralogia inicial.

## **1.5 MATERIAIS E MÉTODOS**

O trabalho foi realizado conforme os itens descritos a seguir.

### **1.5.1 Revisão bibliográfica**

Como principais fontes bibliográficas, utilizou-se da tese de doutorado “Magnesita do depósito de Campo de Dentro, Serra das Éguas, Bahia: Geoquímica e Gênese” (Almeida 1989) e da dissertação de mestrado “Aspectos geológicos e mineralização na área de Brumado: Magnesita na Serra das Éguas” (Lima 1986) por apresentarem estudos mais regionais.

Quanto aos aspectos do depósito em si, foram utilizados os trabalhos de Abu-Jaber & Kimberley 1991 que estuda a origem dos veios de magnesita hospedados em rochas ultramáficas, e Jurkovic *et al* 2012 sobre a gênese da magnesita criptocristalina em veios *stockworks* em onfiolitos nos alpes Dináricos, por apresentarem novas interpretações quanto a gênese de mineralização da magnesita.

Visando ainda o entendimento dos métodos a serem aplicados durante a realização da pesquisa, realizou-se a leitura de textos e artigos com temas relacionados à geoquímica, petrologia, litoestratigrafia e geologia estrutural da área.

### **1.5.2 Levantamento de banco de dados**

Utilizou-se neste trabalho, o banco de dados de mapeamento geológico em escala 1:100.000 disponibilizados pela CPRM e CBPM (Companhia Baiana de Pesquisa Mineral), geoquímico e geofísico, levantados pelo Projeto Ruy Barbosa/Vitória da Conquista. As Cartas Geológicas correspondem às articulações SD-Y-A-I (Brumado) de Pinho (2012) e SD-Y-A-II (Tanhuaçu) de Filho (2012).

### **1.5.3 Trabalho de campo**

Nos dias 3 e 4 de janeiro de 2019 foi realizado um trabalho de campo na área, com o objetivo de reconhecimento da geologia local e coleta de 5 amostras para a análise química. Auxiliado por um

geólogo da região, foi feito um caminhamento nas trilhas presentes para o reconhecimento dos litotipos e coleta de amostras.

**Tabela 1.1** – Código das amostras.

Códigos das amostras		
Código do laboratório	Código TCC	Significado
TCC 438	MGN 1	Magnesita branca neve dos veios
TCC 439	MAF 2	Rocha ultramáfica e ultrabásica intrusiva maciça
TCC 440	Serp-MG.2 3	Serpentinito com magnesita coletado mais superficialmente
TCC 441	Serp-MG 4	Serpentinito com magnesita em maior profundidade
TCC 442	Serp-VER 5	Serpentinito de cor mais esverdeada (mais próximo ao veio)

#### 1.5.4 Análise química de elementos maiores e menores.

Foi realizada a análise química de elementos maiores e menores de amostras coletadas na área de estudo, permitindo uma caracterização de sua composição. Para isto, utilizou-se do laboratório de Geoquímica do Departamento de Geologia (DEGEO), de responsabilidade do professor Hermínio Arias Nalini Jr, co-orientador deste projeto.

Após a campanha de amostragem realizada no trabalho de campo, foram analisadas as 5 amostras para serem submetidas à espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES) do laboratório de geoquímica do Degeo. Esta é uma técnica de análise química instrumental que utiliza da excitação do plasma de argônio em altas temperaturas (entre 7.000 a 10.000K) para produzir, em uma amostra previamente preparada, átomos excitados que emitem radiação em comprimento de onda na faixa de 125 a 950 nm.

Estas radiações emitidas, são medidas nos detectores de radiação específicos e correlacionadas às concentrações correspondentes através de curvas de calibração, obtidas pela medição prévia de Padrões Certificados de Referência. O instrumento possui uma capacidade de leitura de até partes por milhão (ppm) e por questões instrumentais, não mede o silício

## CAPÍTULO 2

### CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

---

#### 2.1 INTRODUÇÃO

Os depósitos de magnesita na região de Brumado e Aracatu, mais precisamente na Serra das Éguas, foi objeto de estudo de diversos autores desde a segunda metade do século passado, onde trabalhos de caráter regional e integração de dados a partir de mapeamentos sistemáticos com interpretações geotectônicas foram desenvolvidos. Dentre eles, pode-se destacar Barbosa (1943) definindo a evolução de um ciclo tectônico, Pflug & Renger (1973) responsáveis por dividir a coluna geológica registrada na Serra do Espinhaço Meridional e adjacências, Mascarenhas (1973) reformulando a coluna estratigráfica integrando dados dos projetos básicos da CPRM, dentre outros como Cordani *et al.* (1985) e Lima *et al.* (1986).

O conhecimento geológico, ainda incompleto, define a complexidade do seu contexto de formação.

#### 2.2 LITOESTRATIGRAFIA

Segundo Inda & Barbosa (1978) a região situa-se no Cráton São Francisco, sobre o qual desenvolveram-se coberturas do Arqueano/Proterozóico Inferior (Complexos de Brumado e Licínio de Almeida), do Proterozóico Inferior (Complexo Contendas-Mirante), do Proterozóico Inferior/Médio (Unidade Bate Pé) e Médio/Superior (Supergrupo Espinhaço), bem como intrusões proterozóicas diversas e sedimentos detríticos do Terciário/Quartenário.

Considerando o caráter e o objetivo deste estudo, não serão abordadas as unidades que não tenham relação direta com a sequência estudada. Desta forma, as sequências médias e superiores do Supergrupo Espinhaço serão apresentados apenas os aspectos gerais, e o Complexo Brumado e Umburanas serão tratados com maior detalhe.

##### 2.2.1 Cráton São Francisco

Localizado na região leste do Brasil, insere-se no contexto da plataforma Sul Americana sendo este uma grande unidade tectônica que compreende a maior parte do Estado da Bahia e se estende às regiões vizinhas de Minas Gerais, Sergipe, Pernambuco e Goiás. É considerado uma unidade geotectônica Neoproterozóica, moldada e individualizada em decorrência da orogenia Brasileira (Alkmim *et al.* 1993).

O conceito de plataforma de São Francisco foi originalmente proposto em 1966, com base nessas definições: uma área extensa, consolidada antes do Ciclo Brasileiro, durante o qual não sofreu

dobramentos de tipo alpino, mas atuou como antepaís dos geossinclíneos que então se desenvolveram às suas bordas (Almeida 1977).

O embasamento do Cráton São Francisco é constituído por um complexo arranjo de terrenos metamórficos de alto grau (gnaisses, granitóides e granulitos) de idade arqueana, associações do tipo granito *greenstone* e cinturões de rochas supracrustais paleoproterozóicas, assim como rochas plutônicas com grande variedade composicional, expostos no extremo sul do cráton (Cinturão Mineiro) e na porção nordeste, no estado da Bahia (Teixeira 2000).

Sua cobertura compreende dois complexos. O mais antigo é correlativo de uma faixa de dobramentos desenvolvida durante a primeira metade do Pré-Cambriano Superior. O mais novo, brasileiro, recobre quase metade de sua área. Faixas de dobramentos surgiram durante a evolução de geossinclíneos dispostos às bordas do cráton no Ciclo Brasileiro, na segunda metade do Pré-Cambriano Superior (Almeida 1977)

Processos de sedimentação, tectogênese, metamorfismo e magmatismo em condições comparáveis às dos miogeossinclíneos foram acompanhados, em seu término, pela inversão geossinclinal. Resultaram relevos às bordas do Cráton, cuja erosão destruiu grandes trechos das faixas marginais de dobramentos e causou o recobrimento, de parte pelo menos do cráton, com depósitos molássicos (Almeida 1977).

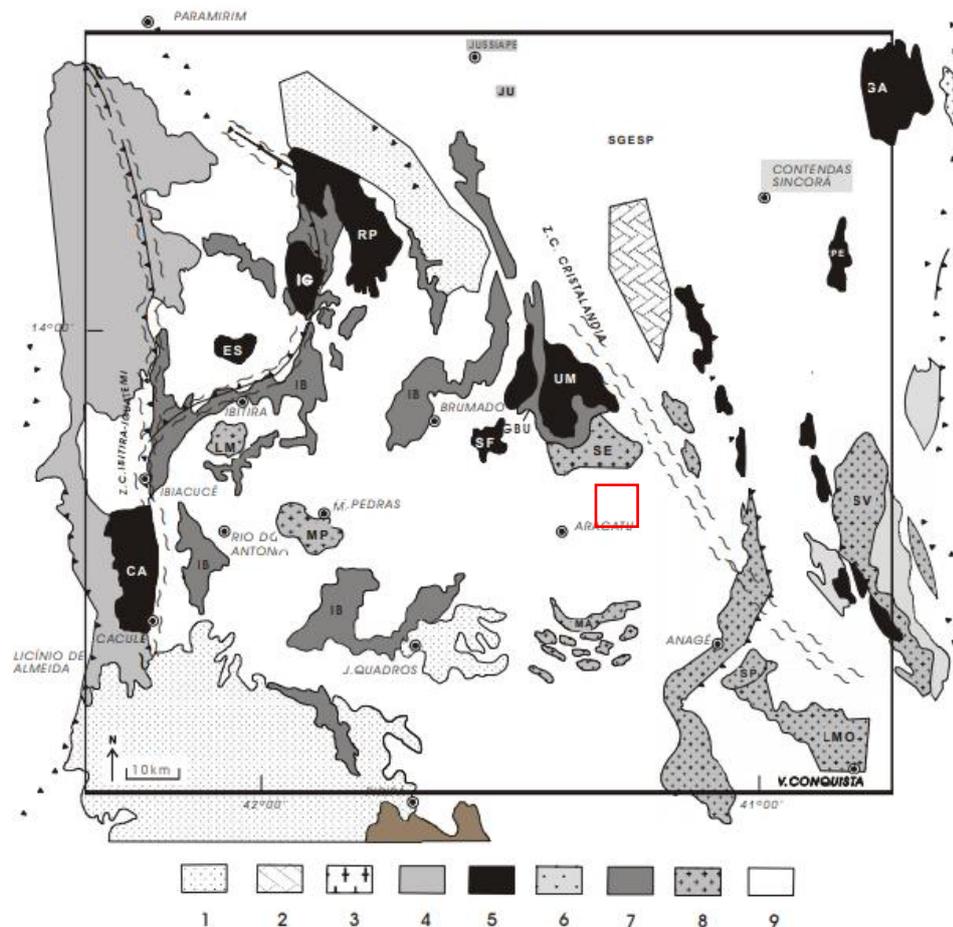
No caso da Bahia, colisões de segmentos crustais promoveram sucessivos mecanismos tectônicos que colocaram, lado a lado, unidades de rochas arqueanas (Ex: Bloco do Gavião e antigos núcleos TTGs, seqüências metassedimentares Contendas Mirante, Umburanas e Mundo Novo, Complexos Jequié e Mairi, Núcleo Serrinha, etc.) com unidades de rochas formadas no início do Paleoproterozóico (Ex: Grupo Jacobina, Greenstone Belts do Rio Itapicuru e Capim, etc.) (Barbosa *et al* 2003).

### **2.2.2 Bloco do Gavião – Embasamento Arqueano**

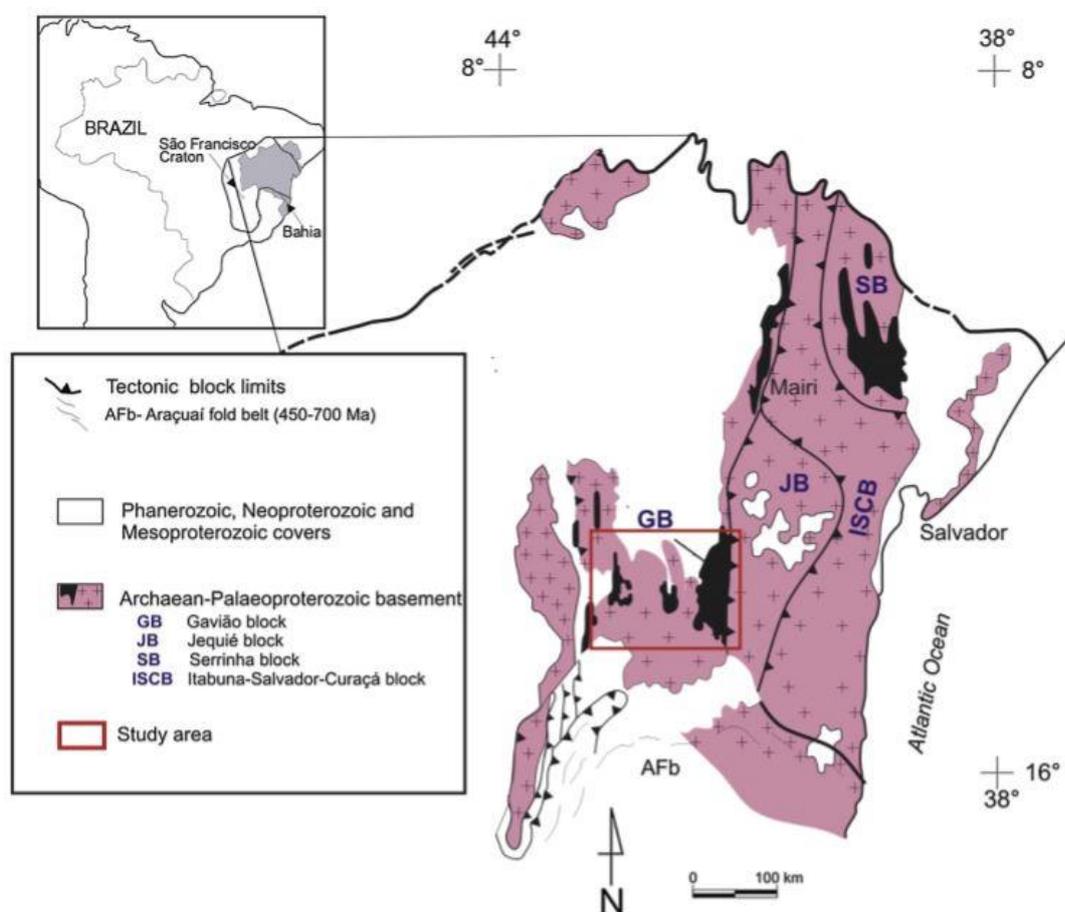
O Bloco Gavião pode ser definido como um extenso escudo ocidental ou compartimento geotectônico a oeste do estado da Bahia. De forma geral, este é constituído por rochas tonalo-granodiorito-granítica, migmatizadas e gnaissificada que engloba também remanescentes de sequências metassedimentares, como por exemplo o Complexo Boquira, e o Complexo Licínio de Almeida, além de seqüências vulcanossedimentares como o Complexo Brumado e o Riacho de Santana-Urandi, os quais supostamente podem ter tido origem a partir de pequenas bacias intracratônicas e oceânicas (Barbosa 1993) (Figura 2.1).

Representa a área de maior exposição do embasamento arqueano e paleoproterozóico do CSF, sendo que os gnaisses TTGs mais antigos, foram datados com idade variando entre  $3403 \pm 5$  Ma e  $3146 \pm 24$  Ma (Cunha & Fróes 1994) (Figura 2.2)

Como pode ser observado na Figura 2.3 a evolução geológica do Bloco Gavião, com geração de rochas TTG, possivelmente oriundas de processos ligados à reciclagem da crosta continental antiga (Santos-Pinto *et al.* 1993) pode ser considerada como estando associada aos eventos geotectônicos denominados de ciclos Pré-Jequié (Cordani 1973, Barbosa 1993) e Jequié (Cordani *et al.* 1992)



**Figura 2.1-** Esboço geológico, com o alvo do TCC em vermelho, do BG na região de Brumado, destacando os granitóides estudados (Adaptado de Barbosa & Dominguez 1996). 1- Coberturas fanerozóicas. Neoproterozóico: 2- Supergrupo São Francisco (Grupo Una). Mesoproterozóico: Supergrupo Espinhaço (SGESP), 3- Grupos Paraguaçu e Chapada Diamantina, 4- Complexo ígneo-metamórfico Lagoa Real. Paleoproterozóico: 5- Granitóides (granitos, granodioritos e monzogranitos); CA= Caculé, ES= Espírito Santo, IG= Iguatemi, RP= Rio do Paulo, SF= Serra da Franga, UM= Umbrunas, GA= Gameleira, RPE= Riacho de Pedras. Arqueano: 6- Greenstone belt de Contendas Mirante, 7- Sequências greenstone belt do Bloco Gavião (GBU= Greenstone belt de Umbrunas, IB= Complexo Ibitira-Brumado), 8- Granitóides (tonalitos, granitos e granodioritos); LM= Lagoa da Macambira, MP= Malhada de Pedras, SE= Serra do Eixo, MA= Mariana, SV= Sete Voltas, SP= Serra dos Pombos, LMO= Lagoa do Morro, JU= Jussiapé; 9- Terrenos gnáissicos-migmatíticos da suíte TTG (tonalitos, trondhjemitos e granodioritos) com a presença subordinada de paragneisses. (Leal *et al.* 2005)



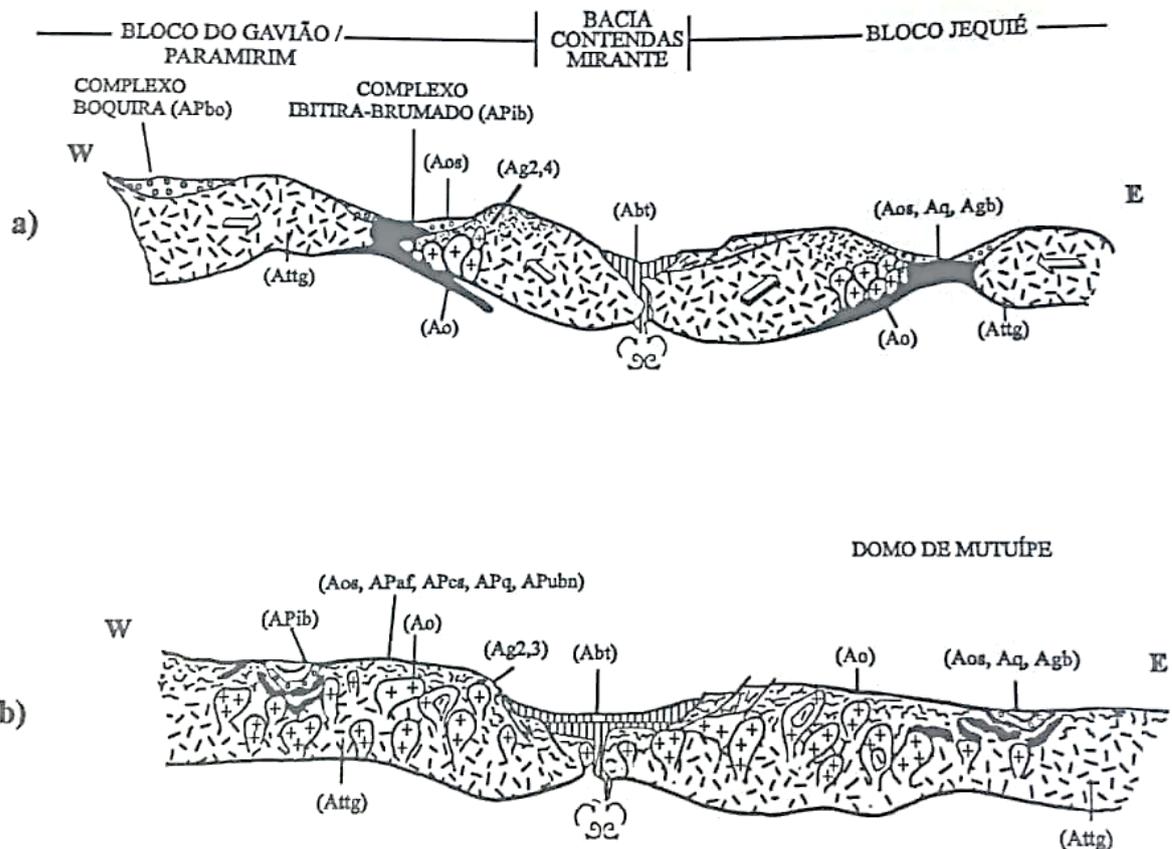
**Figura 2.2** - Mapa geológico esquemático mostrando os limites, cinturões de empurrão e unidades estruturais dominantes do CSF - O retângulo em vermelho indica a área de estudo de forma esquemática (Adaptado de Alkmin *et al* 1993, in Santos-Pinto 2012)

Segundo Zincone (2016), o desenvolvimento e estabilização do BG se deu a partir do estágio principal de espessamento da litosfera continental do Bloco ocorrendo continuamente entre 3420 e 3300 Ma. A evolução magmática é caracterizada por ampla variação composicional e abrange magmatismo do tipo tonalito-trondhjemitó-granodiorito (TTG), cálcio-alcálico (CA) de baixo a alto potássio e magmatismo intraplaca do tipo cálcico-ferroso.

O magmatismo CA de baixo potássio ocorreu entre 3,35 e 3,32 Ga e se formou pela fusão de toleítos básicos em nível crustal relativamente mais raso ( $\leq 50$  km), contendo plagioclásio como fase residual e fracionante. Em conjunto, o magmatismo TTG e CA delimita o período de amplo espessamento crustal associado a processos de retrabalhamento intracrustal, como sugerido por valores de  $\epsilon Hf(t)$  negativo (Guitreau *et al.*, 2012). Estes resultados sugerem contínua condição de pressão de fusão durante o espessamento da crosta continental primitiva. O espessamento crustal é relacionado à geração de magmas em níveis crustais gradualmente mais raso, associado a processos de assimilação crustal e fusão parcial de crosta pré-existente. A crosta félsica primitiva, de natureza juvenil, ainda não foi identificada regionalmente (Zincone 2016).

O magmatismo CA de alto-potássio representa o membro final de geração de magma por processos de fusão intracrustal, principalmente dos litotipos TTG e CA mais antigo. Embora o período de formação deste magmatismo não esteja diretamente definido ele delimita o estágio de estabilização cratônica em diferentes regiões do planeta (Zincone 2016).

Por sua vez, o magmatismo final é caracterizado pelo sistema vulcânico-plutônico de 3,30 Ga. Este magmatismo, hoje representado por riolitos e granitos de alta-sílica, representa o remanescente de um vasto sistema crustal que evoluiu em ambiente tectônico intraplaca relacionado ao colapso gravitacional da crosta continental recentemente espessada (Zincone 2016).



**Figura 2.3** - Evolução Geotectônica estimada e formação dos protólitos durante os eventos Pré-Jequié (3,4 - 3,3 Ga) e Jequié (2,9 - 2,7 Ga) nos blocos Gavião, Jequié e Cinturão Contendas-Mirante (adaptado de Marinho 1991, Barbosa 1993, Barbosa *et al.* 1992 e Cunha *et al.* 1981 in Geologia da Bahia – Texto explicativo).

- Consolidação da crosta precoce TTG (Attg) com supostas bacias intra (APbo) e interplacas (Aos, Aq) com supracrustais e possíveis gabros/basaltos de fundo oceânico (Agb); início da produção de TTG (Ao, Ag2, Ag4); início da formação da “bacia” Contendas-Mirante com extrusão de toleitos continentais associada à formação de rochas piroclásticas, material químico-exalativo e sedimentos detriticos (Abt).
- Fechamento das bacias intra (Ex: Complexo Boquira, APbo) e intraplacas (Ex: Complexo Brumado, APib) e ampliação do plutonismo TTG, exemplificado pelos corpos de Lagoa do Morro e Serra dos Pombos (Ag2) e Jussiape (Ag3) ambos com idades em torno de 2,9-2,8 Ga; consolidação de crosta continental TTG (Ao), às vezes migmatizada, incluindo corpos básico-ultrabásicos (APubn),

anfíbolitos (APaf) e componentes supracrustais (Aos, Apcs, APq); ampliação da “bacia” Contendas-Mirante (Abt).

(Extraído do Livro: Mapa geológico do estado da Bahia – Texto explicativo, de Barbosa e Dominguez, edição de setembro de 1996)

### 2.2.2.1 Complexo de Brumado e Sequência Licínio de Almeida

De acordo com Almeida (1989) o Complexo Brumado recebeu diversas denominações pelos autores que aí trabalharam, os quais também lhe conferiram diferentes abrangências. Entre as denominações sugeridas, pode-se citar o Complexo de Brumado (Pedreira *et al.* 1975), Complexo Ibitira-Brumado (Inda & Barbosa, 1978), Complexo Metamórfico de Brumado (Marinho *et al.*, 1980) e Complexo Brumado-Urandi (Moraes *et al.* 1980). Neste trabalho, optou-se por utilizar “Complexo de Brumado” por critério de antiguidade e abrangência da área de estudo.

No Bloco Gavião, na região de Brumado, as sequências vulcanossedimentares, ou apenas metassedimentares, consistem em várias faixas estreitas, isoladas, encravadas em rochas gnáissico-migmatítica do embasamento do cráton do São Francisco.

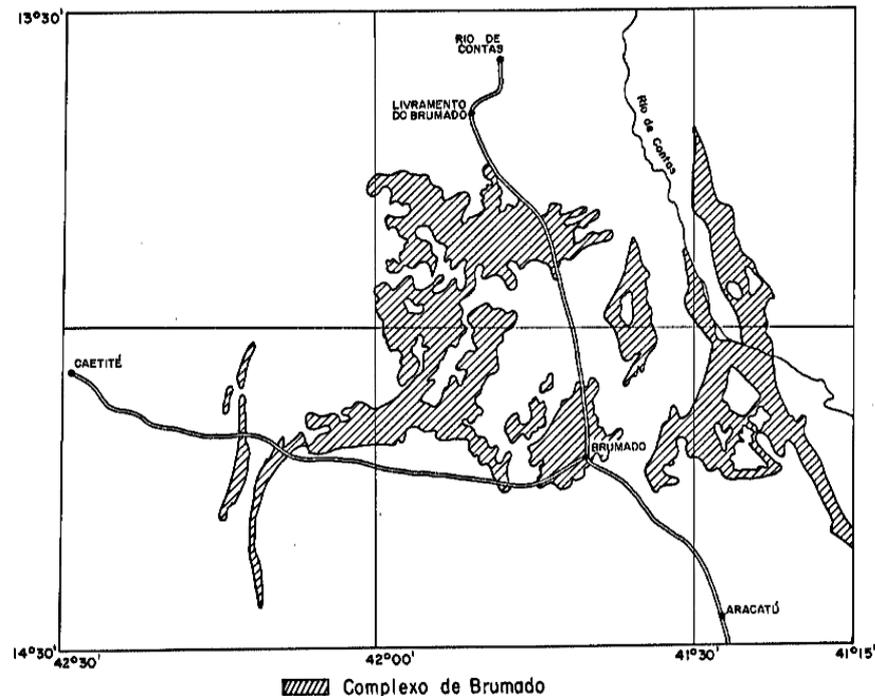
As faixas que compõem o Complexo Brumado e Sequência Licínio de Almeida foram descritas por Moraes *et al.* (1980) no Relatório do Projeto Brumado-Caetité da seguinte forma: (i) rochas anfíbolíticas de derivação basáltica e gabróica, intercaladas com metassedimentos químicos (BIFs, mármores, rochas calcissilicáticas); (ii) rochas metaúltramáficas; (iii) rochas carbonáticas, com predominância de calcita-mármores e mármores dolomíticos; (iv) BIFs metamorfisados na fácies anfíbolito; (v) quartzitos bandados e quartzitos calcissilicáticos e, finalmente (vi) vulcanitos félsicos milonitizados.

Em complemento, Arcanjo *et al.* (2000) definiu que esta compreende a uma faixa contínua, em forma de ferradura, que bordeja a estrutura dômica definida por ortognaisses migmatíticos. É composto por gnaisses bandados que se alternam com níveis de biotita/hornblendagnaisses, gnaisses quartzofeldspáticos e anfíbolitos. Nessa são comuns intercalações de formações ferríferas bandadas, fácies silicato (grunerita/cumingtonita) e óxido (magnetita/hematita), que às vezes gradam para metacherts e para rochas calcissilicáticas localmente granadíferas (Arcanjo *et al.* 2000).

Com exceção da faixa de Licínio de Almeida, onde as litologias são de natureza metassedimentar, química e pelítica, observa-se a presença de rochas de provável derivação vulcânica, o que permite a interpretação de estas constituírem uma ou mais sequências vulcanossedimentares do tipo *greenstone* arqueano, com metamorfismo variando da fácies xisto-verde à anfíbolito. Diante disso, segundo Moraes *et al.* (1980), este compreende a uma unidade composta por quartzitos, xistos, filitos, calcários dolomitos, magnesitas, itabiritos, anfíbolitos e gnaisses agrupados em litologias de ocorrência

geográfica variada e arranjo litoestratigráfico não estabelecido, impossibilitando um critério estratigráfico (Figura 2.4)

Além disso, foram detectadas a presença de rochas ultramáficas com textura spinifex preservadas, confirmando assim a existência de litologias komatiíticas nesse pacote de supracrustais.



**Figura 2.4** - Distribuição geográfica do Complexo de Brumado (Inda & Barbosa 1978 in Almeida 1989)

### 2.2.2.2 *Gresntone Belt* Umbranas

O *Greenstone Belt* de Umbranas (GBU) localiza-se na parte centro-oeste do estado da Bahia e a leste da cidade de Brumado. Está incluído no segmento crustal do Bloco Gavião (BG), no Cráton do São Francisco englobando uma área de 450m x 5.25 km aparecendo como um espesso cavalgamento sob uma ampla e densa cobertura detrítica compreendendo komatiitos e basaltos, juntamente com rochas vulcânicas ácidas e intermediárias, como dacitos, riolitos e andesitos (Cunha & Fróes 1994) (Figura 2.5).

Segundo Cunha & Fróes (1994), o GBU é formado por três unidades litoestratigráficas principais que encerram três ciclos vulcânicos:

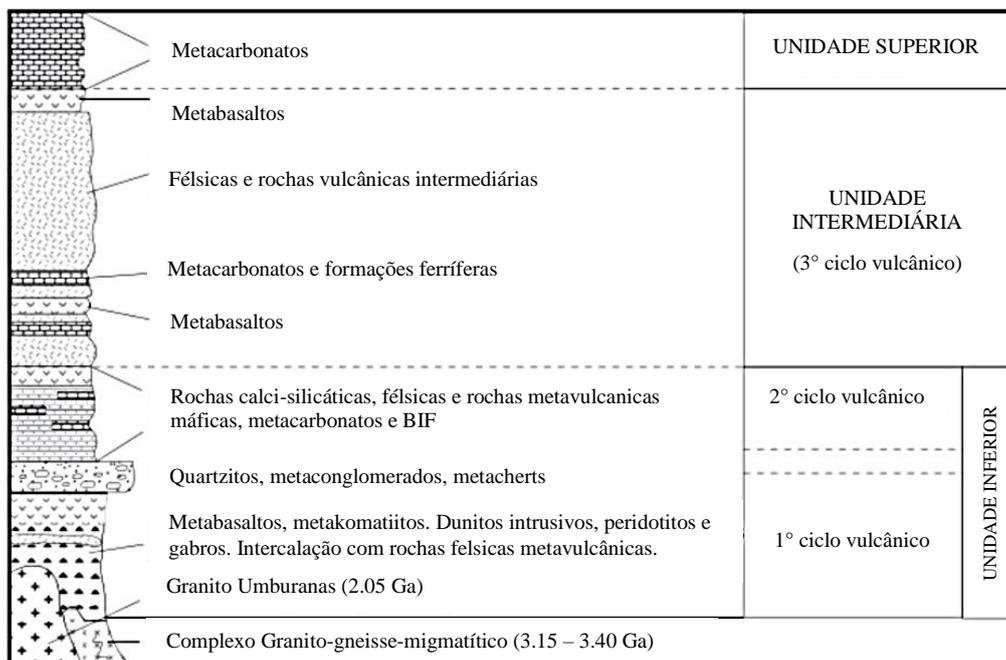
- (i) Unidade Inferior, contendo, na base, rochas vulcânicas meta-ultramáficas komatiíticas com textura spinifex, acompanhadas de metabasaltos e metadacitos toleíticos compondo o primeiro ciclo vulcânico, seguidas por quartzitos com leitos conglomeráticos, metassedimentos químico-pelíticos (BIF's, cherts, metacarbonatos

e rochas calcissilicáticas) e pulsos discretos de metavulcânicas félsicas, atribuídas ao segundo ciclo vulcânico;

- (ii) Unidade Média, dominada por rochas metavulcânicas félsicas do terceiro ciclo vulcânico, com intercalações subordinadas de seus equivalentes piroclásticos, epiclásticos e de derrames máficos e;
- (iii) Unidade Superior, constituída essencialmente de metacarbonatos (Santos 2008)

A tectônica polifásica e história metamórfica do GBU e ganisses adjacentes incluem dois eventos de deformações compressivas e três fases de cisalhamento. Estas fases estão associadas com o desenvolvimento das zonas de cisalhamento NW e SE, falhas semiparalelas, e milonitos representando uma textura de tectônica regional.

Próximo à zona de cisalhamento, as rochas nativas demonstram um metamorfismo retrógrado de fácies anfibolito para xisto-verde, associado à alteração hidrotermal (Cunha & Froes, 1994 *in* Leal *et al.* 2015), enquanto que os plútons intrusivos exibem forte lineação e foliação em áreas adjacentes ao cisalhamento (Bastos Leal *et al.* 2000; Santos 2012; *in* Leal *et al.* 2015).



**Figura 2.5** - Litoestratigrafia do *Greenstone Belt* de Umburanas de adaptado Cunha & Froés (1994). Estratigraficamente o komatiúto ocorre restritamente às unidades inferiores. (Leal *et al.* 2015)

### 2.2.2.3 Grupo Serra das Éguas

Definido por Bodenlos (1954) e Moraes *et al* (1980) no Relatório Final do Projeto *Brumado-Caetité* como uma sequência metassedimentar com dolomitos, magnesititos, calcissilicáticas, quartzitos, formação ferrífera e intercalações de anfibolitos, prováveis metavulcânicas.

Este apresenta unidades bem distintas, constituídas por anfibolitos, mármore dolomíticos e actinolita-tremolita-mármore, na base; mármore magnesítico, actinolita-mármore e rochas calciossilicáticas, na porção intermediária e, finalmente, quartzitos, dolomita-quartzitos e quartzitos ferruginosos no topo. É uma sequência tipicamente de caráter vulcanogênico, havendo sido determinadas pelo menos duas fases de vulcanismo básico-ultrabásico constituintes da Unidade Inferior. A Unidade Média é de natureza químico-sedimentar, podendo-se admitir uma contribuição epiclástica na Unidade Superior (Oliveira, Fragomeni e Bandeira, 1997).

De modo geral, as rochas do Grupo Serra das Éguas, na serra homônima, estão dobradas em um grande sinforma com direção N20E, com eixo mergulhando fracamente para Sul na porção norte e para norte na porção sul, numa estrutura denominada de braqui-sinforma.

Como exposto pela Figura 2.6, este grupo pertence ao Complexo Brumado e, apesar da grande importância dos depósitos de magnesita, as informações geológicas ainda são incompletas.

COLUNA ESTRATIGRÁFICA		LITOLOGIAS	IDADES
COMPLEXO DE BRUMADO	GRUPO SERRA DAS ÉGUAS	Quartzitos ferruginosos, itabiritos, xistos	?
		Quartzitos ferruginosos escuros	
		Quartzitos finos, brancos a cinza-azul	
	Dolomitos, lentes de magnesita (ma) e quartzito, calciossilicáticas, anfibolitos e talco		
	Dolomitos, xistos, calciossilicáticas, formações ferríferas bandadas e anfibolitos		
INDIFERENCIADO	Gnaisses, quartzitos, filitos, xistos, mármore, itabiritos, anfibolitos, calciossilicáticas, metavulcânicas ácidas a intermediárias, metabasitos e formações ferríferas bandadas	- 2,35 Ga	
EMBASAMENTO ARQUEANO	Metatexitos e diatexitos indiferenciados	3,4 Ga	

**Figura 2.6** - Coluna estratigráfica esquemática do Grupo Serra das Éguas, aflorante na serra homônima, da unidade basal do Complexo Brumado e do embasamento arqueano (Moraes *et al.* 1980 in Almeida 1989)

### 2.2.3 Supergrupo Espinhaço

Segundo Lima (1986) esta unidade repousa discordantemente, ora sobre a associação migmática-plutônica, ora sobre o Complexo de Brumado, constituindo feição orográfica da Serra do Rio

de Contas. Esta serra consiste em um pacote com espessura de cerca de 215 metros, composto por metaconglomerados, quartzitos e metarenitos.

Lima (1986) ainda descreveu uma sequência litoestratigráfica para tal seção partindo dos metaconglomerados basais polimíticos gradando para um quartzito amarelo-acizentado a róseos com marcas de onda e níveis conglomeráticos intraformacionais de 1.100m de espessura. Para o topo, segue-se um pacote de quartzitos róseo claro, caulíníticos e sericitados com cerca de 450m de espessura, e por fim, a sequência é recoberta por um pacote de 600m de metareneito esbranquiçado e róseo, caulínítico com estrutura sedimentar de estratificação cruzada e paralela.

Estas supõe-se pertencerem ao Grupo Paraguaçu, composto por metaconglomerados, quartzitos, metassiltitos e xistos das formações Ouricuri do Ouro, Mangabeiras e Guiné de ambientes sedimentares do tipo leque aluvial, desértico e fluvial e Deltaico, respectivamente, com sedimentação no interior da margem continental (Pedreira 1997).

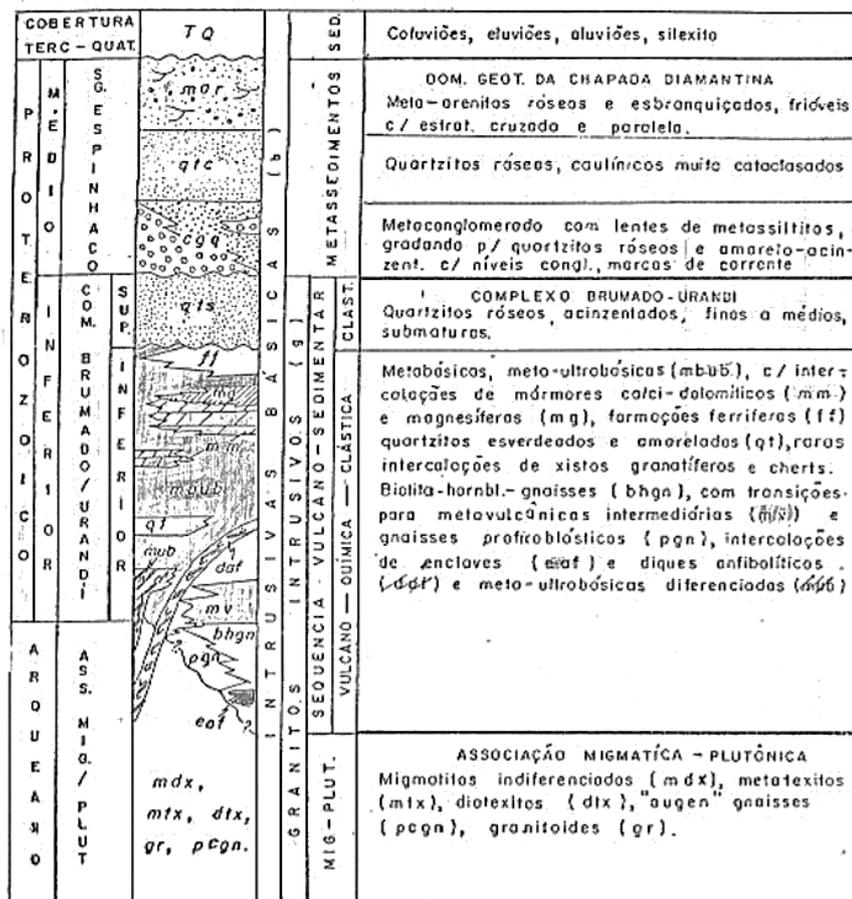


Figura 2.7 - Coluna estratigráfica englobando o embasamento arqueano, Complexo Brumado e Sequência Espinhaço (Lima 1986)

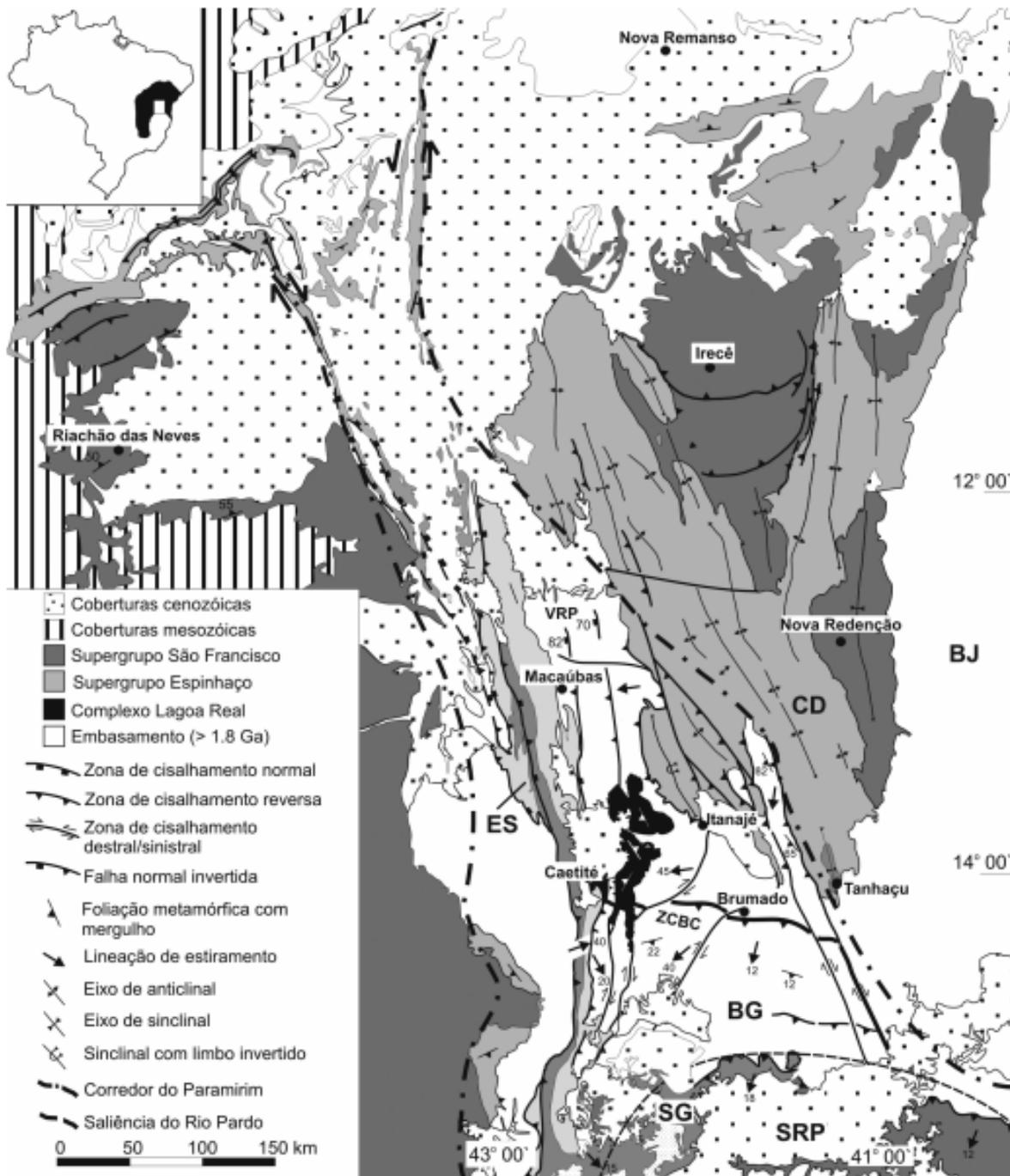
### 2.3 ARCABOUÇO ESTRUTURAL

A área de estudo encontra-se inserida no Aulacógeno do Paramirim (Pedrosa-Soares *et al.* 2001) que corresponde a um par de riftes superpostos, cuja evolução teria se iniciado no Paleoproterozóico e evoluído até o Neoproterozóico (Schobbenhaus 1996, Danderfer 2000 *in* Cruz *et al.* 2007). Possui como unidades de preenchimento, do topo para base, o supergrupo São Francisco, de idade neoproterozóica (Misi & Veizer 1996 *in* Cruz *et al.* 2007), e Espinhaço, de idade paleoproterozóica. O seu substrato é constituído por rochas mais antigas que 1,8 Ga.

De acordo com Cruz & Alkmim (2006), o aulacógeno serviu como importante canalizador das tensões originadas durante as colisões entre as placas São Francisco e Amazônia. Tais colisões teriam provocado a inversão parcial do aulacógeno, cujo registro, no seu embasamento, pode ser observado a partir do paralelo 12° 45' (Danderfer 2000, Cruz 2004 *in* Cruz 2007). Como demonstrado por esses autores, a expressão da interação entre o Aulacógeno do Paramirim e o Orógeno Araçuaí Oeste Congo pode ser também encontrada nas unidades de preenchimento do aulacógeno, ou seja, nos supergrupos Espinhaço e São Francisco.

Conforme Figura 2.8, pode-se identificar que a área de estudo é definida como Embasamento (> 1.8 Ga) próxima a uma zona de cisalhamento reversa, dextral e sinistral, com direção de lineção de estiramento preferencial para SE/SSE.

Dentro do contexto do embasamento, definido pelo aulacógeno da região de Brumado, Moares & Arcanjo (1979) *in* Lima (1986) definiu que a associação Migmática-Plutônica e a sequência vulcanossedimentar do Complexo Brumado apresentam evidências de evolução comum, tendo ocorrido rotações e translações das “ovais” siálicas. Diferenças observadas nas datações radiométricas indicam a existência de segmentos com idades distintas, levantando a hipótese que eventos tectono-magmático-termais relacionados ao Ciclo Transamazônico reestruturaram os segmentos cratônicos antigos, sugerindo uma evolução e se constituindo um importante fator metalogenético.



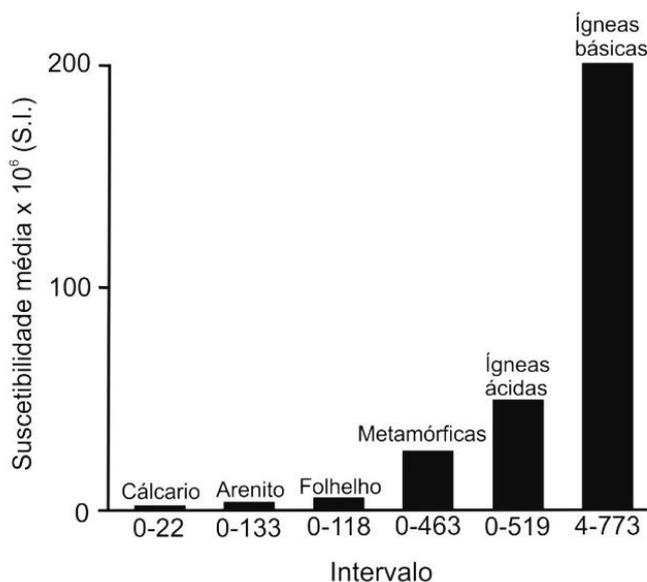
**Figura 2.8** - Mapa Geológico simplificado do Aulacógeno do Paramirim, enfatizando as principais unidades geológicas e estruturas tectônicas de idade brasileira. Mapa compilado a partir de Schobbenhaus *et al.* (1981) e Barbosa & Dominguez (1996) *in* Cruz *et al* (2007)

## 2.4 GEOFÍSICA REGIONAL

A Prospecção Geofísica consiste num conjunto de trabalhos que inclui medidas dos campos físicos ou das variações na propagação de ondas em resposta à uma incitação ou por conta das próprias propriedades físicas naturais das rochas e/ou minerais estudados. Apresenta-se como uma importante ferramenta para a definição de alvos em uma escala regional e local e, além disso, permite definição do corpo geológico em superfície e em profundidade.

Esta baseia-se no estudo das variações locais do campo magnético terrestre, derivadas da existência, na subsuperfície, de rochas contendo minerais com forte susceptibilidade magnética, tais como a magnetita, ilmenita e pirrotita. A concentração de minerais magnéticos produz distorções locais no campo magnético da Terra, que podem ser detectadas e fornecem informações sobre a subsuperfície.

Para definição dos padrões geofísicos em escala regional, deve-se considerar que esta se trata de uma área composta por um embasamento granito-gnaissico arqueano do Bloco Gavião associado a sequências ultramáficas do tipo *greenstone belt*. Diante disso, espera-se a ocorrência de anomalias positivas para os corpos ultramáficos, uma vez que se trata de uma rocha de ígnea básica com minerais magnéticos presentes, no caso a magnetita, em meio a um corpo ígneo-metamórfico ácido (ver figura 2.9).



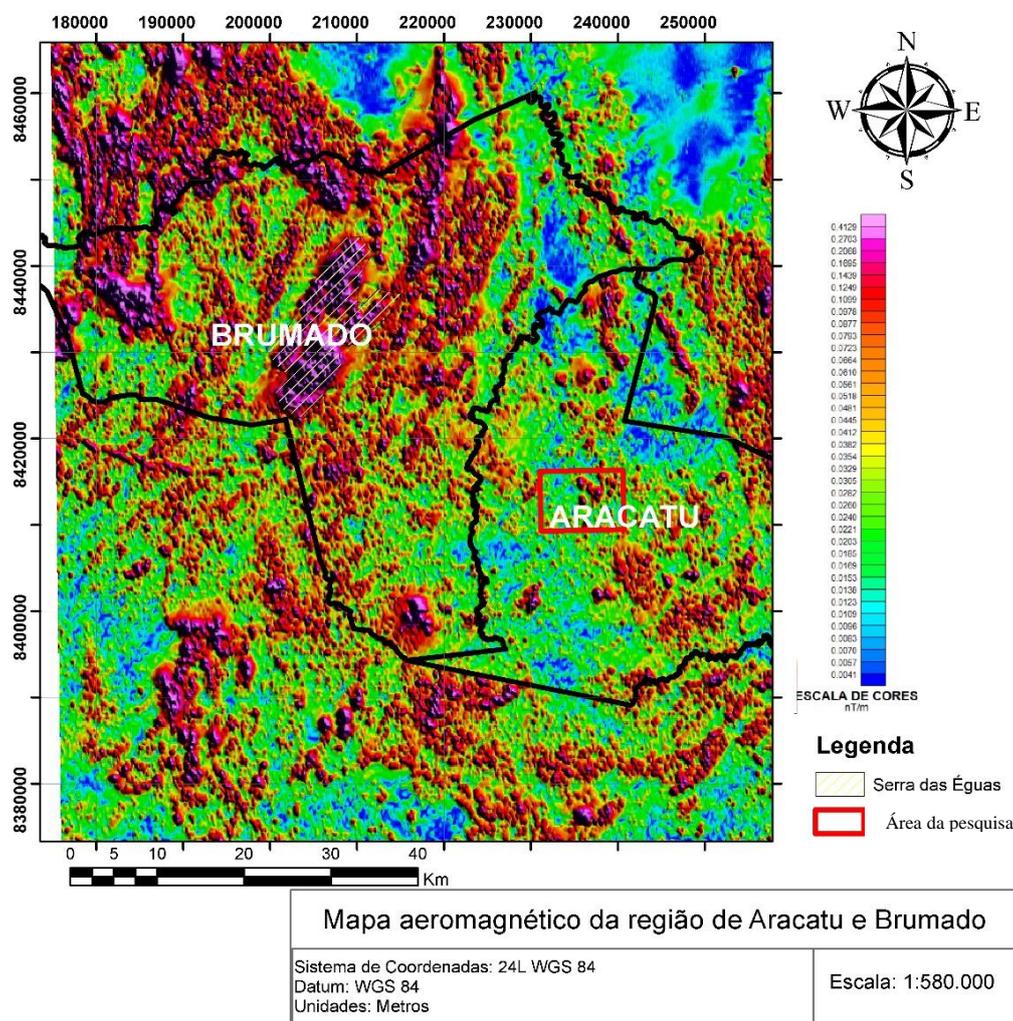
**Figura 2.9** - Valores médios e intervalos de susceptibilidade magnética dos principais tipos de rocha. (Extraído de Kearey et al., 2009).

A aquisição dos dados aeromagnéticos foram realizados pelo projeto Barra de Estiva/Tremedal da CBPM, em escala de 1:100.000 e 1:250.00. Este tinha como objetivo a

caracterização e otimização na seleção de ambientes e segmentos potencialmente portadores de mineralizações, tendo como objetivo maior a descoberta de depósitos minerais.

Observando o mapa aeromagnético a seguir (figura 2.10), adaptado do Projeto Barra de Estiva/Tremedal, percebe-se um conjunto de anomalias magnéticas positivas em cor magenta (alta susceptibilidade), associado a uma região de baixa susceptibilidade em cor verde a azul escuro. Estas anomalias positivas estão relacionadas às rochas dos *greenstonebelts* anteriormente descritos.

Pode-se destacar à grande anomalia que delimita a Serra das Éguas no município de Brumado, e anomalias pontuais inserido na área desta pesquisa.



**Figura 2.10** – Mapa de sinal analítico do campo magnético total de escala 1:580.000 do projeto Barra de Estiva/Tremedal, com escala de aquisição dos dados de 1:250.000.

## CAPÍTULO 3

### DEPÓSITOS DE MAGNESITA

---

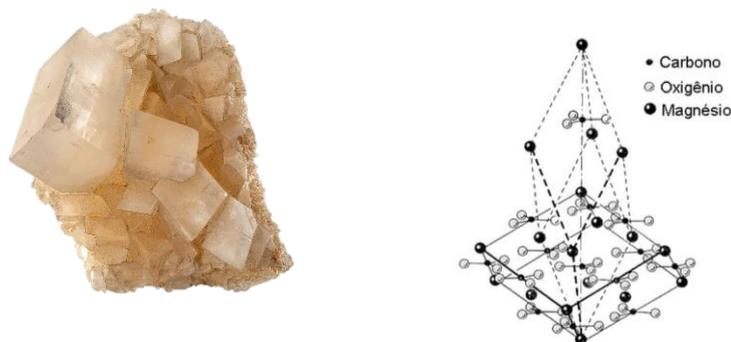
#### 3.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, serão apresentadas as características mineralógicas da magnesita, tal como uma revisão sobre os seus tipos de depósitos e suas ocorrências na região dos municípios de Brumado e Aracatu-BA.

#### 3.2 O MINERAL MAGNESITA

A magnesita pertence à família dos carbonatos do grupo da calcita, minerais que têm como unidade aniônica fundamental da estrutura o grupo  $(\text{CO}_3)^{2-}$  (Palache *et al.* 1963 *in* Garcia *et al.* 2015). O seu nome é uma alusão à sua composição com cerca de 47% de MgO e 53% de  $\text{CO}_2$ , fórmula química  $\text{MgCO}_3$  e peso molecular de 84,31 gramas. Apresenta clivagem perfeita (1110), dureza 4, densidade 3,00, incolor a branca com índice de refração variando de acordo com o teor de Fe (Figura 3.1)

Este é frequente como mineral acessório em rochas formadas nos mais variados ambientes geológicos. Assim, no ambiente sedimentar ocorre em evaporitos marinhos, lagos costeiros (com influência de água marinha) e sabkhas (extensas planícies costeiras, em regiões áridas, sujeitas à invasão de água do mar), bacias carboníferas, lagos salinos e “playas”. Pode estar ainda presente em horizontes de solos evaporativos, em saprólitos sobre rochas ultrabásicas, em meteoritos, em rochas magmáticas (carbonatitos e sagvanditos), em auréolas de metamorfismo de contato e em rochas ultrabásicas carbonatizadas (Pohl & Siegl, 1986 *in* Almeida, 1989).



**Figura 3.1** – Foto ilustrativa da magnesita e sua estrutura cristalina (Kotov, 1968 *in* Garcia, *et al.* 2015)

#### 3.3 DEPÓSITOS DE MAGNESITA

Contrastando com a frequência do mineral, são relativamente raros os depósitos de magnesita de grande porte e, exceto concentrações locais e de menor importância (Pohl 1989 *in* Almeida 1989).

Baseado nas ocorrências conhecidas na Áustria, descreveu-se tipos de depósitos agrupando-os em três tipos básicos. Posteriormente, foi agregado a esse grupo um quarto tipo estabelecido por Ilic (1968), também citado em Pohl & Siegl (1986). Assim, embora reconhecendo que uma classificação quase sempre implica em simplificações, e que os quatro diferentes tipos nem sempre podem ser diferenciados claramente, Pohl & Siegl (1986) apresentam as seguintes características distintivas para esses quatro tipos.

### **3.3.1 Depósito tipo Kraubath (criptocristalina)**

Baseado no estudo do complexo ultramáfico-máfico de Kraubath, localizado no embasamento metamórfico paleozoico da porção leste dos Alpes Austríaco, Pohl (1986) definiu este depósito como veios em “stockwork” e corpos irregulares de magnesita criptocristalina de coloração branco-neve, encaixados em corpos ultramáficos fraturados compreendendo principalmente a dunitos, peridotitos e serpentinitos (Figura 3.2).

Segundo Almeida (1989) os modelos genéticos para a formação de magnesitas do tipo Kraubath são objeto de discussão quanto ao caráter supérgênico ou hipógeno/hidrotermal das soluções carbonizantes. Porém, ambas a hipóteses admitem serem as ultrabásicas a fonte do MgO.

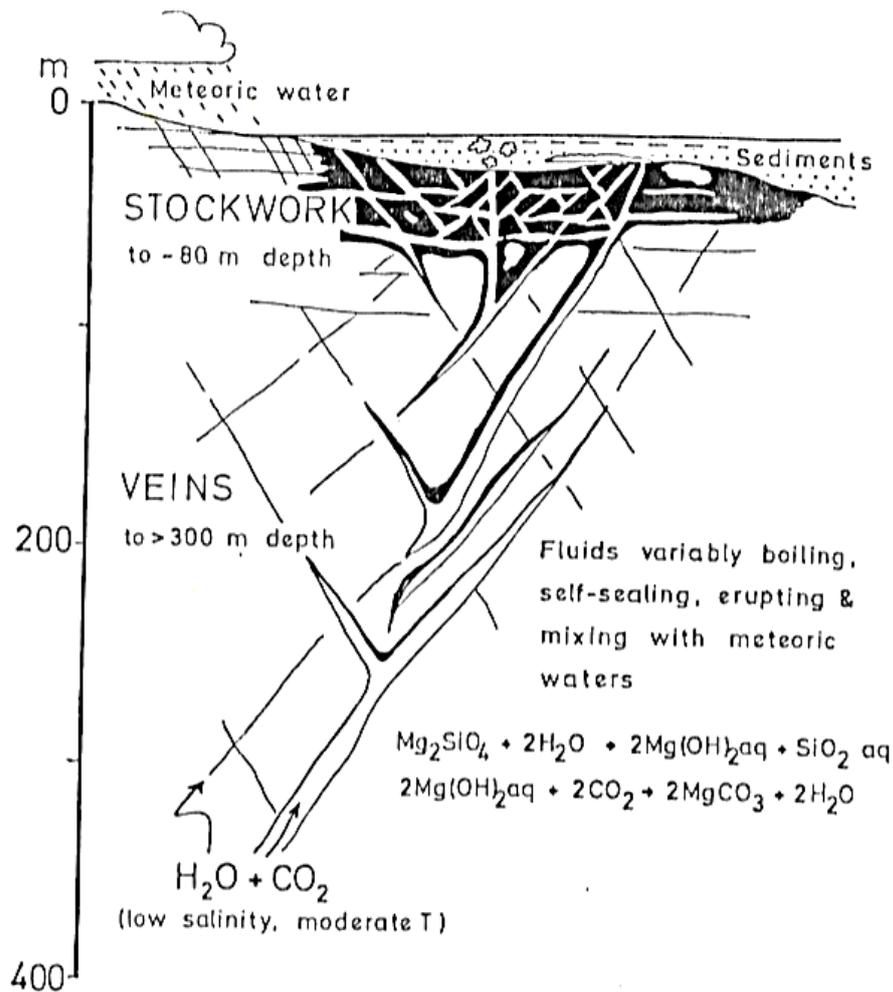
Atualmente é mais aceita a origem hipógeno/hidrotermal, onde soluções aquosas de temperatura moderada e baixa salinidade, ricas em CO<sub>2</sub>, alteram as rochas ultrabásicas por reação de hidratação e carbonatização.

Esta magnesita pode conter pequenas concentrações de cálcio e traços de ferro e manganês substituindo o magnésio. O baixo teor em ferro das magnesitas deste tipo é uma característica contrastante com relação às magnesitas do tipo Veitsch. As principais ocorrências encontram-se na Grécia, Turquia, ex-Iugoslávia (Sérvia), Austrália e Estados Unidos (Pohl 1986).

Quanto ao processo que dá origem ao fluido hidrotermal e/ou supérgeno, há interpretações controversas baseando em dois modelos distintos. Jerkovic (2012), em um estudo envolvendo isótopos de C e O, elementos traço, maiores e terras raras definiu da seguinte forma:

- *Per ascendum*: envolve a deposição da magnesita de um fluido quente ascendente, emanado da desidratação da rocha metamórfica ou sedimentar, conceito semelhante ao do hidrotermalismo;

- *Per descendum*: implica que águas meteóricas, percolam por fraturas e fissuras, lixiviando a rocha máfica-ultramáfica e despositando a magnesita em um processo similar à carstificação de carbonatos.



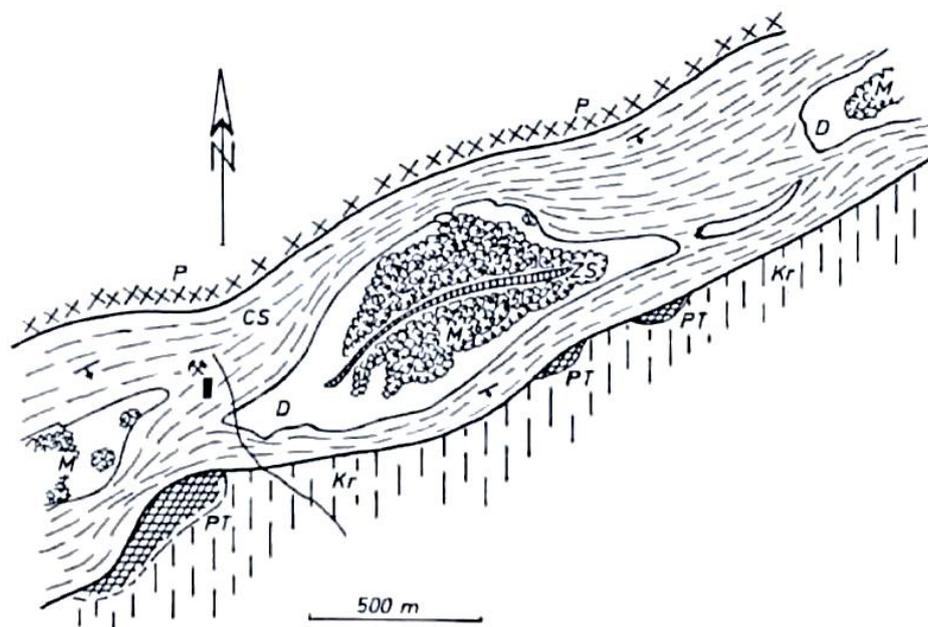
**Figura 3.2** - Modelo de depósito do tipo Kraubath, segundo um sistema epitermal raso (Pohl 1989 *in* Almeida 1989)

### 3.3.2 Depósito tipo Veitsch (macrocrystalina)

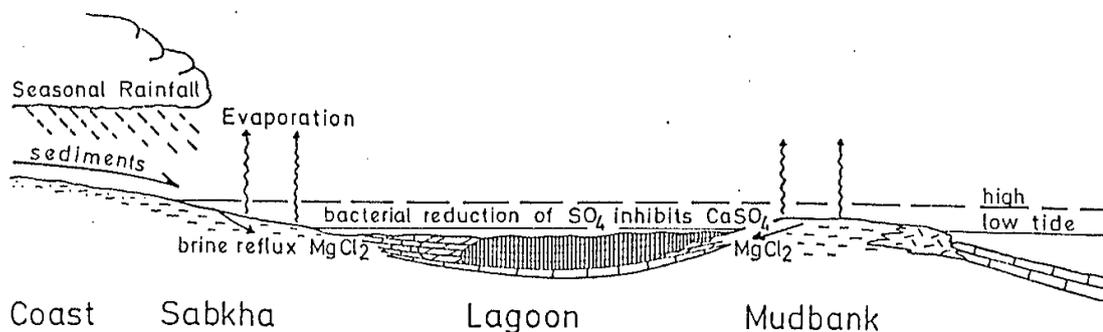
Definido por Redlich (1909), citado em Pohl & Siegel (1986) os depósitos do tipo Veitsch compreendem grandes, porém curtas, lentes de magnesita em sedimentos marinhos clásticos de plataforma de idade proterozóica-paleozóica, consistindo em dolomitos, calcários, folhelhos, arenitos, conglomerados e, não raramente, rochas metavulcânicas básicas. Podem ser levemente ou fortemente deformados, com grau de metamorfismo variando de muito baixo, passando pela fácies xisto-verde, até anfibolito alto.

Seu nome deriva da ocorrência no depósito de Veitsch na Áustria, onde sinais de dolomitização progressiva e magnesitização são observados de modo que a magnesita transpõe lateralmente em dolomita, formando uma casca fina e irregular e depois em sedimentos clásticos. Estes últimos compreendem meta-pelitos arenosos, arenitos, conglomerados e algumas bandas de quartzito. Ocasionalmente, leitos de meta-sedimentos clásticos podem ser traçados externamente no corpo

carbonatado, enquanto outros parecem preencher pequenas depressões ou canais dentro da magnesita (Pohl 1986) (Figura 3.3)



**Figura 3.3** - Esboço de mapa geológico do depósito de magnesita em Veitsch (Áustria) P= Quartzo pórfiro Ordoviciano; CS = Sedimentos clásticos do Carbonífero Inferior; D=Dolomito, M=Magnesita; Zs=banda de xisto na magnesita; Kr=gnaisse e xisto; PT=cobertura Permo-Triássica (Pohl 1989)



**Figura 3.4** – Modelo de depósito de magnesita do tipo Veitsch, em ambiente evaporítico marinho de águas raras, conforme Pohl (1989).

Como citado por Garcia (2004), muitos dos depósitos têm uma notável semelhança uns aos outros, o que pode indicar um mecanismo comum de formação (Duncan & McCracken 1994). Em alguns desses grandes depósitos, a magnesita parece ser associada, tanto espacial como cronologicamente, com atividade intrusiva de material magmático (Bain 1924; Bodenlos 1954; Duncan & McCracken 1994, mencionando Siegfus 1927), o que leva tais autores a verem aí, a provável fonte de magnésio que teria propiciado a formação da magnesita a partir de calcários e/ou dolomitas.

As maiores jazidas conhecidas encontram-se na Áustria, Espanha, Eslováquia, China, Coreia, Rússia e Brasil.

### **3.3.3 Depósito tipo Greiner**

Definido por Garcia (2006) baseando em Pohl (1986), tal depósito resulta da alteração hidrotermal sobre rochas básicas ultrabásicas, devida à ação de soluções carbonatadas em condições de baixo metamorfismo, que provoca a transformação dos silicatos magnesianos em carbonato de magnésio com consequente liberação de sílica.

### **3.3.4 Depósito tipo Bela Stena**

Definido por Ilic. (1952) *in* Pohl (1986) e sintetizado por Garcia (2004), pode-se caracterizar este depósito como corpos de magnesita lentiformes ou de formato irregular ocorrendo dentro de sedimentos lacustrinos clásticos de idade Terciária. Falhamento sinsedimentar da bacia dos lagos, proximidade de atividade vulcânica, atividade hidrotermal e, raramente, também evaporação, se combinam para produzir rápidas variações de fácies tanto lateral como verticalmente.

Nestes depósitos as reservas de magnesita são da ordem de poucos milhões de toneladas, podendo, porém, atingir valores da ordem de até 400 milhões de toneladas. Raramente, no entanto, alcançam as atuais necessidades de qualidade para serem explorados.

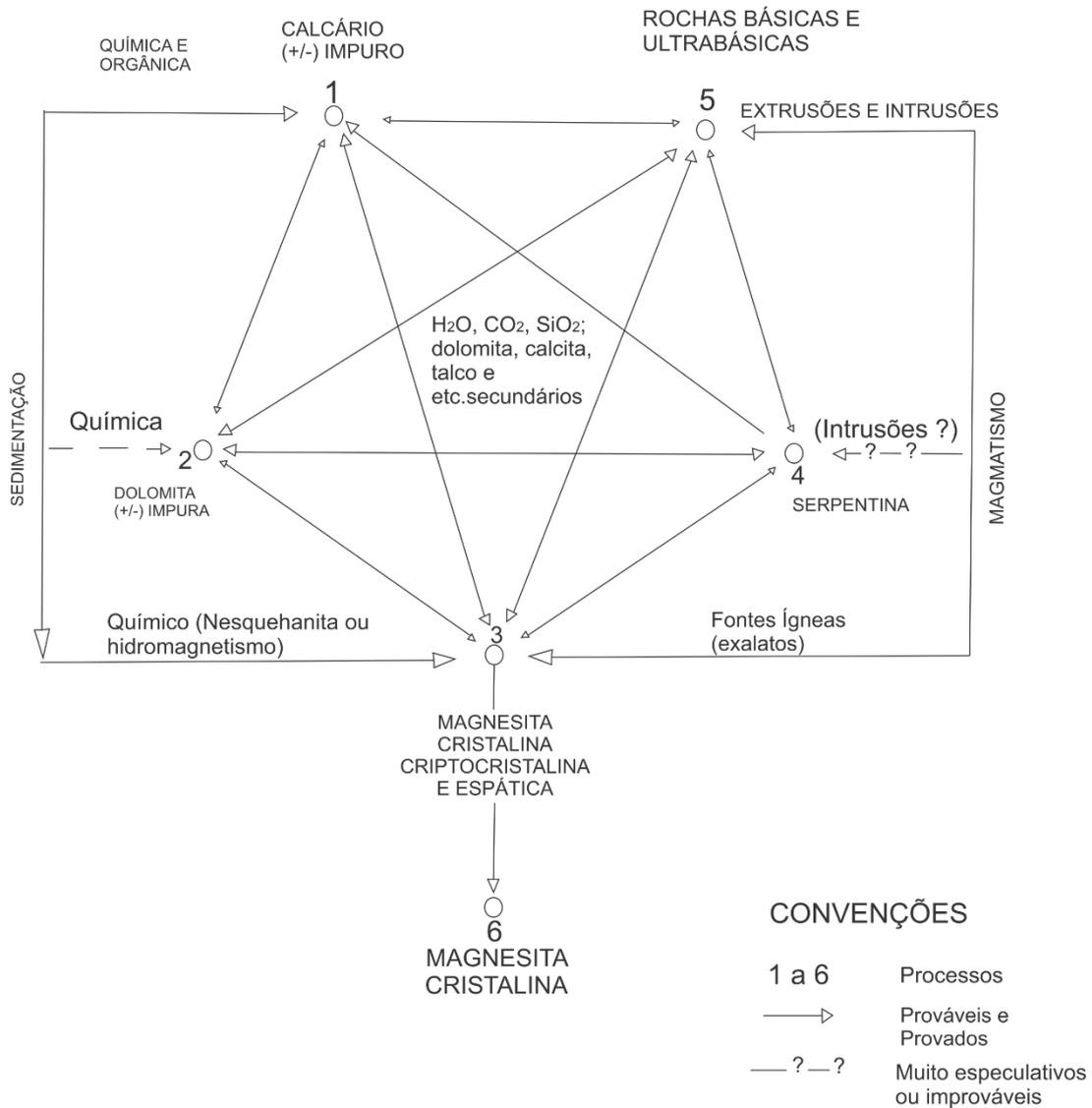
## **3.4 DEPÓSITOS DE MAGNESITA NA SERRA DAS ÉGUAS (BRUMADO-BA)**

### **3.4.1 Histórico**

Durante a primeira parte do século passado, um habitante local extraiu e fundiu uma pequena quantidade de itabirito, uma variedade de minério de ferro, da Serra das Éguas. Esta foi a primeira mineração na área e aparentemente foi de curta duração. Alguns anos depois, provavelmente em 1912 ou 1913, esmeraldas foram descobertas no lado oeste da cordilheira no vale de Pirajá. Estes foram recuperados de poços de superfície e placers eluviais durante os 30 anos seguintes (Bodenlos 1954).

Uma grande pedreira e numerosas pequenas covas foram cortadas em rocha e 5 hectares de terra foram triturados ou peneirados nessas operações. Espécimes das ocorrências de esmeraldas foram enviados para a Alemanha, onde os mineralogistas reconheceram a magnesita associada às pedras preciosas, mas seus relatos parecem ter sido negligenciados nos anos seguintes e a magnesita foi esquecida. Pouco depois, dois cidadãos brasileiros naturalizados, Pierre Cahen e Georges Minvielle, interessaram-se pelo metal de magnésio e decidiram prospectar a magnesita. Por meio de inquérito na Divisão de Fomento da Produção Mineral (DFPM), foram avisados sobre os pequenos depósitos de magnesita "óssea" no centro da Bahia, perto de Jequié, e também sobre o recém-adquirido espécime de origem desconhecida.

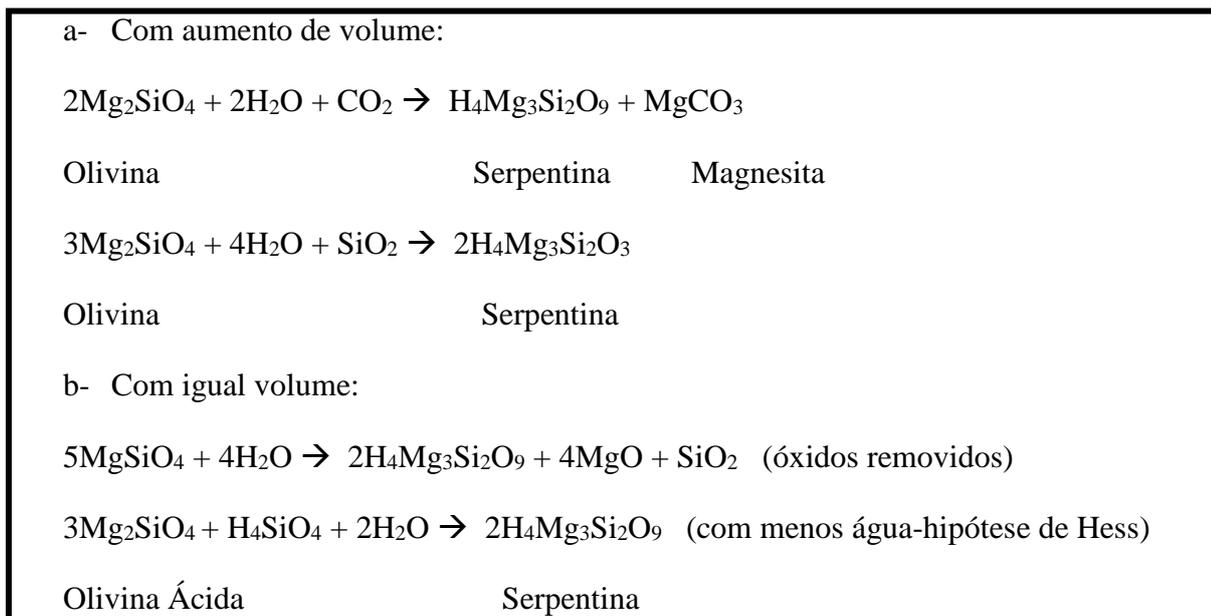




**Figura 3.5** – Sumário dos processos envolvidos na gênese da magnesita (adaptado de Almeida 1986).

Diante dos fatos apresentados, têm-se a sedimentação química associada ao Mg proveniente da hidrólise subaquosa das rochas magnesianas circunvizinhas nos proto-oceanos, enquanto o CO<sub>2</sub> fornecido pelo metamorfismo, atmosfera e/ou processos exalativos como principal hipótese sobre a formação dos depósitos de magnesita na Serra das Éguas. De acordo com Almeida (1989), o depósito da área estudada pode ser classificado como do tipo Veitsch.

Quanto à sua forma criptocristalina, mais comum entre os depósitos do mundo e ainda pouco explorado na área de estudo, se formam a partir do produto da alteração da serpentina com a ação de fluidos hidrotermais ascendentes ou águas superficiais descendentes contendo CO<sub>2</sub>. Visualizar reações a seguir:



**Figura 3.6** – Reações de serpentinização de peridotitos. (Lima 1986).

### 3.4.3 Komatiítos do *Greenstone Belt* Umbranas (GBU)

Cunha & Froés (1994) ao dividir estratigraficamente o *Greenstone Belt* Umbranas (GBU) em unidades geológicas inferior, média e superior, definiu que na porção inferior são encontrados komatiítos e basaltos associados com rochas vulcânicas ácidas e intermediárias assim como dacitos, riolitos e andesitos.

De acordo com Leal (2015), uma variedade de hipóteses vem sendo propostas para explicar a geração do magma komatiítico, incluindo: plumas mantélicas, plateu oceânico de uma pluma mantélica, interação de zona de subducção de pluma mantélica, apenas zona de subducção, dentre outros. Tendo o mecanismo de pluma mantélica como explicação mais favorável, pode-se dizer que regiões quentes anômalas do manto levam à formação de plumas (uma morfologia diáspirosa) que podem se originar do manto mais profundo e se elevar adiabaticamente (sem perda de calor) devido a diferenças de densidade entre a pluma e o manto circundante. Durante a subida da pluma, a descompressão resulta em derretimento de material e subsequente erupção em plataformas continentais ou em ambientes oceânicos (Puchtel *et al.* 1999 *in* Leal 2015).

Tendo em vista que a erupção de komatiitos em oceanos têm estruturas em *pillow-lavas*, não encontradas neste *greenstone belt*, pode-se inferir que a erupção ocorreu em ambiente intra-continental.

Leal (2015) em seu trabalho sobre os komatiítos do GBU, identificou que estes são variavelmente enriquecidos em elementos traço incompatíveis (Ba, Th e LREE) em relação a à abundância de elementos litófilos moderadamente incompatíveis (por exemplo, HFSE) e exibem distintas anomalias negativas de Nb, Sr e Eu. A anomalia negativa de Eu provavelmente resultou de alterações secundárias por circulação de fluidos ricos em H<sub>2</sub>O.

Leal (2015) afirma que estes se desenvolveram com um complexo conjunto de processos de alteração magmática e pós-magmática. As assinaturas geoquímicas estudadas por ela, sugerem que o komatiito primário pode ter evoluído devido ao fracionamento da olivina, contaminação com rochas graníticas do embasamento sendo durante a ascensão ou durante a disposição do magma em uma bacia continental.

Considerando a ocorrência desta rocha na área do presente trabalho, levanta-se a hipótese de uma possível correlação com o a gênese da magnesita na região da Serra das Éguas.

### **3.4.4 Outros minerais e minérios associados**

Levando em conta que esta região se situa em meio a um *Greenstone Belt*, e que processos associados de vulcanismo, sedimentação, granitização e magmatismo destes ambientes favorecem a formação de uma variedade de gemas, minerais e minérios em geral com uma importante aplicabilidade econômica, neste tópico serão expostos algumas das principais mineralizações associadas.

Para isto, foi utilizado o trabalho de Lima (1986), que caracteriza estas mineralizações de uma forma mais simplista, como principal referência.

#### **3.4.4.1 Formação Ferrífera (minério de ferro)**

Por ser um ambiente rico em depósitos de sedimentação química, em grande parte metamorfozados, as formações ferríferas na área de estudo encontram-se nos níveis superiores da sequência inferior do pacote vulcanogênico.

Se assemelhando ao modelo genético da magnesita, provavelmente este tipo de mineralização ocorreu pela lixiviação de rochas vulcânicas sob a ação de voláteis em ambientes submarinos. De acordo com Lima (1986), os processos cataclásticos-diaforéticos atuando sob rochas básicas e ultrabásicas toleíticas provocaram a concentração de ferro, resultando em um fino bandamento

#### **3.4.4.2 Vermiculita**

Restringe-se em litologias do Complexo Brumado invariavelmente relacionadas às zonas de cisalhamento cortando rochas básicas ou ultrabásicas retrometamorfizadas.

Os depósitos mais importantes da área são relacionados a pegmatização, formando-se inicialmente biotita em zonas cisalhadas e seguindo-se a sua lixiviação pela ação hidrotermal e por águas descendentes.

### **3.4.4.3 Talco**

O depósito mais importante deste tipo de minério provém de duas formas distintas: o primeiro se desenvolve a partir do metamorfismo da magnesita com adição de sílica e água em zonas de cisalhamento e o segundo pela alteração de rochas metaultrabásicas, principalmente peridotitos, a partir do metamorfismo hidrotermal por serpentinização, talcificação e adição de sílica, nesta sequência. Este possui uma qualidade inferior se comparado do que provêm da magnesita.

### **3.4.4.4 Ouro**

A fonte do ouro são veios hidrotermais de quartzo depositados por soluções ascendentes, podendo ser tratados como filões concordantes aos metassedimentos do Supergrupo Espinhaço. Também estão relacionadas às rochas metavulcânicas intermediárias, amplamente representadas na área, ou então às formações ferríferas sedimentares, posteriormente abordadas.

### **3.4.4.5 Esmeralda**

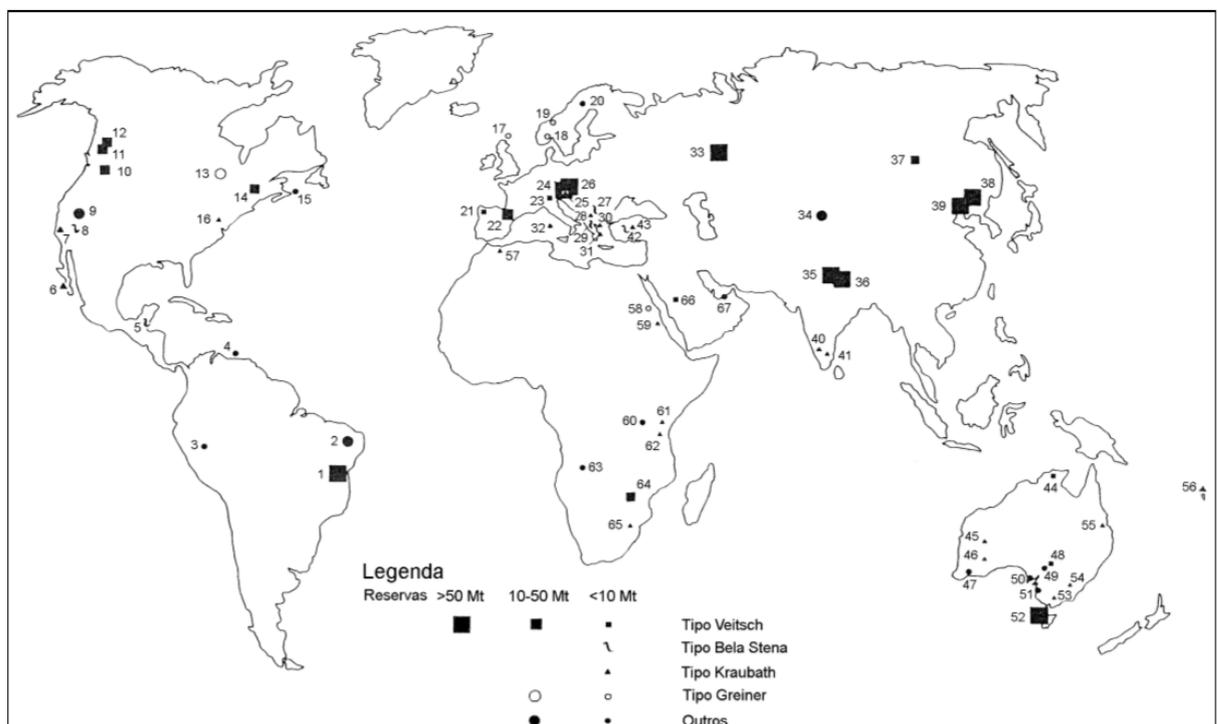
Localizadas na borda oeste da Serra das Éguas, as esmeraldas foram intensamente garimpadas no início do século XX. Admite-se que sua gênese provém da penetração de fluidos magmáticos ricos em Be em rochas metaultrabásicas magnesianas, promovendo cristalização disseminada, além de uma pegmatização durante intrusões graníticas potássicas tardias nos segmentos do Complexo Brumado.

## CAPÍTULO 4

### PARÂMETROS ECONÔMICOS DA MAGNESITA

#### 4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentados alguns parâmetros econômicos mundiais e nacionais da magnesita como minério, tendo como referência a oferta mundial, produção interna e utilização deste material comum bem comercial.



**Figura 4.1-** Localização de depósitos de magnesita no mundo. Adaptada de Pohl & Siegl 1986- in Garcia (2004).

#### 4.2 RESERVAS DE MAGNESITA

De acordo com o Sumário Mineral de 2016 do DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral), as estatísticas mundiais sobre o setor indicam que a produção mundial de magnesita, segundo o United States Geological Survey – USGS foi de 8,5 Mt em 2015, sendo a China, o principal produtor mundial, com praticamente 70% de participação, enquanto o Brasil alcançou 18,9%, seguido da Turquia com 9,3% e Rússia, com 4,4% da produção (ver tabela 4.1).

**Tabela 4.1** – Reserva e produção mundial de magnesita. Fonte Sumário Mineral 2016.

Discriminação	Reservas (10 <sup>3</sup> t)	Produção <sup>(2)</sup> (10 <sup>3</sup> t)			
		2015 <sup>(p)</sup>	2014 <sup>(r)</sup>	2015 <sup>(p)</sup>	(%)
Países					
Brasil	387.000	1.423	1.621	18,9	
China	500.000	5.910	5.770	67,1	
Turquia	111.000	780	800	9,3	
Rússia	650.000	375	375	4,4	
Outros Países	752.000	203	29	0,3	
<b>Total</b>	<b>2.400.000</b>	<b>8.691</b>	<b>8.595</b>	<b>100</b>	

### 4.3 PRODUÇÃO INTERNA

Segundo o Sumário Mineral de 2016, a produção de magnesita no Brasil é realizada por quatro empresas: RHI Magnesita S.A., Ibar Nordeste S.A., Xilolite S.A. e Refranor (Magnesium do Brasil/Roullier), que atuam principalmente no município de Brumado, na Bahia, mas também nos municípios de Iguatu e Jucás, no Ceará. Juntas essas empresas produziram em 2015 a quantidade de 1.860.701 toneladas de material saído da mina que se destina a beneficiamento e/ou comercialização (Run of Mine – ROM) e 1.621.425 toneladas de produto beneficiado.

A principal empresa produtora, a RHI Magnesita S.A. possui duas minas em Brumado-BA, denominadas Pomba e Pedra Petra, enquanto a segunda maior produtora, a Ibar S.A. possui sua principal mina, Campo de Dentro, em Brumado-BA, mas também uma pequena mina em Jucás-CE. A terceira maior produtora, Xilolite S.A. atua também em Brumado-Ba, na mina Olhos D'Água, enquanto que a Refranor S.A. atua apenas no Ceará, nos municípios de Iguatu, Jucás e Icó.

### 4.4 UTILIZAÇÃO

Segundo Queiroz (1997) *in* Garcia (2004) a magnesita é considerada de interesse econômico quando o teor mínimo de MgO na base calcinada atinge o patamar de 65%, além, naturalmente, de outras exigências relativas a sílica, óxido de ferro, cal e alumina, cuja soma não deve exceder, na sua totalidade, a faixa dos 2,5% a 3%. É, na sua quase totalidade, destinada à obtenção dos seguintes produtos:

- Sinter magnesiano
- Magnésia cáustica
- Magnésia Metálico
- Composto de magnésio
- Fundente para Sinterização

O sinter magnesiano, ou magnesita calcinada à morte, resulta do processo de calcinação e sinterização da magnesita, sob condições elevadas de temperatura, em geral da ordem de 1.800°C a 2.000°C. Trata-se de um produto de alta pureza, acima de 90% de MgO, largamente usado na fabricação de produtos refratários básicos que são utilizados no revestimento das paredes internas e abóbadas de

caldeiras, de fornos elétricos, fornos de soleira aberta, fornos rotativos, conversores a oxigênio, etc., das indústrias do aço, do cimento e do vidro.

A magnésia cáustica ou magnésia reativa assim como o sínter magnesiano, resulta do processo de calcinação da magnesita em fornos convencionais a temperaturas de 800°C a 1.000°C, com teor de MgO variando de 85% a mais de 90%. Esse derivado de magnesita tem sua maior aplicação nos seguintes campos: fabricação do cimento soret, na agricultura como fertilizante e na agropecuária como nutriente, como absorvente e catalisador, como isolante térmico, na indústria do petróleo como agente clareante e como substituto da bentonita na lama de perfuração e na indústria do papel, na fabricação da borracha sintética, como agente vulcanizante e catalisador.

O magnésio metálico é outro produto da magnesita, de grande importância na obtenção de ligas aluminosas e de magnésio, com vasto campo de aplicação na indústria aeroespacial, maquinária e de ferramentas em geral. Já os compostos de magnésio, como cloretos, iodetos, fosfatos, sulfatos, óxidos, carbonatos, etc., têm uma vasta linha de aplicações nas indústrias química, têxtil, cerâmica, de cosméticos, farmacêutica e metalúrgica.

Os fundentes têm como função básica escorificar as impurezas introduzidas na carga, pelos minérios e pelo combustível sólido, formando uma matriz de escória capaz de promover a coesão dos grãos dos minérios, de modo a proporcionar ao sínter uma resistência adequada à sua utilização no alto-forno. Os principais fundentes usados em sinterização são o calcário, cal, serpentinito, dunito, dolomita e quartzito (areia).

De acordo com Honorato (2005), as propriedades a altas temperaturas do sínter são geralmente melhoradas pela elevação de seu teor de MgO. Assim, a aplicação de fundentes de magnesita pode ser considerada uma melhoria na redução do consumo de coque do alto forno e, conseqüentemente, uma redução de gasto energético e elevação da qualidade deste material.

Honorato, G. A. 2019. Análise da mineralização de magnesita criptocristalina, em veios *stockworks*, hospedados ...

# CAPÍTULO 5

## ASPECTOS GEOLÓGICOS LOCAIS

### 5.1 INTRODUÇÃO

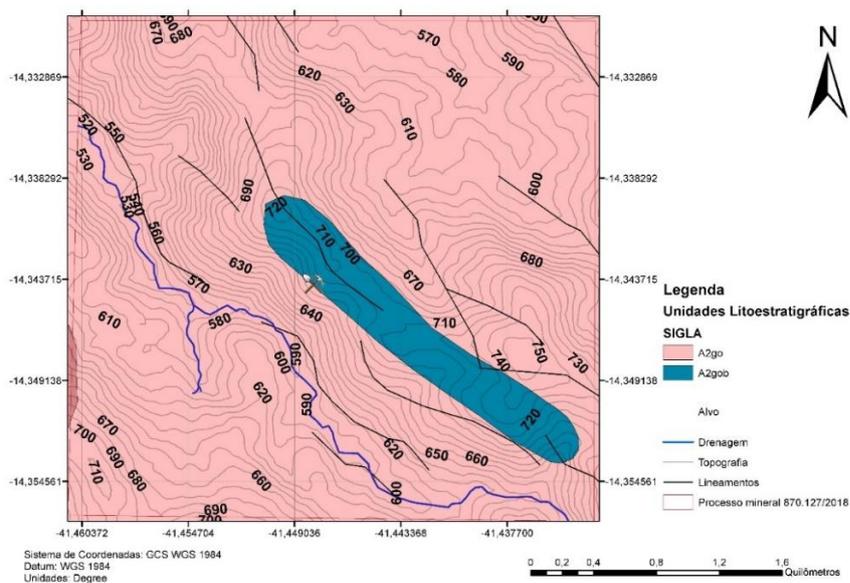
Neste capítulo serão apresentadas informações sobre algumas informações levantados quanto a geologia local, geoquímica das amostras coletadas e geofísica da área de estudo. Para isto, utilizou-se de dados e mapas disponíveis no site da CPRM e CBPM, dados do laboratório de geoquímica do degeo além de dados coletados em um campo realizado pelo autor nos dias 3 e 4 de janeiro de 2019.

Todo o trabalho de campo foi realizado na região rural do município de Aracatu-BA, mais precisamente dentro do processo mineral ANM 870.127/2018, tomando como referência um afloramento de coordenada UTM 23S 883218/8411290.

### 5.2 GEOLOGIA LOCAL

De acordo com as unidades litoestratigráficas em escala 1:100.000 da Carta Geológica Folha SD.24-Y-A-II TANHUAÇU de Filho (2012), a área de estudo foi mapeada como uma rocha xistificadas e talcificadas, BIF, quartzito, calcissilicáticas e mármore (sigla A23gob), intrudida em um ortogneisse migmatítico, tonalítico-trondjemítico-grandiorítico com restos de rochas supracrustais (sigla A23go), datadas de 3,28 a 3,39 Ga (Paleoarqueano) do Complexo Gavião.

Como visto no mapa (figura 5.1), a intrusão segue o padrão de lineamentos de azimuth médio de N45W. Um outro aspecto interessante é que a drenagem e a morfologia da região acompanham o padrão descrito.



**Figura 5.1** - Mapa geológico extraído e adaptado da Folha SD.24-A-II Tanhuaçu da CPRM ( adaptado de Filho 2012).

Pela carta geológica disponibilizada pela CPRM, não há uma definição de qual tipo de rocha compõe a intrusão destacada. Isto só foi possível após o trabalho de campo, por onde esta foi classificada como um granofels ultramáfico (figura 5.2).



**Figura 5.2** – Rocha ultramáfica intrusiva definido como um granofels ultramáfico.

### 5.3 TRABALHO DE CAMPO

Nos dias 03 e 04 de janeiro de 2019 foi realizado um trabalho de campo na área, com o objetivo de reconhecer os diferentes litotipos e coletar amostras para análise química. Devido à dificuldade de acesso ao local, não foi possível realizar um mapeamento de maior detalhe, porém, durante o caminhamento, foi executado um levantamento dos litotipos (figura 5.7 e 5.8).

Na área de estudo, existe uma trincheira aberta por garimpeiros que permite a visualização do maciço rochoso em perfil (figura 5.3). Apesar de estar muito intemperizada, é possível definir que se trata de uma rocha ultramáfica, composta por serpentina, talco e olivina, podendo ser classificada como um serpentinito, com *stockworks* enriquecidos em magnesita e que acompanham a xistosidade principal de direção de mergulho variando entre 205 a 230 com ângulo de 15° a 45° (medido em trama). O serpentinito foi encontrado apenas nesta região da trincheira, porém este apresenta-se em concordância com o trend de intrusão do granofels ultramáfico descrito anteriormente.

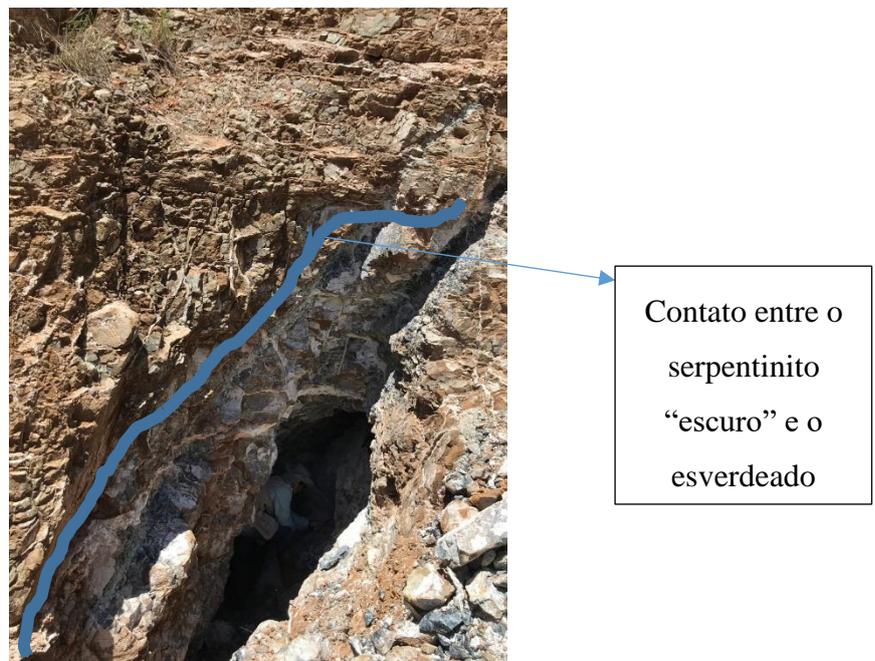
O serpentinito apresenta uma gradação de cor cinza escuro, em porções mais superficiais do afloramento, até coloração esverdeadas em profundidades maiores (figura 5.4). Estes, em uma escala mais regional, estão comumente associados a uma assembleia de minerais calciossilicáticos, geralmente dolomitas, e minerais carbonáticos (magnesita e dolomita).

No afloramento em questão, é possível identificar os veios estruturalmente orientados e enriquecidos em magnesita criptocristalina de cor branco neve. Estes possuem espessura milimétrica à até 50cm, com comprimento de no máximo 10 metros. Os veios se orientam, majoritariamente, respeitando o padrão de xistosidade do serpentinito ( $S_n = 230/15$ ).

Em porções mais superficiais do afloramento, foram visualizadas mineralizações pontuais de geodos de calcedônia (figura 5.5).



**Figura 5.3** - Fotos das trincheiras abertas por garimpeiros.



**Figura 5.4** - Contato do serpentinito cinza com o esverdeado. Este é marcado por sua coloração, onde o cinza se encontra em porções mais superficiais do afloramento, enquanto o esverdeado em porções mais profundas.



**Figura 5.5** – Foto do geodo de calcedônia coletado na porção mais superficial do afloramento.

Ainda nesta campanha de campo, foi possível descrever a rocha encaixante. Esta foi classificada como um ortognaisse migmatítico, semelhante ao descrito pela carta geológica da CPRM, de sigla A23go (figura 5.6), composto por feldspato, quartzo e bandas de biotita de espessura entre 1 a 5 cm.



**Figura 5.6** - Ortognaisse migmatítico como rocha encaixante da intrusão ultramáfica.

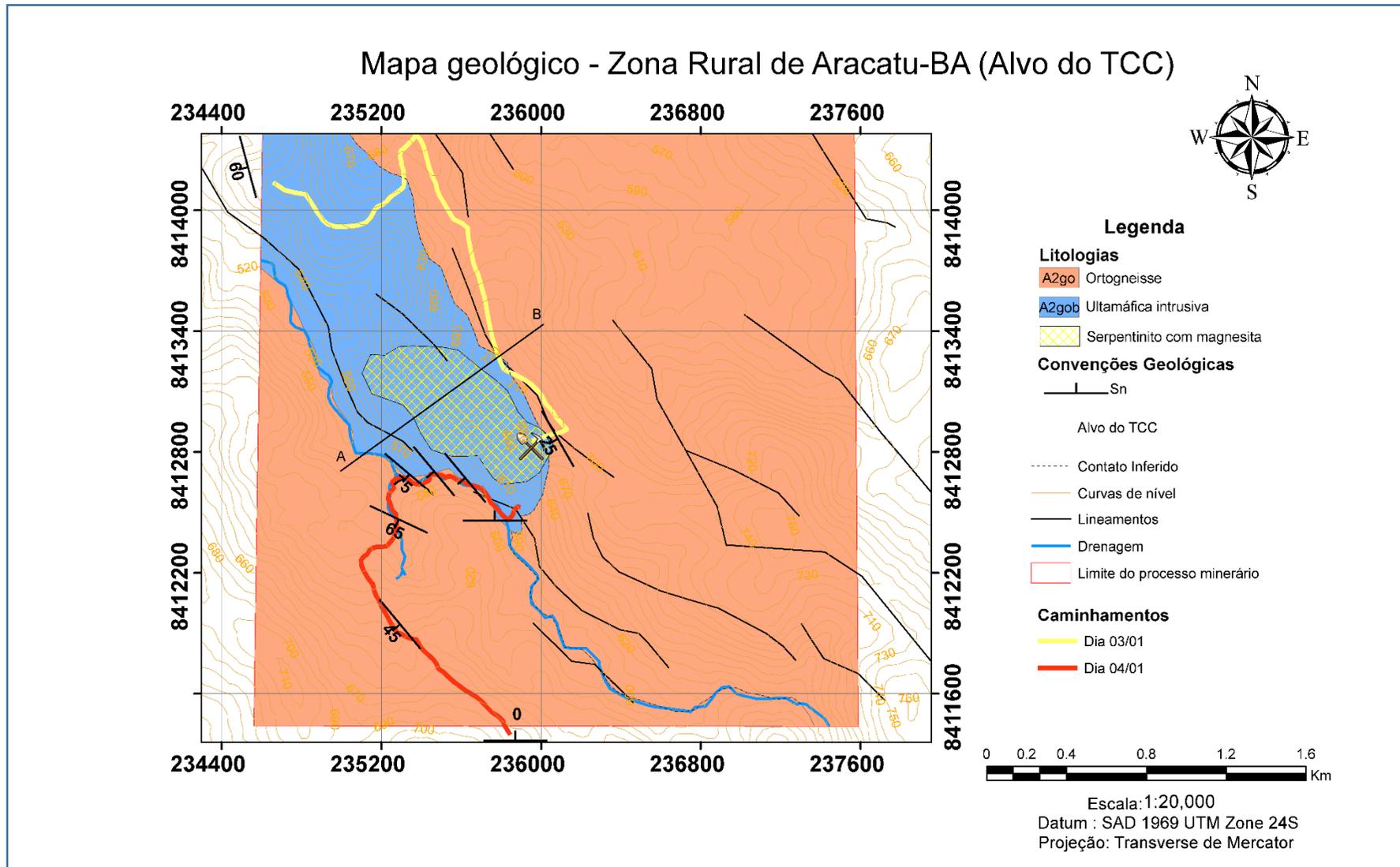
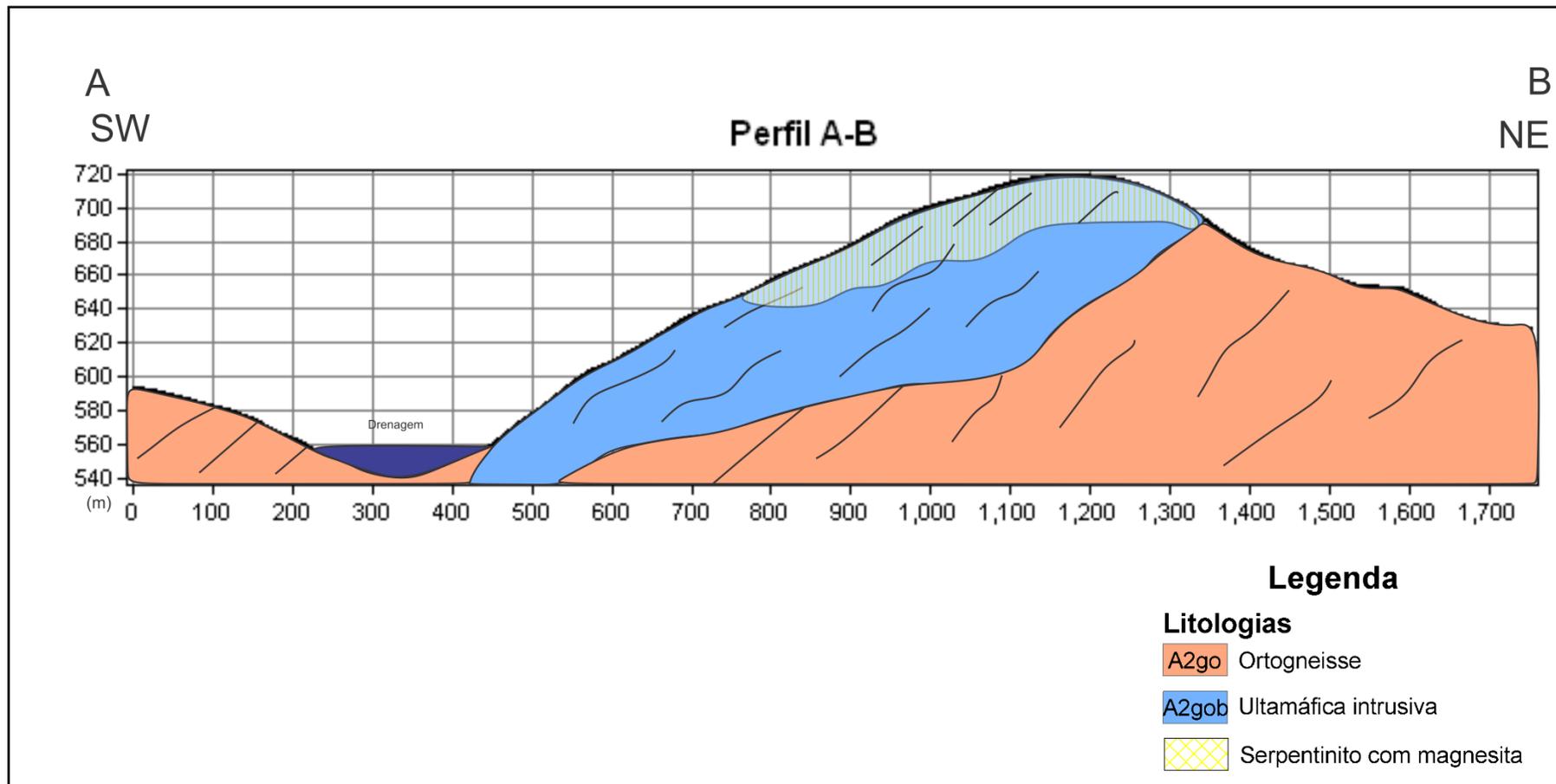


Figura 5.7 – Mapa geológico da região do TCC.



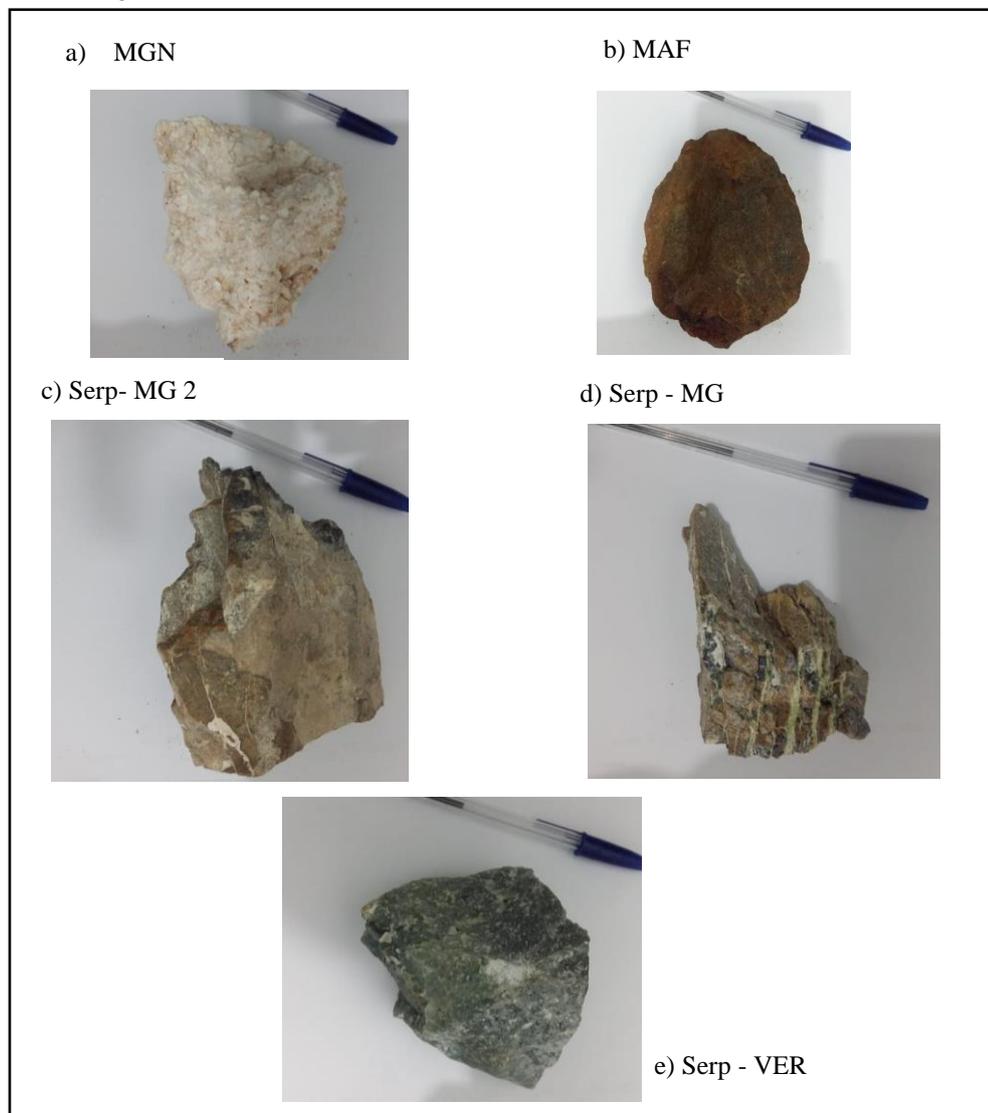
**Figura 5.8** – Seção geológico da região do TCC, em referência ao mapa anterior.

## 5.4 GEOQUÍMICA

Conforme apresentado no tópico “metodologia” do presente trabalho, foram analisadas 5 amostras no laboratório de geoquímica. Estas foram classificadas da seguinte forma:

- MGN: veio de magnesita.
- MAF: ultramáfica ultrabásica intrusiva (figura 5.2).
- Serp-MG 2: serpentinito superficial.
- Serp-MG: serpentinito da trincheira coletado a 3 metros de profundidade.
- Serp-VER: serpentinito esverdeado do contato com o veio de magnesita.

Visualizar figura 5.9



**Figura 5.9** – Amostras analisadas com seus respectivos códigos  
Os resultados da análise podem ser visualizados a seguir:

**Tabela 5.1**– Dados da análise química de cinco amostras, realizado no Laboratório de Geoquímica do Degeo.

Amostra	Identificação	As	Ba	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mo	Ni
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MGN 1	TCC-19-438	<LQ	1.76	<LQ	<LQ	<LQ	3.64	<LQ	<LQ	<LQ	460.00
MAF 2	TCC-439	<LQ	52.07	<LQ	<LQ	70.76	365.99	105.39	6.58	<LQ	359.13
Serp-MG.2.3	TCC-440	<LQ	11.09	<LQ	<LQ	99.12	839.65	<LQ	<LQ	<LQ	2472.72
Serp-MG 4	TCC-441	<LQ	41.97	<LQ	<LQ	91.88	750.91	<LQ	<LQ	<LQ	2466.31
Serp-VER 5	TCC-442	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	20.40	411.85	<LQ	<LQ	<LQ	821.76
LQ		15.16	1.09	9.8	0.98	3.12	2.16	2.46	4.18	2.44	6.04

Amostra	Identificação	Sc	Sr	Th	V	Y	Zn	Be	Mn	Sb	Al
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MGN 1	TCC-19-438	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0.38	15.41	<LQ	<LQ
MAF 2	TCC-439	15.85	290.22	11.74	141.46	5.68	171.94	1.45	2366.34	<LQ	30167.62
Serp-MG.2.3	TCC-440	2.20	<LQ	<LQ	2.84	<LQ	42.91	0.41	612.95	<LQ	522.57
Serp-MG 4	TCC-441	1.39	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	48.83	0.41	775.55	<LQ	299.06
Serp-VER 5	TCC-442	1.58	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	13.30	0.63	143.54	<LQ	771.80
LQ		0.5	0.61	8.88	1.26	0.38	0.62	0.27	11.1	15	49

Amostra	Identificação	Fe	Ca	K	Mg	Na	Zr	Pb	P	S	Ti
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MGN 1	TCC-19-438	165.62	1922.24	<LQ	155904.61	<LQ	1.44	<LQ	23.84	<LQ	<LQ
MAF 2	TCC-439	74320.02	52899.43	2183.09	44110.82	4691.00	19.69	<LQ	26.16	<LQ	6726.01
Serp-MG.2.3	TCC-440	39473.39	325.10	<LQ	106347.77	<LQ	1.23	<LQ	239.65	<LQ	33.65
Serp-MG 4	TCC-441	39012.99	958.33	<LQ	107404.52	<LQ	1.33	<LQ	239.71	<LQ	<LQ
Serp-VER 5	TCC-442	16800.63	141.51	<LQ	145683.27	<LQ	2.06	<LQ	18.76	27.72	25.46
LQ		14.48	8.56	24.48	6.08	6.98	0.81	14.16	13.86	16.42	21.5

LEGENDA	
< LQ	Menor que o Limite de Qualificação (LQ)

Considerando os fatores de conversão dados pelo Lgqa do Degeo a seguir, converteu-se os elementos maiores em óxidos (tabela 5.3).

**Tabela 5.2** – Fatores de conversão para óxido

Fatores de conversão								
Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Ti
1.8895	1.3992	1.2865	1.2046	1.6583	1.2914	1.69594	2.2914	1.6684

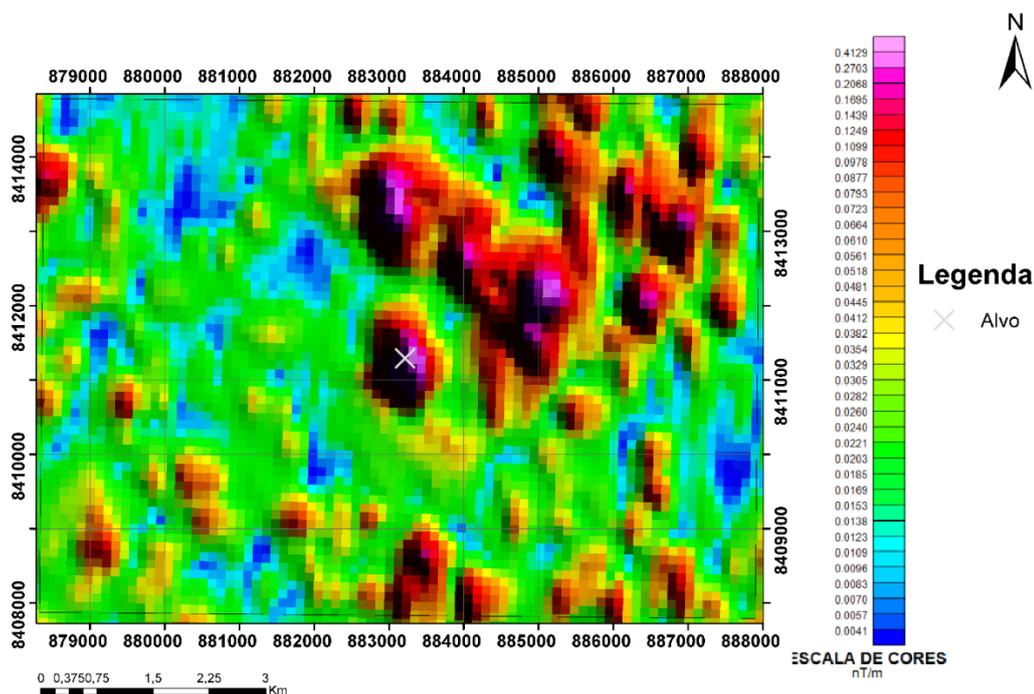
**Tabela 5.3** – Elementos maiores convertidos em óxidos (%).

	Óxido em %								
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>
MGN 1	0.00	1.03	0.08	0.00	98.86	0.01	<LQ	0.02	0.00
MAF 2	17.56	22.80	29.45	0.81	22.53	0.94	2.45	0.02	3.46
Serp-MG.2 3	0.43	0.20	22.08	0.00	76.68	0.34	<LQ	0.24	0.02
Serp-MG 4	0.24	0.58	21.66	0.00	76.85	0.43	<LQ	0.24	0.00
Serp-VER 5	0.55	0.07	8.15	0.00	91.12	0.07	<LQ	0.02	0.02

## 5.5 GEOFÍSICA LOCAL

Quanto à área do presente estudo, percebe-se a ocorrência de anomalias magnetométricas positivas (em cor magenta). Estas se distribuem pontualmente na porção centro norte da área, respeitando o padrão de lineamento N45W anteriormente descrito (figura 5.10).

Vale destacar a anomalia pontual presente no afloramento. Esta pode ser justificada pelo serpentinito que, sendo uma rocha de protólito ultramáfico, apresenta uma susceptibilidade magnética alta e usualmente contém uma quantidade substancial de magnetita (Moody 1976 *in* Abu-Jaber 1992).



**Figura 5.10** - Mapa de sinal analítico do campo magnético total em escala de aquisição de 1:250.000. Destaque para as regiões anômalas do afloramento da área de estudo definido como “alvo”

Honorato, G. A. 2019. Análise da mineralização de magnesita criptocristalina, em veios *stockworks*, hospedados ...

### 6.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentadas algumas interpretações, tendo como base os dados expostos no capítulo anterior.

### 6.2 GEOQUÍMICA

#### 6.2.1 Princípio da afinidade geoquímica

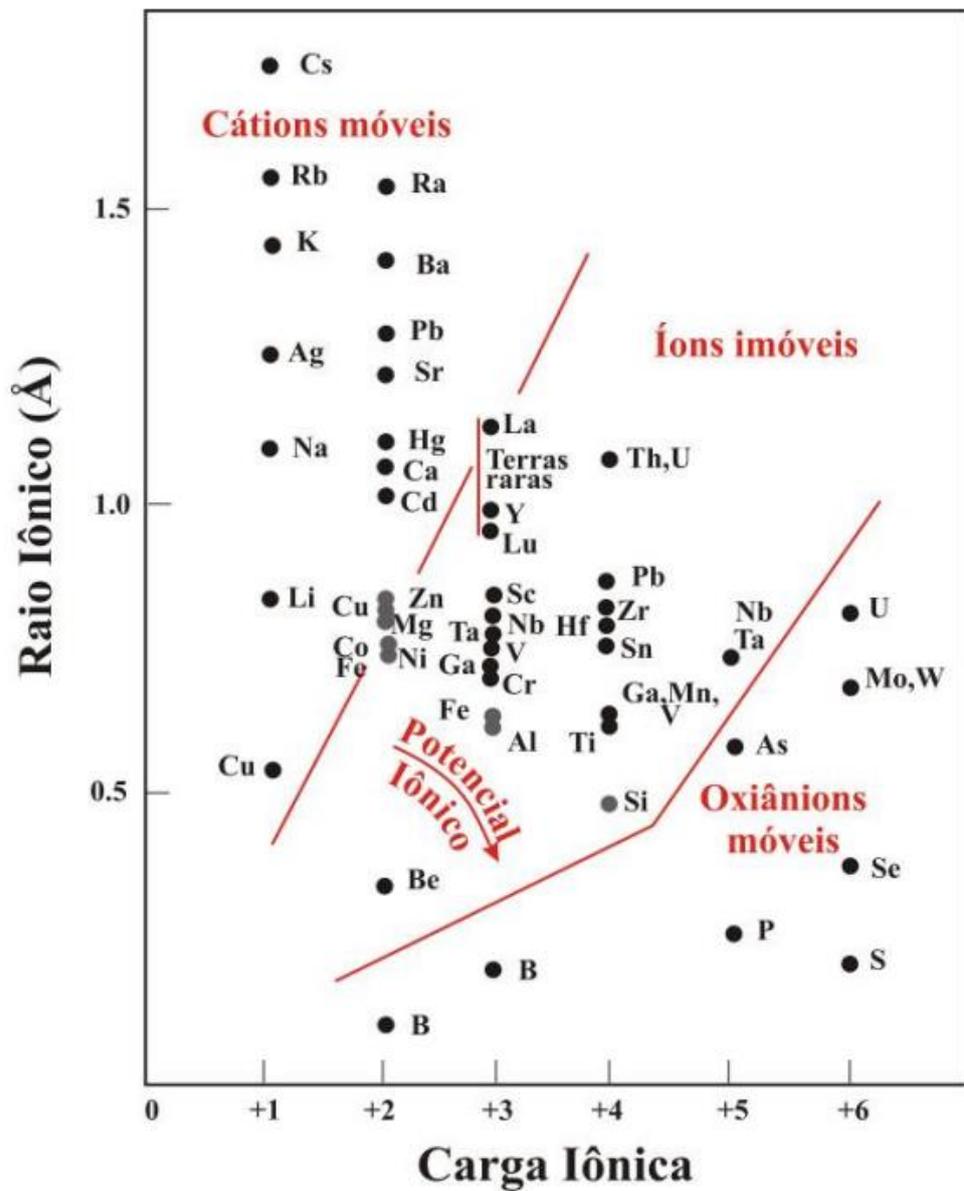
Para análise e interpretação destes dados, deve-se levar em consideração o princípio de afinidade geoquímica.

Segundo Santos (2014) tal propriedade dos elementos é um dos princípios que embasam a geoquímica aplicada à exploração mineral, pois os que pertencem à mesma classe (classificação de Goldschmidt) podem formar associações geoquímicas indicativas de determinadas mineralizações. Por outro lado, elementos de afinidades geoquímicas similares podem apresentar mobilidade química distinta de acordo com as condições ambientais. Desta forma, aqueles de maior mobilidade no ambiente superficial são utilizados em prospecção como elementos farejadores daqueles menos móveis.

De acordo com a Classificação de Goldschmidt temos:

- **Siderófilos:** elementos de transição de alta densidade que tendem a se ligar com o ferro metálico no estado sólido ou fundido. São comuns no núcleo terrestre e em meteoritos sideríticos.
- **Calcófilos:** são metis e alguns não metais pesados que apresentam pouca afinidade para o oxigênio e muita afinidade para a fase sulfídica. Encontrados no manto terrestre.
- **Litófilos:** são os elementos altamente reativos dos blocos s e bloco f da tabela periódica, incluindo alguns não metais reativos e os metais mais reativos do bloco d (Ti, Zr e V). Por apresentarem alta afinidade com a sílica, são encontrados na crosta terrestre.
- **Atmófilos:** elementos encontrados preferencialmente no estado gasoso.





**Figura 6.2** - Potencial iônico dos elementos (Goldschmidt 1937 extraído de Santos 2014)

Considerando as condições ambientais em relação à mobilidade relativa dos elementos em questão, estes podem ser agrupados da seguinte forma (tabela 6.1):

**Tabela 6.1** - Mobilidade relativa dos elementos químicos no ambiente secundário (Andrews Jones, 1968 in Santos 2014)

MOBILIDADE RELATIVA	CONDIÇÕES AMBIENTAIS			
	OXIDANTE	ÁCIDO	NEUTRO A ALCALINO	REDUTOR
MUITO ALTA	Cl, I, Br S, B	Cl, I, Br S, B	Cl, I, Br S, B Mo, V, U, Se, Re	Cl, I, Br
ALTA	Mo, V, U, Se, Re Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra Zn	Mo, V, U, Se, Re Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra Zn Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au	Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra	Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra
MÉDIA	Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au As, Cd	As, Cd	As, Cd	
BAIXA	Si, P, K Pb, Li, Rb, Ba, Be Bi, Sb, Ge, Cs, Tl	Si, P, K Pb, Li, Rb, Ba, Be Bi, Sb, Ge, Cs, Tl Fe, Mn	Si, P, K Pb, Li, Rb, Ba, Be Bi, Sb, Ge, Cs, Tl Fe, Mn	Si, P, K Fe, Mn
MUITO BAIXA A IMÓVEL	Fe, Mn Al, Ti, Sn, Te, W Nb, Ta, Pt, Cr, Zr Th, Terras Raras	Al, Ti, Sn, Te, W Nb, Ta, Pt, Cr, Zr Th, Terras Raras	Al, Ti, Sn, Te, W Nb, Ta, Pt, Cr, Zr Th, Terras Raras Zn Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au	Al, Ti, Sn, Te, W Nb, Ta, Pt, Cr, Zr Th, Terras Raras S, B Mo, V, U, Se, Re Zn Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au As, Cd Pb, Li, Rb, Ba, Be Bi, Sb, Ge, Cs, Tl

### 6.2.2 Interpretação

Para a interpretação dos dados, considerou-se os elementos que apresentaram alguma anomalia representativa nos gráficos a seguir, sendo no caso dos elementos maiores o Al, Fe, Ca e Mg, e nos menores, o Ni e o Cr.

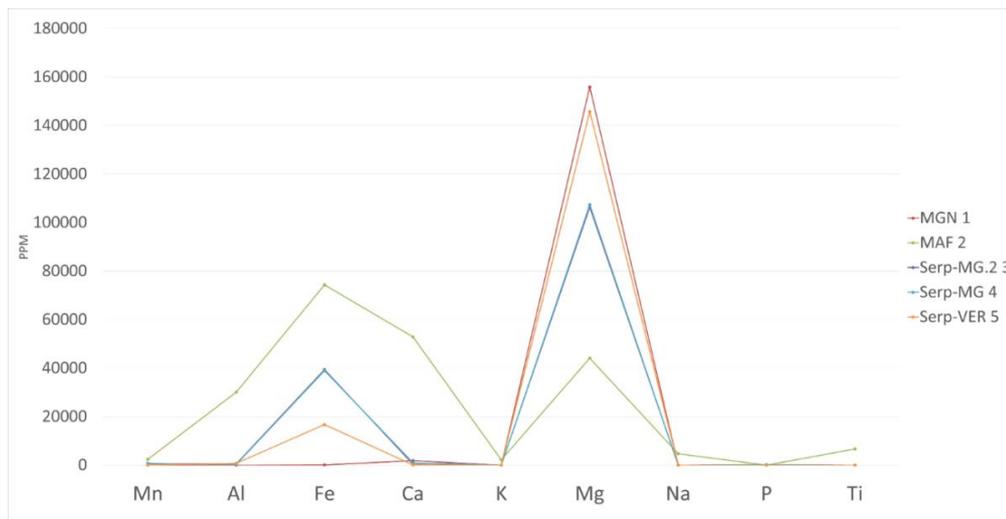


Figura 6.3 - Gráfico de linhas com elementos maiores.

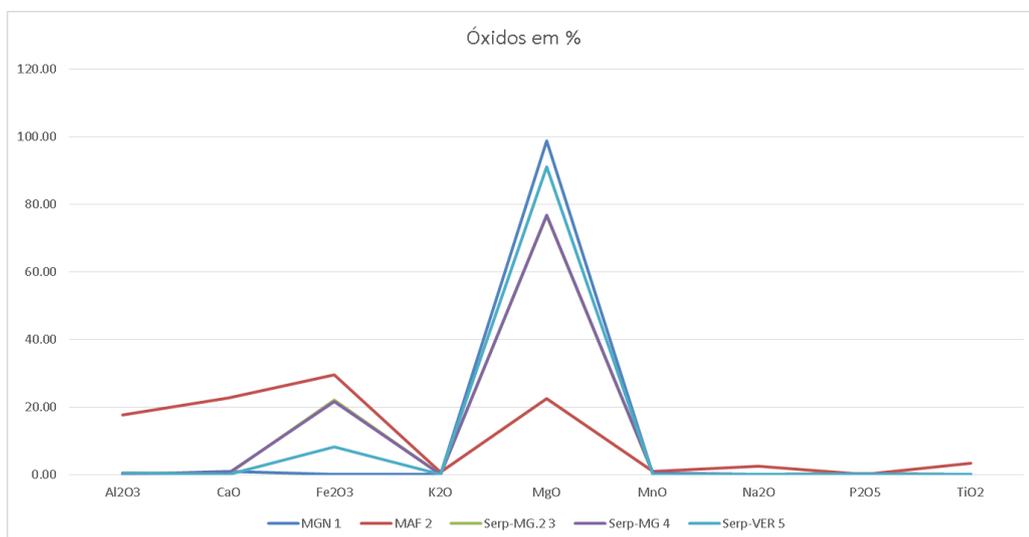


Figura 6.4 - Gráfico de linhas com os óxidos dos elementos maiores.

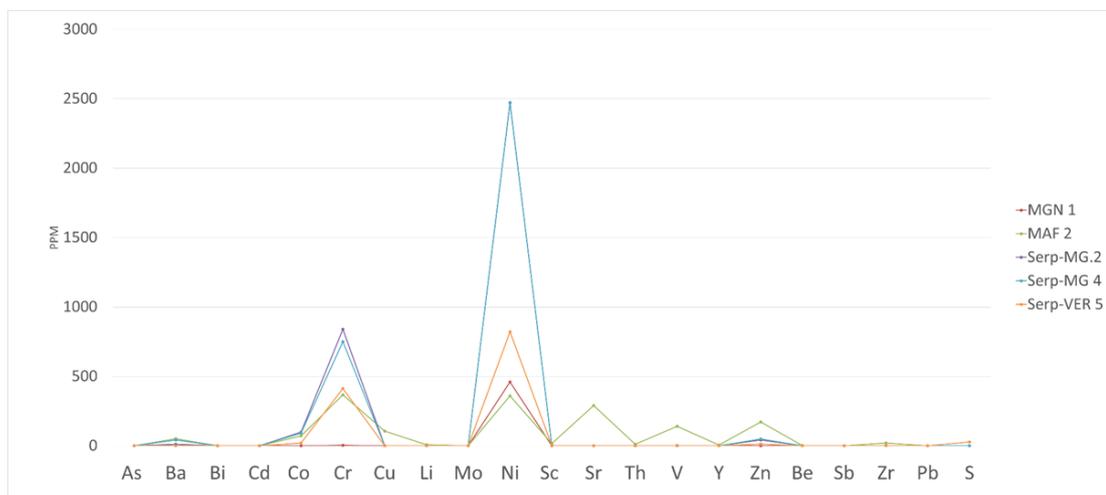


Figura 6.5 – Gráfico de linhas com elementos menores.

Dessa forma, pode-se destacar que:

- O alumínio e o cálcio possuem uma maior concentração na rocha ultramáfica intrusiva maciça (MAF), se comparado ao serpentinito (Serp) e a magnesita (MGN);
- O ferro apresentou uma gradação decrescente de concentração da ultramáfica intrusiva (MAF) para o óxido de magnésio (MGN);
- O teor de Mg gradou de forma crescente da MAF para o MGN.

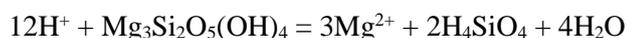
Quanto aos elementos menores, Níquel e o Cromo, estes apresentaram-se mais enriquecidos no serpentinito (Serp), se comparado à máfica intrusiva (MAF) e a magnesita (MGN).

De posse dos dados levantados pelo laboratório e considerando a mobilidade relativa dos elementos, pode-se observar que dentre os elementos maiores houve uma redução gradual de ferro e um enriquecimento em Mg e Ca entre os veios *stockwork* e o serpentinito hospedeiro. Quanto aos elementos menores que apresentaram anomalia, pode-se dizer que estes não mobilizaram para o veio, se mantendo na rocha hospedeira.

Diante disso, cabe à interpretação de que um fluido hidrotermal mobilizou os elementos de mobilidade alta para o veio, mantendo os elementos de mobilidade média a muito baixa na rocha mãe.

Tendo em vista os dois modelos levantados por Jurkovic 2012, anteriormente descrito, há alguns questionamentos que devem ser levantados para definir a origem ascendente (hidrotermal) ou descendente (*supérgeno*) do fluido. No caso do *per ascendum*, pode-se destacar:

- i) O sistema venoso pode prolongar-se lateralmente por alguns metros, mas as veias se comprimem a uma profundidade não superior a cem metros. Este fato dificulta a possibilidade de que a fonte de fluido mineralizante seja situada a 2-3 km de profundidade.
- ii) O modelo *per ascendum* não é apoiado por paragenese de relevância de minério nos veios. O fluido proveniente de grandes profundidades, carregado com bicarbonatos de pH baixo, supõe-se em dissolver serpentinitos ou peridotitos serpentinizados, liberando Mg pela reação:



O CO<sub>2</sub> fornece hidrogênio pela sua dissolução.



No entanto, os corpos de magnesita criptocristalina são os carbonatos de magnésio mais puros da região, com componentes químicos acessórios menores e minerais do grupo da serpentina. Eles contêm quantidades menores de sílica e dolomita

em alvéolos de alteração muito fina, e muitas vezes estão em contato com o serpentinito (Bondenlos 1950; Sunarić-Pamić e Pamić 1988; Dabitzias, 1980 *in* Jurkovic *et al.* 2012).

No caso do modelo *per descendum*, segundo Jurkovic (2012):

- i) a liberação de magnésio começa no intemperismo laterítico superficial, cujo o processo envolve uma aglomeração efetiva de esmectitas e coloides hidróxidos adsorvidos;
- ii) Os principais elementos são distribuídos através do perfil topográfico vertical de acordo com suas respectivas mobilidades;
- iii) A fixação ou remoção de sílica dependem da posição do lençol freático temporário, formando esmectitas ou mesmo silcretas;
- iv) Magnésio e cálcio migram para baixo, eventualmente precipitando pelo aumento do pH da água percolada no saprolito;

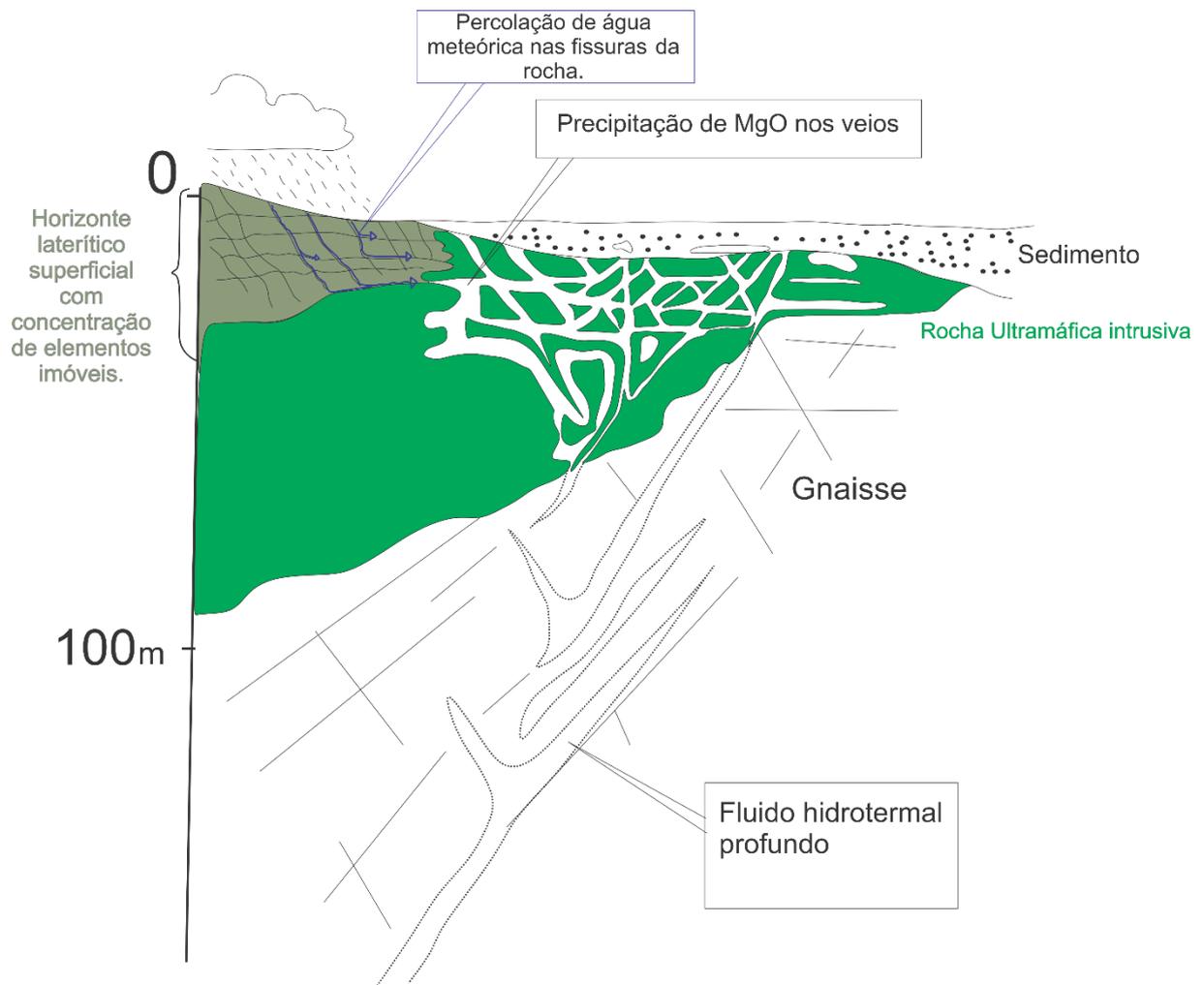
Levando em conta as considerações feitas por Jurkovic, pode-se associar a ocorrência da magnesita em questão ao modelo *per descendum*, uma vez que além da remobilização dos elementos mais móveis nos veios, características semelhantes às descritas acima, estes não se estendem por grandes profundidades. Porém, para definir a origem deste fluido com um maior grau de certeza, um estudo de isótopos de carbono e uma análise geoquímica mais detalhada deve ser realizado.

Contudo, com os dados levantados por este trabalho, propõe-se a origem hipógeno/hidrotermal (ver figura 6.6). Nesta, que é a mais aceita pela comunidade científica, soluções aquosas profundas de baixa salinidade e ricas em CO<sub>2</sub>, alteram a rocha ultrabásicas por reação de hidratação e carbonização, elevando o pH e remobilizando os elementos mais móveis da rocha hospedeira nos veios em *stockwork*. Ver figura 6.7.

## Hidrotermal (*per ascendum*) X Supergênico (*per descendum*)

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Mais aceito pela comunidade científica;</li><li>➤ <i>Stockworks</i> (zona de descarga hidrotermal) visível na ocorrência;</li><li>➤ Não foi identificado um perfil laterítico típico de um enriquecimento supergênico;</li><li>➤ Durante a serpentinização, há um empobrecimento de CaO, enquanto a sílica é dissolvida em soluções bicarbonatadas e precipitada como calcedônia.</li><li>➤ Modelo que melhor se encaixa!</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>➤ O sistema venoso prolongar-se lateralmente por alguns metros, mas as veias se comprimem a uma profundidade não superior a cem metros.</li></ul> |
|---|---|

**Figura 6.6** – Comparativo entre os dois modelos hidrotermais em relação à proposta de gênese para a magnesita em questão.



**Figura 6.7** – Modelo esquemático proposto para o processo de mineralização do MgO da área do estudo (baseado em Pohl 1989).

### 6.3 TRABALHOS FUTUROS

Para a definição com um maior grau de exatidão quanto à origem do fluido hidrotermal responsáveis pela precipitação da magnesita em veios *stockworks* será necessário um estudo de isótopos de carbono/oxigênio, além de uma análise geoquímica mais detalhada de elementos maiores, menores e terras raras.

## CAPÍTULO 8

### CONCLUSÕES

---

As informações levantadas por esta pesquisa, permitem classificar a ocorrência de magnesita em questão como do tipo Kraubath. Este pode ser definido como o primeiro trabalho que identificou esta feição na região, tendo em vista que na mina da RHI Magnesita, na Serra das Éguas, o depósito é do tipo Veitsch (macrocristalina).

A área de estudo, é caracterizada por uma intrusão ultrabásica que sofreu serpentinização em meio a um gnaisse TTG do Bloco Gavião. Presume-se que tal evento influenciou diretamente na mineralização da magnesita em questão, porém, torna-se incerto quanto ao seu caráter local ou regional do metamorfismo, e qual é o seu nível de influência na geoquímica.

Conforme os dados geoquímicos obtidos e a interpretação dos gráficos gerados, percebe-se que os elementos mais móveis, como Mg e Ca, tendem a se concentrar nos veios, enquanto os elementos menos móveis, como Ni e Cr, se mantêm na rocha hospedeira.

Quanto ao processo de mineralização do MgO em veios em stockworks, cabe à interpretação de que se desenvolveu um hidrotermalismo (*per ascendum*), onde fluídos quentes profundos, ricos em CO<sub>2</sub>, percolaram nas zonas de maiores fraquezas do serpentinito (acamamentos e falhas), mobilizando os elementos mais móveis para os veios, o que justificaria o enriquecimento nas porções mais superficiais da rocha hospedeira. Porém, a possível influência de um fluido descendente (*per descendum*) de águas meteóricas, não deve ser descartada, uma vez que para definir com maior exatidão a sua proveniência, um estudo de isótopos de carbono e oxigênio com a análise química de elementos terras raras e traço, devem ser realizadas na área.

Além disso, da posse dos mapas geofísicos, foi possível identificar, dentro de uma escala regional, as anomalias magnéticas positivas relacionadas à corpos máficos-ultramáficos. Estes além de presentes na área do afloramento deste trabalho, estão espacialmente associados a grandes minerações de magnesita nas proximidades (Ibar e RHI Magnesita), o que destaca a importância da utilização desta ferramenta para a prospecção e definição de corpos mineralizantes deste tipo de minério.

Honorato, G. A. 2019. Análise da mineralização de magnesita criptocristalina, em veios *stockworks*, hospedados ...

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Abu-Jaber, N.S. & Kimberley, M.M., 1992. Origin of ultramafic-hosted vein magnesite deposits. *Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam Ore Geology Reviews*, **7**:155- 191.
- Alkmim, F.F; Brito Neves, B.B; ALVES, J. A.C. 1993. Arcabouço tectônico do Cráton do São Francisco - uma revisão. In: Dominguez, J.M.L., MISI, A. (eds.), *O Cráton do São Francisco*. Salvador: Reunião preparatória do II Simpósio sobre o Cráton do São Francisco, SBG/Núcleo BA-SE/SGM/CNPq. 45-62 p.
- Almeida, F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, **7**: 349-364.
- Almeida, T. I. R. de. 1989. *Magnesita do depósito de Campo de Dentro, Serra das Éguas, Bahia: Geoquímica e Gênese*. Tese de doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 153 p.
- Arcanjo, J. B., Marques-Martins, A. A., Loureiro, H. S. C., Varela, P. H. L. 2000. Projeto vale do Paramirim, escala 1:100.000. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, CD-ROOM.
- Barbosa J.S.F., Sabaté P., Marinho M.M. 2003. O Cráton do São Francisco na Bahia: uma síntese. *Revista Brasileira de Geociências*, **33(1)**: 3-6.
- Barbosa, J.F & Dominguez, J.M.L. (eds.).1996 *Geologia Da Bahia - Texto Explicativo*. (eds.).1996. Salvador: Governo do estado da Bahia, 68 p.
- Barbosa, J.S.F. 1993. O embasamento do Cráton São Francisco na Bahia: síntese do conhecimento atual. II Simpósio do Cráton do São Francisco. Salvador, SBG/SGM/CNPq, Núcleo Bahia-Sergipe. Salvador, 9-11 p.
- Barbosa, N.S; Teixeira, W; Leal, L.R.B; Leal, A.B.M. 2013. Evolução crustal do setor ocidental do Bloco Arqueano Gavião, Cráton do São Francisco, com base em evidências U-Pb, Sm-Nd e Rb-Sr. Universidade de São Paulo. *Geologia USP: Série Científica*. São Paulo, Brasil. 6-88p.
- Barbosa, O. (eds.).1943. *Magnesita da Serra das Éguas, Bahia. Mineração e Metalurgia*, **7**:71-73.
- Bodenlos, A. J. 1954. Magnesite deposits in the Serra das Éguas, Brumado, Bahia, Brazil. (*Geological Survey Bulletin* 975-C.). Washington, D.C.: U. S. Government Printing Office.
- Catálogo De Projetos Técnicos (eds.). 1998. Salvador: Companhia Baiana de Pesquisa Mineral – CBPM, 26 p.
- Cordani, U.G *et al.* 1992. Pb-Pb, Rb-Sr, and K-Ar systematics of the Lagoa Real uranium province (South-central Bahia, Brazil) and the Espinhaço Cycle (ca. 1.5-1.0 Ga). *Journal of South American Earth Sciences*, **5(1)**: 33-46.
- Cordani, U.G.; Sato, K.; Marinho, M.M. 1985. The geologic evolution of the ancient granite-greenstone terrain of central-southern Bahia. *Brazil Precambrian Research*, **27**:187-213.
- Cordani, U.G.1973. *Evolução geológica pré-cambriana da faixa costeira do Brasil, entre Salvador e Vitória*. 312 p. (Tese de Livre Docência, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo), 312 p.
- Cruz S.C.P. & Alkmim F.F. 2006. The tectonic interaction between the Paramirim Aulacogen and the Araçuaí Belt, São Francisco Craton region, Easter Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **1**:151-173.

Honorato, G. A. 2019. Análise da mineralização de magnesita criptocristalina, em veios *stockworks*, hospedados ...

Cruz, S.C.P; Alkmin, F.F; Leite, C.M.M; Jordt-Evangelista, H; Cunha, J.C; Matos, E.C; Noce, C.M & Marinho, M.M. 2007. Geologia e arcabouço estrutural do Complexo Lagoa Real, vale do Paramirim, Centro-Oeste da Bahia. - *Revista Brasileira de Geociências*. **37(4)**:128-144.

Cunha J.C. & Fróes R.J.B. 1994. Komatiitos com textura spinifex do Greenstone belt de Umburanas, Bahia. Salvador, Série Arquivos Abertos, Companhia Baiana de Pesquisa Mineral - CBPM, 29p.

Cunha, J.C & Fróes, R.J.B.1994. Komatiitos com textura spinifex do Greentone belt de Umburanas, Bahia. Série Arquivos Abertos, Companhia Baiana de Pesquisa mineral – CBPM, Salvador. 22p.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL 2016. Sumário Mineral 2016. Disponível em. <http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2016>

Duncan, L. R.; Mccracken, W. H.1994. Magnesite and Magnesia. In CARR, D. D. (Ed). Industrial Mineral and Rocks, 6th ed. Littleton, Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 643-654 p.

Filho, B.E. C. (coord.). 2012. *Mapa geológico – Folha Tanhaçu (SD.24-Y-A-II)*. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Secretaria de geologia, mineração e transformação mineral.

Filho,C.V.R.S. 2017. Formações ferríferas bandadas do cratón são francisco na transição arqueano paleoproterozóico: modelos genéticos e exploratórios. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Geociências)- Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.

Garcia, I.R.A.2004. *Caracterização mineralógica dos minérios de magnesita do conjunto mineiro Pedra Preta-Jatobá-Pomba (Serra das Éguas, Brumado, BA)*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. 5-12 p.

Garcia,L.R. A., Brandão.P.R.G., Lima, R.M.F. (eds.). 2005. *Rochas e Minerais Industriais - CETEM/2005*,490-511 p.

Garrido, I. A.A. 2006. Projeto Ruy Barbosa/Vitória da Conquista. Escala 1:100.000 e 1:250.000. Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM). Disponível em: <http://lagfba.cbpm.ba.gov.br/Home/IndiceSelecao/16>. Acessado em 21 de julho de 2019.

Gauthier-Lafaye, F., Weber, F., 2003. Natural nuclear fission reactors: time constraints for occurrence, and their relation to uranium and manganese deposits and to the evolution of the atmosphere. *Precambrian Research*. **120**, 81–100 p.

Honorato, E.P. 2005. Adequação granulométrica das matérias-primas e do sistema de segregação contínua (I.S.F), para melhorias na produtividade e qualidade do sínter para os altos-fornos. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais.32-34 p.

Ilic, M., Manojlovic, D.1968. The Beli Kamen Magnesite deposit — a geological study of magnesite masses of the miocene basin at Strezovce near Kosovska Kamenica, and the relation with the surrounding and nearby rocks. *Bullettin Institute of Geology and Geophysics Research Service*. **24–25**: 29–122

Inda H.A.V. & Barbosa J.F. 1978. *Mapa geológico do Estado da Bahia, escala 1:1.000.000*. Salvador, Secretaria das Minas e Energia, Coordenação da Produção Mineral.

- Inda, H.A.V. & Barbosa, J.F. 1978. Texto explicativo para o Mapa Geológico do Estado da Bahia, Escala 1:1.000.000. Salvador, CPM-SME BA/CBPM.
- Jurkovic, I; Palinskas, L.A; Jurkovic, I; Garasic, V. 2012. Genesis of vein-stockwork cryptocrystalline magnesite from the dinaride ophiolites. *Ofioliti*, **37(1)**:13-26.
- Kearey, P., Brooks, M. & Hill, I. 2009. Geofísica de Exploração. Tradução: Maria Cristina Moreira Coelho. São Paulo, Oficina de textos, 438p
- Leal, A.B.M; Leal, L.R.B; Cunha, J.C; Teixeira, W. 2005. Características geoquímicas dos granitóides transamazônicos no bloco gavião, Craton São Francisco, Bahia, Brasil. 2005- *Geochim Brasil.*, **19(1)**: 008-021.
- Leal, A.B.M; Santos, A.L.D; Leal, L.R.B; Cunha, L.R.B. 2015. Geochemistry of contaminated komatiites from the Umburanas greenstone belt, Bahia State, Brazil.2015- *Journal of South American Earth Sciences*, **61**:1-13.
- Lima, R. C. C. 1986. Aspectos geológicos e mineralizações na área de Brumado: Magnesita na Serra das Éguas. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências, Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 67 p.
- Marinho, M.M.; Lopes, G.A.C.; Soares, J.V.; Toledo, L.A.A; Silva, E.F.A; Cruz, M.J.M. 1980. Projeto Anajé-Caldeirão. Companhia Baiana de Pesquisa Mineral, Secretaria das Minas e Energia. Salvador, Bahia. 196 p.
- Moraes, L. M .1980. Projeto Brumado Caetite: Relatório Final da 1ªFase. Salvador: CPRM, 9 v.
- Oliveira, V.P., Fragomeni, L.F.P., Bandeira, C.A. 1997. Depósitos de magnesita de Serra das Éguas, Brumado, Bahia. In: Schobbenhaus, C., Queiroz, E.T., Coelho, C.E.S. (coords.), Principais Depósitos Minerais do Brasil, DNPM, Brasília, v.IV(C), p.219-234.
- Pedreira A. J.; Arcanjo. J. B.; Pedrosa, C. J.; Oliveira, J. E.; Silva, B. C. E. (eds) 1975. Projeto Bahia: Geologia da Chapada Diamantina. Salvador, DNPM/CPRM.
- Pedreira, A.J. 1994. O Supergrupo Espinhaço na Chapada Diamantina Centro-oriental, Bahia: sedimentologia, estratigrafia e tectônica. Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 125 p.
- Pedrosa-Soares A.C., Noce C.M., Wiedemann C.M. & Pinto C.P. 2001. The Araçuaí-West-Congo Orogen in Brazil: an overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly. *Precambrian Research.*,**1-4**:307-323
- Pflug, R. & Renger, F. 1973. Estratigrafia e evolução geológica da margem SE do Cráton Sanfranciscano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. 27, Aracajú-SE, (1):5-19.
- Pinho, I.C. A. (coord.). 2012. *Mapa geológico – Folha Brumado (SD.24-Y-A-I)*. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Secretaria de geologia, mineração e transformação mineral.
- Pohl, W.; Siegl, W. 1986. Sediment-hosted magnesite deposits. In: WOLF, K. H. (Ed.) Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits, Part IV, v. 14. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V., 223-310 p.
- Redlich, K.1909. Types of magnesite deposits. *Zeitschrift fur praktische Geologic*. **17**:300-310.

Honorato, G. A. 2019. Análise da mineralização de magnesita criptocristalina, em veios *stockworks*, hospedados ...

Santos, A.L.D. 2008. *Geologia, petrografia e evolução metamórfica das rochas meta-komatiíticas da unidade inferior do greenstone belt de umburanas, Bahia, Brasil*. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. 34-61 p.

Santos, C.C. 2014. *Mobilidade de elementos químicos no perfil de solo e seu controle na prospecção geoquímica: aplicação na região de Santa Maria da Vitória, BA*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília. Brasília, 7-10 p.

Santos-Pinto, M; Peucat, J.J; Martin, H; Barbosa, J.S.F; Fanning, C.M; Cocherie, A; Paquette, J.L. 2012. Crustal evolution between 2.0 and 3.5 Ga in the Southern Gavião block (Umburanas-Brumado-Aracatu region), São Francisco Craton, Brazil: A 3-5-3.8 Ga proto-crust in the Gavião block. *Journal of South American Earth Sciences*, **40**:129-142.

Strieder, A.J. 1992. Serpentinização e metassomatismo em rochas ultramáficas: discussão das características e recomendações para o tratamento geoquímico. *Revista Brasileira de Geociências*. **22(3)**:329-337.

Sumário Mineral (2008). Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral (eds.) 2009

Teixeira, W; Sabate, P; Barbosa, J.; Noce, C M; Carneiro, M A. 2000. Archean and paleoproterozoic tectonic evolution of the São Francisco Craton, Brazil. In: *Tectonic evolution of South America* [S.l: s.n.].

Zincone, S.A.2016. Evolução da Sequência Contendas-Mirante e seu embasamento : implicações para a tectônica arqueana a paleoproterozóica no nordeste do Cráton São Francisco. – Campinas, SP : [s.n.].