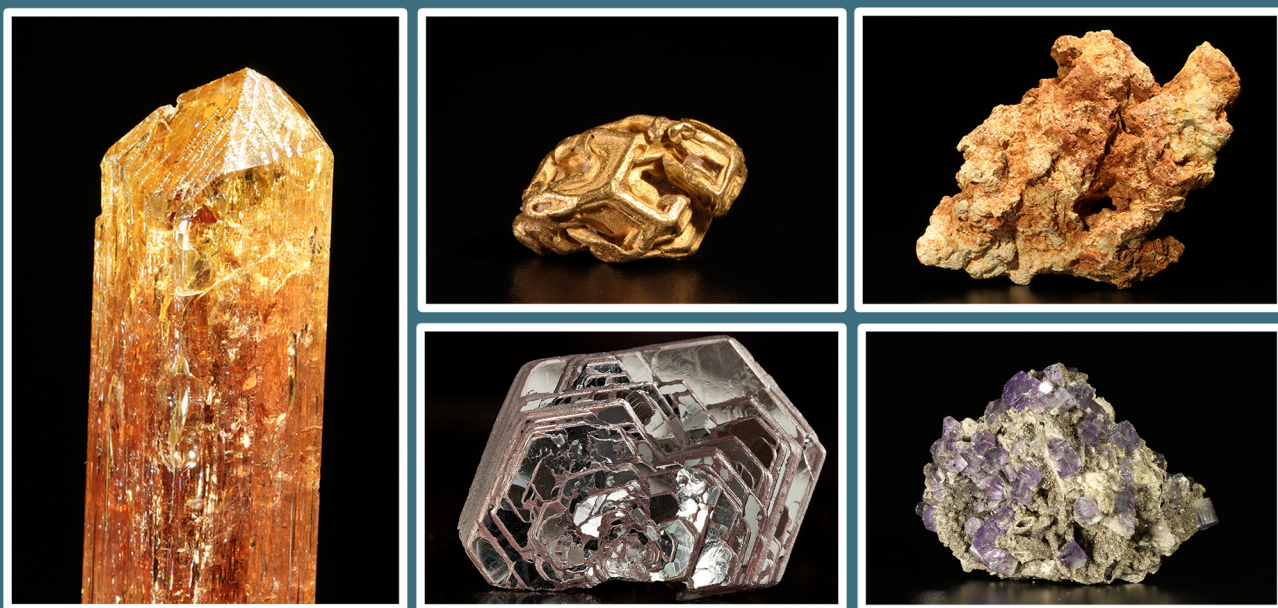


PROGRAMA GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

INFORME DE RECURSOS MINERAIS DO ESTADO DE MINAS GERAIS



INFORME DE RECURSOS MINERAIS

Série Diversos, nº 06

Belo Horizonte - 2022

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Adolfo Sachsida

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Lília Mascarenhas Sant'agostino

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor Presidente interino

Cassiano de Souza Alves

Diretor de Geologia e Recursos Minerais interino

Paulo Afonso Romano

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Paulo Afonso Romano

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Chefe do Departamento de Recursos Minerais

Marcelo Esteves Almeida

Chefe da Divisão de Geologia Econômica

Guilherme Ferreira da Silva

Chefe do Departamento de Projetos Especiais e Minerais Estratégicos

Ioná de Abreu Cunha

Chefe da Divisão de Minerais e Rochas Industriais

Michel Marques Godoy

Chefe da Divisão de Economia Mineral e Geologia Exploratória

Ruben Sardou Filho

Chefe do Departamento de Geologia

Valter Rodrigues Santos Sobrinho

Chefe da Divisão de Geologia Básica

Patrick Araujo dos Santos

Chefe da Divisão de Geoquímica

Silvana de Carvalho Melo

Chefe da Divisão de Geodinâmica

Joseneusa Brilhante Rodrigues

Chefe da Divisão de Sensoriamento Remoto e Geofísica

Luiz Gustavo Rodrigues Pinto

Chefe do Departamento de Informações Institucionais

Edgar Shinzato

Chefe da Divisão de Geoprocessamento

Hiran Silva Dias

Chefe da Divisão de Cartografia

Fábio Silva da Costa

Chefe da Divisão de Documentação Técnica

Roberta Pereira da Silva de Paula

Chefe do Departamento de Relações Institucionais e Divulgação

Patrícia Düringer Jacques

Chefe da Divisão de Marketing e Divulgação

José Wellington Alves Ferraz

Chefe do Departamento de Apoio Técnico interino

Américo Caiado Pinto

Chefe da Divisão de Editoração Geral

Lucas Victor de Alcântara Estevão

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELO HORIZONTE

Superintendente Regional

Marlon Marques Coutinho

Gerente de Geologia e Recursos Minerais

Marcelo de Souza Marinho

Responsável Técnico do Projeto

Claiton Piva Pinto

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
DIRETORIA DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS
I PROGRAMA GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL I

AVALIAÇÃO DOS RECURSOS MINERAIS DO BRASIL

INFORME DE RECURSOS MINERAIS DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Escala 1:1.000.000

Texto Explicativo

ORGANIZADOR

Claiton Piva Pinto

INFORME DE RECURSOS MINERAIS

Série Diversos, nº 06



Belo Horizonte
2022

REALIZAÇÃO

Superintendência Regional de Belo Horizonte

ORGANIZAÇÃO

Claiton Piva Pinto (SUREG-BH)

TEXTO EXPLICATIVO

1. Introdução

Claiton Piva Pinto

2. Província Mineral do Quadrilátero Ferrífero (Au, Fe-Mn e associados)

Claiton Piva Pinto
Marcelo de Souza Marinho

3. Outras Províncias e Distritos de Fe, Mn e Au em Minas Gerais

Claiton Piva Pinto
Marcelo de Souza Marinho
Marco Túlio Naves de Carvalho
Francisco Teixeira Vilela
Júlio Murilo Martino Pinho
Márcio Antônio da Silva

4. Províncias e Depósitos de Zn, Pb e Associados

Claiton Piva Pinto

5. Distritos, Depósitos e Ocorrências de Associações Polimetálicas (Fe-Cu-Zn-Ag-Au-W e Cr-Ni-Co-Pt) fora do Quadrilátero Ferrífero

Claiton Piva Pinto

6. Complexos Alcalinos (Nb, ETR, P, Ti, Mo, U-Th-Zr)

Claiton Piva Pinto

7. Distritos, Depósitos e Ocorrências de Fosfato, Potássio e Calcário Sedimentares e Outras Rochas como Fontes de Nutrientes Agrícolas

Claiton Piva Pinto

8. Províncias e Distritos de Minerais Industriais

Claiton Piva Pinto

9. Províncias e Distritos de Material para Construção Civil

Claiton Piva Pinto

10. Províncias e Distritos de Rochas Ornamentais

Cid Chiodi Filho
Denize Kistemann Chiodi
(Kistemann Chiodi Assessoria e Projetos)
Claiton Piva Pinto

11. Províncias e Distritos Gemológicos (Pedras Coradas)

Claiton Piva Pinto

12. Água mineral, potável de mesa e termal/balneários

Claiton Piva Pinto

Referências

Anexos

SIG GEOLÓGICO

(<http://geosgb.cprm.gov.br>)

COLABORADORES

Paulo Henrique Amorim Dias
Marcelo de Souza Marinho
Julio Cesar Lombello
Joanna Chaves Souto Araújo
Marcus Paulo Sotero

APOIO TÉCNICO

LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS

Márcio Antônio da Silva
Claiton Piva Pinto

GEOFÍSICA E SENSORIAMENTO REMOTO

Márcio Antônio da Silva

PROJETO GRÁFICO/EDITORAÇÃO

Capa (DIEDIG)

Lucas Victor de Alcântara Estevão

Miolo (DIEDIG)

Andréia Amado Continentino
Agmar Alves Lopes

Diagramação (SUREG/BH)

Patrícia Silva Araújo Dias

REVISÃO TEXTO

Irinéia Barbosa da Silva

NORMALIZAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

Ana Paula da Silva
Maria Madalena Costa Ferreira

ESTAGIÁRIOS

Guilherme Soares Rodrigues Benedito
Wilker Soares Silva
Ana Clara da Cruz Pires
Luiza Clemente Rodrigues

REVISÃO FINAL

Evandro Luiz Klein
Marcelo Esteves Almeida
Paulo Henrique Amorim Dias
Marcelo de Souza Marinho

Serviço Geológico do Brasil – CPRM

www.cprm.gov.br
seus@cprm.gov.br

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

I 43 Informe de recursos minerais do Estado de Minas Gerais,
/ Organizador Claiton Piva Pinto. – Belo Horizonte:
SBG/CPRM, 2022.

1 recurso eletrônico : PDF. - (Informe de Recursos Minerais.
Série Diversos, 06)

Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br> , SIG geológico:
<http://geosgb.cprm.gov.br>.

ISBN 978-65-5664-329-8

1.Recursos minerais de Minas Gerais.2- Depósitos minerais.
3- Geologia econômica. I- Pinto, Claiton Piva (Org.) II- Título.
III- Série.

CCDU 553.04(815.1 A/Z)

FOTOS DA CAPA

Da esquerda para a direita:

Amostras pertencentes ao acervo do MM Gerdau – Museu das Minas e do Metal

Fotos: Andrea Ferreira

1. MUMI-260-5-Topázio Imperial, 8,5 x 1,3 x 1,1 cm, Distrito de Antônio Pereira, Ouro Preto, MG
2. MUMI-1486-Ouro - Ouro nativo no Quartzo, 7,0 x 7,2 x 2,2 cm, Mina Morro Velho, Nova Lima, MG
3. Bauxita - MUMI-1519 –Bauxita, 10,8 x 7,3 x 4,0 cm, Poços de Caldas, MG
4. MUMI-1269-2 - Lepidolita transparente, 4,0 x 2,8 x 2,8 cm, Lavra Toca da Onça, Virgem da Lapa, MG
5. MUMI-23-1-Hematita “Rosa de Ferro”, 7,5 x 5,0 x 2,0 cm, Miguel Burnier, Ouro Preto, MG

APRESENTAÇÃO

O Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM), empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia, tem como missão gerar e disseminar o conhecimento geocientífico com excelência. No que diz respeito à área de geologia e recursos minerais, realiza sua missão, sobretudo, por meio do desenvolvimento de projetos em linhas de atuação, que incluem o mapeamento geológico sistemático, levantamentos geofísicos e geoquímicos e o estudo de avaliação do potencial de recursos minerais em todas as regiões do país.

Desta forma, o SGB-CPRM produz e gerencia acervos expressivos de dados e informações geológicas e de recursos minerais em todo território nacional, o que possibilita a realização de projetos de integração regional que apresentam o estado da arte do conhecimento geocientífico e do potencial mineral das áreas enfocadas.

Os produtos obtidos através dos projetos de integração geológica regional, que incluem mapas, relatórios e conjuntos de bases de dados, constituem ferramentas importantes para a elaboração de estratégias e ações desenvolvidas pelos setores público e privado, além de serem fundamentais para as áreas de pesquisa e ensino em Geociências.

Diante dessas premissas, o Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM) tem a grata satisfação de disponibilizar à comunidade técnico-científica, gestores públicos, empresários do setor mineral e à sociedade em geral os resultados alcançados pelo **Projeto do Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Minas Gerais**, vinculado ao Programa Geologia, Mineração e Transformação Mineral, e à ação Levantamentos Geológicos e Integração Geológica Regional, sob coordenação dos departamentos de Geologia (DEGEO) e de Recursos Minerais (DEREM), da Diretoria de Geologia e Recursos Minerais (DGM).

Esse projeto foi executado pela Superintendência Regional de Belo Horizonte do SGB-CPRM e contempla a atualização do projeto Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Minas Gerais (2014), realizado em parceria com a Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (Codemge), do Governo de Minas Gerais. Seu principal objetivo foi compilar, consistir e sistematizar informações das principais províncias, distritos e depósitos minerais do estado de Minas Gerais, destacando importantes recursos minerais metálicos, não metálicos e as águas mineral, termal e de mesa. O resultado final é um compêndio que apresenta as principais áreas de relevante interesse mineral do estado, dados históricos e sua contextualização geológica.

Os dados levantados e consistidos neste projeto são sintetizados neste relatório, e integrados em mapas e bases de dados disponíveis para download no banco de dados corporativo do SGB-CPRM, o GeoSGB (<http://geosgb.cprm.gov.br>), e no Repositório Institucional de Geociências (RIGeo, <http://rigeo.cprm.gov.br/>).

Com mais este lançamento, o Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM) dá continuidade à política governamental de atualizar o conhecimento geológico do país, através dos levantamentos geológicos básicos, geoquímicos e geofísicos, e da avaliação integrada das informações, fundamental para o desenvolvimento regional e importante subsídio à formulação de políticas públicas e de apoio à tomada de decisão de investimentos.

Cassiano de Souza Alves
Diretor-Presidente interino

Paulo Afonso Romano
Diretor de Geologia e Recursos Minerais interino

RESUMO

O Informe de Recursos Minerais do Estado de Minas Gerais faz parte da ação “Levantamentos Geológicos e Integração Geológica Regional”, do Ministério de Minas e Energia, vinculado ao Programa Geologia, Mineração e Transformação Mineral. A relevância da mineração para o estado de Minas Gerais, consolidada em seu próprio nome, remete às primeiras bandeiras do século XVII que fortaleceu-se no século XVIII com a primeira corrida do ouro do Brasil. Desde então, Minas Gerais tornou-se o principal estado minerador do país, posição perdida em 2019 para o estado do Pará. Em 2021, o estado arrecadou R\$ 4.6 bilhões em Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM), o que corresponde a 44,7% do montante nacional. A mineração de minério de ferro corresponde a cerca de 94% desse montante, com destaque para a região do Quadrilátero Ferrífero. O ouro corresponde ao segundo recurso em importância financeira, aproximadamente 3% do CFEM.

O estado destaca-se, também, por seu vasto potencial geoeconômico, que é manifesto por uma ampla variedade de depósitos de relevância nacional e mundial e que incluem elementos estratégicos (*e.g.* nióbio, ferro, lítio, grafita, níquel, alumínio, zinco, chumbo), agrominerais (*e.g.* fosfato, potássio), províncias minerais de gemas e pedras coradas, rochas e minerais industriais e rochas ornamentais.

Para confecção desse relatório, foi realizada uma extensiva pesquisa bibliográfica e cartográfica, incluindo a consulta de dez mil registros de recursos minerais constantes do banco de dados de recursos minerais do Serviço Geológico do Brasil, nos sites do GeoSGB ou RiGeo (<http://geosgb.cprm.gov.br> e <http://rigeo.cprm.gov.br>), artigos e teses acadêmicas, relatórios de projetos, incluindo os do Programa de Pesquisa Própria do SGB-CPRM. Os dados compilados foram consistidos em termos de duplicidade de registro, toponímia e localização.

Com base nesse vasto acervo de dados e pautados por sua experiência acerca dos recursos minerais do estado de Minas Gerais, os autores apresentam um breve panorama da geologia econômica mineira, além de um relato histórico, muitas vezes inédito, sobre algumas ocorrências e depósitos minerais. Esse texto abrange os depósitos metálicos e não metálicos, que incluem materiais para construção civil, minerais industriais, agrominerais, gemas, água mineral, de mesa e termal e um panorama atualizado sobre o setor de rochas ornamentais. Os textos foram organizados pelas principais províncias, distritos ou grupos de ocorrências existentes no estado e contemplam características geológicas e de recursos e reservas de seus principais depósitos.

O resultado final abrange descrição de oito províncias principais, mais de 50 distritos e centenas de depósitos e ocorrências minerais no estado de Minas Gerais. Este Informe Mineral torna-se, assim, uma importante referência histórica acerca da atividade mineira de um dos principais estados mineradores do Brasil e fonte indispensável de consulta, tanto para profissionais ou empresas do setor mineral quanto para interessados sobre o tema.

ABSTRACT

The Minas Gerais State Mineral Resources Report is part of the action “Geological Surveys and Regional Geological Integration”, of the Ministry of Mines and Energy, linked to the Geology, Mining and Mineral Transformation Program. The relevance of mining for the state of Minas Gerais, consolidated in its own name, refers to the first flags of the 17th century and is reinforced in the 18th century with the first gold rush in Brazil. Since then, Minas Gerais has become the main mining state in the country, a position lost in 2019 to the state of Pará. In 2021, the state collected R\$ 4.6 billion reais in Financial Compensation for the Exploration of Mineral Resources (CFEM), which corresponds to 44.7% of the national amount. Iron ore mining corresponds to about 94% of this amount, especially in the Quadrilátero Ferrífero region. Gold corresponds to the second resource in financial importance, approximately 3% of CFEM.

The state also stands out for its vast geoeconomic potential, which is manifested by a wide variety of deposits of national and global relevance and which include strategic elements (e.g. niobium, iron, lithium, graphite, nickel, aluminum, zinc, lead), agrominerals (e.g. phosphate, potassium), mineral provinces of gemstones and colored stones, industrial rocks and minerals and ornamental stone sector.

In order to prepare this report, an extensive bibliographic and cartographic research was carried out, including the consulting of ten thousand records of mineral resources contained in the mineral resources database of the Geological Survey of Brazil, on the GeoSGB or RIGeo (<http://geosgb.cprm.gov.br> and <http://rigeo.cprm.gov.br>), academic articles, theses and project reports, including those of the CPRM’s Research Program. The compiled data were checked for duplication, toponymy and location.

Based on this vast collection of data and guided by their experience about the mineral resources of the state of Minas Gerais, the authors present a brief overview of the economic geology of Minas Gerais, in addition to a historical report, often unprecedented, about some occurrences and mineral deposits. This text covers metallic and non-metallic deposits, which include materials for civil construction, industrial minerals, agrominerals, gemstones, mineral, potable and thermal water and an updated overview of the ornamental stone sector. They are organized by the main provinces, districts or groups of occurrences existing in the state and contemplate geological and resource characteristics and reserves of its main deposits.

The final result covers the description of 08 main provinces, more than 50 districts and hundreds of mineral deposits and occurrences in the state of Minas Gerais. This Mineral Report becomes an important historical reference about the mining activity of one of the main mining states in Brazil and an indispensable source of information, for professionals, companies in the mineral sector and for those interested in the subject.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. O MAPA DE RECURSOS MINERAIS	12
1.1.1. Agrupamento dos Recursos Minerais.....	13
2. PROVÍNCIA MINERAL DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO (Au, Fe-Mn E ASSOCIADOS)	16
2.1. FERRO	17
2.1.1. Tipos de minérios de ferro no Quadrilátero Ferrífero	19
2.2. FERRO-MANGANÊS	19
2.2.1. Ferro-manganês no Grupo Itabira.....	21
2.2.2. Ferro-Manganês nos grupos Piracicaba e Itacolomi	22
2.3. OURO	22
2.3.1. Histórico	23
2.3.2. Controle e tipologia dos depósitos.....	24
2.4. OUTRAS OCORRÊNCIAS.....	40
2.5. OCORRÊNCIAS DE Sb, Hg, W, Zn, Pb, Cu E OUTROS ELEMENTOS METÁLICOS, ASSOCIADOS OU NÃO A OURO	40
2.5.1. Jazida Bico de Pedra - <i>Au-Cu-Pb-Zn±(Sb-Bi)</i>	42
2.5.2. Morro do Bule ou Morro do Gabriel - <i>Cu-Pb-Zn-Sb</i>	43
2.5.3. Dom Bosco - <i>Hg-Sb</i>	44
2.5.4. Três Cruzes (Tripuí) – <i>Hg-Sb</i>	45
2.5.5. Distribuição do Sb no Quadrilátero Ferrífero.....	47
3. OUTRAS PROVÍNCIAS E DISTRITOS DE Fe, Mn E Au EM MINAS GERAIS	50
3.1. FERRO	50
3.1.1. Distrito Ferrífero de Conceição do Mato Dentro.....	51
3.1.2. Distrito Ferrífero do Norte de Minas Gerais	54
3.2. MANGANÊS.....	57
3.2.1. Distrito Manganésífero de Conselheiro Lafaiete.....	57
3.2.2. Distrito Manganésífero de São João del-Rei	61
3.2.3. Distrito Manganésífero de Ouro Fino - Careçu – Itapira	62
3.2.4. Distrito Manganésífero da Serra do Espinhaço Meridional	64
3.2.5. Outras Ocorrências de Manganês em Minas Gerais	65
3.3. OURO	67
3.3.1. Au em sequências vulcano-sedimentares tipo <i>greenstone belts</i> ou similares, do Arqueano ou Paleoproterozoico	67
3.3.2. Au em sedimentos clásticos (meso a neoproterozoicos) e em veios e quartzo associados	75
3.3.3. Outras ocorrências de ouro em MG.....	78
4. PROVÍNCIAS E DEPÓSITOS DE Zn, Pb E ASSOCIADOS	81
4.1. PROVÍNCIA PLUMBO-ZINCÍFERA DE VAZANTE-PARACATU	81
4.1.1. Distrito de Paracatu-Unai	81
4.1.2. Distrito Zincífero de Vazante	81
4.2. DEPÓSITOS E OCORRÊNCIAS DE Zn E Pb NO GRUPO BAMBUÍ.....	83
4.3. DEPÓSITO SALOBRO	84
4.4. OUTRAS OCORRÊNCIAS DE Zn, Pb E ASSOCIADOS	84

5. DISTRITOS, DEPÓSITOS E OCORRÊNCIAS DE ASSOCIAÇÕES POLIMETÁLICAS (Fe-Cu-Zn-Ag-Au-W E Cr-Ni-Co-Pt) FORA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO	87
5.1. OCORRÊNCIAS E DEPÓSITOS POLIMETÁLICOS EM SEQUÊNCIAS VULCANO-SEDIMENTARES.....	87
5.1.1. Região de São João del-Rei-Itutinga-Nazareno-Lagoa Dourada-Lavras.	87
5.1.2. Região de Conselheiro Lafaiete	89
5.2. DEPÓSITOS POLIMETÁLICOS (Cr-Ni-Co-Cu±Pt±Au) EM COMPLEXOS MÁFICO-ULTRAMÁFICOS ACAMADADOS.....	89
5.2.1. Distrito Serro–Alvorada de Minas	89
5.2.2. Cr e Ni nas regiões de Fortaleza de Minas-Piumhi-Bom Sucesso-Nova Rezende-Carmópolis de Minas.....	92
5.2.3. Liberdade (Sul de Minas)	94
5.2.4. Ocorrências de EGP na região de Abaeté (Ultramáficas do Mesozoico).....	94
6. COMPLEXOS ALCALINOS (Nb, ETR, P, Ti, Mo, U-Th-Zr).....	98
6.1. PROVÍNCIA ALCALINA DO ALTO PARANAÍBA	98
6.1.1. Complexo Alcalino-Carbonatítico do Barreiro (Araxá)	98
6.1.2. Complexo Alcalino-Carbonatítico de Tapira.....	98
6.1.3. Complexo Alcalino–Carbonatítico de Serra Negra e Salitre.....	98
6.1.4. Grupo Mata da Corda	100
6.1.5. Recursos Minerais nos Complexos Alcalinos do Alto Paranaíba	100
6.2. COMPLEXO ALCALINO DE POÇOS DE CALDAS – MORRO DO FERRO	103
7. DISTRITOS, DEPÓSITOS E OCORRÊNCIAS DE FOSFATO, POTÁSSIO E CALCÁRIO SEDIMENTARES E OUTRAS ROCHAS COMO FONTES ALTERNATIVAS DE NUTRIENTES AGRÍCOLAS	106
7.1. DISTRITO FOSFÁTICO DE LAGAMAR-COROMANDEL.....	106
7.2. OUTRAS OCORRÊNCIAS DE ROCHA FOSFÁTICA SEDIMENTAR.....	109
7.2.1. Ocorrências de rocha fosfática sedimentar na região de Caxambu	109
7.2.2. Ocorrências de rocha fosfática sedimentar na Serra do Espinhaço	109
7.3. POTÁSSIO E FOSFATO SEDIMENTARES NA SERRA DA SAUDADE, REGIÃO DE CEDRO DO ABAETÉ E ARREDORES	110
8. PROVÍNCIAS E DISTRITOS DE MINERAIS INDUSTRIAIS	114
8.1. GRAFITA.....	114
8.1.1. Província Grafítica do Nordeste de Minas Gerais.....	114
8.1.2. Depósito de Grafita de Itapeçerica	116
8.1.3. Outras ocorrências de grafita.....	116
8.2. DISTRITOS E DEPÓSITOS DE LÍTIO, ESTANHO E ASSOCIADOS (Ta-Nb-La-Y-Ce-Zr).....	116
8.2.1. Distrito Litínifero de Araçuaí–Itinga (Orógeno Araçuaí)	118
8.2.2. Distrito Pegmatítico de Conselheiro Pena–Divino das Laranjeiras.	120
8.2.3. Província Lítio-Tântalo-Estanífera São João del-Rei/Rio das Mortes (Cinturão Mineiro)	120
8.2.3.1. Distrito Pegmatítico de São João del-Rei	120
8.2.3.2. Distrito Pegmatítico de Volta Grande	122
8.2.3.3. Distrito pegmatítico de Conselheiro Lafaiete-Cristiano Ottoni (Sn-Nb-Ta).....	123
8.3. DISTRITOS BAUXÍTICOS (ALUMÍNIO).....	123
8.3.1. Distrito Bauxítico da Zona da Mata	123
8.3.2. Distrito Bauxítico de Poços de Caldas	124
8.3.3. Distrito Bauxítico do Quadrilátero Ferrífero	126
8.4. DISTRITOS E DEPÓSITOS DE AGALMATOLITO (PIROFILITA)	126
8.5. DEPÓSITOS DE QUARTZO	128
8.5.1. Depósitos de quartzo no sul de Minas	129

8.5.2. Depósitos de quartzo na Serra do Cabral e arredores	130
8.5.3. Outras ocorrências de quartzo.....	130
8.6. OUTROS MINERAIS INDUSTRIAIS	131
9. PROVÍNCIAS E DISTRITOS DE MATERIAL PARA CONSTRUÇÃO CIVIL	135
9.1. ROCHAS CARBONÁTICAS (CALCÁRIO E DOLOMITO)	135
9.1.1. Província Carbonática da Bacia do São Francisco.....	137
9.1.1.1. Distrito Carbonático de Arcos–Pains.....	137
9.1.1.2. Distrito Carbonático de Sete Lagoas - Pedro Leopoldo - Lagoa Santa	138
9.1.1.3. Distrito Carbonático de Montes Claros	139
9.1.1.4. Distrito Carbonático de Unaí.....	139
9.1.1.5. Distrito Carbonático da Faixa Vazante-Paracatu	140
9.1.1.6. Outros depósitos carbonáticos na Bacia do São Francisco	140
9.1.2. Província Carbonática do Cinturão Mineiro	140
9.1.2.1. Distrito Carbonático de Carandaí-Barroso-São João del-Rei	141
9.1.2.2. Outros depósitos Carbonáticos do Cinturão Mineiro	141
9.1.3. Distritos Carbonáticos da Faixa Araçuaí	142
9.2. ARGILAS.....	142
9.2.1. Argilas comum, plástica e refratária.....	142
9.2.2. Argila bentonítica	143
9.2.3. Caulim.....	143
9.3. AGREGADOS.....	146
9.3.1. Brita	147
9.3.2. Areia	148
10. PROVÍNCIAS E DISTRITOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS	152
10.1. PANORAMA DAS ROCHAS ORNAMENTAIS NO ESTADO DE MINAS GERAIS.....	152
10.1.1. Evolução da Produção Estadual.....	154
10.1.2. Evolução das Exportações Estaduais.....	154
10.1.3. Distribuição Municipal da Produção e Exportações.....	157
10.1.4. Evolução do Parque Estadual de Beneficiamento.....	157
10.1.5. Desafios Competitivos.....	158
10.1.6. A Dinâmica de Transformação Setorial no Brasil.....	163
10.1.7. A Formulação da Central de Valadares	164
10.1.8. Considerações Finais	164
10.2. DISTRITOS GRANÍTICOS PARA FINS ORNAMENTAL E DE REVESTIMENTO	165
10.2.1. Distrito Granítico Medina	166
10.2.2. Distrito Granítico Rio Doce-Mucuri	167
10.2.3. Distrito Granítico Guanhães	167
10.2.4. Distrito Granítico Oliveira-Candeias.....	167
10.2.5. Distrito Granítico Caldas.....	167
10.3. DISTRITOS ARDOSIANOS (E PEDRA LAGOA SANTA).....	167
10.3.1. Distrito Ardosiano Papagaios–Felixlândia	167
10.3.2. Distrito de Pedra Lagoa Santa	169
10.4. DISTRITOS QUARTZÍTICOS (E METACONGLOMERADO)	169
10.4.1. Centro Produtor São Tomé das Letras.....	169
10.4.2. Centro Produtor Alpinópolis.....	170
10.4.3. Centro Produtor Diamantina	170
10.4.4. Centro Produtor Ouro Preto	171
10.4.5. Metaconglomerado de Taiobeiras	171
10.5. SERPENTINITO, ESTEATITO, TALCO OU SIMILARES (PEDRA-SABÃO).....	171
10.6. MÁRMORE E AFINS	173

11. PROVÍNCIAS E DISTRITOS GEMOLÓGICOS (PEDRAS CORADAS)	177
11.1. PROVÍNCIA GEMOLÓGICA ORIENTAL DO BRASIL	177
11.1.1. Subprovíncia Gemológica Pegmatítica Oriental do Brasil	177
11.1.2. Subprovíncia Esmeraldífera de Minas Gerais	178
11.1.3. Topázio Imperial	185
12. ÁGUA MINERAL, POTÁVEL DE MESA E TERMAL/BALNEÁRIOS	190
12.1. CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS MINERAIS.....	191
12.2. INDÚSTRIA DA ÁGUA MINERAL	192
12.3. QUÍMICA DAS ÁGUAS MINERAIS.....	194
12.4. ESTÂNCIAS HIDROMINERAIS, TERMAIS E BALNEÁRIOS	196
12.4.1. Circuito das Águas	196
12.4.2. Circuito da Serra do Espinhaço.....	200
REFERÊNCIAS.....	202

INTRODUÇÃO



Ouro Podre: o começo das “Minas”
 (“Porpezita” ou Ouro Paladiado)

2,4 x 0,6 x 0,2 cm

Mina do Cauê, Itabira, MG

Foto: Andrea Ferreira

Amostra pertencente ao acervo do
MM Gerdau - Museu das Minas e do Metal

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país com grande tradição na mineração, principalmente de minerais metálicos. Dentro desse contexto, Minas Gerais (40,7%) e o estado do Pará (48,7%) totalizaram quase 90% da arrecadação anual referente ao CFEM (Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais) em 2019 (Figura 1.1), porcentagem que representa um montante superior a quatro bilhões de reais. Outros estados com arrecadação superior a 1% são: Goiás, Bahia, São Paulo e Mato Grosso. Os demais estados somam 4,6% do total.

Minas Gerais liderou por muitos anos o ranque da CFEM, sendo ultrapassado pelo estado do Pará apenas em 2019, pela redução da produção de minério de ferro em consequência do rompimento da represa de rejeito da Vale em Brumadinho e, anteriormente, em Mariana.

Dentre os 15 principais municípios produtores, que geraram mais de 78% da receita de CFEM, 13 estão em Minas Gerais. O primeiro colocado é o município de Parauapebas (PA), correspondendo a 22,9%, seguido por Canaã dos Carajás; os municípios de Minas Gerais ocupam todas as outras posições entre o 3º e 15º lugar.

A arrecadação da CFEM no estado de Minas Gerais ultrapassou 1,8 bilhão de reais em 2019, sendo o ferro, com ampla vantagem, a principal substância, totalizando quase 90% da CFEM arrecadada no estado (Tabela 1.1 e Tabela 1.2), representando aproximadamente 1,65 bilhão de reais. A maior parte do ferro produzido provém da Província do Quadrilátero Ferrífero, localizada no centro do estado.

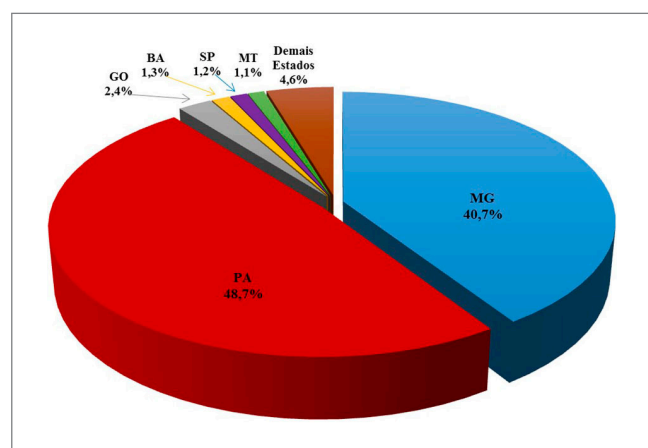


Figura 1.1 - Arrecadação estadual da CFEM em 2019.
Fonte: ANM (2021).

O ouro é a segunda substância mais importante no estado em relação à arrecadação da CFEM, com 4,8%, totalizando mais de 87 milhões de reais (Tabela 1.1 e Tabela 1.2), concentradas também na Província Mineral do Quadrilátero Ferrífero.

As demais substâncias, com relevantes contribuições (ou próximo a 1%) são: fosfato, calcário e nióbio (Tabela 1.1), que estão distribuídas em diversas províncias e distritos minerais ao longo do estado de Minas Gerais.

Ao avaliar a porcentagem da contribuição (CFEM) por finalidade de bens minerais, observa-se que o agrupamento dos recursos minerais para construção civil (calcário, brita, areia, argila e rocha ornamental) apresenta um considerável valor de 32 milhões de reais, correspondendo a 1,7% da CFEM/2019 no estado (Tabela 1.2). Também, destaca-se o grupo de recursos minerais com finalidade para rochas industriais (principalmente grafita, lítio, alumínio, agalmatolito/refratários e quartzo), que atingiram 14 milhões de reais de recolhimento da CFEM/2019. Outros grupos e/ou substâncias que superaram um milhão de reais de recolhimento do CFEM no estado são: a associação zinco-chumbo, manganês e as gemas, incluindo o diamante e a água mineral (Tabela 1.2).

Tabela 1.1 - Principais substâncias em relação ao recolhimento da CFEM/2019 para o estado de Minas Gerais. Fonte: ANM (2021).

SUBSTÂNCIA	RECOLHIMENTO (R\$)	RECOLHIMENTO (%)
Ferro	1.652.507.484	90,1%
Ouro	87.655.786	4,8%
Fosfato	19.187.481	1,0%
Calcário	17.329.140	0,9%
Nióbio	11.820.233	0,6%
Zinco	9.875.330	0,5%
Gnaiss/Granito	7.982.010	0,4%
Grafita	4.951.609	0,3%
Alumínio	2.971.037	0,2%
Areia	1.950.494	0,1%
Manganês	1.902.555	0,1%
Argila	1.627.821	0,1%
Lítio	1.418.993	0,1%
Chumbo	1.130.522	0,1%
Outras Substâncias	12.132.326,50	0,7%
Total	1.834.442.821,24	

Tabela 1.2 - *Ranking* do recolhimento do CFEM/2019 para o estado de Minas Gerais por agrupamentos de substâncias.
Fonte: ANM (2021)

GRUPO DE SUBSTÂNCIA	RECOLHIMENTO (R\$)	RECOLHIMENTO (%)
Ferro	1.652.507.484	90,1%
Ouro	87.655.786	4,8%
Insumos Construção Civil e Ornamental	32.011.943	1,7%
Fosfato	19.187.481	1,0%
Rochas Industriais	14.172.523	0,8%
Zinco/Chumbo	11.005.851	0,6%
Nióbio	11.820.233	0,6%
Manganês	1.902.555	0,1%
Gemas/Diamante	1.189.442	0,1%
Água Mineral	1.799.041	0,1%
Outras Substâncias	1.190.482,48	0,1%

1.1. O MAPA DE RECURSOS MINERAIS

Os primeiros trabalhos sistemáticos de cunho regional que focaram os recursos minerais do estado foram realizados em escala 1:250.000, no início da década de 1980, no Programa Mapas Metalogenéticos – Previsão, mediante convênio DNPM/CPRM.

O DNPM (1985) publicou a série *Principais Depósitos Minerais do Brasil* (3 vol.) onde encontram-se descrições de importantes depósitos minerais de Minas Gerais.

Sínteses de recursos minerais de Minas Gerais, distribuídos no tempo geológico, províncias geotectônicas e épocas metalogenéticas, são encontradas em Dardenne e Schobbenhaus (2003).

Os recursos minerais do Cráton do São Francisco e faixas marginais foram sintetizados por Lobato e Pedrosa-Soares (1993).

Os recursos minerais da região leste do estado, no domínio da Faixa Araçuá, foram apresentados no Projeto Leste de Minas Gerais (PINTO *et al.*, 2001a; NETTO *et al.*, 2000; COMIG, 2001) executado mediante convênio entre o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e a Comig (atual Codemge – Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais).

A Bacia do São Francisco e a Bacia Sanfranciscana (em parte) tiveram seus recursos minerais cadastrados no Projeto São Francisco (convênio CPRM-Codemig 2001; PINTO *et al.*, 2001b) e pelo Mapeamento Geológico 1:100.000 do Projeto Vazante-Paracatu (PINHO *et al.*, 2017).

Em 2018, a Codemge disponibilizou uma obra *sobre as riquezas minerais, história geológica e meio ambiente e mineração de Minas Gerais*, coordenada por professores da Universidade Federal de Minas Gerais.

Para a preparação do **Mapa de Recursos Minerais do Estado de Minas Gerais** (PINTO; SILVA, 2014b) (Figura 1.2) foram consultados cerca de dez mil registros, incluindo ocorrências, depósitos, garimpos e minas constantes do banco de dados de recursos minerais do Serviço Geológico do Brasil, nos sites do GeoSGB ou RIGEO (<http://geosgb.cprm.gov.br> e <http://rigeo.cprm.gov.br>).

Outras fontes de consultas foram artigos técnicos divulgados em revistas especializadas, anais de simpósios e congressos, além de dissertações e teses acadêmicas, relatórios de projetos (inéditos ou não), alguns do pretérito Programa de Pesquisa Própria da CPRM. Além desses, e de maneira relevante, foram incorporados os conhecimentos do corpo técnico do Serviço Geológico do Brasil acumulados em décadas de trabalhos pelo território mineiro e em outras regiões do Brasil e do exterior. Assim como, dados de projetos ainda não implantados no GeoSGB também foram verificados.

Outros registros de bens minerais foram extraídos de mapas em escalas entre 1:50.000 a 1:250.000, elaborados pelo SGB-CPRM em projetos próprios ou em parceria com a ANM (antigo DNPM), Codemge (antiga Codemig) e universidades.

Entretanto, no momento da compilação e confecção do Mapa de Recursos Minerais de Minas Gerais (até 2014), ainda, existiam algumas áreas que não estavam com a cartografia na escala 1:100.000 publicada, como: o Triângulo Mineiro, o Alto Paranaíba e o Norte de Minas. Dessa forma, os dados provenientes dessas folhas não foram compilados.

Para elaboração do mapa também foram consultados: o Sigmene (ANM, antigo DNPM (<http://www.anm.gov.br/>), o Sighidro, as publicações “Áreas de Relevante Interesse Mineral (ARIM)” do Projeto Ordenamento Territorial Geomineiro (OTGM) da Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (SGM/MME) e o Programa Geologia do Brasil – Recursos Minerais, do Serviço Geológico do Brasil.

Em relação aos dados históricos utilizados (antes de 2000), constatou-se um problema adicional em relação à origem/posicionamento dos dados, pois muitos foram obtidos em épocas em que inexistiam bases cartográficas adequadas e anteriores ao advento do GPS. Muitos dados foram replicados em mapas diversos, provocando desvios locais significativos. Em grande parte dos registros, faltam dados básicos, como nome da mina ou depósito, rochas encaixantes e hospedeiras, tipo de mineralização e assim por diante.

Durante a compilação dos dados observou-se que um mesmo alvo estava cadastrado diversas vezes, em épocas distintas, com informações conflitantes, ou que várias frentes de lavras, cadastradas de maneira independente, foram

ampliadas e unidas, hoje constituindo uma única lavra. Em certos locais, principalmente em se tratando de garimpos de ouro ou gemas, esses alvos são muito próximos uns dos outros, impossibilitando a representação nesta escala de 1:1.000.000.

Assim, optou-se por não representar minas ou garimpos que se situavam a menos de cinco quilômetros entre si, a não ser que se tratasse de minas ou garimpos importantes.

Sobre os dados de recursos minerais compilados, foi realizada uma consistência locacional, utilizando as principais imagens disponíveis (como as do *Google Earth*). Os registros dos recursos minerais foram locacionalmente ajustados às feições geográficas e, onde necessário, receberam novas coordenadas geográficas.

Além disso, frequentemente as grandes minas, como as de ferro do Quadrilátero Ferrífero, tinham diversos registros no GeoSGB, geralmente consequência de tempos distintos de cadastros e da existência de diversas frentes de lavra no passado. Com o desenvolvimento da lavra e a coalescência de várias frentes, houve necessidade de realocação dos pontos de cadastros originais para o local principal atual da lavra. Com isso, vários alvos podem transformar-se em apenas um. No caso dos alvos em depósitos superficiais secundários (ex.: aluvião), alguns pareciam corresponder a ocorrências resultantes de observações em concentrados de bateia ou de anomalias geoquímicas em sedimentos de correntes (ex.: ouro aluvial).

Nessa consistência, foram definidos três grupos: 1) registros onde seguramente existiram ou existem atividades extrativas; 2) registros onde duvidosamente existiram ou existem atividades extrativas; 3) registros onde não se identificam evidências de atividades extrativas. Para a construção do mapa de recursos minerais, foram considerados o grupo 1 e, parcialmente, o grupo 2.

Após essa triagem (consistência), foram selecionados cerca de 2.500 registros para representação, os demais podem ser consultados nas fontes primárias. Não constam desses números os registros de fontes de água mineral (cerca de 300) e kimberlitos (cerca de 660).

Como base para o lançamento desses recursos minerais, adotou-se o mapa de entidades tectônicas (Figura 1.2), construído a partir da integração das unidades estratigráficas e litodêmicas do Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, em escala 1:1.000.000 do projeto. Como base de referência para as entidades tectônicas, adotou-se o Mapa Tectono-Geológico do Brasil na escala 1:7.000.000 (DELGADO; PEDREIRA, 1995); a classificação em ambientes geotectônicos, níveis crustais e tempo geológico; e a classificação de bacias sedimentares (MARTINS-NETO, 2006). O mapa de entidades

tectônicas teve o intuito de se dar uma primeira conotação de ambientes geotectônicos metalogenéticos ao mapa de recursos minerais.

Apesar do ferro e do ouro serem os recursos minerais de maior importância em Minas Gerais, em relação à produção e, conseqüentemente, nos dados da CFEM apresentados, o estado de Minas Gerais tem diversos outros recursos minerais muito importantes, como nióbio, zinco, níquel, alumínio, calcário, grafita, rochas fosfáticas, rochas ornamentais, gemas e etc (PINTO; SILVA, 2014b).

Assim, foi realizado um agrupamento dos bens minerais na classe utilitária seguindo, de certa forma, as orientações do Plano Nacional de Mineração - (PNM) 2030, do Ministério de Minas e Energia, e a classificação adotada no GeoSGB.

Adotou-se, como definição de província mineral, uma região da crosta terrestre com mais de 10 mil quilômetros quadrados que contém jazimentos minerais, podendo ser dividida em subprovíncias. O conceito é de distribuição geográfica-territorial.

Como **distrito mineral**, considerou-se a parte de uma província ou subprovíncia mineral, onde ocorrem agrupamentos de depósitos minerais afins, distribuídos em uma região da ordem de 100 a 1.000 quilômetros quadrados e inseridos em terreno de geologia similar.

Campo mineral foi tratado como parte de um distrito mineral, também com características geológicas similares.

Corpo mineral ou de minério foi usado de modo similar a depósito mineral e representa uma concentração local de um determinado bem, substância ou matéria-prima mineral, vinculado a determinados elementos geológicos, no caso, por exemplo, um pegmatito ou acumulação secundária em depósitos detríticos.

1.1.1. Agrupamento dos Recursos Minerais

O agrupamento dos recursos minerais utilizado no Mapa de Recursos Minerais (PINTO; SILVA, 2014b e Figura 1.2) levou em consideração as substâncias principais, e/ou as principais associações genéticas das substâncias, e/ou os principais grupos de classes utilitárias. Resultaram onze grupos, descritos nos capítulos 2 a 12, listados a seguir.

Para a estruturação do texto, esses agrupamentos foram descritos relacionando-os com as principais províncias, distritos ou grupos de ocorrências existentes no estado de Minas Gerais. Para isso, o texto foi dividido em 11 capítulos, referentes às seguintes províncias/distritos, englobando os principais agrupamentos de recursos minerais:

- Capítulo 2 - Província Mineral do Quadrilátero Ferrífero (Au, Fe-Mn e associados);
- Capítulo 3 - Outras Províncias e Distritos de Au, Fe-Mn em Minas Gerais;

- Capítulo 4 - Províncias e Distritos de Zn, Pb e associados;
- Capítulo 5 - Distritos, Depósitos e Ocorrências de Associações Polimetálicas (Fe-Cu-Zn-Ag-Au-W E Cr-Ni-Co-Pt) Fora do Quadrilátero Ferrífero;
- Capítulo 6 - Complexos Alcalinos (Nb, ETR, P, Ti, Mo, U-Th-Zr);
- Capítulo 7 - Distritos, Depósitos e Ocorrências de Fosfato, Potássio e Calcário Sedimentares e Outras Rochas como Fontes Alternativas de Nutrientes Agrícolas;
- Capítulo 8 - Províncias e Distritos de Minerais Industriais (grafita, lítio, estanho, bauxita, agalmatólito, quartzo e associados);
- Capítulo 9 - Províncias e Distritos de Materiais para Construção Civil;

- Capítulo 10 - Províncias e Distritos de Rochas Ornamentais;
- Capítulo 11 - Províncias e Distritos Gemológicos (pedras coradas);
- Capítulo 12 - Água Mineral, Potável de Mesa e Termal.

Ao longo do texto, utilizou-se a nomenclatura de província, distrito, depósito/mina e ocorrência com um conceito simplificado. Além disso, também são referenciadas as nomenclaturas informais, como Complexo Mineiro, campos ou unidade, que representam o agrupamento de algumas minas/depósitos. Nomes utilizados, geralmente, pelas empresas de mineração/exploração para englobar as minas que fazem parte de seus projetos.

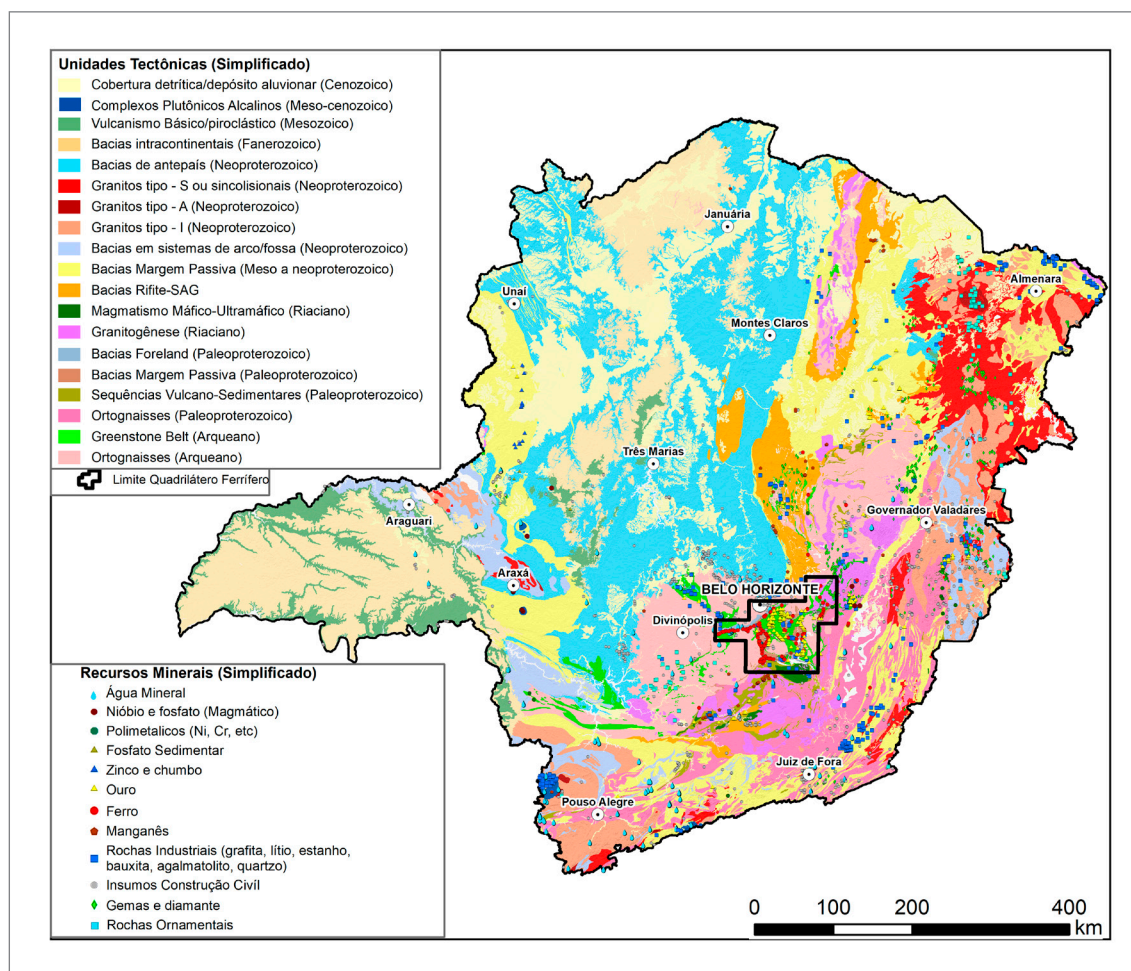
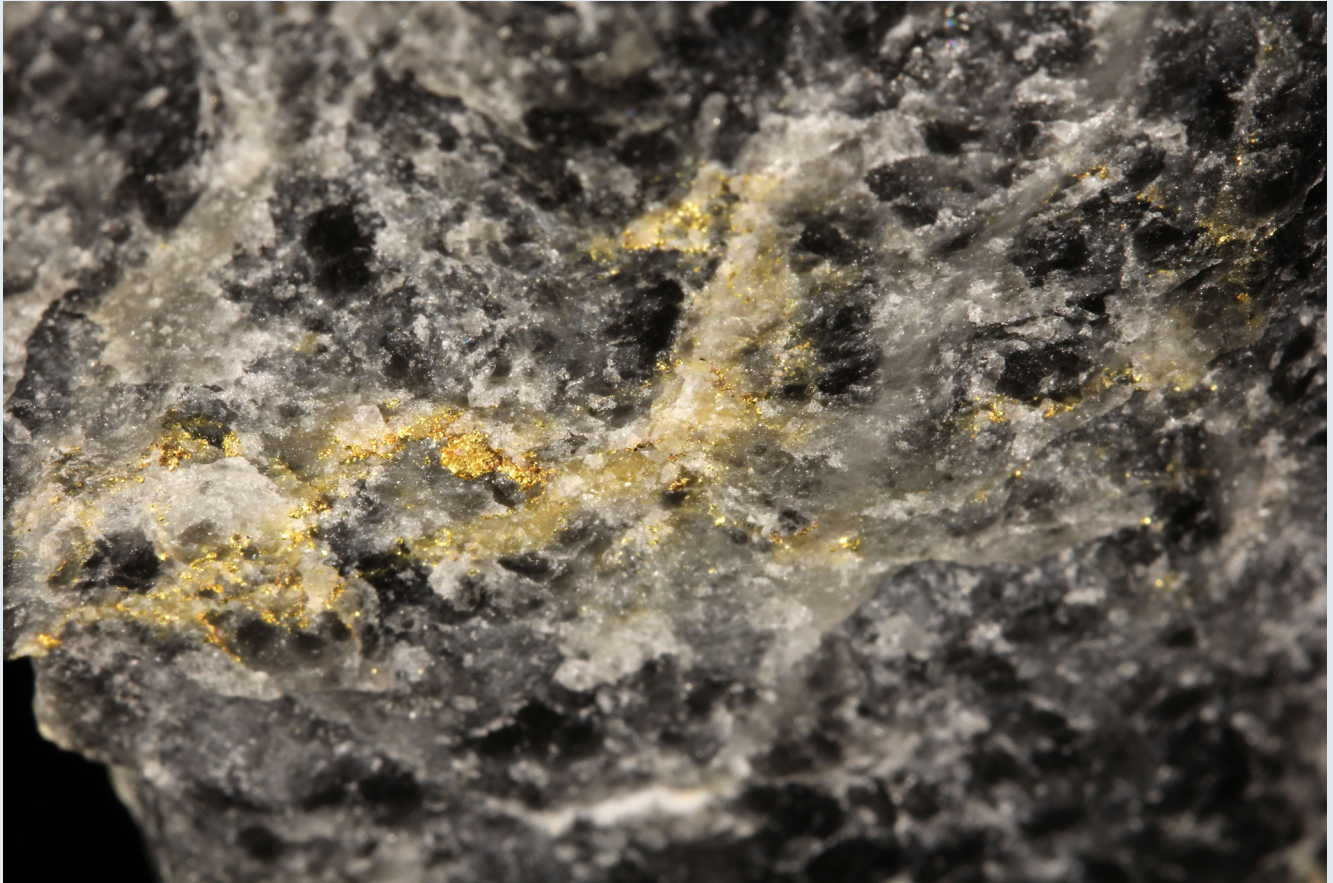


Figura 1.2 - Mapa de Recursos Minerais simplificado, com divisão das entidades tectônicas e principais grupos de recursos minerais. Fonte: Modificado de Pinto e Silva (2014b). Elaboração própria.

PROVÍNCIA MINERAL DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO (Au, Fe-Mn E ASSOCIADOS)



Ouro nativo no Quartzo
7,0 x 7,2 x 2,2 cm
Mina Morro Velho, Nova Lima, MG
Foto: Andrea Ferreira
Amostra pertencente ao acervo do
MM Gerdau - Museu das Minas e do Metal

2. PROVÍNCIA MINERAL DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO (Au, Fe-Mn E ASSOCIADOS)

O Quadrilátero Ferrífero (QF) compreende uma região com cerca de 7.000 km², situada no centro-sul de Minas Gerais, a qual é delineada por uma feição ligeiramente quadrangular definida por cristas sustentadas por formações ferríferas bandadas do Supergrupo Minas, principalmente relacionadas ao Grupo Itabira (Figura 2.1).

Situa-se imediatamente a sul-sudeste de Belo Horizonte, com apêndices para sudoeste, representadas pelas serras de Itatiaiuçu e Jeceaba – Bom Sucesso, e para nordeste pela projeção da Serra do Curral, no sentido de Itabira e João Monlevade. O nome Quadrilátero Ferrífero foi empregado pela primeira vez pelas equipes do *United States Geological Survey* - USGS e do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), que mapearam a região nas décadas de 1950-1960 (DORR, 1969).

Sob o ponto de vista metalogenético, o Quadrilátero Ferrífero é considerado uma das principais províncias

minerais do país, seja por sua importância econômica histórica, seja pela diversidade de bens minerais associados a essa porção crustal.

A região é constituída, predominantemente, por embasamentos mesoarqueanos do tipo TTG (complexos Belo Horizonte, Bonfim, Santa Bárbara, Caeté, Bação e outros), *greenstone belts* (Supergrupo Rio das Velhas) e granitos neoarqueanos, metassedimentos paleoproterozoicos do Supergrupo Minas, além de metassedimentos paleoproterozoicos dos grupos Sabará e Itacolomi (Figura 2.2).

O Supergrupo Rio das Velhas é a principal hospedeira dos depósitos de ouro primário do QF, incluindo dois depósitos de classe mundial, enquanto o Supergrupo Minas detém os depósitos de minério de ferro de classe mundial do tipo Lago Superior, depósitos de ferromanganês e ocorrências de Au-U em conglomerados tipo *Witwatersrand*.

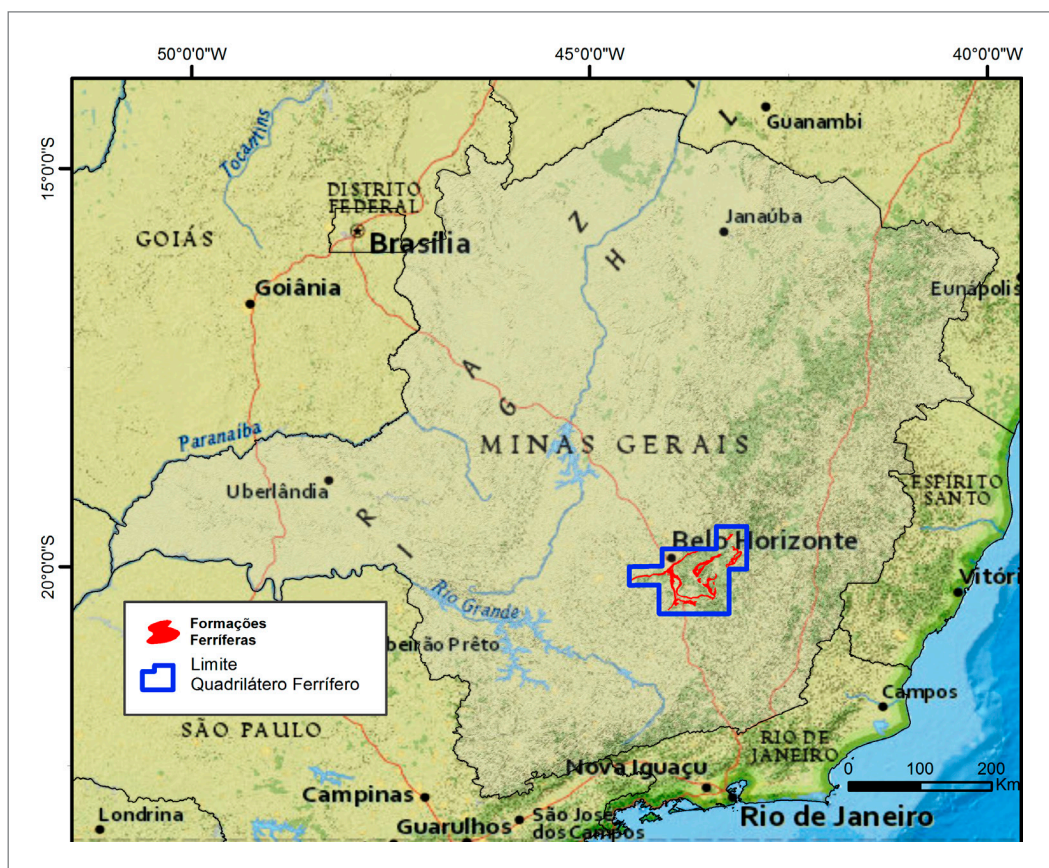


Figura 2.1 - Localização do limite da província do Quadrilátero Ferrífero, com destaque para as formações ferríferas do Grupo Itabira. Fonte: ESRI et al. (2022). Elaboração própria.

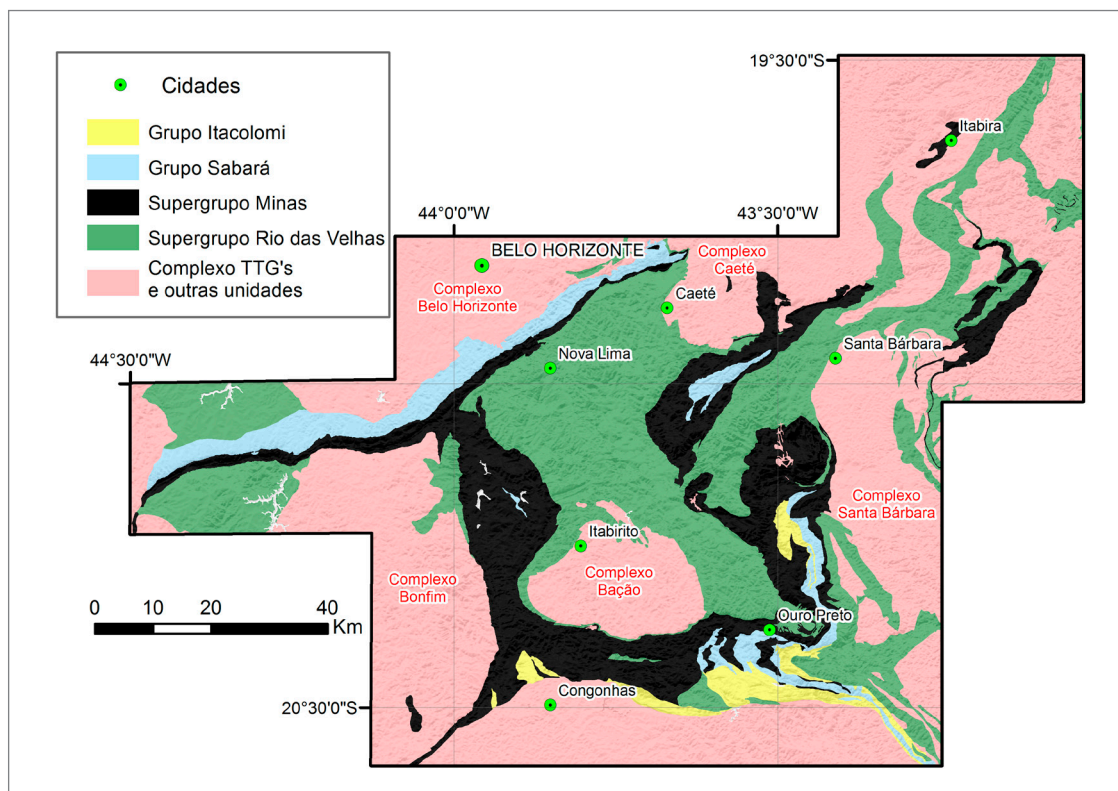


Figura 2.2 - Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero. Fonte: Modificado de Pinto e Silva (2014a). Elaboração própria.

2.1. FERRO

A unidade mais importante do Supergrupo Minas, do ponto de vista econômico, é o Grupo Itabira, mais especificamente a Formação Cauê (formações ferríferas bandadas do tipo Lago Superior); que detém as principais minas de minério de ferro do Quadrilátero (Figura 2.3). Essa formação é composta, principalmente, por itabirito, itabirito dolomítico, dolomito ferruginoso e dolomitos branco a cinza-claro e negro. Tais rochas foram metamorforizadas em condições de fácies xisto-verde a anfibolito.

A percolação de fluidos hidrotermais (metamórficos) e meteóricos, através das formações ferríferas, levou a substituições minerais (p.ex., o surgimento de anfibólio de ferro nos itabiritos), lixiviação de sílica e carbonato e ao enriquecimento supergênico em intensidades variadas. Tais processos deram origem ao surgimento de minérios de ferro de alto teor (62 a 67% de Fe em peso), domínios de hematita compacta hidrotermal e minérios de ferro de teores mais baixos (>30% de Fe em peso), representados por itabiritos friáveis a parcialmente enriquecidos (Figura 2.4).

Informações detalhadas sobre a tipologia dos minérios são apresentadas por diversos autores, dentre eles os trabalhos do USGS - DNPM (1952-1967), sintetizados em Dorr (1964, 1965, 1969), Pires (1995), Rosière *et al.* (2001, 2008), Rosière e Rios (2004), Rosière (2009).

As minas de ferro existentes no Quadrilátero Ferrífero (Figura 2.3) podem ser agrupadas em grandes complexos,

majoritariamente vinculados a Vale S.A., denominados de:

a) **Minas Centrais** (minas Brucutu, Água Limpa e Gongo Soco); b) **Itabira** (minas Cauê e Conceição); c) **Mariana** (minas Fábrica Nova, Alegria, Fazendão e Timbopeba); d) **Pico** (minas Dump Ore, Sapecado, Galinheiro e Pico); e) **Vargem Grande** (minas Tamanduá, Capitão do Mato e Abóbora); f) **Fábrica** (minas João Pereira, Segredo e Bandeira); g) **Paraopeba** (minas Capão Xavier, Jangada, Córrego do Feijão e Mar Azul) (Figura 2.3).

Além desses complexos, alguns agrupamentos de minas de ferro são denominados informalmente de distritos, como:

- **O Distrito Mineiro de Alegria**, situado nos municípios de Mariana e Ouro Preto, compreende um alinhamento de corpos de minério de ferro que reúne as minas Morro da Mina, Alegria (Este, Centro, Sul e Oeste), Conta História, Miguel Congo, Fábrica Nova, todas da ex-Samitri (atualmente Vale). Além dessas, integram o distrito as minas Germano (Samarco), Fazendão (Vale) e Batatal. A principal mina, **Alegria**, dista 160 quilômetros de Belo Horizonte e opera desde 1969. Constitua a maior unidade da Samitri (participação acionária majoritária Vale), com sua estrutura atendendo também as minas de Conta História, Miguel Congo (manganês ferruginoso), Fábrica Nova e Morro da Mina (ferro).
- **O Distrito Mineiro de Morro Agudo** abrange parte dos municípios de Rio Piracicaba e Santa Bárbara,

compreendendo as minas Morro Agudo, Água Limpa e Cururu. A principal mina é Morro Agudo, implantada em 1961, com a produção de minério de ferro rico (hematita) e, a partir de 1987, passou a utilizar itabirito friável, em virtude da diminuição das reservas de minério rico. Dista 140 quilômetros de Belo Horizonte.

• **O Distrito Mineiro Córrego do Meio**, situado no município de Sabará, agrega as minas Córrego do Meio, Segredo e Segredinho. A principal mina, Córrego do Meio, localiza-se a 30 km de Belo Horizonte.

- **A Unidade Serra Azul**, localizada na Serra de Itatiaiuçu ou Serra Azul, pertencente aos municípios de Igarapé, Brumadinho e São Joaquim de Bicas, engloba as minas Ipê e Tico-Tico.

- **A Unidade Bom Sucesso** localiza-se nas serras de Jeceaba e Bom Sucesso, prolongamento SW da Serra da Moeda.

Por fim, também é de grande relevância ressaltar a **Mina Miguel Burnier** (Figura 2.3), localizada em Ouro Preto e que teve as explorações de minério de ferro iniciadas em 2007 (Gerdaul).

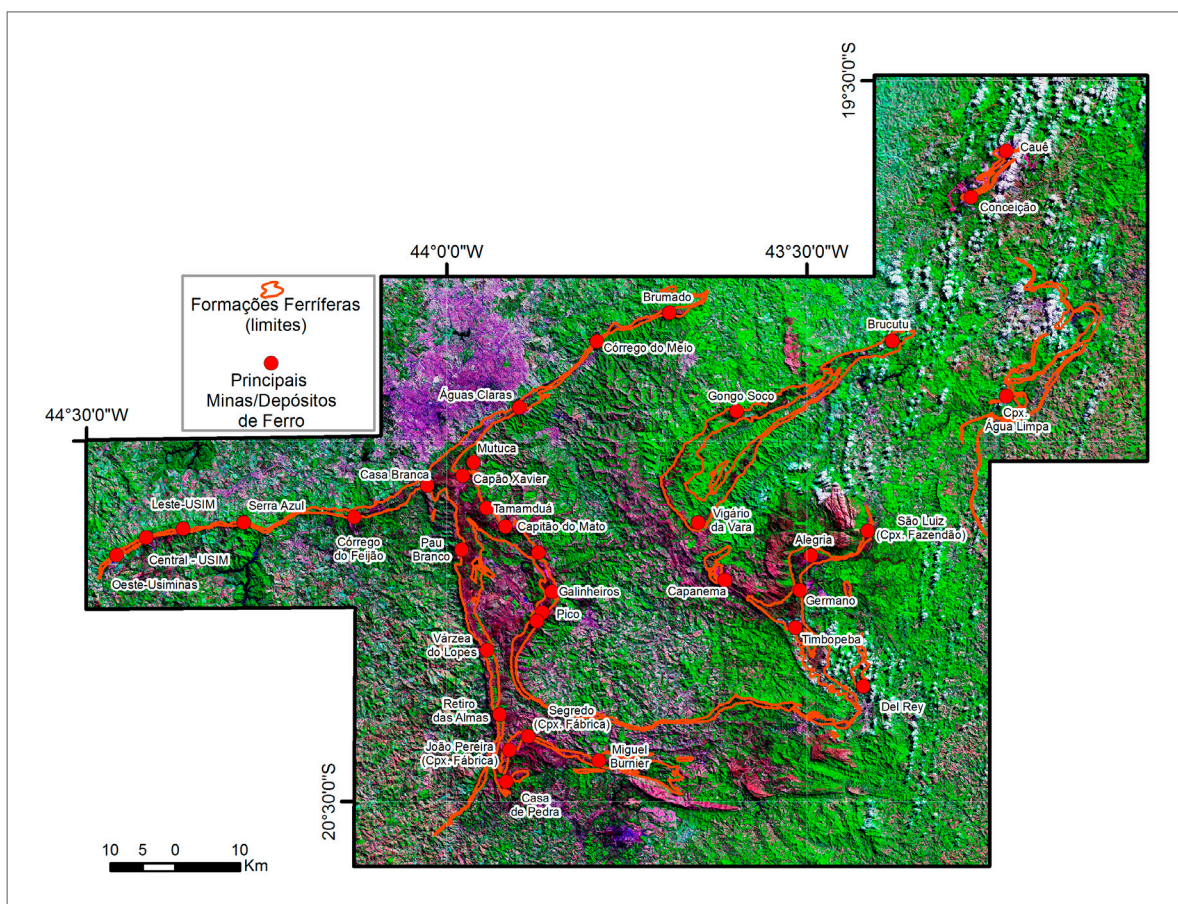


Figura 2.3 - Distribuição das principais minas/depósitos de ferro no Quadrilátero Ferrífero.

Fonte: Modificado de Pinto e Silva (2014b). Elaboração própria.

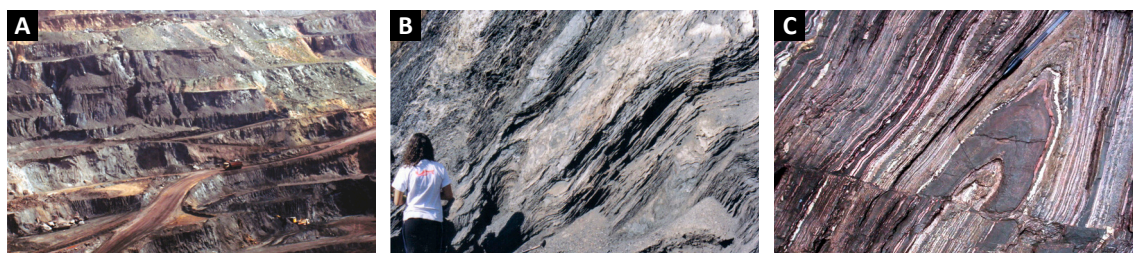


Figura 2.4 - A) Minério de ferro na Formação Cauê, Grupo Itabira, Supergrupo Minas. As manchas claras são de rochas filíticas ou de rochas metavulcânicas ácidas em corpos concordantes com o minério (Mina Tamanduá, foto de Vitor Suckau e Zapparoli em 2002). B) Itabirito silicoso friável da Formação Cauê, Grupo Itabira, Supergrupo Minas, em corte da BR-040, próximo ao viaduto da Mutuca. C) Itabirito silicoso duro da Formação Cauê, Grupo Itabira, Supergrupo Minas na serra da Piedade, município de Caeté. Fotos do acervo do autor.

2.1.1. Tipos de minérios de ferro no Quadrilátero Ferrífero

Rosière (2009) separa os minérios de ferro do QF em itabirito, minérios de alto teor, minérios em zonas de alto *strain* (ou de alta magnitude de deformação) e minérios em flancos de dobras. Os minérios tipo itabirito apresentam características variadas, dependendo da composição mineral original (Fe-sílica, Fe-carbonato), da intensidade do metamorfismo e da ação de agentes supergênicos e deformacionais. Nesse tipo, itabirito silicoso, dolomítico e anfibolítico transformam-se em itabiritos friáveis a parcialmente enriquecidos, por ação supergênica, evoluindo para os minérios ricos.

Os minérios de alto teor (>62% de Fe em peso) são representados por tipos duros (compactos a bandados) e macios, ocorrendo associados. São cinza-azulados, metálicos a foscos, constituídos principalmente de hematita. A oxidação produz material marrom com goethita, limonita e outros hidróxidos de ferro.

Os minérios alojados em zonas de alto *strain* estão condicionados à tectônica, variando de altos a baixos teores. Estão presentes nos depósitos do chamado Complexo Itabira (Vale) e nas minas de Timbopeba, Alegria, Fazendão, Brucutu, Andrade, Morro Agudo, Fábrica Nova e Germano.

(ROSIÈRE, 2009). Segundo o autor, a hematita grossa e a xistosidade do minério rico em especularita são resultantes da deformação e enriquecimento ao longo de zonas de cisalhamento de baixo ângulo (cavalgamentos).

Minérios associados à flancos de megaestruturas dobradas ocorrem na aba oriental da Sinclinal Moeda, representados nas minas: Mutuca, Mar Azul, Capão Xavier, Tamanduá, Capitão do Mato, Gama, Abóboras, Galinheiro, Pico e Sapecado, com minério de alto teor que decresce, no sentido do sul, para minério de baixo teor (ROSIÈRE, 2009).

O minério no Distrito de Alegria é dividido, em função do teor de Fe em peso, nos tipos hematita ($Fe \geq 64\%$), itabirito rico ($60\% < Fe < 64\%$) e itabirito ($Fe \leq 60\%$) (BASÍLIO, 2005).

As reservas totais (reservas e recursos) de minério de ferro no QF, incluindo itabirito friável até minério rico, eram superiores a 40Bt, sendo *ca.* 12Bt de reservas e 30Bt de recursos (VALE, 2007 *apud* ROSIÈRE, 2009).

2.2. FERRO-MANGANÊS

Considera-se o minério tipo ferro-manganês (Fe-Mn) o material com mais de 25% de manganês total e teor de ferro elevado, havendo uma relação inversa entre as concentrações desses dois elementos. A distribuição regional das minas de ferro-manganês no Quadrilátero Ferrífero é mostrada na Figura 2.5.

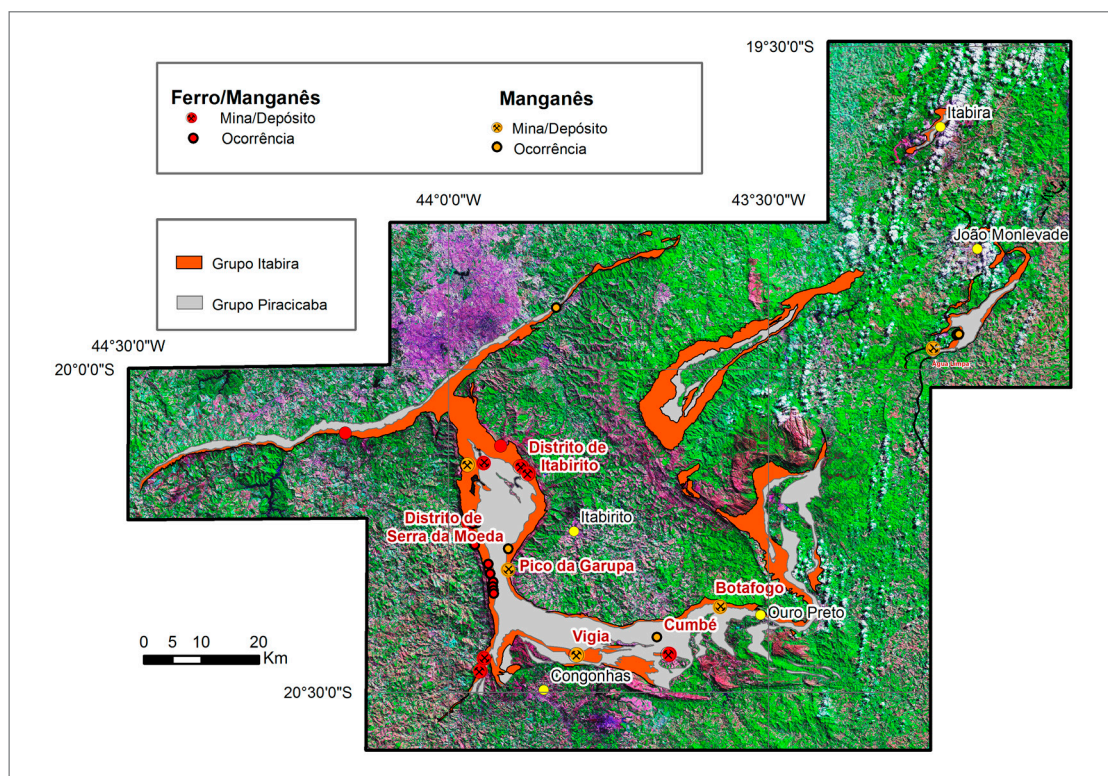


Figura 2.5 - Distribuição das minas de ferro-manganês no Quadrilátero Ferrífero.
Fonte: Modificado de Pinto e Silva (2014b). Elaboração própria.

O minério de ferro-manganês é resultado do enriquecimento supergênico por intemperismo e lixiviação de protominérios, formando concentrações residuais de óxidos de manganês que podem ultrapassar 40% de Mn total. Os protominérios pertencem às unidades do Supergrupo Minas, com maior presença e melhor qualidade no Grupo Itabira (Formações Cauê e Gandarela) e, subordinadamente, nos grupos Piracicaba (Formações Cercadinho e Fecho do Funil).

Os protominérios podem ser divididos em três tipos: mármore manganífero, itabirito manganífero e híbrido ou misto (DORR; COELHO; HOREN, 1956). Os minérios oriundos do enriquecimento de itabirito manganífero são chamados tipo Lagoa Grande e aqueles resultantes de enriquecimento de mármore manganífero são chamados tipo Burnier (DORR; COELHO; HOREN, 1956).

Os corpos de minério são sempre superficiais, raramente atingindo ou ultrapassando 40 metros de profundidade, excepcionalmente chegando a 150 metros, podendo estar cobertos por delgados pacotes de canga. As lavras desenvolvem-se a céu aberto, em arranjo linear ao longo da zona mineralizada. No flanco oriental da Serra da Moeda, são visíveis diversas cicatrizes alinhadas e sequenciadas que denunciam as frentes de lavra, quase todas abandonadas (Figura 2.6).

No QF são conhecidas mais de uma centena de minas, depósitos e ocorrências de minérios de ferro-manganês. Apenas os depósitos de grande porte foram mais bem estudados, e muitos esgotaram-se ainda na fase de pesquisa. Os trabalhos de prospecção visavam minérios com teores acima de 40% de Mn e, preferencialmente, próximos a 50% de Mn total, com vistas à exportação.

São inumeráveis as cavas (*pits*) de pesquisa e lavras rudimentares, com evidências de produção de dezenas

a poucas centenas de toneladas de minério, com seleção manual do material mais rico. A maior parte das jazidas apresentava reservas pequenas, inferiores a 10 mil toneladas de minério de alto teor (>40% de Mn total), algumas atingiam até 100 mil toneladas e raras ficavam acima desse valor, podendo chegar a poucos milhões de toneladas de minério.

O tamanho reduzido de grande parte dos depósitos desestimulou trabalhos mais acurados de avaliações técnica e econômica. Isso pode ter sido a causa do fracasso de vários empreendimentos, visto o caráter irregular dos corpos de minério, quase sempre bolsões em formações ferríferas e rochas carbonáticas manganíferas, em menor frequência em filitos e quartzitos, ou como concentrações superficiais oxidadas. Destacam-se as minas de Antônio Pereira, Bocaina, Botafogo, Capitão do Mato, Conta História, Engenho, Fazenda Gandarela, Fazenda Mário Soares, Fazenda Rodeio, Lagoa Grande, Miguel Congo, Poço Fundo, Serra da Boa Vista e Vigia.

Análises químicas de minérios, de algumas jazidas ou depósitos, apresentadas por Souza, Ribeiro e Feboli (1977), indicam teores médios de 24,03% de Mn solúvel, 39,07% de Fe_2O_3 , Al_2O_3 entre 11,24% e 0,10%, P_2O_5 entre 0,38% e 0,15% e SiO_2 entre 4,23% e 0,10%. O enriquecimento supergênico mais pronunciado pode levar a produtos de alto teor, em torno de 46% Mn total (DORR; COELHO; HOREN, 1956) ou até superior a 50%.

Guild (1957) mostram teores de manganês, desde pouco mais de 3% até 55% e de ferro entre 2,8% e 57,6%, em base úmida (H_2O entre 1,94% e 14,9%), em uma ordem inversa das concentrações. A soma Mn+Fe situa-se entre 45,7% e 63,96%. Coelho (1961) reporta teores de até 50% de Mn, 14 a 24% de Fe e menos de 1% de sílica para minérios da Serra da Moeda.



Figura 2.6 - Foto das ocorrências (lavras) de minério de ferro-manganês na Formação Cauê, Grupo Itabira, Supergrupo Minas, no flanco oriental da Serra da Moeda, próximo ao entroncamento da estrada para Moeda com a BR-040. As camadas de Fe-Mn são delgadas e seguem um nível estratigráfico ao longo da serra. Acervo fotográfico SGB-CPRM.

Os teores também apresentam variação em função de sua rocha hospedeira. Análises apresentadas por Dorr, Coelho e Horen (1956) mostram até 4,2% de MnO nos mármore e até 40% de Mn em formações ferríferas/ferromanganesíferas, podendo até mesmo ser classificadas como manganésifera para os teores mais elevados.

A origem do protominério é uma questão controversa (SOUZA; RIBEIRO; FEBOLI, 1977). Há registros de mármore branco, rosa ou cinza, com ferro e concentrações de manganês na forma de manganodolomita e manganocalcita, sem a presença de outros carbonatos, silicatos ou óxidos primários de manganês (DORR; COELHO; HOREN, 1956).

Itabiritos manganésíferos singenéticos, sem a presença de carbonatos, foram também propostos por Guimarães (1935). Entretanto, dado o caráter transicional entre os carbonatos (Formação Gandarela) e formações ferríferas (Formação Cauê), fica difícil afirmar que o protominério é de uma ou de outra unidade, existindo mármore com intercalações delgadas de itabirito e itabiritos dolomíticos.

Dorr, Coelho e Horen (1956) afirmam que grande parte das jazidas encontradas no domínio dos mármore provém de camadas delgadas e descontínuas de itabiritos dolomíticos ou silicosos (normais) intercaladas nos mármore. Por outro lado, muitos dos depósitos de óxidos de manganês relacionados a itabiritos associam-se aos níveis mais carbonáticos, geralmente no ponto médio ou superior do pacote, na transição para o domínio carbonático pleno.

Assim, a vinculação das faixas manganésíferas às formações ferríferas ou carbonáticas pode ser uma questão de difícil solução. Coelho (1961) considera, além dos materiais acima (referidos por DORR; COELHO; HOREN, 1956 como protominério), que o próprio itabirito regional (silicoso, normal) serviu como fonte dos depósitos oxidados de manganês, podendo conter teores elevados (acima de 10%) de manganês primário.

As reservas atuais de minério de Fe-Mn no QF não são conhecidas, visto que as estatísticas da ANM tratam de Fe ou Mn isoladamente, mas não a associação dos dois elementos. Os portais das empresas também não trazem essas informações detalhadas.

2.2.1. Ferro-manganês no Grupo Itabira

O **Distrito da Serra da Moeda** representa o flanco ocidental da Sinclinal Moeda. É uma imponente feição topográfica que marca o limite ocidental do QF. Tem orientação meridiana por dezenas de quilômetros, com topo a ca. 1600 metros, fortemente escarpada no flanco oeste e menos íngreme no flanco leste.

Os corpos de minério distribuem-se no flanco oriental da Serra da Moeda (Figura 2.5), em cotas entre 1300 e

1500 metros, desde cerca de dois quilômetros ao norte do acesso para Ouro Preto, junto à BR-040, até próximo à Mina Casa de Pedra, a sul. São estratiformes e orientados segundo a estruturação geológica regional. Constituem corpos delgados, com centímetros até quase uma dezena de metros de espessura e comprimento muito variável entre dezenas a centenas de metros.

Estão associados a itabirito manganésífero (Formação Cauê) ou a dolomito manganésífero (Formação Gandarela), ambos do Grupo Itabira, muitas vezes próximos ou junto à zona de transição entre essas formações. Os principais depósitos são do tipo Lagoa Grande, com indicações de concentração supergênica a partir de teores primários muito variáveis.

Na Serra da Boa Vista, nome local da Serra da Moeda, a oeste da Mina de Casa de Pedra, o minério está relacionado aos dolomitos e itabiritos distribuídos ao longo da cumeada e flancos da serra. Dois corpos principais estão posicionados exatamente a oeste de Casa de Pedra, estratigraficamente concordantes com itabirito da Formação Cauê.

O corpo inferior, mais ocidental, continha minério distribuído pontual e irregularmente, com espessura máxima de 5 metros. O outro corpo, posicionado no flanco oriental da serra, aparentava ter reserva bem maior de ferro-manganês, com conteúdos equivalentes de Fe e Mn. Minério tipo *wad* (pulverulento preto) também é relatado nesta região.

Cerca de dois quilômetros a nordeste da mina de Casa de Pedra, no local Poço Fundo, foram descritas diversas catas ao longo de uma faixa com cerca de um quilômetro de comprimento e algumas centenas de metros de largura, posicionadas no contato tectônico entre o Supergrupo Minas (Iapa) e o Grupo Itacolomi na capa.

O manganês parece provir de níveis dolomíticos do Supergrupo Minas, posicionado em níveis topográficos inferiores ao contato com o Grupo Itacolomi (GUILD, 1957). O minério é uma brecha com cimento de óxidos de manganês, envolvendo itabirito e outras rochas não manganésíferas (filito, xisto, quartzito ferruginoso), formando bolsões de óxidos de manganês terroso, tipo *wad* negro. As reservas eram pequenas e já estão esgotadas, nesse local.

O **Distrito de Itabirito**, Serra do Itabirito, representa o flanco oriental da Sinclinal Moeda. Nessa serra, são conhecidos diversos corpos lenticulares e descontínuos de itabirito manganésífero (Formação Cauê), embora corpos de minério de manganês e ferro-manganês não sejam abundantes, ao contrário do que ocorre na Serra da Moeda, onde pode existir mais de uma zona mineralizada (WALLACE, 1965). Exposições intermitentes são encontradas nas bacias do Córrego Capitão do Mato e Ribeirão dos Marimbondos, afluentes do Rio do Peixe, entre as represas Capitão do Mato e Codornas.

Também são observadas no flanco ocidental da Serra das Serrinhas, que marca o limite ocidental do Complexo do Bação.

O **Distrito de São Julião** (ou Miguel Burnier), situado no extremo sul do QF próximo à cidade de Ouro Branco, engloba depósitos que foram descobertos em 1888 e começaram a ser lavrados em 1894, encerrando-se às atividades possivelmente na década de 1940, provavelmente em consequência da queda do teor do minério e/ou aumento dos custos de produção.

Próximo a São Julião (ou Miguel Burnier), no flanco sul da Sinclinal Dom Bosco, um corpo de minério de Fe-Mn tinha cerca de oito quilômetros de comprimento, representado por um horizonte acamadado contínuo que resultou de lixiviação e enriquecimento de dolomitos ferruginosos com manganês (provavelmente Formação Gandarela; não referida no original) (GUILD, 1957). Esse corpo foi lavrado até a profundidade excepcional de 150 metros (SCOTT, 1890 *apud* GUILD, 1957).

Em Vigia, a quatro quilômetros a oeste de São Julião (Miguel Burnier), foram registradas diversas lavras, todas pequenas, posicionadas ao longo de faixa descontínua que se estende para oeste por alguns quilômetros. Nessa região foram extraídas algumas centenas de toneladas de minério tipo *wad*, oriundo de fonte dolomítica atribuída à unidade superior da SG. Minas (no mapa atual está sobre o Grupo Piracicaba).

O **Distrito de Alegria**, situado nos municípios de Mariana e Ouro Preto, compreende as minas da Alegria, Fábrica Nova e Morro da Mina (produtoras de minério de ferro) e as minas Conta História e Miguel Congo (produtoras de minério de ferro e manganês ferruginoso).

As minas de Conta História e de Miguel Congo são atendidas pela estrutura da Mina da Alegria. Ficam na porção oriental do QF, ao sul da Serra do Caraça, em domínio do Grupo Itabira na Sinclinal de Conta História, com eixo orientado NW-SE.

O minério de manganês ferruginoso é do tipo Lagoa Grande, friável e com porções compactas localizadas, derivado do enriquecimento supergênico da formação ferromanganesífera itabirítica. O corpo de minério concentra-se em um nível estratiforme com 2 a 7 metros de espessura e teor de 30 a 45% de Mn.

Em Miguel Congo, o minério de Mn-Fe está intercalado em itabirito silicoso e itabirito anfíbolítico da Formação Cauê (BARCELOS; BÜCHI, 1986). Em algumas áreas, o minério está intercalado com camadas de 1 a 50 centímetros de espessura de xisto ou argila (MAXWELL, 1972), possivelmente itabirito dolomítico ou dolomito.

Nas serras da Moeda e do Itabirito, o minério de manganês rico está praticamente exaurido, o que não inviabilizaria o aproveitamento de materiais com teores mais baixos tipo ferro-manganês. É possível que ainda tenha restado alvos em Conta História e Miguel Congo.

2.2.2. Ferro-Manganês nos grupos Piracicaba e Itacolomi

Dentro do Grupo Piracicaba são observadas diversas pesquisas para Fe-Mn, entretanto nenhuma grande mina foi implantada. A exploração restringia-se à “raspagem” da cumeada e encostas superiores das serras, em cotas ao redor de 1200 a 1350 metros. As lavras ocorreram de modo rudimentar (garimpados) sobre depósitos de minério concentrados em zonas de falhas, fraturas ou na superfície do terreno. Entretanto, é grande a quantidade de alvos registrados em mapas do Projeto Quadrilátero Ferrífero, na escala 1:25.000, conduzido pelo USGS/DNPM entre 1946 e 1962 (DORR, 1969).

Pomerene (1964) descreveu lentes incomuns de dolomito manganesífero no Grupo Piracicaba (Formação Cercadinho), que seriam a fonte do manganês primário na região de Ibirité. Por intemperismo e lixiviação, resultariam ‘rochas manchadas de preto’ (*black splash rock*) junto ou próximo à superfície do terreno, ou seja, concentrações de óxidos e hidróxidos de manganês a partir do dolomito. Esse material também poderia migrar em solução e precipitar em fraturas ou planos de estratificação de rochas mais porosas, até mesmo de outras unidades estratigráficas.

Em Bocaina, a quatro quilômetros a sudoeste de São Julião (Miguel Burnier), óxidos de manganês substituem filitos do Grupo Piracicaba, aparentemente sem controle estratigráfico, e também ocorrem ao longo de fraturas. Nesse local, foram extraídos alguns milhares de toneladas de minério com teor de até 46% de Mn, com contaminações de Fe e de filito não substituído.

No flanco meridional da Serra do Pires, cerca de seis quilômetros ao norte de Congonhas, são conhecidas várias exposições pequenas de minério manganesífero, atribuídas a dolomitos do Grupo Piracicaba (GUILD, 1957). Ocorrem em duas faixas estreitas ao longo de mais de 3,5 quilômetros e em vários outros locais no sentido de São Julião (Miguel Burnier). Foram explotadas duas zonas de *wad* negro, com pequenas quantidades de minério de manganês duro. Uma das exposições, com 25 metros de largura e 125 metros de comprimento, é uma brecha com fragmentos de quartzito e itabirito silicoso em matriz fina, cimentados por óxidos de manganês. Pelo menos em parte, junto à zona mineralizada, ocorrem rochas do Grupo Itacolomi (no original: Série Itacolomi, superior à Série Minas), nas mesmas condições referidas no local Poço Fundo, situado poucos quilômetros a oeste (GUILD, 1957). As reservas eram muito pequenas.

2.3. OURO

A província aurífera do Quadrilátero Ferrífero constitui uma das mais importantes no âmbito nacional, hospedando duas minas de classe mundial (Morro Velho

e Cuiabá), depósitos de tamanho médio (e.g. Lamego, Córrego do Sítio), além de centenas de depósitos de tamanho pequeno, prospectos e ocorrências. Tais recursos estão vinculados, principalmente, ao Supergrupo Rio das Velhas e, subordinadamente, ao Supergrupo Minas (Figura 2.7).

As principais sínteses sobre ouro no Quadrilátero Ferrífero (QF) podem ser encontradas, principalmente, em Ladeira (1988, 1991), Schobbenhaus, Queiroz e Coelho (1997), Lobato, Ribeiro-Rodrigues e Vieira (2001b), Vial *et al.* (2007a). Existem, também, diversos trabalhos mais específicos em dissertações de mestrado e teses de doutorado, muitos deles citados neste texto.

O Supergrupo Rio das Velhas é dividido em dois grupos, Nova Lima e Maquiné, e representa uma sequência metavulcanossedimentar arqueana do tipo *greenstone belt*. O Grupo Nova Lima, unidade basal, compreende rochas vulcânicas máficas e ultramáficas, sedimentos vulcanoquímicos, sedimentos clastoquímicos, rochas vulcanoclásticas. O Grupo Maquiné, superior, é dominado por rochas clásticas, interpretadas como associações costeiras e não-marinhas (CPRM, 1996; ZUCCHETTI; BALTAZAR, 1998; BALTAZAR; ZUCCHETTI, 2007).

As mineralizações estão principalmente vinculadas aos litotipos do Grupo Nova Lima. A presença de ouro no Supergrupo Minas é restrita aos veios de quartzo, às formações ferríferas e aos conglomerados (paleoplacer).

2.3.1. Histórico

O QF constituiu-se no principal produtor brasileiro de ouro primário até o início da década de 1980, quando era responsável por cerca de 40% da produção histórica total (THORMAN *et al.*, 2001; LOBATO; RIBEIRO-RODRIGUES; VIEIRA, 2001b). Somando-se a produção histórica desde a época do Brasil Colônia às reservas anunciadas atualmente, ultrapassa-se a marca de 1.000 toneladas de ouro no QF. O destaque foi a Mina Morro Velho (minas Velha e Grande), em atividade contínua entre 1834 e o início da década de 2000 (atualmente fechada), com produção acumulada entre 470 e 500t Au, equivalente a 15 ou 16 milhões de onças. (LADEIRA, 1991; LOBATO; RIBEIRO-RODRIGUES; VIEIRA, 2001b; LOBATO; FERNANDES, 2009).

Com a queda nos preços internacionais do ouro e a crise econômica da primeira década deste século, a produção de ouro sofreu forte retração. A saída da Vale da mineração de ouro, em parte por encerramento de atividades com o bem mineral e em parte por exaustão de suas minas em Caeté e Itabira, em 2001, e Cauê, em 2003, ocasionou a retração na produção do metal em Minas Gerais (OLIVEIRA, 2009).

Entretanto, a partir de 2004, com a valorização do ouro no mercado internacional, várias outras minas ampliaram a produção e outras instalaram-se. Com a exaustão da

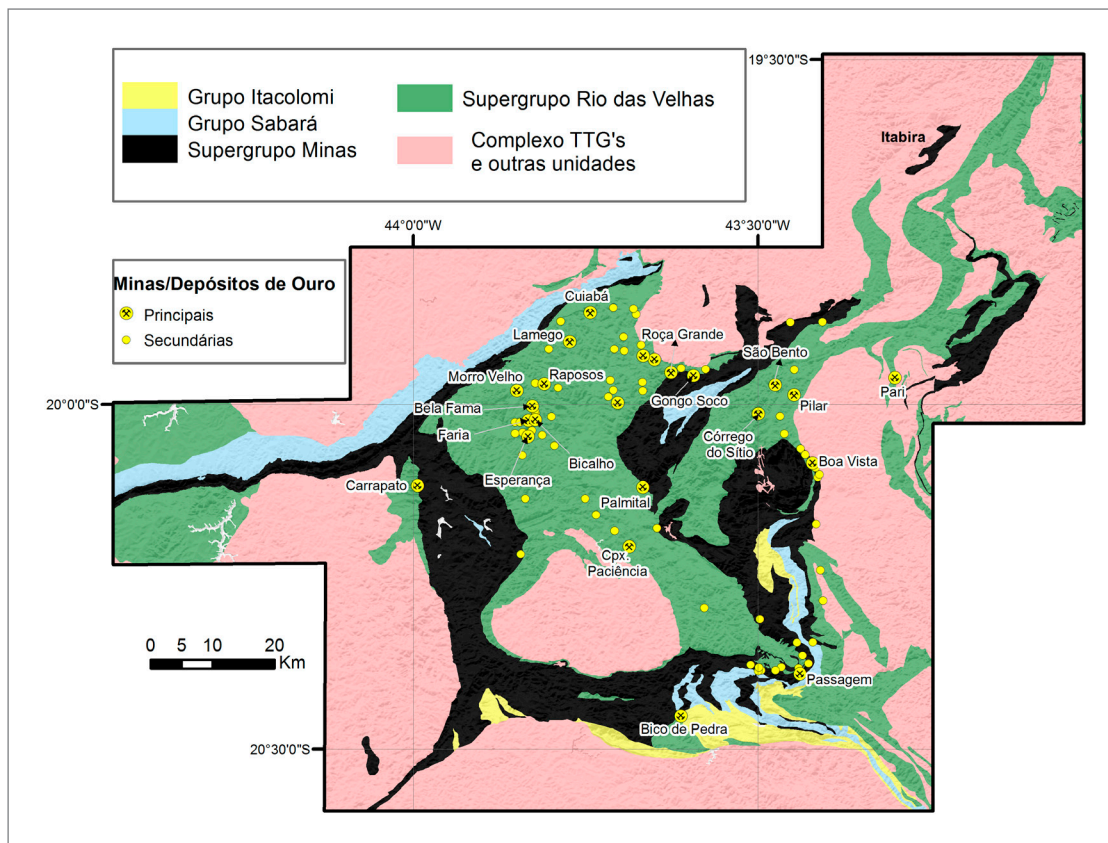


Figura 2.7 - Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero com distribuição das principais minas/depósitos de ouro. Fonte: Modificado de Pinto e Silva (2014b). Elaboração própria.

Mina Morro Velho (Mina Velha, subterrânea), em 2003, e da Mina Engenho D'Água (a céu aberto), em 2004, a AngloGold Ashanti Brasil Mineração passou a dedicar-se à Mina de Cuiabá (subterrânea), à Mina do Córrego do Sítio (a céu aberto e subterrânea nos corpos Cachorro Bravo, Laranjeira e Carvoaria) e à Mina Lamego. Também contribuíram para a expansão da produção mineira de ouro as atividades da Jaguar Mining (Mineração Serras do Oeste) em suas minas dos projetos Paciência e Caeté.

2.3.2. Controle e tipologia dos depósitos

As mineralizações auríferas do QF possuem um forte controle tectônico regional. Na região central da província, entre Nova Lima e Ouro Preto, destaca-se *trends* mineralizados alinhados segundo a Zona de Cisalhamento Paciência, de direção NW-SE. Essa estrutura ocorre desde a borda SE da Serra do Curral, nas proximidades de Nova Lima, até as proximidades de Ouro Preto – Mariana, a sudeste. Ao longo dessa estrutura, alojam-se vários depósitos de Au, como alguns das regiões de Nova Lima, Bicalho, Urubu, além de várias escavações antigas ao longo de dezenas de quilômetros.

Nas proximidades de Nova Lima, esse *trend* deflete para a direção NE-SW e hospeda também importantes depósitos (e.g. Lamego, Cuiabá) (LOBATO *et al.*, 2001a; LOBATO; RIBEIRO-RODRIGUES; VIEIRA, 2001b). Os autores também ressaltam a importância de um conjunto de estruturas de direção E-W, associadas como zonas de cisalhamento transcorrentes, marcantes na região a sul de Caeté, na mineralização aurífera. Essas estruturas resultariam da convergência e/ou acomodação das estruturas anteriores e, aparentemente, controlam o posicionamento dos corpos de maiores teores e tamanhos em depósitos como Morro Velho e Raposos.

Essas estruturas são interpretadas por vários autores (LOBATO *et al.*, 2007; BALTAZAR; ZUCCHETTI, 2007; NOCE; TASSINARI; LOBATO, 2007) como decorrentes de uma fase de deformação compressional (D2) arqueana, com movimentos vergentes de NNE para SSW, sendo os corpos de minérios resultantes da ação de fluidos epigenéticos, tardi- a pós-metamórficos, que modificaram a mineralogia metamórfica e se alojaram em estruturas de segunda e terceira ordem.

Já Scarpelli (1991) ressalta que a grande maioria dos depósitos estão condicionados em estruturas alongadas, mergulhando para SE até NE, e concordantes com a foliação gerada por esforços compressivos originados a leste durante as fases tardias da deformação proterozóica, que afetou também unidades do Supergrupo Minas.

O autor destaca que não existem depósitos de ouro horizontais ou com caimento para W no QF e sugere, também, uma ligação genética entre veios auríferos nas

rochas do Supergrupo Rio das Velhas e o surgimento de minério de ferro de alto teor (hematita compacta) por lixiviação de sílica de itabiritos do Supergrupo Minas.

Os depósitos primários de ouro do Quadrilátero Ferrífero são, principalmente, do tipo orogênico, segundo a concepção original de Groves *et al.* (1998). Reúnem os tipos comumente chamados de mesothermal, metamórfico, *gold-only*, *lode*, além dos hospedados em zonas de cisalhamento, e os demais estruturalmente controlados, dos hospedados em *greenstones* e em turbiditos.

Conforme Lobato e Fernandes (2009), o ouro ocorre principalmente em terrenos de baixo grau metamórfico, de idades e deformações variadas, associados a zonas transpressivas a compressivas, em regimes dúcteis a rúpteis, que afetaram rochas plutônicas, vulcânicas e sedimentares clásticas, hospedando-se em qualquer um dos tipos.

Os principais depósitos arqueanos de ouro estão hospedados, principalmente, em formações ferríferas bandadas oxidadas ou carbonáticas, rochas metassedimentares clásticas e até metabasaltos. O ouro é fino e, em muitos locais, ocorre associado à prata na relação de até 6:1 (como na Mina Cuiabá), constituindo inclusões ou preenchendo microfissuras nos sulfetos (pirita-arsenopirita-pirrotita) ou em grãos nas bordas da pirrotita. Possui correlação direta de concentração com o arsênio. Os fluidos hidrotermais mineralizantes são, principalmente, H₂O, CO₂ e S (LOBATO; FERNANDES, 2009).

A seguir, um resumo dos principais depósitos auríferos do Quadrilátero Ferrífero é apresentado, levando em consideração a classificação proposta por Vial *et al.* (2007c), que correlaciona a rocha hospedeira e, secundariamente, o estilo de mineralização.

De acordo com a rocha hospedeira, existem dois grupos: (A) rochas arqueanas do Supergrupo Rio das Velhas (*greenstone belt* arqueano) e (B) rochas paleoproterozóicas do Supergrupo Minas. Esses grupos foram subdivididos em diversas tipologias, conforme apresentado a seguir, juntamente com principais depósitos-tipo.

A) Depósitos arqueanos de ouro hospedados em rochas do Supergrupo Rio das Velhas

Neste grupo, são reunidos seis tipos de depósitos de ouro, segundo seu estilo de mineralização e/ou associação metalogenéticas. São eles: A1) ouro em formação ferrífera bandada; A2) ouro em lapa seca; A3) ouro em veios de quartzo; A4) ouro em sulfetos disseminados e vênulas/filonetes de quartzo; A5) ouro em anfibolito e A6) ouro com metais-base disseminados ou maciços.

Vial *et al.* (2007c) destacam que os tipos de 1 a 4 são epigenéticos (orogênicos), similares aos encontrados em outros *greenstone belts* do mundo. Os tipos 5 e 6 são incomuns dentro do próprio Quadrilátero Ferrífero.

A1. Depósitos de ouro em formações ferríferas bandadas

Esse tipo está representado nas minas/depósitos: Cuiabá (classe mundial), São Bento, Raposos, Lamego, Faria, Esperança III, Brumal, Boa Vista, Roça Grande, Morro da Glória, Carrapato de Cima, Bruacas e Luís Soares (Figura 2.7). A rocha hospedeira é representada por formações ferríferas bandadas metamorizadas de fácies carbonato ou fácies óxido, incluindo também *metacherts* ferruginosos (LOBATO; RIBEIRO-RODRIGUES; VIEIRA, 2001b). Em termos mineralógicos, quando associadas à mineralização, são constituídas por alternâncias de leitos carbonáticos e sulfetados, com predominância de pirita (Raposos, Cuiabá e Lamego) ou pirrotita (São Bento e Brumal), sempre acompanhados por arsenopirita.

Os minerais do minério são predominantemente pirita (25% a quase 100%, como em Lamego), com participações muito variáveis de pirrotita (praticamente ausente em Lamego e com até 50% em Brumal), arsenopirita (<25%) e quantidades bem menores de esfalerita, galena, calcopirita, cubanita, tetraedrita, magnetita, ullmanita e marcassita. As concentrações de sulfetos no minério variam entre 20 e 35%.

As gangas são formadas por siderita, ankerita, dolomita ferruginosa, quartzo, clorita, grafita, turmalina, rutilo, apatita, estilpnomelano, sericita e carbonatos, com presenças e quantidades variadas de depósito para depósito, indo da ausência à abundância. Os processos de alteração hidrotermal sempre envolvem sulfetação e silicificação e, dependendo do depósito, também podem ocorrer carbonatação, sericitização, cloritização e biotitização.

i. Mina Cuiabá

A Mina Cuiabá, localizada no município de Sabará (Figura 2.7), atualmente é propriedade da AngloGold Ashanti Brasil Mineração Ltda. Trata-se de mina subterrânea com mais de mil metros de profundidade. A mina foi aberta em 1985, produzindo 103 toneladas de Au até 2008 (LOBATO; FERNANDES, 2009). A produção de Ag, em 2009, foi de aproximadamente 20 mil onças. A reserva total era de 9,9 milhões de toneladas de minério, com teor médio de 7,96g/t e *cut-off* de 2,82 g/t. Os recursos totais (medido, indicado, inferido) eram de 21,7 milhões de toneladas de minério (LOBATO; FERNANDES, 2009). A empresa informava, na mesma data da consulta acima, recursos minerais de 5,43 milhões de onças de ouro. A produção somada às reservas atinge cerca de 150 toneladas de Au (VIAL *et al.*, 2007a).

O minério está associado a unidades metapelíticas do Grupo Nova Lima com intercalações de metavulcano-clásticas félsicas, rochas metabasálticas, metabasálticas andesíticas e formação ferrífera bandada. Localmente,

ocorrem sulfetos maciços bandados e sulfetos disseminados em zonas de cisalhamento associados a processos hidrotermais de sericitização, cloritização e carbonatação.

Esse conjunto arranja-se em uma megaestrutura dobrada em forma elíptica em planta, com mais de uma dezena de quilômetros de eixo maior, com geometria do tipo baina ou reclinada (quase isoclinal) localmente redobrada (RIBEIRO-RODRIGUES; OLIVEIRA; FRIEDRICH, 2007; HOLCOMBE; SALES, 2004 *apud* LOBATO; FERNANDES, 2009), com caimento entre 20° e 40° no rumo ESE (Figura 2.8).

A mineralização é sulfetada associada a níveis de formação ferrífera bandada do tipo Algoma. É formada, principalmente, por pirita, com pirrotita e arsenopirita em menor quantidade, enquanto calcopirita, esfalerita e galena constituem minerais traços, em uma ganga de carbonatos e quartzo (MARTINS, 2000); também são reportados estibinita e ganga de monazita, albita, leucocênio, scheelita, rutilo, ilmenita (RIBEIRO-RODRIGUES; OLIVEIRA; FRIEDRICH, 2007; LOBATO; FERNANDES, 2009).

O minério concentra-se nas formações ferríferas, na posição mediana da megaestrutura hospedeira, em arranjo principalmente *stratabound*, associado com ankerita, dolomita ferruginosa e algum carbonato de cálcio em níveis alternados de sulfetos (resultado da substituição de carbonatos de Fe – siderita, ankerita – por sulfetos de Fe) e de *chert* e quartzo-carbonato.

Os corpos de minério economicamente mais importantes variam desde centímetros até 15 metros de espessura (LOBATO; FERNANDES, 2009), ou de 1 a 6 metros (RIBEIRO-RODRIGUES; OLIVEIRA; FRIEDRICH, 2007), em arranjo bandado ou em corpos de sulfetos maciços onde a deformação foi intensa. O ouro está associado a níveis de sulfetos com milímetros a decímetros de espessura; é geralmente fino, ocorrendo como inclusões, ao longo dos limites dos grãos e em fraturas na pirita. Os corpos de minério sulfetados transicionam lateralmente para formações ferríferas estéreis (RIBEIRO-RODRIGUES; OLIVEIRA; FRIEDRICH, 2007). Mineralizações de menor importância estão relacionadas a zonas de cisalhamento em rochas metavulcânicas máficas ou metassedimentares, hidrotermalmente alteradas, e a veios de quartzo auríferos.

Cristais de monazita hidrotermal dos minérios de ouro, das minas Morro Velho e Cuiabá, revelaram idade de 2.672 ± 14 Ma (U–Pb *SHRIMP*), indicando idade arqueana confiável para mineralização e confinando-a aos estágios finais de evolução do Supergrupo Rio das Velhas (LOBATO *et al.*, 2007).

ii. Mina Córrego do Sítio II (Antiga São Bento)

A mina Córrego do Sítio II (Figura 2.7) iniciou as atividades em 1987 como Mina São Bento. Atualmente, é

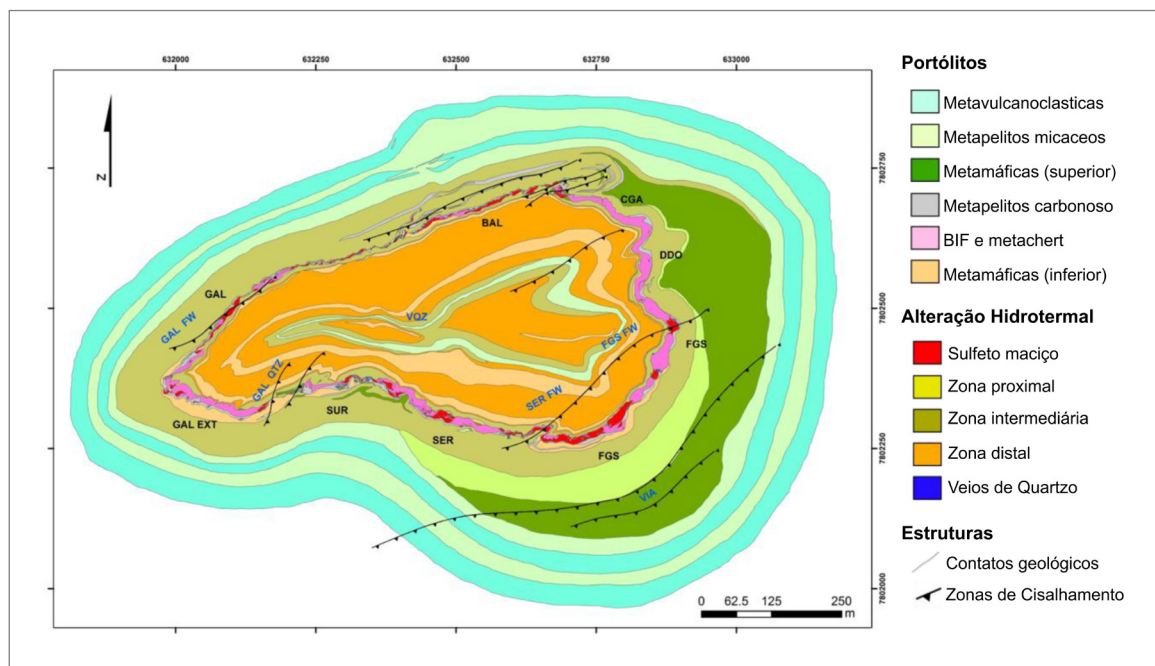


Figura 2.8 - Mapa Geológico da Mina de Cuiabá, nível 11 (extraído de VITORINO, 2017).
Fonte: AngloGold Ashanti Mineração Ltda).

de propriedade da AngloGold Ashanti Brasil Mineração Ltda. Entre 1987 (início das atividades) e 2001, foram produzidas 44,6 toneladas de ouro (PEREIRA *et al.*, 2007).

O depósito é do tipo orogênico, hospedado em formações ferríferas bandadas intercaladas em metaturbiditos, incluindo xistos pelíticos carbonosos (clorita-carbono xisto) e metatufos (clorita-quartzo xisto) do Grupo Nova Lima (THORMAN *et al.*, 2001). Moseley (1986) e Abreu *et al.* (1988) reconheceram na área da mina quatro associações litológicas informais:

a) Unidade carbonosa (grafitosa) inferior e formação ferrífera bandada (Membro Barão de Cocais);

b) Formação Ferrífera São Bento, de fácies sulfeto, silicato, carbonato e óxidos, mineralizada na porção inferior, chamada *Lower Iron Member – LIM*, e que torna-se estéril para o topo. Representa a unidade de interesse econômico, com cerca de 125 metros de espessura, onde desenvolveu-se a lavra;

c) Formação Carrapato, composta predominantemente por clorita-mica xisto e formação ferrífera bandada (Membro Santa Quitéria). Possui mais de 500 metros de espessura e é transicional com a unidade inferior, a Formação Ferrífera São Bento;

d) Diques e *sills* metamáficos.

A unidade hospedeira da mineralização é a Formação Ferrífera São Bento, que ocorre intercalada com clorita xisto carbonoso e clorita-quartzo xisto; o pacote é capeado por formação ferrífera a magnetita (THORMAN *et al.*, 2001). A circulação de fluidos hidrotermais, ao longo de zonas de cisalhamento, causou intensa sulfetação das formações ferríferas e precipitação de

ouro. A associação litológica e sulfetada é similar à da Mina Cuiabá, diferindo apenas quanto às concentrações dos sulfetos.

Os corpos de minério são formados, principalmente, por arsenopirita, com pirrotita e pirita em quantidades menores e zonas ricas em veios de quartzo, resultado da substituição de carbonato de Fe (siderita) e magnetita das formações ferríferas por ankerita e pirrotita (PEREIRA, 1996; PEREIRA *et al.*, 2007). Os veios de quartzo com sulfetos são concordantes a discordantes e associam-se às formações ferríferas bandadas mineralizadas. Os fluidos hidrotermais, provavelmente metamórficos, foram aquosos de baixa salinidade, com pequena ou nenhuma participação de CO_2 e/ou CH_4 , em temperatura de trapeamento de 320°C a 3,2Kbar (PEREIRA *et al.*, 2007).

A mineralização na formação ferrífera é considerada arqueana, com idade Pb-Pb em arsenopirita e pirita indicando 2,65Ga., e deformação provavelmente paleoproterozoica (PEREIRA *et al.*, 2007).

iii. Mina Raposos

A mina de Raposos (Figura 2.7) iniciou as atividades em 1910. Entre 1982 e 1999, produziu 23,6t Au (THORMAN *et al.*, 2001). O teor do minério, em 1980, era de 11,38g/t, decrescendo para *ca.* 5,68g/t, uma década após (LADEIRA, 1991).

O depósito está associado à Formação Ferrífera Raposos do Grupo Nova Lima. É do tipo *stratabound*, estratiforme, hospedado de forma restrita em formação

ferrífera bandada, intercalado entre komatiíto peridotítico (clorita-carbonato-quartzo-talco xisto), na base, e komatiíto basáltico (quartzo-carbonato-sericita xisto), no topo, hidrotermalmente alterados (diversos autores citados em LADEIRA, 1991).

Junqueira *et al.* (2007) posicionam as unidades ultramáfica e máfica de forma invertida, respectivamente no topo (*hanging wall*) e base (*footwall*) da formação ferrífera bandada (“... *the hanging wall rocks to BIF are hydrothermally-altered ultramafic schists, whereas meta-mafic rocks and their hydrothermal schistose products represent the footwall*”). Esses autores, com base em dados de ETR e elementos-traços, advogam para a unidade máfica caráter toleítico, ressaltando que a unidade ultramáfica pode ser komatiíto peridotítico.

A rocha hospedeira é representada por uma formação ferrífera bandada do tipo carbonato (siderita), que pode constituir 20% do volume do depósito, mas também inclui as fácies óxido, silicato e sulfeto, distribuídos em cerca de seis camadas (LADEIRA, 1991). Os corpos de minério estão relacionados a fluidos que percolaram zonas de cisalhamento, que afetaram a formação ferrífera bandada e os veios de quartzo, resultando em sulfetação de magnetita e/ou siderita (JUNQUEIRA *et al.*, 2007). O mineral-minério é principalmente pirrotita, acompanhada em menor quantidade por arsenopirita e pirita (LADEIRA, 1991; JUNQUEIRA *et al.*, 2007).

Ladeira (1991) sugere um modelo singenético exalativo de fundo oceânico para o depósito, tomando como parâmetro a presença de grandes quantidades de rochas metavulcânicas ultramáfica, máfica e félsica intimamente associadas no tempo à formação ferrífera bandada hospedeira. Essa hipótese é corroborada por Junqueira *et al.* (2007), ao considerarem que a formação ferrífera bandada teria formado-se em posição proximal a uma fonte hidrotermal exalativa, rica em H₂O, que atuou no assoalho oceânico.

O minério é formado por liga natural de Au-Ag (*electrum*) em grãos finos, filmes ou palhetas/lamelas dispostos em cavidades, fissuras, superfícies de clivagens ou no interior dos sulfetos e, mais comumente, na periferia dos grãos de sulfetos preenchendo os espaços intergranulares (LADEIRA, 1991).

iv. Mina Lamego

A mina de Lamego, localizada em Sabará (Figura 2.7), começou a ser operada em lavra subterrânea pela AngloGold Ashanti Mineração, em janeiro de 2010, e é considerada um dos maiores depósitos de ouro do Quadrilátero Ferrífero. A unidade possui reservas medidas de 250,000t de Au e recursos na ordem de 1.3 Mt, com teor médio de 7.26 g/t Au e um *cut-off* de 2.68 g/t Au (vide MARTINS *et al.*, 2016).

O depósito apresenta feições estruturais, mineralização (tipo de minério, distribuição, paragênese) e rochas hospedeiras muito similares às do Depósito Cuiabá (LOBATO; FERNANDES, 2009). Está hospedado em um pacote de formação ferrífera bandada e *metachert* da porção inferior do Grupo Nova Lima, intercalado em metavulcânicas máficas (na base) e metapelitos carbonosos (no topo). O horizonte mineralizado é formado por leitos alternados de rocha carbonática (siderita, ankerita, calcita, dolomito ferruginoso), quartzo e *metachert* com espessuras entre milímetros e cerca de um metro, caracterizando a alternância formação ferrífera–*metachert* (Figura 2.9).

O pacote hospedeiro da mineralização tem entre um e 10 metros de espessura. Os corpos de minério estão tectonicamente controlados por estrutura dobrada isoclinal cilíndrica, com flancos mergulhando para ESE. O ouro, em sua maior parte, associa-se a leitos sulfetados provenientes da substituição hidrotermal dos carbonatos de ferro (sulfetação), principalmente por pirita, ocorrendo inclusive nos sulfetos, nos limites intergranulares ou livre, sendo geralmente fino. Os sulfetos atingem 30% do minério (VIAL *et al.*, 2007c; LOBATO; FERNANDES, 2009). Minério ainda de interesse secundário, ocorre próximo ao contato da formação ferrífera mineralizada com as rochas encaixantes (VIAL *et al.*, 2007c; LOBATO; FERNANDES, 2009).

Trabalhos mais recentes indicam idades de mineralização em monazitas hidrotermais na ordem de 2730 ± 42 Ma (MARTINS *et al.*, 2016), indicando uma idade arqueana para o depósito. Entretanto, o autor obteve idades discordantes também em monazitas hidrotermais, que mostram evidências de modificações estruturais no início do Paleoproterozóico.

v. Mina Faria

Situada na região de Nova Lima (Figura 2.7), iniciou suas atividades em 1863 em lavra subterrânea, chegando até 500m de profundidade. A produção histórica, até 2006, era de *ca.* 8 toneladas de ouro, com teor médio de 8g/t, tendo prata como subproduto na razão Au:Ag de 6:1 (VIAL *et al.*, 2007c).

A mineralização está hospedada em formação ferrífera bandada sulfetada, geralmente em contato da lapa com rochas vulcânicas andesíticas a basálticas, variolíticas a almofadadas, *metachert*, rochas sedimentares xistosas e da capa com vulcanoclásticas ácidas, sedimentos pelíticos, dacitos maciços e formação ferrífera bandada. No *footwall* dos corpos de minério ocorre filito carbonoso ou grafitoso. A relação entre metassedimentos e metavulcânicas é de 3:7 na mina.

Os corpos de minério do Depósito Faria são similares aos de Cuiabá, São Bento e Raposos e têm continuidade de pelo menos 600m ao longo do caimento dos eixos

de dobras que os condicionam. A formação ferrífera bandada é formada por silicatos (estilpnomelano, biotita), carbonatos (siderita, ankerita e dolomita ferruginosa), óxidos (magnetita, hematita) e sulfetos (pirita, pirrotita, arsenopirita).

Os minerais-minério são principalmente pirita e pirrotita, com a soma atingindo 70% do minério. O ouro hospeda-se, principalmente, na pirita (70%) e,

subordinadamente, na pirrotita (15%), em outros sulfetos (5%) e nos minerais de ganga (10%). Os outros sulfetos são arsenopirita, esfalerita, cubanita, galena, calcopirita e tetraedrita. Além do ouro nativo, ocorre também o *electrum* (liga natural de Au-Ag). A ganga é formada por quartzo, carbonato, clorita, grafita. A alteração hidrotermal consiste em sulfetação, silicificação e cloritização (VIAL *et al.*, 2007c).



Figura 2.9 - Aspectos da mineralização aurífera na Mina Lamae: A) BIF intensamente sulfetada no Corpo Cabeça de Pedra; B) Veio quartzo-carbonático dobrado com presença de sulfetos em filito carbonoso. Corpo Cabeça de Pedra; C) Contato entre metachert ferruginoso (base) e filito carbonoso (topo) com veios quartzo-carbonáticos e níveis sulfetados paralelos à foliação. Corpo Cabeça de Pedra; D) FFB rica em carbonato, intensamente dobrada. Corpo Carruagem; E) Detalhe da FFB com bandamento centimétrico intercalando camadas ricas em metachert e camadas ricas em carbonato, substituído parcialmente por sulfeto, e matéria carbonosa. Dimensões 40 x 105 cm. Corpo Carruagem. Fotos cedidas pela geóloga Joanna Araujo (SGB/CPRM).

vi. Mina Esperança III

Está localizada cerca de 10 quilômetros a sudeste de Nova Lima (Figura 2.7), e teve sua lavra iniciada no século XVII. Entre 1971 e 1982, a atividade da mina intensificou-se e, em 2009, estava inativa. A produção histórica foi de aproximadamente uma tonelada de ouro em minério, com teor médio de 13g/t (VIAL *et al.*, 2007c). A sequência estratigráfica nessa área parece estar invertida em relação à do Depósito Faria, com metadacito maciço, metatufos dacíticos a riolíticos e sedimentos pelíticos na porção inferior e metandesitos e metabasaltos na porção superior da sequência.

O depósito está hospedado em formação ferrífera bandada, muito similar à observada na Mina Faria, com estreita associação com filitos carbonosos/grafitosos. O minério é sulfetado e possui arranjo *stratabound* discordante do acamadamento e controlado por zona de cisalhamento. O ouro associa-se a piritas de grão fino, em formação ferrífera bandada ou a sulfetos maciços de grão grosso, em zona de cisalhamento no contato entre formação ferrífera bandada e filito carbonoso/grafitoso. Algumas lentes de sulfetos maciços são estereis para Au. Os minerais-minério são principalmente pirita (estimada em até 85% do minério), arsenopirita, pirrotita, ouro nativo e *electrum* (Au-Ag). A ganga é formada por quartzo, carbonato, clorita e grafita. A alteração hidrotermal compreende sulfetação, silicificação e cloritização.

Os corpos de minério são similares aos de Cuiabá, São Bento, Raposos e Faria, com intensa concentração supergênica de ouro, podendo atingir teor médio de 19 g/t na superfície, caindo rapidamente para 6,0 g/t na profundidade de 100 metros e para *ca* 2,0 g/t abaixo de 300 metros (VIAL *et al.*, 2007c).

vii. Mina Brumal

A Mina de Brumal (Figura 2.7) apresenta um depósito do tipo estratiforme, com o minério hospedado em formação ferrífera bandada sulfetada associada à zona de cisalhamento e em quartzo-sericita xisto com veios de quartzo e arsenopirita. A formação ferrífera bandada alterna-se com leitos xistosos em uma sequência de talco-clorita xisto (metaultramáfica) e sericita-quartzo xisto (vulcanoclásticas ácidas), intercalados com filito carbonoso/grafitoso e vulcânicas máficas xistificadas. Os minerais-minério são pirrotita (predominante), pirita, arsenopirita (principal hospedeiro do Au), ouro nativo, *electrum*, esfalerita, galena, calcopirita, magnetita e ullmanita. Os minerais de ganga são quartzo, siderita, clorita, grafita, turmalina, rutilo e apatita. A alteração hidrotermal compreende sulfetação, silicificação, cloritização, carbonatação e biotitização.

Os corpos de minério são similares aos de Cuiabá, São Bento e Raposos e persistentes por pelo menos 600m, segundo o caimento do eixo da anticlinal que os acomodam.

Brumal produziu cerca de uma tonelada de ouro com teor médio de 7,5g/t, tendo a prata como subproduto na razão Au:Ag de 6,4:1. As reservas totais divulgadas, até 500m de profundidade, eram de 25t de ouro. A mina está inativa desde 1940 (VIAL *et al.*, 2007c).

viii. Mina Boa Vista

Como em várias outras minas do Quadrilátero, a Mina da Boa Vista (Figura 2.7) tem sua história remontada ao período colonial, encerrando-se a produção por volta de 1940. A lavra subterrânea atingiu a profundidade de 100 metros. A produção foi muito pequena, cerca de 200 quilos de Au, com reservas de 3 toneladas de Au e teor de 7g/t, tendo Ag como subproduto (VIAL *et al.*, 2007c).

O depósito é do tipo estratiforme, com o minério hospedado em formação ferrífera bandada sulfetada, posicionada sobre uma unidade de rocha vulcanoclástica (clorita-sericita-quartzo xisto) e sob outra de metabasalto (carbonato-clorita xisto), toda essa sequência assentada sobre rochas metavulcânicas e metassedimentares vulcanogênicas da Unidade Morro Vermelho do Grupo Nova Lima. Os corpos acomodam-se segundo o caimento do eixo da dobra que os contém e são persistentes por pelo menos 300m.

A formação ferrífera bandada é formada de siderita, calcita, magnetita, hematita, estilpnomelano, pirita, pirrotita, arsenopirita, marcassita, esfalerita e calcopirita, com os sulfetos (principalmente arsenopirita) constituindo-se nos minerais-minério junto com ouro nativo e *electrum*. Os minerais de ganga são quartzo, carbonato, clorita e estilpnomelano. A alteração hidrotermal compreende sulfetação, silicificação, cloritização e sericitização.

ix. Projeto Caeté (minas Pilar e Roça Grande)

Esse projeto, atualmente de propriedade da *Jaguar Mining* (MSOL), é composto pelas minas **Pilar e Roça Grande**, ambas situadas no município de Caeté, cerca de 50 quilômetros a leste de Belo Horizonte (Figura 2.7). Segundo informações retiradas do *site* da Jaguar em 21/03/2012 (www.jaguarmining.com), o Projeto Caeté (Roça Grande e Pilar) teve seu estudo de viabilidade econômica concluído em 2008, com início da produção em 2010. Os planos de expansão previam agregar recursos à zona de Roça Grande, a partir de outros alvos mineralizados conhecidos e incrementar as atividades no Corpo de Pilar.

As reservas provadas e prováveis em 2015 eram 606.000 toneladas de minério, com teor médio de 2,55g/t

e 50.000 onças de ouro contidas. Os recursos medidos e indicados (incluindo as reservas acima) chegavam a 12,374 milhões de toneladas de minério com teor médio de 4,08g/t, representando 1.621.000 onças de ouro. Os recursos inferidos situavam-se em 4,34 milhões de toneladas de minério com teor médio de 4,52g/t, contendo 632.000 onças de ouro.

A **Mina de Pilar**, situada no município de Santa Bárbara, entrou em operação em 2008 e atingiu a produção de 448.000 toneladas ROM de minério em 2011. O depósito está hospedado em formações ferríferas sulfetadas, intercaladas entre rochas metaultramáficas e metavulcanoclásticas ácidas, com intercalações subordinadas de metabasaltos e filitos grafitosos. A mineralização está condicionada a uma dobra fechada a isoclinal reclinada sobreposta por uma zona de cisalhamento de empurrão. Ambas as estruturas possuem direção NE-SW e mergulho em torno de 50° (FERREIRA-SILVA, 2007). O principal corpo de minério possui continuidade de 600 metros na direção do caimento do eixo da dobra (VIAL *et al.*, 2007c).

A **Mina Roça Grande**, situada no município de Caeté, teve as atividades de lavra em parte do depósito iniciadas no período colonial, a céu-aberto; a parte mais importante foi descoberta na década de 1980, a partir de um programa consistente de prospecção geoquímica. A atividade extrativa nessa parte nova do depósito iniciou-se em 1996.

O minério está hospedado, principalmente, em formação ferrífera bandada (sobretudo com clorita-magnetita), arranjada em lentes em clorita xisto associadas a quartzo-sericita xisto, sericita xisto carbonoso e *metachert*. Os corpos de minério são principalmente sulfetados, alojados ao longo de 2,2 quilômetros de uma zona de cisalhamento dúctil, com forte controle estrutural de suas formas, geralmente grandes lentes ou ‘charutos’ orientados segundo o caimento da lineação de estiramento.

De acordo com Vial *et al.* (2007c), os corpos de minério expostos na superfície têm entre 200 metros e 1400 metros de comprimento, espessuras médias entre cinco metros e 20 metros, persistindo em profundidade por pelo menos 500 metros segundo o caimento da lineação de estiramento originada pela zona de cisalhamento. Em um deles, a associação é com sericita e quartzo sacaroidal.

O ouro associa-se à pirita e arsenopirita ou ocorre livre junto aos minerais de ganga (quartzo, clorita e sericita). A zona hidrotermalizada é caracterizada por sulfetação, silicificação, sericitização, cloritização e carbonatação.

Nos corpos lavrados a céu aberto, o teor médio era de 2,3 g/t. Em alguns corpos, o teor médio do minério primário entre 80 metros e 500 metros de profundidade é

de 7,5g/t. Nos primeiros 80 metros a partir da superfície, o intemperismo foi intenso, ocasionando enriquecimento supergênico até 10 metros de profundidade em parte do depósito.

A2. Depósitos de ouro tipo lapa seca

Os depósitos hospedados em lapa seca estão representados, principalmente, pelas minas de Morro Velho, Bela Fama e Bicalho, condicionadas a um mesmo alinhamento estrutural, interpretado como uma zona de cisalhamento subconcordante com o acamadamento (VIAL, 1983 *apud* VIAL, 2007c). O termo lapa seca é utilizado para designar uma rocha silico-carbonática, composta majoritariamente por carbonatos de ferro (ankerita, dolomita ferruginosa), quartzo e albita. Suas composições são muito variadas, indo de 95% de carbonato e 5% de quartzo até 53% de SiO₂, caracteristicamente contém corpos de sulfeto maciço e veios de quartzo com ouro.

Ladeira (1980, 1991) considera lapa seca como originado de um protólito sedimentar químico exalativo, similar à formação ferrífera bandada, associado ao Grupo Nova Lima. Outros estudos sugerem o protólito como lavas félsicas (VIAL; FERREIRA; FERRARI, 1987) e/ou rochas vulcânicas e vulcanoclásticas dacíticas-ande-síticas metamorfizadas e submetidas a cisalhamento e hidrotermalismo. Vial *et al.* (2007b) interpretam que a lapa seca seria o produto de intensa atividade hidrotermal em um estágio pré-mineralização, incluindo zonas de carbonatação, cloritização, sericitização (mica branca), silicificação e sulfetação, acompanhada de ouro.

Nos depósitos pequenos, como Bela Fama e Bicalho, predominam o minério associado a veios de quartzo, ao passo que nos depósitos de grande porte, como Morro Velho, os corpos de sulfeto maciço representam mais de 90% do minério (VIAL *et al.*, 2007c).

Em Morro Velho, a unidade carbonática compreende um tipo cinza e outro marrom. O tipo cinza constitui o teto (*hanging wall*) não mineralizado dos corpos de minério, os quais hospedam-se no tipo marrom micáceo ou na base do tipo cinza, como os corpos de sulfetos maciços ricos em Au (VIAL *et al.*, 2007b).

O ouro ocorre livre nos veios de quartzo e incluso ou bordejando os sulfetos. O sulfeto predominante é pirita ou pirrotita, com participações de arsenopirita, esfalerita, galena, calcopirita e tetrahedrita. As gangas são formadas por quartzo, carbonato, clorita, sericita e albita. Os processos de alteração hidrotermal envolvem sulfetação, silicificação, carbonatação, sericitização, cloritização e albitização.

i. Mina Morro Velho

Essa mina, localizada no perímetro urbano de Nova Lima (Figura 2.7), teve a atividade extrativa iniciada em

1834, com exploração contínua até o início da década de 2000, representando, àquela época, a mina de ouro mais antiga do mundo em operação. A produção da Mina de Morro Velho alcançou cerca de 470 toneladas de Au durante a vida útil, com lavra até 2500 metros de profundidade.

Os principais trabalhos de investigação detalhada deste depósito são de Ladeira (1980) e Vieira *et al.* (1986). Outras referências importantes são Ladeira (1988, 1991), Lobato *et al.* (2001b), Thorman *et al.* (2001), Vial, Ferreira e Ferrari (1987) e Vial *et al.* (2007b).

O depósito é hospedado em unidade carbonática ferrífera associada a uma pilha espessa de filito carbonoso com intercalações de dolomito e de rochas metavulcano-clásticas félsicas e intermediárias (metarriolito, metarriodacito) (VIEIRA *et al.*, 1986; LADEIRA, 1991; VIAL; FERREIRA; FERRARI, 1987; VIAL *et al.*, 2007b). Associam-se às zonas mineralizadas Cr-mica, Cr-clorita, albita, estilpnomelano, epidoto, apatita, clinozoisita, rutilo, ilmenita, magnetita, magneto-ilmenita, sulfetos (pirita, arsenopirita e pirrotita), dravita, scheelita, zircão (LADEIRA, 1991) e, também, biotita (VIAL *et al.*, 2007b). O ouro está associado a corpos com sulfetos disseminados ou maciços, principalmente pirrotita (~75% em volume), arsenopirita (~17%), pirita (~7%) e *ca.* 1% de calcopirita (VIAL *et al.*, 2007b). Veios tardios de quartzo-Au seccionam os corpos de minério.

Mesmo já referido, reforça-se que Ladeira (1991) defendia a hipótese de origem singenética para o ouro de Morro Velho, no qual o vulcanismo submarino teria provocado intensa atividade hidrotermal no assoalho oceânico, com fluxos quentes percolando as rochas e extraíndo Au e outros metais dos litotipos situados abaixo da lapa seca. Os corpos sulfetados com ouro e as rochas da unidade lapa seca seriam de origem química, resultantes da interação entre a água do mar e fluidos hidrotermais aquosos redutores.

A deformação que afetou toda a região, incluindo metamorfismo em fácies Xisto-verde, teria realojado o ouro em zonas de charneiras de dobras, com os corpos de minério espessando-se e assumindo formas alongadas. Embora os corpos de minério estejam alojados segundo o caimento dos eixos de dobras, mergulhando continuamente por pelo menos 4,8 quilômetros, Vial *et al.* (2007b) defendem que o metamorfismo e a deformação são anteriores à mineralização.

A idade modelo, baseada na razão isotópica de Pb, é de $2,82 \pm 0,05$ Ga, tanto para o sulfeto quanto para o Au de Morro Velho. Idades U-Pb em monazitas hidrotermais das minas de Cuibá e Morro Velho indicaram uma idade de 2672 Ma para mineralização (LOBATO *et al.*, 2007).

ii. Mina Bela Fama

Também localizada em Nova Lima, aproximadamente 3 km a sudeste de Morro Velho, a Mina Bela Fama (Figura 2.7)

iniciou a lavra no século XVIII, com atividade intermitente até a década de 1990, quando foi paralisada a uma profundidade de 300m. A produção total foi de aproximadamente três toneladas de Au, em minério com teor médio de 9g/t, tendo Ag como subproduto.

O minério está associado à zona de cisalhamento que afetou a unidade lapa seca. A zona mineralizada, ou a ela associada, é formada por filito carbonoso e carbonático, rochas vulcanoclásticas ácidas (tufos) xistificadas, lapa seca maciça (ankerita - Fe dolomita – quartzo - albita) e veios de quartzo.

Nessa mina, a lapa seca ocorre de forma subordinada, representada em lentes métricas não mineralizadas. Os corpos de minério estão vinculados a enriquecimentos de pirita, nas bordas de veios de quartzo situados no contato entre a rocha vulcanoclástica ácida e o filito carbonoso-carbonático ou a lapa seca. Possuem dimensões médias de um metro de espessura, 10 a 40 metros de largura e são persistentes por até mais de 600 metros ao longo do caimento dos eixos de dobras.

O principal mineral-minério é a pirita (90%), com esfalerita, galena, calcopirita, tetraedrita, ouro livre e *electrum* constituindo até 3% do minério. O ouro ocorre livre em veios de quartzo hidrotermal e associado à pirita junto com ganga de quartzo, carbonato, sericita, clorita e albita, resultantes da alteração hidrotermal de sulfetação, silicificação, cloritização, albitização, sericitização e carbonatação.

iii. Mina Bicalho

Essa mina, também situada em Nova Lima (Figura 2.7), iniciou a lavra no período colonial, durante o século XVII, em atividades intermitentes até 1998, quando foi encerrada a 600m de profundidade. Durante a vida útil da mina foram produzidas cerca de 10 toneladas de Au com teor médio de 9,0g/t e Ag como subproduto.

Como em Bela Fama, o depósito é filoneano associado à zona de cisalhamento que afetou a unidade lapa seca. A zona mineralizada é formada por filito carbonoso-carbonático, rocha carbonato-feldspática com mica e quartzo e carbonato-quartzito com mica verde (lapa seca) e metatufos intermediários hidrotermalmente alterados (quartzo-carbonato-sericita xisto, carbonato-clorita xisto e filonito de dique básico) envolvidos pelo filito carbonoso-carbonático.

A lapa seca comporta-se de modo análogo ao observado em Bela Fama, com zonas maciças ou xistosas. A lapa seca xistosa hospeda lentes sulfetadas auríferas que, localmente, também ocorrem na porção maciça. O principal sulfeto é pirita aurífera (~90% dos sulfetos), associada à pirrotita, arsenopirita, esfalerita, galena, calcopirita, tetraedrita, ouro e *electrum*, compondo até 5% do minério. O ouro ocorre livre em

veios de quartzo e em lentes ricas em pirita aurífera, com ganga de quartzo, carbonato, sericita, clorita e albita, produtos da alteração hidrotermal de sulfetação, silicificação, cloritização, albitização, sericitização e carbonatação.

A3. Depósitos de ouro em veios de quartzo

Esse tipo parece corresponder àquele relacionado à vulcânicas máficas e ultramáficas e a rochas sedimentares associadas, no entendimento de Lobato, Ribeiro-Rodrigues e Vieira (2001b). Lobato *et al.* (2001b). Englobando as minas de Juca Vieira, Fernandes, Descoberto e Carrapato de Baixo (VIAL *et al.*, 2007c), Santana e Descoberto da Serra da Piedade (LOBATO; RIBEIRO-RODRIGUES; VIEIRA, 2001b).

Os veios de quartzo auríferos, geralmente, mostram zonas simétricas de alteração hidrotermal, com finas bordas formadas principalmente por pirita. O mineral-minério predominante é a pirita ou a arsenopirita (ambos até aproximadamente 80% em volume) com participações variáveis e não onipresentes de pirrotita, esfalerita, galena, calcopirita, estibinita, tetraedrita-tennantita e bournonita. As concentrações de sulfetos no minério variam entre 5 e 6%. As gangas são formadas por quartzo, carbonato e sericita. Os processos de alteração hidrotermal envolvem sulfetação, silicificação, carbonatação e sericitização.

i. Mina Juca Vieira

Localizada na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero, no município de Caeté, a Mina Juca Vieira iniciou as atividades extrativas no século XVII, com produção intermitente e consta que estava inativa há mais de uma década em 2013. É propriedade da Mineração Morro Velho. A lavra foi subterrânea e avançou até 300 metros de profundidade, mas os corpos de minérios avançam pelo menos até 400 metros de profundidade.

Juca Vieira é um depósito em veios auríferos de quartzo-carbonato-sulfeto±albita envolvidos por mica branca (LOBATO *et al.*, 2001b) e (±clorita), encaixados em zona de cisalhamento dúctil, hidrotermalizada, com cerca de 10 quilômetros de comprimento e 2,5 quilômetros de largura, que afeta rochas vulcânicas intermediárias a máficas. A mineralização aurífera está hospedada em rochas hidrotermalmente alteradas representadas por: 1. rochas vulcânicas máficas a intermediárias transformadas em clorita-carbonato xisto; 2. carbonatos de ferro-quartzo-albita (tipo lapa seca); e 3. xistos carbonosos (DUCHINI *et al.*, 1990), com os corpos de minério de Au-sulfeto vinculados a veios de quartzo-carbonato com dois a 40 metros de espessura e brechas (VIEIRA, 1988; LOBATO *et al.*, 2001b).

As maiores concentrações de sulfetos, principalmente arsenopirita, são encontradas em domínios fortemente sericitizados, no contato com os veios de quartzo-carbonato. Secundariamente, ocorrem pirita, pirrotita, esfalerita, galena, calcopirita, bournonita (PbCuSbS_3), estibinita, scheelita e tetraedrita-tennantita em ganga de quartzo, carbonato, sericita e clorita, resultantes de processos de alteração hidrotermal de sulfetação, silicificação, sericitização, cloritização e carbonatação (PEREIRA, 1996). Ouro livre ocorre em veios de quartzo ou em veios com bournonita (LOBATO *et al.*, 2001b).

A produção histórica foi de aproximadamente quatro toneladas Au, com teor médio de 6,0g/t, com Ag como subproduto.

ii. Mina Fernandes

Situada na região de Caeté (Figura 2.7), foi lavrada desde o início no século XVIII, com atividades intermitentes, até a década de 1940, quando foi encerrada na profundidade de 150 metros.

O minério está contido em veios de quartzo hidrotermal alojados em zona de cisalhamento, com corpos de dimensões médias em torno de 1,5 metro de espessura, 10 a 40 metros de largura e continuidade mínima de 400 metros em profundidade (comprimento), ao longo do caimento dos eixos de dobras que os condicionam. Os veios mineralizados estão confinados a metapelitos carbonosos-carbonáticos (quartzo-carbonato-sericita-biotita-grafita xisto), com quantidades variadas de material carbonoso (até grafita xisto), cortados por intrusões básicas. Os sulfetos (pirita, pirrotita e arsenopirita) apresentam-se em quantidades variadas e irregulares, geralmente na periferia de veios de quartzo, em associação com esfalerita, galena, calcopirita, tetraedrita ($(\text{Cu,Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$), ouro nativo/livre (predominante no depósito) e *electrum*, com ganga de quartzo, carbonato e sericita, resultantes de processos hidrotermais de sulfetação, silicificação, sericitização e carbonatação.

Em sua vida útil, Fernandes produziu muito pouco ouro, cerca de 200 quilos com teor médio de 6,0g/t, existindo estimativa de reservas de 300 quilos de Au até 300 metros de profundidade. A prata foi subproduto, com teores e volume não divulgados.

A4. Depósitos de ouro em sulfetos disseminados e vênulas/filonetes de quartzo

Estão representados nas minas ou depósitos Moita, Córrego do Sítio, Alto Gago, Catita e Carrapato de Baixo (VIAL *et al.*, 2007c citam, também, Carrapato de Baixo também no tipo B1c).

i. Mina Córrego do Sítio I

De propriedade da AngloGold Ashanti Mineração, essa mina está localizada no município de Santa Bárbara, borda leste do QF (Figura 2.7), próximo à Mina São Bento ou Córrego do Sítio II. Esse depósito foi descoberto em trabalhos de prospecção geoquímica na década de 1980 e a atividade extrativa funcionou a partir de 1990, com um certo período de inatividade.

Até 1998, a lavra foi a céu aberto, na zona de minério oxidado (THORMAN *et al.*, 2001), com teor médio de 3g/t (NAKAMURA; REINHARDT; MATTA, 1990; TAKAY; PINTO; DUCHINI, 1991). Cerca de 4,9 toneladas de ouro foram produzidas entre 1990 e 1998 (THORMAN *et al.*, 2001). Em 2001, iniciou-se uma segunda fase de operação. Em 2009, o projeto de lavra subterrânea estava em andamento.

A mineralização está hospedada em uma sequência turbidítica constituída de metapelitos carbonosos, metapelitos e metapsamitos, intercalada com metavulcânicas félsicas a intermediárias (quartzo xistos vulcanoclásticos e clorita xisto) e pouca formação ferrífera de fácies carbonato da Unidade Córrego do Sítio, Grupo Nova Lima (THORMAN *et al.*, 2001; MASSUCATO; LIMA, 2007) (Figura 2.10).

O minério ocorre sob a forma de sulfetos disseminados na rocha encaixante e também como veios lenticulares de quartzo-carbonato dispostos em *echelon* ou *boudins*, ambos posicionados ao longo da zona de cisalhamento que corta a sequência turbidítica. A concentração maior do minério ocorre nos trechos de maior deformação (mineralização tipo *narrow vein*), as quais tem desde centímetros até 10 metros de espessura.

Os corpos mineralizados têm entre 1 a 4 metros de largura, 60 a 70 metros de espessura e 150 a 200 metros de comprimento (MASSUCATO; LIMA, 2007). São compostos predominantemente por quartzo, mica branca e quantidades menores de clorita. Os minerais-minério arsenopirita, pirita, pirrotita podem representar até 20% dos corpos, ao passo que uma vasta gama de sulfetos, incluindo diferentes associações de Cu-Fe-Ni-Sb-Pb-Zn (*e.g.* ullmannita, berthierita, estibinita, pentlandita), e o ouro chegam a 5% (DAVID, 2006, MASSUCATO; LIMA, 2007) (Figura 2.11).

A quantidade de sulfetos não ultrapassa 5% da rocha, com teores médios de 7g/t no minério sulfetado. O ouro raramente é livre e normalmente está associado à arsenopirita. A mineralização está tamponada por rochas básicas, que teriam favorecido a precipitação dos fluidos nas zonas hidrotermalizadas, e pela geometria dos corpos estruturalmente controlados (MASSUCATO; LIMA, 2007). Trabalhos anteriores ressaltam que nas zonas superficiais, até cerca de 100 metros de profundidade, os sulfetos transformam-se em óxidos com

textura *boxwork* e liberaram ouro muito fino (TAKAY; PINTO; DUCHINI, 1991; CANALE, 1999; LOBATO *et al.*, 2000, 2001b).

ii. Mina Moita

Esse depósito ocorre a sul de Caeté (Figura 2.7) e foi identificado a partir de trabalhos de geoquímica exploratória no início da década de 1990, entrando em produção em 1997. A lavra desenvolveu-se nos primeiros 70 metros a céu aberto, em rochas intemperizadas até a profundidade de 100 metros. A produção, até 2006, foi de aproximadamente uma tonelada de Au, com teor médio de 2,5g/t, tendo Ag como subproduto.

O depósito está hospedado em rochas metamáficas (metabasalto) associado a filitos carbonosos, sericitaxistos e metaultramáficas. Ocorrem dois corpos de minério principal, os quais são do tipo *stratabound* com sulfetos disseminados e vênulas controlados por eixos de dobra isoclinais com atitude 110/25. A zona hidrotermalizada tem de 30 a 50 metros de espessura, 100 a 500 metros de comprimento na superfície e projeta-se por mais de 500 metros de profundidade, assumindo formas lenticulares (VIAL *et al.*, 2007c).

Segundo os autores, os sulfetos auríferos, pirita e arsenopirita, em quantidades equivalentes, ocorrem disseminados no xisto básico, que apresenta-se com zonas caolinizadas (argilizadas) e quartzo. Nas zonas superficiais oxidadas, o ouro ocorre na forma livre, mas o enriquecimento supergênico não parece ser relevante. As concentrações de sulfetos no minério chegam a 10% em volume. A ganga é formada por quartzo, carbonato, sericita, clorita e caulim.

iii. Complexo Minerário de Paciência

Esse complexo compreende as minas subterrâneas Santa Isabel, Palmital e NW1, além de vários alvos (*e.g.* Bahú, Rio do Peixe, Ouro Fino) de propriedade da *Jaguar Mining Inc.* (MSOL). As minas localizam-se no município de Itabirito, 80 quilômetros a sudeste de Belo Horizonte (Figura 2.7).

O complexo possui dois tipos principais de mineralizações, uma associada a sulfetos disseminados em zona de cisalhamento e/ou veios microcristalinos de quartzo (*e.g.* Santa Isabel), outra associada a paleoplacer em metassedimentos paleoproterozoicos (*e.g.* Palmital), descrito no item B3.

O primeiro grupo está associado, principalmente, à Zona de cisalhamento transcorrente de São Vicente, que afetou as rochas metassedimentares da Formação Córrego do Sítio, Grupo Nova Lima. Nesse *trend* ocorrem inúmeras evidências de trabalhos pretéritos de exploração de ouro em superfície, ao longo de mais

de 20 quilômetros de extensão. Predominam, como rochas encaixantes, quartzo-mica/sericita-(carbonato) xisto, filito carbonoso e formação ferrífera bandada tipo Algoma.

A **Mina Santa Isabel**, iniciou as operações em 2008, e tem o minério associado, preferencialmente, ao quartzo-sericita xisto, na forma de sulfetos em zonas de cisalhamento ricas em lentes com quartzo-carbonato e mica verde.

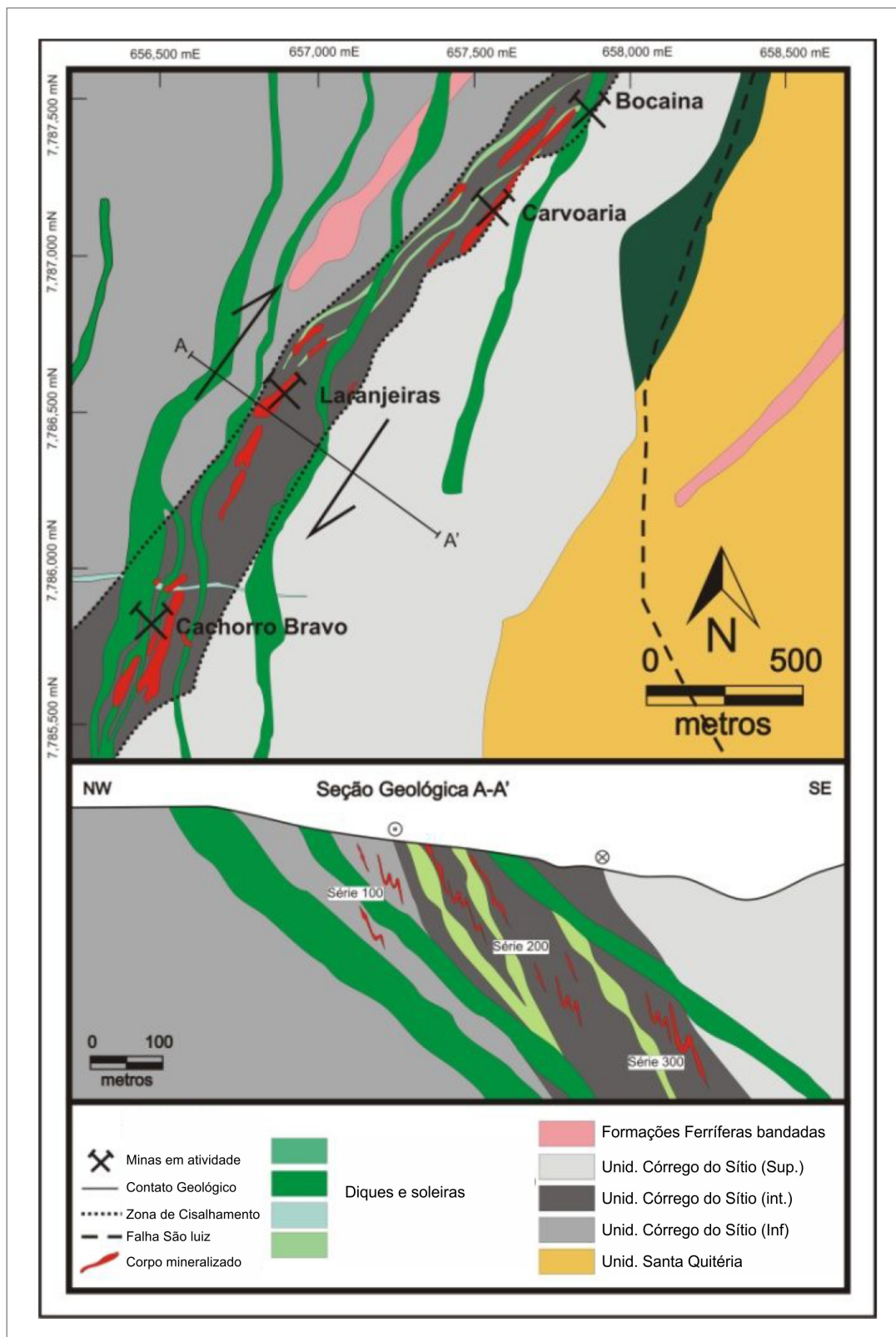


Figura 2.10 - Mapa litológico do Lineamento Córrego do Sítio com seção geológica e destaque para os depósitos Cachorro Bravo, Laranjeiras, Carvoaria e Bocaina. Extraído de Pereira *et al.* (2013).

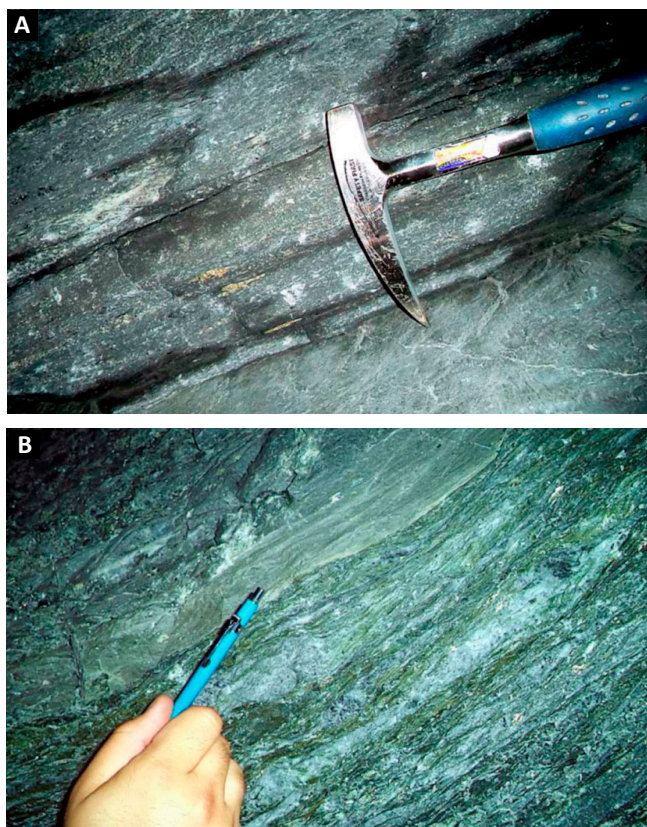


Figura 2.11 - Fotos do Corpo Laranjeiras, mina Córrego do Sítio I. A) ouro associado a sulfetos, principalmente arsenopirita, disseminados no metassedimento; B) veios de quartzo com sulfetos de Fe-Sb (bertierita). Fotos cedidas pela geóloga Joanna Araujo (SGB/CPRM).

Os sulfetos são, principalmente, pirita e, em menor quantidade, pirrotita, arsenopirita e estibinita, além de galena e esfalerita em pequena quantidade. São de granulção fina, disseminados ou orientados, preferencialmente, segundo níveis paralelos à foliação, e bordejando as concentrações quartzo-carbonáticas imersas no xisto. O ouro tem granulometria inferior a 200 *mesh*, ocorrendo na forma livre ou associado, principalmente, à pirita, com indicações de ter sido transportado como $Au(HS)_2$, precipitando ouro pela interação das soluções com a formação ferrífera bandada, formando sulfetos ou pela acidificação do meio, permitindo a formação de ouro livre, conforme modelo de Hagemann e Cassidy (2000). A espessura da faixa mineralizada varia entre dois e 130 metros, orientada na direção média N37W com mergulho entre 35 e 50°NE. A mineralização está controlada por estruturas lineares com caimentos médios de 110°/22°.

iv. Região de Tinguá (Carrapato, Caeté)

Na região de Tinguá, localizada no nordeste do Quadrilátero Ferrífero, são conhecidas diversas ocorrências de ouro, expostas em mais de trinta catas ou minas inativas, algumas superficiais e outras em galerias (SOUZA

FILHO; SCHRANK, 1991). O controle das mineralizações é tectônico, como em outros depósitos, alojando-se em zonas de cisalhamento que afetaram rochas metavulcânicas (ultramáficas, máficas, félsicas) das unidades basais do Supergrupo Rio das Velhas.

Os corpos de minério têm arranjo alongado, orientados aproximadamente no rumo ESE, concordantemente com a lineação de estiramento nas zonas de cisalhamento, segundo os autores acima. Uma das zonas mineralizadas é conhecida como Carrapato, que contém duas minas.

Na Mina Carrapato de Cima, o corpo de minério arranja-se em dobras isoclinais em rampa oblíqua, com depósitos auríferos tipo substituição *stratabound*; na Mina Carrapato de Baixo, o minério ocorre em veios de quartzo maciço e/ou bandado associados a quartzo-carbonato-sericita-xistos.

A **Mina Carrapato de Cima** mostra uma mineralização controlada por dobra isoclinal recumbente, alojando corpos de minério alongados paralelamente à direção da lineação de estiramento mineral, provavelmente pequenas dobras em bainha, similares a tectonitos L (SOUZA FILHO; SCHRANK, 1991). O minério, constituído por quartzo-carbonato-sulfetos, tem arranjo bandado com *metachert* carbonoso, junto a xisto carbonoso e sericita xisto. Os sulfetos são pirita (predominante), arsenopirita, pirrotita, calcopirita, com quantidades bem menores de esfalerita, galena e pentlandita. O ouro ocorre, principalmente, associado à pirita e, eventualmente, na ganga quartzo-carbonática (dolomita ferruginosa, ankerita, siderita).

A **Mina Carrapato de Baixo** apresenta minério pouco sulfetado, associado a veios de quartzo-carbonato *boudinados* encaixados em quartzo-carbonato-sericita-xistos e xistos carbonosos. Os veios estão orientados, principalmente, segundo a lineação de estiramento e, subordinadamente, com orientação ortogonal a essa, constituindo *rods* segundo os eixos das dobras. As associações litológicas e minerais são similares às observadas no Depósito Carrapato de Cima (SOUZA FILHO; SCHRANK, 1991). O ouro ocorre na forma livre, principalmente junto aos veios de quartzo-carbonato.

A5. Depósitos de ouro em formação ferrífera bandada (FFB) de fácies metamórfica anfibolito

A principal mina é Pari (ou Pary), a qual é similar às minas de Patrimônio, Bahú e Gambá (VIAL *et al.*, 2007c). O minério corresponde a alternâncias de leitos de sulfetos e anfibólios.

v. Mina Pari (Pary)

Está situada na região de Santa Bárbara, extremo leste do Quadrilátero Ferrífero (Figura 2.7). A lavra iniciou-se

em 1882 e foi encerrada em 1937. A exploração foi subterrânea, com produção de cerca de 6 toneladas de Au, com teor médio de 10g/t. São estimados recursos remanescentes de 500 mil toneladas de minério no intervalo entre a superfície e 700 metros de profundidade, segundo a vertical, provavelmente com teores mais baixos.

Trata-se de depósito estratiforme de ouro hospedado em formação ferrífera bandada sulfetada, representada por alternâncias de leitos de sulfetos e de anfibólitos, metamorfizada em fácies epidoto-anfibolito (paragênese hornblenda + granada + grunerita).

Abaixo do corpo mineralizado, ocorre metagrauvaca e, acima, anfibolito (metavulcânica básica de grão fino). Mais acima, ocorre alternância de finos leitos de lava máfica, formação ferrífera bandada e rochas carbonáticas. Esse pacote assenta-se sobre rochas komatiíticas do Grupo Quebra Osso, base do Supergrupo Rio das Velhas.

O depósito foi investigado em subsuperfície, mostrando corpos de comportamentos irregulares, alguns sendo persistentes, outros não. Pelo menos um deles (Horizonte Pari) chega a mais de 730 metros de profundidade, com continuidade segundo o mergulho.

A rocha hospedeira do depósito é a formação ferrífera bandada sulfetada do tipo Algoma, que ocorre intercalada a metabasaltos ricos em ferro. A formação ferrífera apresenta entre 50 centímetros até 5 metros de espessura e média de 1,5 metro (VIAL *et al.*, 2007c).

De acordo com os autores, os minerais de minério são arsenopirita (60%) e pirrotita (35%) auríferas e, secundariamente, pirita, esfalerita, calcopirita, magnetita, pentlandita, ouro nativo e *electrum* (liga natural de Au-Ag). As concentrações de sulfetos no minério chegam a 20% em volume.

Os processos de alteração hidrotermal envolvem sulfetação, silicificação e cloritização. Em alguns locais, o ouro pode estar associado a veios de quartzo com muito pouco sulfeto. As gangas são formadas por quartzo, granada, carbonato, hornblenda, Na-hornblenda, Fe-clorita e grunerita.

A6. Depósitos de ouro com metais-base disseminados ou maciços

O único depósito conhecido no Supergrupo Rio das Velhas com associação com metais-base é a Mina Bico de Pedra, em Rodrigo Silva, a sudoeste de Ouro Preto. No local, ocorre uma mineralização com a seguinte associação: Sb-Au-Cu-Zn-Bi-Pb. O ouro era a principal substância em exploração. O depósito foi lavrado entre 1941 e 1947, em mina subterrânea até a profundidade de 140m, com teores médios de 1,87 gAu/t, 43,9 gAg/t, 0,52% de Pb, 1,53% de Zn, 0,36% de Cu (VAZ DE MELO, 1975 *apud* VIAL *et al.*, 2007c).

As rochas encaixantes do depósito são metaperidotito komatiítico (carbonato-clorita-talco-biotita xisto), metabasalto (carbonato-quartzo-biotita-clorita-palgioclásio xisto) e metapelitos (quartzo-sericita xisto com lentes de metaconglomerado) (*Cf.* VAZ DE MELO, 1975 *apud* VIAL *et al.*, 2007c) e, segundo Borba (1998), um aplito trondhjemitico sintectônico.

Os corpos de minério são controlados por zonas de cisalhamento desenvolvidas próximo ao contato tectônico entre os grupos Nova Lima (Arqueano) e Itacolomi (Paleoproterozoico) (BORBA, 1998). A zona de cisalhamento tem até 10 metros de espessura e o corpo principal de minério tem seção em planta de 1m x 40m.

O minério ocorre em veios em filito sericítico e clorita xisto (GUIMARÃES, 1944) ou formando bandas mono- a poliminerálicas no corpo de aplito, denominado Bico de Pedra (BORBA, 1998). Conforme os autores acima, a alteração hidrotermal é marcada por potassificação (sericita, biotita), carbonatação (ankerita, siderita), silicificação (quartzo) e sulfetação (pirita, pirrotita, calcopirita, galena, esfalerita, calcosita secundária), ocorrendo, também, bismuto nativo, clorita, turmalina, magnetita e ilmenita. Os minerais-minério são pirita (40%), pirrotita (30%), galena, esfalerita, calcopirita, ouro nativo e *electrum* (liga natural de Au-Ag). As concentrações de sulfetos no minério chegam a 20%.

A mineralização teria vínculo genético com fluidos hidrotermais relacionados a magmatismo plutônico félsico, provavelmente associado à orogênese transamazônica e à granitogênese de 2,12Ga (BORBA, 1998; VIAL *et al.*, 2007c), embora anteriormente tenha sido considerada como de provável origem vulcano-gênica (MATOS, 1991).

B) Depósitos de ouro hospedados em unidades do Supergrupo Minas (Paleoproterozoico).

Esse grupo reúne três tipos de depósitos de ouro: 1) em veios de quartzo com arsenopirita e turmalina; 2) paladiado em itabiritos, tipo jacutinga; 3) em sedimentos grossos, tipo Witwatersrand.

B1. Ouro em veios de quartzo com arsenopirita e turmalina

Este tipo de depósito está representado, principalmente, pela Mina Passagem de Mariana, além das minas de: Rocinha, Morro Santana, Mata Cavalo, Veloso, Chico Rey, Taquaral, Cibrão e Lavras Novas.

vi. Mina Passagem de Mariana

Está situada à margem da estrada municipal que liga Ouro Preto e Mariana, na porção sudeste do Quadrilátero

Ferrífero (Figura 2.7). Essa mina produziu mais de 60 t de Au desde o fim do século XVII até 1954, quando foi paralisada, permanecendo aberta para visitação pública como atração turística.

Para Ladeira (1991), esse é um depósito de ouro bem peculiar no Quadrilátero Ferrífero. A rocha hospedeira do ouro é um filito grafitoso atribuído à Formação Batatal do Supergrupo Minas, posicionado sobre quartzito da Formação Moeda (*footwall*) e sob itabirito da Formação Cauê (*hanging wall*). O metamorfismo regional é da fácies xisto-verde a anfibolito baixo, com retrorretromorfismo indicado, principalmente, por cloritização de biotita e granada.

Os corpos mineralizados são tabulares estratiformes, apesar de fortemente deformados por cisalhamento dúctil e *boudinados*. O minério é conhecido como ‘carvoeira’ pelos mineiros, devido à cor negra que apresenta por conter leitos de turmalinito preto com arsenopirita, quartzo leitoso e rocha dolomítica (LADEIRA, 1991). Segundo Vial *et al.* (2007c), o minério aloja-se em zona de cisalhamento de baixo ângulo, concordante com o acamadamento, que colocou o Itabirito Cauê (Paleoproterozoico) sobre outras unidades.

O depósito é do tipo orogênico e constitui-se de veios epigenéticos de quartzo com ouro e turmalina, aos quais associam-se ankerita, sericita, arsenopirita, pirrotita, pirita e, em menor quantidade, calcopirita, galena, löllingita, benjaminita, estibinita, marcasita, tetradiminita, cosalita ($Pb_2Bi_2S_5$), molibdenita, wolframita, berthierita, maldonita (Au_2Bi) e bismuto nativo (LADEIRA, 1991; VIAL *et al.*, 2007c).

A alteração hidrotermal compreende silicificação, turmalinização e sulfetação. O quartzo ocorre em quantidade superior a 60% em volume e turmalina (dravita) até 10% em volume nos veios, mas está presente em todas as rochas da mina, variando a intensidade da turmalinização em função da composição química da rocha hospedeira. Segundo os autores, os sulfetos concentram-se nas bordas dos veios ou estão disseminados no interior deles. A arsenopirita tem maior afinidade pelas rochas carbonáticas e carbonosas, ao passo que a pirrotita concentra-se na base de formações ferríferas.

A idade da mineralização é controversa. Enquanto alguns autores advogam uma gênese tardia ao pico metamórfico do evento deformacional paleoproterozoico, provavelmente entre 2,124 Ga e 2,04 Ga (VIAL *et al.*, 2007c), trabalhos recentes apresentam idades neoproterozóicas (485–490 Ma) para esses depósitos e propõem sua origem relacionada à migração de fluidos associada ao colapso do Orógeno Araçuai (CHAUVET *et al.*, 2001).

B2. Depósitos de Au-Pd em itabiritos (Au tipo jacutinga)

Jacutinga é o nome informal aplicado por mineradores para um itabirito manganêsífero pulverulento,

encaixado entre filito hematítico e formação ferrífera bandada silicosa (itabirito) da Formação Cauê, Grupo Itabira, Supergrupo Minas (LADEIRA, 1991). Outros autores (HENWOOD, 1871, HUSSAK, 1904, *apud* CABRAL *et al.*, 2009) consideravam como jacutinga os veios de quartzo-hematita-(talco-caolinita) com Au-Pd-Pt, que cortam itabiritos da Formação Cauê. Os principais representantes desse minério seriam as minas Gongo Soco, Maquiné, Cauê, Conceição, Taquaril, Bananal, Cata Preta e Antônio Pereira (ver Figura 2.3).

Depósitos de Au-Pd-(Pt) são conhecidos desde a região de Ouro Preto, no Quadrilátero Ferrífero, até Diamantina, na Serra do Espinhaço Meridional, sendo incorporados ao que Cabral *et al.* (2009) chamaram de Cinturão de Au-Pd Platinífero de Minas Gerais’. A concentração de Pt na jacutinga é maior no distrito de Itabira, ocorrendo em agregados de poucos milímetros, algumas vezes em ligas com outros elementos, como o Cu na hongshiita (KWITKO-RIBEIRO *et al.*, 2002). A partir de Itabira para norte, ao longo de cerca de 90 quilômetros do flanco oriental da Serra do Espinhaço, os depósitos tipo jacutinga, aparentemente, desaparecem (exceção feita à região de Guanhanês), passando a se identificar ocorrências de Pt-Pd-Au apenas em depósitos aluviais.

A presença de quantidades-traço de selênio, no minério de ouro paladiado (mineralização estilo bonanza), é referida nas minas de Gongo Soco e do distrito de Itabira, e são responsáveis por uma capa escura ferruginosa no ouro, que então é conhecido como ‘ouro preto’ (CABRAL; LEHMANN, 2007).

Segundo esses autores, a quantidade de Pd ligado ao Au (liga Au-Pd) determina o número de minerais seleníferos de Pd e Pt, representados por chrisstanleyita ($Ag_2Pd_3Se_4$), tischendorfita ($Pd_8Hg_3Se_9$), palladseite argenitífera empírica $[Pd_5(Hg,Sb,Ag)_2Se_6] - [(Pd,Sb,Ag,Hg)_5Se_4]$ (Mina de Gongo Soco), palladseite (idealmente $Pd_{17}Se_{15}$) e sudovikovita ($PtSe_2$) (Itabira). O Hg está restrito ao distrito de Itabira e, segundo Roeser, Schuermann e Tobschall (1991), poderia resultar de contaminação pela extração/lavagem secular de Au com uso de mercúrio, mas não eliminam a possibilidade de uma fonte natural.

Esses depósitos de Au-Pd-(Pt) do tipo Jacutinga representam um tipo muito particular de minério. Possuem forte controle estrutural segundo a direção nordeste, principalmente nas sinclinais de Itabira e Gandarela. O ouro ocorre livre e intercrescido com hematita especular, platinóides e outros minerais secundários e acessórios como goethita, magnetita, ilmenita, óxidos de Mn, talco, caolinita, flogopita, quartzo, turmalina, monazita, zircão, apatita, epidoto e rutilo; não ocorrem sulfetos (LOBATO *et al.*, 2014).

Para Olivo *et al.* (1995), a mineralização tipo jacutinga é resultado de processo hidrotermal segundo estruturas preferenciais. Galbiatti *et al.* (2007) restringem esse tipo

de minério ao Quadrilátero Ferrífero, embora referências também sejam feitas a minério similar na região de Conceição do Mato Dentro (VILELA; LAGUNA; SANTOS, 1983; VILETA; SANTOS, 1983). De qualquer forma, jacutinga é um tipo oxidado (ferruginoso) de ouro orogenético, contendo Pd-(Pt-Hg).

As idades das mineralizações são controversas, com indicações de $1,83 \pm 0,1$ Ga (Pb-Pb; OLIVO *et al.*, 1996), brasileiras, conforme Varajão *et al.* (2000) ou Galbiatti *et al.* (2007), e cambrianas, conforme Cabral *et al.* (2015), com valores de idades U-Pb (LA-SF-ICPMS) em monazitas dos veios de jacutinga em $495,6 \pm 2,2$ Ma, indicando um evento hidrotermal regional ao final do Brasileiro.

vii. Mina Gongo Soco

Situa-se no município de Barão de Cocais (Figura 2.3). Gongo Soco foi uma grande produtora de ouro atingindo, entre 1824 e 1856, quase 13t de ouro em mina subterrânea (quando a mina foi inundada e a atividade encerrada) seguindo os filões mineralizados, em meio ao minério de ferro friável (BURTON, 1869 *apud* JARDIM JR., 2001). A mina pertence à Vale desde maio de 2000, que passou a focar no minério de ferro.

O teor do minério era de *ca.* 15g/t na superfície, com subprodutos de Ag (~5%), Pd (~4%) e um pouco de Pt (menos de 0,10%) nos grãos de Au, conforme análise de Hussak (1905 *apud* LADEIRA, 1991). Os teores decrescem rapidamente em profundidade, atingindo *ca.* 2 g/t a aproximadamente 130 metros de profundidade. O aumento do teor para a superfície teria vínculo com enriquecimento supergênico.

O ouro deste depósito está associado à hematita especular, talco, caulinita e óxidos de manganês (CABRAL, 1996) e ocorre na forma de *electrum* acomodado em veios de quartzo alinhados em forma de rosário (*boudinados*), com arranjo espacial aproximadamente tabular (LADEIRA, 1991). Aparentemente, os teores mais elevados ocorrem onde a jacutinga tem maior enriquecimento em manganês. O ouro está associado a quartzo, mica branca, talco, rutilo, carbonatos, magnetita, óxidos e hidróxidos de Mn e Fe.

viii. Minas Cauê e Conceição (Distrito de Itabira)

Na Mina de Cauê (Figura 2.3), as atividades extrativas de Au iniciaram em 1984. De 1984 até 1999, haviam sido produzidas 7,9 toneladas de Au, com Pd-(Pt) (500 quilos de Pt *cf.* geol. Polônia, Vale, inf. Oral). O teor de Au era cerca de 30g/t, contendo aproximadamente 4% de Pd, 0,1% de Pt, 0,6% de Ag e 0,5% de Cu no ouro. Na Mina **Conceição** foram extraídos 705 quilos de Au-Pd entre 1987 e 1990 (OLIVO *et al.*, 2001; THORMAN *et al.*, 2001; GALBIATTI *et al.*, 2007; LOBATO *et al.*, 2014).

Os principais corpos de minério aurífero em Cauê estão hospedados em estrutura sinclinal, em cujo núcleo ocorre formação ferrífera bandada da Formação Cauê, Grupo Itabira, com controle estrutural envolvendo deformação rúptil (GALBIATTI *et al.*, 2007). Segundo esses autores, a mineralização está condicionada a uma zona de falhas transcorrentes, onde o minério de Au-Pd-(Pt) hospeda-se principalmente nas fraturas R e T e em suas interseções, no contato de corpos de hematita e rochas intrusivas com o itabirito.

A mineralização da **Mina Conceição** ocorre na mesma situação estratigráfica. Entretanto, Olivo e Gammons (2000) e Olivo *et al.* (2001) propõem que as mineralizações de Au e Pd-(Pt) do distrito de Itabira estão representadas por ouro paladiado e antimonetos e arsenetos de Pd, em veios de quartzo e hematita concordantes ou não com a foliação regional, com controle tectônico ocasionado pela Orogênese Transamazônica. O enriquecimento supergênico dos minerais-minério teria ocorrido a partir do Cretáceo, com liberação de Au, Pd-(Pt) e óxidos e hidróxidos com Pd.

ix. Depósitos de Antônio Pereira (Au)

Esses depósitos ocorrem ao longo de uma faixa com *ca.* 6 quilômetros de comprimento e 1 quilômetros de largura, situada no flanco NE da anticlinal de Mariana, conhecida como Lavra do Bugre (KWITKO-RIBEIRO, 1998; DARDENNE; SCHOBENHAUS, 2003). Segundo registros históricos, a região foi garimpada por mais de dois séculos. O teor varia entre 03-10g/t em associação com As, Hg e Ag.

As encaixantes do minério são rochas carbonáticas da Formação Gandarela (dolomito e dolomitos ferruginoso, silicoso e manganífero), que se intercalam e transicionam para as unidades ferruginosas da Formação Cauê (itabiritos silicosos, dolomíticos e manganíferos).

O intemperismo sobre essas unidades transformou os carbonatos em um material argilo-arenoso rico em Fe-Mn, conhecido na região como 'borra de café', por sua coloração marrom a amarelada ocre. O perfil de intemperismo pode ultrapassar 150 metros de espessura, a partir da superfície. Nos locais de maior concentração de Fe-Mn, na rocha original exposta à superfície, formam-se crostas lateríticas negras ou avermelhadas.

O minério tipo Bugre (KWITKO-RIBEIRO, 1998) corresponde a veios mineralizados que ocorrem em meio a essa massa argiloarenosa. O ouro é fino (~200µm) e ocorre junto com magnetita martitizada, hematita, argilomineiral, turmalina e óxidos de Mn (pirolusita, criptomelana). O minério mostra controle estrutural tardio em relação aos cavalgamentos provavelmente transamazônicos que afetaram a Anticlinal de Mariana (MARSHAK; ALKIMIM, 1989; KWITKO-RIBEIRO, 1998).

B3. Depósitos de Au-U-(pirita) hospedados em sedimentos proterozoicos (tipo Witwatersrand e assemelhados)

Esse tipo de depósito é representado pelo Depósito de Ouro Fino e por diversas cavas antigas de exploração de ouro, que são encontradas ao longo da zona de contato entre os supergrupos Rio das Velhas (Arqueano) e Minas (Paleoproterozoico). Os principais alvos mineralizados situam-se em flancos de estruturas sinclinais, em especial da Moeda, Ouro Fino e Gandarela (RENGER; SILVA; SUCKAU, 1988), nas serras das Gaivotas e do Gandarela meridional.

Esses depósitos são interpretados como do tipo paleoplácetes, originados da erosão de veios auríferos (LADEIRA, 1991; GARAYP *et al.*, 1991), e são considerados similares aos tipos *Witwatersrand* (África do Sul) e *Blind River* (Canadá). Devido à ação da tectônica que afetou o Quadrilátero Ferrífero, enquadram-se no tipo paleoplácer modificado.

A rocha encaixante é representada por rochas siliciclásticas rudáceas da porção inferior da Formação Moeda, do Grupo Caraça, Supergrupo Minas. A associação Au-U-pirita ocorre em conglomerados oligomíticos, com seixos de quartzo, e polimíticos, com matacões de até 50cm de diâmetro. Foram depositados em superfícies irregulares, em ambiente proximal de alta energia (MINTER *et al.*, 1990; GARAYP *et al.*, 1991) e interpretados como oriundos de uma sedimentação em sistema de leques aluviais e de rios entrelaçados, configurando barras arenosas e de seixos em clima árido a desértico (MARANHÃO, 1979; RENGAR; SILVA; SUCKAU, 1988).

A matriz dos metaconglomerado é composta por quartzo, pirita, mica branca, zircão, leucóxênio, turmalina, cromita, rutilo, monazita, calcopirita, covelita, idaita e muscovita. Em certos locais, também é carbonosa com pirofilita e clorita. A pirita predomina dentre os minerais pesados, constituindo entre 50 e 95% do total. Ocorrem piritas neoformadas e piritas detríticas, por vezes associadas a 'filmes' carbonosos interpretados como tapetes algais (VILAÇA; MOURA, 1981 *apud* LADEIRA, 1991). Os principais minerais de urânio são brannerita, uraninita e coffinita, com teor médio de cerca de 800 a 1.000ppm de U_3O_8 no minério, com recursos geológicos estimados da ordem de 15.000 toneladas de U_3O_8 contido (VILAÇA; MOURA, 1985; JAVARONI; MACIEL, 1985).

As transformações causadas pelos fluidos hidrotermais produziram pirofilita, ilita, muscovita, clorita, cloritoide, siderita, cianita, além de silicificação e sulfetação (principalmente pirita, com rara pirrotita e calcopirita). Au e U associam-se, principalmente, aos níveis com maior concentração de pirita detrítica, juntamente com monazita, zircão, anatásio, pirrotita e rutilo.

Eventualmente, os teores de Au podem chegar a 800g/t (GARAYP *et al.*, 1991), mas geralmente são bem menores, da ordem de até 10g/t, com os teores mais elevados nos primeiros decímetros do conglomerado, a partir do contato basal. Preferencialmente, associa-se à pirita porosa, e, em fraturas e nas bordas, de pirita recristalizada, neste caso junto com arsenopirita, pirrotita, pentlandita, sulfetos de Cu e gersdorffita. O ouro detrítico tem cerca de 12% de Ag e 2% de Hg (RENGER; MINTER, 1986).

Uma dificuldade para a pesquisa desses tipos de depósitos é a profundidade em que situam-se (a algumas centenas de metros ou mais) e a irregularidade dos corpos de conglomerados, difíceis de serem atingidos e amostrados de maneira consistente a partir da superfície.

Na **Sinclinal de Gandarela** - depósito de Au-U-pirita foi pesquisado pela CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear (VILAÇA; MOURA, 1985; FORMAN, 1982) e, mais recentemente, por empresas de mineração. A zona mineralizada, em conglomerado da Formação Moeda, situa-se na porção meridional do flanco oeste da Sinclinal do Gandarela, nos alvos Bota, Bocaina, Palmital, Boa Esperança, Guilherme e Crioulos, e na Serra da Gaivota.

Os valores de reservas (minério e metal) são discrepantes e confusos, e a forma de expressá-los depende da fonte. As reservas de minério avaliadas ao final da década de 1970 (MOURA, 1979) eram de aproximadamente 6.570 toneladas, com urânio contido em uraninita, petchblenda e thuchlita. Outra fonte indicava reserva total de 15.000 toneladas de minério com teor de 0,08% de U (FORMAN, 1982), em Gaivota, e maior interesse por ouro em Gandarela (trabalhos internos da CNEN).

A reserva de minério de ouro avaliada era de cerca de 790 mil toneladas com teor médio de 8,5g/t de Au (FERRAN, 1987 *apud* MATOS *et al.*, 2009). Atualmente, o interesse econômico volta-se a dois níveis de conglomerado oligomítico, o mais importante localizado na base da Formação Moeda, originado por um sistema de drenagem que escavou rochas xistosas do Grupo Nova Lima. O outro canal situa-se 60 metros acima (MATOS *et al.*, 2009). Trabalhos conduzidos recentemente pela Jaguar Mining indicaram recursos geológicos de cerca de 5 toneladas de Au contido com teor médio de 6g/t (LOBATO *et al.*, 2014).

A **Mina de Ouro Fino** possui uma situação similar à da Sinclinal de Gandarela, diferindo quanto ao caráter mais polimítico do metaconglomerado, com a presença de seixos de filito, formações ferríferas bandadas e rochas metavulcânicas atribuídas ao Supergrupo Rio das Velhas, e de seixos de quartzito intraformacional da Sequência Minas (VILAÇA; MOURA, 1985; VILAÇA, 1981). Nessa sinclinal, o Depósito Ouro Fino tem recursos geológicos da ordem de até 3 toneladas de Au, com teor médio de 5,5g/t no minério (LOBATO *et al.*, 2014). Recentemente, essa área também foi pesquisada pela Jaguar Mining.

Outras ocorrências e depósitos interpretados como paleoplácetes modificados ocorrem na borda leste do Quadrilátero Ferrífero. Atividades extrativistas são conhecidas desde o século XIX nas serras da Boa Vista (região de Santa Bárbara), onde as lavras restringiram-se às partes mais superficiais dos depósitos, com recuperação apenas do ouro mais grosso. Nos locais referidos, teriam sido extraídas centenas de quilos ou até algumas toneladas de ouro (ROSSI *et al.*, 2007).

As principais mineralizações compreendem os garimpos da Serra da Boa Vista, Fazenda Gualaxo, Morro da Água Quente e as minas Quebra Osso, Tesoureiro, Pitanguí e Cata Preta (ROSSI, 2010). Existe grande discussão acerca da estratigrafia das rochas hospedeiras desses depósitos, sendo atribuídas por diferentes autores ora ao Grupo Itacolomi, ora Grupo Caraça (Supergrupo Minas) ou mesmo Grupo Maquiné (Supergrupo Rio das Velhas) (ROSSI *et al.*, 2007).

Nessa região, o ouro ocorre em duas formas: em filitos (e.g. Mina de Quebra Osso) ou em metaconglomerados e quartzitos (LUCHESE, 1991 *apud* ROSSI, 2010). O ouro associa-se a níveis xistosos e filíticos-filoníticos com fuchcita, carbono, pirita e óxidos de ferro (hematita, magnetita), junto de níveis metaconglomeráticos, em posição basal de sequências quartzíticas, e em drenagens que cortam essa associação de rochas (ROSSI *et al.*, 2007).

A pirita é detrítica, com sobrecrecimento metamórfico e também neoformada. O ouro grosso é detrítico e livre. O ouro fino é reprecipitado nos sedimentos finos a partir da dissolução dos depósitos em paleoplácetes durante diagênese e metamorfismo, ocorrendo na forma livre ou incluso na pirita neoformada. Associada ao ouro ocorre prata, em até 20% em peso no ouro mais grosso e entre 10 e 15% no ouro reprecipitado.

O ouro detrítico também é conhecido nos metaconglomerados arqueanos do Grupo Maquiné, unidade clástica continental superior do Supergrupo Rio das Velhas, mas que até o momento não constitui depósitos importantes.

2.4. OUTRAS OCORRÊNCIAS

Talvez uma das primeiras referências escritas sobre ouro em **Sumidouro** (atual Padre Viegas), em Mariana, tenha sido feita por Eschwege (1833) em tabela intitulada *“Relação de todas as lavras de ouro de cada distrito da Província de Minas Gerais, incluindo o nome dos proprietários, situação e natureza das lavras, número de trabalhadores e produção total de ouro em 1814”*. Constam na *“freguesia”* Sumidouro os *“distritos”* auríferos Abre Campo, Sumidouro, Brumado e São Miguel. Não há referência à localização geográfica exata de cada distrito. Fixando no distrito Sumidouro, há informação de cinco frentes de lavras, com 80 trabalhadores empregados nas lavras, 30 faiscadores livres e 15 faiscadores escravos.

A produção, declarada em 1814, foi de 665 oitavas nas lavras e 785 oitavas por faiscadores. Atualmente, isso corresponde a 5.200 gramas de ouro.

Esses “distritos” não são os que se conhece atualmente e também não têm relação com os nomes dos mineiros daquela época. São conhecidas as ocorrências **Cavalo Branco, Cavalo Branco Novo, Alegria, Tinoco, Capoeirão, Jambeiro, Barro, Castro, Vazado do Meio, Vazado de Baixo, Vazado de Cima, Dona Rita, Chiqueiro**.

A mineralização de Au de Sumidouro contém stolzita (PbWO_4) e scheelita (CaWO_4), é conhecida, por alguns quilômetros, em faixa estreita orientada aproximadamente NS a NNW, em região onde ocorrem micaxistos com lentes de itabirito e anfibólio xisto (GUIMARÃES; COELHO, 1944) (Figura 2.12).

A mineralização parece estar condicionada a dobras em micaxisto com eixos mergulhando cerca de 38°S, na região de Vazado. Trabalhos de prospecção mostraram indicações promissoras apenas em **Vazado de Cima, Tinoco, Cavalo Branco**, com a presença de Au e W em lentes de quartzo fraturadas em biotita-clorita xisto e anfibólio xisto. Em **Tinoco**, ocorreu até 13,4 gAu/t com teor médio inferior a 3 gAu/t, traços de W e, eventualmente, cristais de galena e pirita. Em **Vazado de Cima** o teor máximo chegou a 4,1% WO_3 na faixa mineralizada. No protominério sulfetado, ocorrem quartzo, sericita, fuchcita, dolomita, calcita, Co-arsenopirita (mispickel), galena, pirita e rara calcopirita. Os minerais oxidados originaram-se por intemperismo (GUIMARÃES; COELHO, 1944). Esses autores apresentam mapas de superfície e subsuperfície em galerias que vale a pena ser consultados por quem se interessar em verificar as ocorrências.

2.5. OCORRÊNCIAS DE Sb, Hg, W, Zn, Pb, Cu E OUTROS ELEMENTOS METÁLICOS, ASSOCIADOS OU NÃO A OURO

A ocorrência de associações metálicas, associadas ou não ao ouro, incluem, no domínio do Quadrilátero Ferrífero, depósitos e ocorrências de Au-Cu-Pb-Zn±(Sb-Bi) – Bico de Pedra, Cu-Pb-Zn-Sb – Morro do Bule, Hg-Sb – Três Cruzes e Dom Bosco, Au-W – Sumidouro, além de ocorrências de Sb, como em Olhos D’água, Pau Branco, Miguel Burnier (Usina Wigg), entre outras (Figura 2.13). Apenas em Bico de Pedra, Morro do Bule, Olhos D’água e Três Cruzes existem registros de trabalhos de lavra que datam entre o início do século XIX e o início do século XX.

As rochas encaixantes dessas mineralizações são diversas e em alguns casos, controversas, sendo por vezes associadas a rochas do Grupo Nova Lima (Supergrupo Rio das Velhas), Grupo Itabira (Supergrupo Minas) ou mesmo Grupo Sabará. Da mesma forma, a caracterização e a gênese dessas ocorrências são pouco conhecidas e motivo de dúvidas.

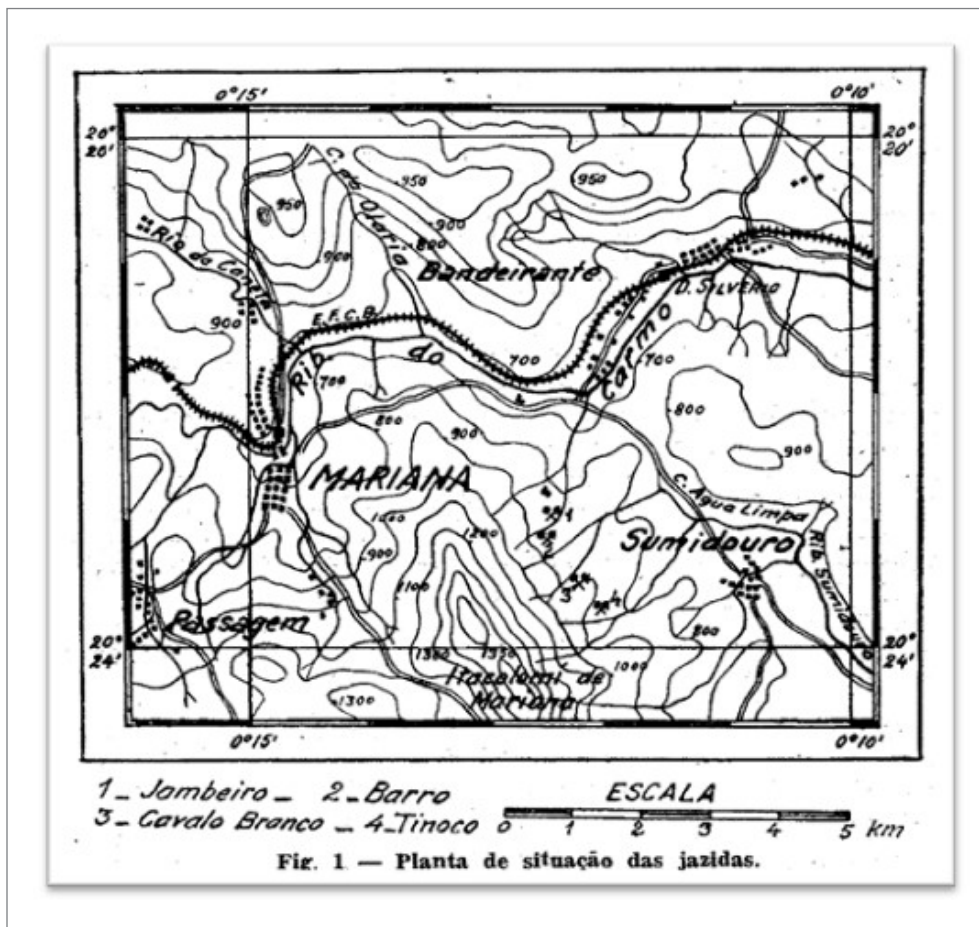
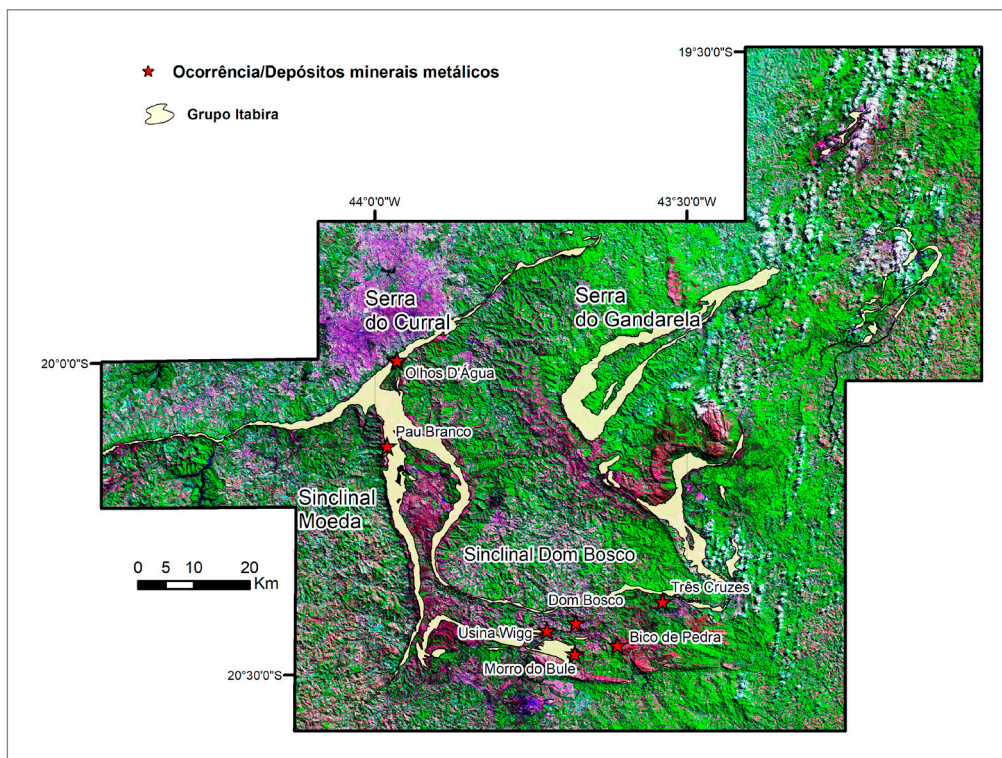


Figura 2.12 - Localização das lavras de Au-W em Sumidouro, atual Padre Viegas, Mariana, MG. Fonte: Guimarães e Coelho (1944).



2.5.1. Jazida Bico de Pedra - Au-Cu-Pb-Zn±(Sb-Bi)

Em 1940, garimpeiros descobriram ocorrências de Au em Bico de Pedra, uma localidade próxima à estação Rodrigo Silva, distrito de Ouro Preto. Após a descoberta, foi criada a Mineração Bico de Pedra, que iniciou trabalhos de pesquisa, encontrando também galena e esfalerita, além de Cu, Sb e Bi. O depósito foi lavrado em mina subterrânea, entre 1941 e 1947, até a profundidade de 140 metros (VAZ DE MELO, 1975 *apud* VIAL *et al.*, 2007c). Interessada pelo potencial mineral da área, em 1975, a Rio Doce Geologia e Mineração (Docegeo), empresa do Grupo Vale do Rio Doce, atualmente Vale, concluiu as pesquisas em Bico de Pedra, onde realizou trabalhos de mapeamento geológico em superfície e subsuperfície, e cerca de 15 furos de sonda profundos (FORLIN, 1974; MIDDLETON, 1975).

As reservas calculadas nos trabalhos da Docegeo foram de cerca de 30 mil toneladas de minério, com teor médio de 1,87 gAu/t, 43,9 gAg/t, 1,53% de Zn, 0,52% de Pb e 0,36% de Cu (VAZ DE MELO, 1975 *apud* VIAL *et al.* 2007c), com teores variáveis de zero até 6% de Zn, até 10% de Pb e até 4% de Cu, em distâncias de decímetros a metros. Os teores de Au variaram entre 1 g/t e 13 g/t, em bandas de mineralização sulfetada com 05 a 13 cm de espessura em um estrato com até oito metros de espessura e continuidade lateral de até 45 metros de comprimento para cada banda (MIDDLETON, 1975). Lyrio, Leal e Oliveira (1976), também da Docegeo, apresentou valores um pouco diferentes de teor, com 1,45 gAu/t, e valores iguais aos anteriores para os demais elementos. Segundo trabalhos do SGB-CPRM (OLIVEIRA; RIBEIRO; SOUSA, 1979), o teor de Cu raramente ultrapassa 1%.

Guimarães (1961), em *“Fundamentos da metalogênese e os depósitos minerais do Brasil”*, refere-se a Bico de Pedra, ressaltando que *“o serrote de Bico de Pedra é formado em rochas do Grupo Itacolomi (na base camadas conglomeráticas), que assentam em discordância sobre clorita-biotita xisto ankerítico com intercalação de talcito, ficando a mineralização entre o talcito e o xisto”*.

Os xistos são interpretados como pertencentes ao Grupo Nova Lima, de idade arqueana, e são representados na área por xistos grauvaquianos carbonáticos, talco xistos, clorita xistos com conteúdo diverso de sericita, quartzo, carbonatos, talco ou óxidos de ferro ferruginosos, além de lentes de formações ferríferas bandadas. Alguns autores interpretam que os protólitos dessa assembleia litológica sejam metaperidotito komatiítico e metabasaltos (VAZ DE MELO, 1975 *apud* VIAL *et al.* 2007c). O Grupo Itacomoli é representado por sericita-quartzo xisto e quartzito sericítico, ora

conglomerático (FORLIN, 1974; MIDDLETON, 1975). São descritos também diques de diabásio e gabro que cortam as unidades anteriores.

Guimarães (1961) considera que a rocha hospedeira, o *‘veieiro-camada’*, é o próprio micaxisto, com lentes piritosas com substituição de ankerita, dolomita e plagioclásio por sulfetos, enquanto o quartzo substitui parte desses minerais e os silicatos, formando-se lentes delgadas e alongadas de sulfetos metálicos. O *“veieiro”* tem espessura de pouco mais de um metro próximo à superfície, chega a seis metros na profundidade de 150 metros, com cerca de 45 metros de comprimento.

Alternativamente, Borba e Figueiredo (1996) e Borba (1998) indicam que a rocha hospedeira corresponde a *sills* aplíticos trondhjemiticos (albititos), com até 30 metros de espessura, intrusivos em rochas metaígneas máficas e ultramáficas do Grupo Nova Lima, e intensamente alterados hidrotermalmente. Segundo os autores, essa rocha seria a principal hospedeira e a fonte da mineralização.

O corpo de minério é formado por pirita (Fe), pirrotita (Fe), esfalerita (Zn), tenantita (Cu-As), calcopirita (Cu), galena (Pb), arsenopirita (Fe-As), calcosita (Cu), molibdenita (Mo), covelita (Cu), ouro nativo e electrum (Au-Ag), ilmenita (Fe), magnetita (Fe), bismuto metálico (Bi). A ganga é formada predominantemente por quartzo, contendo ainda carbonato, biotita, muscovita, clorita, todos em quantidades muito variáveis. A relação ganga sulfeto possui grande variação, chegando a formar bandas de sulfetos maciços. O teor do minério chegava a 15%; Zn e Pb chegam a 1% e Au chegava a 10g/t, mas na média era bem mais baixo (GUIMARÃES, 1961; OLIVEIRA; RIBEIRO; SOUSA, 1979; BORBA; FIGUEIREDO, 1996).

Os principais tipos de alteração hidrotermal em Bico de Pedra são a potassificação (sericita, biotita), carbonatação (ankerita, siderita), silicificação (quartzo) e sulfetação (pirita, pirrotita, calcopirita, galena, esfalerita) (VAZ DE MELO, 1975; MATOS, 1991; BORBA, 1998; VIAL *et al.*, 2007c).

Na região, foram identificadas diversas ocorrências e indícios de mineralizações polimetálicas (FORLIN, 1974):

Ocorrência da Mina: formada por quartzo-(clorita-biotita)-sericita-carbonato xisto com sulfetos, sulfoantimonietos e sulfoarsenietos de Fe, Zn, Pb, Cu, Mo e pirita com Au e Ag, distribuídos em finos grãos ao longo da xistosidade ou em lentes mais ou menos maciças. Talco-carbonato xisto forma a base da zona mineralizada, que parece ser inferior a 10 metros de espessura e 160 metros de comprimento (GUIMARÃES, 1944). A zona mineralizada repete-se em faixas em subsuperfície sempre com lapa de talco xisto.

Ocorrência do Poste: situada a 100 metros a sudeste da ocorrência, aflorando por 10 metros segundo a direção da estrutura, seguindo o mesmo modelo da mina, mas, aparentemente, sem ligação física entre ambas. Uma amostra apresentou 1,35 g/t de Au.

Ocorrência do Bibiano: situada a 270 metros a sudoeste da boca da mina, predominando sulfetos maciços com pirita fina. Uma amostra apresentou Au<0,5g/t, 50 ppm de Cu, 205 ppm de Pb, 31 ppm de Zn e 14 ppm Ag.

Indício da Cascatinha: situado a 230 metros a sudoeste da boca da mina, em clorita-quartzo-carbonato-sericita xisto talcoso, com formações ferríferas magnéticas, e intercalações de até 1,5 metro de zonas limonitizadas sem sulfetos visíveis; ocorrem veios e lentes de quartzo concordantes ou não à estruturação dos litotipos.

Indício do Fundão: situado a 370 metros a sudoeste da boca da mina e 88 metros a oeste de Bibiano. Corresponde a uma camada, ou lente de quartzo, em zona de óxidos de Fe-Mn com 0,5 metro a 1,60 metro de espessura e 14 metros de comprimento na superfície; na capa, ocorre talco-carbonato xisto e, na lapa, quartzo-sericita-clorita-carbonato xisto.

Indício do Canavial I situado a 650 metros a noroeste da boca da mina, formado por chapéu-de-ferro com 5m x 10m na superfície sobre quartzo-sericita-clorita xisto, às vezes quartzítico e conglomerático, rico em Fe e Mn, com fortes anomalias geoquímicas (7.200 ppm de Zn em sedimento de corrente).

Indício do Canavial II situado a 660 metros a norte da boca da mina, com Au livre associado a quartzo-sericita-clorita xisto, localmente com formação ferrífera e sem sulfetos visíveis. Foi explotada por meio de galeria em rampa com 20 metros que prosseguia em nível. Constatam-se teores de até 20g de Au livre por tonelada. A unidade mineralizada não foi identificada e são comuns crostas lateríticas na superfície. Ocorre nas proximidades do contato de unidades consideradas dos grupos Nova Lima e Itacolomi.

Indício da Estrada situado a 320 metros a nordeste da boca da mina, mostra Au livre em situação geológica similar à anterior, sem formação ferrífera identificada. Existia uma galeria com 27 metros de comprimento nas proximidades de quartzito grosso, atribuído ao Grupo Itacolomi. A unidade mineralizada não foi identificada.

Modelo de Depósito

A definição de modelo de depósito para Jazida Bico de Pedra é controversa entre os diferentes autores, sendo discrepante até mesmo quanto à origem dos protólitos hospedeiros. De acordo com Middleton (1975), a associação litológica no pacote pré-Itacolomi em Bico de Pedra é formada por metassedimentos piroclásticos e vulcanoclásticos básicos, intermediários e ácidos, com possíveis fluxos básicos preservando amígdalas, em bandas lenticulares típicas de depósitos próximos a condutos vulcânicos. Este autor compara Bico de

Pedra aos depósitos de Prieska, África do Sul, onde a mineralização ocorre na base de pilha piroclástica acima de espesso corpo de dacito.

A hipótese de uma fonte vulcanogênica para a mineralização é corroborada por Matos (1991), que considera as rochas encaixantes e hospedeiras como uma sequência vulcano-sedimentar em bacia de retroarco, com o minério do tipo *stratabound* associado a vulcanismo bimodal submarino do tipo “*VMS-polymetallic type*”.

Contrariamente, Borba (1998) considera que a principal rocha hospedeira da mineralização corresponde a aplito trondhjemitico associado à granitogênese riaciana (2,12 Ga). Segundo o autor, o depósito seria semelhante aos depósitos de Au-Cu-Bi-Se associados a intrusões de granitoides da Província Australiana de Tennant Creek Inleir (e.g. Warrego, Jungo, White Devil, Greko). O magma trondhjemitico seria a fonte dos elementos Cu, Zn, Pb, Bi, Au, Mo, os quais foram posteriormente fracionados e concentrados no fluido hidrotermal mineralizante.

2.5.2. Morro do Bule ou Morro do Gabriel - Cu-Pb-Zn-Sb

A mina abandonada de Morro do Bule situa-se na coordenada aproximada 20°27'22.35"S e 43°41'22.68"W, a cerca de oito quilômetros a oeste de Bico de Pedra. Guimarães (1934) foi um dos primeiros, senão o primeiro a se referir e estudar o depósito de Zn-Sb-Au-Pb-Cu de Morro do, destacando alguns pontos importantes:

- O minério está em veio preenchendo fratura em dolomito branco-acinzentado e filito, na forma de rosário com espessura entre milímetros e 60 centímetros. Sobre o dolomito ocorre “*terra*” cor de chocolate com antimônio. Junto ao contato do veio de blenda (esfalerita) com o dolomito ocorrem aragonita e tetraedrita (Cu-Sb).
- O minério é formado por quartzo, dolomita, pirita, aragonita, estibnita (Sb), blenda (Zn), tetraedrita (Cu-Sb), jamesonita (Pb-Sb), bindheimita (Pb-Sb), valentinita (Sb), estibiconita (Sb).
- A esfalerita e a pirita teriam sido formadas após a estibnita e tetraedrita, recortando as massas desses minerais e, também, de jamesonita (substituição da tetraedrita).
- Lewisita (Sb) é acessório no filito hematítico-sericítico lateral ao dolomito.
- A mineralização é anterior à deformação, migrando para as fraturas os minerais de alteração.

Guimarães (1946) descreve a paragênese primária de alteração hidrotermal em Morro do Bule compreendendo carbonatação, silicificação, sulfetação e oxidação, representada por pirita, estibnita, galena, esfalerita, arsenopirita, tetraedrita, tennantita e jamesonita e a secundária inclui valentinita, bindheimita, lewisita e

estibiconita; os minerais de ganga são quartzo, dolomita, calcita, aragonita e limonita. A associação metálica principal é Zn-Sb-Au-Pb, nesta ordem de importância. A lavra era subterrânea e as atividades foram encerradas há várias décadas.

Mais tarde, nas décadas de 1950 e 1960, no projeto conjunto DNPM/USGS de mapeamento do Quadrilátero Ferrífero, o dolomito e filito, referidos por Guimarães (1934), foram considerados como da Formação Gandarela, Grupo Itabira, Supergrupo (*Série de*) Minas.

Mais de duas décadas após, em trabalhos de Pires (1969) e do SGB-CPRM, Oliveira, Ribeiro e Sousa (1979), são acrescentados, ao minério de Morro do Bule, senarmontita, cerusita, como minerais secundários oxidados. Arsênio ocorre ligado principalmente a Au, mas também a outros elementos como Cu, Pb e Zn.

Guimarães (1961) identificou como três as fases genéticas em Morro do Bule:

1. **mineralização sulfo-antimonífera** com Cu, Pb, Bi, Au, Ag;
2. **oxidação** da tetraedrita e estibnita, formando bindheimita, valentinita, tripuíta;
3. **mineralização sulfetada** (sulforada) com esfalerita, pirita e jamesonita. Uma oxidação posterior de menor importância produziu pouca malaquita.

Almeida (2017), em estudos da composição mineral e química de sedimentos e águas da microbacia do Córrego do Bule, constatou a presença de As, Cu, Pb, Zn, Sb, Co, Cr, Ni, Fe e Mn na composição química dos sedimentos. As análises químicas das águas mostraram valores em ppb, com qualidade abaixo dos máximos recomendados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.

2.5.3. Dom Bosco - Hg-Sb

A Estação Dom Bosco da EFCB está localizada na coordenada aproximada 20°25'16,56" S e 43°39'31,23" W, sendo que a posição exata da antiga lavra ou cata, onde o cinábrio foi encontrado, não é identificada.

Conforme relatado por Scorza (1939), as primeiras amostras de cinábrio (Hg), em Dom Bosco, foram encontradas acidentalmente, impregnado finamente em itabirito e em agregados na hematita. O exame da ocorrência mostrou que o cinábrio ocorre em filão-camada, com cerca de 15 centímetros de espessura, entre camadas de itabirito. Nesse relato não houve referência a minerais antimoníferos.

Os registros históricos indicam que o cinábrio foi identificado durante trabalhos de lavra de minério de ferro, em associação a itabirito e filito do Grupo Itabira (GUIMARÃES; COELHO, 1963). Esses autores sugerem precipitação do metal por ação hidrotermal a partir de regiões profundas.

Scorza (1939) ressalta que na zona de ocorrência do cinábrio não foram confirmadas rochas

vulcânicas eruptivas, mas que a cerca de 1.500 metros, ao norte da Estação Dom Bosco, ocorre uma rocha muito alterada e lateritizada cortando rochas metamórficas, atribuída à "*Série de Minas*" (atual Supergrupo Minas), com aspectos de campo de uma rocha vulcânica.

Guimarães (1961), ao se referir a Dom Bosco, diz situar-se a poucos quilômetros ao norte do Morro do Bule, "*no mesmo horizonte geológico-geoquímico*", e que a origem do cinábrio estaria ligada a provável fonte ígnea do tipo depósitos subvulcânicos. Em imagens de satélite, são cinco quilômetros no rumo N40E.

UFOP (1985) reconheceram quatro conjuntos de litologias, conforme apresentados da base para o topo e de norte para sul, com mergulhos em homoclinal entre 40-50°S:

- **Filito cinza pintalgado** – ritmicos com alternância de leitos claros e escuros em tons de cinza; hematita rara ou ausente. Localmente, maciços e pintalgados de branco, amarelo e rosa, com magnetita, pirita ou cloritóide. Transiciona a quartzitos puros a ferruginosos, que contém horizontes de rocha verde com até 90% de cloritóide (Unidade Quilombo, de PIRES; PALERMO; SARCIÁ, 1984) e de cianita filito cinza-escuro.
- **Filito grafitoso rítmico** – intercala-se com filito ocre a castanho, podendo a grafita atingir 40% da rocha; ocorrem níveis grauvaquianos (?) com fragmentos de rocha.
- **Formação ferrífera-manganesífera e carbonática** – reúne filito ocre a negro-azulado, grafitoso, geralmente associado à rocha carbonática e manganesífera, onde ocorrem lentes de hematita compacta e magnetita; grada para formação ferrífera bandada tipo itabirito, que transiciona para quartzito ferruginoso, às vezes com estratificação cruzada. Constitui horizonte mineralizado em cinábrio.
- **Quartzitos hematíticos e filitos prateados** – de natureza clástica, bandado por leitos centimétricos quartzosos e hematíticos; localmente é fino, puro e sacaróide ou muito hematítico, maciço e grosso. Frequentes estratificações cruzadas tabulares e acanaladas com sets decimétricos até 2 metros. Intercala-se com filito prateado cinza-claro a escuro hematítico. No contato das unidades 3-4 há mineralização de topázio.

Esses autores não posicionaram esses quatro conjuntos de litounidades em unidades estratigráficas formais da geologia do Quadrilátero Ferrífero, dada a dificuldade de reconhecimento estratigráfico em região de geologia extremamente complexa. Além dessas Unidades, ocorrem intrusões diabasóides não foliadas e *mudstones* (material argiloso, não foliado, vulcanogênico) acreditadas de origem básica alcalina mesozoica-cenozoica.

2.5.4. Três Cruzes (Tripuí) - Hg-Sb

As ocorrências de cinábrio de Três Cruzes ou Tripuí situam-se a oeste do Morro da Boa Vista, na antiga Fazenda Três Cruzes, distando cerca de quatro quilômetros no rumo oeste-sudoeste da Estação Ferroviária de Tripuí e a um quilômetro a sudeste da Estação Topázios, antiga parada Três Cruzes da EFCB/RFFSA (SOBREIRA; FONSECA; PIRES, 1987). No local o cinábrio (Hg) ocorre em veios de quartzo que preenchem fraturas em filitos e itabiritos, junto com lewisita, tripuita e derbylita (minerais de Sb).

Moraes (1945), citando Calógeras, informa que ouro foi encontrado em Tripuí, em 1696. Também faz referência a *“minérios de manganês, em abundância, na zona de Burnier, no Capão do Lana, no Morro do Gabriel, em Rodeio, Botafogo e Três Cruzes, ...”*. *“O aparecimento de cinábrio em Três Cruzes, próximo a Tripuí, é conhecido desde longa data, porém até o presente momento parece que tal ocorrência é destituída de valor industrial. Também em Dom Bosco foi encontrado esse minério de mercúrio, mas o depósito é de pequena capacidade.”*

Eschwege (1833) assim se expressou: *“O mercúrio tem sido encontrado desde 1810, na lavra do Bananal, perto de Tripuí, a uma légua de Vila Rica. Seu minério é cinábrio rubro, que ocorre no local em seixos rolados e em grãos....”*. *“Eu fiz pesquisas as mais cuidadosas para descobrir a jazida do minério, o qual deve provir da Serra da Cachoeira, próxima. Esta serra compõe-se, na sua parte mais elevada, de itacolomitos e itabiritos, enquanto os contrafortes da encosta meridional são constituídos de xistos argilosos e talcoxistos contemporâneos.”* ... *“O pequeno córrego, que desce do alto da serra, mostra, em toda a extensão de seu leito, entre grãos de areia e seixos rolados, seixos de cinábrio.”* ... *“Tais seixos de cinábrio são também encontrados na própria terra vegetal que cobre os cabeços dos morros vizinhos, de um e de outro lado dos contrafortes, o que faz presumir que a jazida primitiva, de onde se desagregaram os seixos de cinábrio, não se limitava a um único ponto, mas se distribuía em ampla extensão.”* ... *“A pequenez dos seixos e grãos, que não excedem o tamanho de uma ervilha, faz presumir, porém, o contrário, isto é, que não existiu, como jazida natural, nenhum veio possante, mas apenas ocorrência nas pequenas massas de quartzo rolado, espalhados nos itacolomitos e itabiritos e na série de xistos argilosos.”*

As informações acima constam da tradução feita por Domício de Figueiredo Murta (ESCHWEGE, 1979, p.165), que apresenta mais alguns dados. *“Em 1891, Archias Medrado, Paula Oliveira e Calógeras pesquisaram a região... (Paula Oliveira, Rev. Ind., nº 7, 1894). Ussak (Rev. Ind., Ano IV, nº 23, 1897) concluiu, ..., que a matriz*

original do cinábrio deve ser procurada nos xistos ferríferos e talvez nas suas fases ricas em quartzo granular, que constituem a rocha itabirito em sentido restrito, que em alguns pontos ou planos ficam impregnados de cinábrio.” Continua informando que: *“na fazenda das Três Cruzes não tem itabirito, ..., só sendo encontrado em Dom Bosco, onde também ocorre cinábrio”*, corroborando com a opinião de Eschwege.

Mais tarde, Oliveira (1894), apresenta outras informações, dizendo que em Três Cruzes – Tripuí, o cinábrio ocorre em veio com 1,5 metro de espessura, orientado N30°E e mergulho de 50° a 60°. Forma nódulos associados a quartzo branco e à uma camada de *“argila betuminosa”* (pergunta-se: seria carbonosa ou manganesífera?), escura, junto de uma rocha dita diorítica.

Boa-Nova (1930) observou que o cinábrio apresenta-se difuso em lentes de quartzo em filito que, pela descrição, parece associado a quartzito. Também correlaciona uma possível mesma fase hidrotermal do cinábrio de Três Cruzes a do depósito antimonífero de Morro do Bule, onde encontrou lewisita.

Pires (1969) traz mais informações sobre Tripuí, indicando que minerais oxidados de Sb (lewisita, tripuita e derbylita) e Hg (cinábrio) paragenéticos ocorrem em ganga de quartzo e cianita, encaixados em itabiritos e filitos do Grupo Itabira, próximo ao Córrego Botafogo e à Estação de Tripuí. Em Três Cruzes e em São Bartolomeu, veios de quartzo, contendo nódulos de cinábrio, cortam os filitos.

Dorr II (1969), citando Barbosa (1969), atribui aos litotipos de Tripuí, formações ferríferas e carbonáticas, às formações Cercadinho e Fecho do Funil, do Grupo Piracicaba, Supergrupo Minas (antiga *Série de Minas*), em desacordo com o informado por Pires (1969).

UFOP (1985) preferem manter cautela sobre a estratigrafia em Tripuí e não enquadram os litotipos em unidades formais, identificando, da base para o topo, uma sucessão similar ao que foi descrito em Dom Bosco:

- **Formação ferrífera-manganesífera-carbonática** – rica em hematita e magnetita, com manganês e carbonato variáveis, geralmente em lâminas e leitos alternados com leitos quartzosos;
- **Quartzito ferruginoso e filito prateado** – quartzito fino a médio, até microconglomerático, em lâminas e bandas intercaladas com leitos hematíticos, localmente com laminação e acamamentos cruzados; ocorre intercalado, interdigitado e gradacional com hematita-sericita filito cinza predominante na unidade; o cinábrio ocorre em zonas de cisalhamento;
- **Filito pouco quartzoso e pintalgado** – cinza-esverdeado ou azulado, com magnetita e/ou cloritóide pintalgando a rocha, untuoso ao tato, mas sem comprovação de talco. Pires, Palermo e Sarciá (1984) diziam existir.

Estudando os depósitos de cianita da fazenda Três Cruzes, situada entre as estações de Topázios e Tripuí, Pires e Neves (1985) destacam a presença de veios de quartzo-cinábrio, contendo xenotímio (Y), monazita (ETR), zircão, turmalina, rutilo, magnetita, pirita, ouro, lewisita (Sb), derbylita (Sb) e tripuíta (Sb), em domínio de rochas da Formação Cercadinho em contato com itabirito atribuído à Formação Cauê. Mais uma vez, surgem incertezas de posicionamento estratigráfico entre as unidades serem do Grupo Itabira ou do Grupo Piracicaba.

Sobreira, Fonseca e Pires (1987) realizaram mapeamento geológico em escala 1:2.000 no entorno da ocorrência de Tripuí, localizando três galerias de serviços nas margens do córrego do cinábrio, assim por eles denominado, além de antigos trabalhos como trincheiras e “cachimbos”, apresentando uma excelente retrospectiva dos trabalhos em Tripuí, principalmente até o trabalho de Boa-Nova em 1930, mostrado o perfil da Figura 2.14. Essa ocorrência foi explotada pela *Companhia Mineralurgica Brasileira*, aparentemente em superfície e subsuperfície, apresentando um mapa, provavelmente em 1891, recuperado pelos ex-professores Roeser, Ladeira e Bernardi, da UFOP (SOBREIRA; FONSECA; PIRES, 1987).

Sobreira, Fonseca e Pires (1987) atribuem os metasedimentos mineralizados de Tripuí ao Grupo Piracicaba, sem enquadrá-los em alguma formação, embora Barbosa (1969) os tenha considerado da Formação Cercadinho, como informaram. Os autores descrevem, nessa área, intercalações de sericita xisto/filito, quartzito ferruginoso e raro quartzito branco, com os leitos de quartzito raramente passando de 10 metros de espessura, com grão fino a médio chegando a microconglomerático, com sericita e hematita muito fina, variando entre pouco e muito ferruginosos. No xisto/filito descrevem magnetita

muito fina e cianita. Os sericita quartzitos podem ser muito ricos em cianita. Também identificaram diabásio não-metamórfico, considerado do Mesozoico, ou diorito conforme Oliveira (1894).

Na análise mineralométrica de seis amostras de concentrados de bateia, Sobreira, Fonseca e Pires (1987) identificaram magnetita, hematita, pirita, cianita, rutilo, monazita, xenotímio, granada, cinábrio, lewisita, derbylita e turmalina. Não encontraram ouro, tripuíta e zircão. “*Xenotímio e monazita seriam resultantes de fase inicial (pegmatítica) que antecedeu ao estágio greisen-hidrotermal no nível-BT.*” (BT = *Brown Terrena*, rocha matriz dos depósitos de topázio, uma argila caulínica geralmente escura, segundo OLSEN, 1971).

Apoiados nos trabalhos realizados na área, Sobreira, Fonseca e Pires (1987) apresentaram algumas conclusões. Uma delas é a recomendação de que os trabalhos de pesquisa continuem, visto ser esse uma das únicas ocorrências de cinábrio *in situ* conhecidos no Brasil, até aquela data, e talvez até hoje. Também destacam a similaridade entre o que chamaram de matriz primária do cinábrio de Três Cruzes, com a “*argila cinzenta escura, untuosa*” e o horizonte BT que contém os topázios em Ouro Preto. Outro ponto foi a pouca presença de cinábrio na área investigada, tanto nas encostas escavadas dos córregos como nos cascalhos e amostras coletadas, que poderia ter explicação pela intensa garimpagem pretérita.

Acrescentando os trabalhos realizados à bibliografia consultada, Sobreira, Fonseca e Pires (1987) sugerem uma sucessão de eventos como:

- **Fase Metamórfica:** cianita-quartzo-hematita-(magnetita)-(pirita)-topázio-(granada?)-rutilo.
- **Fase Pegmatóide:** xenotímio-monazita-zircão.

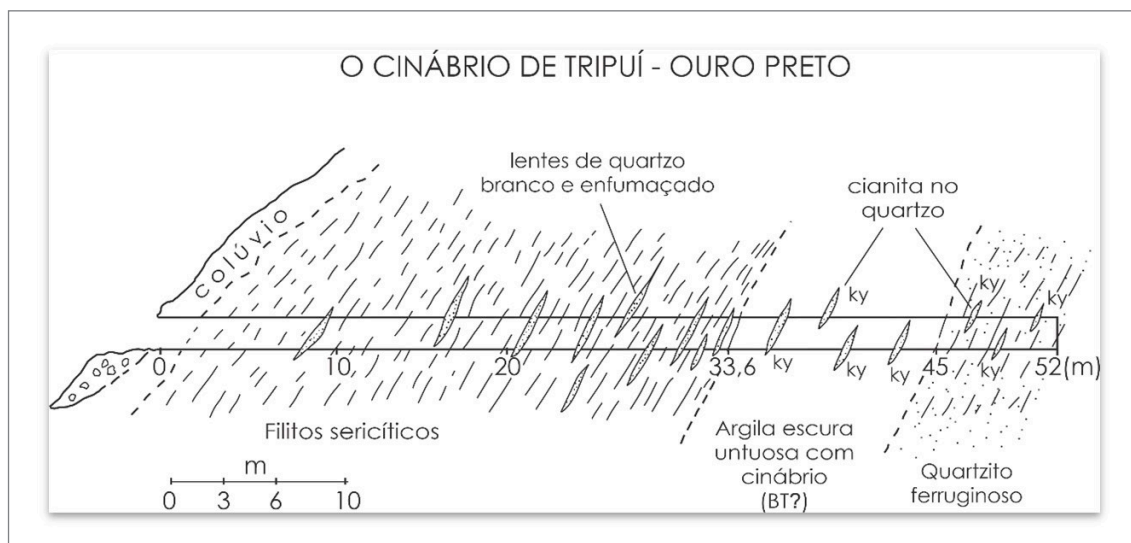


Figura 2.14 - Seção na mina de cinábrio de Tripuí, obtida em Sobreira, Fonseca e Pires (1987) a partir de dados de Boa-Nova (1930), mostrando cinábrio junto à argila escura untuosa com lentes de quartzo-cianita (ky). A sigla BT refere-se a uma possível correlação com Brown Terrena, que hospeda depósitos de topázio imperial na região.

- **Fase Pneumatolítica-Hidrotermal:** topázio-quartzo-(pirita)-euclásio-caolinita-hematita especular.
- **Fase Hidrotermal Sulfetada:** pirita-cinábrio-(estibinita)-(galena-esfalerita-jamesonita, tipo Morro do Bule).
- **Fase Hidrotermal, oxidante, rica em H₂O:** pirofilita-muscovita-quartzo-(turmalina)-(ouro)-lewisita-derbylita-tripuita.

2.5.5. Distribuição do Sb no Quadrilátero Ferrífero.

Diversos outros indícios, ocorrências ou associações contendo Sb e/ou metais-base são conhecidas no Quadrilátero Ferrífero, mas até o momento sem relevância econômica e pouco investigadas em seus diversos aspectos, cita-se: Mina Pau Branco (Sb), Morro da Glória e Galo (Sb), Usina Wigg – Miguel Burnier (Sb), Olhos D'Água – Belo Horizonte (Sb), Sabará (Cu-Au-Ag-Sb). Além dessas, Pereira e Santos (1984), citando outros autores, destacam associações metálicas nas minas auríferas de Morro Velho (Au-W), da Passagem (Ag,Cu,Bi,Pb,Sb), Caeté-Juca Vieira (Au-Sb-W) e Cata Branca (Au-Sb).

Citações de antimônio nos arredores de Sabará são feitas em John Mawe (1812), em sua obra “Viagens ao interior do Brasil”, publicação nº 33 da Coleção Reconquista do Brasil (Editora Itatiaia – USP). Pereira e Santos (1984) dizem que a associação W-Sb-Hg, em uma mesma região do Quadrilátero Ferrífero, lembra “... os depósitos mundiais time-bound e strata-bound de cinábrio-estibinita-scheelita do início do Paleozoico”, como definidos por Maucher (1976) e que esse autor ressalta que a formação Hg-Sb-W pode ser representada pelos três elementos/minerais ou apenas por dois deles, como cinábrio-estibinita ou estibinita-scheelita, podendo um dos três minerais predominar ao ponto do depósito se tornar monomineralico.

Mina Pau Branco

Na mina de ferro Pau Branco (coordenadas 20°09'14"S e 43°58'26"W) junto à BR040 ou 356, próximo à Lagoa Grande, na falda oriental da Serra da Moeda, ocorrem minerais de antimônio (estibiconita e outros) (PIRES, 1969). Os minerais de Sb foram observados em galerias de pesquisa que atravessaram itabirito e filito da Formação Cauê, Grupo Itabira, Supergrupo Minas. A mineralização (amarelo-pálido a creme) preenche fraturas de um a quatro milímetros em hematita compacta ou forma finos leitos concordantes em itabirito friável e filito. Também, na forma amorfa, envolve fragmentos do itabirito e da hematita. As zonas com Sb têm entre alguns centímetros até três metros de espessura (PIRES, 1969).

Mina da Passagem - Mariana

Minerais sulfetados de antimônio (estibinita) e tungstênio (scheelita), além de Ag, Cu, Bi, Pb, também ocorrem na antiga mina de ouro da Passagem, em Mariana (coordenadas 20°23'31,40"S e 43°26'21,24"W). Ocorrem na forma de estibinita (Sb) e berthierita (Sb) juntas à benjaminita (Ag,Cu,Bi,Pb), concordantes em dolomito. Arsênio está associado a Au e aos outros elementos (PIRES, 1969; PEREIRA; SANTOS, 1984).

Morro da Glória e Galo – Morro Velho (Nova Lima)

Antimônio ocorre na forma de estibinita, em níveis concordantes em **itabirito** e **dolomito** silicosos (PIRES, 1969), nos morros da Glória e Galo, nas proximidades da Mina de Morro Velho, onde ocorre a scheelita (PEREIRA; SANTOS, 1984)

Mina Juca Vieira - Caeté

Na mina de ouro Juca Vieira, minerais de antimônio (estibinita) ocorrem em clorita xisto com ankerita (PIRES, 1969), associada ao minério aurífero. A scheelita foi observada em formação ferrífera bandada (MAGALHÃES; LATORRACA, 1978).

Pereira e Santos (1984) atribuem às mineralizações de scheelita (Sb-W) da Fazenda Geriza (cerca de 4,5 km ao sul de Juca Vieira, no Córrego Carrapato) origem singênica-estratiforme, onde a fonte da mineralização seria hidrotermal vulcânica submarina, em associação de tufos, lavas e sedimentos. A mineralização estaria relacionada a lentes silicosas-carbonáticas em clorita xisto sulfetado (pirita, arsenopirita) e a xistos carbonosos. Concluem dizendo que a “*mineralização de scheelita de Caeté está relacionada a horizontes contendo ouro, arsênio, antimônio e ferro, assemelhando-se, portanto, ao horizonte W-Au-Sb-As-Fe da formação Bulawayan da Rodésia*”.

Córrego do Eixo – BR-040, Itabirito

Rynearson (1958) descreve no Córrego do Eixo, próximo à BR-040, município de Itabirito, a presença de delgados veios de quartzo com calcosita (Cu), em parte transformada em cuprita, malaquita e azurita, calcopirita e tetraedrita (Cu-Sb) em rochas carbonáticas (dolomitos, mármore, filito dolomítico) da Formação Fecho do Funil, estimando o teor de cobre como maior que 1%.

Miguel Burnier (Usina Wigg)

Na mina de manganês da Usina Wigg, em Miguel Burnier, antigo São Julião, foi identificada atopita (Ca₂Sb₂O₇ ou (Ca,Na)₂Sb₂(O,F,OH)₇) – antimonato de cálcio, anteriormente

chamada *romeita* por Damour (1841), em veios em ganga de óxidos de manganês e ferro tendo como encaixante calcário dolomítico (HUSSAK, 1905, 1907; ROSE, 1919). Ver também o capítulo 3, minério de ferro, neste relatório.

Bairro Olhos D'Água, Belo Horizonte

Oliveira, Ribeiro e Sousa (1979) informa que em Belo Horizonte, no bairro Olhos D'Água, junto ao início do anel rodoviário na BR-040, foi lavrado antimônio na década de 1980. O minério ocorre na forma de estibiconita e valentinita associado a rochas carbonáticas e ferruginosas, aparentemente da Formação Gandarela. Associa-se a quartzo, canga limonítica e argilomineral em formação superficial laterítica. Essa ocorrência localiza-se ao norte da Serra do Curral.

Estrada Marzagânia – Belo Horizonte-Sabará

Na Estrada Marzagânia que liga Belo Horizonte a Sabará, na região metropolitana da capital, Penha *et al.* (2017) localizaram um indício de mineralização polimetálica no Grupo Sabará. A ocorrência foi constatada em corte da estrada, junto à margem direita do Rio das Velhas, no município de Sabará/MG. São sulfetos e carbonatos de cobre em clorita-quartzo-muscovita xisto com estaurolita e almandina, cortados por veios quartzosos discordantes da foliação. Foram identificados bornita, covellita, calcopirita, pirita, pirrotita, arsenopirita, calcocita, digenita $[(\text{Cu}_9\text{S}_5 (\text{Cu}_{1.8}\text{S}))]$ e ouro/prata. O resultado analítico em uma amostra de *chip* revelou Au (4,7ppm), Cu (12%), Ag (>250 ppm) e Bi (>270 ppm).

OUTRAS PROVÍNCIAS E DISTRITOS DE Fe, Mn E Au EM MINAS GERAIS



Rodonita em matriz de Pirolusita e Carbonato
8,3 x 7,1 x 4,8 cm
Morro da Mina, Conselheiro Lafaiete, MG

Foto: Andrea Ferreira
Amostra pertencente ao acervo do
MM Gerdau - Museu das Minas e do Metal

3. OUTRAS PROVÍNCIAS E DISTRITOS DE Fe, Mn E Au EM MINAS GERAIS

No estado de Minas Gerais existem outros importantes distritos de ferro, manganês e ouro fora do Quadrilátero Ferrífero. Esses distritos não apresentam o mesmo peso nas arrecadações da CFEM comparadas com a Província do Quadrilátero Ferrífero, entretanto apresentam um bom potencial para exploração.

3.1. FERRO

Os principais distritos de ferro, fora do Quadrilátero Ferrífero, estão na Serra do Espinhaço Meridional (região de Conceição do Mato Dentro), no norte/nordeste de Minas (Salinas/Rio Pardo de Minas/Nova Aurora), e na região de Conselheiro Lafaiete e São João del-Rei – Passatempo (Figura 3.1).

Com o grande incremento da demanda mundial por minério de ferro no início deste século, principalmente por parte da China, a consequência foi um aumento considerável dos preços. Diversas rochas sedimentares, mesmo com baixos teores de hematita e magnetita, transformaram-se em minério de ferro potencial. Ocorrências ou depósitos conhecidos há várias décadas, muitos lançados nos Mapas Geológicos e Metalogenéticos Previsionais em escala 1:250.000, preparados pelo SGB-CPRM nas décadas de 1970 e 1980, passaram a despertar o interesse de mineradoras.

Formações ferríferas são conhecidas principalmente ao longo da borda leste da Serra do Espinhaço, desde o norte de Itabira (no limite com o Quadrilátero Ferrífero) até quase a divisa com a Bahia (HEINECK *et al.*, 2003) (Figura 3.1).

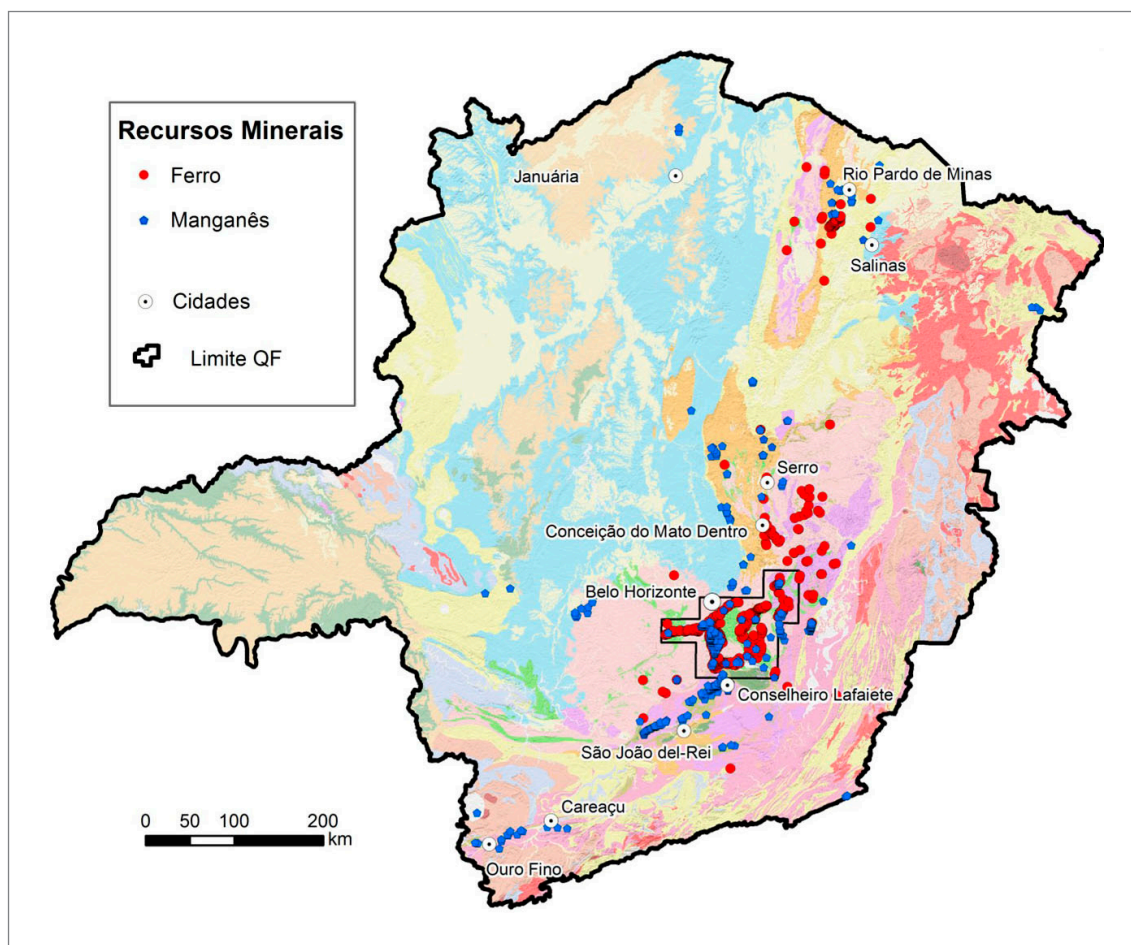


Figura 3.1 - Mapa com os recursos minerais de ferro e manganês sobre base tectônica simplificada (ver legenda Figura 1.2). Modificado de Pinto e Silva (2014b). Elaboração própria.

3.1.1. Distrito Ferrífero de Conceição do Mato Dentro

Na década de 1980, os depósitos itabiríticos da Serra da Serpentina, na região de Conceição do Mato Dentro – Morro do Pilar, foram alvos de pesquisas por parte da Cia. Vale do Rio Doce (CVRD), atualmente Vale, (VILELA; SANTOS, 1983; VILELA *et al.*, 1983), mas não despertaram maior interesse àquela época, dado o seu baixo teor diante do minério de alto teor do Quadrilátero Ferrífero.

Em 2013, a região oriental da Serra do Espinhaço era alvo de intensas pesquisas para o minério de ferro. Nessa época, a Anglo Ferrous Brazil adquiriu a MMX Minas-Rio, detentora de várias áreas com minério de ferro no domínio do Grupo Serra da Serpentina.

O projeto teria capacidade de produção anual de 26,5 milhões de toneladas de minério de ferro, em base úmida, com vistas ao mercado externo. Os recursos geológicos de minério de ferro são da ordem de 4,5 bilhões de toneladas, garantindo a operação do empreendimento por no mínimo 20 anos. O projeto conta com um complexo mineiro com minas e unidades de beneficiamento em Conceição do Mato Dentro e Alvorada de Minas, um mineroduto de 529 quilômetros até o Porto de Açu, em São João da Barra (RJ), e parceria com a LLX no terminal portuário de Açu. Em outubro de 2014, a Anglo enviou o primeiro carregamento de 80 mil toneladas de minério de suas minas da região de Conceição do Mato Dentro–Alvorada de Minas para a China (fonte: Jornal Estado de Minas, Caderno de Economia, coluna Giro Econômico, 28/10/2014).

Contexto Geológico

As serras da Serpentina e do Sapo são feições morfológicas contíguas, situadas a leste da Serra do Espinhaço, desde Santo Antônio do Rio Abaixo (ao sul), até Itapanhoacanga (ao norte), onde têm menos expressão (Figura 3.2). As serras são sustentadas por rochas metassedimentares clásticas finas (Formação Meloso) e por rochas metassedimentares químicas, incluindo itabiritos (Formação Serra do Sapo, quimicamente similares aos itabiritos do Supergrupo Minas), reunidas no Grupo Serra da Serpentina (ROLIM *et al.*, 2016) (Figura 3.2 e Figura 3.3).

A idade máxima de sedimentação da Formação Meloso, obtida em zircão detrítico pelo método U-Pb SHRIMP é de 1.990 ± 16 Ma, representada pelo zircão mais novo, sendo considerada como pré-Espinhaço e correlacionada ao Grupo Costa Sena (ROLIM *et al.*, 2016). Em discordância angular e erosiva sobre as rochas do Grupo Serra da Serpentina, depositaram-se as unidades do Grupo Serra de São José, representado pelas formações Lapão (inferior), Itapanhoacanga, Jacém e Canjica. A idade

máxima de sedimentação da Formação Itapanhoacanga (quartzitos predominantes) é 1.666 ± 32 Ma (U-Pb SHRIMP em zircão detrítico), similar à da Formação São João da Chapada, do Supergrupo Espinhaço (ROLIM *et al.*, 2016).

Conforme esses autores, na região entre Santo Antônio do Rio Abaixo e Itapanhoacanga, o Grupo Serra da Serpentina é formado por uma associação litológica de quartzo-clorita-sericita xisto, filito cinza, filito carbonoso (ou grafitoso) e um horizonte delgado de rocha manganésifera (Formação Meloso), continuando para o topo com formação ferrífera manganésifera, formação ferrífera bandada - itabirito, brecha de formação ferrífera e metadolomito (Formação Serra do Sapo) (Figura 3.3).

Outros autores atribuíram as formações ferríferas à Formação Itapanhoacanga, reunindo itabirito, lentes de hematita compacta e metajaspilito associados a rochas metassedimentares (filito quartzoso e grafitoso, meta-arenito fino a grosso e metaconglomerado) e metavulcânicas, com intrusões graníticas e de rochas máficas–ultramáficas. O itabirito é friável a compacto, dependendo da intensidade do enriquecimento supergênico e lixiviação, constituindo-se em material passível de concentração e aproveitamento econômico como minério de ferro (LORDÃO; SILVEIRA, 2007; SILVA; FERREIRA, 2007).

Na Formação Serra do Sapo, unidade superior do Grupo Serra da Serpentina (Figura 3.2 e Figura 3.3), onde predomina itabirito cinza-claro a escuro, é formado por hematita (especular, granular, globular e compacta) e quartzo, com estrutura compacta a friável. Localmente, ocorre magnetita e algumas bandas ricas em manganês. A análise modal média é de 50,95% de quartzo, 34,5% de hematita lamelar, 8,3% de hematita globular, cerca de 2% de mica branca e 1% de magnetita ou, em peso, 32,5% de Fe total, 51,8% de SiO_2 , 0,023% de P, 1,24% de Al_2O_3 e 0,89% de FeO. O minério compacto (itabirítico) tem teor médio de 33% de Fe total e perfaz cerca de 55% dos depósitos conhecidos. O tipo friável (itabirítico friável) predomina na Serra da Serpentina, com teores médios de 43% de Fe total. O enriquecimento supergênico aumenta o teor em ferro no minério. Em zonas de cisalhamento, ocorre hematita compacta, junto a veios de quartzo. Esse minério hidrotermal de alto grau tem teor superior a 62% de Fe total, mas é raro e ocorre como lentes paralelas à xistosidade principal em meio ao itabirito. Lentes manganésíferas (Figura 3.3) com poucos metros de espessura, intercaladas nas formações ferríferas, ocorrem na base da formação. Também ocorrem metabrecha/metaconglomerado com clastos angulosos decimétricos da própria formação ferrífera, lentes de quartzito sericítico branco, quartzito ferruginoso, e hematita-quartzo xisto ou filito hematítico cinzento. Metadolomito vermelho a rosado (observado em furos de sonda) ocorre no topo da formação.

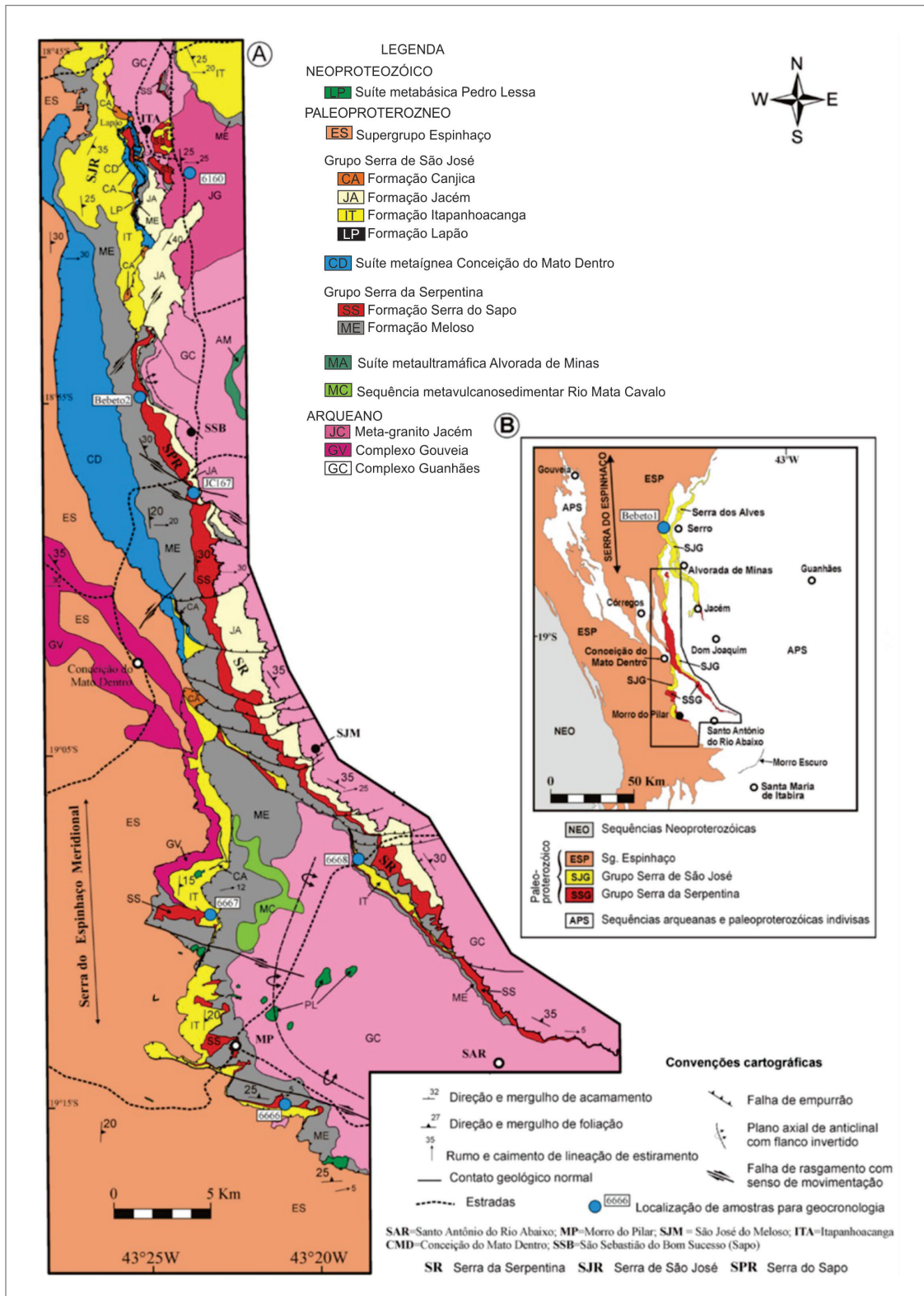


Figura 3.2 - Mapa geológico da porção sul da borda oriental da Serra do Espinhaço Meridional (Distrito de Conceição do Mato Dentro), extraído de Rolim *et al.* (2016).

O itabirito da Formação Serra do Sapo corresponde à unidade 'C' do trabalho de Braga (2012), enquanto o quartzito ferruginoso e o metaconglomerado com clastos de formação ferrífera parecem corresponder à unidade 'D' de Braga (2012) na Serra do Morro Escuro. Nesse

local, o contato de topo do itabirito com metaconglomerado, xisto e quartzito (atribuídos à Formação Itapanhoacanga) é descrito como gradual e geralmente marcado por um nível de quartzito ferruginoso xistoso com mica branca, hematita e, em certos locais, magnetita.

Isso contraria os dados de Rolim *et al.* (2016), que descrevem discordância erosiva e angular do Grupo Serra de São José, superior. Nesse caso, a unidade 'D' ainda seria pertencente à Formação Serra do Sapo. A formação ferrífera da Serra do Morro Escuro (ocupando parte dos municípios de Santa Maria de Itabira, Passabém e Ferros), atribuída à Formação Serra do Sapo, no contato com ortoanfibolito (soleiras e diques), geralmente brusco, mostra aumento da granulometria, decréscimo no conteúdo em ferro

e crescimento de magnetita, surgindo também allanita e hornblenda como resultado de processos metassomáticos (BRAGA, 2012).

O **Depósito Serra do Sapo** (Figura 3.2) tem aproximadamente 15 quilômetros de comprimento (em superfície), com espessuras de até 350 metros na porção norte da serra e média de 80 metros. Arranja-se como um corpo de direção geral NNW, com mergulhos em torno de 20°ENE. São estimados recursos da ordem de oito bilhões de toneladas de minério.

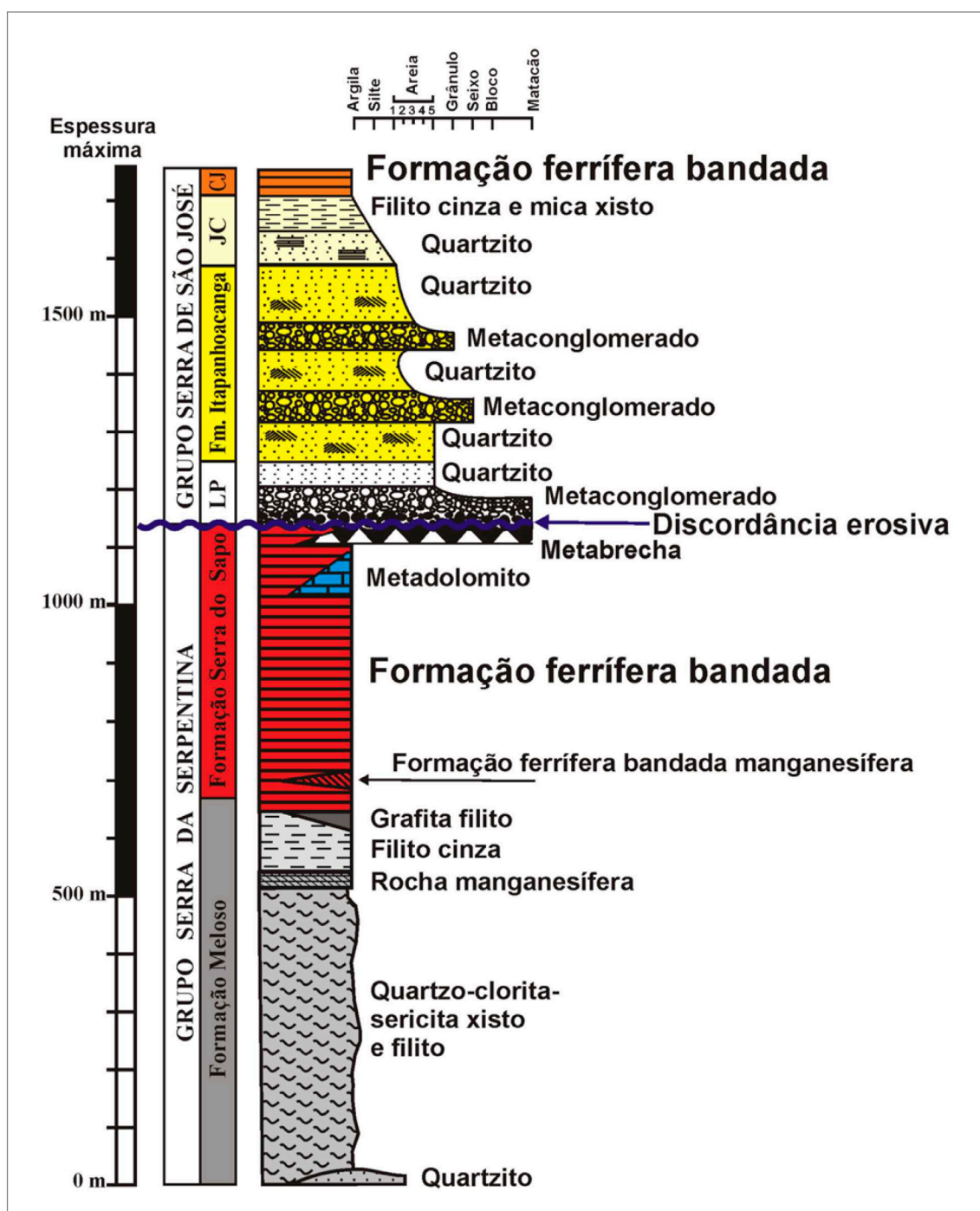


Figura 3.3 - Coluna estratigráfica das sequências portadoras de formações ferríferas na borda leste da Serra do Espinhaço meridional, extraído de Rolim *et al.* (2016).

O **Depósito Serra da Serpentina** (Figura 3.2) tem cerca de 32 quilômetros de comprimento, com orientação preferencial entre NW-SE e WNW-ESE e mergulhos fracos para NE e NNE. A espessura da formação ferrífera varia entre 80 e 100 metros. Em certos trechos da porção meridional do corpo, há repetição de camadas por falhas contracionais de baixo ângulo. Os recursos estimados de minério estão em torno de 10 bilhões de toneladas.

O **Depósito Morro do Pilar** (Figura 3.2) tem pouco mais de 20 quilômetros de comprimento, em corpos desmembrados, com orientação meridiana e infletindo para leste na extremidade sul da unidade. A espessura máxima do corpo itabirítico está na porção sul do depósito, onde atinge 250 metros, diminuindo progressivamente para norte onde fica entre 15 e 35 metros. Os recursos estimados de minério estão em quatro bilhões de toneladas. A Vale (VILELA *et al.*, 1983; VILELA; SANTOS, 1983; LOBATO *et al.*, 2014) estimou reservas de 226 milhões de toneladas com 45,8% Fe total em Morro do Pilar, contendo ouro tipo jacutinga como subproduto.

Além dos depósitos itabiríticos da Serra do Sapo, Serra da Serpentina e Morro do Pilar, outros depósitos são conhecidos em Serro, Itapanhoacanga e a sudeste de Conceição do Mato Dentro (VILELA *et al.*, 1983; VILELA; SANTOS, 1983; LOBATO *et al.*, 2014).

Na região do Serro, destaca-se o depósito de minério de ferro Céu Aberto, situado em uma faixa mineralizada com cerca de 6 quilômetros de comprimento, orientada na direção geral norte-sul, ressaltada por altos topográficos (SILVA; FERREIRA, 2007). A deformação propiciou o espessamento de camadas de minério e, possivelmente, a geração dos corpos lenticulares de hematita compacta (possivelmente hidrotermal), que se intercalam no itabirito.

3.1.2. Distrito Ferrífero do Norte de Minas Gerais

A região norte do estado de Minas Gerais vem despertando especial interesse econômico devido à ocorrência de metadiamictito com ferro. Em 2012, eram conhecidos depósitos contendo bilhões de toneladas de minério de ferro de baixo teor e potencial para a definição de novas reservas com características semelhantes, no denominado *Distrito Ferrífero do Norte de Minas Gerais* (Figura 3.1 e Figura 3.4).

Os jazimentos de diamictito ferruginoso são conhecidos na região desde os primórdios do século 20. O primeiro trabalho com foco econômico deve-se a Schobbenhaus (1972), ao avaliar preliminarmente o depósito de ferro do Rio Peixe Bravo, para a Sudene. Nos primeiros trabalhos, a região deparava-se com a falta de cartografia geológica, de mapas topográficos adequados e de estudos aerogeofísicos. Em 1997, a região foi mapeada

em escala 1:100.000 pelo Projeto Espinhaço (Codemig), mas anteriormente já havia sido trabalhada pelo Projeto Porteirinha (DNPM-CPRM, escala 1:50.000) e integrada em escala 1:250.000 no Projeto Mapas Metalogenéticos – Previsionas (DNPM-CPRM), disponíveis na biblioteca digital do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). A partir de 2002, a região foi coberta com aerolevantamento geofísico de alta resolução (magnetometria e gamaespectrometria) pela Codemge (antiga Codemig)/CPRM. Apesar das grandes coberturas lateríticas residuais e elúvio-colúvies, a aerogeofísica mostrou-se de alta relevância na localização de corpos de diamictito ferruginoso.

Os primeiros trabalhos de pesquisa sobre o minério foram realizados pela Companhia Vale do Rio Doce, entre 1973 e 1978, no âmbito do Projeto Porteirinha, definindo recursos geológicos (reservas) de 3,5 bilhões de toneladas de minério com teor médio de 35,14% de Fe pré-beneficiamento, com possibilidade de produção de concentrados do tipo *pellet feed* (<0,149mm), com teores acima de 65% de Fe após o beneficiamento (VIVEIROS *et al.*, 1978), ou 650 milhões de toneladas de minério medido, com teor entre 40% e 60% de Fe e teor médio de 0,33% de P_2O_5 (VILELA, 1986).

Desde 2009, quando a Sul Americana de Metais confirmou a presença de grandes reservas de minério de ferro de baixo teor nos municípios de Grão Mogol e Padre Carvalho, a região viveu um forte incremento de investimentos em exploração mineral, com trabalhos de pesquisa em realização pela MIBA (Grupo ENRC), Vale e MTransminas, dentre outros.

O minério de ferro (metadiamictito com ferro) foi estratigraficamente posicionado no Grupo Macaúbas (Neoproterozoico) por Hettich (1977), no contexto da Formação Nova Aurora, Membro Riacho dos Poções, em domínio do Orógeno Araçuaí, Brasileiro.

Na **Formação Nova Aurora** predominam metadiamictitos e quartzitos, com raras intercalações de filitos e xistos. O Membro Riacho dos Poções representa metadiamictito ferrífero (Figura 3.5) com lentes de quartzito hematítico e hematita xisto (milonito xisto hematítico), constituindo-se no principal alvo prospectivo regional.

O metadiamictito tem matriz arenoargilosa, essencialmente com quartzo, sericita, muscovita, clorita e biotita, com quantidades variadas de hematita e magnetita. Os clastos têm tamanhos variando de grânulos a matacões e composição de quartzito, quartzo de veio, xisto, granitoides e rochas carbonáticas, sem fragmentos de formação ferrífera (LOBATO; PEDROSA-SOARES, 1993) (Figura 3.5).

O pacote de metadiamictitos é capeado, nas partes mais planas dos extensos platôs que marcam a região, por latossolos e cangas ferruginosas, com até 30 metros de espessura e distribuição irregular. A capa e a lapa do metadiamictito ferruginoso são constituídas por metadiamictitos estéreis, com pequenas diferenças entre eles.

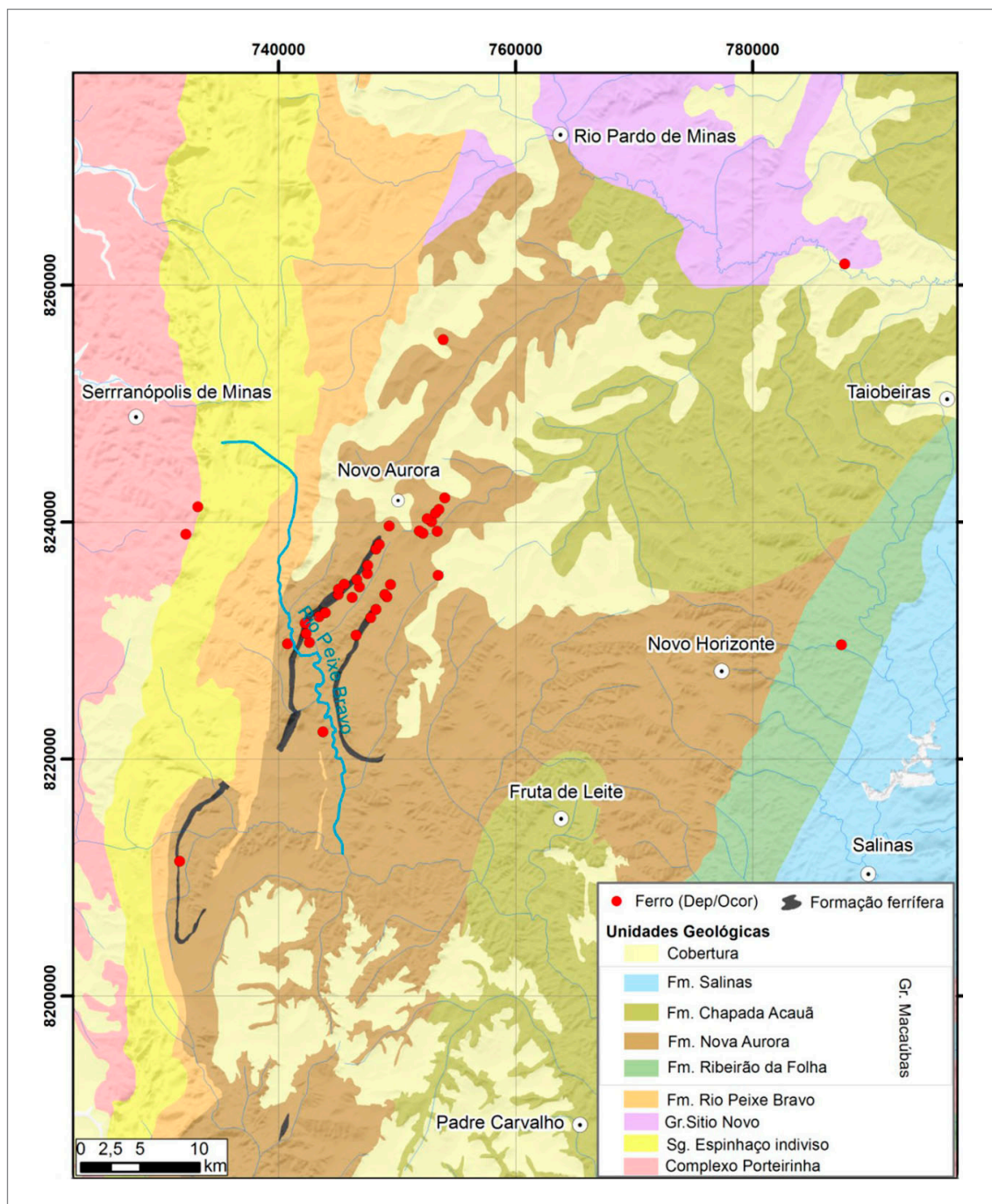


Figura 3.4 - Mapa geológico regional contemplando o Distrito Ferrífero do Norte de Minas Gerais. Modificado de Pinto e Silva (2014a). Elaboração própria.

O **metadiamictito estéril de topo** apresenta matriz com granulação variando de fina a grossa e composição a quartzo e sericita, além de muscovita, clorita, carbonato, hematita e traços de magnetita subordinados. Localmente, óxido de manganês é observado nos planos de fraturas e/ou preenchendo cavidades reliquias de clastos de carbonato lixiviado. Clastos de quartzito, metapelito e de rochas carbonáticas são comuns, com tamanhos variando de grânulo (2 a 4mm) a bloco (64 a 256 mm), estirados e alongados segundo a foliação principal. Característica marcante é a presença de sulfetos

(principalmente pirita) muito finos, em fraturas ou ao longo da foliação, mas com concentração total de enxofre na rocha geralmente inferior a 0,5%, não havendo outros minerais de interesse econômico associados. O contato com a zona mineralizada é transicional, com aumento progressivo de ferro no sentido da base.

O **metadiamictito estéril da base**, geralmente, é arenoso. Próximo ao contato com a zona mineralizada, ocorrem cristais de magnetita fina a média, euédrica a subédrica, disseminada, com teores de ferro inferiores a 6% (Figura 3.5). O contato com a zona mineralizada é

tectônico, marcado por uma faixa de hematita milonito, também descrito na literatura como hematita xisto, com atitude paralela à foliação principal e com forte enriquecimento em hematita (Figura 3.5).

Metadiamictito hematítico

Segundo Viveiros *et al.* (1978), as unidades hematíticas constituem um pacote com espessuras variáveis, desde poucos metros até 600 metros, formado por diamictito cinza, que transiciona a diamictito hematítico (>20% de Fe), com intercalações de quartzito e xisto hematíticos. Intercalados no diamictito hematítico, ocorrem níveis ricos em hematita, com até 15 metros de espessura, onde o minério pode atingir até 69% de Fe total.

Os trabalhos de pesquisa mostram que a unidade mineralizada orienta-se na direção próxima a N-S, com variações para NE, e mergulhos suaves para leste. Dobras isoclinais recumbentes causaram repetição das camadas e conformam a distribuição dos corpos de minério.

Hematita e magnetita são os minerais de minério principais. De maneira geral, a hematita predomina sobre a magnetita (acessória) nos depósitos da porção sul do distrito, enquanto que nos depósitos localizados mais ao norte hematita e magnetita podem se equivaler.

As camadas de minério apresentam teores maiores de ferro na base da unidade estratigráfica normal, com diminuição progressiva no sentido do topo, até alcançar,

de forma transicional, o diamictito estéril da capa. Intercalações de quartzitos e metadiamictitos estéreis são observadas nas camadas de minério, muitas vezes, contudo, sem continuidade lateral. Por vezes, a zona basal apresenta bandamento composicional com alternância de bandas irregulares ricas em ferro e outras ricas em quartzo, com aspecto de formação ferrífera bandada, apesar de sua gênese totalmente distinta. Esses leitos foram considerados, por Viveiros *et al.* (1978), como quartzito hematítico com aspecto de formação ferrífera bandada, devido à alternância de leitos com quartzo, sericita, clorita, minerais opacos, zircão e fosfato (apatita) e leitos com hematita (até 40% da composição modal da rocha), magnetita, martita e ilmenita.

Até profundidades que podem alcançar 40 metros, ocorre metadiamictito friável, com a rocha quase que completamente desagregada, e à medida que aumenta a profundidade tornam-se semicompactos e compactos.

A hematita é, em sua maior parte, especular, de granulometria fina, acompanhando os planos de foliação principal (Figura 3.5). Hematita granular ocorre em proporções reduzidas. A magnetita ocorre dispersa na matriz ou associada à hematita na forma de porfiroblastos euédricos a anédricos, deformados ou não, com características sin e pós-tectônicas.

O metadiamictito mineralizado é formado, essencialmente, por sílica e ferro, tendo alumina e fósforo como contaminantes mais expressivos. O fósforo é oriundo,

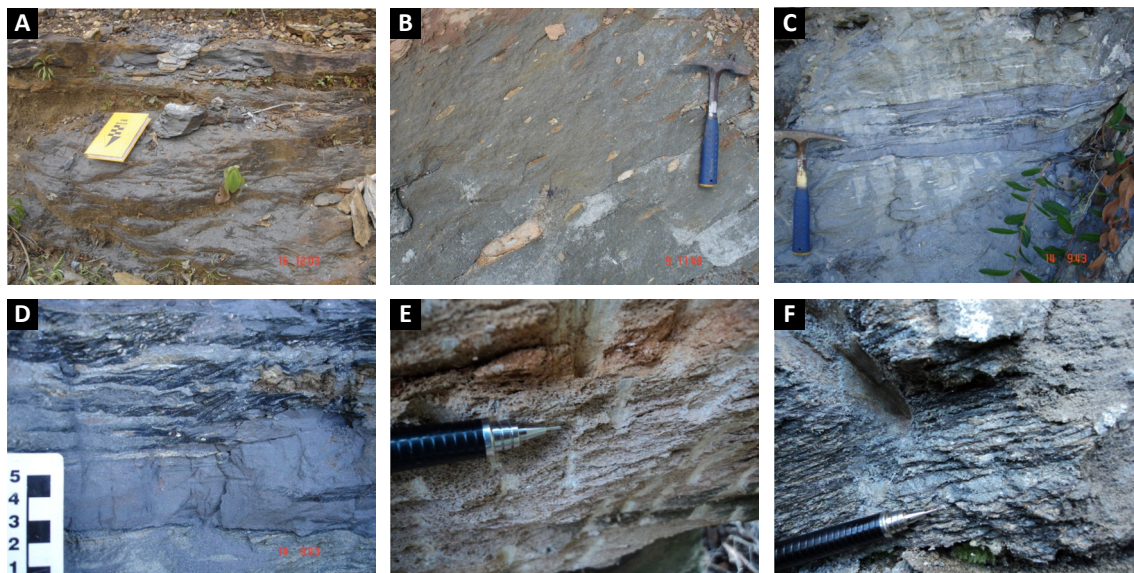


Figura 3.5 - A) Metadiamictito hematítico aflorante na porção sul do Distrito Ferrífero do Norte de Minas Gerais; B) Metadiamictito hematítico com fragmentos estirados segundo o mergulho. Formação Nova Aurora, Grupo Macaúbas;

C) Metadiamictito hematítico com intercalações de níveis arenosos (pouco mais escuros). Os níveis arenosos são descontínuos, com estiramento dos clastos paralelo à variação granulométrica (S0//S1); D) Detalhe, na parte de baixo da foto, mostra contato do diamictito hematítico (escuro) com um nível arenoso (entre os números 2 e 3 da escala).

Na parte superior da foto, nota-se uma porção mais rica em hematita, crenulada com formação de uma clivagem de crenulação S2; E) Metadiamictito magnetítico estéril, com magnetita euédrica a subédrica disseminada. Distrito Ferrífero do Norte de Minas Gerais; F) Metadiamictito rico em hematita especular, principal mineral de minério dos depósitos do norte de Minas Gerais. Distrito Ferrífero do Norte de Minas Gerais. Acervo fotográfico SGB-CPRM.

principalmente, da apatita, presente na matriz associada ao quartzo. Essa associação permite que esse contaminante seja passível de remoção no processo de beneficiamento, resultando em concentrados com características econômicas favoráveis à comercialização. Subordinadamente, o fósforo ocorre associado à goethita.

Dardenne e Schobbenhaus (2003) advogam para o minério uma gênese sedimentar-exalativa relacionada à abertura do Rifte Macaúbas, com o ferro sendo proveniente da lixiviação hidrotermal de rochas máficas do assoalho oceânico e sedimentação química como matriz dos diamictitos hematíticos, à semelhança dos depósitos do tipo Rapitan. A hipótese de sedimentação química em rifte continental e relacionada a período glacial é corroborada por Vilela (2010), com sedimentação, metamorfismo e deformação no Neoproterozoico, durante o Ciclo Brasileiro. A deformação contribuiu para a concentração do ferro por lixiviação de minerais da ganga, com os teores de Fe total, na forma de Fe_2O_3 , ficando entre 13 e 78%.

Segundo Vilela (2010), na média de 26 amostras de testemunhos de sondagem, o diamictito ferruginoso apresenta SiO_2 entre 13,24% e 78,01% e Fe total entre 10,88% e 78,02%, com os maiores teores de ferro ocorrendo no tipo rico em hematita especular e magnetita. Os valores de Fe_2O_3 se situaram entre 17,02% e 37,75%, no tipo hematítico, e entre 10,88% e 21,66%, no diamictito magnetítico. Os elementos Ti, Al, Mn, Mg, Ca, Na, K, P e Cr, na forma de óxidos, somaram entre 2,94% e 21,91%, com fortes conteúdos em Al_2O_3 (até 12,04%), MgO (até 4,23%) e CaO (até 7,22%). O fósforo ocorre em concentração de até 0,4% de P_2O_5 . Para os diamictitos encaixantes (com menos de 5% de Fe), SiO_2 variou entre 34,57% e 88,50%, Fe_2O_3 total entre 2,12% e 20,81% (este devido ao enriquecimento em clorita, biotita e granada no diamictito) e Al_2O_3 até 12,03%, MgO até 2,37%, CaO até 3,61% e K_2O até 3,79%.

3.2. MANGANÊS

As principais mineralizações de manganês, fora da Província do Quadrilátero Ferrífero, são registradas na região (Distritos) de Conselheiro Lafaiete, São João del-Rei, Ouro Fino-Careaçu-Itapira, Serra do Espinhaço Meridional (Serro), além de outras ocorrências/depósitos isolados (Figura 3.6).

Os protominérios de manganês em Minas Gerais foram classificados em três tipos (DORR; COELHO; HOREN, 1956; GUILD, 1957): a) sílico-carbonáticos; b) mármore-itabiríticos, e c) clásticos.

O protominério sílico-carbonático, representado por gondito (essencialmente quartzo e espessartita), queluzito (predominantemente carbonático com rodocrosita, sem quartzo e pobres em sílica) e rodocrosita

(carbonato de manganês), está presente nas regiões de Conselheiro Lafaiete, São João del-Rei, Ouro Fino-Careaçu-Itapira.

O minério do tipo mármore-itabirítico (na realidade ferro-manganês) é conhecido como tipos Burnier (amplamente lavrado na região de Miguel Burnier-QF) e Lagoa Grande (na Serra da Moeda-QF) (ver Capítulo 2).

O tipo clástico ocorre associado aos tipos anteriores e, também, nos distritos de Itabira, Serra do Cipó (PINTO, 1961), Vale do Peruáçu e Rio Pardo de Minas.

Os distritos de São João del-Rei, Conselheiro Lafaiete e Ouro Fino-Careaçu-Itapira apresentam mineralizações (sílico-carbonáticas) associadas às rochas vulcano-sedimentares paleoproterozoicas (Grupo Barbacena, ou correlatas) (Figura 3.6 e Figura 3.7).

3.2.1. Distrito Manganífero de Conselheiro Lafaiete

São conhecidas mais de quarenta minas (Tabela 3.1) e outras tantas ocorrências de minério de manganês nesse distrito (DORR; COELHO; HOREN, 1956; GROSSI-SAD; PINTO; DUARTE, 1975, 1983; SOUZA; RIBEIRO; FEBOLI, 1977; PINTO, 1975; PIRES, 1977). Os principais corpos de minério estão encaixados em xistos de uma sequência vulcano-sedimentar (tipo *greenstone belt*) atribuída à Formação Lafaiete (EBERT, 1956), anteriormente correlacionada ao Grupo Nova Lima (GROSSI-SAD; PINTO; DUARTE, 1983) e, neste trabalho, vinculada ao Grupo Barbacena, de idade paleoproterozoica; alguns corpos estão assentados sobre xistos ultramáficos e esteatitos (pedra-sabão). Distribuem-se, preferencialmente, segundo a direção NE-SW desde o Morro da Mina (em Conselheiro Lafaiete), projetando-se no sentido SW para o distrito de São João del-Rei (Figura 3.7 e 3.8).

Mais de 80% dos jazimentos situam-se entre as cotas de topo de 940 e 1060m, embora as duas maiores minas, Morro da Mina e Cocuruto (Figura 3.7 e 3.8), tivessem topos a 1250 e 1150m, respectivamente (GROSSI-SAD; PINTO; DUARTE, 1983). Em todo o distrito, foram lavradas 14,5 milhões de toneladas de minério oxidado, praticamente exaurindo as reservas do tipo óxidos no distrito de Conselheiro Lafaiete.

Morro da Mina (Figura 3.7) é a melhor exposição (Figura 3.9) e foi lavrada a céu-aberto desde 1894, com incremento a partir de 1902, e, em 2012, representava mais de 90% das reservas conhecidas de Mn no estado de Minas Gerais. O minério oxidado foi considerado exaurido em início da década de 1970, passando a ser testado o aproveitamento econômico do carbonato de manganês, lavrado com sucesso até pelo menos 2014. A rocha sílico-carbonática tem cor predominante cinza-escuro, podendo ter impurezas de cor rosada (rodonita) ou brancas pela maior presença de silicatos.

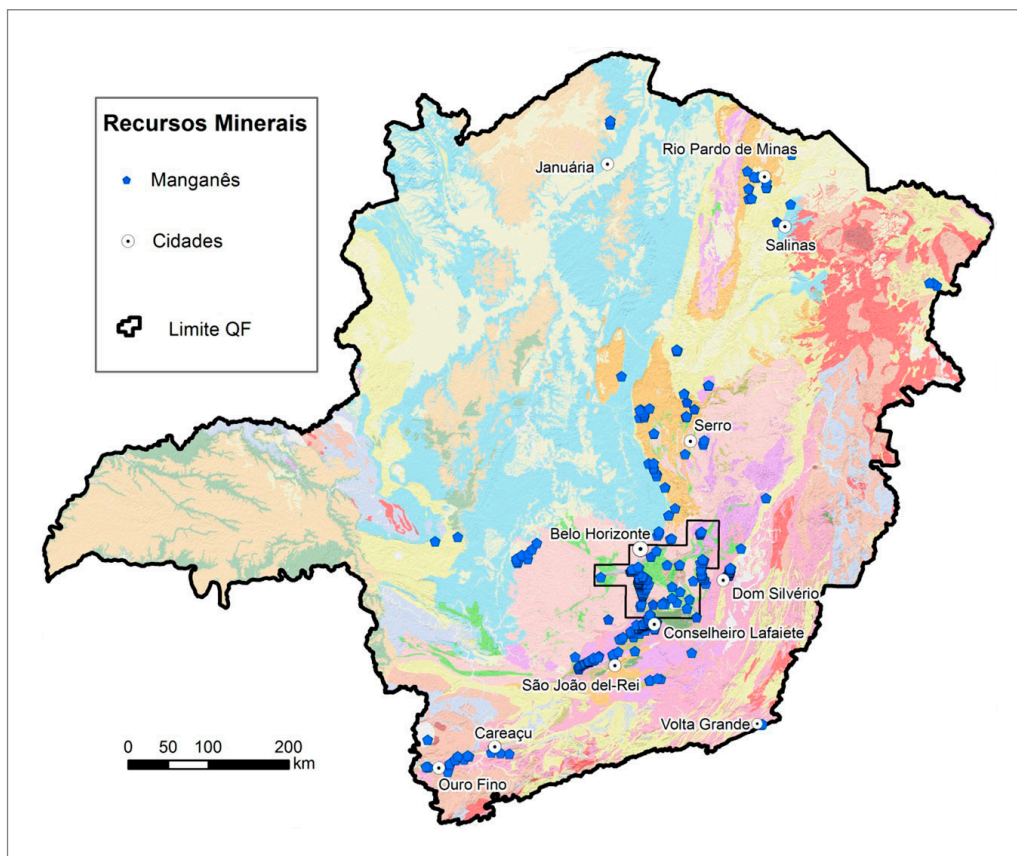


Figura 3.6 - Mapa com os recursos minerais de manganês sobre base tectônica simplificada. Modificado de Pinto e Silva (2014b). Elaboração própria.

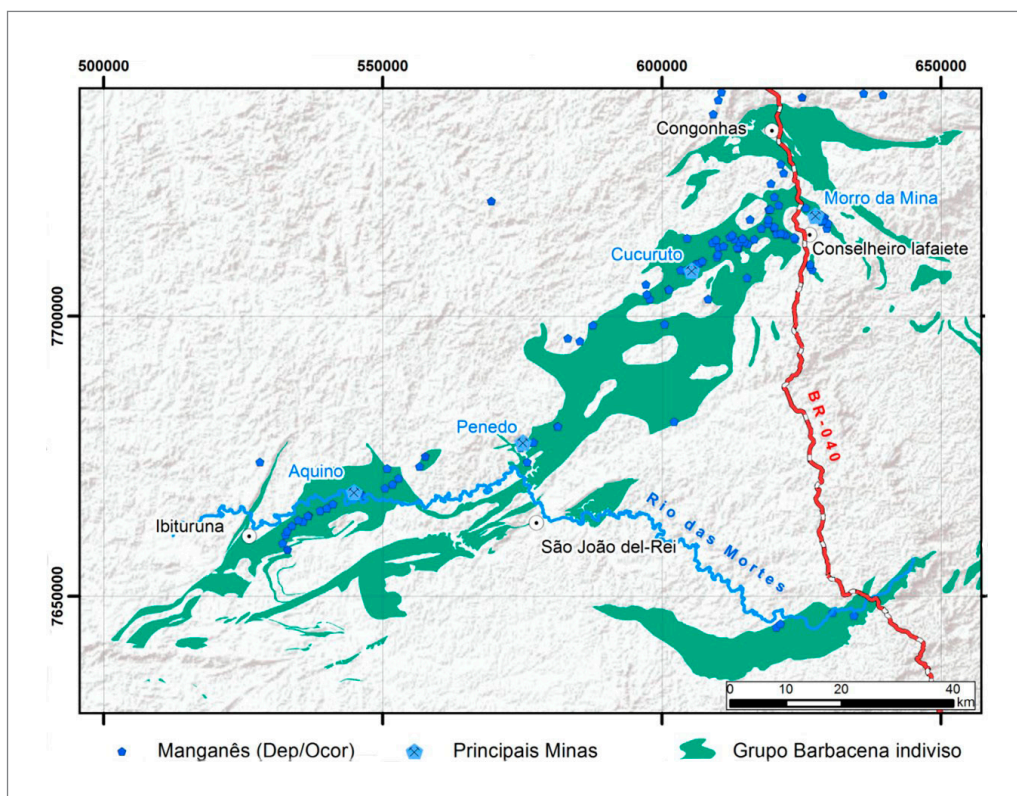


Figura 3.7 - Distribuição geográfica do Grupo Barbacena com os principais depósitos/ocorrências de Mn tipo sílico-carbonático na região de Lafaiete, São João del-Rei. Modificado de Pinto e Silva (2014b) sobre SRTM. Elaboração própria.

Tabela 3.1 - Ocorrências, depósitos e minas de manganês. Distrito de Conselheiro Lafaiete.

Nº	LOCAL	UTM N	UTM E	FONTE	STATUS
1	Morro da Mina	7.718.250	627.650	Pinto, CMM	1
2	Cocuruto	7.708.475	603.500	Pinto, CMM	2
3	Água Preta	7.716.625	629.800	Pinto, CMM	2
4	Estiva	7.715.700	629.600	Pinto, CMM	2
5	Pequeri	7.719.125	619.450	Pinto, CMM	2
6	São Gonçalo	7.716.000	620.200	Pinto, CMM	2
7	Paiva	7.714.725	620.575	Pinto, CMM	2
8	Jurema	7.713.875	614.500	Pinto, CMM	2
9	Buraco do Bicho	7.713.775	612.975	Pinto, CMM	2
10	Maracujá	7.713.000	615.400	Pinto, CMM	2
11	Michaela	7.714.200	612.250	Pinto, CMM	2
12	Sabugo	7.712.425	610.175	Pinto, CMM	2
13	Tapera	7.712.300	613.550	Pinto, CMM	2
14	Enforcado	7.719.375	625.825	Pinto, CMM	2
15	Barroso	7.709.250	626.575	Pinto, CMM	2
16	Lagoinha	7.714.800	621.325	Pinto, CMM	2
17	Bandeirinha	7.719.875	621.000	Pinto, CMM	2
18	Amaral	7.713.257	614.821	Pinto, CMM	2
19	Colatino	7.713.750	616.600	Pinto, CMM	2
20	Marimbondo	7.709.350	606.150	Pinto, CMM	2
21	Limeira	7.708.225	604.275	Pinto, CMM	2
22	Juca da Ponte	7.712.500	611.075	Pinto, CMM	2
23	Isaias	7.713.700	609.700	Pinto, CMM	2
24	Canavial	7.713.125	609.100	Pinto, CMM	2
25	Sabino	7.715.676	617.850	Pinto, CMM	2
26	Olaria I	7.717.250	629.325	Pinto, CMM	1
27	Olaria II	7.717.075	628.900	Pinto, CMM	1
28	Coelhos	7.716.900	628.625	Pinto, CMM	1
29	Pasto dos Carneiros	7.709.500	606.775	Pinto, CMM	2
30	Pasto da Serra	7.709.825	607.300	Pinto, CMM	2
31	Nédio	7.717.275	615.800	Pinto, CMM	2
32	Unha de Gato	7.721.325	620.200	Pinto, CMM	2
33	Alto Maranhão	7.723.700	619.550	Pinto, CMM	2
34	Jacuba	7.708.950	626.550	Pinto, CMM	2
35	Barro Branco	7.708.300	626.950	Pinto, CMM	2
36	Gameleiras	7.695.600	585.350	Pinto, CMM	3
37	Morro Grande	7.698.450	587.670	Pinto, CMM	3
38		7.703.930	597.350	Pinto, CMM	3
39	Chuveiro	7.703.080	597.850	Pinto, CMM	3
40	Madrua	7.704.770	601.270	Pinto, CMM	3
41	Pedra Preta/ Limeira	7.706.000	600.650	Pires 1977	2
42	Engenho	7.705.750	603.200	Pires 1977	2
43	Cantagalo	7.723.600	606.200	Pires 1977	2

Obs: 1- mina ativa; 2- mina abandonada, paralisada, exaurida ou de situação desconhecida; 3- ocorrência, no documento original. As informações sobre o distrito de Lafaiete (CMM 1 a 35) foram atualizadas até 1999. Todas as coordenadas foram obtidas de mapas e são aproximadas. Pinto, Claiton P., mapas de serviço entre 1975 e 1977, da Cia Meridional de Mineração (CMM).

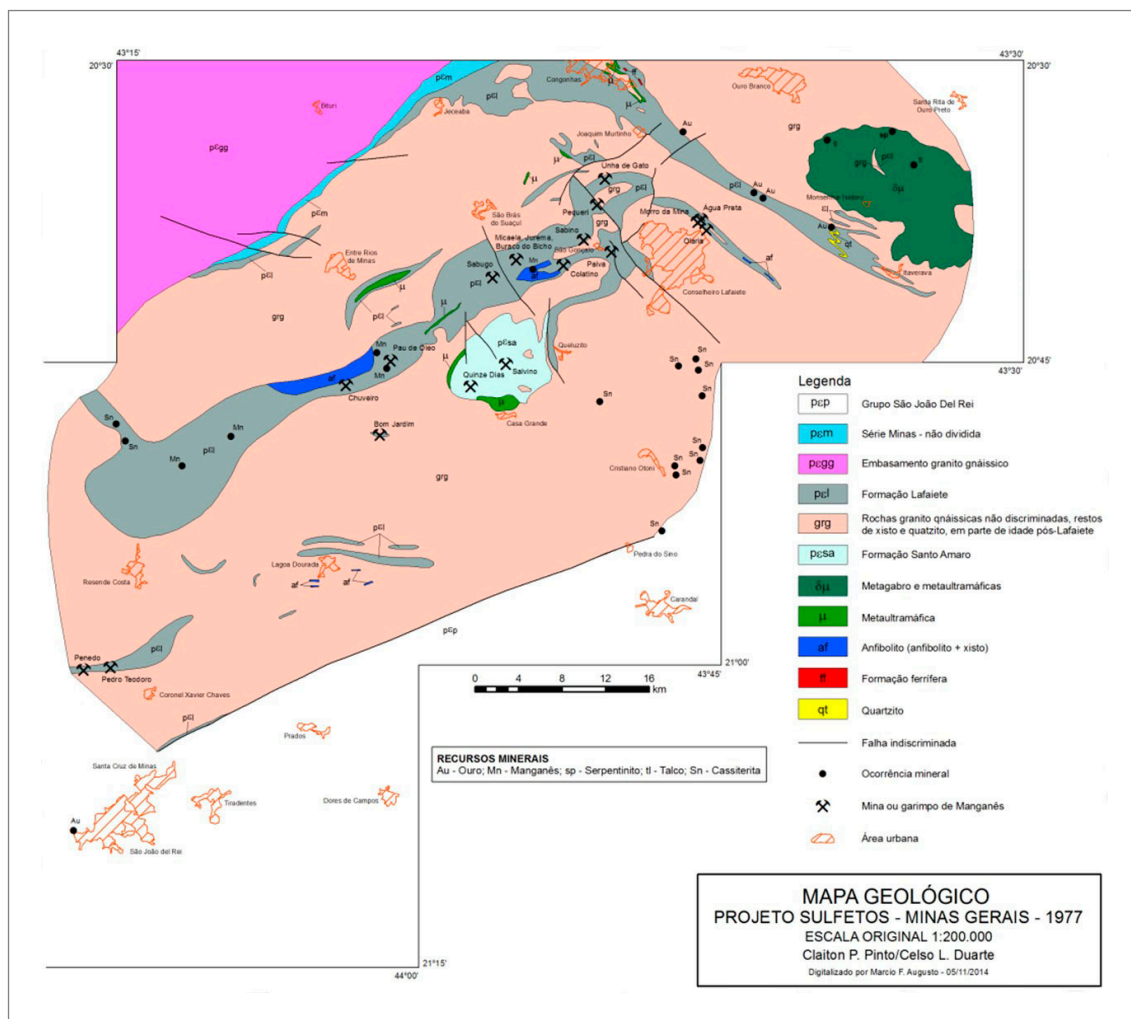


Figura 3.8 - Localização das principais lavras de Mn entre Conselheiro Lafaiete e São João del-Rei, conforme Pinto e Duarte (1977).

O minério sílico-carbonático é formado por rodocrosita (MnCO_3), espessartita, rodonita (em quantidades bastante variadas), grafita, tefroíta, grunerita e alguma flogopita. A rodocrosita contém 47,6% de Mn.

O metamorfismo regional de fácies anfibolito produziu rochas a quartzito + espessartita e outros silicatos manganíferos (minério tipo gondito) e a rodocrosita (minério tipo queluzito). A presença de estratos de xisto grafitoso, próximos ou junto aos corpos de minério, indica que os sedimentos que originaram os protominérios foram depositados em condições redutoras, reforçando a ausência de deposição de óxidos de manganês primário. O minério oxidado é resultado de alteração supergênica sobre esses protominérios de baixo teor.

Estudos conduzidos por Reis (2010) mostram três tipos de minério sílico-carbonático em Morro da Mina: ROM de 1ª, ROM de 2ª, ROM de 3ª, com teores de Mn acima de 32%, entre 32% e 30% e inferiores a 30%, respectivamente, aumentando progressivamente a sílica na ordem inversa do teor de Mn. Em amostras desses minérios (*sinter feed*), foram encontrados valores de até 313,3 ppm de As, 19,9 ppm de Cd, 108 ppm de Zn e

10,6 ppm de Pb. Esses valores foram considerados não deletérios ao minério. Os elementos-traço referidos constituem substituições, principalmente, nos carbonatos e nos sulfetos (pirita, calcopirita, pentlandita, covelita, alabandita).



Figura 3.9 - Vista da mina de manganês de Morro da Mina. Formação Lafaite, Grupo Barbacena. Conselheiro Lafaiete, MG. Foto cedida por Luana Duarte Santos (SGB/CPRM).

Durante os trabalhos de lavra da Cia. Meridional de Mineração, na década de 1970, era possível se observar, em fraturas do minério de manganês, a presença de manchas verdes cupríferas, aparentemente produto de lixiviação de anfíbolito. Também, foram observados cristais dispersos de galena, um deles com até um centímetro de aresta. Trabalhos de prospecção geoquímica regional, conduzidos pela Meridional, não mostraram anomalias importantes para esses elementos.

Até 1999, a produção em Morro da Mina somou 8,5 milhões de toneladas de minério oxidado de alto teor e 4,1 milhões de toneladas de minério carbonático. Em 1999, a produção de minério carbonático beirou 158 mil toneladas e manteve-se nos anos seguintes por volta de 180 mil toneladas ao ano. Informação não publicada (2004) dava conta de reserva de 20 milhões de toneladas de minério sílico-carbonático de manganês em Morro da Mina, que a viabilizaria por mais um século, a se considerar a produção de 200 mil toneladas por ano. Dados da Revista Minérios & Minerales Nº. 317 (2009) e 322 (2010) indicavam produção, em 2008, de 212.762t e, em 2009, de 210.000 toneladas ROM de minério carbonático de Mn. A mesma fonte informava reservas medidas de 15,32 milhões de toneladas ROM de minério com teor de 24,3% de Mn. Em 2015, a mina estava paralisada em virtude do custo da energia na produção de ferroligas que usava o carbonato de manganês como matéria-prima.

Em **Pequeri** (mina próxima ao Morro da Mina e de menor dimensão) o (proto)minério também é carbonático.

Nesse distrito, os corpos de minério são geralmente delgados, da ordem de decímetros a poucos metros de espessura e algumas centenas de metros de comprimento. Excepcionalmente, dobramentos apertados com planos axiais verticais podem levá-los a ter espessuras aparentes muito maiores, chegando a 70 metros em Morro da Mina.

3.2.2. Distrito Manganífero de São João del-Rei

Aproximadamente, 30 minas ou depósitos de minério de manganês ocorrem em uma faixa de direção WSW (Tabela 3.2), com cerca de 50 quilômetros de comprimento e centenas de metros até poucos quilômetros de largura, entre Ibituruna e Penedo, projetando-se para Lavras, no sul de Minas Gerais (Figura 3.7). Os corpos de minério são idênticos aos do distrito de Conselheiro Lafaiete, que situa-se em continuidade a nordeste. O minério está encaixado em biotita xisto e grafita xisto.

O minério oxidado provém de protominério silicático gondítico e, eventual e rarissimamente, carbonático. O protominério, como em Lafaiete, associa-se à sequência vulcano-sedimentar paleoproterozoica atribuída à Formação Lafaiete.

Tabela 3.2 - Ocorrências, depósitos e minas de manganês no distrito de São João del-Rei. Todas as coordenadas foram obtidas de mapas e são aproximadas. Pinto, Claiton P., mapas de serviço entre 1975 e 1977, da Cia Meridional de Mineração (CMM), com atualizações em outras fontes mais novas, como projetos DNPM-CPRM.

Nº	SUBSTÂNCIA	UTM-E	UTM-N	LOCAL	DADOS ECONÔMICOS HISTÓRICOS
44	Manganês	532.100	7.659.450	Macacos	
45	Manganês	532.600	7.660.950	Macacos	
46	Manganês	532.900	7.661.620	Ribeirão	
47	Manganês	533.730	7.662.580	Ribeirão	Reserva estimada: 30mil t; teor: Mn total < 30%
48	Manganês	534.900	7.663.580	Ribeirão	
49	Manganês	535.750	7.663.300	Córrego do Sobrado	
50	Manganês	536.600	7.664.350	Sumaré	
51	Manganês	538.800	7.665.250	Fundão	
52	Manganês	540.000	7.665.700	Chá	Produção estimada: 10mil t/ano; teor: Mn total < 30%
53	Manganês	541.100	7.666.450	Chá	
54	Manganês	544.000	7.668.160	Castanheira	RM = 49.824t; metal contido: 12.456t. Teor: Mn total = 23%. Produção bruta (1998) = 1.976t
55	Manganês	544.300	7.668.300	Germinal	
56	Manganês	544.900	7.668.620	Aquino	RM = 269.595t; RI=382.347t; Rinf=233.398t. Teores: Mn = 35%; SiO ₂ = 22%; Fe ₂ O ₃ = 5%.
57	Manganês	544.500	7.667.480	Estação Sta. Helena	Produção bruta (1998): 4.055t de minério com 35% de Mn.
58	Manganês	545.430	7.667.740	Fazenda Baú	
59	Manganês	545.800	7.668.480	Fazenda Baú	
60	Manganês	546.400	7.667.960	Fazenda Baú	

(Continua)

Tabela 3.2 - Ocorrências, depósitos e minas de manganês no distrito de São João del-Rei. Todas as coordenadas foram obtidas de mapas e são aproximadas. Pinto, Claiton P., mapas de serviço entre 1975 e 1977, da Cia Meridional de Mineração (CMM), com atualizações em outras fontes mais novas, como projetos DNPM-CPRM (Continuação).

Nº	SUBSTÂNCIA	UTM-E	UTM-N	LOCAL	DADOS ECONÔMICOS HISTÓRICOS
61	Manganês	550.430	7.669.330	Rio do Peixe, Fazenda Peixoto	
62	Manganês	551.780	7.670.000	Rio do Peixe	
63	Manganês	552.840	7.671.060	Rio do Peixe	
64	Manganês	550.797	7.672.825	Córrego Pasto dos Bois	
65	Manganês	556.700	7.673.400	Cachoeira	RM = 1.462.882t, RI = 303.500 toneladas, RF=1.828.200 toneladas. Teores: Mn total = 28%; Fe = 10%; SiO ₂ = 15%; Al ₂ O ₃ = 12%
66	Manganês	558.000	7.674.200	Cachoeira	Produção (SMM): 91mil t (1998); 40mil t (1999), com teor médio de 25% de Mn total
67	Manganês	575.150	7.677.500	Penedo	Reserva estimada: 100.000 toneladas; teor: ~30% Mn total; produção: < 10.000 t/ano (1999)
68	Manganês	574.770	7.676.730	Penedo	RM = 30.515t. Teores: Mn = 27%; Fe = 10%; SiO ₂ = 15%; Al ₂ O ₃ = 15%. Produção (1998): 3.000 toneladas de minério
69	Manganês	576.000	7.677.420	Contendas	
70	Manganês	577.000	7.677.500	Pedro Teodoro	
71	Manganês	528.000	7.674.000	Faz. Santa Cruz	
72	Manganês	575.910	7.673.960	Glória, Penedo	
73	Manganês	621.300	7.645.100	Campolide	
74	Manganês	620.550	7.644.450	Campolide	
75	Manganês	630.630	7.647.090	Fazenda das Maninhas	
76	Manganês	634.450	7.646.550	Fazenda Paraíso	

Em **Penedo** (Figura 3.7), é reportada a presença de rodocrosita (DORR; COELHO; HOREN, 1956). Trabalhos de sondagem exploratória da Sociedade Mineira de Mineração (SMM) (ex-Cia. Meridional de Mineração, CMM), atualmente, cortaram somente um intervalo de oito centímetros de carbonato de manganês, embora os furos tenham chegado ao protominério silicático.

Os corpos de minério conformam lentes ou camadas com poucos metros de espessura e até mais de um quilômetro de comprimento, geralmente sustentando relevo de morros. O intemperismo atinge dezenas de metros de profundidade, com teor decrescente do minério a partir da superfície. O teor do minério variava de 30% até *ca.* 50% de Mn total (já esgotado). Minério rolado ocorria nas encostas e ao redor dos corpos *in situ*, como fragmentos e massas concrecionárias desde 5 milímetros de diâmetro até bem maiores.

Os primeiros corpos de minério foram identificados em 1912 e, até 1999, a produção total do distrito foi estimada em 2,5 milhões de toneladas de minério, com queda contínua de teor ao longo do tempo. A maioria dos corpos está exaurida ou a atividade foi interrompida em consequência da má qualidade do minério, permanecendo como registro histórico. As principais minas do distrito foram Cachoeira, Penedo, Sumaré, Aquino, Castanheira, Córrego do Fundão (agrupamento das minas do Chá, Boqueirão e Matinha), Germinal, Contenda, Pedro Teodoro (ou Ribeirão).

Para o distrito, em 2000, eram estimadas reservas de 200 mil toneladas de minério com 28% de Mn total e outras 500 mil toneladas de minério com teor inferior, podendo aproximar-se de 25% de Mn total em alguns locais. O material mais pobre teria aplicação na indústria de ferro-gusa, mas o frete a longas distâncias pode inviabilizar o empreendimento mineiro.

3.2.3. Distrito Manganífero de Ouro Fino - Careçu - Itapira

Na porção sudoeste do estado de Minas Gerais, projetando-se para São Paulo, ocorre uma faixa com aproximadamente 120 quilômetros de comprimento na direção NE e até cerca de 30 quilômetros de largura, denominada de Distrito Manganífero de Ouro Fino-Careçu-Itapira (Figura 3.6). Tem como localidades extremas Itapira e Socorro, em São Paulo, e São João da Mata, Careçu, Santa Rita do Sapucaí e Ouro Fino, em Minas Gerais. Parte do distrito está representada na Figura 3.10. O distrito representa o prolongamento geográfico sudoeste da zona manganífera do distrito de São João del-Rei, com um hiato de ocorrências de minério de cerca de 100 quilômetros. Careçu fica 75 quilômetros a nordeste de Ouro Fino (Figura 3.6).

A região foi primeiramente estudada por Ebert (1968, 1971, 1974), que descreveu uma associação de micaxistos,

muscovita quartzito, metagrauvaca e metarcósio, atribuída ao Grupo Itapira. Wernick, Fernandes e Almeida Júnior (1976) reconheceram biotita xistos, com ou sem granada, e sillimanita, rochas calciossilicáticas, gondito. Neste trabalho, correlaciona-se o Grupo Itapira ao Grupo Barbacena, com base em associações e continuidades físicas dos litotipos, com destaque para os corpos de minério de manganês.

Reforçando as evidências para a correlação entre os grupos Itapira e Barbacena, cita-se descrição de Pires, Leonardos Jr. e Couto (1970), referindo-se a Felício Júnior (1939): “os depósitos de manganês da região de Socorro, São Paulo, enquadram-se também entre gonditos. São lentes de quartzitos granatíferos com óxido de manganês, orientados 50° NE e mergulho de 70° N, encaixadas em paragnaisse granatífero”.

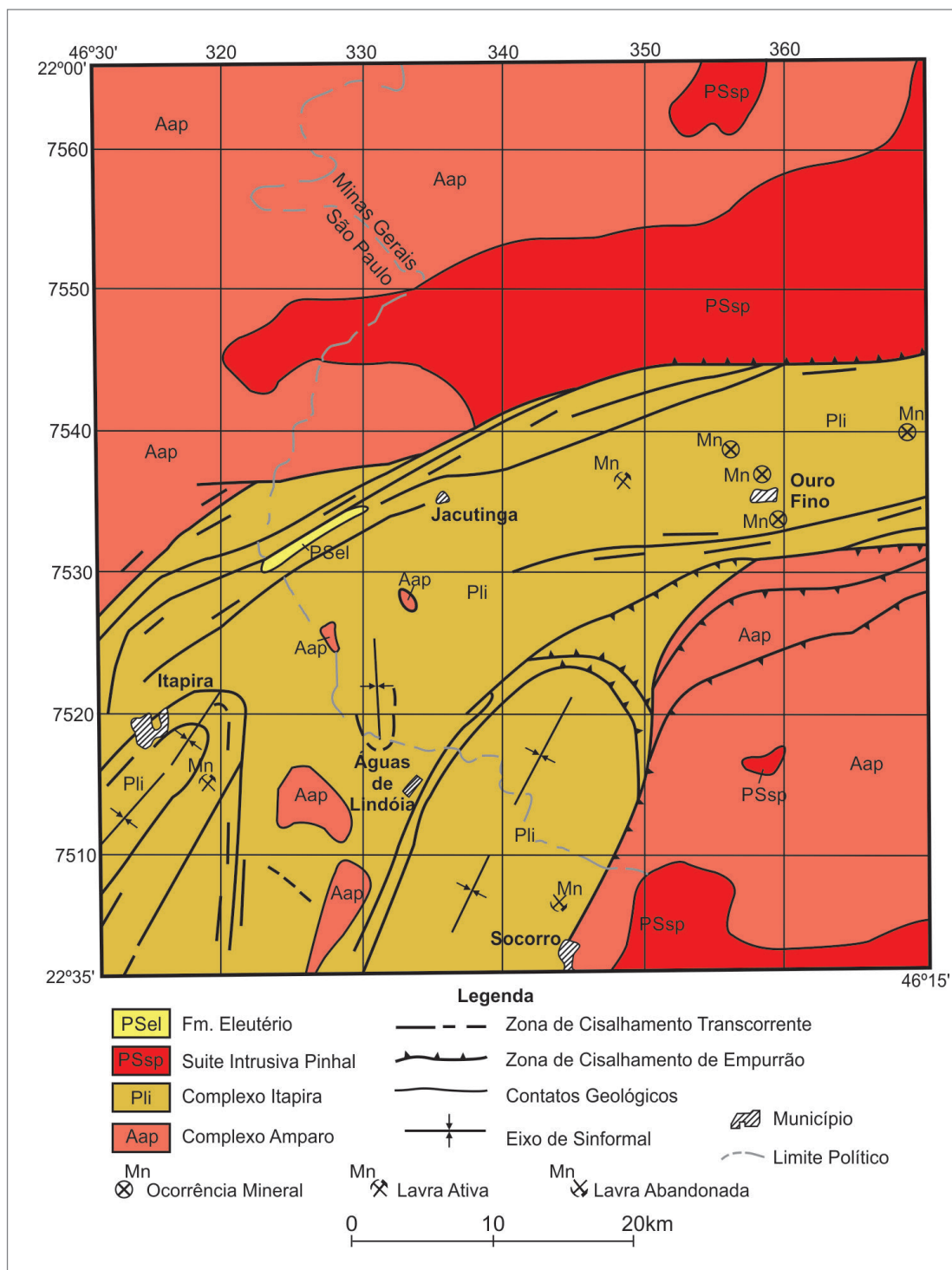


Figura 3.10 - Ocorrências e minas de manganês entre Itapira e leste de Ouro Fino (mapa original de Veríssimo, 1991, modificado por ANGELI *et al.*, 2011). O Complexo/Grupo Itapira seria correlato ao Grupo Barbacena.

É citado também que as lentes manganíferas estão contidas em faixas de xistos com e sem anfibólio e quartzito, intercaladas em gnaisses e migmatitos possivelmente mais velhos, em Pouso Alegre (MG). É destacada a presença de fuchsite quartzito verde, nas regiões de Natércia e Heliodora (MG), e de anfibolitos, nas proximidades de Silvianópolis, Santa Rita do Sapucaí e São Gonçalo do Sapucaí. Essas rochas são similares às descritas para a região de Conselheiro Lafaiete, integrantes do Grupo Barbacena, Formação Lafaiete e Formação Santo Amaro (GROSSI-SAD; PINTO; DUARTE, 1983), uma associação vulcano-sedimentar tipo *greens-tone belt* riaciana.

Esses depósitos de minério de manganês têm como protólitos/protominérios rochas silicáticas e calciossilicáticas, com possível predominância dos tipos calciossilicáticos na geração dos depósitos mais importantes (VERÍSSIMO, 1991). Esse autor destaca a litioforita $\{(Li,Al)MnO_2(OH)_2\}$, que pode estar associada com grafita, como fase mineral comum nos minérios de manganês do leste de São Paulo e do sul de Minas Gerais.

Os **corpos de minério** são descontínuos e ocorrem em, no mínimo, três faixas aproximadamente paralelas, orientadas na direção nordeste e afastadas lateralmente de alguns quilômetros. Uma das faixas situa-se entre Socorro (SP) e Careagu (MG), a outra entre Bogari e Espírito Santo do Dourado e a terceira entre Jacutinga e São João da Mata (PIRES; LEONARDOS JR; COUTO, 1970). As interrupções dos corpos ao longo da direção podem ter relação principal com a estruturação lenticular primária do protólito ou com a deformação. As repetições laterais dos corpos de minério em faixas ligeiramente paralelas podem estar relacionadas a falhamentos transcorrentes, também na direção nordeste. Alguns corpos podem ter sido repetidos ou espessados por dobramentos.

Os **depósitos de manganês da região de Careagu** situam-se entre os rios Sapucaí-Guaçu e Turvo, poucos quilômetros a leste da cidade de Careagu (Figura 3.6). O protominério gondítico, e o minério supergênico decorrente associam-se a quartzito, muscovita xisto e anfibolito, em corpos subverticais. O gondito é formado por espessartita e quartzo, em quantidades que variam desde um quartzito quase puro a uma rocha essencialmente granatífera. Secundariamente, ocorrem muscovita, anfibólio, piroxênio, rodonita e mica de manganês. No processo de oxidação da granada, há concentração de manganês (pirolusita e *wad*) predominante e ferro. O minério da Fazenda Pedra Preta, em Careagu, variava entre 32% e 48% de MnO_2 e entre 3% e 6,5% de Fe total, em porcentagem em peso (PIRES, LEONARDOS JR.; COUTO, 1970). Destaca-se que teores mais baixos também ocorriam, mas o material não era considerado minério. O protominério (gondito) foi atribuído ao

Complexo Lambari (BALTAZAR; SILVA; PADILHA, 1988) e aqui redefinido como Grupo Barbacena, em associação com paragneisses, anfibolito, muscovita quartzito, granada muscovita xisto e rocha calciossilicática.

A **mina de manganês de Caneleiras**, em Jacutinga (OLIVEIRA, 1987), tem gondito, como protominério, em associação com biotita-muscovita-granada gnaisses e micaxistos com intercalações de muscovita quartzito, arcossiano ou não, e rochas calciossilicáticas, reunidos no Grupo Itapira (EBERT, 1971). Na mina também estão expostos biotita-hornblenda gnaisses com intercalações de anfibolito, quartzito, biotitito e rochas com granada e diopsídio (OLIVEIRA, 1987). A reserva de minério oxidado foi avaliada em 4 milhões de toneladas, com teor médio de 32% de MnO_2 . A cota de topo dos morros com minério era de 960 a 980m. O enriquecimento supergênico do protominério atingiu cerca de 15 metros de profundidade, formando minério compacto e granular, este em zona superficial.

No **município de Caldas**, junto à divisa com São Paulo, está a mina de minério de manganês de **Cercado** (coordenadas -21°,961585/-46°,504560; WGS84), considerada ativa nos registros consultados em 2012, com processo do DNPM de 1935.

3.2.4. Distrito Manganífero da Serra do Espinhaço Meridional

Ocorrências de minério oxidado de manganês são conhecidas ao longo da borda ocidental da serra do Espinhaço, principalmente na Serra do Cipó. Ocorrências de manganês também são encontradas entre Serro e Couto de Magalhães de Minas e em alguns outros pontos isolados da região da Serra do Espinhaço (Figuras 3.6 e 3.11).

As rochas dos grupos Bambuí e Macaúbas e do Supergrupo Espinhaço, aflorantes nessa região, encontram-se fortemente afetadas pela tectônica brasileira. Em meio a esses terrenos, na região do Inhamé, são conhecidos depósitos de minério oxidado de manganês. Os mais importantes eram associados a uma unidade pelítica atribuída ao Grupo Macaúbas. Trata-se de minério residual resultante de enriquecimento supergênico (DUSSIN, 1983).

Estudos conduzidos por Pinho, Ribeiro e Lobato (2007) caracterizaram o minério como formado principalmente por pirolusita e psilomelano, ocorrendo ao longo de zonas de falhas de direção geral NW, que colocam em contato rochas do Supergrupo Espinhaço com rochas dos grupos Macaúbas e Bambuí. Segundo esses autores, a zona mineralizada é descontínua com mais de 100 quilômetros de extensão, ocorrendo concentrações locais de minério de alto teor.

O depósito de minério de manganês da Fazenda das Penas (PINHO; RIBEIRO; LOBATO, 2007; PINHO, 2009), em Santana do Pirapama, na porção ocidental da Serra do

Espinhaço (Serra do Cipó) está associado primariamente a filito, que esses autores atribuem ao Grupo Macaúbas. O minério concentra-se em zonas de brechas que afetaram o filito. Pinho (2009) classifica o minério em quatro tipos (Tabela 3.3): 1) minério duro; 2) brecha de minério; 3) minério pulverulento; e 4) minério ferro-manganesífero.

Os teores são bastante variáveis, mais baixos junto à superfície laterítica ferruginosa, onde pouco ultrapassa 10% de MnO_2 , crescendo em profundidade de poucos metros para valores de até *ca.* 35% de MnO_2 . Eventualmente, na zona brechada, pode ocorrer minério compacto de alto teor preenchendo fraturas. Também ocorrem bolsões ou lentes métricas com minério pulverulento/friável (*wad?*) de alto teor (PINHO; RIBEIRO; LOBATO, 2007; PINHO, 2009).

Tabela 3.3 - Características do minério de manganês da Fazenda Penas (cf. PINHO, 2009).

MINÉRIO	MINERAIS	MnO_2 %
Duro	Pirolusita, criptomelano e quartzo	47 a 63
Brechado	Pirolusita, criptomelano, quartzo e muscovita	23 a 47
Pulverulento	Pirolusita, criptomelano e quartzo	47 a 72
Fe-Mn	Óxidos maciços de Mn (pirolusita, criptomelano) ou fragmentos de quartzito, filito, quartzo de veio e minerais de Mn, com cimento laterítico (goethita)	3 a 30

O modelo genético sugere parte de sedimentação pelítica impregnada de manganês, em ambiente marinho, seguida de metamorfismo de baixo grau (filito), deformação tectônica extensional acompanhada de percolação de fluidos hidrotermais para o domínio de falhas normais por alívio de pressão, culminando com enriquecimento supergênico nas zonas de falhas (PINHO, 2009).

Algumas ocorrências de manganês, também, são reportadas na Serra do Cipó, constituindo-se de lateritas manganesíferas resultantes de intemperismo sobre unidades pelíticas atribuídas ao Grupo Macaúbas e nas regiões de Sete Lagoas - Lagoa Santa e Taquaraçu - Jabuticubas, atribuídas ao Grupo Bambuí. Algum manganês também pode ocorrer no contato entre o embasamento granito-gnáissico e metapelitos da Formação Serra de Santa Helena, Grupo Bambuí, como na região de Bom Despacho, mas até o momento sem potencial econômico (TULLER *et al.*, 2009).

3.2.5. Outras Ocorrências de Manganês em Minas Gerais

Região de Salinas – Rio Pardo de Minas

Ocorrências de minério de manganês são conhecidas ao redor de Rio Pardo de Minas (Figura 3.6), outras próximas à margem esquerda da cabeceira do Rio Peixe Bravo e outra a noroeste de Salinas. Em uma única delas constava atividade extrativa ativa (-16°,126145/-42°,388555, WGS84) e outra estava inativa. Os outros locais são referidos como ocorrências. As mineralizações estão contidas no Grupo Santo Onofre e na Formação Nova Aurora do Grupo Macaúbas. As localizações foram obtidas de cartas geológicas em escala 1:100.000 do Projeto Espinhaço (1997), realizado pelo convênio entre a Cia. Mineradora de Minas Gerais - Comig (Codemig) e o IGC-UFMG (www.portalgeologia.com.br). O minério é dito granular a pulverulento (tipo *wad*) associado à sequência metassedimentar siliciclástica xistosa ou metapelítica.

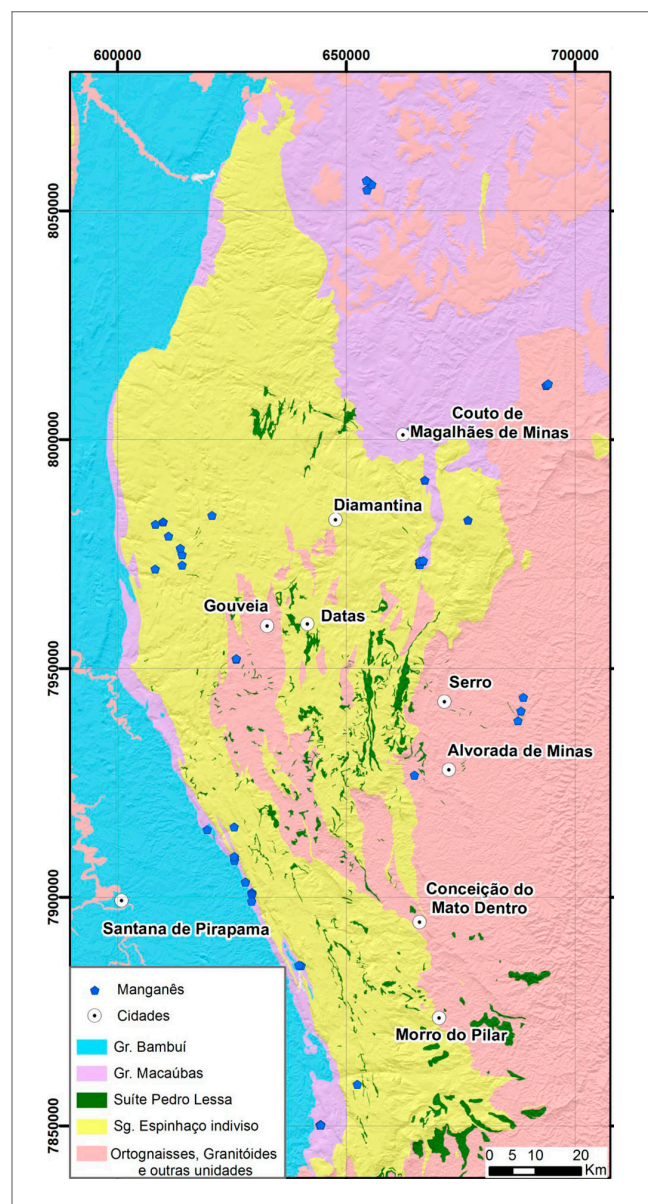


Figura 3.11 - Ocorrências e minas de manganês na região do Espinhaço Meridional (Serra). Modificado de Pinto e Silva (2014b). Elaboração própria.

Região de Peruaçu (Bacia do São Francisco)

Ocorrências de manganês são conhecidas no médio Vale do Peruaçu, que limita os municípios de Itacarambi e Januária (Figura 3.6). Estão situados na Área de Preservação Ambiental do Peruaçu, em um planalto com altitude média de 750 metros, em parte conformado em uma superfície cárstica.

Os corpos de minério de manganês estão relacionados a veios de silexito manganífero negro e compacto. São irregulares e descontínuos, dispostos em zonas preferenciais com espessuras médias entre 10 e 20 metros, esporadicamente superiores a 50 metros, ao longo de uma faixa com cerca de 500 metros de largura e 25 quilômetros de comprimento. Orientam-se, preferencialmente, nas direções noroeste e nordeste, respectivamente em terrenos das margens direita e esquerda do Rio Peruaçu. Os corpos mais importantes são os da margem direita do rio. O minério é resultante do intemperismo, lixiviação e precipitação, com concentração de manganês na superfície em meio a solo, elúvio e colúvio, constituindo desde pequenos blocos até matacões. As concentrações eluviais/residuais atingem até um metro de espessura (profundidade) e os colúvios podem atingir vários metros de espessura, os mais espessos preenchendo fraturas ou cavidades nos calcários (Figura 3.12).

Em níveis mais profundos, o minério é cavernoso, com restos de silexito e teores decrescentes, deixando claro que o enriquecimento é supergênico. Óxidos de manganês pulverulento são praticamente inexistentes, podendo ocorrer no interior de blocos de silexito decomposto. A ganga é principalmente o silexito não lixiviado e as concreções de óxidos de ferro hidratados. O minério é classificado como do tipo metalúrgico com alta relação Mn/Fe, com qualidade para aproveitamento em ferro-ligas.

Os veios de silexito manganífero cortam calcário negro do Grupo Bambuí e granitoides. O silexito tem teores elevados de manganês, bário e sílica, atingindo até 33% de Mn (metal), 7% de Ba (elemento) e 37% de SiO_2 . A lixiviação do silexito produz um minério com teor médio de 38,5% de Mn (metal), 3,5% de Fe (metal), 9,0% de SiO_2 , 4,5% de Al_2O_3 , 0,06% de P (elemento) e 10% de Ba (elemento), atingindo, no minério superficial compacto, metálico a semimetálico de aspecto rugoso e concrecionário, teores, que podem chegar a 68,58% de MnO_2 (48,2% Mn contido), 1,2% de Fe (metal), 2,7% de SiO_2 , 0,42% de Al_2O_3 , 0,10% de TiO_2 , 0,14% de CaO, 12,5% de Ba (elemento), e 0,07% de P (elemento) (SILVA JR.; MARTINS JR., 1987).

Os minerais-minério são hollandita ($\text{BaMn}_8\text{O}_{16}$), psilomelano, criptomelano ($\text{KMn}_8\text{O}_{16}$) e pirolusita (BMnO_2). A presença de silexito, de hollandita e as altas

concentrações de bário são usadas por Silva Jr. e Martins Jr. (1987) como indicativas de condições hipotermiais para a gênese do protominério.

Região de Dom Silvério – Distrito Manganífero de Saúde

A zona mineralizada em manganês localiza-se na região de Dom Silvério, na localidade de Saúde, estendendo-se por cerca de 14 quilômetros ao longo de faixa de direção nor-nordeste, com aproximadamente cinco quilômetros de largura, no sentido de Cônego João Pio (Figura 3.6). O protominério é silicático, representado por gondito e xisto com mangano-cumingtonita, ou carbonático, representado por queluzito, ambos associados a quartzo, rocha calciossilicática e micaxisto do Grupo Dom Silvério (JORDT-EVANGELISTA; ROESER; CARMO, 1990; CAVALCANTE; JORDT-EVANGELISTA, 2004), de idade neoproterozoica, metamorfizados em fácies anfibolito baixo. A mineralização é conhecida desde a primeira metade do século passado (vide GUIMARÃES, 1935), quando houve intensa atividade minerária; o minério oxidado de alto teor está exaurido.

O minério é resultado de processos intempéricos sobre protominério bandado constituído por espessartita, rodonita, rodocrosita, manganocumingtonita, piroxmangita, tefroíta e pirofanita, em ganga de quartzo, calcita, dolomita, forsterita, diopsídio, biotita, rutilo, titanita, apatita, pirita, calcopirita, cobaltita e niquelina (CAVALCANTE; JORDT-EVANGELISTA, 2004). Esses autores indicam evidências de remobilizações tardias com a geração de veios sílico-carbonáticos de manganês e de As, S, Co, Ni e Sb materializadas em texturas de substituição em arsenietos e sulfoarsenietos (niquelina, cobaltita, maucherita e gersdorffita) e em antimonetos e sulfoantimonetos (breithauptita e hauchecornita).

Região de Volta Grande (MG) – Itaperuna (RJ)

Na faixa de cerca de cem quilômetros de comprimento entre essas duas localidades (Figura 3.6), são conhecidos depósitos de minério de manganês de fonte gondítica. Em Minas Gerais, o minério é conhecido na região entre Volta Grande e Pirapetinga, no sudeste do estado. O minério é manganífero grafitoso. As espessuras e comprimentos dos corpos não são conhecidas. Algumas evidências sugerem corpos com poucos metros de espessura e até centenas de metros de comprimento, configurando-se como corpos lenticulares ou tabulares primários ou como consequência de deformação, interrompidos por vários quilômetros. No momento, a região é destituída de interesse econômico para minério de manganês.

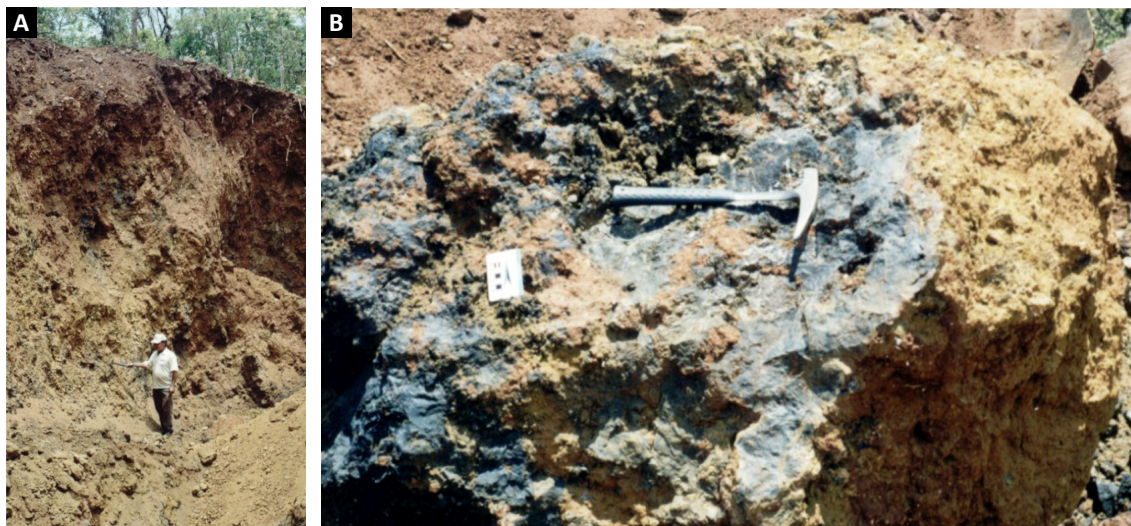


Figura 3.12 - A) Lavra de minério de manganês na Mina do Chicão (Peruaçu) em material elúvio/coluvial. O minério aparece como blocos compactos (manchas escuras na foto) em meio ao material terroso e chert intemperizado. B) Detalhe do minério de manganês. Fotos de Carlos R. Valle.

Em Volta Grande, na Fazenda Bela Vista, trabalhos em lavra abandonada sulcaram a superfície sugerindo um corpo com alguns poucos metros de espessura exposto em altos topográficos ao longo de 700 metros, na direção nordeste. A cota de topo é 250 metros. Essa feição pode ser observada em imagem de satélite do Google Earth, cerca de seis quilômetros a leste de Volta Grande.

O gondito está associado a uma sequência vulcano-sedimentar com gnaiss grafitoso, metachert, formações ferríferas tipo silicato (ferro exalito: quartzo e granada almandina), anfíbolito e rocha metaultramáfica (diopsidito). Ao gondito e ao exalito são atribuídas origens por fluidos hidrotermais exalativos em ambiente marinho, com características de terreno tipo *greenstone belt* (GUIMARÃES, 2011). Entretanto, a correlação é feita com o Grupo (megassequência) Andrelândia, que tem características de margem passiva, com participação de remanescentes de crosta oceânica (GUIMARÃES, 2011). O domínio vulcano-sedimentar está contido em uma faixa de ortogranulitos do Complexo Juiz de Fora. O enquadramento estratigráfico da unidade vulcano-sedimentar permanece em aberto. O conjunto foi submetido a metamorfismo de alto grau.

Região de Nova Resende e Jacuí

Entre essas duas cidades, são conhecidas ocorrências de gondito associadas à Sequência Bom Jesus da Penha (definida por TEIXEIRA *et al.*, 1987), em faixa orientada aproximadamente a nordeste, com cerca de 60 quilômetros de comprimento. Junto à Nova Resende, os níveis manganésíferos ocorrem em leitos métricos que transicionam a formações ferríferas de fácies óxidos-

silicato. A oxidação do gondito leva a óxidos de Mn que, aparentemente, não despertaram interesse econômico. A associação com formações ferríferas sugere origem sedimentar exalativa (ANGELI *et al.*, 1984).

3.3. OURO

Existem outros distritos e depósitos de ouro distribuídos no estado de Minas Gerais, como nas regiões de: Mateus Leme - Pitangui, Congonhas-Itaverava, Serro, Riacho dos Machados e Paracatu (Figura 3.13). Também são descritas diversas ocorrências no sul de Minas (na região da Zona da Mata) e na Serra do Espinhaço Meridional.

Essas ocorrências e depósitos de ouro, fora da região central do Quadrilátero Ferrífero, podem ser agrupadas de acordo com suas tipologias/rochas hospedeiras, conforme listado a seguir.

- Au em sequências vulcano-sedimentares tipo *greenstone belts* ou similares, do Arqueano ou Paleoproterozóico;
- Au em sedimentos clásticos (meso a neoproterozóicos) e em veios de quartzo associados;
- Outros tipos de ocorrências de ouro;

3.3.1. Au em sequências vulcano-sedimentares tipo *greenstone belts* ou similares, do Arqueano ou Paleoproterozoico

Os principais distritos de Au, relacionados a essas sequências vulcano-sedimentares arqueanas ou paleoproterozóicas são: o de Mateus Leme-Pitangui, de Riacho dos Machados (Porteirinha), de Serro e do Lineamento Congonhas-Itaverava (Figura 3.14).

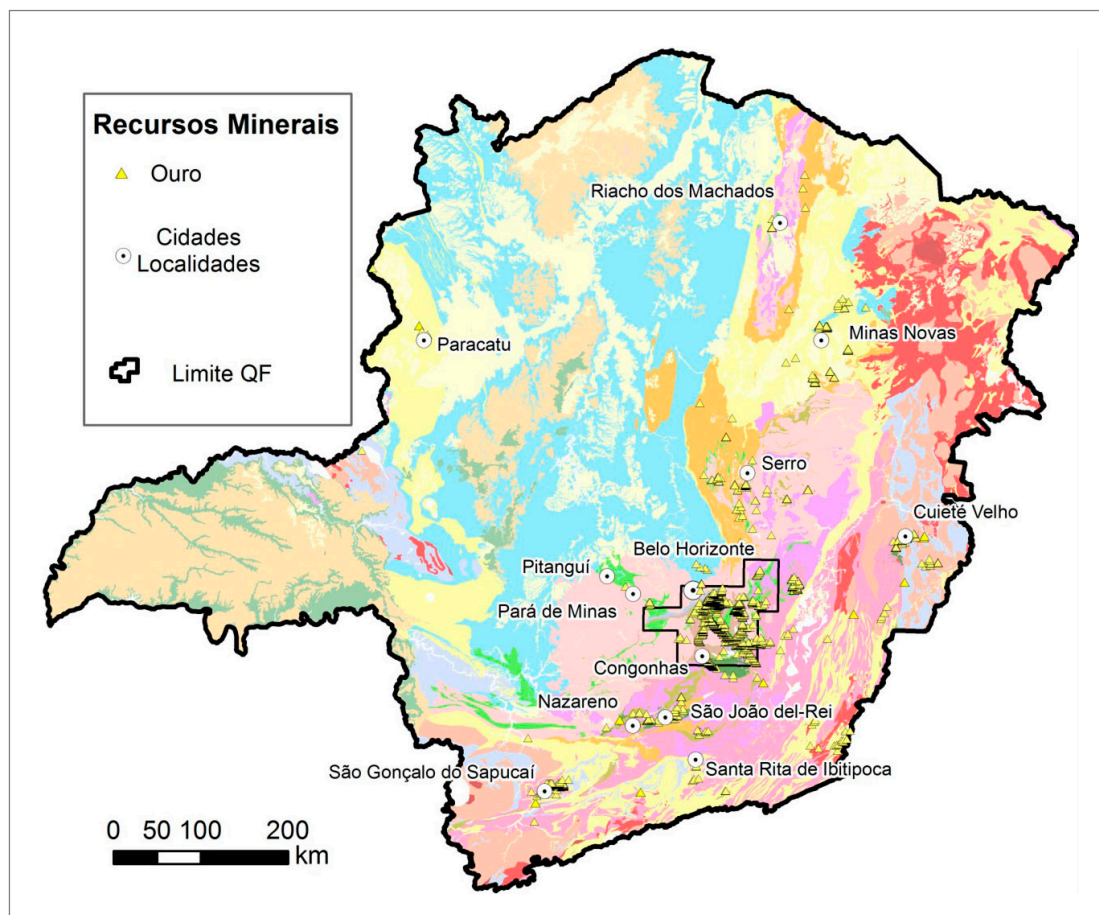


Figura 3.13 - Mapa com os recursos minerais de ouro em Minas Gerais, sobre base tectônica simplificada. Modificado de Pinto e Silva (2014b). Elaboração própria.

Distrito Aurífero Riacho dos Machados (Porteirinha)

O **Distrito de Riacho dos Machados** está localizado na região nordeste de Minas Gerais, próximo às cidades de Riacho dos Machados, Porteirinha, Grão Mogol e Monte Azul. Esse distrito é formado por uma faixa norte-sul que engloba a sequência vulcano-sedimentar do Grupo Riacho dos Machados (Figura 3.15).

O Grupo Riacho dos Machados ocorre na forma de faixas estreitas e segmentadas de direção geral norte-sul, encontrando-se alojado sobre o Bloco Porteirinha, por sua vez composto por gnaisses/migmatitos TTG e plútons graníticos (CROCCO *et al.*, 1993).

Os primeiros trabalhos de síntese nessa região foram realizados pelo DNPM/CPRM, na década de 1980, pelo do Projeto Mapas Metalogenéticos – Previsionais, na escala 1:250.000. Tem como o depósito principal a Mina de Ouro Fino, além de outras ocorrências hospedadas na sequência vulcano-sedimentar do Grupo Riacho dos Machados (GUIMARÃES *et al.*, 1993).

A **Mina de Ouro Fino** situa-se a sudoeste de Riacho dos Machados (Figura 3.15). O ouro foi explotado pela Vale até a última década do século passado, em mina a céu aberto.

O ouro está hospedado em zona de cisalhamento dúctil que corta xisto aluminoso e xisto quartzo-feldspático (provável protólito de rocha vulcânica ácida), por onde percolaram os fluidos hidrotermais mineralizantes. O metamorfismo é de fácies anfibolito e os litotipos são atribuídos à Sequência Ouro Fino (metavulcanossedimentar), do Grupo Riacho dos Machados (FONSECA *et al.*, 1991; FONSECA, 1993; FONSECA; LOBATO, 1993). A alteração hidrotermal levou à transformação das rochas originais, resultando em quartzo-biotita-plagioclásio xisto com granada, estaurolita e cianita e quartzo-plagioclásio-flogopita xisto. A evolução do processo tectônico-hidrotermal conduziu o primeiro a uma cloritização parcial e muscovitização e o outro a uma muscovitização progressiva, sem cloritização. Em ambos os casos, o resultado final é um quartzo-muscovita xisto sulfetado, que hospeda a mineralização (FONSECA, 1993). A zona mineralizada está condicionada a zonas de cisalhamento dúctil orientadas segundo N20E/45SE.

O ouro é muito fino, com cerca de 400 *mesh*, em minério composto de quartzo, muscovita, turmalina, pirita, arsenopirita e pirrotita, ocorrendo principalmente na periferia dos grãos recrystalizados de quartzo e em inclusões nos sulfetos, onde preenche fraturas.

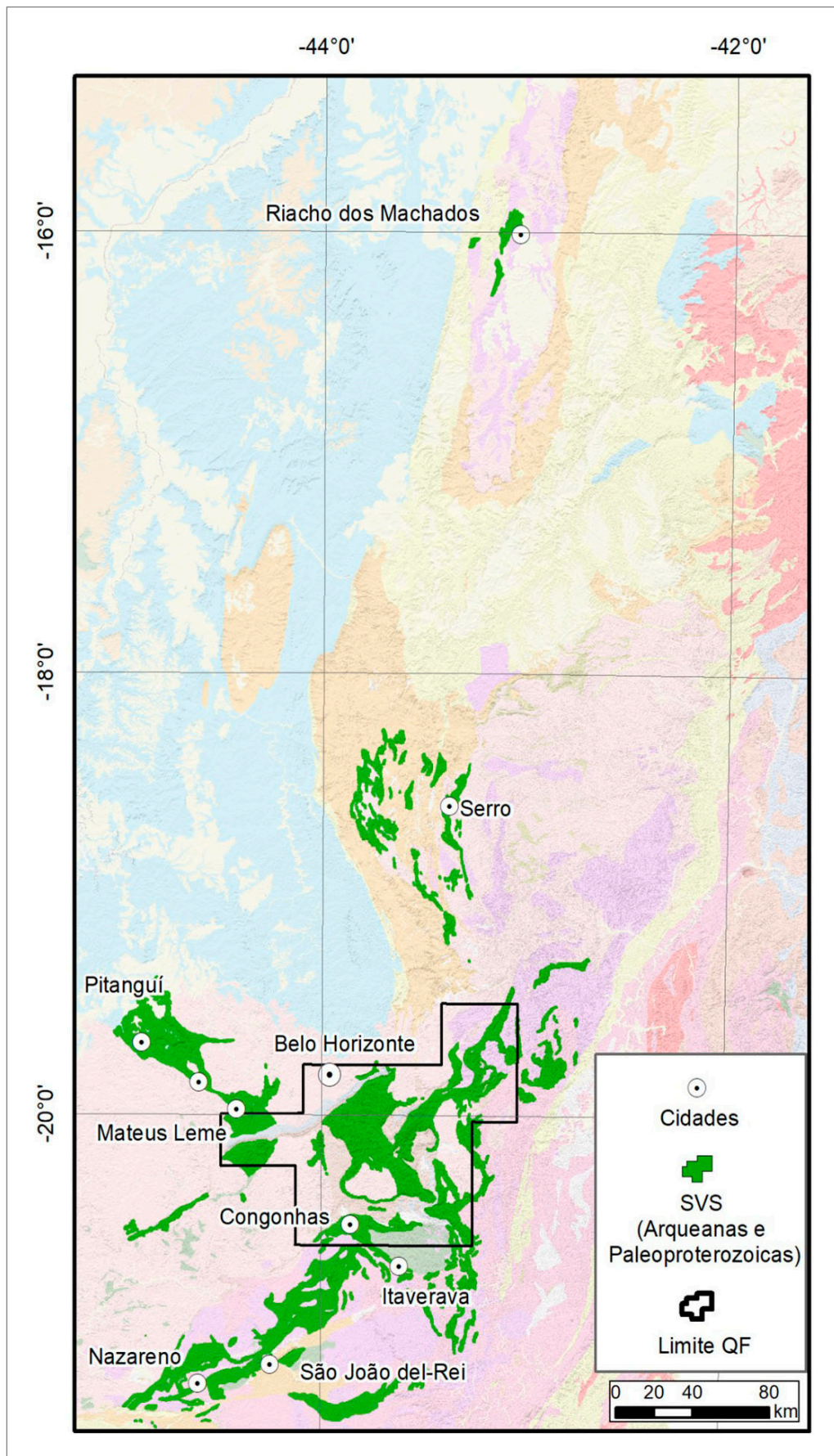


Figura 3.14 - Mapa com destaque para as principais unidades que englobam as sequências vulcano-sedimentares (SVS) arqueanas ou paleoproterozoicas. Modificado de Pinto e Silva (2014a). Elaboração própria.

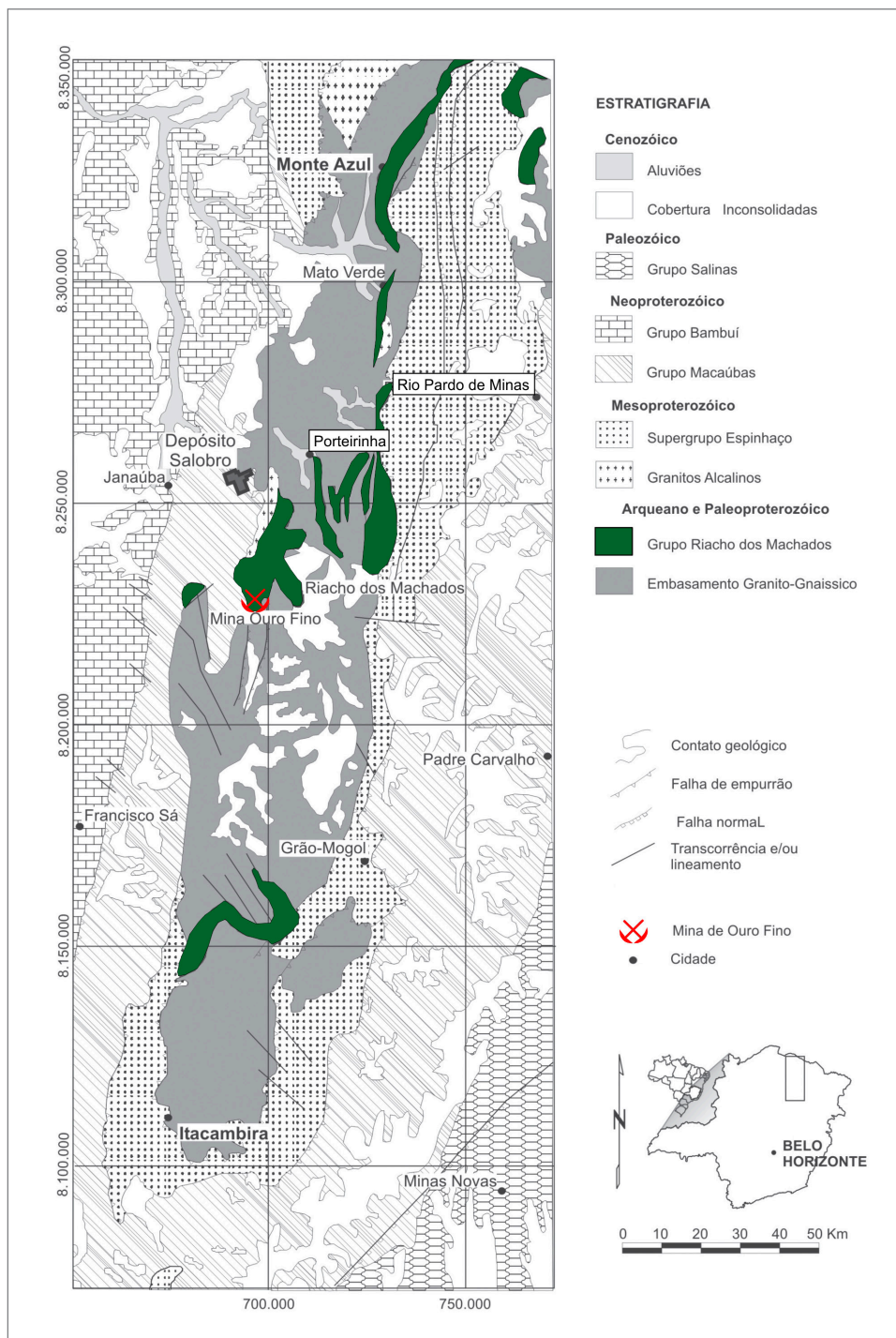


Figura 3.15 - Mapa Geológico Regional com destaque para o Grupo Riacho dos Machados e a Mina de Ouro Fino. Extraído e adaptado de Crocco *et al.* (2006).

Em 1993, as reservas estimadas eram de três milhões de toneladas de minério com teor médio de 2,2gAu/t (FONSECA, 1993).

Distrito Aurífero de Serro

Diversas ocorrências de ouro são conhecidas na região de Serro (Figura 3.13), geralmente relacionadas às formações ferríferas bandadas, de fácies óxido e

carbonato, associadas a rochas metaultramáficas da sequência metavulcanossedimentar (ASSIS, 1982). Essas ocorrências apresentam associação com elementos do grupo da platina e cromita. Atualmente, não são conhecidos depósitos econômicos desses metais no distrito.

Outras ocorrências de ouro são conhecidas na região de Zagaia, a oeste de Alvorada de Minas, que foi objeto de pesquisas pela Metamig (Codemig) na década de 1980, com o nome de Projeto Cromita Serro (Figura 3.16).

O **ouro na região de Zagaia** é conhecido desde o século XVII, em depósitos de placeres e em rocha. Foi explotado nas minas de Descoberto e Zagaia, em rochas de uma associação que Valle (1988), Figura 3.16, chamou de Unidade Pelito-Arenosa Mista, reunindo filito hematítico, quartzito, metachert, quartzito ferruginoso, formação ferrífera, metarrilito, rochas metavulcânicas ácidas, rochas vulcanoclásticas, rochas metaultrabásicas, xistos-verdes clorito-talcosos e mineralizações auríferas. O ouro encontra-se associado, principalmente, a xistos com clorita-talco-carbonato

sulfetados (Mina Descoberto) e a *metachert* ferruginoso (formação ferrífera) com grafita e magnetita (Mina Zagaia). Os corpos mineralizados têm forte controle estrutural, orientados linearmente no sentido quase leste a S70E com mergulhos fracos, em torno de 20° a 25° nesse sentido (UHLEIN; ASSIS; DARDENNE, 1983). A mineralização está vinculada a processos hidrotermal de cloritização, carbonatação, sericitização, sulfetação e alguma turmalinização. Os carbonatos são dolomita e ankerita e os sulfetos são pirita, pirrotita e calcopirita (DARDENNE; SCHOBENHAUS, 2001).

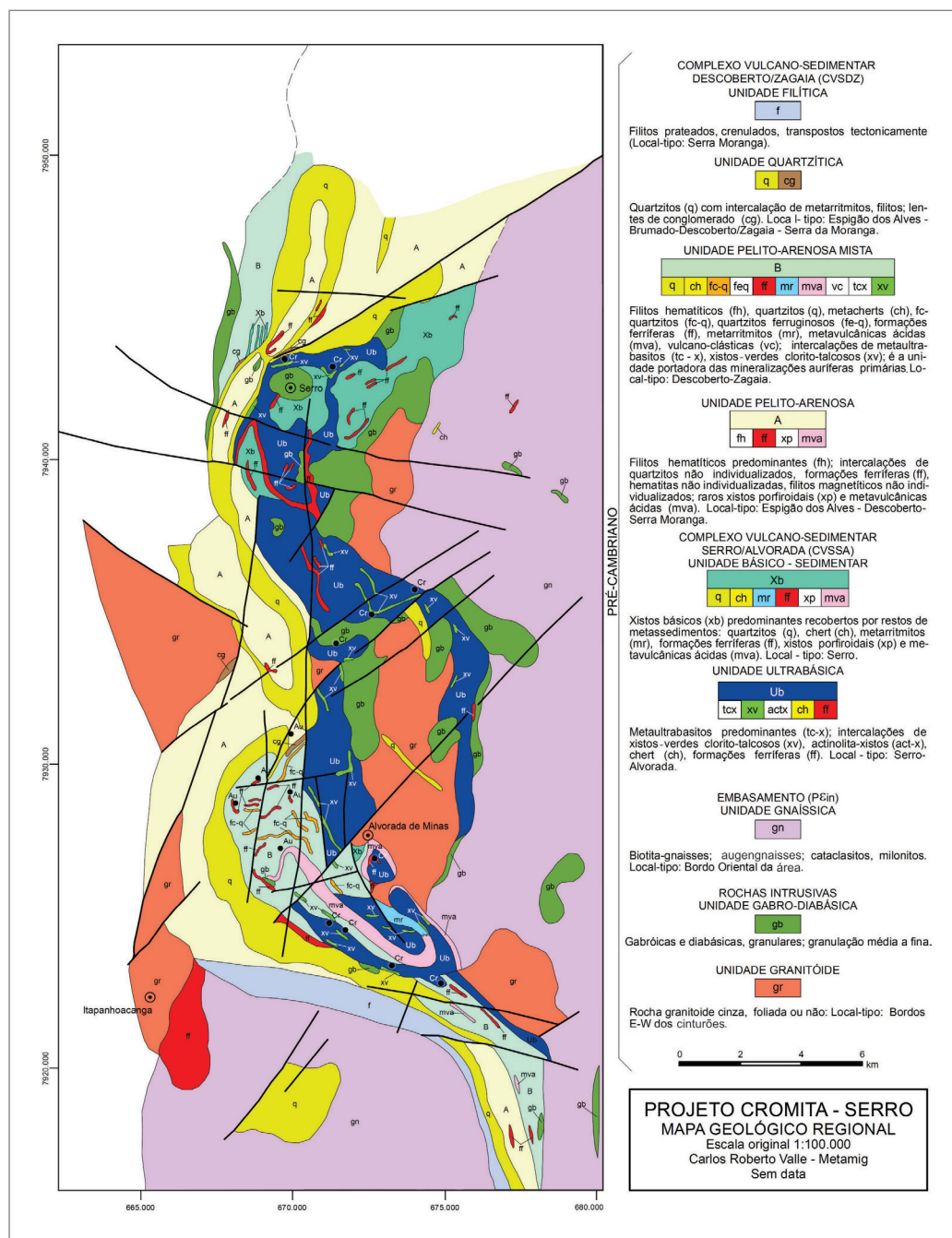


Figura 3.16 - Mapa geológico da região Serro–Alvorada de Minas, obtido de Valle (1988), modificado para este projeto. Algumas unidades não estão representadas devido à escala do mapa. Estão indicadas as ocorrências de Au e Cr.

Distrito Aurífero do Lineamento de Congonhas - Itaverava

Corresponde a uma zona de cisalhamento de alto ângulo com direção aproximada noroeste-sudeste, observada desde a borda sul do Quadrilátero Ferrífero - QF, com projeção para sudeste até Catas Altas da Noruega (Figura 3.17). A zona de cisalhamento corta rochas metavulcanossedimentares, remanescentes de biotita gnaisses bandados, granitóides e rochas vulcano-plutônicas máficas-ultramáficas. As rochas metavulcanossedimentares já foram atribuídas ao Supergrupo Rio das Velhas (Arqueano) e no mapa de Minas Gerais (PINTO; SILVA, 2014a) estão atribuídas ao Grupo Barbacena (Paleoproterozoico). Os gnaisses bandados podem representar remanescente do embasamento TTG (Arqueano) e, principalmente, do Gnaiss Caatinga-Lamim (Paleoproterozoico). Os granitóides são reunidos na Suíte Alto Maranhão. As rochas vulcano-plutônicas máfico-ultramáficas representam uma associação acamadada do Complexo Monsenhor Isidro (provavelmente paleoproterozoica).

Os depósitos e ocorrências existentes na região do Lineamento Congonhas (Figura 3.17), relacionadas a várias cavas do tempo do Brasil Colônia, estão

principalmente hospedadas na sequência vulcano-sedimentar do Grupo Barbacena e, mais raramente, no Complexo Monsenhor Isidro.

Essas ocorrências são formadas, principalmente, por concentrações silicatadas e sulfetadas, em forma de nódulos ou lentes de quartzo-sulfetos com ouro. Estão alinhadas com as zonas de cisalhamento, independentemente do litotipo. A abordagem das condicionantes da mineralização é encontrada em Seixas (1988). São descritos processos de sericitização, cloritização, silicificação, carbonatação, sulfetação e epidotização ao longo da zona de cisalhamento, mas de intensidade variada. Além disso, são encontradas anomalias geoquímicas em sedimentos de corrente e em concentrados de bateia ao longo de quase toda a periferia do Complexo Monsenhor Isidro (LARIZZATTI; MARQUES; SILVEIRA, 2014).

Distrito Aurífero de Pitangui

Esse distrito está localizado a noroeste do Quadrilátero Ferrífero, englobando as cidades de Mateus Leme, Pará de Minas, Pitangui e Onça do Pitangui. O ouro está hospedado em sequências do tipo *greenstone belt* de idade mesoarqueana.

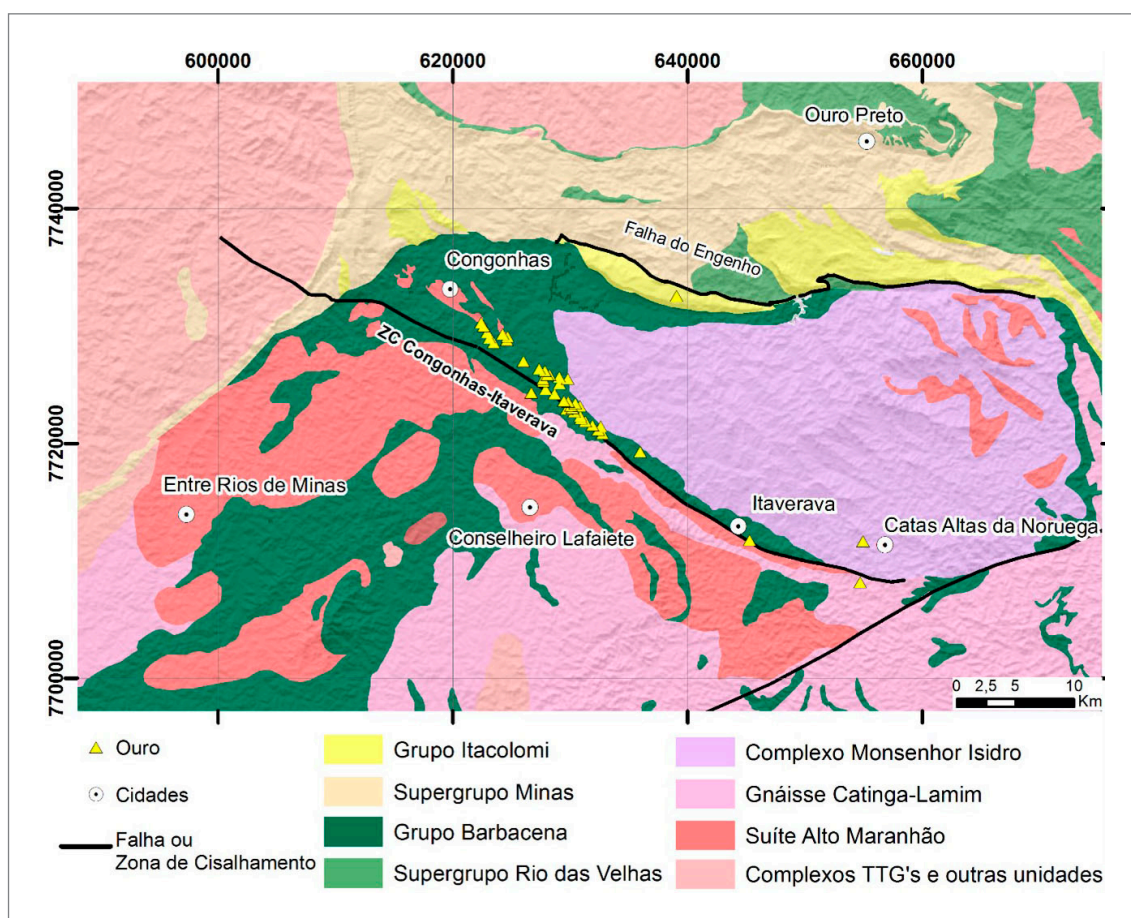


Figura 3.17 - Mapa geológico simplificado com ocorrências de ouro do Distrito Aurífero do Lineamento de Congonhas-Itaverava. Modificado de Pinto e Silva (2014a). Elaboração própria.

O *greenstone belt* forma um alinhamento de cerca de 100 quilômetros de comprimento e até 25 quilômetros de largura e está disposto em três sinclínios, de sudeste para noroeste: Souzas, Mateus Leme e Pitangui, respectivamente (Figura 3.18).

É limitado por granitóides e gnaisses arqueanos e recoberto, a norte e noroeste, por sequências vulcano-sedimentares paleoproterozoicas e por rochas sedimentares neoproterozoicas do Grupo Bambuí (ROMANO, 2007; MARINHO *et al.*, 2018).

Essas sequências *greenstone belts* foram inicialmente correlacionadas cronologicamente ao Grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas (LADEIRA, 1981; SILVA *et al.*, 1985; FRIZZO; TAKAI; SCARPELLI, 1991; HEINECK, 1997; ROMANO, 2007). Entretanto, trabalhos recentes têm indicado diferenças geoquímicas, isotópicas e geocronológicas em relação ao Grupo Nova Lima, o que levou alguns autores a individualizar essa unidade, referindo-as ao *Greenstone* Pitangui (BRANDO-SOARES *et al.*, 2017) ou Grupo Pitangui (MARINHO *et al.*, 2018).

O Grupo Pitangui é formado, em sua base, pela Formação Rio Pará composta por rochas metavulcânicas

máficas a intermediárias, com composições toleíticas de alto-Mg a alto-Fe, intimamente associadas com intercalações de rochas metaultramáficas, metasedimentares vulcanoclásticas, formações ferríferas bandadas e metacherts. Essa unidade grada para a Formação Rio São João, que compreende metarritmitos com forte componente vulcanogênico presença de níveis de metatufos e metaglomerados, e intercalações subordinadas de metassedimentos químicos e metavulcânicas máficas e ultramáficas. Essa unidade é sobreposta por pacote composto essencialmente por metarritmitos, típicos da associação pelito-grauvaca, da Formação Onça do Pitangui (ROMANO, 2007; BRANDO-SOARES *et al.*, 2017; MARINHO *et al.*, 2018). O metamorfismo na área atingiu a fácies anfibolitos, com retrometamorfismo para a fácies xisto-verde (TASSINARI *et al.*, 2015).

No distrito de Pitangui, podemos individualizar, de acordo o agrupamento das ocorrências minerais e suas características específicas, os seguintes campos minerais: Mateus Leme, Turmalina, Lineamento Penha-Onça, Papagaios e o Depósito São Sebastião.

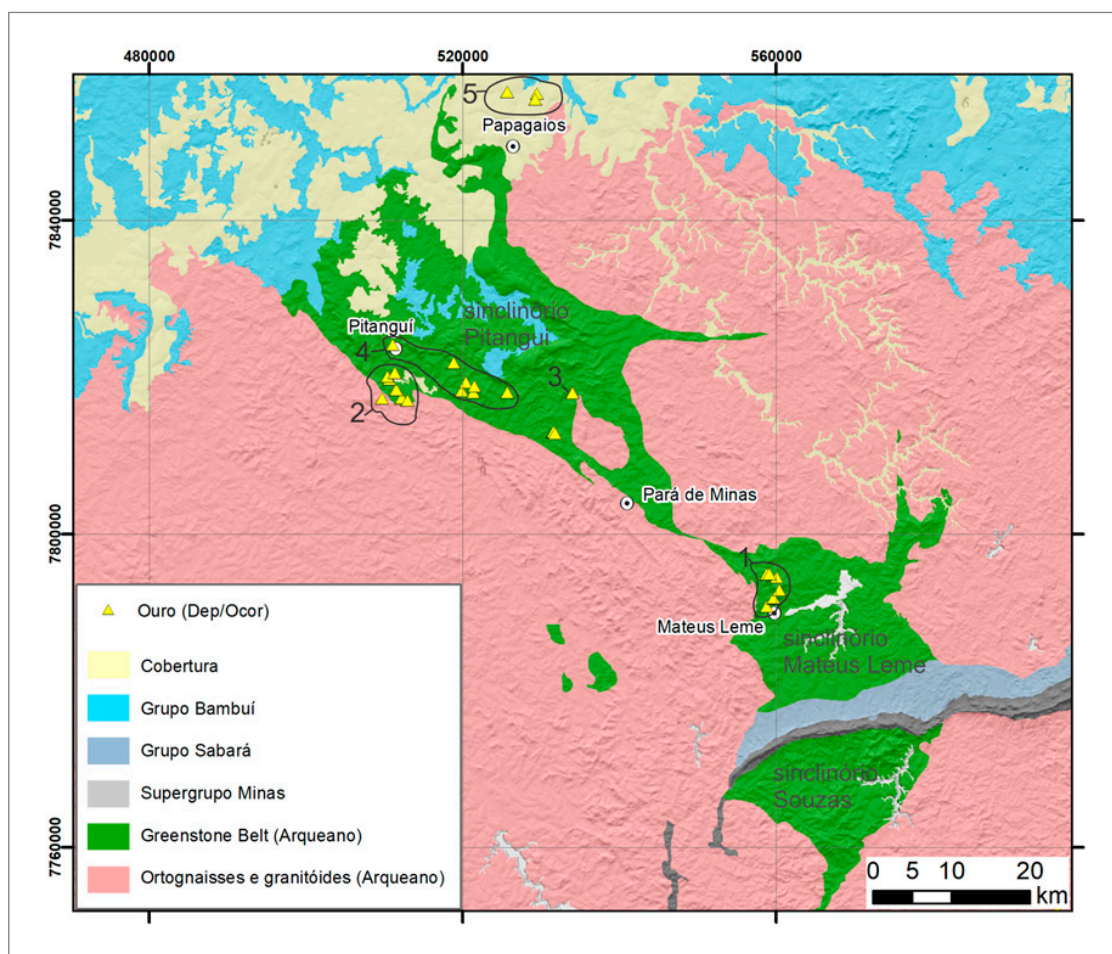


Figura 3.18 - Localização do distrito Aurífero de Pitangui (modificado de MARINHO *et al.*, 2018; PINTO; SILVA, 2014a). Os polígonos referem-se a: 1 – Campo mineral de Mateus Leme; 2 – Campo mineral de Turmalina; 3 – Depósito de São Sebastião; 4 – Campo mineral Lineamento Penha-Onça; 5 – Campo mineral Papagaios.

O campo mineral de **Mateus Leme** compreende uma série de ocorrências minerais de ouro aluvionar e primário epigenético, inseridos no sinclinal homônimo (Figura 3.18). O ouro aluvionar remonta à época dos bandeirantes, com o registro de trabalhos às margens dos córregos Barro Preto e Fazendinha/Barreado, tributários do Ribeirão Mateus Leme. Os trabalhos mineiros foram executados em aluviões quaternários e também em terraços e tem sido alvo de trabalhos rudimentares intermitentes (HEINECK, 1997).

A exploração do ouro primário foi realizada em trabalhos mineiros de subsuperfície, com minas (e.g. Fazenda Vista Alegre, Baú) e galerias de exploração (e.g. Serra Cruz das Almas). É difícil precisar quais são os principais metalotectos dessas ocorrências, tendo em vista a escassez de trabalhos na região. De maneira geral, as ocorrências parecem estar hospedadas em veios de quartzo sulfetados ou rochas químicas ferruginosas (HEINECK, 1997). Em termos de suas rochas encaixantes, as ocorrências apresentam um amplo espectro que varia desde zonas de alterações hidrotermais peraluminosas com associação de magnetititos, filitos grafitosos, metacherts ferruginosos, sericita-xistos e quartizitos (HEINECK, 1997).

O Sinclínório de Pitangui hospeda os depósitos mais importantes do distrito (Figura 3.18). O campo mineral de **Turmalina** é o que atualmente possui o maior destaque da região. Esse campo abrange os depósitos e minas do complexo de minas de Turmalina e as ocorrências da Zona Basal e Fazenda Experimental.

O complexo de minas de Turmalina ocorre a sul de Pitangui (Figura 3.18) e é composto pela Mina de Turmalina (corpo A e B), Mina Satinoco (corpo C), corpo D, Faina e Pontal, operados pela Jaguar Mining Inc. A produção histórica do complexo, de 1993 a 2018, é de aproximadamente de 20 t @ 3.82g/t, incluindo o beneficiamento de minério oxidado e sulfetado desses diferentes depósitos, principalmente de Turmalina.

Somando-se os recursos medidos e inferidos dos depósitos que compõem o complexo de minas, tem-se cerca de 20 t de Au contido com teores médios que variam entre 7 g/t-5 g/t (MACHADO, 2011; SEPP *et al.*, 2019; HILL; TOMMASELI, 2020)

As rochas encaixantes das mineralizações compreendem metarritmitos e metavulcanoclásticas da Formação Rio São João (e.g. Turmalina, Pontal, Fazenda) e rochas metamáficas, intercaladas com formações ferríferas bandadas, metatufos e pelitos carbonosos da Formação Rio Pará (e.g. Faina, Satinoco) (TASSINARI *et al.*, 2015; FABRÍCIO-SILVA *et al.*, 2021), ambas unidades pertencentes a base do *greenstone belt*.

Os corpos de minério possuem dimensões entre 100-400 metros de comprimento, 1-6 metros de espessura e continuidades de até 1000 metros segundo o mergulho.

Essa morfologia é fortemente controlada pelo arcabouço litoestrutural dominado por zonas de cisalhamento e dobramentos associados. De forma geral, os *oreshoots* são paralelos a lineações de interseção e eixos de dobras, que tem caimento médio para NE (50-70°) e mergulhos entre 50-60° (MACHADO, 2008; FABRÍCIO-SILVA, 2016; FABRÍCIO-SILVA; ROSIÈRE; BUHN, 2019; HILL; TOMMASELI, 2020; FABRÍCIO-SILVA *et al.*, 2021).

O minério ocorre tanto como sulfetos disseminados e *shear veins*, em zonas hidrotermais paralelas a foliação S1. De maneira geral, o principal processo de alteração hidrotermal corresponde à silicificação e, de forma subordinada, à cloritização, sericitização, carbonatação e sulfetação. Os principais minerais-minério são: arsenopirita, pirrotita, loellenguita, pirita e, subordinadamente, pode ocorrer berthierita, galena, esfalerita, calcopirita e antimônio nativo. A distribuição dos minerais de alteração hidrotermal e dos minerais-minério varia de depósito para depósito (FRIZZO; TAKAI; SCARPELLI 1991; TASSINARI *et al.*, 2015; FABRÍCIO-SILVA *et al.*, 2021). A idade do depósito é controversa, sendo atribuída ora ao paleoproterozoico (TASSINARI *et al.*, 2015) ora ao neoarqueano (FABRÍCIO-SILVA, 2016; FABRÍCIO-SILVA; ROSIÈRE; BUHN, 2019).

O **depósito São Sebastião** ocorre a norte de Pará de Minas (Figura 3.18). Foi descoberto pela Iamgold Inc. e anunciado em 2014 como resultado do projeto Pitangui (IAMGOLD, 2014). Possui recursos indicados de 13,3t @ 4.4 g/t e inferidos de 12t @ 3.8 g/t (IAMGOLD, 2020). O depósito está encaixado próximo ao topo da Formação Rio Pará, onde ocorrem intercalações de rochas metavulcânicas máficas-intermediárias, metaultramáficas, metapelitos, metarenitos, metacherts e formações ferríferas bandadas.

O minério é do tipo *stratabound* associado à substituição por sulfetos em formações ferríferas. As formações ferríferas estão distribuídas em dois intervalos, que hospedam os dois principais corpos do depósito, Biquinho e Pimentão (IAMGOLD, 2014; BRANDO-SOARES *et al.*, 2017). A expressão regional das rochas hospedeiras pode ser facilmente visualizada por mapas magnetométricos.

O Corpo Biquinho é o principal e associa-se a formações ferríferas com espessuras entre 5 a 30 m e boa continuidade lateral, as quais intercalam-se a metassedimentos. O segundo corpo, Pimentão, ocorre em um nível inferior, de contexto similar e hospedeiras com espessuras entre 1 a 30 m (IAMGOLD, 2014; BRANDO-SOARES *et al.*, 2017; BRANDO-SOARES *et al.*, 2018). Os corpos mineralizados estão inseridos próximos à zona de charneira do flanco nordeste de um anti-forme aberto que circunda o Granito do Jaguará (Figura 3.18). Possuem morfologia planar e mergulho suave para nordeste.

A principal alteração hidrotermal do depósito corresponde à sulfetação, marcada pela substituição da magnetita por pirrotita, arsenopirita, calcopirita e (As)-pirita (BRANDO-SOARES *et al.*, 2018). Segundo os autores, o depósito relaciona-se a fluidos de alta temperatura (600° C), com características semelhantes a depósitos hipozonais dos tipos *intrusion-related* e *skarn*. Uma idade de ca. 2,0 Ga é atribuída para formação do depósito com base em isótopos de Re-Os (BRANDO-SOARES *et al.*, 2021).

O campo mineral **Lineamento Penha-Onça** corresponde a uma série de ocorrências auríferas que distribuem-se entre as cidades de Pitangui (bairro Penha) e Onça do Pitangui. Tais ocorrências têm sido garimpadas desde o século XVIII e atualmente constituem projetos de pesquisa da Micapel Slate e Iamgold Inc. Segundo informações fornecidas pela Micapel Slate, indicam recursos (medidos e indicados) em 5,3t @1,6 g/t e recursos inferidos em 2,2t @1,6 g/t.

As ocorrências estão encaixadas na Formação Onça do Pitangui, composta por metarritimitos típicos de associações pelito-grauvaca arqueanas. O minério ocorre em veios de quartzo-carbonato controlados por zonas de cisalhamento de direção NW-SE. A dimensão dos veios pode variar de decamétrica a centimétrica e ocorre tanto discordante quanto concordante com a estruturação das rochas encaixantes. A principal alteração hidrotermal associada corresponde à sericitização e carbonatação.

O campo mineral de **Papagaios** ocorre a norte da cidade de Papagaios, extremo norte do Sinclínio de Pitangui. A área foi estudada pela Western Mining Co. na década de 1980 e, recentemente, tem sido pesquisada pela Micapel Slate. A empresa identificou três alvos, Carrapicho Norte, Carrapicho Sul e Córrego do Ouro. Segundo informações fornecidas pela empresa, os recursos (medidos e indicados) desses depósitos são da ordem de 6,8t @ 1,3 g/t e recursos inferidos em 2,5t @1,4 g/t.

As rochas encaixantes são correlacionadas à Formação Rio Pará, que no local estão parcialmente recobertas por rochas sedimentares do Grupo Bambuí. As hospedeiras constituem rochas vulcânicas metamáficas (e.g. Carrapicho Norte e Córrego do Ouro) e formações ferríferas bandadas (Carrapicho Sul). Tais depósitos ainda não dispõem de informações públicas acerca de sua caracterização.

3.3.2. Au em sedimentos clásticos (meso a neoproterozoicos) e em veios e quartzo associados

Distrito Aurífero de Paracatu

O Distrito Aurífero de Paracatu localiza-se no noroeste do estado e contempla o depósito de Morro do Ouro (Mina Morro do Ouro) relacionado a rochas sedimentares neoproterozoicas.

A **Mina Morro do Ouro** (Figura 3.19 e 3.20) iniciou sua operação em 1987, pela Mineração Rio Paracatu (Grupo RTZ) e atualmente é conduzida pela Kinross Paracatu.

É a maior mina de ouro a céu aberto em produção no Brasil, com teores de 0,4g/t e reserva total de 10,4 Moz (OLIVER *et al.*, 2015).

A lavra envolve a escarificação do filito carbonoso, hospedeiro da mineralização, do Membro Morro do Ouro, Formação Paracatu, Grupo Canastra (Figura 3.19).

Existe também um antigo garimpo de ouro conhecido como Fazenda Lavras, localizado a 12 quilômetros a norte de Morro do Ouro (Figura 3.19), que apresenta o mesmo estilo de mineralização de Morro do Ouro (ALMEIDA, 2009).

O ouro associa-se a sulfetos (principalmente arsenopirita, com alguma pirita, calcopirita, galena e esferalerita) ou está livre, sempre relacionados a *boudins* de quartzo (Figura 3.20), (ZINI *et al.*, 1988; FREITAS-SILVA, 1991, 1996). Os *boudins* de quartzo ocorrem em zonas de cisalhamento de baixo ângulo, mergulhando cerca de 20° para noroeste (DARDENNE; SCHOBBERNHAUS, 2001), destaca-se que nas zonas hidrotermalizadas os *boudins* de quartzo representam entre 20% e 25% do minério em volume, com teor médio de Au de 2,5g/t.

Segundo Möller *et al.* (2001), a zona mineralizada constitui-se em um *megaboudin* com cerca de quatro quilômetros de comprimento, até dois quilômetros de largura e espessura de até 150 metros.

Distritos Auríferos do Sul de Minas e Zona da Mata

Nessas regiões, são conhecidas ocorrências ou depósitos de ouro em São João del-Rei–Tiradentes, na região de Andrelândia–Aiuruoca, em Santa Rita de Ibitipoca–Conceição de Ibitipoca, em São Gonçalo do Sapucaí, e nos arredores de Juiz de Fora (Figura 3.13).

O ouro é encontrado em: a) veios de quartzo em zonas de cisalhamento que cortam rochas ígneas (de granito a gabro) e metamórficas (xisto, gnaiss, quartzito e filito); b) gnaisses aluminosos na periferia de corpos charnockíticos intrusivos; c) acumulações secundárias nas aluviões que cortam rochas metavulcanossedimentares do tipo *greenstone* e *elúvio-colúvios* dessas rochas. *Registros visuais de trabalhos de exploração ou lavra rudimentares são encontrados por toda a região, mas os teores sistematicamente baixos devem ter sido a causa principal do abandono dos serviços.*

São João del-Rei–Tiradentes - Desde o século XVII é conhecida a presença de ouro no leito do Rio das Mortes e nas encostas das serras do Lenheiro e de São José (“betas” de São João del-Rei). O ouro ocorre associado a veios de quartzo em quartzito da Formação Tiradentes que desagregados drenam para as aluviões.

O ouro primário teria depositado-se em ambiente lagunar ou planície de maré e em litofácies fluviais rudáceas e arenosas dos níveis médios e superiores da Formação Tiradentes (Proterozoico), a partir de fontes do embasamento, em parte terrenos *greenstone*. Remobilizações levaram à concentração nos veios de quartzo mais novos (RIBEIRO; TEIXEIRA; SOARES, 1992).

Um depósito de ouro primário em veios de quartzo foi lavrado em mina subterrânea na zona urbana de São João del-Rei. A mina encontra-se inativa por questões de segurança e ambientais (risco de contaminação do aquífero que abastece a cidade).

Algum ouro também é referido em veios posicionados no contato entre rochas metassedimentares e diques básicos.

Andrelândia–Aiuruoca - o ouro é encontrado em aluviões, sempre em escala subeconômica, provavelmente resultado da destruição e carreamento dos veios de quartzo mineralizados. As fontes primárias seriam veios de quartzo que cortam rochas do Grupo Andrelândia.

Santa Rita de Ibitipoca–Conceição de Ibitipoca - em domínios do Grupo Andrelândia e do Complexo Mantiqueira são muitas as evidências de garimpagem pretérita e alguns garimpeiros ainda se aventuravam no início da década de 1990 (PINTO, 1991). As ocorrências e anomalias de ouro estão preferencialmente em drenagens que cortam anfibolitos do Grupo Andrelândia ou em zonas de cisalhamento, no contato dos anfibolitos com ortognaisses do embasamento paleoproterozoico, concentrando-se em veios de quartzo.

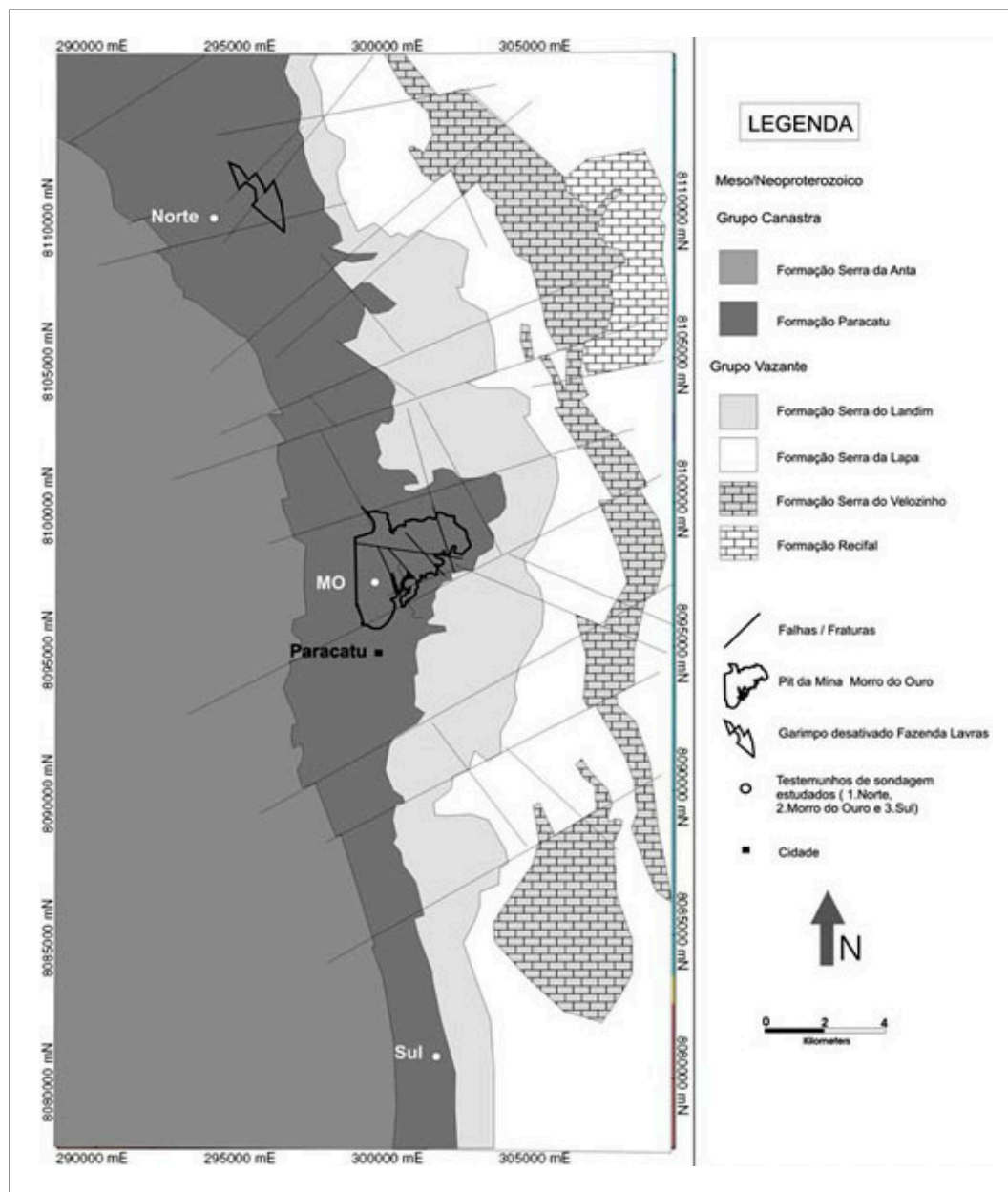


Figura 3.19 - Mapa de localização da Mina de Morro do Ouro e do Garimpo da Fazenda Lavras. Extraído de Almeida (2009).

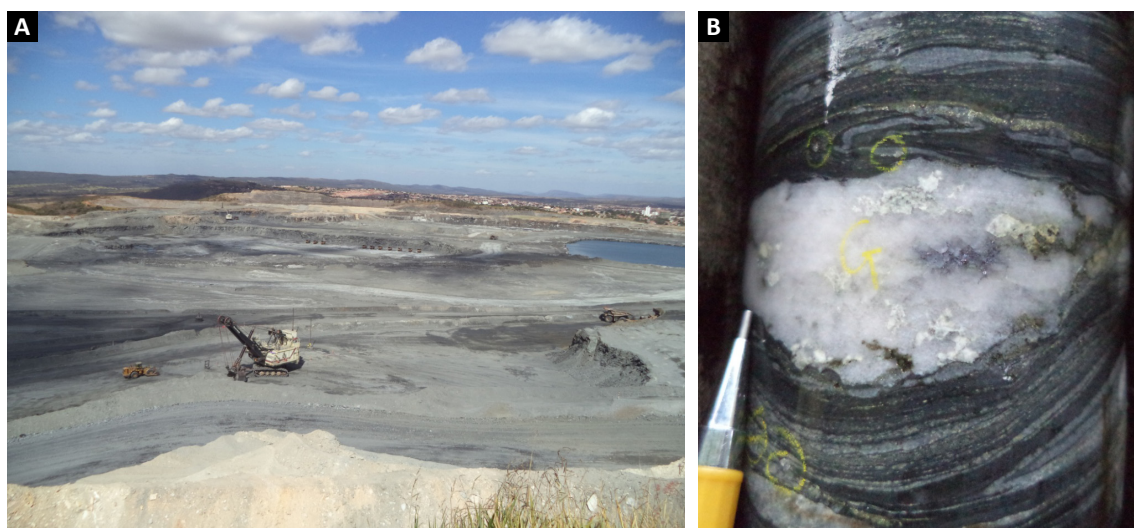


Figura 3.20 - A) Mina de ouro em folhelho carbonoso da Formação Paracatu, Grupo Canastra, em Paracatu. Mina Morro do Ouro, Kinross. B) Boudin de quartzo sulfetado com Au em folhelho negro da Formação Paracatu, Grupo Canastra, em testemunho de sondagem na Mina Morro do Ouro, Paracatu. Kinross. Foto cedida pelo geólogo Paulo Henrique Amorim Dias (SGB/CPRM).

Juiz de Fora – na localidade Jacutinga existem registros morfológicos de garimpos pretéritos de ouro. As mineralizações alojam-se na periferia de rochas intrusivas charnockíticas neoproterozoicas, junto à zona de contato com gnaiss aluminoso (kinzigítico) e granito tipo S dele derivado, atribuídos ao Grupo Andrelândia, (PINTO, 1991). A intrusão charnockítica proporcionou uma zona de metamorfismo de contato e de fusão parcial, em cujo domínio foi constatada a presença de Au em concentrados de bateia, anomalias de Cu, Co, Zn em sedimentos de correntes e teores elevados de enxofre em rocha (HEINECK, 1991 *apud* PINTO, 1991).

São Gonçalo do Sapucaí-Campanha - o ouro é garimpado desde o início do século XVIII na região de São Gonçalo, principalmente no vale do Ribeirões das Cobras (ou do Feijão, Aterrado ou Rasgão) e nas localidades de Ouro Fala, Xicão e Andaime, e na Serra da Conquista (W de Campanha). Diversas ocorrências de ouro também são conhecidas nos arredores de Silvianópolis, Santa Rita do Sapucaí e Natércia, muitas delas objetos de trabalhos de subsuperfície ou de fiação (SILVA, 1987).

Estudos pioneiros na região de São Gonçalo do Sapucaí se devem a Oppenheim (1934, 1935), Cavalcante *et al.* (1977), Drumond (1982); Silva, Baltazar e Padilha (1988), Perrotta (1991).

Oppenheim (1934, 1935) faz referências às minas e catas de Escura, Bahú, Jacaré, Andaime, Didier, Chacrinha, Xicão e à Zona de Ouro Falla (catas Xico Tuta, Vermelha, Jacarandahy, Ouro Canta). Esse autor conclui pela possibilidade de ouro em placeros com teor de 1 a 2g/m³ no baixo vale do Ribeirão das Cobras, a oeste de Chacrinha e em veios e lateritas. Para ele, o ouro está contido em filões e veios de quartzo com arranjo *stockwork*, orientados

preferencialmente na direção norte-sul, descontínuos e orientados geralmente segundo a foliação do gnaiss encaixante. Os filões e veios de quartzo variam de milímetros até 50 centímetros de espessura. Os filões finos ocorrem em conjuntos paralelos e fortemente deformados e os veios de quartzo (alguns piritosos e auríferos) são maciços e geralmente menos deformados, sugerindo geração mais nova. Na superfície do terreno, sobre o pacote gnáissico, formou-se um material “argilo-arenoso-laterítico” facilmente erodido nas partes mais altas dos maciços, variando em espessuras até mais de 50 metros nas partes baixas. O ouro livre encontra-se associado aos níveis de material detrítico-laterítico, resultado da decomposição dos veios de quartzo e da oxidação da pirita. Assim, o ouro secundário ocorre em crostas limoníticas, em saprólitos ferruginosos e em depósitos aluviais recentes ou pouco mais antigos.

Baltazar *et al.* (1988) referendam as observações de Oppenheim (1934, 1935), reafirmando que a mineralização primária está condicionada a veios de quartzo sulfetados que se alojam em zonas de cisalhamento de baixo ângulo que afetaram rochas do chamado Complexo Lambari (biotita-quartzo-microclina-plagioclásio paragneiss com ou sem hornblenda, fitados a bandados, de composição granítica a granodiorítica) e do Complexo Silvianópolis (biotita-hornblenda tonalito gnaiss e anfibolito), considerados, respectivamente, do Paleoproterozoico e do Arqueano. Também citam “ouro em pegmatitos, concentrados nas salbandas de biotita”, “ouro disseminado (em gnaiss), ocorrendo esparsamente ou em pequenas zonas de concentração local... podendo estar ou não associado a sulfetos”. As rochas do Complexo Lambari, embora ditas paragneisses, têm

composição compatível com ortoderivação e similar àquela do Complexo Silvianópolis. Análises isotópicas Rb/Sr em rocha total, divulgadas em Silva *et al.* (1988), indicam idades paleoproterozoicas para essas rochas. Uma determinação U-Pb em monazita do Gnaiss Silvianópolis (FETTER *et al.*, 2003 *apud* TROUW; MEDEIROS; TROUW, 2007), indicou idade de 609 ± 2 Ma para o metamorfismo regional Brasileiro. A idade das mineralizações é desconhecida.

Grossi-Sad e Lobato (1991) defendem uma assinatura geoquímica ígnea para as rochas hospedeiras do ouro em São Gonçalo do Sapucaí. Esses autores dividiram as rochas dessa área em duas séries geoquimicamente distintas: a série SGS-I, que corresponderia a uma associação basalto-andesito-dacito-riolito, e a série SGS-II, a uma associação dacito-riolito. Essas rochas integrariam o que chamaram de Grupo Andrelândia. Os gnaisses do Complexo Silvianópolis foram considerados como embasamento granito-gnáissico representante de uma suíte calcioalcalina, sobre o qual estão assentadas as rochas supracrustais atribuídas ao Grupo Andrelândia. As lavras teriam sido conduzidas em material intemperizado que cobre rochas metavulcânicas, em cavas de dois quilômetros ou mais de comprimento e larguras de até 500 metros. Tais cavas alinham-se segundo a direção leste-oeste por cerca de 15 quilômetros. O ouro, associado a zonas silicificadas, provavelmente, seria contemporâneo à alteração hidrotermal da associação metavulcânica hospedeira. Concluem afirmando que materiais de assinatura química, correspondendo a dacito e riolito, interdigitam-se na Sequência “Andrelândia”. Deve-se destacar que esses autores são os únicos a referirem-se a vulcanismo nessa região e, também, que a estratigrafia do Grupo Andrelândia diferiria da atual.

Para Perrotta (1991), as mineralizações hospedam-se em gnaisses tonalito-dioríticos bandados, com intercalações de anfibolito e quartzito subordinado e em ortognaisses tonalito-granodioríticos homogêneos. Associam-se ortoquartzito, turmalinito, xistos e gnaisses grafitosos, que representariam, junto com o anfibolito, parte de sequência vulcanossedimentar. As lavras estão controladas/confinadas à exposição da unidade de gnaisses bandados, em zonas axiais de estruturas anticlinais. Para esse autor, o metamorfismo elevado não teria favorecido a fixação de ouro primário, sendo recuperado, principalmente, em concentrações secundárias, mas fica a dúvida se o ouro for pós-metamorfismo.

Dados dispostos por Cavalcante (1977) indicavam teores de ouro muito variáveis: entre 2g/t e 7g/t na Mina do Andaime. Em veios de quartzo, na mina Didier, os teores são entre 30g/t a 50g/t e, eventualmente, atingindo 100g/t. Na Mina Escura, o teor podia superar 5g/t

no elúvio; na Mina do Xicão, o teor era bem mais baixo, da ordem de 1g/t no material laterítico. As localizações desses alvos são encontradas no trabalho citado.

Ocorrências Auríferas nas Serras do Espinhaço Meridional e do Cabral

Ocorrências de ouro são encontradas em veios de quartzo que preenchem zonas de cisalhamento que afetaram as unidades metapelíticas carbonosas do Supergrupo Espinhaço durante a Orogênese Brasileira (UHLEIN; CHAVES; DUSSIN, 1986; ABREU; SANTOS; SCHRANK, 1992). O ouro foi extraído, provavelmente, do embasamento mais antigo e transportado em solução até ser depositado em presença de matéria orgânica (CHAVES; UHLEIN, 1985). Esses veios, além do quartzo e ouro, podem conter especularita, magnetita, rutilo e material limonítico (RIBEIRO; TEIXEIRA; SOARES, 1992), como na Mina de Mil Oitavas, em Diamantina.

3.3.3. Outras ocorrências de ouro em MG

Ocorrências Auríferas de Cuieté Velho

Situam-se na bacia do médio Rio Doce, na região leste do estado (Figura 3.13), em domínio do Orógeno Araçuá. As primeiras referências, com sentido científico sobre o ouro de Cuieté, remontam a Guimarães (1925). O minério associa-se a rochas do Complexo Pocrane (ortognaisse, anfibolito, rochas metassedimentares e unidades metavulcanossedimentares), consideradas do Arqueano retrabalhadas no Neoproterozoico (PAES, 1999) e, atualmente, posicionadas no Riachão. Excelentes afloramentos de anfibolito (rocha metavulcânica?) ocorrem no leito do Rio Cuieté, margeado pela estrada que liga Cuieté Velho a Alvarenga.

A unidade metavulcanossedimentar, exposta nas proximidades de Cuieté Velho, é constituída por anfibolito e xistos máficos a hornblenda e tremolita (característica de rochas ultramáficas), actinolita (característica de rochas máficas), com gnaiss e quartzito subordinados. Essa unidade é interpretada como remanescente de terreno tipo *greenstone*, com idade isocrônica Sm-Nd de 3099 ± 142 Ma (PAES, 1999).

Uma mina de ouro subterrânea, de pequena envergadura, funcionou em Cuieté Velho até quase 1930. Trabalhos prospectivos e de pesquisa mineral preliminar, incluindo visitas a galerias e sondagem rotativa testemunhada, foram conduzidos pela Geosol, na década de 1980, sem resultados animadores. A mineralização está representada por lentes de sulfetos maciços associados a um horizonte de provável metachert, junto a uma zona de cisalhamento aparentemente transcorrente que afetou a sequência metavulcanossedimentar e o ortognaisse.

Ocorrências de Ouro nos Ofiolitos Ribeirão da Folha

Situa-se na porção ocidental do Orógeno Araçuaí (Figura 3.13). Segundo Pedrosa-Soares *et al.* (2001), Queiroga (2006) e Queiroga *et al.* (2007), rochas metassedimentares e formações ferríferas bandadas, metamorfizadas em fácies xisto-verde a anfibolito, são consideradas remanescentes vulcano-sedimentares da sequência ofiolítica da Formação Ribeirão da Folha. O pacote metassedimentar está representado, principalmente, por quartzo-mica-xisto, com participações menores de xisto peraluminoso e grafitoso, metachert, diopsidito e formações ferríferas bandadas silicatadas, oxidadas e sulfetadas.

A mineralização é do tipo hidrotermal sulfetada, em ambiente submarino, seguida de recristalização metamórfica e posterior alteração hidrotermal de minerais por fluidos superficiais.

A presença de ouro na região de Minas Novas (Figura 3.13) é conhecida desde a época do Brasil colonial, mas depósitos significativos do metal não são conhecidos. O ouro, como em vários outros locais, está estruturalmente controlado, relacionando-se à silicificação e sulfetação em zonas de cisalhamento, mas as condições mais severas de metamorfismo não teriam permitido a fixação em quantidades significativas, sendo mesmo mais propícias à remobilização.

PROVÍNCIAS E DEPÓSITOS DE Zn, Pb E ASSOCIADOS



Hemimorfita
10,0 x 9,5 x 3,0 cm
Mina Morro da Usina, Vazante, MG
Foto: Andrea Ferreira
Amostra pertencente ao acervo do
MM Gerdau - Museu das Minas e do Metal

4. PROVÍNCIAS E DEPÓSITOS DE Zn, Pb E ASSOCIADOS

No estado de Minas Gerais são conhecidos importantes províncias/distritos e ocorrências de zinco e chumbo, sendo as principais relacionadas: **1.** aos dolomitos do Grupo Vazante (Província Vazante-Paracatu), no noroeste de Minas Gerais; **2.** aos carbonatos do Grupo Bambuí, no norte do estado (Januária-Itacarambi-Montalvânia) e em outras regiões da bacia carbonática; **3.** ao Complexo Porteirinha/Riacho dos Machados, no norte do estado (Porteirinha/Salobro); (Figura 4.1).

4.1. PROVÍNCIA PLUMBO-ZINCÍFERA DE VAZANTE-PARACATU

A Província Mineral Plumbo-Zincífera de Vazante-Paracatu está localizada no noroeste do estado de Minas Gerais, representada em faixa de direção norte-sul, com aproximadamente 250 quilômetros de extensão (Figura 4.1). Contém dois distritos minerais, o Distrito Zincífero de Vazante e o Distrito Mineral Paracatu-Unai (Zn-Pb-Cu) (DIAS *et al.*, 2015, 2018).

4.1.1. Distrito de Paracatu-Unai

Esse distrito engloba a mina de chumbo e zinco de **Morro Agudo** (Figura 4.2) e vários outros depósitos, como Fagundes, Ambrósia, Poções. A mineralização está associada aos dolomitos recifais do Grupo Vazante; ocorre em fácies de *back-reef* desenvolvido no flanco ocidental do bioherma estromatolítico do Morro do Calcário, com mineralização essencialmente disseminada, formada principalmente por esfalerita e galena, com pirita e barita subordinadas (DARDENNE; SCHOBENHAUS, 2000, 2001).

Bettencourt *et al.* (2001) consideram essas mineralizações como hidrotermais, geradas em episódios distintos. Em parte, são diagenéticas precoces a tardi-diagenéticas e teriam relação com a migração de fluidos mineralizantes salinos, com temperaturas superiores a 200°C, ao longo de sistemas de falhas de crescimento (e.g. Morro Agudo e Fagundes). A remobilização dos fluidos para zonas de barreiras estratigráficas, como alguns contatos litológicos, responderia pela geração dos depósitos epigenéticos (e.g. Fagundes e Ambrósia).

Biondi (2003) classifica os depósitos de Pb-Zn de Paracatu como sedimentares, de ambientes hidatogênicos pós-diagenéticos, geneticamente correlacionados aos tipos *Mississippi Valley*, com depósitos relacionados

a brechas de colapso tipo *Appalachian Zn* (Ambrósia e Fagundes?) e *Tynagh* (*Mississippi Valley* tipo *Irlandês* - uma mistura de características dos tipos vulcanogênico exalativo-SEDEX com *Mississippi Valley*) ou tipo *Irlandês - Irish Type* (Morro Agudo). Esses depósitos teriam se formado em ambiente sedimentar marinho, cuja bacia foi soerguida posteriormente e teria facilitado a percolação de fluidos aquosos crustais mineralizantes, pós-diagênese. Os fluidos causariam as substituições de minerais primitivos por minerais-minério e de ganga ou precipitações em porosidades ou cavidades das rochas hospedeiras.

Monteiro (2002) considera o Depósito de Fagundes como tipo *stratabound*, com intensa silicificação pré-mineralização, dolomitização, com texturas de preenchimento e zonadas. O Depósito de Ambrósia apresenta características que sugerem processos de substituição hidrotermal e interação com fluidos tardios na gênese da esfalerita.

A Mina de Morro Agudo, situada no município de Paracatu, produz concentrado de zinco, concentrado de chumbo e pó calcário (dolomito) agrícola. As reservas medida e indicada, apresentadas em 2010, eram de 1,18 milhão de toneladas de minério com teores médios de 3,48% de Zn e 1,4% de Pb. A reserva inferida era de 4,97 milhões de toneladas de minério, com teores médios de 3,75% de Zn e 1,01% de Pb. A soma das reservas permitiria vida útil da mina apenas até 2016.

No site “paracatu.net”, de 26 de abril de 2019, consta que a empresa Nexa (www.nexaresources.com), uma das seis maiores produtoras de zinco do mundo e líder na América Latina, junto ao Grupo Votorantim, apresentou à população paracatuense o Projeto Bonsucesso. Trata-se de atividade em mina subterrânea, que visa prolongar a vida útil do Complexo Morro Agudo, situado em Paracatu. A implantação do projeto estava prevista para 2019, com início de operação em 2021, tendo como principal produto zinco. Segundo a Nexa, a operação de Morro Agudo desde 2010 não gerava resíduo, sendo transformado em pó calcário agrícola (PCA) de uso na região.

4.1.2. Distrito Zincífero de Vazante

É a principal região brasileira produtora de zinco e é composto, principalmente, pelo depósito de zinco da Mina de Vazante. Essa mineralização tem controle

tectônico condicionado por falha transcorrente sinistral (PINHO, 1990; PINHO; DARDENNE; RIGOBELLO, 1990) de direção N45°E e mergulhos variados entre 50°NW e 70°NW, suavizando em profundidade, que afeta as rochas dolomíticas do Grupo Vazante (DARDENNE, 1981; DARDENNE *et al.*, 1998). O minério encontra-se integralmente contido na zona de falha (DARDENNE; SCHOBENHAUS, 2001), mineralizada ao longo de mais de 12 quilômetros de comprimento, cerca de 15 metros de largura e até 500 metros de profundidade (Figura 4.3).

A mineralização ocorre como imbricações tectônicas de lentes mineralizadas e lentes estéreis de dolomito e metapelito ardoso. São dois os tipos principais de minério: **1.** willemítico, envolvido no sistema de cisalhamento, e **2.** hemimorfitico, posterior e de ocorrência nas zonas superficiais, com profundidade máxima de até 100 metros.

O minério hemimorfitico ocorre associado a brechas de colapso em metapelito e dolomito; tem aspecto terroso, composto principalmente por hemimorfita e hidrozinco, com presença de smithsonita.

O minério willemítico primário de Vazante atinge teor superior a 20% de Zn, sendo um caso raro de mineralização, com exemplos em pouquíssimas regiões do mundo e aproveitamento econômico apenas em Vazante (MG) e em Franklin e Sterling (EUA) (BIONDI, 2003).

Subordinadamente, são encontrados, ao longo da zona de falha, bolsões de minério sulfetado, contendo principalmente esfalerita e, secundariamente, galena (AMARAL, 1968a, 1968b; RIGOBELLO *et al.*, 1988; PINHO, 1990; MONTEIRO; BETTENCOURT; GRAÇA, 1996; MONTEIRO, 1997), além de alguma cerussita e calcocita (LOBATO; PEDROSA-SOARES, 1993).

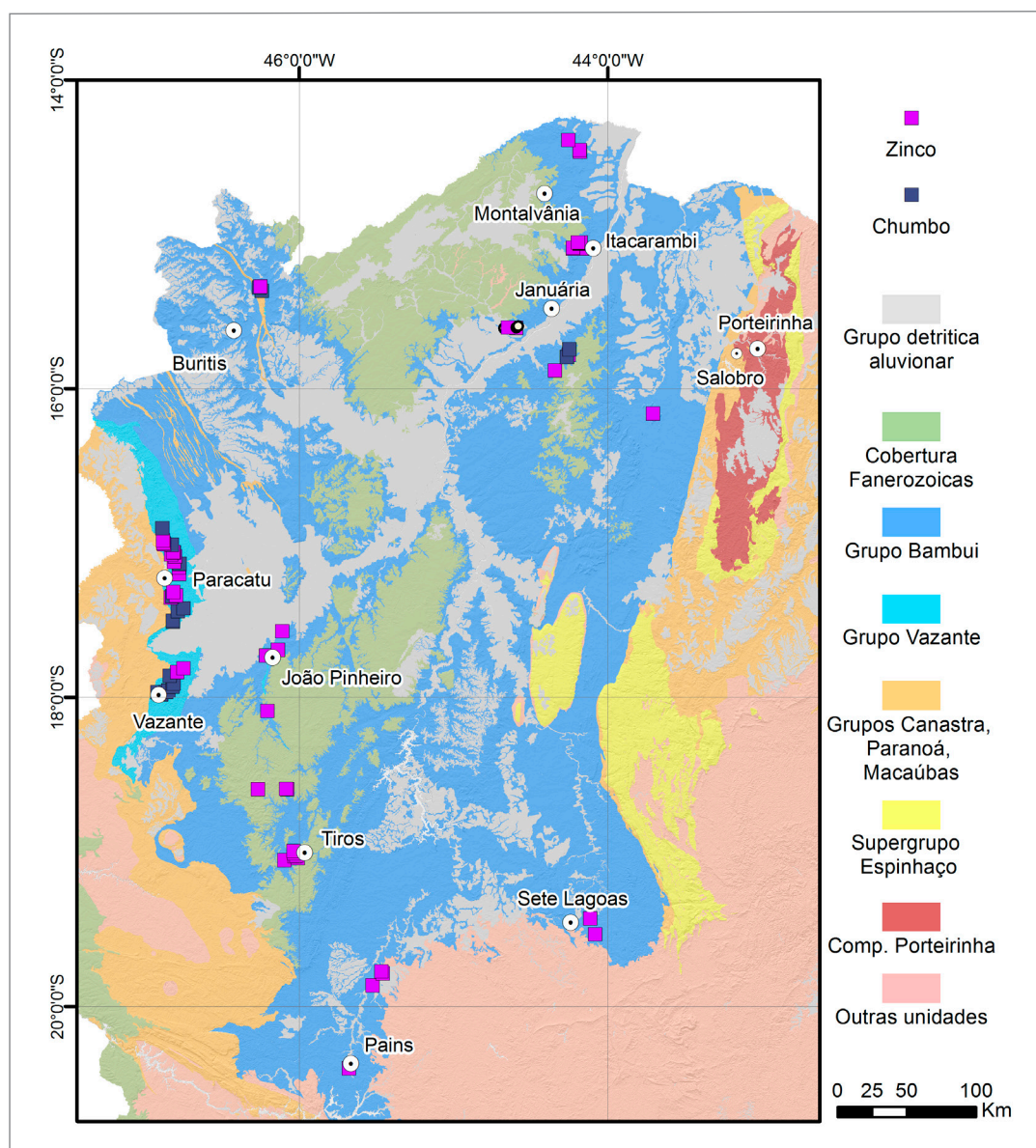


Figura 4.1 - Mapa geológico simplificado com destaque para os principais depósitos/ocorrência de Zn e Pb em Minas Gerais. Modificado de Pinto e Silva (2014b). Elaboração própria.



Figura 4.2 - Minério sulfetado de Pb e Zn de Morro Agudo (Votorantim), Paracatu. As porções amareladas são esfalerita e as cinzas são galena, em matriz dolomítica. Fonte: amostra disponível no escritório da Votorantim em Morro Agudo, Paracatu, MG.



Figura 4.3 - Vista da cava da mina de zinco da Votorantim em Vazante, MG. O minério é tipo óxido em zona de falha, como mostrada no alinhamento NE da Foto 3.17. Foto cedida pelo geólogo Júlio M.M. Pinho (SGB-CPRM).

Pinho (1990), Pinho, Dardenne e Rigobelo (1990) e Bettencourt *et al.* (2001) consideram o depósito de zinco willemítico de Vazante como sintectônico, relacionado à orogênese brasileira, responsável pelo metamorfismo de baixo grau, pela deformação das rochas envolvidas e pela percolação de fluidos metalíferos e meteóricos geradores do minério ao longo do sistema de falha. Para Biondi (2003), o modelo genético da mineralização de Vazante ainda suscita muita discussão, não se enquadrando em modelos clássicos existentes. A Mina de Vazante também foi alvo de pesquisas de Monteiro (2002), que destaca o caráter distinto do depósito em relação aos demais da região situados na chamada Faixa Vazante–Paracatu. Trata-se de depósito de minério oxidado willemítico em oposição a outros sulfetados *stratabound* (e.g. Fagundes) e epigenéticos (e.g. Ambrósia). Ressalta que o minério willemítico e a geração da zona de falha de Vazante são contemporâneos.

A continuidade do depósito de Vazante, no segmento conhecido como Mina Extremo Norte (ex-Mineração

Areense S.A), foi avaliada dos pontos de vista mineralógico e geoquímico por Lemos (2011), concluindo por diferenças nos tipos de minério. O minério do extremo norte está hospedado em rochas dolomíticas do Membro Morro do Pinheiro inferior, Formação Serra do Poço Verde, nas proximidades do contato com as rochas meta-pelíticas da Formação Serra do Garrote, ambas as formações integrando o Grupo Vazante. O autor destaca que em ambas as minas o controle da mineralização é estrutural ao longo de zona de falha. O minério supergênico é calamina (hemimorfita) e o hipógeno é predominantemente willemita, com altas concentrações de ferro. Ressalta a provável participação de fluidos metalíferos e meteóricos na gênese do minério hipógeno.

4.2. DEPÓSITOS E OCORRÊNCIAS DE Zn E Pb NO GRUPO BAMBUÍ

Os principais depósitos e ocorrências de Zn e Pb reconhecidos no Grupo Bambuí estão na região norte do estado de Minas Gerais, nos municípios de Januária, Itacarambi e Montalvânia (Figura 4.1). As ocorrências menores plumbo-zincíferas registradas no Grupo Bambuí estão nas regiões de Sete Lagoas, Pains, Tiros, João Pinheiro e Buritis (Figura 4.1), geralmente associadas a falhas/fraturas e veios de quartzo e/ou carbonato.

A região de **Montalvânia-Januária-Itacarambi** é caracterizada, principalmente, por mineralizações hospedadas: a) em dolomito rosado; b) no contato entre dolomito rosado e dolomito bege; c) em níveis algálicos; d) em brechas intraformacionais ou de colapso (cársticas); e e) em descontinuidades estratigráficas e estruturais como falhas ou relacionadas a altos do embasamento (ROBERTSON, 1963; LOPES, 1979; DARDENNE, 1979; DARDENNE; SCHOBENHAUS, 2001).

Em Montalvânia (Mina do Zezinho), Januária (Mina do Fabião) e Itacarambi são descritas mineralizações de Zn-Pb podendo ser associadas à fluor, prata, cobre e vanádio (CASSEDANNE, 1972). Todas relacionadas às rochas carbonáticas do Grupo Bambuí.

Os minerais-minério são galena e esfalerita, frequentemente envolvidos por óxidos de Pb e Zn (cerussita, anglesita, smithsonita). Willemita, óxidos de vanádio, calcopirita, calcocita e malaquita podem se associar ao minério principal. Quartzo e calcedônia constituem a ganga principal, secundados por calcita, dolomita, barita, fluorita, óxidos de ferro e pirita (ROBERTSON, 1963; CASSEDANNE, 1972).

A gênese das mineralizações é controversa. Já foi considerada predominantemente epigenética, associada a zonas de descontinuidades estruturais, como falhas, e a zonas de alta porosidade/permeabilidade, por onde percolariam os fluidos hidrotermais e se alojariam as mineralizações (ROBERTSON, 1963).

Dardenne (1988) sustenta que a sedimentação carbonática e as mineralizações estariam condicionadas à paleogeografia da bacia. As mineralizações seriam concentradas por processos secundários em zonas de percolação de fluidos, após a litificação das rochas calcárias. A correlação com depósitos do tipo *Mississippi Valley* (MVT) foi sustentada por Dardenne (1988) e Dardenne e Schobbenhaus (2000, 2001) para os depósitos do distrito, envolvendo dissolução, substituição e dolomitização secundárias por fluidos hidrotermais congêntos; por Beurlen (1973) para o minério de Montalvânia (sin-sedimentar a diagenético) e por Lopes (1979) para o minério de Itacarambi (singenético de diagênese precoce ou tardia), com rara remobilização pós-deposicional. Estudos isotópicos de Pb em galenas indicaram que o chumbo é proveniente do embasamento transamazônico (IYER, 1984), enquanto os isótopos de S sugerem que, pelo menos em parte, a fonte do enxofre dos sulfetos pode ter sido os sulfatos presentes na água do mar (IYER; HOEFS; KROUSE, 1992).

4.3. DEPÓSITO SALOBRO

O depósito de Zn-Pb de Salobro está localizado cerca de 20 quilômetros a oeste-sudoeste de Porteirinha, no norte de Minas Gerais, em terrenos do Complexo Porteirinha (Figura 4.1), que compreende principalmente gnaisses TTG arqueanos, granitoides arqueanos e paleoproterozoicos e a associação vulcano-sedimentar de Riacho dos Machados.

A mineralização está hospedada em rochas metassedimentares do Grupo Riacho dos Machados (CROCCO *et al.*, 2006). Nessa época era considerado o terceiro maior depósito de Zn-Pb do Brasil, atrás apenas de Vazante e Morro Agudo, ambos também em Minas Gerais. As reservas estimadas eram de oito milhões de toneladas de minério com 6,2% de Zn e 1,3% de Pb, com teor de corte em 5% e espessura mínima de dois metros, com cerca de 500 mil toneladas de metal contido, enquadrando-se em um depósito de pequeno porte. Os minerais-minério são esfalerita e galena de grão grosso. A esfalerita tem entre 2,4% e 7,9% de ferro. A ganga contém principalmente quartzo, anfibólio e magnetita, com pirita e pirrotita ocorrendo disseminadas e em corpos maciços e espessos. A idade da mineralização é apontada como arqueano-paleoproterozoica, o que pode reduzir sua importância ou restringir a descoberta de outros depósitos de maior porte. Foi considerado como um depósito do tipo SEDEX, com alta relação Zn/Pb e forte correlação com Hg e Cd, hospedado em horizonte silicoso (metachert), em corpos *stratabound* maciços, sem Ag associada, encaixados em pilha sedimentar siliciclástica e químico-clástica

sem contribuição vulcânica, controlados por processos metamórficos-estruturais sin ou pós-mineralizações (CROCCO *et al.*, 2006). A coluna litoestratigráfica do Grupo Riacho dos Machados está representada na Figura 4.4, obtida de Crocco *et al.* (2006).

4.4. OUTRAS OCORRÊNCIAS DE Zn, Pb E ASSOCIADOS

Região de Monte Verde (ocorrências de Cu-Zn±Au)

Duas ocorrências de cobre, associado com Zn e Au, foram identificadas poucos quilômetros a oeste de Monte Verde (proximidades de Juiz de Fora), no Vale do Córrego Mundo Novo, afluente do Rio do Peixe, junto à rodovia MG-353. Situam-se em domínio de gnaisses peraluminosos (kinzigíticos) do Grupo Andrelândia e granitos peraluminosos (S), aparentemente deles derivados, em zona de influência de maciço charnockítico Brasileiro (Corpo de Jacutinga; PINTO, 1991) intrusivo nos paragneisses. Essa área foi pesquisada pelo SBG-CPRM, em 1980, no projeto “Prospecto Sulfetos Metálicos de Juiz de Fora”. Nesse trabalho, além das ocorrências de cobre, foram identificadas, em amostras de sedimentos de corrente, anomalias geoquímicas de Co, Ni, Cu, Zn e Pb.

Anomalias geoquímicas de Zn e Co, em sedimentos de corrente e de S em rochas (ligadas provavelmente a sulfetos), aliadas à presença de grafita e ouro, sugerem um ambiente propício a conter mineralizações do tipo Fe-Cu-Zn(±Au) em paragneisses aluminosos de alto grau, em ambiente similar a Broken Hill, na Austrália (HEINECK, 1991 *apud* PINTO, 1991). Entretanto, em Broken Hill, a associação metálica importante é Zn-Pb-Ag.

Região de Passos (ocorrências de Zn-Pb-Fe)

Na região de Passos, no sudoeste de Minas Gerais, foram registradas ocorrências de sulfetos de Fe, Zn e Pb em corpos de paragneisses bandados, que afloram próximos à cidade e intercalam-se com xistos aluminosos, quartzito, rocha calcissilicática, anfibolito, rochas metaultramáficas, formações ferríferas e gnaisses graníticos, atribuídos aos grupos Araxá ou Canastra (ZANARDO; MORALES; LAMA, 1994). Os paragneisses estão aparentemente hidrotermalizados, o que é sugerido pela presença de muscovita, clorita, fluorita, carbonato e quartzo, com pirita, esfalerita e galena associados. Os veios ou lentes mineralizadas têm espessuras entre milímetros e decímetros, podendo representar até 6% do gnaiss na zona mineralizada, sendo até 1% de esfalerita e 2% a 5% de opacos.

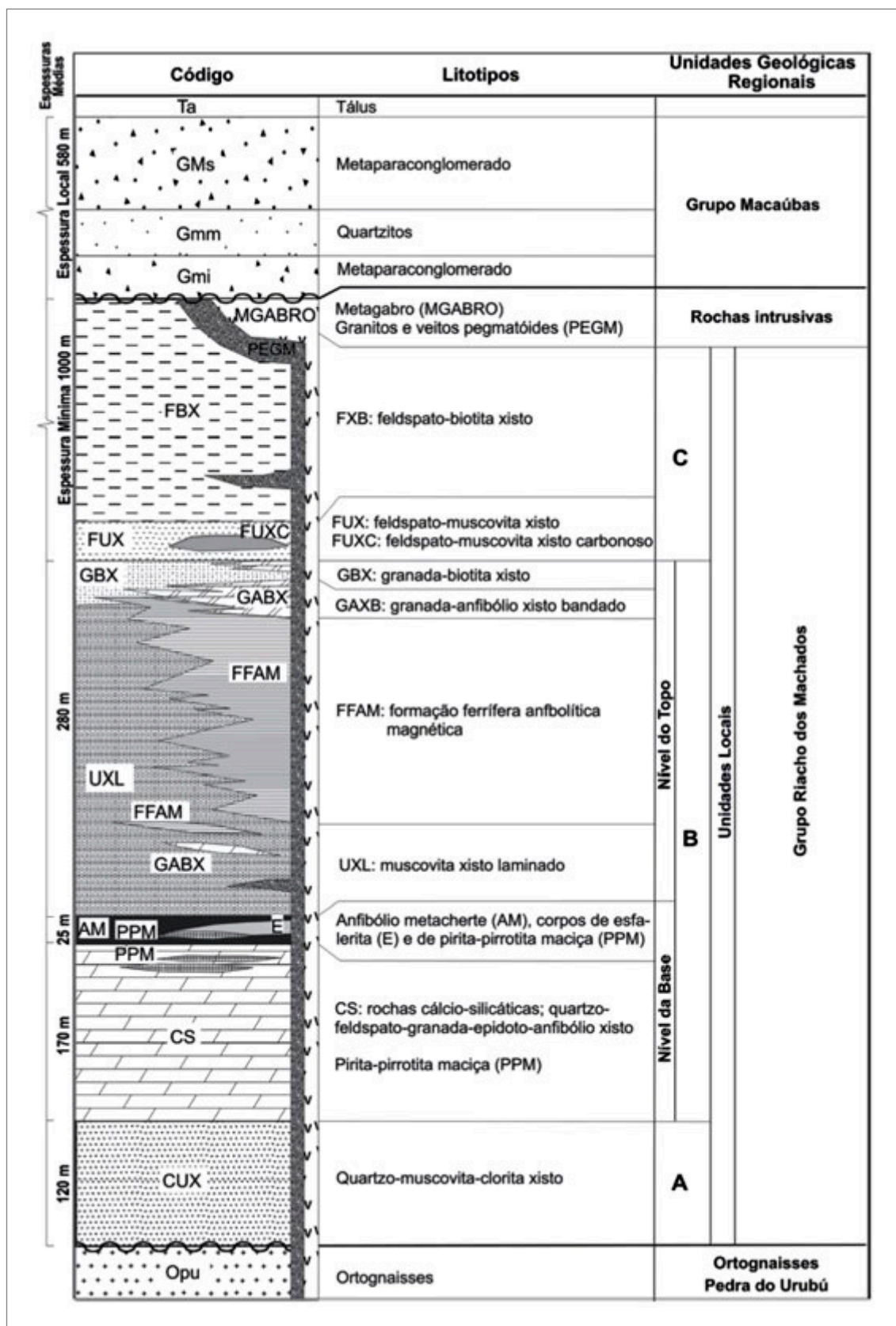


Figura 4.4 - Coluna litoestratigráfica do Grupo Riacho dos Machados na região do depósito de Zn-Pb Salobro, Porteirinha, MG. Extraído de Crocco *et al.* (2006).

**DISTRITOS, DEPÓSITOS E OCORRÊNCIAS DE ASSOCIAÇÕES
POLIMETÁLICAS (Fe-Cu-Zn-Ag-Au-W E Cr-Ni-Co-Pt) FORA
DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO**



Pentlandita

7,6 x 6,7 x 2,2 cm

Depósito de Ni-Cu-Co, Mina Fortaleza de Minas, Fortaleza de Minas, MG

Foto: Andrea Ferreira

Amostra pertencente ao acervo do
MM Gerdau - Museu das Minas e do Metal

5. DISTRITOS, DEPÓSITOS E OCORRÊNCIAS DE ASSOCIAÇÕES POLIMETÁLICAS (Fe-Cu-Zn-Ag-Au-W E Cr-Ni-Co-Pt) FORA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

No estado de Minas Gerais, existem diversas ocorrências e depósitos polimetálicos (englobando Fe-Cu-Zn-Ag-Au-W e Cr-Ni-Co-Pt) fora do domínio do Quadrilátero Ferrífero, com gênese e associações variadas. Dessa forma, foi definida no presente trabalho uma abordagem desses recursos minerais em dois grandes grupos:

1. ocorrências e depósitos polimetálicos relacionados às sequências vulcano-sedimentares (*greenstone belt*) e;
2. ocorrências e depósitos polimetálicos associados aos complexos máfico-ultramáficos acamadados (associados ou não a *greenstone belt*).

Os depósitos e ocorrências de associações polimetálicas no domínio do Quadrilátero Ferrífero são abordados no Capítulo 2.4 em “Ocorrências de Sb, Hg, W, Zn, Pb, Cu e outros elementos metálicos, associados ou não a ouro”.

5.1. OCORRÊNCIAS E DEPÓSITOS POLIMETÁLICOS EM SEQUÊNCIAS VULCANO-SEDIMENTARES.

As principais ocorrências e depósitos polimetálicos estão associados às sequências vulcano-sedimentares relacionadas ao *greenstone belt* denominado de Itumirim – Nazareno (QUEMÈNÈUR; BARAUD, 1982; PIRES; RIBEIRO; BARBOSA, 1990; TEIXEIRA, 1992), ou Rio das Mortes (Quemènèur 1987a, 1987 b), de idade paleoproterozoica (TEIXEIRA; ÁVILA, 2007), atualmente cartografado como Grupo Barbacena.

O Grupo Barbacena está exposto de forma descontínua entre São João del-Rei e Lavras, em alinhamento nordeste-sudoeste, constituído por lavas peridotíticas–komatiíticas, com estruturas *spinifex* e cumuláticas; lavas peridotíticas–komatiíticas massivas intercaladas com leitos piroclásticos (lapilli tufos, brechas peridotíticas, aglomerados); basaltos komatiíticos e tholeiíticos associados a vulcanismo ultramáfico; horizontes de sedimentação química com Fe-Mn exalativo; lavas riolíticas e tufos cinerítico e lapilli, intercalados a sedimentos pelíticos para o topo. O conjunto está metamorfozido em fácies xisto-verde a anfibolito (TEIXEIRA *et al.*, 1996).

As principais ocorrências de elementos polimetálicos fora do Quadrilátero Ferrífero são encontradas na região centro-sudoeste de Minas Gerais, principalmente nos municípios de São João del-Rei, Itutinga, Lavras,

Conselheiro Lafaiete, Lagoa Dourada e Nazareno. Estão representadas por associações dos elementos Fe, Cu, Zn, Ag, Pb, Au, ($\pm$)W, ($\pm$)Sb, ($\pm$)As, não necessariamente todos juntos (Figura 5.1).

5.1.1. Região de São João del-Rei-Itutinga-Nazareno-Lagoa Dourada-Lavras.

Lentes delgadas de sulfetos polimetálicos maciços de Fe-Cu-Zn-Ag-Au $\pm$ Sb $\pm$ As foram descritas originalmente a norte de Itutinga, na Fazenda São Jerônimo, por geólogos da BP Mineração (TEIXEIRA *et al.*, 1996).

Alguns trabalhos de prospecção regional foram realizados na região entre Lagoa Dourada e Nazareno, em uma faixa com cerca de 60 quilômetros de comprimento e 12 quilômetros de largura, acompanhando, grosso modo, a distribuição das rochas anfibolíticas do *Greenstone Belt* Barbacena. Nas proximidades do contato das rochas do *greenstone* com corpos granitoides são conhecidas as associações metálicas: a) **Pb-Zn-Ag-W $\pm$ Cu** relacionada a rochas do *Greenstone Belt* Barbacena; b) **Sn-La-Y-Ce-Zr** relacionada a corpos pegmatíticos (PEREIRA *et al.*, 1989).

Essas ocorrências foram pouco estudadas e descrições são encontradas em poucos trabalhos e em alguns relatos inéditos das empresas de pesquisa, entretanto os dados de geoquímica regional em sedimentos de corrente mostram diversas anomalias desses elementos (Figura 5.1).

A associação **Pb-Zn-W-Ag $\pm$ Cu** sugere correlação com depósitos *stratabound* arqueanos da Groenlândia (Cinturão Malene; APPEL, 1986) ou de Broken Hill (Formação Parnell, Austrália; PLIMER, 1983), onde a scheelita associa-se à turmalina e à gahnita em turmalinitos (exalitos) ou quartzo-gahnita relacionados a toleióitos de baixo-K em exalitos de fundo oceânico (PEREIRA *et al.*, 1989).

As lentes de sulfetos e zona *stringer*, caracterizadas na associação **Pb-Zn-W-Ag $\pm$ Cu**, têm decímetros a pouco mais de um metro de espessura, associando-se aos basaltos (anfibolitos) da base da sequência do *Greenstone Belt* Barbacena. São constituídas por ca. 80% de pirrotita e 20% de calcopirita, além de galena com porções subordinadas de pirita, marcassita, lolingita e, menos ainda, antimônio nativo, discrasita e estibinita.

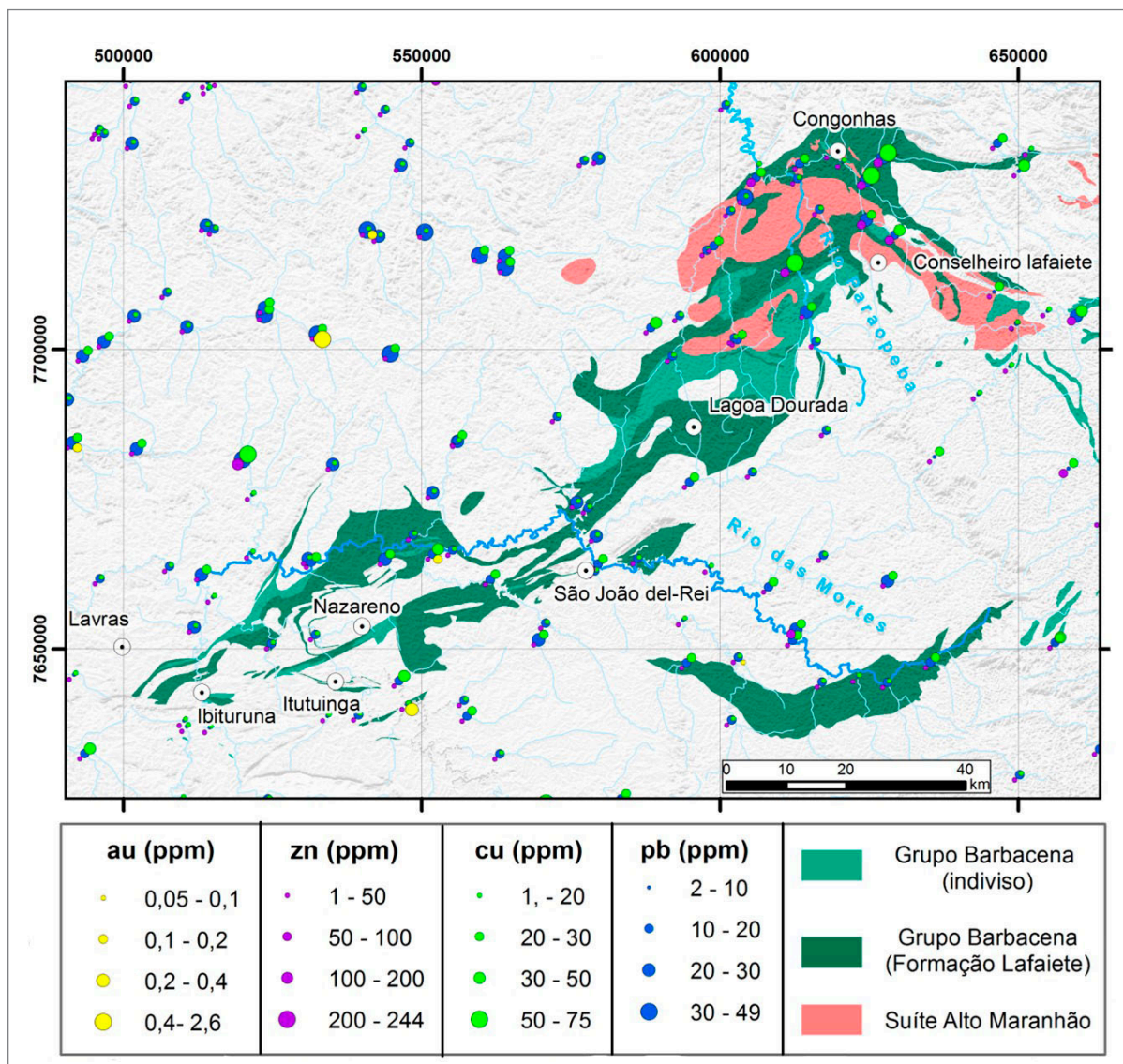


Figura 5.1 - Mapa com a distribuição do Grupo Barbacena (Fm. Lafaiete) e Suíte Alto Maranhão sobrepostos pelas principais anomalias geoquímicas de Zn, Cu, Pb e Au (dados geoquímicos retirados do site do SGB-CPRM/GEOSGB, referentes à geoquímica de baixa densidade de Minas Gerais).

Junto aos corpos de sulfetos, o anfibolito torna-se xistoso e enriquecido em quartzo, albita, clorita, flogopita e epidoto. O modelo proposto para a mineralização por Teixeira *et al.* (1996) é tipo Chipre, relacionado a porções vulcânicas e sedimentares de ofiolitos fanerozóicos, resultado de atividade hidrotermal em fundo oceânico.

Teixeira *et al.* (1996) destacam que esse tipo é normalmente enriquecido apenas em cobre, com pouca esfalerita (Zn), enquanto em *greenstone belt* os depósitos de sulfetos maciços (VMS) são geralmente a Cu-Zn, muitas vezes relacionados a vulcanismo félsico em meio a vulcanismo genericamente considerado basáltico. Defendem que a pequena envergadura das lentes e depósitos teria relação com um provável curto período de atividade exalativa tipo *black smoker*. Entretanto, Suíte (*inf. escrita*, 2012) acredita que a pobreza em Zn possa ter relação com

pequena ocorrência de rochas intermediárias a félsicas e/ou também ao tipo de fluido percolante, acrescentando que as mineralizações poderiam ser, talvez, do tipo VMS (ou VHMS), não tendo relação com o tipo ofiolítico.

A presença de galena foi constatada entre São João del-Rei e Nazareno (ÁVILA *et al.*, 1998a). Ocorre em domínio de terreno ocupado por rochas metavulcanos-sedimentares da Formação Lafaiete (Grupo Barbacena) (PIRES; PIRES, 1992), metamorfizadas em fácies xisto-verde a anfibolito, e granito-gnaisses paleoproterozóicos do Cinturão Mineiro. As rochas do *greenstone* (Grupo Barbacena) são, principalmente, de natureza komatiítica, basalto anfibolíticas e andesíticas, com rochas paraderivadas associadas. Os granitóides variam de tonalito-trondhjemitico a granito e sienito e corpos gabro-dioríticos.

Ocorrências de galena também são conhecidas nas proximidades da vila Caxambu e na Ferrovia do Aço, entre Fé e Caburu. Constituem buchos centimétricos alongados em associação com pirita + calcopirita ± calcita em veios de quartzo centimétricos a até pouco mais de um metro de espessura, que cortam metatrandhjemito (ÁVILA *et al.*, 1998a).

5.1.2. Região de Conselheiro Lafaiete

Anomalias geoquímicas de Pb foram identificadas na região entre Conselheiro Lafaiete e São João del-Rei, em trabalhos de prospecção geoquímica regional em sedimentos de corrente realizados em meados da década de 1970 (PINTO; DUARTE; GROSSI-SAD, 1975; PINTO, 1977, relatórios de pesquisa própria da Cia. Meridional de Mineração, Grupo U.S.Steel; inéditos). As anomalias ocorrem, principalmente, nas imediações do contato entre a Formação Lafaiete (Grupo Barbacena) e granitóides paleoproterozóicos da Suíte Alto Maranhão. Como depósitos de metais básicos em terrenos tipo granito-*greenstone* arqueanos são normalmente pobres em chumbo, uma possibilidade para explicar as anomalias é que esse metal esteja relacionado aos granitóides paleoproterozóicos presentes. Nesse mesmo projeto, sulfetos de cobre com distribuição muito dispersa, foram identificados em rochas anfibolíticas da sequência metavulcanossedimentar da Formação Lafaiete (Grupo Barbacena), nas proximidades do Rio Paraopeba, na localidade Maracujá. A presença desses dois metais ainda não despertou maior interesse, visto não terem sido encontradas acumulações.

5.2. DEPÓSITOS POLIMETÁLICOS (Cr-Ni-Co-Cu±Pt±Au) EM COMPLEXOS MÁFICO-ULTRAMÁFICOS ACAMADADOS

Ocorrências ou depósitos de cromitito (e níquel) são conhecidos em duas regiões/distritos principais: 1. Serro e Alvorada de Minas (Serra do Espinhaço Meridional) e 2. no sudoeste de Minas (Fortaleza de Minas-Piumhi-Bom Sucesso-Nova Rezende-Carmópolis de Minas). Além disso, também são encontradas algumas ocorrências na região de Liberdade (sul de Minas).

5.2.1. Distrito Serro-Alvorada de Minas

Neste distrito são conhecidos diversos corpos de rochas metaultramáficas, com cromititos, sendo o mais importante (ou mais conhecido) o do **Morro do Cruzeiro**, no Serro. Essa região também é conhecida como Distrito Platinífero do Espinhaço ou Complexo de Serro (ABREU, 1962; UHLEIN, 1982; SUÍTA, 1996), com ocorrências de platinóides conhecidas desde os primórdios do século

passado (Figura 5.2). A região de Serro–Alvorada de Minas foi objeto de pesquisas pela Metamig (Codemig, atualmente Codemge) na década de 1980 (ver Capítulo 3, item 3.3.1).

A descoberta de cromitito no **Morro do Cruzeiro** ocorreu em 1963. O minério é tido como hospedado em mais de um nível, em intrusão estratiforme deformada, de filiação toleítica, associada a uma sequência vulcano-sedimentar do tipo *greenstone* (UHLEIN, 1982; SUÍTA; STRIEDER, 1996). A cromita ocorre em corpos estratiformes com até sete metros de espessura hospedados no topo de um pacote de rochas ultramáficas xistosas com carbonato e talco, constituindo um cromitito maciço na porção inferior do corpo, com mais de 75% de cromita em grãos entre 0,1mm e 0,3mm, em contato brusco com o xisto encaixante, passando a disseminada para o topo (DARDENNE; SCHOBENHAUS, 2001, 2003). O minério maciço tem cromita magmática com texturas *cúmulus* primárias ainda reconhecíveis. Os cristais de cromita costumam ter núcleo rico em Mg e Al, orlados por borda rica em Fe³⁺, provavelmente resultante de ação metamórfica sobre o minério, e microinclusões de rutilo, principalmente na periferia dos grãos. Razões químicas entre Fe, Cr, Al indicam cromitas de depósitos estratiformes associados a rochas ultramáficas komatiíticas, com razões Cr/Fe entre 1,7 e 2,2 (DARDENNE; SCHOBENHAUS, 2001, 2003). Essas razões Cr/Fe são desfavoráveis para diversos usos industriais do cromo.

Os cromititos de **Alvorada de Minas** formam corpos de contatos bruscos em meio a clorita-carbonato-talco xisto e talco-clorita xistos, derivados de protólito ultramáfico guardando ainda texturas reliquias e pseudomorfos de olivina ou piroxênio no clorita-carbonato-talco xisto (WALSH, 2012). Segundo o autor, são constituídos por cerca de 30% a 60% de cromita em meio a matriz de kammererita (15% a 40%), talco (10% a 35%), clorita (5% a 15%), carbonato (2% a 5%), tremolita-actinolita (2% a 5%), além de traços de rutilo, ilmenita, magnetita, pirita e calcopirita. As cromitas são geralmente menores que 0,5 milímetros, de hábitos euédricos a subédricos com texturas cumuláticas frequentes e feições tectono-metamórficas superpostas. Em cristais zonados, destaca que os núcleos têm composição química com Cr₂O₃ entre 43% e 55% com média de 47% em peso, valores esses considerados próximos do original. Outros valores em peso são: FeO (19% a 31%, com média de 22%), Al₂O₃ (5% a 17%), MgO (3% a 7%), TiO₂ (média de 0,5%) e MnO (média de 0,8%). Em função dos conteúdos de titânio (considerados altos), de alumínio (considerados baixos) e da razão Cr/Fe (próxima de 1,5 em média), esses cromititos foram considerados como de corpos acamadados estratiformes, tectonicamente deformados, metamorfizados e hidrotermalmente

(H₂O + CO₂) alterados (serpentinização, talcificação, carbonatação, cloritização). O metamorfismo foi de fácies anfibolito baixo com retrometamorfismo em fácies xisto-verde.

Dardenne e Schobbenhaus (2001, 2003) referem-se a reservas estimadas de um milhão de toneladas de minério cromífero com teor de corte em 40% de Cr₂O₃ para a região de Serro–Alvorada de Minas.

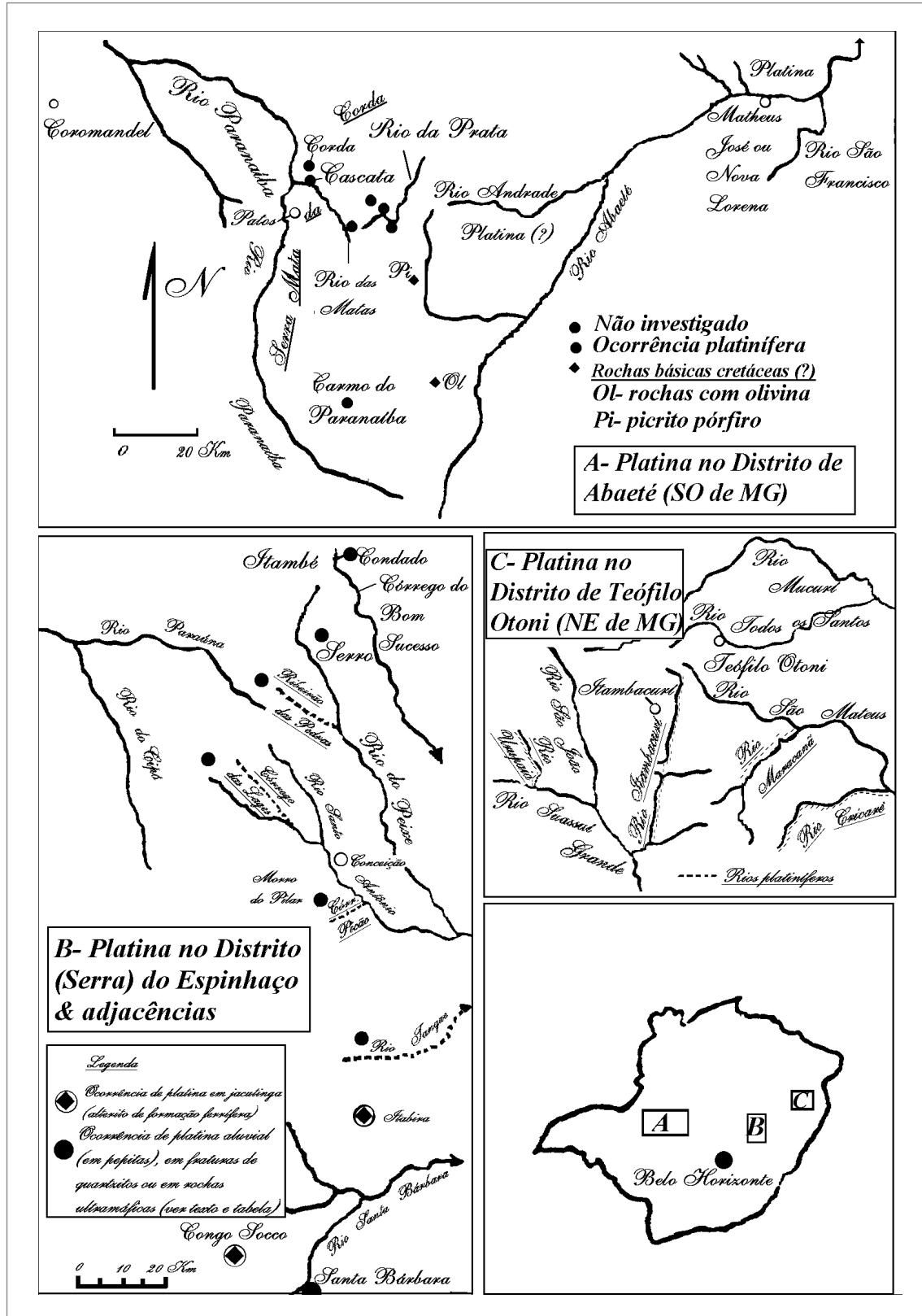


Figura 5.2 - Distritos platiníferos em Minas Gerais (A- Abaeté; B- Espinhaço; C- Teófilo Otoni; ABREU, 1962 *apud* SUITA, 1996).

Quanto aos elementos do grupo da platina, o primeiro a estudar de forma sistemática as ocorrências da região do **Serro** foi Hussak (1905). A platina está essencialmente em depósitos aluviais, principalmente no Córrego Bom Sucesso (HUSSAK, 1905; CASSEDANNE; CASSEDANNE, 1974; FLEET; ALMEIDA; ANGELI, 2002; SUÍTA *et al.*, 2003; CABRAL *et al.*, 2007, 2008, 2009). A ocorrência mais setentrional de Au-Ag-Pd-Pt conhecida é Mil Oitavas, em Diamantina.

Estudos conduzidos por Angeli *et al.* (2009) e Angeli *et al.* (2010), em cromititos de **Alvorada de Minas**, indicaram a ocorrência de platinóides representados por esperilita ($PtAs_2$), laurita (RuS_2), hollingworthita ($RhAsS$), irarsita ($IrAsS$) e a presença de merenskita ($PdTe_2$), mineral indicativo e próprio de depósitos ultramáficos acamadados, citando como exemplo Bushveld, na África do Sul.

As ocorrências de platinóides compõem-se de grãos puros de Pt, Pd e Au, em pepitas ou não, com várias formas de ligas metálicas (PtPd, AuPd, PtCu e AuAg), esperilita ($PtAs_2$) detrítica e raros óxidos (PtPdO, PtO) (FLEET; ALMEIDA; ANGELI, 2002; SUÍTA *et al.*, 2003), (Figura 5.3).

Os teores químicos (LA-ICP-MS) em peso nesses agregados são muito variados, com Pt entre 2% e 97%, Pd entre 2% e 62%, Hg até 32%, Au até 21%, Cu < 2.900ppm, Co < 4,3ppm, Ni < 21ppm, Zn < 11ppm, Pb < 29ppm, Se 54ppm a 2.700ppm, Tl até 354ppm e Fe localmente até 3,6%, mas sem correlação com os demais elementos, embora os valores máximos correspondam aos menores somatórios analíticos.

Veios de quartzo-caulinita-hematita-rutilo truncam a foliação de filitos hematíticos da Formação São João da Chapada, Supergrupo Espinhaço (ABREU, 1991; CABRAL *et al.*, 2009) e alguns alojam-se em quartzito, nas proximidades de onde ocorrem as aluviões contendo agregados botrioidais de Pt-Pd-(Hg) (FLEET; ALMEIDA; ANGELI, 2002; SUÍTA *et al.*, 2003; CABRAL *et al.*, 2009). Essas relações de campo indicam que os veios de quartzo-hematita são mais jovens que a deformação brasileira (por cortarem a foliação de filitos hematíticos e itabirito) e são considerados por Cabral *et al.* (2008, 2009) como a provável fonte das mineralizações de Pt-Pd-Hg. Tal conclusão não é compartilhada por Suíta (informação escrita), que afirma existirem evidências de campo que mostram que no Córrego Bom Sucesso não ocorrem veios de quartzo-hematita, o que sugere que os EGP+Au são derivados de níveis magmáticos ricos em EGP e do desmembramento do complexo acamadado Serro (UHLEIN, 1982). Outro ponto de Suíta *et al.* (2003), que discorda do trabalho de Cabral *et al.* (2009), é a neoformação confirmada de minúsculos grãos de Pt autigênica arborescente sobre grãos de magnetita (Figura 5.3).

Cabral *et al.* (2008, 2009) indicam, como controle estrutural das mineralizações, a tectônica tangencial dúctil brasileira com vergência para oeste.

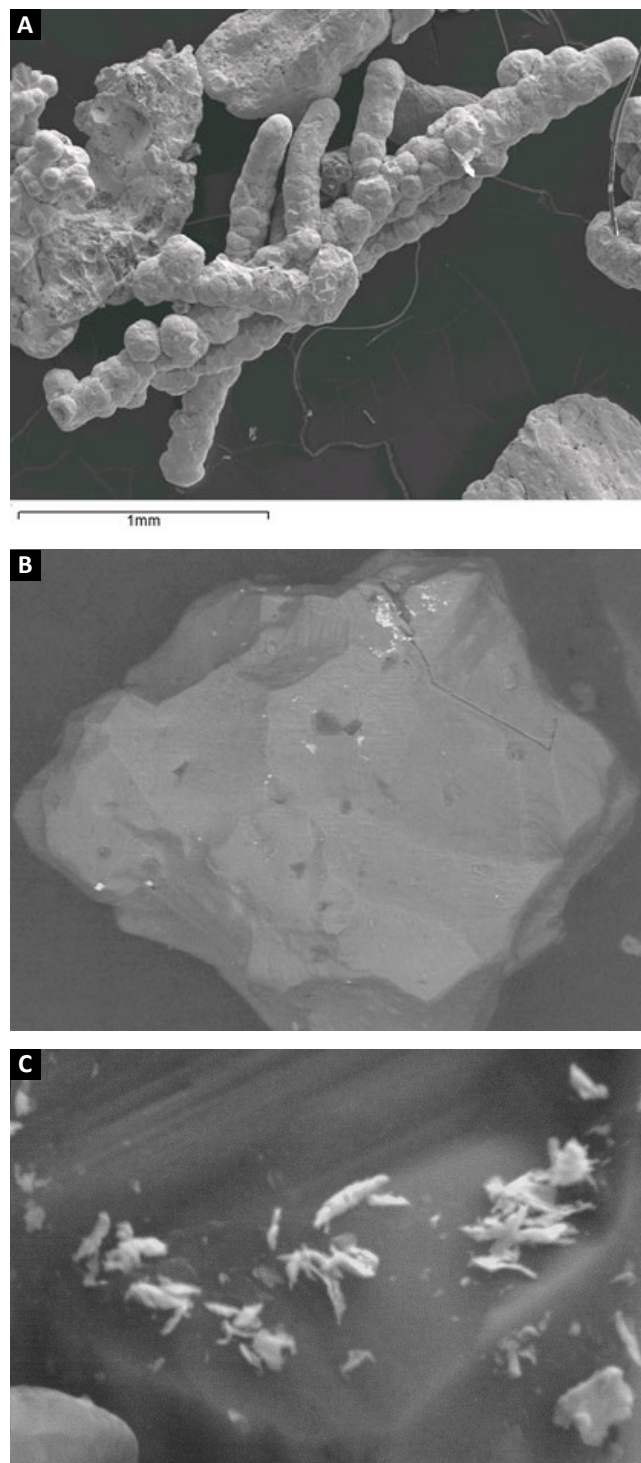


Figura 5.3 - Imagens obtida por SEM ("secondary electron microscope"), University of Cardiff, U.K, do concentrado de bateia no Córrego Bom Sucesso, Serro, MG (SUÍTA *et al.*, 2003): A) pepita de Pt(Pd) (cristais em cor cinza-claro no centro da fotomicrografia) em forma de tubo; B) finos grãos de platina (cor branca), crescidos sobre grãos de magnetita detrítica (grão cinza-escuro ao fundo); C) finos grãos de Pt (cristais claros) crescidos sobre grãos detríticos de quartzo (grão cinza-escuro ao fundo).

Nas aluviões, os agregados de platina (com Pd e Hg; BARBOSA, 1962), em formas botrioidal, concêntrica e arborescente (GUIMARÃES, 1959; FLEET; ALMEIDA; ANGELI,

2002), associam-se a minerais pesados onde predomina hematita especular; secundariamente ocorrem diamante, rutilo de grão grosso, ouro, hongshiita (PtCu) angular detrítica e outros minerais pesados, como magnetita. Níveis de “areias negras” em meio à sequência conglomerática da Formação Sopa-Brumadinho hospedam os minerais pesados transportados para as aluviões (SUÍTA *et al.*, 2003).

As aluviões com minerais de platina e ouro paladiado estão em terrenos quartzíticos e metaconglomeráticos, especialmente da Formação Sopa-Brumadinho (Supergrupo Espinhaço) e itabiríticos (SUÍTA *et al.*, 2003), sugerindo associação com depósitos tipo jacutinga (CABRAL *et al.*, 2009). Como guias prospectivos aluviais, são indicadas as áreas de domínio do ‘cinturão’ de Au-Pd-Pt que contenham quartzito e rochas com hematita (filito hematítico, itabirito), visto ser o quartzito uma rocha inerte e favorecer o crescimento de agregados de Pd-Pt a partir da lixiviação da jacutinga (formação ferrífera – itabirito – com Au).

5.2.2. Cr e Ni nas regiões de Fortaleza de Minas-Piumhi-Bom Sucesso-Nova Rezende-Carmópolis de Minas.

Na região sudoeste do estado de Minas Gerais são conhecidas diversas ocorrências e depósitos de Cr e Ni relacionadas principalmente aos grupos Fortaleza de Minas e Barbacena, ao Supergrupo Piumhi, à Suíte Ribeirão dos Motas a ao Maciço Ultramáfico do Morro das Almas (Figura 5.4). O principal depósito conhecido dessa região está localizado no Morro do Níquel, em Fortaleza de Minas (Figura 5.4).

Fortaleza de Minas

O depósito de Fortaleza de Minas foi descoberto em 1983 e a lavra iniciou-se em 1997, sendo o único depósito de Ni-Cu(EGP) conhecido nos komatiítos mesoarqueanos (2,86Ga) do Grupo Fortaleza de Minas (Figura 5.4).

O **depósito O’Toole**, no Morro do Níquel, encerra corpos de minério com sulfetos maciços a disseminados de Ni-Cu-Co-EGP±Au, hospedados em sequência metavulcanossedimentar com lavas komatiíticas (CRUZ *et al.*, 1986; BRENNER, 2006) arqueana do *Greenstone Belt* Fortaleza de Minas ou Morro do Ferro (TEIXEIRA, 1978; MARCHETTO, 1990; BRENNER, 2006). O minério primário está associado a lavas komatiíticas ultrabásicas (serpentinó, talcoxisto, metapiroxenito cumulado, actinolita xisto) submetidas a metamorfismo de fácies xisto-verde superior a anfíbolito inferior e polideformadas. Segundo Brenner *et al.* (1990) e Marchetto (1990), o metamorfismo de baixo grau e a deformação tectônica foram fatores importantes para a mineralização e a atual conformação dos corpos de minérios.

O minério está situado na base de um serpentinito, variando suas características texturais e litológicas entre a base e o topo do depósito. Compreende os tipos disseminado, matriz, brecha, venular (“stringer”) e bandado (BRENNER *et al.*, 1990; MARCHETTO, 1990; BRENNER, 2006), ou brechóide, intersticial, disseminado, de formação ferrífera e maciço rico (ALVIM *et al.*, 2007). O tipo brechóide é o mais importante, contendo na matriz 60-70% de sulfetos, 10% de óxidos e o restante de silicatos (ALVIM *et al.*, 2007; BRENNER, 2006). Constitui-se de fragmentos de rocha (serpentinó, talcoxisto e metachert), dispostos segundo a foliação principal, envolvidos por matriz de sulfetos maciços. Os tipos disseminado e matriz (ou intersticiais) mostram textura cúmulos primária, preservada em meio ao serpentinito, e os sulfetos ocupam os espaços entre os silicatos. O tipo disseminado evolui para o maciço rico.

Os tipos “stringer”, minério brechado e cisalhado, minérios remobilizados, vinculam-se a zonas de cisalhamento que afetaram as lavas metalultrabásicas e o metachert. Os sulfetos formam vênulas arranjadas subparalelamente por onde penetram os silicatos. O tipo bandado é o de menor teor e ocorre apenas no metachert. O tipo Formação Ferrífera Bandada - FFB ocorre na zona de contato de lapa entre os tipos de minério brecha e cisalhado e a FFB de lapa. O tipo sulfeto maciço hidrotermal (*Hydrothermal Massive Sulfide* - HMS) tardio mostra uma trama pós-tectônica com ausência de foliação metamórfica, mas pode localmente estar cisalhado. Ocorre como preenchimentos de fraturas ou de planos de falha típicos na parede de capa imediata da zona de minério e mostra um claro relacionamento ao minério tipo brecha do qual parece derivar (BRENNER, 2006). Normalmente, mostra um contato falhado ao minério brechado, incluindo fatias tectônicas de outros tipos de minério e rochas hospedeiras, como serpentinito e formação ferrífera bandada (FFB).

Brenner *et al.* (1990), Marchetto (1990) e Brenner (2006) advogam que, no geral, o alto conteúdo dos EGP e Au no minério do Depósito O’Toole tem origem em um magma primariamente muito rico nesses elementos. No entanto, o minério mais rico é o associado ao tipo brecha, onde os mais altos teores de Pt (até 5g/t) e Pd (até 40g/t), conteúdo total de EGP+Au, são maiores que aqueles encontrados em depósitos komatiíticos e minério mais rico; o HMS, está em uma brecha tectônica de matriz sulfetada. Os teores típicos para o HMS são: 9,10% de Ni, 0,71% de Cu, 1650ppm de Co, 28,3% de S, 0,35g/t de Pt e 4,44g/t de Pd (BRENNER, 2006).

Assim, a exemplo de outros depósitos mundiais similares (NALDRETT *et al.*, 1979; PAKTUNÇ, 1984; PATTERSON; WATKINSON, 1984a, 1984b; SKINNER; JOHNSON, 1987), deve ter ocorrido enriquecimento dos sulfetos de fonte magmática nas zonas submetidas à deformação

(brechação) e metamorfismo, seguido da solubilização de enxofre dos sulfetos de Ni-Cu e o enriquecimento do depósito em Ni-Cu-EGP, como concluído por Brenner (2006).

O minério laterítico de Morro do Níquel (BRENNER, 2006) é resultado de ação intempérica sobre rochas serpentínicas portadoras de minerais-minério, dentre eles pentlandita, pirrotita, cobaltita e calcopirita, capeadas por um horizonte silicificado com 15 a 20 metros de espessura. A serpentina original contém cerca de 0,4% de Ni, que é progressivamente liberado na zona de intemperismo/alteração até a completa exaustão da serpentina, fixando-se em uma massa amorfa rica em silício e ferro que constitui um saprólito onde o teor pode chegar a 1,8% de NiO (TRESCASES; OLIVEIRA, 1978). Nessa região também são conhecidos cromititos, que foram considerados como do tipo podiforme (ROIG; SCHRANK, 1992a).

Em 2008, a **Mina de O'Toole** produziu 412.608 toneladas ROM de minério de Ni, com Cu, Co e EGP subordinados. Em 2010, a produção caiu para 377.000 toneladas e, em 2011, ficou em pouco mais de 315.000 toneladas ROM de minério níquelífero.

Dados apresentados em 2012 indicavam recurso medido de 420.000 toneladas de minério com 1,35% de Ni, indicado de 1,08 milhão de toneladas com 1,27% de Ni e inferido de 930.000 toneladas com 1,25% de Ni. Em 2012, a reserva medida era de 1,5 milhão de toneladas de minério com 1,25% de Ni e a indicada provável de 903.000 toneladas com 1,28% de Ni. Com esses valores, a mina teria vida útil de 8 anos.

Os produtos finais são utilizados na produção de níquel eletrolítico (*matte* níquel) e ácido sulfúrico para as indústrias de fertilizantes granulados, sulfatos, química e mineradoras.

Piumhi

São conhecidas ocorrências de cromitito nas serras do Andaime, Chapadão (SILVA, 1982) e da Pimenta, junto à cabeceira do Ribeirão Araras, na região de Piumhi (Figura 5.4). As principais áreas com corpos de minério estão nas fazendas da Serra e Caxambu (PEREIRA *et al.*, 2007). São corpos estratiformes intrusivos de filiação komatiítica, em ambiente de *greenstone*, alojados na base de uma sequência de metaperidotitos serpentinizados e talcificados com resquícios de cumulos de olivina e piroxênio associados a rochas básicas transformadas em actinolita xisto (PINHEIRO, 1988). O conjunto de rochas é atribuído ao Supergrupo Piumhi (CHIARINI; SCHORSCHER, 2001) (Figura 5.4) ou Greenstone Belt Piumhi (FRITZSON JR.; BIONDI; CHABAN, 1980; SCHRANK, 1982; SCHRANK; SILVA, 1993).

Os corpos de cromitito constituem lentes boudinadas com espessuras entre centímetros e decímetros e até alguns metros de comprimento, formando corpos maciços com cromita de granulação fina. A cromita também ocorre disseminada, com granulação fina a média, constitui a matriz de pseudomorfos de olivina, aparentemente serpentina (serpentinó cromífero). O minério é do tipo químico refratário com 31% a 51% de Cr_2O_3 e relação Cr/Fe entre 1,55 e 2,9 (MARTINI, 1994).

Trabalhos de exploração (PEREIRA *et al.*, 2007), por concentrados de bateia, no Maciço de Piumhi, identificaram a presença de cassiterita no Ribeirão da Vargem, que nasce e corre até seu curso médio sobre o Granito Central (ou Taquari, na região do Ribeirão Araras), balizado pela Serra da Pimenta. Nos concentrados, foram ainda identificados magnetita, cromita, columbita-tantalita, rutilo, monazita, topázio e ouro. Segundo esses autores, a fonte da cassiterita é atribuída ao Granito Central.

Serras de Ibituruna e Bom Sucesso (e Morro das Almas)

Alguns alvos nos flancos leste e oeste da Serra de Ibituruna e oeste da Serra de Bom Sucesso (Figura 5.4) foram objeto de trabalhos de exploração (PEREIRA *et al.*, 1986), destacando-se, como o principal deles, a ocorrência da Fazenda Monjolo, onde foram identificados, no mínimo, três níveis de cromitito encaixados em talco xisto. Esses autores admitem similaridade dessas ocorrências com depósitos estratiformes. A cromita é euédrica, com tamanho entre 0,1mm e 0,5mm; análises químicas em duas amostras indicaram que as cromitas têm aproximadamente 28% de Cr_2O_3 e 20% de Fe total. Os cromititos estudados são constituídos por 65% a 75% de grãos de cromita. Segundo Pereira *et al.* (1986), cromita detrítica ocorre nos quartzitos da unidade basal da Serra de Bom Sucesso, por eles atribuídos ao Grupo Caraça, Supergrupo Minas. Isso remeteria as rochas ultramáficas plutônicas encaixantes dos cromititos ao Arqueano, correlacionadas ou pertencentes ao Supergrupo Rio das Velhas (Figura 5.4), nessa época considerado correlato ao Grupo Barbacena (GROSSI-SAD; PINTO; DUARTE, 1983), atualmente remetido ao Paleoproterozoico.

A oeste da Serra de Bom Sucesso são conhecidas duas camadas de cromitito estratiforme relacionada ao Maciço Ultramáfico Morro das Almas (Figura 5.4), associadas a um nível de siderita, estratificadas em um pacote com até 3 metros de espessura encaixado em rocha metaultramáfica formada por serpentina, tremolita, talco e clorita (QUÉMÉNEUR, 1987). Esse cromitito estratiforme persiste por 900 metros, tem cerca de 30% de FeO e não desperta interesse econômico até o momento.

Nesse maciço também ocorre um nível de magnetita com ilmenita, também sem maior expressão econômica, pelo menos até a realização deste texto. Pequenos níveis de amianto tiveram aproveitamento econômico restrito no passado (QUÉMÉNEUR; BARAUD, 1993).

Ocorrências em Alpinópolis–Nova Rezende, leste de Fortaleza de Minas

A leste de Fortaleza de Minas, no domínio do Grupo Fortaleza de Minas (Figura 5.4), ocorrem minérios sulfetados de Ni, Zn, Cu e EGP em zonas de cisalhamento que afetam derrames komatiíticos e unidades metassedimentares (CARVALHO *et al.*, 1993; CARVALHO; SOARES; ANGELI, 1996) (Figura 5.4).

Em **Nova Rezende**, a cerca de 100 quilômetros a sudoeste de Piumhi, são conhecidas ocorrências de cromitito em rochas ultramáficas duníticas atribuídas ao Complexo Petúnia (ROIG; SCHRANK, 1992a), Neoproterozoico, e aqui considerado como parte do Grupo Fortaleza de Minas (*Greenstone Belt*) (Figura 5.4). São rochas metamorfizadas em grau baixo a médio, expostas na Fazenda Catalão (CPRM, 1977). Os corpos de cromitito arranjam-se segundo a foliação metamórfica regional. Roig e Schrank (1992, 1993 *apud* SUÍTA, 1996) associam essas rochas ultramáficas a uma sequência metassedimentar–metamáfica–metaultramáfica denominada Jacuí-Conceição da Aparecida, com posicionamento tectônico no limite entre o Cráton do São Francisco e as faixas móveis Brasília e Ribeira, no sudoeste do estado.

As rochas ultramáficas e os cromititos ocorrem em fragmentos no terreno, em áreas restritas e sem continuidade em profundidade. São cromititos com cromitas podiformes com ligas e sulfetos de Os, Ir e Ru inclusos nos grãos ou distribuídos em fraturas na cromita e em minerais na matriz. Roig e Schrank (1992, 1993) caracterizaram os cromititos como do tipo alpino e, juntamente com as rochas máfico-ultramáficas, constituíram uma associação ofiolítica tectonicamente intercalada em metapelitos, sugerindo tratar-se de uma zona de sutura.

Os teores de Cr_2O_3 situam-se entre 34% e 40,5% e contêm traços de platina. Roig e Schrank (1992) referem-se a ligas e sulfetos de Os, Ir e Ru associados à ganga e à cromita. Os corpos de minério constituem *sills* e *pods* de metaperidotitos em sequência que Teixeira *et al.* (1987) batizaram de Bom Jesus da Penha e que neste trabalho foi reunida ao Supergrupo Piumhi (Figura 5.4). Os cromititos assemelham-se àqueles de Piumhi e são considerados, por Martini (1994), como do tipo estratiforme. Roig e Schrank (1992) os consideraram podiformes (em base a feições texturais da cromita, como *pull apart*), e associações minerais com elementos do

grupo da platina, ricas no subgrupo do irídio (IEGP), comuns em cromititos ofiolíticos. Por outro lado, as altas razões Cr/Al e Fe/Mg sugerem tratar-se de cromita de filiação estratiforme.

Carmópolis de Minas (e Ribeirão dos Motas)

Carneiro e Suíta (2010) destacam o potencial metalogenético na região de Carmópolis de Minas - Ribeirão dos Motas, relacionados à **Suíte Ribeirão dos Motas** (Figura 5.4), pela presença de cúmulos de pentlandita (Ni), calcopirita (Cu) e pirrotita (Fe) envoltos em magnetita ou picotita junto a cristais de ortopiroxênio de composição bronzita e/ou pseudomorfos em ortopiroxenitos pegmatoides, correlacionando essa situação ao observado em níveis sulfetados platiníferos de complexos acamadados do tipo Bushveld (África do Sul) e Munni Munni (Austrália). Esses autores apresentam teores médios de 28ppb de Pt e 10,6ppb de Pd em rochas duníticas a ortopiroxeníticas, considerados anômalos em relação aos de rochas similares de outros complexos acamadados, como do próprio Munni Munni. Ressaltam a favorabilidade à existência de horizontes sulfetados com Ni-Cu e EGP, reforçada pela percolação de fluidos metamórficos.

5.2.3. Liberdade (Sul de Minas)

Trata-se de jazida de níquel descrita pela primeira vez por Willian (1916). Entre 1934 e 1960, foram produzidas cerca de 64 mil toneladas de minério com 2% de Ni e, em 1984, ainda existiam aproximadamente dois milhões de toneladas de minério medido com teor médio de 1,27% de Ni, correspondendo a 24.650 toneladas de Ni contido (SILVA, 1987). O minério está associado a rochas metaultrabásicas. Angeli e Choudhuri (1985) estudaram lateritas níquelíferas formadas sobre rochas metaultrabásicas das proximidades de Liberdade. Não se dispõe de dados atualizados sobre esse depósito.

5.2.4. Ocorrências de EGP na região de Abaeté (Ultramáficas do Mesozoico)

A região de Abaeté está localizada na porção centro-oeste do estado, em domínio do Grupo Mata da Corda e do Grupo Areado (Formação Abaeté), integrantes da Bacia Sanfranciscana, com idade do Mesozoico/Cretáceo.

A Formação Abaeté reúne conglomerados sustentados por matriz ou por clastos e arenito. O Grupo Mata da Corda é representado por rochas vulcânicas e vulcanoclásticas. Freyberg (1934 *apud* ABREU, 1962) parece ter sido o primeiro a descrever a presença de platinoides nesse distrito.

Entretanto, ocorrências de platinóides são conhecidas na Serra da Mata da Corda e na região do Rio Abaeté em associação com tufo alcalinos e rochas ultramáficas (picritos pórfiros e rochas ricas em olivina) do Grupo Mata da Corda (SUSZCZYNSKI, 1975 *apud* SUÍTA, 1996), com muitas das ocorrências situadas em depósitos

aluviais recentes. A platina é magnética e ferrífera (HUSSAK, 1905; ABREU, 1962 *apud* SUÍTA, 1996). Não existem estudos aprofundados sobre esse distrito, mas os teores apresentados são interessantes como elemento prospectivo de eventuais depósitos primários e secundários de EGP.

COMPLEXOS ALCALINOS (Nb, ETR, P, Ti, Mo, U-Th-Zr)



Liga de ferro nióbio produzida em Araxá, MG
Aproximadamente 20 cm de altura

Foto: Andrea Ferreira
Amostra pertencente ao acervo do
MM Gerdau - Museu das Minas e do Metal

6. COMPLEXOS ALCALINOS (Nb, ETR, P, Ti, Mo, U-Th-Zr)

No estado de Minas Gerais, ocorrem diversos complexos alcalinos, principalmente na região do Alto Paranaíba (oeste do estado) e de Poços de Caldas (sudoeste do estado), hospedeiros de importantes depósitos e ocorrências de nióbio, fosfato, elementos terras raras - ETR, titânio, molibdênio, zircônio e minerais radioativos contendo urânio e tório.

Esses complexos são compostos, primordialmente, por intrusões alcalinas dômicas, podendo ser carbonatitos e ter afinidade ultrapotássica e/ou ultramáfica (BROD *et al.*, 2000), e por extrusões em derrames e tufos.

6.1. PROVÍNCIA ALCALINA DO ALTO PARANAÍBA

Essa província reúne os complexos plutônico e vulcânico ultramáfico-alcalino-carbonatíticos da região do Alto Paranaíba, no oeste e sudoeste de Minas Gerais, sendo também conhecida como “Província Ígnea do Alto Paranaíba” (eg. GIBSON *et al.*, 1995; CARLSON; ESPERANÇA; SVISERO, 1996; CARLSON *et al.*, 2007; ARAUJO *et al.*, 2001). Os principais complexos plutônicos são denominados de Barreiro (em Araxá), Tapira, Serra Negra e Salitre (I, II e III). As rochas vulcânicas são principalmente relacionadas ao magmatismo do Grupo Mata da Corda, de afinidade kamafigítica-kimberlítica-lamproítica (BROD *et al.*, 2000) (Figura 6.1). O magmatismo alcalino é do Cretáceo superior. Os complexos plutônicos são intrusivos em rochas dos grupos Araxá e Canastra, na periferia das bacias do Bambuí (São Francisco; Ediacarano a Cambriano), Paraná (Paleozoico) e Areado (Sanfranciscana; Cretáceo) (Figura 6.1).

6.1.1. Complexo Alcalino-Carbonatítico do Barreiro (Araxá)

O complexo ultramáfico alcalino e carbonatítico do **Barreiro** tem em sua periferia a cidade de Araxá (Figura 6.1). Conformam um corpo plutônico com cerca de cinco quilômetros de diâmetro, intrusivo em metassedimentos neoproterozoicos do Grupo Araxá, que mostram-se fenitizados nas proximidades do contato. Representa um sistema plutônico carbonatítico com pirocloro, magnetita, apatita e ETR (BIONDI, 2003, 2005). É constituído por um núcleo carbonatítico representado por beforsito (predomínio de dolomita, com calcita e ankerita subordinadas) e por glimerito, foscorito (flogopita, carbonato, apatita e magnetita) (DARDENNE; SCHOBENHAUS, 2001)

e sovito subordinados, com o glimerito predominando no anel externo da intrusão. Junto ao carbonatito, também, ocorrem barita, apatita, magnetita, perovskita, flogopita, pirita, anfibólio sódico, isokita, estroncianita e bário-pirocloro (DARDENNE; SCHOBENHAUS, 2001). Originalmente, teriam sido intrudidos dunito e peridotito, seguindo-se o magma carbonatítico e o metassomatismo das rochas ultramáficas, resultando no glimerito e fenitização das encaixantes com surgimento de silexito. Processos erosivos e intempéricos conduziram a lixiviação das rochas alcalinas carbonatíticas com a concentração dos resistatos. No protólito carbonatítico são encontrados cumulados de minerais carbonáticos e apatita com magnetita, ilmenita, flogopita, pirocloro (ISSA FILHO; LIMA; SOUZA, 1984, ISSA FILHO; RIFFEL; SOUZA, 2001; BIONDI, 2003, 2005) e veios com dolomita, magnetita, flogopita, sulfetos de Fe-Cu e norsethita (carbonato de bário) (BIONDI, 2003, 2005).

6.1.2. Complexo Alcalino-Carbonatítico de Tapira

Situado junto à cidade homônima e cerca de 40 quilômetros a SSE de Araxá (Figura 6.1), é ligeiramente elíptico, com diâmetro maior de sete quilômetros, e intrusivo nos metassedimentos do Grupo Canastra. É constituído por peridotito, piroxenito, dunito, glimerito (rocha composta essencialmente de minerais micáceos com carbonatos e filossilicatos verdes subordinados), carbonatito (sovito = carbonato de cálcio magmático) e diques de traquito e lamprófiro. O piroxenito é enriquecido em apatita, magnetita e perovskita (está entre 8 e 10%, podendo chegar a 15% em volume) (DARDENNE; SCHOBENHAUS, 2001).

Em um perfil laterítico no interior da intrusão, com espessura superior a 100 metros, Dardenne e Schobenhau (2001), baseado nos trabalhos de Melo 1997, descrevem: 1) zona estéril superficial, enriquecida em ferro e argilas, com teores de $P_2O_5 < 5\%$ e de $TiO_2 < 15\%$; 2) zona mineralizada em Ti, com $TiO_2 > 15\%$ e $P_2O_5 > 5\%$; 3) zona mineralizada em fosfato com $P_2O_5 > 5\%$ e $TiO_2 < 15\%$; e 4) rocha fresca.

6.1.3. Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra e Salitre

Serra Negra - a intrusão de Serra Negra situa-se a leste da cidade de Patrocínio, tendo Guimarães em seu

extremo norte (Figura 6.1 e 6.2). Constitui uma estrutura circular com cerca de 16 quilômetros de diâmetro externo, e nove quilômetros na parte central, com topo aplainado a 1.250 metros de altitude (Chapadão do Ferro), que destaca-se dos terrenos circunvizinhos aplainados a 1.000 metros de altitude.

As rochas predominantes na intrusão, identificadas principalmente em trabalhos de sondagem, são dunito, mica peridotito, mica piroxenito e carbonatito, com limites transicionais, além de diques de sienito com flogopita, ortoclásio e aegirina-augita (GEOLOGIA E SONDAGENS LTDA/DNPM, 1970). As rochas ultramáficas alcalinas foram serpentinizadas, constituindo corpos de serpentinito silicificado e silexito.

O manto de intemperismo tem espessura média de 150 metros, podendo chegar a 250 metros, constituído por material residual resultante da lixiviação

dos protólitos e concentração dos minerais de titânio (principalmente ilmenita) e fósforo. Na parte superior do manto de intemperismo, predomina um horizonte de até 30 metros de espessura de material arenoargiloso laterítico, com quartzo e magnetita-ilmenita (ou magneto-ilmenita) na fração arenosa, que o diferencia dos demais complexos (GEOLOGIA E SONDAGENS LTDA/DNPM, 1970). Essa camada não constitui depósito de minério de ferro, embora o local seja conhecido como Chapadão do Ferro. Na zona de intemperismo, também, ocorrem limonita, goethita, perovskita, apatita, zircão, rutilo, anatásio, pirocloro, hematita, barita, leucóxênio, cromita, turmalina. A turmalina e o quartzo são oriundos das encaixantes.

O Corpo de **Serra Negra** foi pesquisado pela Cia. Meridional de Mineração (CMM; Grupo U.S Steel) e pela Vale, na década de 1970, na busca de titânio, fosfato e

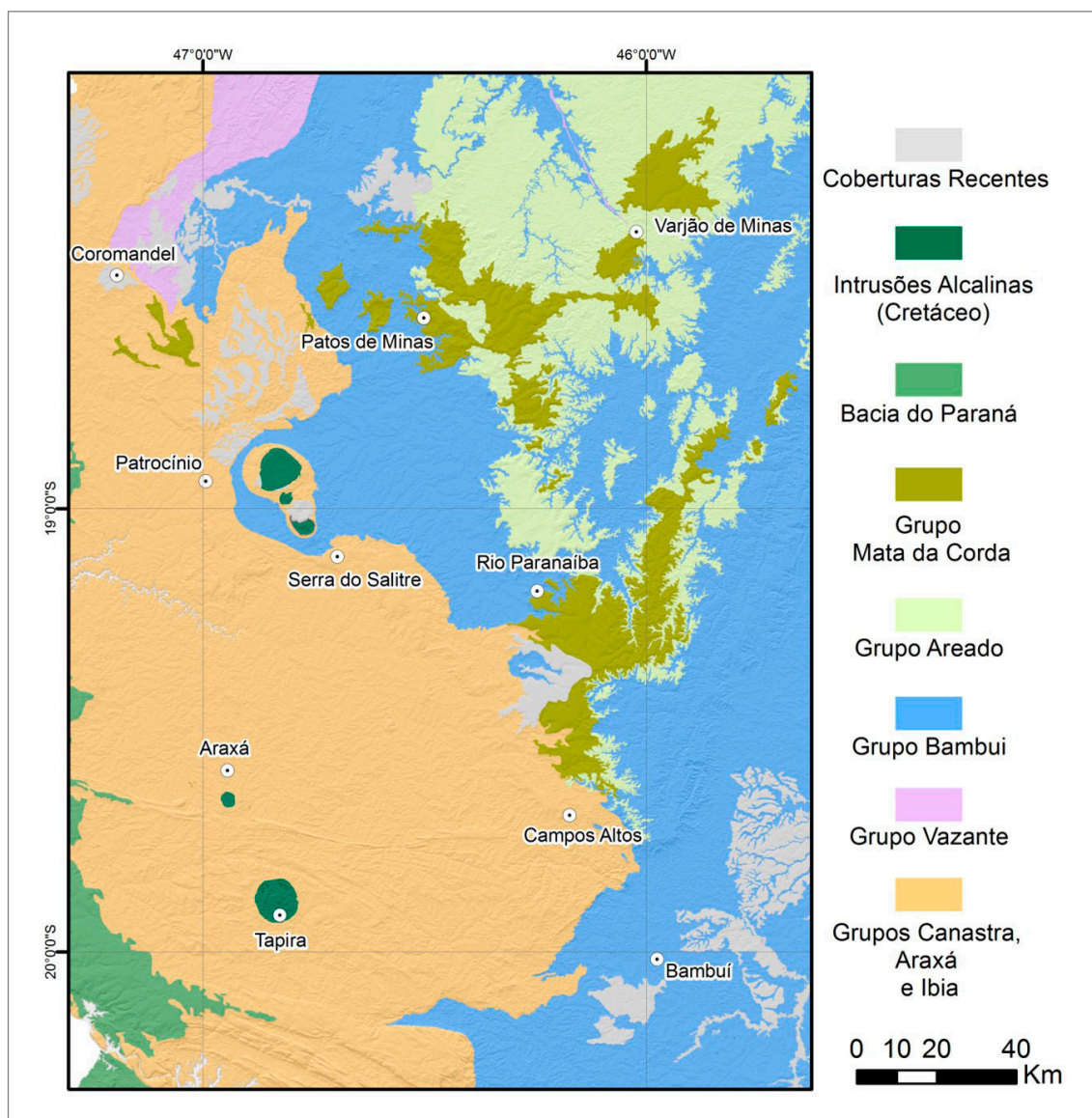


Figura 6.1 - Mapa geológico simplificado da região do Alto Paranaíba com destaque para as intrusões alcalinas e Grupo Mata da Corda. Modificado de Pinto e Silva (2014a). Elaboração própria.

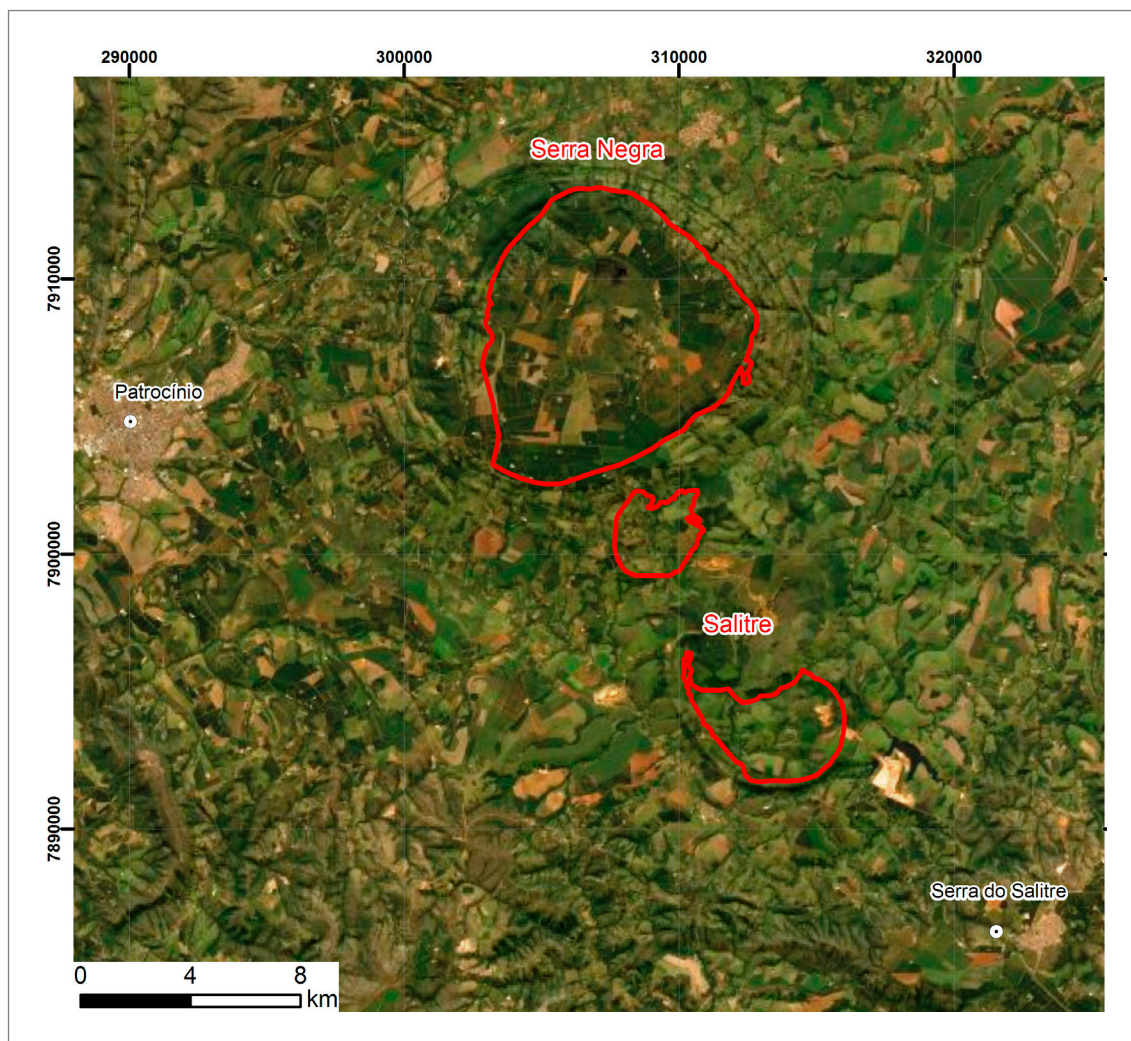


Figura 6.2 - Contorno (vermelho) das intrusões alcalinas dos complexos Serra Negra e Salitre. A chaminé de Serra Negra tem 16 quilômetros de diâmetro e a parte interna nove quilômetros. Fonte: Modificado de Pinto e Silva (2014a) sobre imagem de satélite (Google Earth, 2009). Elaboração própria.

associados, mas os resultados não se mostraram animadores, àquela época, em vista dos melhores resultados obtidos nos outros complexos.

Salitre – são conhecidos três corpos intrusivos plutônicos situados imediatamente a sul do Corpo de Serra Negra e a noroeste da cidade de Serra do Salitre. O maior tem forma elíptica orientada NNW, com cerca de 7 x 5 quilômetros (Figura 6.1 e 6.2). O menor, ao sul, não está representado na figura.

Na intrusão de **Salitre**, as rochas predominantes, escassas ou inexistentes na superfície, são flogopita peridotito, piroxenito e carbonatito, este cortando as duas anteriores, além de diques de traquito, foia-íto, shonkinito (sienito máfico composto principalmente por augita e feldspato) e dunito (MELO, 1997; BIONDI, 2003). O minério é originado por intemperismo do carbonatito e rochas alcalinas associadas, com concentração residual de apatita, anatásio e pirocloro.

6.1.4. Grupo Mata da Corda

As rochas vulcânicas do Grupo Mata da Corda (Figura 6.1), de afinidade kamafugítica-kimberlítica-lamproítica (BROD *et al.*, 2000), apresentam diversas ocorrências de minerais de fósforo e de titânio, entretanto são conhecidos poucos trabalhos que abordam essas mineralizações, como os relatos de veios com altos teores de fosfato, nas regiões de Patos de Minas e Presidente Olegário (MELO, 2012), e altos teores de titânio, nas rochas vulcânicas nos arredores de Presidente Olegário (ROSA, 2015).

6.1.5. Recursos Minerais nos Complexos Alcalinos do Alto Paranaíba

As principais mineralizações da província são Nb, P, Ti e ETR, contidas nos complexos: 1. do Barreiro, em Araxá, contendo pirocloro, apatita, magnetita e ETR; 2. de Tapira,

contendo apatita e anatásio (BIONDI, 2003, 2005); e 3. de Serra Negra e Salitre, contendo apatita e magneto-ilmenita (BROD *et al.*, 2000) (Figura 6.1).

Nesses complexos também ocorre vermiculita, com reservas não avaliadas, o mesmo acontecendo com teores de outros elementos em rocha fresca, visto o minério estar concentrado no manto intempérico.

Nióbio (Nb; pirocloro)

Barreiro (Araxá) – o complexo contém a maior reserva mundial de nióbio. Os outros corpos carbonatíticos dessa província, também, têm pirocloro, mas em quantidades bem menores. A mina de nióbio está situada no centro da intrusão do Barreiro, em beforsito laterizado. O perfil laterítico compreende uma crosta superficial ferruginosa com limonita, goethita, magnetita, pirocloro e apatita, que passa progressivamente a um horizonte regolítico, o nível de minério propriamente dito, resultado do intemperismo e lixiviação sobre o carbonatito, concentrando pirocloro, apatita e monazita. O perfil encerra-se com a transição para a rocha carbonatítica fresca (BIONDI, 2003, 2005).

A reserva de minério de nióbio do tipo supergênico era de 462 milhões de toneladas, com 2,5% de Nb₂O₅ e no minério primário (carbonatito inalterado) a reserva de minério de pirocloro era de 940 milhões de toneladas, com teor de 1,6% de Nb₂O₅. No foscorito, da parte central do complexo, foram encontradas concentrações de até 8% de Nb₂O₅ em algumas zonas (BIONDI, 2003).

Segundo o “Anuário Mineral Estadual – Minas Gerais – 2016”, elaborado pela ANM (COSTA *et al.*, 2019), as reservas de pirocloro (Nb₂O₅) no estado eram de 14,382 milhões de toneladas medidas, 907 mil toneladas indicadas e 680 mil toneladas inferidas, com reserva lavrável de 8,41 milhões de toneladas de minério. Em 2016, a produção bruta *run of mine* (ROM) foi de 3,298 milhões de toneladas de minério, com 90,5 mil toneladas de pirocloro contido a um teor médio de 2,75% de Nb₂O₅. A produção beneficiada atingiu 109.040 Toneladas, com 58.881 toneladas de pirocloro contido a um teor de 54% de Nb₂O₅. A produção esteve a cargo da Companhia Mineradora de Pirocloro de Araxá, com toda a atividade minerária concentrada no Complexo do Barreiro, em Araxá. Esse é o último dado oficial da ANM disponível até maio/2020, embora referente à 2016.

Tapira - as reservas totais calculadas durante a fase de pesquisa na década de 1970 foram 166 milhões de toneladas de minério de nióbio, com teores médios entre 0,36% e 0,9% (~0,73% médio) de Nb₂O₅ (DARDENNE; SCHOBENHAUS, 2001; BIONDI, 2003).

Serra Negra e Salitre - as reservas totais divulgadas nas fases de pesquisas (Vale, CMM/USSteel), na década de 1970–1980, indicavam 196 milhões de toneladas de

minério de Pirocloro, com teor médio de 0,48% de Nb₂O₅ (BIONDI, 2003). As pesquisas realizadas pela Companhia Meridional de Mineração (CMM), com poços e sondagens rotativas, não mostraram minério de interesse econômico em Serra Negra até dezenas de metros de profundidade; predominava crosta laterítica e rocha ilmenítica. Há dúvidas se esses valores contemplavam também Salitre, pouco conhecido àquela época.

Fosfato (P₂O₅)

Dados apresentados por Fonseca, Silva e Senna (2018) mostram que, em 2017, foram produzidas no Brasil 35,8 milhões de toneladas *run of mine* (ROM) de rocha fosfática com teor próximo de 10% de P₂O₅. Cerca de 80% da produção foi proveniente de Tapira e Barreiro (Araxá), em Minas Gerais, e de Catalão e Ouidor, em Goiás, oriunda de carbonatitos. Após beneficiamento, resultaram quase seis milhões de toneladas de concentrado de rocha fosfática com 35% de P₂O₅.

Conforme o “Anuário Mineral Estadual – Minas Gerais – 2016”, elaborado pela ANM (COSTA *et al.*, 2019), as reservas de rocha fosfática (P₂O₅), em Minas Gerais em 2016, eram de 153,7 milhões de toneladas de minério medido, 93 milhões de toneladas indicadas e 85,4 milhões de toneladas inferidas, com 133,2 milhões de toneladas recuperáveis. Nesse mesmo ano, a produção bruta foi de 17,9 milhões de toneladas de minério ROM, com 1,72 milhões de toneladas de P₂O₅ contido a um teor médio de 9,59% de P₂O₅. Foram beneficiadas 2,61 milhões de toneladas, resultando em 886 mil toneladas de concentrado a um teor de 33,91% de P₂O₅. Esses são os últimos dados oficiais disponíveis no site da ANM até maio de 2020, embora referentes a 2016.

Barreiro (Araxá) - conforme Torres (1996), a jazida de rocha fosfática do Barreiro apresentava apatita em: 1. carbonatito maciço, em cristais subédricos orientados segundo o fluxo magmático, em concentração de até 15%; 2. veios carbonatíticos em associação com pirita e barita; e 3. veios de apatitito com 0,1 a 2 metros de espessura, de magnetitito e de nelsonito. Destaca que os veios de apatitito são os mais ricos em apatita, junto com magnetita, pirocloro e flogopita. Também cita a presença de veios de barita, com espessura de até 60 centímetros, cortando os litotipos anteriores e veios de silixito com monazita, todos de possível origem hidrotermal.

Dardenne e Schobbenhaus (2001) descrevem, na zona mineralizada em fosfato no Complexo Alcalino do Barreiro, quatro horizontes lateríticos: 1. laterita superficial com 40 a 50 metros de espessura, constituída por goethita, hematita, gibbsita, crandallita (CaAl₃(PO₄)₂(OH)₅.H₂O), anatásio, maghemita e quartzo; 2. saprólito fino com espessura de 20 a 50 metros, contendo apatita, goethita,

magnetita, anatásio, hematita, fosfato secundário e caulinita; 3. saprólito grosso, com 10 a 50 metros de espessura, contendo principalmente vermiculita, apatita, magnetita, com goethita subordinada; e 4. rocha fresca (carbonatito, flogopitito e veios de apatitito, nelsonito, magnetitito e barita. Somente o horizonte de saprólito fino tem aproveitamento econômico, por questões de beneficiamento. O minério é resultante de processos intempéricos sobre as rochas carbonatíticas, com teor médio de cerca de 15% de P_2O_5 , resultando da concentração residual de apatita.

Segundo Schnellrath *et al.* (2002), o perfil de intemperismo na área da mina de rocha fosfática da Mosaic (anteriormente da Bunge-Vale), no Barreiro, está representado por uma cobertura superficial com até 20 metros de espessura, seguindo-se um pacote de estéril, que pode atingir 60 metros de espessura, e a zona mineralizada, onde a apatita está concentrada, que pode chegar a 200 metros de profundidade. A cobertura superficial é formada de óxidos hidratados de ferro e argilomineral. O nível estéril contém, além dos dois componentes anteriores, magnetita, hematita, brookita, barita, pandaita, anatásio e fosfatos secundários. A rocha-fonte tem teor médio de cerca de 5% de P_2O_5 . A zona mineralizada, portadora de apatita, compreende: 1. minério oxidado com alto teor em apatita e baixo teor em carbonatos, podendo atingir mais de 15% de P_2O_5 , com média de 32,5% de apatita; 2. minério micáceo e carbonático, com grande quantidade de vermiculita, hidrobiotita e clorita; teor médio de 24,3% de apatita; e 3. minério carbonático com calcita e dolomita e teor médio de 26,6% de apatita.

Com a exaustão de parte da Jazida de Barreiro, em Araxá, ao final de 2016 – 2017, a Vale iniciou a exploração de rocha fosfática em Patrocínio (complexos Serra Negra – Salitre), levando o minério para ser tratado na planta química de Araxá. Até 2017, a Vale-Bunge operava as minas de Minas Gerais. Em 2017, as minas de rocha fosfática da Vale, e toda a parte de fertilizantes, foram vendidas à Mosaic Fertilizantes, empresa multinacional líder no setor, e com outras minas no Brasil.

Tapira - as reservas totais de minério apatítico calculadas durante a fase de pesquisa, na década de 1970, foram 1.381 milhões de toneladas, com teor de cerca de 8,2% de P_2O_5 (DARDENNE; SCHOBENHAUS, 2001; BIONDI, 2003)

Salitre - a caracterização tecnológica dos tipos de minério fosfático de Salitre foi investigada por Uliana, Kahn e Braz (2009). Mais de 90% da apatita é límpida a levemente impregnada por compostos hidratados e oxidados de ferro e ocorre, predominantemente, liberada abaixo da fração 0,21mm. A recuperação estimada de P_2O_5 por flotação foi superior a 90%, com recuperação total estimada entre 71 e 76%. Os teores de P_2O_5 no minério variaram de 9 a 25%, com cerca de 20 a 34% em

peso na fração menor que 0,020mm e perdas de 17 a 22% do total de P_2O_5 . O minério é composto por apatita, óxidos e hidróxidos de ferro, ilmenita, argilomineral, carbonato, quartzo, piroxênio, perovskita, alumino-fosfatos e minerais acessórios, em quantidades variadas.

As reservas totais divulgadas na pesquisa em Salitre-Serra Negra (Vale, CMM/USSteel) indicavam 852 milhões de toneladas de minério apatítico, com teor médio de 10,7% de P_2O_5 (BIONDI, 2003). Não foi destacado o que seria proveniente de cada complexo.

A Galvani/Yara continuava implantando o projeto de Serra do Salitre (MG), com previsão de iniciar a produção de fertilizantes em 2020 (Fonte - <https://www.noticiasdemineracao.com/outros/news/1360325/galvani-pode-iniciar-projeto-de-fertilizante-em-mg-no-in%C3%ADcio-de-2020>)

Titânio (TiO_2)

Tapira - as reservas totais calculadas, durante a fase de pesquisa na década de 1970, foram 414 milhões de toneladas de minério de anatásio com teores médios entre 14,3% e 21,9% (~17,82% médio) de TiO_2 (DARDENNE; SCHOBENHAUS, 2001; BIONDI, 2003).

Dados do “Anuário Mineral Estadual – Minas Gerais – 2016”, elaborado pela ANM (COSTA *et al.*, 2019), as reservas de anatásio (TiO_2) eram de 120 milhões de toneladas de minério medido, 123,9 milhões de toneladas indicadas e 55,2 milhões de toneladas inferidas, com reserva lavrável de 104,2 milhões de toneladas de minério. Não havia informações sobre produção e beneficiamento.

Serra Negra e Salitre - as reservas totais divulgadas na pesquisa na década de 1970-1980 (Vale, CMM/USSteel) indicavam 694 milhões de toneladas de minério de titânio (anatásio), com teor médio de 17,5% de TiO_2 (BIONDI, 2003).

Elementos Terras-Raras (ETR)

A busca pelos ETR ganhou grande dimensão no Brasil nos últimos anos, como forma de atender à demanda interna e fugir do monopólio chinês. Um eventual excesso de produção poderá ser exportado.

São considerados ETR, ou lantanídeos, 15 elementos químicos com números atômicos entre 57 (lantânio) e 71 (lutécio), incorporando-se também Y e Sc, por suas propriedades químicas análogas aos ETR. As características geoquímicas dos ETR estão disponíveis em Lapido-Loureiro, Figueiredo e Torezan (1989), Lapido-Loureiro (1994), Smirnov (1976), Kosynkin *et al.* (1992), Biondi (1986, 2003).

Os três principais minerais de ETR são: bastnasita [(Ce,La)CO₃F], monazita (Ce,La,Nd,Th,Y)PO₄ e xenotímio (YPO₄), os dois primeiros com 55 a 70% de óxidos de

terras-raras (OTR ou TR_2O_3) e pouco Y e o último com até 61,5% de Y (LAPIDO-LOUREIRO, 1994). Outros minerais importantes são a loparita $(\text{Ce,Na,Ca})_2(\text{Ti,Nb})_2\text{O}_6$, que pode também ser fonte de Ta e Th, com 40% de TiO_2 , 30% de OTR e 12% de $(\text{Nb,Ta})_2\text{O}_5$, e a itriosynchisita, fonte também de Y, Nb e P (KOSYNKIN *et al.*, 1992).

Sintetizando os autores citados anteriormente, os elementos terras-raras (ETR) têm como minerais de minério a monazita $[(\text{Ce, La, Nd, Th, Y})\text{PO}_4]$, fonte de Ce e La, a gorceixita, um fosfato hidratado de Ba e Al com ETR, e a apatita (fosfato de Ca com ETR). Os minerais que contêm ETR são geralmente concentrados supergênicamente no manto de intemperismo, por lixiviação do protominério alcalino-carbonatítico. Conforme Biondi (2003): *“Geralmente as primeiras emissões carbonatíticas são ricas em apatita, anatásio e magnetita (sovitos e beforsitos). A fase intermediária contém nióbio (sovitica e beforsítica). A fase tardia contém terras-raras (ferro-carbonatítica)”*.

As reservas de ETR no complexo alcalino-carbonatítico do Barreiro eram 546.000 toneladas de minério supergênico com teor médio de 4,4% de TR_2O_3 (BIONDI, 2005).

No “Anuário Mineral Estadual – Minas Gerais – 2016”, elaborado pela ANM (COSTA *et al.*, 2019), constam como reservas de minério de ETR medida 20,2 milhões de toneladas, como indicada 1,53 milhão de toneladas e como inferida 523 mil toneladas, com possibilidade de recuperação de 10,6 milhões de toneladas. Não constam dados de produção e beneficiamento. Também não existem dados mais recentes divulgados pela ANM até maio de 2020.

Em **Tapira**, durante a fase de pesquisa, na década de 1970, foram identificados teores, aparentemente esporádicos, de até 10% de TR_2O_3 no minério (BIONDI, 2003).

6.2. COMPLEXO ALCALINO DE POÇOS DE CALDAS - MORRO DO FERRO

O nome **Morro do Ferro** provém da crosta ferruginosa formada sobre o complexo alcalino (Figura 6.3), onde são conhecidas mineralizações de $\text{U}(\pm\text{Th})$, ETR, Mo e Zr do tipo filoneano periférico em domínio plutônico. Aí estão a principal mina de urânio do estado, Mina Usamu Utsami ou Cercado, e a Mina Agostinho.

Os depósitos associam-se a rochas alcalinas agpaíticas a intermediárias, representadas por foiaíta, lujaurito, shibinito, tinguaito e fonolito, em forma de brechas, *plutons* e derrames.

De maneira geral, o minério primário está disseminado em brechas hidrotermalizadas (veios hidrotermais primários) de até cinco metros de espessura, com magnetita compacta, associados a uma trama de filonetes de magnetita em arranjo tipo *stockwork*, ambos hospedados em rochas alcalinas hidrotermalizadas (argilização

e sericitização). Nesses veios também ocorrem allanita, bastnaesita, thorbastnaesita, monazita, coffinita, torogumita, cerianita e fersunita, em meio à ganga sericitica e argilosa com magnetita, pirita, zircão, rutilo, anatásio, fluorita e molibdenita (LAPIDO-LOUREIRO, 1994; BIONDI, 2003).

Os minerais de minério primários são uraninita, molibdenita, zirconita. A lixiviação do urânio contido no protólito tinguaitico, através da circulação de águas meteóricas oxidantes em ambiente superficial, causa a sua concentração nas zonas oxidadas na forma de nódulos centimétricos de patchblenda, constituindo bolsões em meio à rocha argilizada esbranquiçada (BIONDI, 2003).

A ação intempérica sobre o minério hidrotermal filoneano primário e rochas alcalinas encaixantes lixivia os elementos solúveis, produzindo minério secundário em crosta laterítica residual supergênica com hidróxidos de Fe-Mn, onde concentram-se minerais oxidados de U e ETR. Abaixo da crosta laterítica, concentram-se minerais supergênicos oxidados de Th, Ti e ETR em meio ao regolito argiloso (LAPIDO-LOUREIRO, 1994; BIONDI, 2003).

O urânio foi explotado nas minas Usamu Utsami e Agostinho, em depósitos minerais que encaixam-se nos modelos: 1) hidrotermal subvulcânico a plutônico superficial (até 2 quilômetros de profundidade) e plutônico profundo (até 10 quilômetros), do tipo U-Mo-Zr, disseminado em posições apicais de rochas alcalino-carbonatíticas; ou 2) hidrotermal plutônico profundo do tipo periférico ou periplutônico em filões com ETR-Th ou F relacionados a *plutons* alcalinos. Entretanto, a gênese desses depósitos hidrotermais de U-Mo-Zr ainda é pouco conhecida (BIONDI, 2003).

Mina Usamu Utsami (ou Cercado)

Na Mina Usamu Utsami (ou Cercado), o corpo mineralizado é uma chaminé com seção ovalada de 1200m x 600m, no interior da grande estrutura alcalina de Poços de Caldas. É formado, principalmente, por brechas alcalinas vulcânicas e de fluidização hidrotermalizadas, resultando em intensa argilização e piritização. O minério supergênico hidrotermalizado e oxidado é alaranjado a avermelhado devido à transformação da pirita em goethita, com nódulos pretos de patchblenda. Nas zonas não oxidadas, o material é branco-acinzentado e os teores em U_3O_8 situam-se entre 20ppm e 200ppm (BIONDI, 2003). O limite entre essas duas zonas é nítido, mas irregular. Até o final do século passado, haviam sido explotadas quase 17,87 milhões de toneladas de minério com teor médio de 0,15% de U_3O_8 , representando 26.800 toneladas de U_3O_8 , além de 25.000 toneladas de MoO_3 e 172.400 toneladas de concentrado de ZrO_2 com teores entre 55-60% (BIONDI, 2003). A reserva total de minério uranífero,

referida pelo autor, era de 30 milhões de toneladas com 850ppm de U_3O_8 . O minério é uma associação U-Zr-Mo disseminado, em posição apical da intrusão. As atividades nessa mina, pertencente a Indústrias Nucleares do Brasil (INB), foram iniciadas em 1982 e encerradas em 1995.

Mina Agostinho

O minério está associado a caldasito, que apresenta-se como veios nas rochas alcalinas (fonolito, foiaito e tinguaito). Caldasito é uma mistura de zirconita ($ZrSiO_4$) e baddeleyta (ZrO_2) com cerca de 60% de ZrO_2 e 0,3% de U_3O_8 , embora os teores possam variar muito em função da predominância de um mineral sobre o outro. Os depósitos que mostram interesse econômico ocorrem como veios, lentes ou em acumulações residuais. Os depósitos

eluviais tinham espessura média de 50 centímetros e foram exauridos devido à facilidade de serem lavrados (DRUMOND, 1982).

O minério ocorre associado a brechas de fluidização, orientadas na forma de diques, similares às observadas na Mina Usamu Utsumi, mas com teores mais elevados de molibdênio, na forma de molibdenita, jordisita (MoS_2) e ilsemannita ($Mo_3O_8n(H_2O)$), tornando-se o elemento mais importante do minério. Piritita e fluorita ocorrem disseminadas na matriz argilosa da brecha de fluidização. O minério é uma associação Mo-U-Zr, com cerca de 5.000 toneladas de U_3O_8 , com teores médios de 0,1% de MoO_3 e 1,0% de ZrO_2 . O zircão contém parte significativa do urânio em sua rede cristalina, dificultando a recuperação, e a outra parte está na uraninita (BIONDI, 2003). As reservas atuais nessa mina não estão divulgadas.

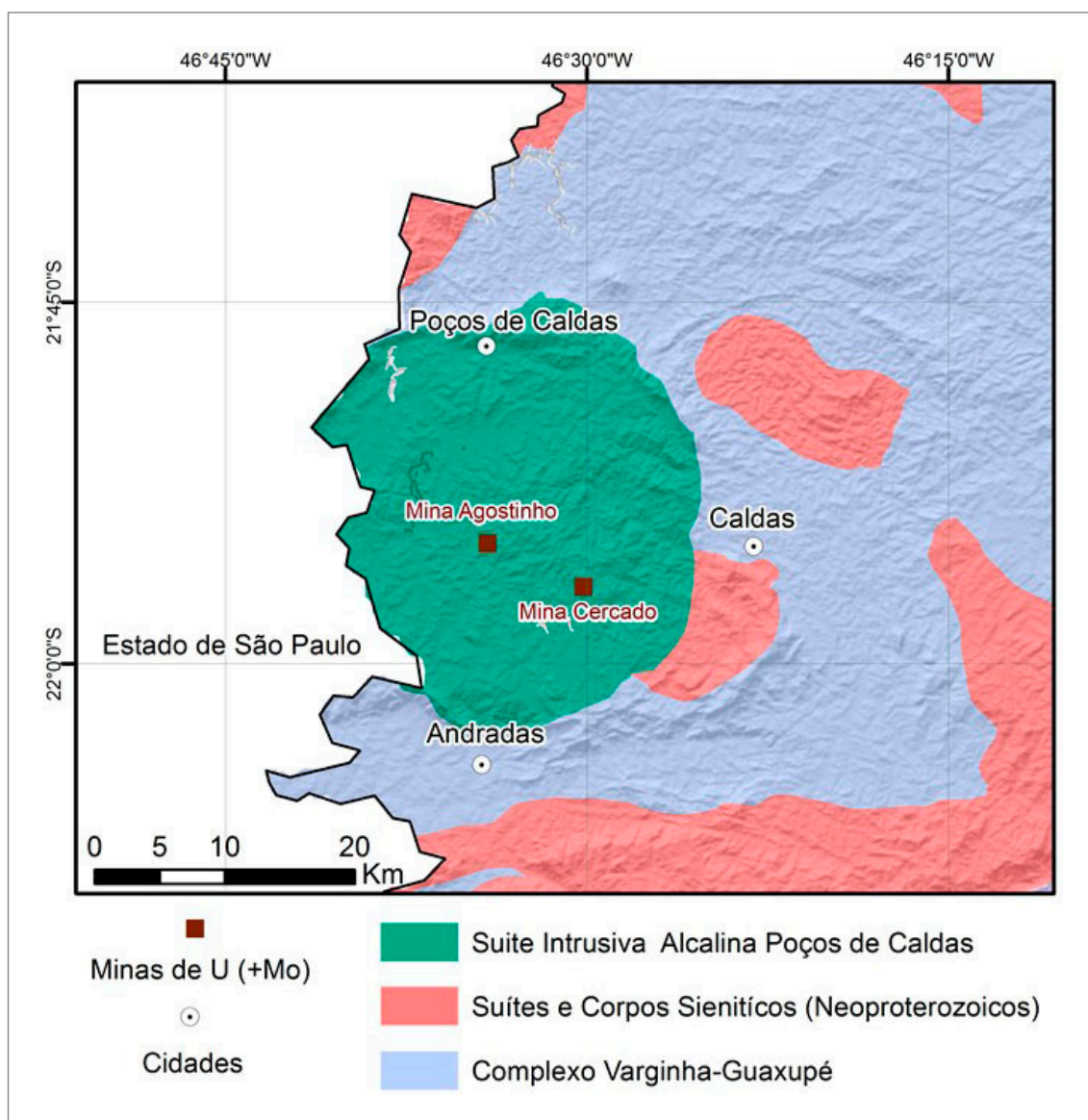


Figura 6.3 - Mapa geológico simplificado com destaque para o Complexo Alcalino de Poços de Caldas e as minas de Cercado (Usamu Utsumi) e Agostinho, no Chapadão Morro do Ferro. Modificado de Pinto e Silva (2014b). Elaboração própria.

DISTRITOS, DEPÓSITOS E OCORRÊNCIAS DE FOSFATO, POTÁSSIO E CALCÁRIO SEDIMENTARES E OUTRAS ROCHAS COMO FONTES ALTERNATIVAS DE NUTRIENTES AGRÍCOLAS



Dobra em fosforito cinza intercalado com pelito ocre
Mina da Rocinha, Patos de Minas/MG.
Aproximadamente 10 cm de altura.

Foto: Júlio Pinho
Amostra pertencente ao geólogo Claiton Piva Pinto

7. DISTRITOS, DEPÓSITOS E OCORRÊNCIAS DE FOSFATO, POTÁSSIO E CALCÁRIO SEDIMENTARES E OUTRAS ROCHAS COMO FONTES ALTERNATIVAS DE NUTRIENTES AGRÍCOLAS

Em Minas Gerais, os principais distritos, depósitos e ocorrências de rochas fosfáticas, potássicas e carbonáticas de origens sedimentares estão na Bacia do São Francisco, hospedados no Grupo Bambuí, de idade neoproterozoica/ediacarana-cambriana. Também, são conhecidas algumas ocorrências de rochas fosfáticas sedimentares na região de Caxambú e na Serra do Espinhaço Meridional, em outras unidades litoestratigráficas. Rochas carbonáticas ocorrem em muitas outras regiões do estado, fora do Quadrilátero ferrífero, a partir do Paleoproterozóico.

Na década de 1970, intenso programa de prospecção mineral regional conduzido pela CPRM (atual Serviço Geológico do Brasil) levou à descoberta e avaliação de depósitos de rochas fosfáticas sedimentares na região do Alto Paranaíba, com destaque para as regiões de Lagamar, Coromandel e Patos de Minas. Também foram objeto de pesquisa pela CPRM rochas pelíticas ricas em fosfato (fosforito) e potássio (verdete = silito e argilito verdes com illita e glauconita) que ocorrem na região da Serra da Saudade e Cedro do Abaeté (CHAVES; HEINECK; TAVARES, 1971).

Alguns desses depósitos sedimentares de fosfato eram atribuídos a unidades estratigráficas do Grupo Vazante (CPRM, 1976; DARDENNE, 1979; DARDENNE *et al.*, 1986, 1998), entretanto, os trabalhos de mapeamento e estudos isotópicos realizados pelo SGB-CPRM, no Projeto Vazante- Paracatu (SIGNORELLI *et al.*, 2014a, 2014b; PINHO *et al.*, 2017), vincularam as formações Santo Antônio do Bonito e Rocinha, até então consideradas basais do Grupo Vazante, ao Grupo Bambuí. Para isso, foram avaliadas as correlações litoestratigráficas e estudos em assembleias de zircões detríticos. Também Misi *et al.* (2014), associaram os depósitos de rochas fosfáticas da Formação Rocinha às fácies com glauconita e fosforitos da Formação Serra da Saudade, do Grupo Bambuí.

7.1. DISTRITO FOSFÁTICO DE LAGAMAR-COROMANDEL

Situado entre as cidades de Coromandel e Lagamar, e orientado segundo um alinhamento nordeste por dezenas de quilômetros, esse distrito tem como

principais representantes as minas de Rocinha e Lagamar (Figura 7.1), além de ocorrências próximas à Coromandel.

A Mina de **Rocinha** era conhecida como Depósito de Patos de Minas, e a Mina de **Lagamar** era denominada, informalmente, Mina da Galvani (Figura 7.1). Esses depósitos estão relacionados ao pacote de rochas fosfáticas, com dezenas de metros de espessura, contendo intercalações de lentes ou camadas de calcário preto. Uma importante anomalia radiométrica no canal de urânio (Figura 7.2), vista em voo de alta resolução a baixa altura patrocinado pela Comig-SGB-CPRM (<http://www.cprm.gov.br>), manifesta-se em faixa estreita e persistente por cerca de 30 quilômetros, na direção nordeste, contendo essas duas minas.

O depósito de rocha fosfática de **Rocinha**, na zona rural de Patos de Minas, foi descoberto pelo engenheiro da CPRM Adamir Gonçalves Chaves. Em sua homenagem, foi dado o seu nome à usina-protótipo na mina e a uma rua na Cidade Nova, em Patos de Minas. O depósito foi pesquisado em detalhe pela CPRM (1976), e estudado por Araújo (1988) e Araújo, Flicoteaux e Trompette (1992), além dos trabalhos próprios da mineradora que explorava a jazida.

A rocha fosfática é um fosfarenito grosso e cinzento, intercalado com níveis pelíticos amarelados em arranjo rítmico. O mineral industrial é carbonato-fluorapatita microcristalina a criptocristalina, disposta em leitos de espessuras milimétricas a centimétricas, de cor cinza (Figura 7.3), com conteúdo de P_2O_5 variando entre 10% e 15%, podendo atingir 30% localmente. A lixiviação de CO_2 do carbonato-fluorapatita resulta em uma apatita rica em alumínio e estrôncio, tipo wavellita [$Al_3(PO_4)_2(OH, F)_{3,5}(H_2O)$] (DARDENNE; SCHOBENHAUS, 2000). O intemperismo induziu o aparecimento de apatita supergênica na base das zonas intemperizadas e ao longo dos planos de cisalhamento, caracterizada por um enriquecimento em CO_2 em relação à apatita primária (ARAÚJO, 1988; ARAÚJO; FLICOTEAUX; TROMPETTE, 1992).

Conforme a Revista Minérios & Minerales (n0343, 2009), a Mina da Rocinha (à época operada pela Fوسفertil-Petrobras) produziu 478 mil toneladas ROM de rocha fosfática em 2008, com expectativa de produção de 545 mil toneladas em 2009. A reserva medida era

227,8 milhões de toneladas de rocha fosfática com 12,86% de P_2O_5 , a indicada 73,7 milhões de toneladas com 11,3% de P_2O_5 e a inferida 106,1 milhões de toneladas com 8,0% de P_2O_5 . Depois disso, não se localizou mais informações consistentes sobre produção.

No portal da Prefeitura de Patos de Minas, em matéria de 15/01/2018, consta que a Mosaic (Cargill Inc. + IMC Global Inc.), maior produtora mundial de fosfatados e potássio, em 2016, anunciou o processo de aquisição da Vale Fertilizantes, concluído em 2018, passando a atuar com a razão social Mosaic Fertilizantes P&K S.A. Nessa época, a jazida/mina de Rocinha, Patos de Minas, era propriedade da Vale e estava paralisada. Em Minas Gerais,

a empresa mantém complexos de mineração e produção em Tapira, Patrocínio (Serra do Salitre), Araxá (Barreiro), Patos de Minas (Rocinha) e Uberaba. No site da Mosaic, consultado em 16/05/2020, não resultou nenhum retorno sobre Patos de Minas ou Rocinha, parecendo que a mina continuava inativa. Também não se obteve informações em revistas especializadas e no site da ANM.

A **Mina de Lagamar** compreende fosfarenitos, compostos por fosfointraclastos em matriz fosfolutítica, e fosforitos calcíticos intercalados com níveis de fosfarenitos em matriz calcítica microcristalina recristalizada e com níveis centimétricos de fosfolutitos (NOGUEIRA, 1993; DARDENNE *et al.*, 1997).

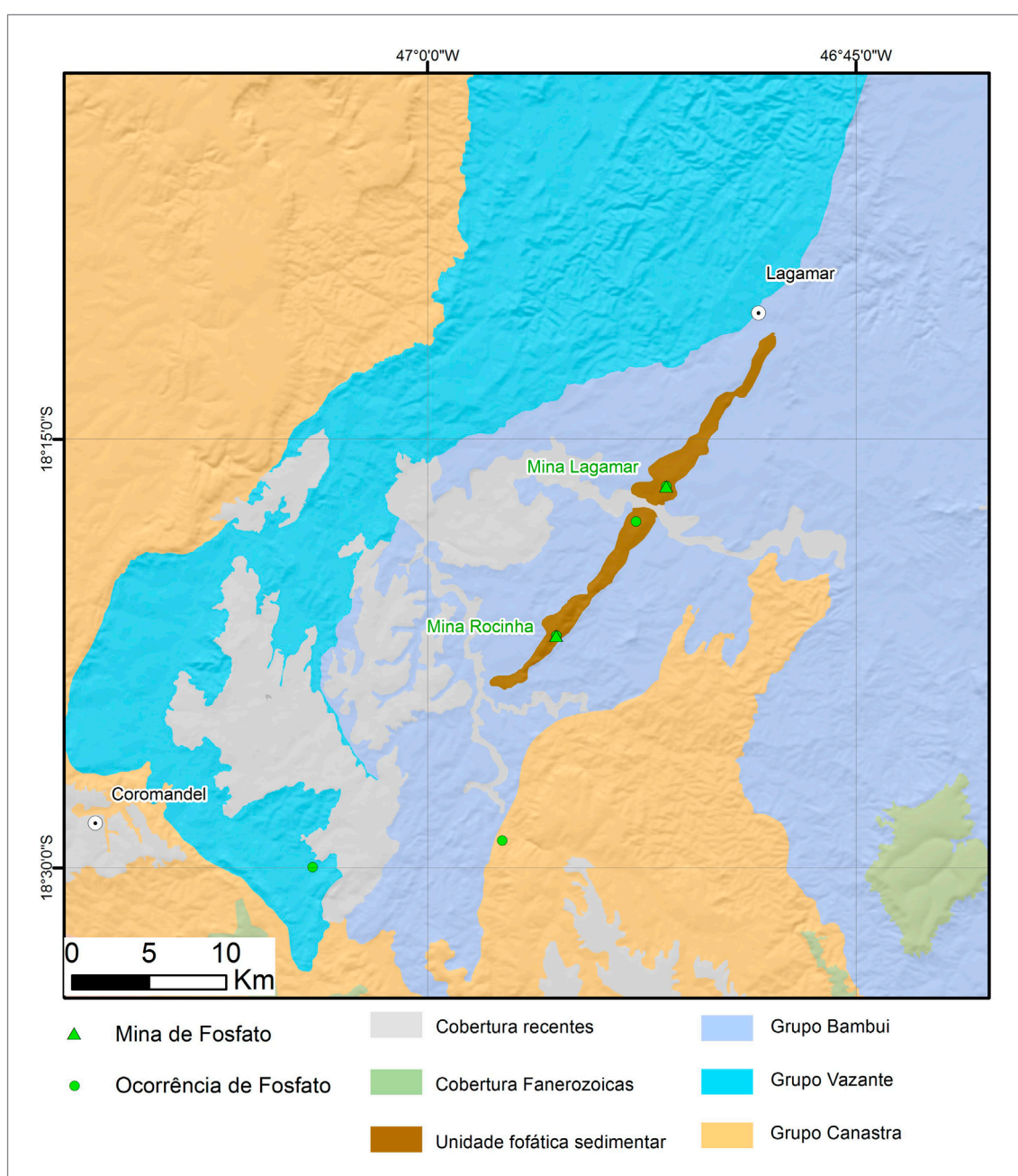


Figura 7.1 - Mapa geológico simplificado do Distrito de Lagamar-Coromandel, com destaque para as minas de Rocinha e Lagamar e ocorrências de fosfato sedimentar. Modificado de Pinto e Silva (2014b). Elaboração própria.

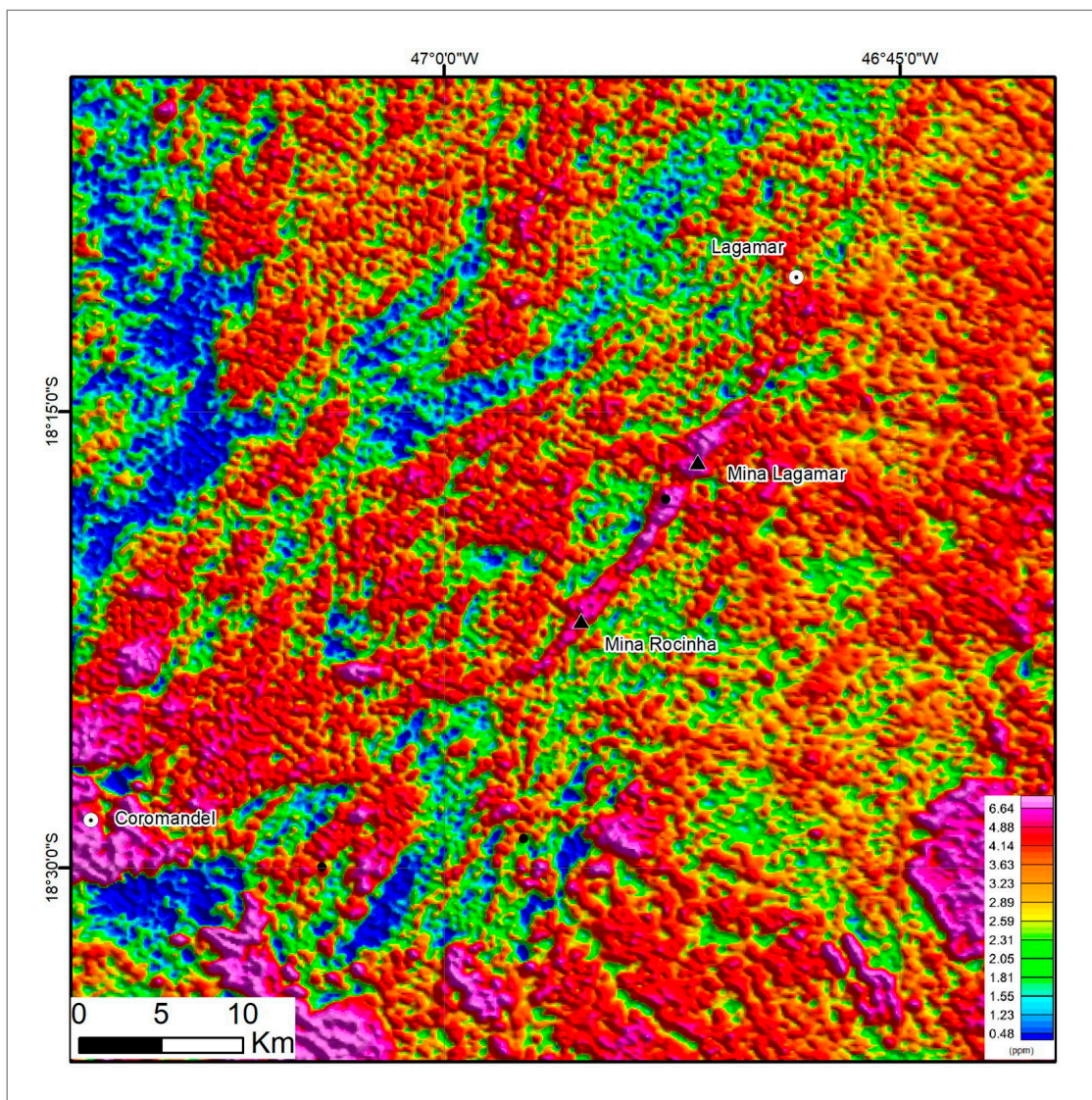


Figura 7.2 - Mapa gamaespectométrico (canal de urânio) do Distrito de Lagamar-Coromandel, com destaque para as minas de Rocinha e Lagamar (triângulo preto) e ocorrências de fosfato sedimentar (bola preta). Fonte: base de dados geofísicos do SGB-CPRM. Elaboração própria.



Figura 7.3 - Rocha fosfática (fosforito cinza intercalado com pelito creme) da Formação Serra de Santa Helena, Grupo Bambuí, na Mina de Rocinha, Patos de Minas. Acervo fotográfico SGB-CPRM.

Esses níveis fosfáticos são de cor cinza-escuro, laminados, intercalados em metarritmitos areno-silto-argilosos, da Formação Serra de Santa Helena (SIGNORELLI *et al.*, 2014a, 2014b). Também ocorrem fosfatos de alumínio, provavelmente wavellita (NOGUEIRA, 1993). A Figura 7.4 apresenta uma visão parcial da cava da mina no ano de 2015.

A Revista Minérios & Minerales (2018), edição nº397, indicava que em 2016 o Grupo Galvani/Yara produziu 1.160.211 toneladas *ron of mine* (ROM) de rocha fosfática nessa mina, situando-se entre as 100 maiores minas brasileiras.

Segundo informe de Hamilton Amorim, em matéria veiculada em 6 de novembro de 2018, em mídia de Presidente Olegário – MG (<https://ponoticias.com.br>), a Indústria de Mineração de Fosfato Yara/Galvani, com atuação apenas da Galvani entre 1996 e 2014, encerrou as atividades em Lagamar devido à exaustão da mina.



Figura 7.4 - Foto da frente de lavra da Mina de Lagamar (Galvani/Yara). Foto de 2015 cedida pelo geólogo Paulo Henrique Amorim Dias (SGB/CPRM).

O Plano Ambiental de Fechamento de Mina (PAFEM), – preparado pela empresa, previa a recuperação do meio ambiente, beneficiamento de rejeitos até 2020, e realocação e requalificação de profissionais. Cerca de 40% dos empregados seriam realocados na mina de fosfato em Serra do Salitre, à época, do mesmo grupo. A empresa Yara/Galvani era a maior indústria no município de Lagamar. Em final de outubro de 2018, a *joint venture* Galvani/Yara foi desfeita.

Ocorrências de Rocha Fosfática em Coromandel - corresponde às ocorrências de fosfato a sudoeste do Distrito Lagamar-Rocinha (Figura 7.1). O fosforito de Coromandel, foi descrito por Dardenne *et al.* (1998), como pertencente à Formação Retiro, unidade basal do Grupo Vazante, considerando a presença de material fosfático, de distribuição local, associado: a) à matriz pelítica de diamictitos expostos nos rios Santo Inácio e Santo Antônio do Bonito; b) em concentrações maiores nas fácies ardósianas; c) em leitos de fosfarenito ricos em intraclastos e *pellets*. Dardenne *et al.* (1998) consideram esse fosforito como um horizonte estratigraficamente inferior aos de Rocinha e Lagamar. Entretanto, nos trabalhos de Signorelli *et al.* (2014a, 2014b), essas unidades estariam correlacionadas à Formação Serra de Santa Helena, do Grupo Bambuí.

No local Ponte Caída, Fazenda do Rufino, a unidade fosfática seria correlata àquela que ocorre em Rocinha e Lagamar, e os chamados ‘diamictitos’ corresponderiam a brechas fosfáticas em zonas de falhas, no contato entre rochas dos grupos Canastra e Bambuí (SIGNORELLI *et al.*, 2014a, 2014b)

7.2. OUTRAS OCORRÊNCIAS DE ROCHA FOSFÁTICA SEDIMENTAR

7.2.1. Ocorrências de rocha fosfática sedimentar na região de Caxambu

Uma lente de xisto fosfático com apatita, exposta por 14 metros de comprimento e 2,5 metros de espessura,

sem largura definida, foi localizada entre Boa Vista e Morro Cavado, em aflrente da margem esquerda do Córrego Palmeiras, cerca de sete quilômetros ao sul-sudoeste de Caxambu (PENHA, 1992, 1994). O afloramento está em domínio estratigráfico considerado do Grupo Andrelândia. A rocha é cinza, de grão fino, pouco foliada, com a paragênese quartzo-biotita-apatita-granada-muscovita, a apatita atingindo entre 15% a 25% da rocha (PENHA, 1994). Estudos orientativos em solos realizados junto à ocorrência da rocha fosfática indicaram teores de 0,11% a 1,0% de P_2O_5 . Em análises químicas em Rocha, os teores ficaram entre 0,2% e 2,6% de P_2O_5 , com uma análise atingindo 7,2% de P_2O_5 . A área foi considerada sem interesse econômico, mas tratando-se de rocha sedimentar é prudente manter o foco na região, na busca de outros locais favoráveis a conter ocorrências de rochas fosfáticas.

7.2.2. Ocorrências de rocha fosfática sedimentar na Serra do Espinhaço

As primeiras referências a rochas fosfáticas sedimentares na Serra do Espinhaço Meridional são encontradas em Soares-Filho e Pinto (1987), em relatório interno da Metamig (depois Comig, Codemig, Codemge), quando da seleção de alvos para prospecção mineral. Foram atribuídas a unidades litoestratigráficas dos supergrupos Rio Paraúna e Espinhaço.

Supergrupo Rio Paraúna - ocorrências de fosfatos de Al e Fe foram atribuídas a rochas desse supergrupo, na zona de contato com rochas do Supergrupo Espinhaço, ao sul de Diamantina (NEVES, 1999). São sericita-quartzo xisto, quartzo xisto, quartzito e microconglomerado com lazulita $[(Mg,Fe)Al_2(PO_4)_2(OH)_2]$, svanbergita $[SrAl_3PO_4SO_4(OH)_6]$, augelita $[Al_2PO_4(OH)_3]$ e ambligonita $[(Li,Na)Al(F,OH)(PO_4)]$. Esse autor identificou as paragêneses: a) lazulita-cianita; b) lazulita-augelita-cianita; c) lazulita-ambligonita-turmalina; d) lazulita-svanbergita-turmalina (lazulita com bordas de svanbergita); e) dumortierita-cianita. Em todas as paragêneses, ocorrem (ilmeno)-hematita; muscovita só não é citada na paragênese ‘e’. Os minerais fosfáticos ocorrem disseminados ou em veios de quartzo com especularita e cianita, onde podem apresentar qualidade gemológica.

Estudos realizados por Neves (1999) sugerem a sedimentação do protólito em sistema lacustre fechado combinado com vulcanismo, em condições de climas árido a semiárido, nos primórdios da abertura do Rifte Espinhaço.

Supergrupo Espinhaço - mineralizações fosfáticas também foram pesquisadas pela Metamig, principalmente no Vale do Rio Parauninha, no entorno das localidades Parauninha e Macacas, distantes aproximadamente 25 quilômetros de Conceição do Mato Dentro, no domínio oriental da Serra do Espinhaço.

Essa faixa tem cerca de 80 quilômetros de comprimento e dois a três quilômetros de largura, orientada na direção N20W, com as ocorrências mais interessantes situadas próximas de Parauninha (FRITZSON JR.; NASSIF; SILVA, 1990; FRITZSON JR.; NASSIF, 1992; MOURÃO, 1995). Também, foram conduzidos trabalhos de semidetalle nos vales dos rios Preto, Cuba, Tijucal e Mata-Cavalos, situados ao sul do Vale do Parauninha, principalmente nas serras das Três Barras, do Tomás e do Paiol, nas localidades Tabuleiro, Cuba, Três Barras, Tijucal, Campo Redondo e Fazenda Salvador (FRITZSON JR.; NASSIF; SILVA, 1990).

A unidade mineralizada corresponde ao nível F (SCHÖLL; FOGAÇA, 1979) ou Membro Campo Sampaio (FOGAÇA; ALMEIDA-ABREU, 1982) ou ainda Membro Rio Preto (GROSSI-SAD *et al.*, 1997) da Formação Sopa-Brumadinho, Grupo Diamantina, unidade inferior do Supergrupo Espinhaço meridional, representado por alternância de quartzito micáceo e sericita xisto geralmente com calcita e dolomita. A unidade portadora da mineralização é formada de quartzo, microclina, sericita, apatita, calcita e dolomita, em quantidades variadas, com participação subordinada de turmalina, zircão, rutilo, torita, titanita e alguns opacos. Não foram encontradas fácies carbonosas ou sulfetadas associadas aos níveis fosfáticos.

A mineralização pode ser disseminada ou concentrada em diversos níveis decimétricos associados a bancos de quartzito carbonático estéril com até 20 metros de espessura (FRITZSON JR.; NASSIF; SILVA, 1990) ou a quartzito sericítico, muscovita-quartzo xisto, quartzito hematítico, quartzito feldspático e quartzito carbonático com 5% a 40% de carbonato, em média entre 10% e 20% (OLIVEIRA; FOGAÇA; FONSECA, 1997; GROSSI-SAD *et al.*, 1997).

Na localidade **Macacas**, o teor dos níveis fosfáticos variou entre 2% e 12,5% de P_2O_5 , com média em torno de 5% (FRITZSON JR.; NASSIF; SILVA, 1990). O mineral de interesse industrial é a francolita (carbonato-fluor apatita; $(Ca, Mg, Sr, Na)_{10}(PO_4, SO_4, CO_3)_6F_{2-3}$), em ganga de quartzo com algum feldspato, sericita e carbonato.

A lixiviação do carbonato, observada até a profundidade de 100 metros, enriquece o pacote mineralizado em até 40% em relação à concentração original de P_2O_5 . A apatita é bem cristalizada, de alta pureza e de fácil concentração por flotação. Estudos orientativos indicaram como econômico um corte (*cut off*) em torno de 4,5% a 5,5% de P_2O_5 . Teores mais baixos, aliados à dureza da rocha, seriam antieconômicos. As reservas totais de minério lavrável da área Parauninha-Macacas, com *cut off* de 4,5% de P_2O_5 , foram estimadas em pouco mais de 2,23 milhões de toneladas, representando cerca de 100 mil toneladas de apatita contida no minério (FRITZSON JR.; NASSIF; SILVA, 1990). Não foram referidos fosfatos de Al ou Fe.

A pesquisa de detalhe da Metamig não avançou para além da área Parauninha-Macacas, mesmo assim são referidos recursos da ordem de 100 milhões de toneladas de rocha fosfática com teores estimados entre 2,5% e 4,5% de P_2O_5 , raramente superiores, valores esses inferiores ao *cut off* considerado como econômico. Entretanto, em um domínio no Vale do Rio Preto foram estimadas reservas totais de 24 milhões de toneladas de rocha fosfática com teores presumidos acima do *cut off* de 4,5% de P_2O_5 .

Foram destacados, como pontos positivos da mineralização (FRITZSON JR.; NASSIF; SILVA, 1990), a existência de camadas mineralizadas aflorantes por cerca de 25 quilômetros, com espessura média da ordem de 10 metros, mergulhos entre 5 e 15 graus, capeamentos friáveis de fácil desmonte até cerca de 30 metros de profundidade e a fácil concentração da apatita. Os pontos negativos estariam por conta do decréscimo dos teores nos leitos mais espessos, muitos caindo abaixo de 4% de P_2O_5 , a falta de pesquisa em boa parte da região mineralizada e a topografia desfavorável à lavra em certos locais.

Grossi-Sad *et al.* (1997) destacam alguns aspectos relevantes das zonas mineralizadas: 1) a apatita ocorre geralmente associada aos níveis mais micáceos e menos carbonáticos dos quartzitos; 2) a forma mais comum de ocorrência da apatita é em agregados lineares de pequenos grãos (menores que 1mm), de formas subédricas e euédricas; 3) associam-se com rochas siliciclásticas; 4) mostram presença constante de venulações pegmatíticas constituídas de quartzo, K-feldspato e carbonato; 5) mostram extensivo processo de microclinização, que permeia toda a rocha; 6) apresentam elevado grau de deformação em todo o pacote mineralizado.

Outras ocorrências de rochas fosfáticas no Membro Rio Preto também são conhecidas ao longo dos rios do Peixe e Preto, em trecho próximo à rodovia Belo Horizonte-Morro do Pilar (GROSSI-SAD *et al.*, 1997).

7.3. POTÁSSIO E FOSFATO SEDIMENTARES NA SERRA DA SAUDADE, REGIÃO DE CEDRO DO ABAETÉ E ARREDORES

Ocorrências de rochas sedimentares ricas em potássio e fosfato são conhecidas na Serra da Saudade desde meados do século passado. Uma das zonas que engloba essas rochas sedimentares distribui-se por cerca de 40 quilômetros segundo a direção nor-nordeste, tendo em sua porção mediana a cidade de Cedro do Abaeté (CHAVES; HEINECK; TAVARES, 1971). São siltito e argilito com ilita e glauconita, ricos em potássio, popularmente chamados verdetes por sua cor esverdeada, e fosforitos, da Formação Serra da Saudade, Grupo Bambuí (Figura 7.5).

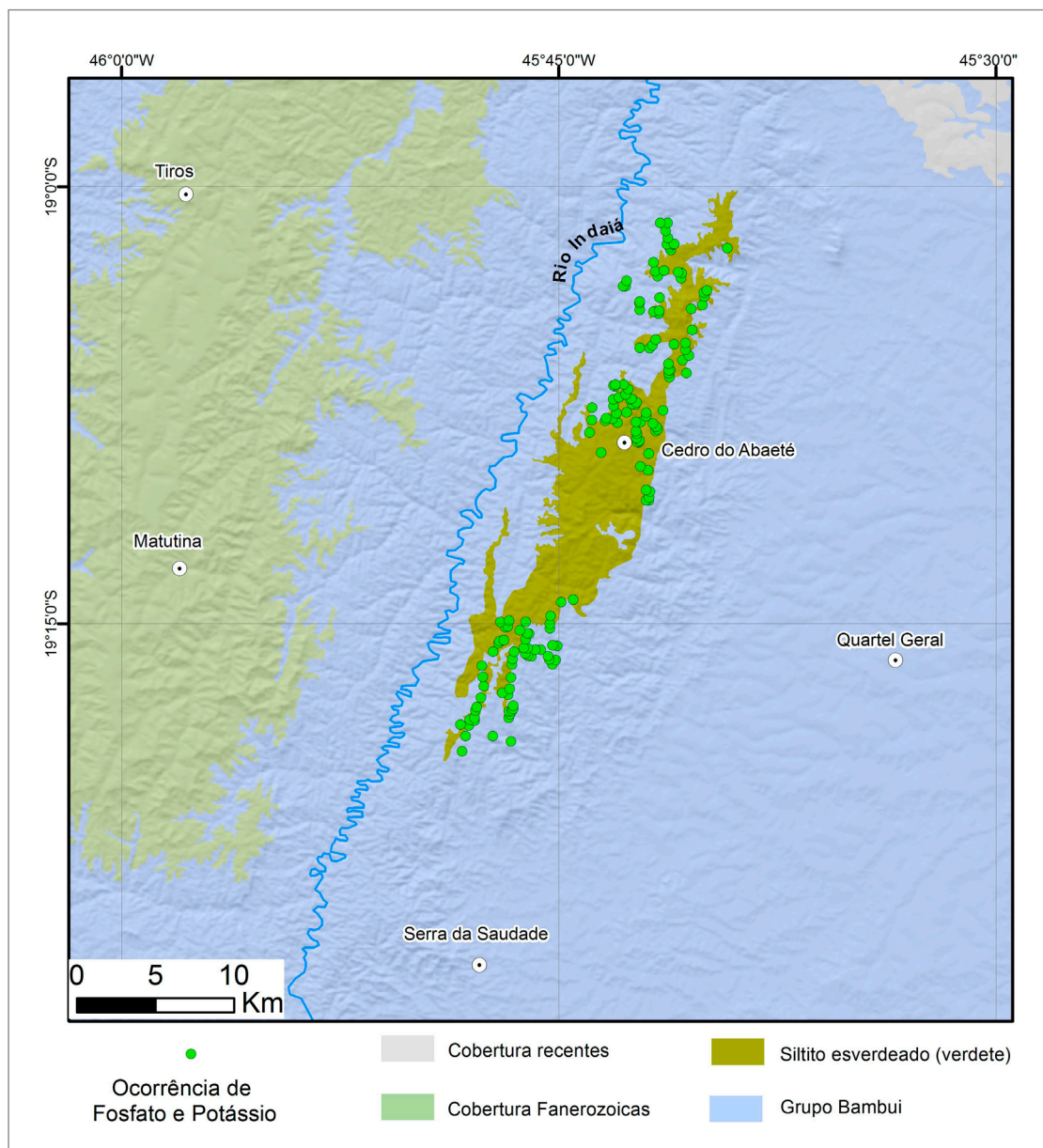


Figura 7.5 - Mapa geológico simplificado com as ocorrências de fosfato e potássio (verdete) na região de Cedro do Abaeté. Modificado de Pinto e Silva (2014b). Elaboração própria.

Potássio - Os verdetes (Figura 7.5 e 7.6) podem mostrar teores superiores a 10% de K_2O , principalmente pela alta concentração de glauconita ($((K,Na)(Fe^{3+},Al,Mg)_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2$) (COSTA; OLIVEIRA, 1970), mineral de interesse industrial.

Até meados da década de 2010, várias empresas haviam tentado o aproveitamento do verdete como fonte de potássio a partir da glauconita, sem sucesso devido à falta de processos tecnológicos adequados e ao custo elevado da extração do potássio de silicato, no caso filossilicato hidratado de K, Na, Al, Mg e Fe.

A primeira e única empresa a obter sucesso nessa empreitada foi a Kalium Mineração S.A., uma sociedade do Grupo Buritipar com o Grupo Minérios. Segundo Alves (2016b), jornalista e editor da Revista Brasil Mineral, em

2016, a Kalium começou a implantar no Brasil o primeiro projeto de extração de potássio a partir do tratamento da glauconita contida no verdete, em um complexo minero-químico, compreendendo a mina, em Quartel Geral, e uma planta química localizada em Dores do Indaiá (MG). Em 2019, a empresa estava iniciando a operação do complexo, em processo total e pioneiramente desenvolvido e patenteado por ela, com apoio da USP, UFMG e PUC-Rio e de centro de pesquisa na Alemanha (K-Utek) (ALVES, 2019b).

As reservas totais divulgadas (ALVES, 2016b) eram 218 milhões de toneladas de rocha potássica (verdete, ou glauconita conforme a matéria), com teor médio de 10,6% de K_2O , 16% de Al_2O_3 , 7% de Fe_2O_3 , 3% de MgO e 58% de SiO_2 .



Figura 7.6 - Siltito verde (verdete) da Formação Serra da Saudade, Grupo Bambuí, região do Rio Indaia no Alto Paranaíba. Essa rocha mostra altos teores de K_2O (>10% em peso).
Acervo fotográfico SGB-CPRM.

A jazida, lavrada a céu aberto com a relação estéril:minério igual a zero, segundo a Kalium, situa-se no município de Quartel Geral, distante 40 quilômetros de Dores do Indaia por estrada não pavimentada, à época.

Na fase de operação plena, está prevista a produção de 600 mil toneladas ROM de rocha potássica (verdete). Na primeira fase de operação, a partir de 60 mil toneladas ROM, a empresa produzirá anualmente, após beneficiamento, cerca de 7.580 toneladas de sulfato de potássio; 3.825 toneladas de óxido de ferro; 6.990 toneladas de óxido de alumínio (alumina); 9.913 toneladas de sulfato

de magnésio; 32 mil toneladas de “feldspato de potássio” (fonte: <https://www.kaliummineracao.com.br/>; consultado em 15/05/2020), além de 50 mil toneladas de ácido sulfúrico. Consta que no beneficiamento “*todo o resíduo sólido gerado no processo químico será integralmente aproveitado para produção de materiais cerâmicos e vidros...*” (ALVES, 2019b).

As reservas de verdete na região do Alto Paranaíba são expressivas e a faixa de terreno que as contém pode ser facilmente identificada em imagens do Google Earth pela cor esverdeada e topografia intensamente ravinada.

Rocha Fosfática (fosforito) - relacionados ao Verdete, foram descritos horizontes enriquecidos em fosfato associados a leitos sílico-carbonosos de cor marrom. Esses horizontes fosfáticos são frequentes, mas constituem camadas ou lentes de espessuras centimétricas a pouco mais de um metro. Mais de uma centena delas foram identificadas por parte da CPRM, no início de 1970, por meio do Projeto Fosfato Cedro do Abaeté (CHAVES; HEINECK; TAVARES, 1971). Nesse projeto foi dada ênfase também, ou principalmente, aos arenitos cretáceos da Formação Três Barras que recobrem rochas do Grupo Bambuí, considerando também anomalias de urânio associadas, aparentemente, às zonas fosfáticas. O mineral industrial fosfático é carboapatita microcristalina e fosfato de alumínio nas zonas superficiais, com teores variáveis entre 10% e 35% de P_2O_5 . Os resultados foram considerados desanimadores, não permitindo uso direto da rocha fosfática aluminosa na agricultura.

PROVÍNCIAS E DISTRITOS DE MINERAIS INDUSTRIAIS



Lepidolita
3,3 x 1,8 x 1,7 cm
Coronel Murta, MG

Foto: Andrea Ferreira
Amostra pertencente ao acervo do
MM Gerdau - Museu das Minas e do Metal

8. PROVÍNCIAS E DISTRITOS DE MINERAIS INDUSTRIAIS

Minas Gerais é referência quando se trata de minerais industriais, principalmente na indústria de alta tecnologia, com destaque para as províncias litiníferas e de grafita, além de alguns relevantes depósitos ou ocorrências de estanho, agalmatolito, bauxita, quartzo, feldspato, espongilito, rutilo e associados.

8.1. GRAFITA

Minas Gerais é o principal produtor de grafita no Brasil, principalmente na região noroeste do estado, nos municípios de Pedra Azul e Salto da Divisa (Província Gráfica do Nordeste de Minas Gerais), e na região de Itapeçerica, no centro-oeste do estado. Além dessas duas regiões são relatadas diversas outras ocorrências de grafita distribuídas no estado, como na Zona da Mata Mineira.

Os principais tipos são a grafita sintética e a natural, que pode ser amorfa ou cristalina. O tipo cristalino pode ser *flake* (lamelar) e de veio (PEREIRA, 2007b).

A grafita em palhetas, visíveis a olho nu, é conhecida como cristalina ou lamelar (*flake*) e ocorre em rochas com metamorfismo mais elevado, como os gnaisses kinzigíticos (fácies granulito). São comuns bolsões grafitosos nessas rochas, em massas de tamanho *lump* (6,3mm a 31,7mm) ou maiores. A grafita *flake* ocorre em lentes ou mosqueando a rocha, em corpos irregularmente distribuídos ou formando veios de aspecto boudinado, com adelgaçamentos e alargamentos dos leitos enriquecidos, à semelhança de estruturas *pinch and swell* (selas e dorsos) ou em rosários.

Técnicas avançadas de beneficiamento têm permitido o uso da grafita natural em substituição à sintética. Além dos usos convencionais, a sua aplicação está sendo testada em asfaltos com condutividade elétrica para usos em pavimentação que exija aquecimento em condições de clima frio, como pistas de autódromos, de aeroportos etc. Também, poderá ter aplicação na indústria automobilística como células de combustíveis e em outros usos industriais, como na produção de grafeno.

Em 2014, a Cia. Nacional de Grafite era detentora dos principais depósitos de Minas Gerais, respondendo por cerca de 85% da produção brasileira de grafita, cenário que permanece em 2020. A empresa era a única que constava entre as 100 maiores na lista da ANM-MG (COSTA *et al.*, 2019) na participação percentual

da comercialização da produção mineral referente a 2016, ocupando o 18º lugar, com 0,55% do valor total comercializado.

Dados da ANM (COSTA *et al.*, 2019) indicavam, para 2016, em Minas Gerais, como reservas minerais de grafita (“minério”) 7,03 milhões de toneladas medidas, 3,45 milhões de toneladas indicada, 3,73 milhões de toneladas inferida e 2,74 milhões de toneladas lavrável. Para o mesmo ano, a produção bruta ROM foi 1,21 milhão de toneladas, com teor médio de 6,23% de grafita no material bruto, correspondendo a 75.317 toneladas de grafita. A produção beneficiada foi de 61.867 toneladas, resultando em 57.774 toneladas de grafita com teor médio de 93,38% de carbono.

8.1.1. Província Gráfica do Nordeste de Minas Gerais

Essa província, também referida como Província Gráfica Minas-Bahia (GUIMARÃES, 2000), engloba os distritos de Pedra Azul, de Almenara e de Salto da Divisa (Figura 8.1). Nesses distritos os principais depósitos/minas são: Paca, Paquinha, Inferninho, Frente H, Aurino Mendes e Antônio Moreira (REIS; PEDROSA-SOARES, 2000; BIONDI, 2003).

As reservas das seis maiores minas atingiam 38,8 milhões de toneladas de “minério” com 10,3% de carbono livre, correspondendo a 4,02 milhões de toneladas de carbono contido (BIONDI, 2003). O material que estava sendo lavrado pela Companhia Nacional de Grafite tinha teor médio de 6% de carbono.

As mineralizações de grafita nesta província são do tipo *flake*, associadas a xisto aluminoso, paragneisses kinzigítico e quartzito do Complexo Jequitinhonha em meio a suítes graníticas neoproterozoicas: Maranhão, Pedra Azul, Santo Antônio do Jacinto, Fazenda Liberdade e Medina (Figura 8.1), com controles sedimentar, metamórfico e estrutural (FARIA, 1997; REIS, 1999; DACONTI, 2004). As camadas xistosas mineralizadas têm espessuras de alguns metros a dezenas de metros ou mais e até alguns quilômetros de comprimento, fortemente deformadas pela tectônica regional brasileira.

A sedimentação carbonosa ocorreu intercalada a níveis arcossianos, grauvaquianos ou a arenosos puros, tendo o conjunto sofrido os reflexos do metamorfismo regional, com influência direta sobre os tamanhos das lamelas de grafita, e da tectônica, que teria utilizado

os níveis grafíticos (os de menor resistência mecânica) para acomodar a deformação (FARIA, 1997). Intrusões graníticas mais novas podem ter levado ao crescimento das palhetas de grafita no gnaiss kinzigítico encaixante. As unidades xistosas ocorrem em íntima associação com os domínios gnáissicos (REIS, 1999), podendo se tratar de zonas com maior intensidade de deformação tectônica (cisalhamento dúctil), onde concentra-se, preferencialmente, a grafita, quer por uma condição primária, quer pela acomodação da deformação em zonas preferenciais e de menor resistência mecânica.

Feições geológicas, estruturais e, principalmente, o tipo de rocha hospedeira da grafita permitiram que Daconti (2004) discriminasse os distritos grafíticos Almenara-Salto da Divisa (tipo grafita gnaiss) e Pedra Azul-Bandeira (tipo grafita xisto) (Figura 8.1), algo similar ao apresentado por Faria (1997).

No **Distrito Grafítico de Pedra Azul**, os corpos grafíticos são essencialmente xistosos e associam-se a granada-biotita xisto, grafita-quartzo xisto, grafita quartzito, fibrolita-grafita xisto e quartzito, de fácies anfibolito, do Complexo Jequitinhonha (Figura 8.1), tectonicamente controlados por zonas de cisalhamento dúctil de alto ângulo, oblíquas e orientadas ENE a EW. Essa associação foi corroborada por Reis (1999) na região de Jordânia,

onde identificou também granada-muscovita-biotita xisto. Esse tipo mostra *flakes* de grafita de menor tamanho e menor quantidade de carbono contido, resultando em produto de qualidade inferior.

No **Distrito Grafítico de Salto da Divisa**, os depósitos caracterizam-se pela predominância de gnaisses kinzigíticos (FARIA, 1997; REIS, 1999), com quantidades variadas de grafita, sillimanita, cordierita, granada, biotita, quartzo e feldspatos, atribuídos ao Complexo Jequitinhonha (Figura 8.1). O metamorfismo atingiu a fácies granulito e são marcantes os produtos de fusão parcial. As mineralizações desse tipo foram subdivididas em três subtipos, com base nas características físicas da grafita e nas associações petrográficas (FARIA, 1997): **subtipo G1** reúne gnaisses pobres em grafita e xistos ricos em grafita, com grãos entre um e três milímetros; **subtipo G2** associa-se a bolsões quartzo-feldspáticos oriundos de fusão parcial *in situ*. A grafita atinge entre três e cinco milímetros e tem comumente formas hexagonais; **subtipo G3** tem xistos grafíticos negros, onde a grafita atinge dois centímetros, sendo maior a quantidade de carbono contido e melhor a qualificação do produto final.

No **Distrito Grafítico de Almenara**, as mineralizações de grafita disseminam-se em gnaisses kinzigíticos do Complexo Jequitinhonha (Figura 8.1) (DACONTI, 2004;

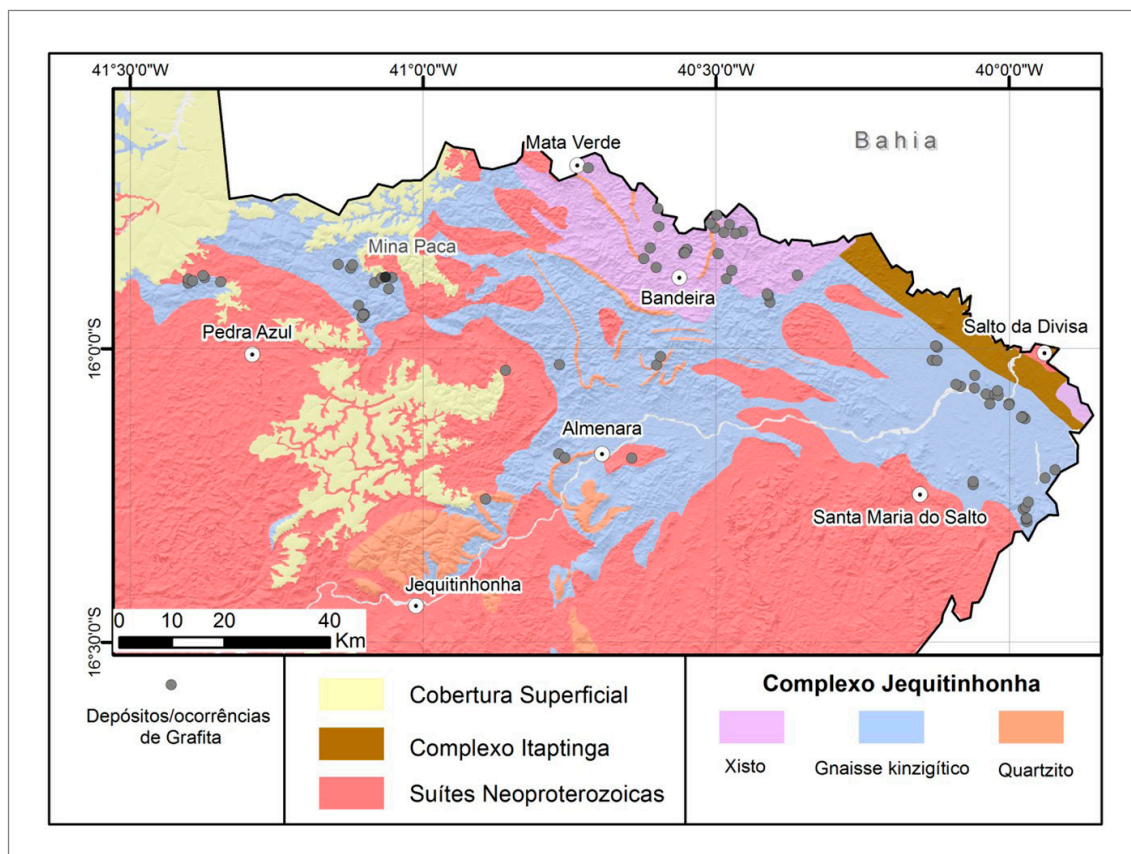


Figura 8.1 - Mapa geológico com a localização da Província Grafítica do Nordeste de Minas Gerais com indicação das ocorrências/depósitos de grafita. Modificado de Pinto e Silva (2014b). Elaboração própria.

DRUMOND, 2010). A grafita é tipo *flake* médio a grosso, com forma lamelar própria, ou subordinadamente esfarapada, com 77% de teor médio de carbono contido no minério concentrado (DACONTI, 2004).

8.1.2. Depósito de Grafita de Itapecerica

A mina de grafita de Itapecerica é lavrada pela Cia. Nacional de Grafite. A jazida insere-se em paragneisse grafitoso de alto grau metamórfico confinado a uma grande estrutura com forma ovalada em planta, envolvida pelos gnaisses Itapecerica e Cláudio, arqueanos, integrantes da porção sul do Cráton do São Francisco, Brasileiro. No interior da estrutura, em forma de pera orientada EW, ocorrem corpos de anfibolito. O conjunto é cortado por diques de gabro proterozoicos. O material grafitoso lavrado tinha teor médio de 15% de carbono. O cotejamento e integração de dados geológicos e aerogeofísicos da região de Itapecerica foi apresentado por Zacchi *et al.* (2007).

Estudos químicos em monazita de sillimanita-cordierita-granada-biotita gnaisses, a partir de teores de U-Th-Pb, indicaram idade não isotópica de 2010 ± 19 Ma, orosiriana, sugerindo geração das monazitas no evento metamórfico de alto grau, na transição anfibolito alto/granulito (CHAVES; CAMPELLO; PEDROSA-SOARES, 2015).

Teixeira *et al.* (2017), estudando rochas dessa mina, apresentaram dados isotópicos LA-ICPMS U-Pb da sucção supracrustal rica em grafita e do embasamento cristalino. Zircões detríticos apresentaram idade máxima de deposição de cerca de 2.080 Ma, com proveniência essencialmente dos complexos acrescionários do Cinturão Mineiro (TEIXEIRA, 1985), com idades entre 2.470 Ma e 2.000 Ma. As rochas do embasamento revelaram idades U-Pb de cristalização em zircões entre 2.753 ± 81 Ma e 2.679 ± 61 Ma. O metamorfismo teria ocorrido a 2.069 ± 84 Ma.

8.1.3. Outras ocorrências de grafita

Na Formação Lafaiete (Grupo Barbacena, Paleoproterozóico, Riachão), e seus correlatos, ocorrem xistos carbonosos/grafitosos relacionados à faixa portadora de minério de manganês de fonte carbonática (rodocrosita) ou silicática (gondito), que já tiveram aproveitamento na indústria de lubrificantes.

Grafita também pode ser encontrada em terrenos de gnaisses kinzigíticos do Grupo Andreilândia, Neoproterozoico, expostos principalmente no sul-sudoeste do estado, como na região de Santa Bárbara do Monte Verde–Torreões, apesar da intensa granitização em alguns domínios. Não se conhece nenhuma ocorrência importante nesse domínio, mas as faixas mais afetadas por cisalhamento parecem ser as de maior potencial.

Outras pequenas ocorrências de grafita são conhecidas junto à BR-265, oito quilômetros a leste de Barroso, próximo à Capela de Nossa Senhora das Graças. Trata-se de corpos lenticulares com até 25 centímetros de espessura, observados ao longo de três quilômetros, em contato transicional com filito carbonoso da Formação Prados, Grupo Carandaí, Mesoproterozóico, próximo ao contato com granitóides do Complexo Ressaquinha, Riachão.

Outras ocorrências históricas são relatadas por Moraes *et al.* (1937) e por Leonardos (1938), citando trabalhos desde Gorceix (1936), Sena (1882 *apud* MORAES *et al.* 1937), Sena (1883 *apud* LEONARDOS, 1938), Campos (1923) e vários outros. Adaptando-se às localizações fornecidas àquela época à geografia política atual, percebe-se que as ocorrências de material grafitoso ou carbonoso estavam distribuídos no Vale do Jequitinhonha (noroeste do estado, em diversos municípios), na Serra do Espinhaço e leste do estado (Diamantina, São Domingos do Prata, Ferros, Peçanha, Conceição), na Zona da Mata (Rio Pomba, Ubá e Alto Rio Doce), na borda leste da Bacia do São Francisco (região de Montes Claros), no Quadrilátero Ferrífero (Ouro Preto, Caeté, Santa Bárbara e Mariana) e no sul do estado (Conselheiro Lafaiete, São João del-Rei, Andreilândia e Pouso Alegre).

Na Serra Azul e em Mateus Leme, municípios relativamente próximos à Belo Horizonte, a empresa Grafita MG lavrava filito carbonoso (chamado de grafitoso), referente às rochas do Supergrupo Rio das Velhas, com teor de *ca.* 14% de carbono (HEINECK, 1997; SAMPAIO; BRAGA; DUTRA, 2008). Esse material era vendido para os produtores de ferro-gusa.

8.2. DISTRITOS E DEPÓSITOS DE LÍTIO, ESTANHO E ASSOCIADOS (Ta-Nb-La-Y-Ce-Zr)

Em Minas Gerais, os principais depósitos de lítio, estanho e associados (Ta-Nb-La-Y-Ce-Zr) estão relacionados, principalmente, a pegmatitos neoproterozóicos da Província Pegmatítica ou Gemológica Oriental do Brasil (PAIVA, 1946; PINTO; PEDROSA-SOARES, 2000, 2001), Distrito Litinífero de Araçuaí-Itinga, Orógeno Araçuaí, e a pegmatitos paleoproterozóicos do Cinturão Mineiro (TEIXEIRA, 1985), na Província Pegmatítica Lítio-Tântalo-Estanífera São João del-Rei/Rio das Mortes (FRANCESCO, 1972; QUÉMÉNEUR, 1987a, 1987b; PIRES; MATUHY; STENZEL, 1990; PIRES; PIRES, 1992). Outros corpos menores também ocorrem na região do Vale do Rio Doce, nas proximidades de Divino das Laranjeiras e Conselheiro Pena.

Pinto, Drumond e Féboli (2000), em trabalhos do Projeto Leste de Minas Gerais, estabeleceram controles de posicionamento para os corpos pegmatíticos, integrantes da Província Pegmatítica Oriental do Brasil (PAIVA,

1946) ou Província Gemológica Oriental do Brasil (PINTO; PEDROSA-SOARES, 2000, 2001), independentemente de suas composições minerais ou paragêneses:

- pegmatitos associados a sequências metamórficas da fácies anfibolito (xisto, quartzito, gnaiss);
- pegmatitos preenchendo fraturas em corpos graníticos metaluminosos e peraluminosos sin- a tardi- e tardi- a pós-tectônicos brasileiros.

Adotando a classificação de Cerný (1991), consideraram os pegmatitos da região como da classe de elementos raros, da família LCT (lítio-césio-tântalo); o lítio podendo estar presente como mineral-gema ou mineral industrial. Nessa área, tais pegmatitos enquadram-se nos tipos berilo (subtipos berilo-columbita e berilo-columbita-fosfato) e/ou complexo (subtipo espodumênio), com potenciais para aproveitamento econômico como fontes de minerais-minério de Be, Nb/Ta, Li, Rb, Cs e B.

Netto *et al.* (1998, 2000) cadastraram e descreveram mais de 800 pegmatitos nessa província, hierarquizando as populações pegmatíticas em: província, cinturão, distrito, campo, grupo e corpo pegmatítico. Os corpos pegmatíticos foram agrupados em campos pegmatíticos e estes em domínios, no sentido de grupos, seguindo critérios como rochas-fonte e encaixantes. Nesse contexto criaram os domínios:

- A. Pegmatitos encaixados em micaxisto ou quartzito da sequência supracrustal (Grupo Rio Doce), no domínio dos granitóides da Suíte Intrusiva Galiléia ou Granito Santa Rosa;
- B. Pegmatitos encaixados em sequências supracrustais (formações Salinas* e Capelinha do Grupo Macaúbas), no domínio do Leucogranito Carai;
- C. Pegmatitos encaixados na interface da sequência supracrustal (Grupo Rio Doce) com o embasamento (Complexo Basal);
- D. Pegmatitos no domínio da Suíte Intrusiva Aimorés (Granito Caladão e Charnockito Padre Paraíso), situados no seu interior ou nos litotipos encaixantes, próximos ao contato;
- E. Pegmatitos encaixados em sequência vulcano-sedimentar, no domínio dos granitos da Suíte Borrachudos;
- F. Pegmatitos encaixados em unidades transamazônicas, reativadas no Brasileiro;
- G. Pegmatitos isolados.

**Trabalhos posteriores consideram as rochas de Formação Salinas depositadas em discordância sobre rochas do Grupo Macaúbas (LIMA *et al.*, 2002).*

Para cada um desses domínios, Netto *et al.* (1998, 2000) listam e descrevem os campos pegmatíticos e os corpos que os integram, mostrando em tabelas uma série de atributos dos corpos, dentre eles: “associação mineral” e “aproveitamento econômico”. Ainda hierarquizaram os

pegmatitos, em função de suas dimensões, em pequenos (espessuras entre 0,5 e 5 metros), médios (entre 5 e 15 metros) e grandes (entre 15 e 50 metros).

No **Domínio A**, com 10 campos pegmatíticos, embora constem em algumas associações minerais a presença de minerais-minério de lítio (espodumênio, eventualmente amblygonita) e lepidolita, só havia indicativo de aproveitamento econômico de Li no **Campo Pegmatítico Goiabeira (A7)**, nas lavras Azarias I, II, III (UTM 255351E – 7894437N do Azarias I), em pegmatitos considerados de tamanho médio, encaixados em granito, no município de Goiabeira; no **Campo Pegmatítico Galiléia–Mendes Pimentel (A8)**, nas lavras: Pires (UTM 239000E – 7943000N) - um pegmatito grande encaixado em biotita xisto, no município Itabirinha de Mantena; São Fidelis III (UTM 239900E – 7934850N) - pegmatito pequeno; Luiz Pacheco I (UTM 238452E – 7929597N) e Édio Pomaroli (UTM 237700E – 7933700N), esses dois últimos considerados pegmatitos grandes, todos encaixados em biotita xisto, em Divino das Laranjeiras.

Nos **outros seis domínios (B a G)**, com 11 campos no total, não são reportados minerais-minério de lítio em Netto *et al.* (1998, 2000).

Outro excelente trabalho sobre lítio no Brasil, incluindo todas as áreas de Minas Gerais, foi executado pelo SGB-CPRM (PAES *et al.*, 2016), onde foram abordados os campos pegmatíticos de Itinga, Virgem da Lapa–Coronel Murta–Rubelita e de Curralinho, e classificados os pegmatitos conforme suas paragêneses e estruturas em:

- i. Pegmatitos com espodumênio disseminado, homogêneos* (Mina da Cachoeira, Lavra da Xuxa, Lavra de Pedro Telvino, Mina da Samambaia, Lavra do Severino, Lavra Monte Alto);
- ii. Pegmatitos com espodumênio disseminado e com zoneamento mineralógico nas bordas* (Lavra da Fazenda Bananal);
- iii. Pegmatitos com espodumênio disseminado, homogêneos ou zonados e com alta proporção de albita* (Lavra do Zué/Dim, Lavra do Barreiro, Lavra do Carlito, Área da Xuxa);
- iv. Pegmatitos com petalita na zona intermediária* (Mina da Tesoura, Lavra do Lucas/Ventania, Lavra Manoel do PT, Lavra do Marial, Lavra do Jenipapo-Lavra Velha, Lavra da Maricota, Lavra da Pueira, Lavra do Paulo);
- v. Pegmatitos com petalita na zona intermediária e com alta proporção de albita* (Lavra Maravilha 1, Lavra de Nezinho de Chicão);
- vi. Pegmatitos com petalita e espodumênio na zona intermediária* (Lavra do Maxixe, Lavra do Meio, Lavra do Algodão, Lavra do Valdívio, Lavra Tamburil e Acari);
- vii. Pegmatitos com lepidolita e amblygonita, zonados* (Lavra do Urubu, Lavra da Generosa, Lavra do Alair, Lavra do Baixão, Lavra do Costelão, Lavra do Pau Alto 1, Lavra Luís Rocha-Caraíbas, Lavra Monte Alto 1);

viii. Pegmatitos com espodumênio no núcleo de quartzo e no seu entorno, zonados (Lavra do Nim, Lavra do Nequinho/Palmeira, Lavra da Chapadinha, Lavra do Carlau, Lavra da Paineira, Lavra do Oscar);

ix. Pegmatito com espodumênio, não classificado (Lavra do Pau Preto).

Pedrosa-Soares *et al.* (2011) associam os pegmatitos com elevados teores de Na, B, Be, Li, P, Ta e Cs do Orógeno Araçuaí a granitos a duas micas do tipo S com *emplacement* a profundidades rasas, sendo os hospedados nas encaixantes metassedimentares os mais importantes do ponto de vista econômico.

8.2.1. Distrito Litínífero de Araçuaí-Itinga (Orógeno Araçuaí)

Os principais pegmatitos litíníferos da província são conhecidos no Distrito Litínífero de Araçuaí-Itinga (Figura 8.2; NETTO *et al.*, 1998, 2000) ou Distrito Pegmatítico de Araçuaí (PAES *et al.*, 2016), na região do Médio Jequitinhonha, principal região produtora de lítio no Brasil.

Os corpos pegmatíticos litíníferos apresentam algumas dezenas de metros de espessura e centenas de metros de comprimento, e estão geralmente encaixados em xistos do Grupo Macaúbas ou da Formação Salinas (Figura 8.2).

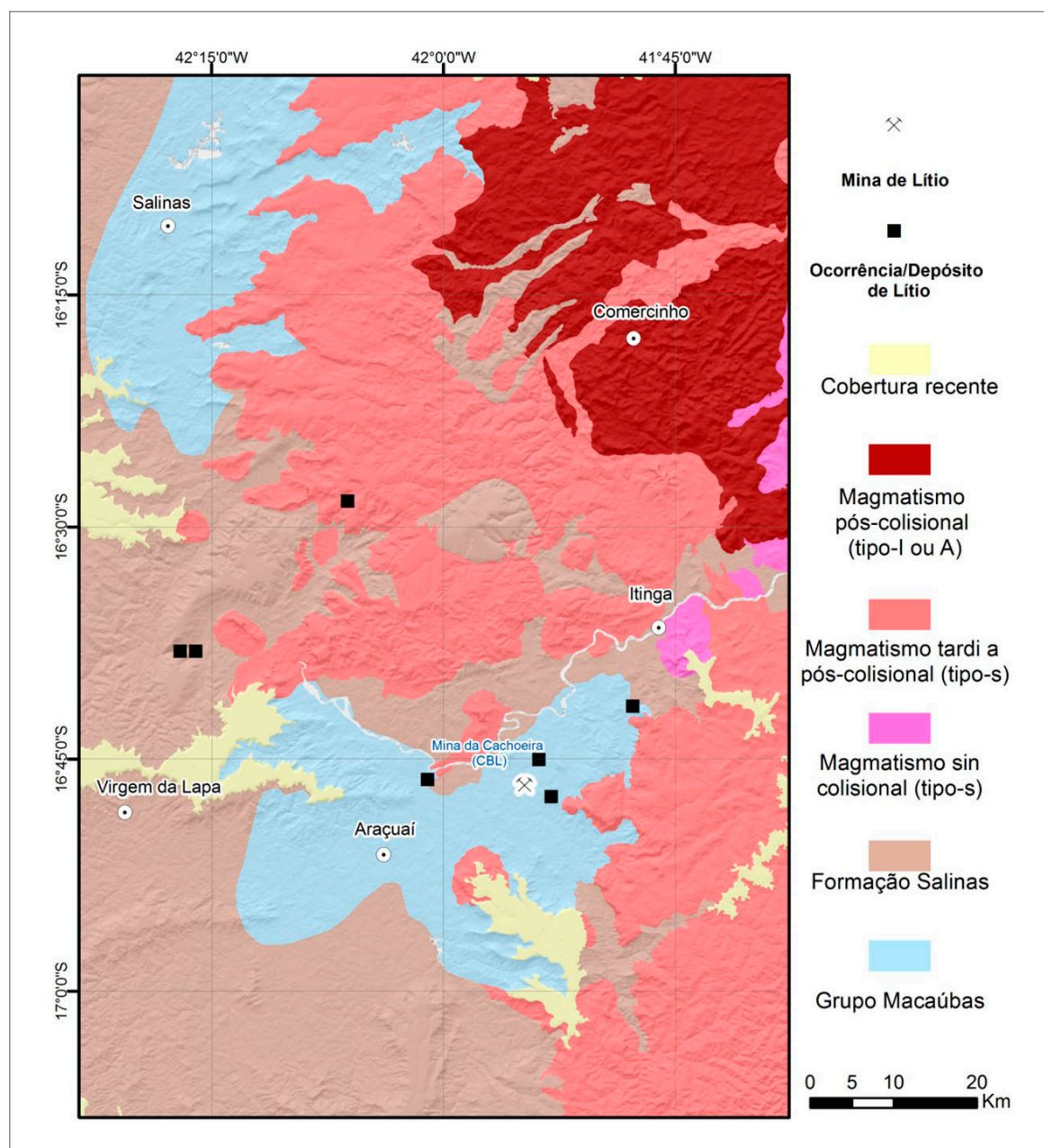


Figura 8.2 - Mapa geológico simplificado do Distrito Litínífero Araçuaí-Itinga, nordeste de Minas Gerais, com indicação das principais ocorrências/depósitos de lítio. Modificado de Paes *et al.* (2016).

São corpos tabulares sub-horizontais a subverticais, altamente especializados, alojados segundo zonas de fraqueza das encaixantes, como a foliação principal e fraturas (ROMEIRO, 1998). Espodumênio é o principal mineral-minério, ocorrendo também petalita, amblygonita e outros minerais de lítio em associação com quartzo, K-feldspato, albita, muscovita e, como acessórios, montebrasita, cassiterita e berilo (ROMEIRO, 1998).

Merecem destaque, além da **Lavra da Cachoeira**, diversas outras lavras desse distrito, não necessariamente litiníferas econômicas, descritas em Netto *et al.* (1998, 2000) e Paes *et al.* (2016).

A **Mina Cachoeira** (Cia. Brasileira de Lítio – CBL) é a principal representante desse distrito (Figura 8.2). Está localizada no município de Itinga, na margem direita do Rio Piauí, em pegmatito litinífero de grande porte. A lavra é subterrânea, em galerias horizontais. O concentrado de lítio (espodumênio) é processado na usina da CBL, em Divisa Alegre (MG), e transformado em carbonato e hidróxido de lítio (RAMOS, 2006). Entretanto, Braga e Sampaio (2008) informam que minerais de lítio, como petalita e espodumênio, têm aplicação específica nas indústrias de vidro e cerâmica, perdendo espaço ou não, sendo mais utilizados na produção de carbonato e hidróxido de lítio.

Costa *et al.* (2019), em informe da Agência Nacional de Mineração (ANM), indica como minerais-minério de lítio em Minas Gerais, sem se referir especificamente a uma mina ou distrito, espodumênio, lepidolita e petalita, com reservas em 2016 (LiO_2): espodumênio com 11.264 toneladas medidas, 16.226 toneladas indicadas, 17.056 toneladas inferidas, 11.264 toneladas lavráveis; lepidolita com 5.810 toneladas medidas; petalita com 18.358 toneladas medidas, 30.520 toneladas indicadas e 19.389 toneladas lavráveis. É interessante destacar que não há referência à amblygonita.

Ainda, segundo ANM (2019), em 2016, a produção bruta de pegmatito contendo minério de lítio tipo espodumênio foi de 44,5 mil toneladas ROM, com 595 toneladas de LiO_2 contido a um teor médio de 1,34% de LiO_2 . A produção beneficiada, resultando em concentrado de espodumênio, foi de 8,8 mil toneladas com teor médio de 5% de LiO_2 , chegando a 440 toneladas de LiO_2 .

Na Mina Cachoeira, em 2018, foram extraídas 60 mil toneladas de pegmatito ROM como minério de lítio tipo espodumênio, resultando, após beneficiamento, em 11 mil toneladas de concentrado de espodumênio, como produto primário principal, e, secundariamente, 58,5 mil toneladas de feldspato, mica e quartzo (MINÉRIOS & MINERALES, 2019).

A **Lavra do Urubu** (Figura 8.3), atualmente em área de concessão da Sigma Mineração (anteriormente da Arqueana), localizada na Bacia do Rio Piauí, no município de Itinga (UTM 192206E – 8149695N, zona 24K), é conduzida em pegmatito com espessura de até 30 metros

(PAES *et al.*, 2010) classificado como do tipo zonado com lepidolita e amblygonita (PAES *et al.*, 2016), em associação ou paragénese com microclina, albita, quartzo, muscovita, conforme Sá (1977) e Sá e Ellert (1981). A partir do núcleo albitizado, no sentido da periferia dos corpos desse tipo, pode ocorrer a presença de turmalinas e tipos de berilograma. A lepidolita costuma superar a amblygonita em volume, embora a amblygonita seja o mineral-minério de interesse, normalmente associada à albita no entorno do núcleo do pegmatito. Nessa lavra, também, foi explotada cassiterita (SÁ, 1977), além de berilo, turmalinas-gemas, lepidolita e amblygonita e, em menor quantidade, minerais de Nb-Ta (columbita-tantalita) (SILVA *et al.*, 1987). Também são feitas referências à presença/lavra de polucita (Ce) ao redor do núcleo de quartzo, com reserva medida de cerca de 730 toneladas de minério (AFGOUNI; MARQUES, 1997). Paes *et al.* (2010) também citam a presença de petalita, topázio e morganita. A encaixante é biotita-quartzo-(cordierita) xisto com intercalações de rocha calciossilicática da Formação Salinas (PAES *et al.*, 2016). A lavra estava paralisada em 2016.

A **Lavra do Meio** (UTM 192484E – 8140687N; Figura 8.2), também da Sigma Mineração, localizada na Bacia do Rio Piauí, tem como principal mineral-minério de lítio a petalita (SILVA *et al.*, 1987), com a lavra também de feldspato e espodumênio como subprodutos (PAES *et al.*, 2010). A encaixante do pegmatito é biotita xisto da Formação Salinas, ambos muito intemperizados. O pegmatito pode ter mais de 500 metros de comprimento e até cerca de 20 metros de espessura (SÁ, 1977). A zona intermediária estava bastante lavrada, com feldspato, quartzo, albita e muscovita. Cristais prismáticos de espodumênio ocorrem disseminados, com centímetros até um metro de comprimento e seção basal de diâmetro centimétrico, alterados para caulim, alguns ainda com núcleos de hiddenita (PAES *et al.*, 2016).



Figura 8.3 - Pegmatito litinífero da Mina do Urubu, Itinga. Foto de Mário C. Araújo, SGB-CPRM.

Os autores citam estimativa de 10% a 15% de espodumênio na zona intermediária, com a ocorrência também de petalita, agregados de turmalina verde em cristais finos e turmalina preta. Também se referem a aparente ocorrência de columbita-tantalita na zona intermediária. A lavra estava abandonada em 2016.

8.2.2. Distrito Pegmatítico de Conselheiro Pena-Divino das Laranjeiras.

Situa-se na Bacia do Rio Doce, na região leste do estado. Durante os trabalhos de mapeamento geológico e de cadastramento de recursos minerais do Projeto Leste de Minas Gerais (PINTO, 2001a, 2002), alguns pegmatitos portadores de minerais de lítio foram cadastrados e descritos na Bacia do Rio Doce (NETTO *et al.*, 1998, 2000). Os principais estão dispersos nas regiões de Linópolis, Itabirinha de Mantena, Conselheiro Pena, Governador Valadares (Proberil), Galiléia, Barra do Cuieté (garimpo do Azarias), Resplendor (Vala Danta), Divino das Laranjeiras e Mendes Pimentel, mas não chegam a ter a importância econômica daqueles da Bacia do Jequitinhonha. Produzem ambligonita, lepidolita e espodumênio. Além desses, as variedades kunzita e hiddenita, dependendo de suas colorações e qualidades, podem ser aproveitadas como minerais-gemas. Netto *et al.* (1998, 2000) fazem referência à lavra de kunzita, no município de Resplendor, e de ambligonita gemológica, rara, em Linópolis, no Campo Pegmatítico Galiléia-Mendes Pimentel. Conforme Sinkankas (1962), um cristal de kunzita, com 7.410 quilogramas e 37.050 quilates, foi encontrado na região de Conselheiro Pena.

Em Tedeschi (2016), foram apresentados novos dados sobre pegmatitos da região leste do estado, na Bacia do Rio Doce, com informações sobre o Distrito Pegmatítico São José da Safira (campos pegmatíticos Serra do Cruzeiro, Santa Rosa, Golconda, Marilac) e Distrito Pegmatítico Conselheiro Pena (campos pegmatíticos Resplendor, Goiabeira, Galiléia-Mendes Pimentel, Barra do Cuieté). O trabalho trata de aspectos gerais dos pegmatitos litíferos com química mineral de pegmatitos, granitoides associados, estruturação, metamorfismo das rochas encaixantes, além de abordagem descritiva dos distritos e campos pegmatíticos referidos, com as principais ocorrências e status de produção, em parte baseado em Netto *et al.* (1998). Nessa linha, Tedeschi (2016) refere-se à presença de minerais de lítio (ambligonita, espodumênio, lepidolita, kunzita) no Distrito Pegmatítico São José da Safira, Campo Pegmatítico Serra do Cruzeiro (lavras Serrinha/Chiar, Chiar/vt1 e Lavra do Benedito), Campo Pegmatítico Santa Rosa (Lavra Bandeirante e Mina da Cachoeira), Campo Pegmatítico Golconda (Lavra Golconda/Ailton), Campo Pegmatítico Marilac (Lavra

Veadinho I), e no Distrito Pegmatítico Conselheiro Pena, campos pegmatíticos Resplendor (Vala Danta), Goiabeira (Lavras Azarias), Galiléia-Mendes Pimentel (lavras Pires, São Fideles III, Luiz Pacheco I, Édio Pomarolli), e Itatiaia-Barra do Cuieté, em consonância com o que havia sido reportado por Netto *et al.* (1998) e onde constam as coordenadas UTM de todas os corpos cadastrados.

8.2.3. Província Lítio-Tântalo-Estanífera São João del-Rei/Rio das Mortes (Cinturão Mineiro)

Cassiterita, columbita-tantalita e espodumênio ocorrem em pegmatitos do Cinturão Mineiro (TEIXEIRA, 1985), nas regiões de Nazareno, Cassiterita (atual Conceição da Barra de Minas), São João del-Rei, Lagoa Dourada, São Tiago, Resende Costa, Ritópolis e Coronel Xavier Chaves. Denominada de Província Pegmatítica de São João del-Rei (FRANSCESCONI, 1972), Província Lítio-Tântalo-Estanífera de São João del-Rei e também conhecida como Província Pegmatítica do Rio das Mortes, essa província engloba os Distritos Pegmatíticos de São João del-Rei, de Conselheiro Lafaiete-Cristiano Otoni, e de Volta Grande (QUÉMÉNEUR, 1987a, 1987b; PIRES; MATUHY; STENZEL, 1990; PIRES; PIRES, 1992). Geologicamente, está inserida no domínio do Cinturão Mineiro, de idade transamazônica, na extremidade sul do Cráton do São Francisco, Brasileiro.

Duas regiões foram consideradas com favorabilidade para a exploração de cassiterita (Sn) e tantalita-columbita (Ta-Nb), a partir de fonte pegmatítica (SILVA, 1982). Uma com mineralizações e atividades extrativas conhecidas em cerca de 30 locais e outra com potencial estimado em face da similaridade geológica/geomorfológica com a primeira. Além das mineralizações em pegmatitos, algumas relacionam-se a *greisens*.

Francesconi (1972) e Silva (1982) citam como minerais presentes nos pegmatitos dessa província, além de quartzo, feldspato e micas, minerais especiais como tantalita-columbita, cassiterita, espodumênio, lepidolita, granada, monazita, xenotima, topázio, zinnwaldita, ixiolita, microlita, pirocloro, samarskita, zircão, magnetita, ilmenita, gahnita, alvarolita, bityita, varlamorfita, brookita, estaurolita, rutilo e cyrtolita,; muito raramente ocorrem turmalina e berilo (este no Corpo Fumal), não havendo menção de minerais-gemas.

8.2.3.1. Distrito Pegmatítico de São João del-Rei

O Distrito Pegmatítico de **São João del-Rei**, está relacionado à Suíte (Granito) Ritópolis (ou Santa Rita), com mineralizações metálicas de Ta, Nb, Sn, Li (SILVA, 1982; PIRES; PIRES, 1992). A Suíte Ritópolis é calcioalcalina do tipo S, colisional (PIRES; MATUHY; STENZEL, 1990;

PIRES; PIRES, 1992), com idade Pb-Pb de 2.122Ma. (ÁVILA *et al.*, 1998b), inserindo-se no Cinturão Mineiro (TEIXEIRA, 1985), Transamazônico. A Figura 8.4 apresenta a concepção atual da geologia regional, com as indicações dos principais depósitos ou ocorrências de Sn-Nb-Ta-Li na província ou distrito.

Os corpos pegmatíticos posicionam-se no interior do corpo granítico ou, mais comumente, são intrusivos e amoldados à xistosidade principal das rochas encaixantes do corpo granítico. As encaixantes são rochas vulcano-sedimentares do Grupo Barbacena (PIRES; PIRES, 1992; TEIXEIRA *et al.*, 1996; QUÉMÉNEUR 1987a, 1987b), de idade paleoproterozóica.

Segundo os autores acima, os pegmatitos acomodados no corpo granítico, em geral, têm espessuras inferiores a três metros, são homogêneos (simples), sub-verticais, com biotita-quartzo-feldspato, eventualmente grandes cristais de magnetita, isentos de muscovita e pobremente mineralizados a estéreis. À medida que distanciam-se do granito, as espessuras aumentam. A biotita vai se tornando subordinada até a extinção

e surge progressivamente muscovita (entre 0,5 e 2 quilômetros do corpo granítico), aparecendo também os minerais de elementos raros (Sn, Ta, Nb), granadas e outros de menor frequência, como microlita, djalmaíta, além de um pouco de lítio. O espodumênio ocorre nos pegmatitos zonados mais diferenciados, principalmente em Volta Grande. Os corpos mais distais são encontrados a mais de 15 quilômetros do corpo granítico. São zonados, com formas variadas, mas preferencialmente lenticulares a tabulares e concordantes com a foliação metamórfica principal das rochas encaixantes. Orientam-se, preferencialmente, na direção N60-70E.

Columbita é mais comum nos pegmatitos marginais ao corpo granítico, seguida por tantalita nas zonas ricas em Mn e Fe, continuando com microlita associada ao espodumênio e lepidolita nas zonas mais distais. O posicionamento da cassiterita é incerto (PIRES; MATUHY; STENZEL, 1990; PIRES; PIRES, 1992), mas parece associar-se, principalmente, a *greisen* nos corpos de Volta Grande (QUÉMÉNEUR; BARAUD, 1983).

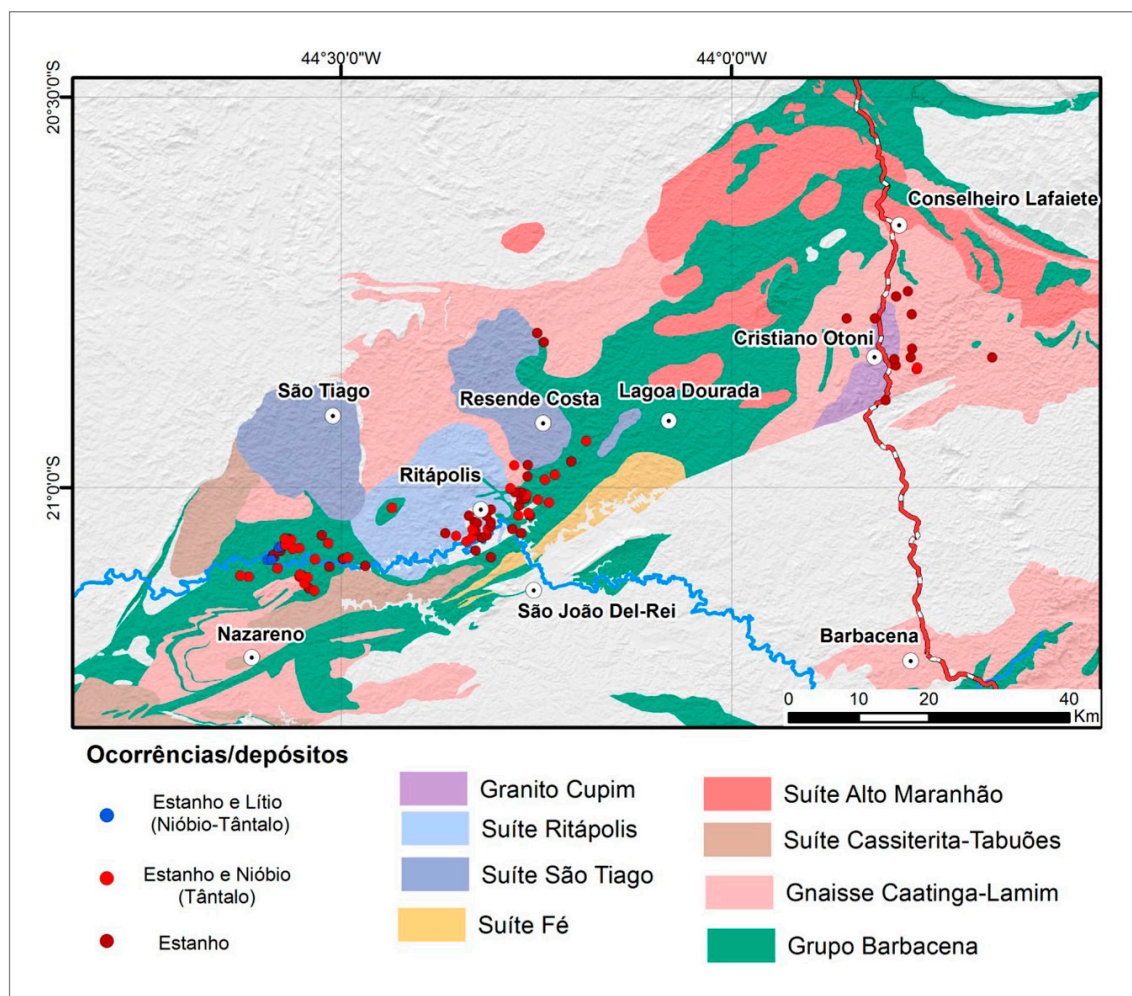


Figura 8.4 - Mapa geológico com os principais depósitos/ocorrências de Sn-Nb-Ta±Li em pegmatitos paleoproterozoicos da Província Lítio-Tântalo-Estanífera São João del-Rei/Rio das Mortes. Modificado de Pinto e Silva (2014b). Elaboração própria.

Os pegmatitos distribuem-se, em faixa com mais de 55 quilômetros de comprimento e até 20 quilômetros de largura, ao longo do Vale do Rio das Mortes, entre Nazareno e Coronel Xavier Chaves. Cerca de 250 corpos são conhecidos no distrito, dos quais aproximadamente 15% foram produtivos. Pelo menos duas dezenas têm mais de 500 metros de comprimento e os mais espessos ultrapassam 20 metros (PIRES; PIRES, 1992).

Os corpos intrusivos em anfibolitos costumam produzir holmquistita e zinnwaldita em zona metassomática junto ao contato. Os minerais de potássio têm teores excepcionalmente altos de Rb e Cs_2O , podem atingir 2% a um metro do contato do pegmatito com a rocha encaixante (QUÉMÉNEUR; LAGACHE, 1999). Pesquisas, conduzidas em meados da década de 1950 (EBERT; GUEDES; GOMES, 1958), mostraram a presença de monazita, de distribuição irregular, e microlita com 0,5% a 1,5% de urânio, mas sem interesse como fonte econômica de elementos radioativos.

A produção de cassiterita esteve, principalmente, com a Cia. Industrial Fluminense, no município de Nazareno, com quase 80% do total. Outro produtor, José Rodrigues, em Coronel Xavier Chaves, participava com o restante. A produção vem em queda contínua, com repiques esporádicos que não atingem o pico dos máximos anteriores. De forma subordinada, em 2008, eram explotadas tantalita e djalmáita. A tantalita já foi o mineral mais importante, secundado pela cassiterita; os minerais de lítio não eram aproveitados.

Os pegmatitos, normalmente, não mostram turmalinas e berilo (conhecido no Corpo Fumal), indicando uma

baixa concentração primária de boro e berílio. Talvez essa seja uma das causas da inexistência de gemas Coradas, como turmalinas e águas-marinhas, nos pegmatitos, e de esmeraldas, nas rochas encaixantes máficas-ultramáficas xistosas e hidrotermalizadas.

Importantes zonas hidrotermalizadas, materializadas em caulinitização e muscovitização no granito e nas rochas encaixantes dos pegmatitos, foram identificadas por Pires e Porto Jr. (1986), podendo os leucogranitos a muscovita constituírem-se nos corpos mais especializados (QUÉMÉNEUR, s. d. (informação verbal) *apud* HEINECK *et al.*, 2000).

As lavras são feitas, geralmente, a céu aberto, com desmonte hidráulico ou em escavações nas encostas, quase sempre de baixa declividade, na Bacia do Rio das Mortes, na região de Ritápolis, com grande impacto ambiental (Figura 8.5).

8.2.3.2. Distrito Pegmatítico de Volta Grande

Esse distrito é localizado a cerca de 15 quilômetros a norte da cidade de Nazareno (Figura 8.4), com estudos de Francesconi (1972), Silva (1982), Quéméneur e Baraud (1983), Porto Jr. e Pires (1986), Quéméneur (1987a, 1987b); Junqueira, Ladeira e Lobato (1989), Pires e Pires (1992), Lagache e Quéméneur (1997), Rodrigues e Pires (1998), Quéméneur e Lagache (1999).

Os pegmatitos Volta Grande e Minas Brasil atingem dimensões de 1200 metros de comprimento, espessuras médias entre 6 e 8 metros, máximas de 40 metros, e até 200 metros de profundidade (largura) conhecida



Figura 8.5 - Lavra de cassiterita e columbita-tantalita na Bacia do Rio das Mortes, proximidades de Ritápolis.

(FRANCESCONI, 1972). Quéméneur *et al.* (2003) relatam a presença de minerais de lítio em Volta Grande (espodumênio, lepidolita), Mina da Serra (espodumênio), Garimpo Mato Virgem (espodumênio), Cascalho Preto (bityita), com aproveitamento econômico em Volta Grande.

Os pegmatitos desse distrito são altamente evoluídos, portadores de albita, microlita, tantalita, cassiterita, espodumênio e micas de Li (zinnwaldita e lepidolita), em quantidades variadas a depender do posicionamento dos corpos em relação à fonte granítica; os cristais de espodumênio podem atingir um metro de comprimento (RODRIGUES; PIRES, 1998). Os corpos intrusivos em anfibolitos do Grupo Barbacena podem produzir holmquistita e zinnwaldita, na zona de contato metassomatizada (PINTO; PADILHA, 2000).

O início da atividade extrativa remonta a 1950, voltada principalmente para cassiterita e tantalita, com participação menor do espodumênio.

8.2.3.3. Distrito pegmatítico de Conselheiro Lafaiete-Cristiano Otoni (Sn-Nb-Ta)

Situa-se entre Conselheiro Lafaiete e Cristiano Otoni (Figura 8.4), nos arredores de Buarque de Macedo, mais especificamente no Vale do Córrego Bananeiras. Reúne pegmatitos e *greisens* graníticos mineralizados em Sn-Ta-Nb, posicionados na periferia do Granito Cupim, intrusivo em unidades metavulcanossedimentares do Grupo Barbacena, de idade paleoproterozóica, integrantes do Cinturão Mineiro (Figura 8.4). Os minerais de interesse econômico eram cassiterita e tantalita, ocorrendo também magnetita, ilmenita, granada e djalmaita (SOUZA; SOUZA, 1970).

As principais catas (garimpos), todas a céu aberto, situavam-se na localidade Buarque de Macedo (distrito de Conselheiro Lafaiete), nas proximidades da BR-040. De modo geral, a região despertou pouco interesse econômico para os garimpeiros, dado as baixas concentrações de cassiterita. A lavra era feita em material detrítico acumulado nas várzeas (pláceres) e aluviões recentes através de escavações e desmontes hidráulicos. Questões ambientais, como poluição da água que abastecia Conselheiro Lafaiete, levaram à interdição das lavras há algumas décadas.

Esses corpos mostram associações de minerais de Sn-La-Y-Ce-Zr, que são atribuídas a mineralizações contidas em pegmatitos e *greisens*. Também, são citados topázio, zinnwaldita, ixiolita, pirocloro, samarskita, magnetita, ilmenita, gahnita, alvarolita, bityita, varlamorfita, brookita, estauroлита, cyrtolita, alguns deles relacionados a *greisens* (FRANCESCONI, 1972; SILVA, 1982). Os pegmatitos da região podem mostrar altas concentrações de Rb.

Em concentrados de bateia Pereira *et al.* (1989) identificaram anatásio, hornblenda, tremolita-actinolita, holmquistita, cassiterita, clinozoizita, epidoto, gahnita, granada, ilmenita, limonita, magnetita, microlita, monazita, rutilo, columbita-tantalita, turmalina, xenotímio e zircão. Calcopirita, espodumênio, pirita, ouro, scheelita e galena ocorreram em quantidades menores e muito variáveis, alguns deles raros e outros não relacionados aos pegmatitos ou greisens.

8.3. DISTRITOS BAUXÍTICOS (ALUMÍNIO)

Os principais distritos de bauxita no estado de Minas Gerais estão na região da Zona da Mata (ao longo da Serra da Mantiqueira), em Poços de Caldas (no sul do estado) e no Quadrilátero Ferrífero, além de outras ocorrências menores (Figura 8.6).

Dados da ANM (COSTA *et al.*, 2019) mostravam, em 2016, reservas globais de bauxita (metalúrgica e refratária), em Minas Gerais, da ordem de 335,3 milhões de toneladas medidas, 470,8 milhões de toneladas indicadas, 22,1 milhões de toneladas inferidas, com 274,6 milhões de toneladas lavráveis.

8.3.1. Distrito Bauxítico da Zona da Mata

A descoberta dos depósitos de bauxita nesse distrito data da década de 1970. Distribuem-se segundo a direção NE-SW desde Chácara, passando por São João Nepomuceno, Cataguases, Miraí, em faixa com mais de uma centena de quilômetros de comprimento e largura muito variada, desde alguns quilômetros até dezenas de quilômetros (Figura 8.6). Até 2006, as principais minas eram Canteiro, Graminha e Serra de Pedra Branca (ROMANO; CASTAÑEDA, 2006), respectivamente, nos municípios de Miraí, Descoberto e Itamarati de Minas. Em 2012, destacavam-se as minas Fazenda Chorona, em Miraí, e Ribeirão São Lourenço, em Itamarati de Minas.

Diversos autores, dentre eles Brandalise e Viana (1993), atribuem a origem dos depósitos de bauxita à ação intempérica sobre rochas regionais, durante a pediplanação no Ciclo Sulamericano, condicionada a controles tectônicos. Biondi (2003) atribui a origem dos depósitos de bauxita às rochas charnockíticas do Complexo Juiz de Fora e Romano e Castañeda (2006) incluem também os paragneisses aluminosos do Grupo Raposo como rochas-fontes. Essas rochas teriam sido expostas a intensa pediplanação, possivelmente eoterciária, correspondendo ao nível de base regional intensamente irrigado àquela época. Essa superfície sofreu forte influência da tectônica distensiva relacionada à abertura do Atlântico, surgindo estruturas tipo *horst* e *hemigrabens* alinhados e orientados na direção nordeste, a mais expressiva delas o *horst* da Serra da Boa Vista.

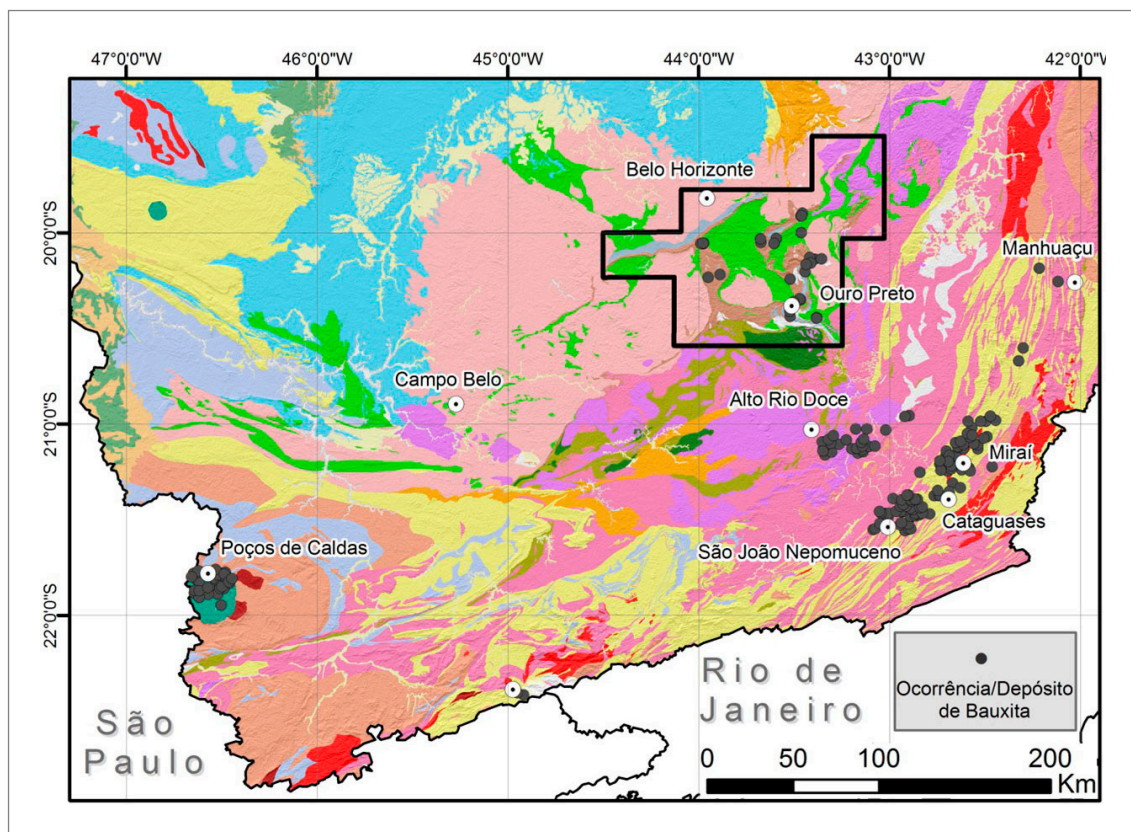


Figura 8.6 - Mapa tectônico de Minas Gerais (ver legenda na Figura 1.2) com os principais distritos/localidades bauxíferas do estado. Modificado de Pinto e Silva (2014b). Elaboração própria.

Os principais depósitos de bauxita estão preservados entre as altitudes de 700 e 900 metros, com espessuras médias de 10 metros (ROMANO; CASTAÑEDA, 2006), ou entre 850 e 950 metros (Vieira, 2000). Têm pouca expressão em área e ocupam as cumeadas das serras ou dos terrenos altos. A erosão dessas superfícies constitui depósitos colúvio-aluviais argilo-aluminosos (ROMANO; CASTAÑEDA, 2006). Outros depósitos ocorrem a leste de Rio Novo, na depressão do Rio Pomba construída durante pediplanação plio-pleistocena do Ciclo Velhas, em altitudes entre 430 e 500 metros (VIEIRA, 2000). As reservas totais eram estimadas em mais de 100 milhões de toneladas de minério (DADENNE; SCHOBENHAUS, 2001).

O minério é nodular residual, em fragmentos e blocos de tamanhos variados, de cor bege a esbranquiçada ou vermelha, constituído por gibbsita, caulim, quartzo.

A produção de bauxita tem se deparado com problemas ambientais, um deles localizado na serra do Brigadeiro. O Parque Estadual da Serra do Brigadeiro foi criado pelo Decreto 38.319 de 27.06.1996, abrangendo áreas dos municípios de Araponga, Fervedouro, Miradouro, Rosário da Limeira, Sericita, Ervália, Muriaé, Pedra Bonita e Divino, cobrindo cerca de 132 quilômetros quadrados. No entorno do parque, existem diversas APA's (Araponga, Fervedouro, Itajuru, Babilônia, Serra das Aranhas) e uma

Zona Amortecedora proposta pelo Instituto Estadual de Florestas em 1999, mas aparentemente não implantada até 2005. Os domínios leste e sudeste do parque estão totalmente cobertos por áreas de pesquisa, algumas já com licença de operação para exploração de bauxita (RODRIGUES *et al.*, 2006).

Em Miraf, na Unidade de Mineração de Miraf, da Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), com início de produção da mina em 2008, a produção ROM, em 2018, foi de 1.595.078 toneladas de bauxita lavrada e processada no britador. A produção final na planta de beneficiamento foi de 755.450 toneladas (REVISTA MINÉRIOS & MINERALES, no 403, 2019)

8.3.2. Distrito Bauxítico de Poços de Caldas

Bauxita é um dos principais produtos derivados do intemperismo, lixiviação e laterização das rochas alcalinas e carbonatitos da Suíte Alcalina de Poços de Caldas. Cerca de trinta frentes de lavras e depósitos de bauxita são conhecidos nesse planalto (Figura 8.7).

Dois tipos de bauxita são conhecidos no **Planalto de Poços de Caldas**, o de serra e o de campo ou de platô (DRUMOND, 1982). As **bauxitas de serra** (em altitudes aproximadas de 1.600 metros) estão associadas a diques anelares alcalinos que modelam a estrutura intrusiva

de Poços de Caldas e sustentam seu relevo. O minério é formado pelo intemperismo químico e pela laterização aluminosa de rochas alcalinas (tinguaíto, foiaíto) e, à medida que o perfil intempérico aprofunda-se no relevo, mostra passagem progressiva para a rocha alcalina fresca. A espessura do perfil laterítico aluminoso pode ultrapassar 10 metros. Esse tipo tem depósitos mais espessos e contínuos, com menor quantidade de sílica reativa (BIONDI, 2003). O teor é superior a 55% de Al_2O_3 e são pobres em argilas e óxidos de ferro. A bauxita assenta-se diretamente sobre a rocha-fonte. O mineral predominante é gibbsita, em concentração superior a 80%, ocorrendo também haloisita, caulinita e goethita (DARDENNE; SCHOBENHAUS, 2001).

Na parte alta e interior do maciço, ocorre a **bauxita de campo (ou de platô)**, na cota aproximada de 1.300m, em corpos irregulares com espessuras de até três metros e variáveis devido às irregularidades no perfil do terreno,

com altos e baixos (onde não ocorre), e condicionamento aos litotipos que compõem o maciço. Esse tipo grada em profundidade para material caulínico e rocha alcalina. O material caulínico pode ser rico em zircônio e, nesse caso, ele é explotado como insumo para a indústria de cerâmica refratária. Dependendo do substrato rochoso, a bauxita pode ser de alto ou de baixo teor ou só ocorrer argila. O minério é formado por gibbsita, caulinita, haloisita, magnetita, goethita e anatásio, com teor próximo a 50% de Al_2O_3 , 6% de SiO_2 e 10% de FeO (DARDENNE; SCHOBENHAUS, 2001).

As reservas situavam-se em cerca de 50 milhões de toneladas de minério com teor médio de 46% de Al_2O_3 e 4,5% de sílica reativa (PARISI, 1988). Dados na Revista Minérios e Minerais (nº 345, 2010) indicavam reservas totais de 35 milhões de toneladas de bauxita, com vida útil de 50 anos para a explotação do minério, no **Planalto de Poços de Caldas**.

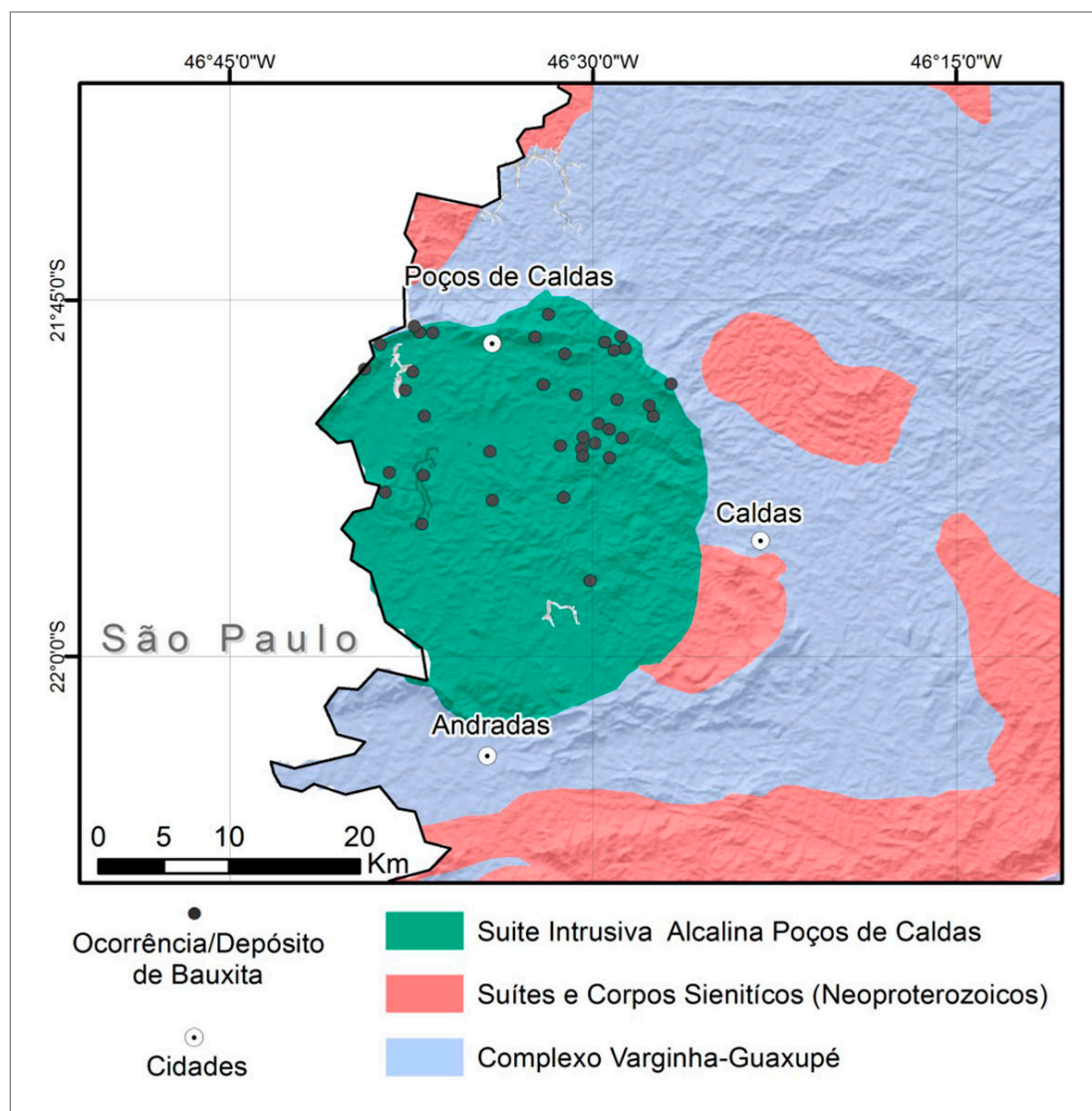


Figura 8.7 - Mapa geológico simplificado da região do Distrito Bauxítico de Poços de Caldas.
Fonte: Modificado de Pinto e Silva (2014b). Elaboração própria.

Na província destacam-se as minas Campo do Meio (Mineração Caldense, Grupo Curimbaba); Campestrinho, Brígidas, Fazenda Recreio, Campo da Inácia, Campo de Cima, Vilela, Fazenda Picada (Companhia Brasileira de Alumínio – CBA); Agostinho, Morro das Árvores III, Aterrado, Coqueirinho II, Barreiro I, Tamanduá e Campo do Saco (Companhia Geral de Minas – CGM).

Na **Mina Campo do Meio**, em 2011, foram lavradas e processadas 995 mil toneladas ROM de minério, resultando em aproximadamente 500 mil toneladas de bauxita beneficiada, com teor médio de 52% de Al_2O_3 no minério. Como subprodutos foram lavradas argilas refratárias e leucítica (34 mil toneladas) para chamotes (matéria-prima para cerâmica) de alta alumina e absorventes *sinter balls*, além de 124 mil toneladas de brita para uso na construção civil (REVISTA MINÉRIOS & MINERALES, nº 355, 2011).

Já em 2018, a mineradora informou produção ROM de 599 mil toneladas de bauxita (argila refratária, fonolito e rochas potássicas), com movimentação total ROM de 390 mil toneladas de bauxita, 182 mil toneladas de fonolito, 17 mil toneladas de argila refratária e 10 mil toneladas de rochas potássicas (REVISTA MINÉRIOS & MINERALES, nº 403, 2019).

Nas **Minas da Companhia Geral de Minas**, em 2010, foram explotadas e processadas 996 mil toneladas ROM de minério, com exaustão da Mina Coqueirinho II; não existiam informações sobre reservas (REVISTA MINÉRIOS & MINERALES, nº 355, 2011).

Nas **Minas da CBA**, foram extraídas 775 mil toneladas ROM de minério em 2010. A reserva medida era de 14 milhões de toneladas com teor médio de 43,2% de Al_2O_3 disponível e 3,4% de sílica reativa. As atividades da CBA, no Planalto de Poços de Caldas, iniciaram-se em 1941 (REVISTA MINÉRIOS & MINERALES, 200 maiores minas, 2011). Em 2018, a produção ROM recuou para 469 mil toneladas de bauxita lavrada e processada no britador. A produção final beneficiada ficou em 467.380 toneladas (REVISTA MINÉRIOS & MINERALES, nº 403, 2019).

8.3.3. Distrito Bauxítico do Quadrilátero Ferrífero

No Quadrilátero Ferrífero, o início da produção de bauxita não é exato, mas se deu em meados do século XX e vários depósitos foram considerados exauridos. O minério formou-se pela lateritização de filitos argilosos ou dolomíticos, principalmente da Formação Fecho do Funil (Supergrupo Minas), concentrando-se em meio ao latossolo. São encontradas, também, ocorrências em sedimentos eocênicos da Bacia do Fonseca, depositados sobre pelitos das formações Cercadinho e Barreiro, (Supergrupo Minas). As lavras

principais estavam nos distritos de Santa Bárbara, Itabirito e Mariana e foram encerradas em 2008 (Tabela 8.1 e Figura 8.6).

Varajão, Boulangé e Carvalho (1989) e Boulangé *et al.* (1997) classificaram os depósitos de bauxita do Quadrilátero Ferrífero em quatro categorias, conforme os posicionamentos morfológicos: 1. Bauxitas de Planalto Elevado (Batatal); 2. Bauxitas de Encosta (Morro do Fraga); 3. Bauxitas de Depressão (Vargem dos Óculos); 4. Bauxitas de Planalto Baixo (Macaquinho).

Tabela 8.1 - Bauxita no Quadrilátero Ferrífero. Lavras encerradas em 2008. Fonte: Revista Minérios & Minerales Nº 317, 2009.

DISTRITO	MINA	PRODUÇÃO ROM – MINÉRIO (t) - 2008	EMPRESA
Santa Bárbara	Gandarela e Mato Grosso	163.794	Novelis do Brasil
	Lopes	109.947	
	Vargem	92.234	
Itabirito	Lagoa Seca	58.502	
Mariana	Monjolo	5.703	

8.4. DISTRITOS E DEPÓSITOS DE AGALMATOLITO (PIROFILITA)

Os principais depósitos de agalmatolito estão na região de Mateus Leme-Pará de Minas-Pitangui, na porção central de Minas Gerais, a 70 quilômetros a oeste de Belo Horizonte (Figura 8.8). Estão contidos em faixa com cerca de 150 quilômetros de comprimento, na direção NW, e 30 quilômetros de largura, passando por Pará de Minas. Os corpos individuais têm formas lenticulares, são geralmente subverticais, com comprimentos de centenas de metros e até 120 metros de espessura (LUZ *et al.*, 2002) (Figura 8.8).

Agalmatolito é uma rocha peraluminosa que pode ser classificada como cianita-pirofilita xisto com coríndon e muscovita, contendo também quantidades variáveis de turmalina, magnetita, estauroлита, mica branca, quartzo, diásporo, granada, sulfetos de cobre e/ou ferro e outros (ROMANO, 1989; HEINECK *et al.*, 2000), ou seja, é o nome comercial de uma rocha de paragênese exótica, formada essencialmente por pirofilita ($Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot H_2O$) e muscovita. Resulta de processos hidrotermais sobre protólitos diversos (rochas vulcânicas ácidas e intermediárias; ROMANO, 1989) ocorrendo em formas maciça e lamelar, destacando-se zonamento hidrotermal com zona peraluminosa (coríndon, polimorfos de Al_2SiO_5 , muscovita e minerais de substituição – diásporo, pirofilita, caulinita) e zona muscovítica (essencialmente muscovita e quartzo, com participação subordinada de pirofilita e caulinita; SECCO, 2009).

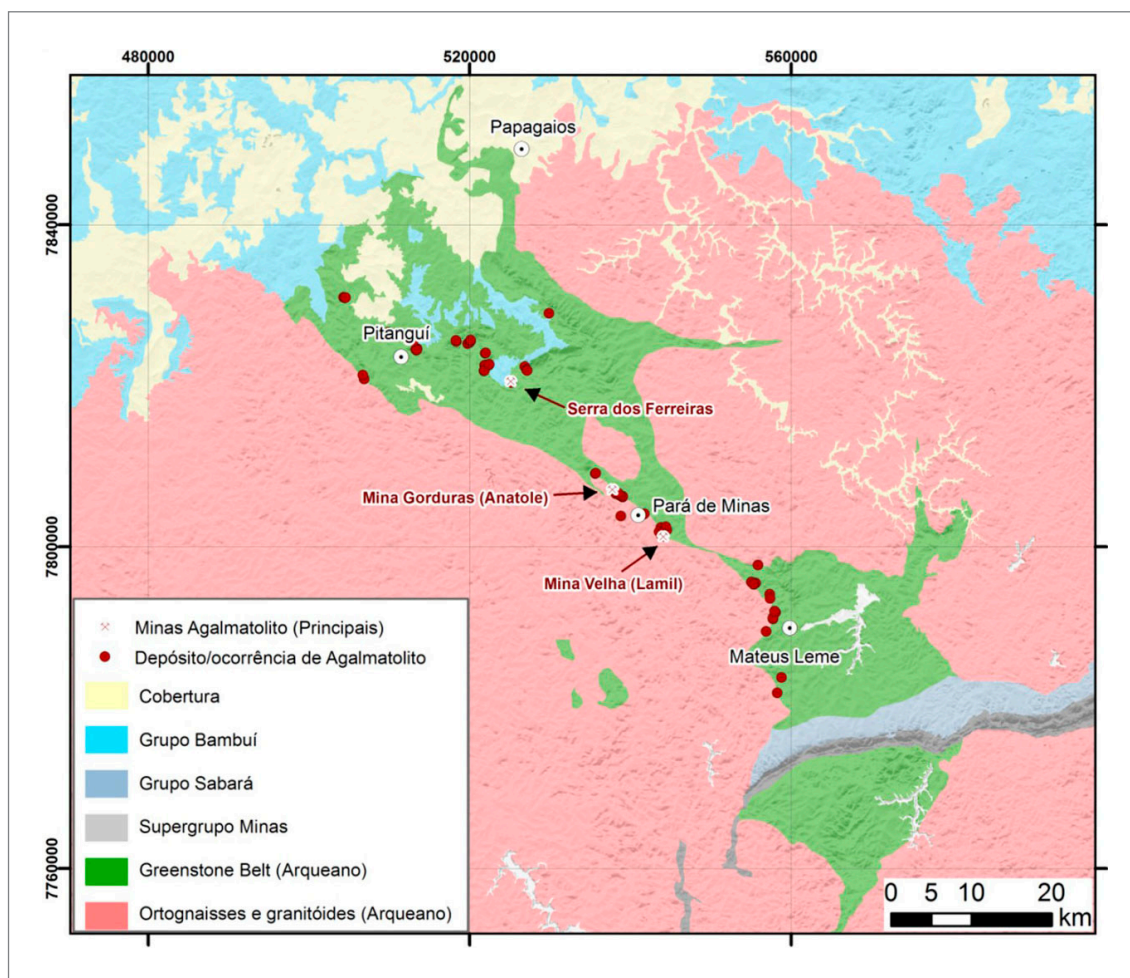


Figura 8.8 - Mapa geológico simplificado com a distribuição das ocorrências/depósitos de agalmatolito, arranjados ao longo da faixa NW. Modificado de Pinto e Silva (2014b). Elaboração própria.

O agalmatolito encontra-se associado a rochas xistosas de protólitos vulcânicos e no contato dessas com quartzito, formação ferrífera e xisto carbonoso do Supergrupo Rio das Velhas (*Greenstone Belt* arqueano), ao longo de zonas de cisalhamento ditas transamazônicas e de corpos graníticos intrusivos. Os corpos lenticulares de agalmatolito mais ricos em pirofilita estão encaixados em corpos *stratabound* de cianita-quartzito xisto persistentes por vários quilômetros, a pirofilita resultando de processo retrometamórfico/metassomático sobre cianita (HEINECK, 1997). Os fluidos hidrotermais teriam origem em fonte exalativa mesotermal, em domínios confinados, seguindo-se metamorfismo para gerar cianita e andaluzita e retrometamorfismo produzindo pirofilita (ROMANO, 1989, 1993). Para Teixeira e Kuyumjian (1991), o processo seria semelhante, só que em condições epitermais. Lobato e Pedrosa-Soares (1993) sugerem que mudanças na composição mineral em nódulos concêntricos de agalmatolito, do centro para a borda, estariam relacionadas a variações “na composição do fluido e nas relações fluido/rocha”. Esses fluidos podem ter sido a fonte de

sulfetos com Au, que teriam alojado-se nessas e em outras rochas das zonas de cisalhamento (LOBATO; PEDROSA-SOARES, 1993).

As principais minas eram: Mina Velha e Mina Brachiária Norte (ambas da Lamil), Mina Gorduras (Anatolé), Mina da Serra dos Ferreiras (Magnesita) e Mina Fazenda das Pedras (Mineração Matheus Leme).

O material é vendido para as indústrias de tintas, cerâmica, papel e celulose, farmacêutica (veterinária), isolantes térmicos, plásticos e bioquímica, em substituição ao dióxido de titânio, carbonato de cálcio precipitado, talco industrial, alumina, feldspato e outros (*fonte*: <http://www.lamil.com.br/produtos/>). São produzidos diferentes tipos de agalmatolito, como exemplificados na Figura 8.10.

Conforme a ANM (COSTA *et al.*, 2019), os dados referentes a Minas Gerais para o ano base de 2016, sem especificar minas (lavras) ou empresas, mostravam reservas de agalmatolito + pirofilita da ordem de 34,6 milhões de toneladas medidas, 32,8 milhões de toneladas indicadas, 14,1 milhões de toneladas inferidas e 12,8 milhões de toneladas recuperáveis.

A produção bruta de minério foi de 102.683 toneladas de agalmatolito e 100 toneladas de pirofilita, com produção beneficiada de 72.653 toneladas de agalmatolito, sem informação específica sobre pirofilita. A Magnesita consta como a maior produtora de refratários, onde se inclui o agalmatolito, mas não consta como o maior produtor desse bem.

A **Mina Velha**, (Figura 8.9) de propriedade da Lamil Lage Minérios, em Pará de Minas, produziu 155.878 toneladas ROM (*run of mine*) de agalmatolito, em 2017, em lavra subterrânea, juntando-se a ela a Mina Braquiária, a céu aberto. A mesma produção foi repetida em 2018 só para a Mina Velha (REVISTA MINÉRIOS & MINERALES, nº 397, 2018 e nº 403, 2019).

A **Mina Fazenda das Pedras II**, da Mineração Matheus Leme (www.grupokymera.com.br), em Mateus Leme, produziu e processou no britador 40 mil toneladas ROM de agalmatolito em 2018, com produção final informada de 20 mil toneladas, e vida útil da mina prevista para mais 30 anos (REVISTA MINÉRIOS & MINERALES, nº 403, 2019). Em 2017, a produção ROM informada foi de 50 mil toneladas de agalmatolito (REVISTA MINÉRIOS & MINERALES, nº 397, 2018).

A **Mina Gorduras**, da Anatolé, em Pará de Minas, produziu e processou 18 mil toneladas ROM de agalmatolito em 2008, com expectativa de manter a mesma marca em 2009. Cerca de 97% da produção era vendida no mercado interno, para indústrias químicas de tintas, celulose, cerâmica, plásticos e borrachas (REVISTA MINÉRIOS & MINERALES, out/nov, 2009). Informações atualizadas sobre dados de produção até 2020 não foram encontradas.

Na **Mina da Serra dos Ferreiras**, propriedade da Magnesita, os agalmatolitos de interesse industrial foram classificados em tipos: 1. pirofilita-*fels* (tipo *roseki*);



Figura 8.9 - Mina Velha (Lamil Lage Minérios). Vista da entrada para a mina subterrânea de agalmatolito.
Fotos de Joanna Araújo (SGB-CPRM).

2. pirofilita-muscovita-cianita-diasporito (tipo B1); 3. muscovita-pirofilita-agalmatolito (tipo esverdeado); 4. quartzito-pirofilitico com cloritoides (tipo chumbinho); 5. muscovita-xisto (tipo canjica); 6. muscovita-quartzito-agalmatolito (tipo micado); os termos entre parênteses são os utilizados na mina (SECCO, 2009). Análises químicas para os tipos de agalmatolitos são apresentadas em Secco (2009). Segundo o autor, o tipo pirofilita-*fels* é verde-claro a marrom, rico em quartzo e com baixa alumina em relação aos outros tipos. O tipo B1 é compacto, sedoso, também verde-claro (esbranquiçado) a marrom, rico em cristais de cianita até centimétricos, com distribuição irregular. O tipo 3 é similar ao tipo B1, sendo facilmente confundidos. O tipo chumbinho é rico em cloritoides pequenos, geralmente alterados e transformados em hidróxidos de ferro. O tipo *canjica* tem como característica a presença de porfiroblastos de feldspatos (plagioclásio e/ou K-feldspato) em zonas de cisalhamento, imersos em matriz fina verde-esbranquiçada. O tipo micado é branco-acinzentado, fino, xistoso e restrito nessa serra.

8.5. DEPÓSITOS DE QUARTZO

As ocorrências e depósitos de quartzo estão distribuídos em quase todo o estado, sendo sempre associados a veios de quartzo e a pegmatitos que cortam sequências metassedimentares e terrenos graníticos/gnáissicos. Os principais depósitos de quartzo explotados estão nos distritos do sul do estado e da Serra do Cabral.

No Anuário da ANM (COSTA *et al.*, 2019), no item referente a “areias industriais”, onde constam “*Areia Industrial, Quartzito Industrial, Quartzito e Sílex*”, são mostrados dados referentes a 2016, de onde foram extraídas informações sobre quartzo. As reservas divulgadas são 147,4 milhões de toneladas medidas, 42,5 milhões de toneladas indicadas, o mesmo valor como reserva inferida e 125,3 milhões de toneladas recuperáveis. A produção bruta declarada foi de cerca de 846 mil toneladas ROM de quartzo, resultando em 328 mil toneladas beneficiadas. São dados globais sem especificações locais.

A **Mina Moinho** (Rima Industrial), localizada a seis quilômetros ao norte da cidade de Olhos D’água, na Serra do Espinhaço Meridional, era a maior mina brasileira de quartzo para fins industriais. Em 2010, produziu mais de 186 mil toneladas ROM de quartzo, com produção final beneficiada de 144 mil toneladas de quartzo para fins de produção de silício metálico e uso na indústria de ferroligas. A produção estimada para 2012 era de 350 mil toneladas ROM, resultando em 207 mil toneladas de quartzo beneficiado. As reservas de quartzo divulgadas eram 1,453 milhão de toneladas medidas, 1,611 milhão de toneladas indicadas e 3,085 milhões de toneladas inferidas, o que permitiria uma vida útil da mina até 2019.

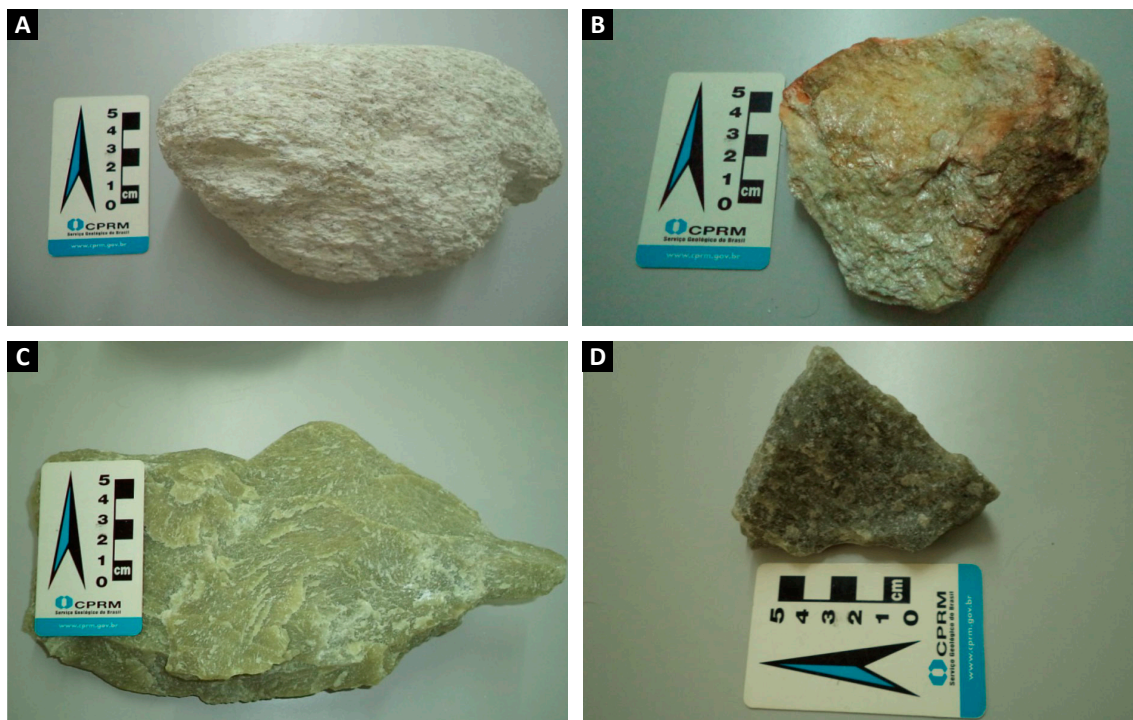


Figura 8.10 - Diferentes de tipos de agalmatolito na Mina Velha (Mineração Lamil), em Pará de Minas, MG. A classificação é textural e química: a) areia branca; b) micáceo ou lamelar; c) tipo 2; d) tipo 3. O tipo 2 tem tonalidade verde ou amarelada, com predomínio de muscovita (~75%), pirofilita (~15%) e quartzo (~10%). O tipo 3 tem coloração entre o cinza-claro e o verde-escuro, contendo quartzo (35% a 48%) em grãos mais grossos, palhetas médias de muscovita (22% a 42%) e pirofilita (10% a 40%). Os dois tipos superiores são extraídos em lavra a céu aberto e os inferiores em lavra subterrânea. Fotos de Joanna Araújo (SGB-CPRM).

O quartzo explorado e lavrado a céu-aberto ocorre em enxame de veios em metassiltito da Formação Serra de Santa Helena, Grupo Bambuí, que nesse local pode passar de 15 metros de espessura (CHAVES; SÁ; ANDRADE, 2012). Os veios podem chegar a 4 metros de espessura e comprimento, na superfície, de cerca de 100 metros, subverticais até caimento fraco para sudoeste.

Segundo informam Fábio Corrêa e Queila Ariadne, em matéria veiculada no jornal mineiro O Tempo, de 24/09/2019, em Bocaiuva, na borda ocidental da Serra do Espinhaço, a Mineração Simbel está implantando um projeto de lavra e beneficiamento de quartzito, com a produção também de quartzo de alta pureza em planta química, atividade tecnológica inovadora no país. Inicialmente, o objetivo é produzir blocos e chapas beneficiadas de quartzito voltados para o mercado externo. A produção de quartzo de alta pureza está prevista para iniciar por volta de 2025. A empresa também tem projeto para lítio no Vale do Jequitinhonha.

O quartzo da Mina Moinho foi avaliado como insumo para a fabricação de sílica vítrea de uso em indústrias de alta tecnologia, como em painéis solares e outros fins de alta tecnologia, em especial “a manufatura de utensílios para a purificação e processamento de silício e de vidro óptico transparente no UV”, com resultados altamente favoráveis para esses fins (SANTOS, 2014).

8.5.1. Depósitos de quartzo no sul de Minas

São comuns em terrenos de rochas metassedimentares siliciclásticas sílticas e arenosas dos grupos São João del-Rei, Carandaí e Andrelândia, geralmente relacionados a zonas de alteração hidrotermal, com percolação de fluidos silicosos. Veios de quartzo também são encontrados em rochas granitoides/gnáissicas de complexos metamórficos e em rochas metaultramáficas.

Em alguns locais, como próximo à Santa Bárbara do Monte Verde, quartzito sacaroide, grosso a muito grosso e friável, do Grupo Andrelândia, era lavrado por desmonte hidráulico para a produção de areia silicosa quartzosa.

Em terrenos de ocorrência da Formação Prados, é comum uma cobertura de colúvio/elúvio de quartzo branco, leitoso, em fragmentos centimétricos em meio a uma vegetação de campo limpo, rasteira e rala.

Quartzo também ocorre associado a caulim, em veios pegmatíticos decompostos por intemperismo, em todas essas regiões.

Geralmente, constituem ocorrências ou pequenos depósitos aproveitados de forma rudimentar e na clandestinidade. Não existem dados confiáveis de produção. Viana (1991) estimou uma produção mensal de 4 mil toneladas na região de Barbacena, com aplicação na indústria de carbureto de cálcio (em Santos Dumont) e siderúrgica (em Ressaquinha e Barbacena).

8.5.2. Depósitos de quartzo na Serra do Cabral e arredores

O principal polo produtor de quartzo localiza-se na região da Serra do Cabral (envolvendo os municípios de Francisco Dumont, Joaquim Felício, Buenópolis, Lassance, Várzea da Palma e Jequitáí), e na região de Francisco Sá. Ocorre em veios hidrotermais que afetaram, principalmente, os quartzitos da Serra do Cabral, estratigraficamente situados na porção superior do Supergrupo Espinhaço. Os veios de quartzo alojam-se ao longo dos planos de acamamento das rochas metassedimentares ou de fraturas, formando corpos irregulares caóticos, com baixa cristalinidade. O material mal cristalizado tem aproveitamento como matéria-prima na indústria siderúrgica de ferroligas. Em alguns veios, formaram-se bolsões ou geodos atapetados de cristais de quartzo hialino (cristal de rocha) que são aproveitados como peças ornamentais (aqueles de melhor cristalinidade e tamanho) ou na indústria ótica e eletrônica, dependendo de suas propriedades. As lavras são a céu aberto ou em poços e a extração, cominuição e seleção são manuais (Figura 8.11).

8.5.3. Outras ocorrências de quartzo

Em menor escala, o quartzo industrial é encontrado ou explotado nos municípios de Sete Lagoas e Corinto (na localidade de Tomás Gonzaga), em veios encaixados em ardósias ou metapelitos do Grupo Bambuí. Existem informações sobre cristais com centenas de quilos ou mais, extraídos na região de Corinto.

Na região de Pará de Minas–Bom Despacho, existem diversas zonas de cisalhamento, com dezenas a

mais de uma centena de metros de espessura e quilômetros ou dezenas de quilômetros de comprimento, orientadas na direção geral norte, onde concentra-se grandes massas de quartzo leitoso, destacando-se na topografia (Figura 8.12 e 8.13). Todas afetaram granitoides do embasamento do Cráton do São Francisco, sendo nítida a passagem gradativa da rocha granítica para uma zona rica em quartzo leitoso, com pouco feldspato e mica. O aproveitamento era muito pequeno ou nenhum na porção central dos veios, onde o quartzo ocorre compacto em grandes massas. Nas zonas laterais ao núcleo o material é mais friável e costuma ter aproveitamento no encascalhamento de estradas ou na construção civil.

Quartzo industrial, também, é encontrado nas regiões leste e nordeste do estado, nos vales dos rios Doce, Mucuri e Jequitinhonha, associado a pegmatitos. São produzidas lascas de quartzo leitoso a hialino para uso na indústria eletroeletrônica.

Conforme Netto *et al.* (2000), no Campo Pegmatítico Serra do Cruzeiro, na Folha Santa Maria do Suaçuí, escala 1:100.000, região de São José da Safira, na Serra do Cruzeiro formada em quartzito e quartzo xisto, alojam-se diversos corpos pegmatíticos de grande importância econômica na produção de turmalinas gemas. Outros corpos não especializados produzem amostras de coleção e quartzo, encaixados principalmente em quartzo-mica xisto, destacando-se os corpos ou lavras Amuro (Figura 8.14) e São Pedro, como produtores de quartzo em lascas. Nessas lavras o quartzo é retirado no elúvio sobre os pegmatitos e no colúvio. A extração era feita de forma rudimentar, com fragmentação manual do mineral. As lascas de boa qualidade, com aparente pureza, eram ensacadas e vendidas para a indústria.



Figura 8.11 - Fotos (A e B) da lavra de quartzo em veio por desmonte hidráulico na Serra do Cabral. Localidade Comexa, Francisco Dumond. Fotos: Arlindo Yamato.

O produto era denominado lascas de quartzo e quartzo hialino balizado, com cerca de 3 centímetros e impurezas retiradas manualmente com martelo. A produção mensal beneficiada dessas duas lavras era de 6 a 7 toneladas em 1999, vendidas a cerca de R\$ 1,20 a R\$ 2,50 por quilograma.

Em pegmatito na lavra da empresa Mineração Geometa Ltda em 1997, no Campo Pegmatítico Itatiáia–Barra do Cuieté, na região de Conselheiro Pena, foi encontrado geodo de quartzo e cleavelandita (feldspato) com cerca de 15 metros de diâmetro (Figura 8.15). O pegmatito ocorre no Granito Urucum, no contato com xisto da Formação São Tomé, Grupo Rio Doce, na Serra do Urucum. Além desses dois minerais, também ocorrem muscovita, turmalina preta e cristais de espodumênio, que podem ter até um metro de comprimento. Eram aproveitados quartzo, albita e água-marinha, kunzita gemas

(NETTO *et al.*, 2000). Nessa época a lavra era mecanizada, com controles de segurança. Não se dispõe de dados atuais sobre essa empresa e lavra.

8.6. OUTROS MINERAIS INDUSTRIAIS

Minas Gerais também apresenta ocorrências de rutilo, feldspato, espongilito, que poderiam despertar algum interesse de aproveitamento econômico.



Figura 8.12 - Veio de quartzo” orientado N10W, em zona de cisalhamento vertical em granitoides da região de Bom Despacho. Local UTM 472370E – 7803460N; WGS84 decimal -45,26414067 / -19,86487976. Acervo fotográfico SGB-CPRM.



Figura 8.13 - “Veio de quartzo” orientado NS, em zona de cisalhamento vertical em granitoides da região de Bom Despacho. Local UTM 477570E – 7803210N; WGS84 decimal -45,21447560 / -19,86720565. Acervo fotográfico SGB-CPRM.



Figura 8.14 - A. balizamento de quartzo hialino na Lavra Amuro (UTM 806130E – 7965650N, SAD69); B. quartzo hialino balizado e ensacado e pilha de rejeitos de lascas com impurezas, no mesmo local de A. Fotos de Mário C. Araújo (in memorian), Projeto Leste de Minas Gerais (NETTO *et al.*, 2000).



Figura 8.15 - Geodo de quartzo e cleavelandita em pegmatito na Serra do Urucum, Mineração Geometa Ltda. UTM 241198E – 7894802N, município de Conselheiro Pena. Foto de Maria J.R. Oliveira. Projeto Leste de Minas Gerais (NETTO *et al.*, 2000).

Rutilo e associados

Ocorre associado a xistos do Grupo Andrelândia (Neoproterozoico), com distribuição preferencial a sudeste de uma linha imaginária que passa por Santo Antônio do Porto-Cruzília. Ocorrências são conhecidas em Vargem Grande, Bom Jardim e Sítio Santa Maria.

Associações de óxidos de Fe-Ti, reunidos sob o nome informal de carranquita (PIRES; GONÇALVES, 1987), têm como minerais constituintes ilmenita, rutilo, magnetita e hematita. Ocorrem em corpos de modos variados. Em um dos locais, mostra-se em leitos centimétricos intercalados em sericita xisto e mica verde-sericita quartzito, com grãos variando de 0,1 a 2mm. Tratam-se, aparentemente, de paleopláceres metamorfizados e deformados. Ocorrem, também, disseminados em micaverde-sericita xisto, em corpos pegmatoides (ambos em cristais finos) e em cristais grandes isolados nas rochas metasedimentares. O mineral mais importante é o rutilo ou ilmeno-rutilo, que tem sua gênese controlada pelo metamorfismo e química das encaixantes (PIRES; GONÇALVES, 1987). Esse mineral aparece como lamelas na martita e na hematita, no domínio do metamorfismo da fácies xisto-verde, e em cristais isolados em rochas de fácies anfibolito. O titânio provém da liberação pelos silicatos titaníferos, como titanita, com o aumento do metamorfismo. A falta de carbonato nessas sequências também favorecerá a formação do rutilo, em detrimento da titanita, conforme modelo proposto por Goldsmith e Force (1978). Os tipos de grão fino são os de maior interesse, por constituírem reservas maiores e mais regulares; os grãos grossos são mais erráticos.

Feldspato

É encontrado principalmente na Província Gemológica Oriental do Brasil (PINTO; PEDROSA-SOARES, 2000, 2001), nos vales dos rios Doce e Jequitinhonha. Nessa província, o feldspato provém integralmente de pegmatitos graníticos, muito abundantes na região, com mais de 800 corpos cadastrados por Netto *et al.* (1998, 2000). O feldspato potássico (ortoclásio e microclina) pode constituir peças com decímetros até cerca de três metros de comprimento, muitas com exsoluções de quartzo tipo mirmequitas. A qualidade do material é variável, desde feldspatos expansíveis, de uso inadequado para alguns produtos cerâmicos, até outros de excelente qualidade como insumo para cerâmica branca.

A albita, em parte a variedade cleavelandita, ocorre principalmente junto às zonas hidrotermalizadas, portadoras de minerais-gemas (água-marinha, turmalina) e outros de menor valor comercial (berilo industrial, turmalina preta, lepidolita).

Na Lavra do Ferreirinha, Campo Pegmatítico Golconda em Governador Valadares, um pegmatito de grande porte encaixado em micaxisto mostra-se zonado com cristais de quartzo e feldspato, com até mais de três metros de comprimento na zona intermediária (NETTO *et al.*, 2000; Figura 8.16). Nessa lavra eram produzidos minerais industriais, berilo, quartzo e feldspato.



Figura 8.16 - Pegmatito Ferreirinha I, Campo Pegmatítico Golconda, Governador Valadares. Cristais métricos de quartzo e feldspato (branco opaco na foto) ocorrem na zona intermediária do pegmatito. UTM 806370E – 7926371N. Foto de Mário C. Araújo (*in memoriam*), Projeto Leste de Minas Gerais (NETTO *et al.*, 2000).

Na década de 1970, a Metamig (atual Codemg), empresa do governo de Minas Gerais, realizou trabalhos de avaliação do potencial econômico da região leste do estado (ISSA FILHO; MOURA; FANTON, 1979) focando os minerais industriais de pegmatitos, em especial feldspatos. Um dos focos foi o Campo Pegmatítico Itatiaia-Barra do Cuieté, nas regiões de Governador Valadares e Conselheiro Pena, no Vale do Rio Doce. Já naquela época, a maioria das lavras encontravam-se abandonadas, e as em atividade vendiam a produção de feldspatos para a indústria vidreira e de cerâmica branca. Netto *et al.* (2000) destacam que os pegmatitos apresentavam bom potencial de aproveitamento para lavra de feldspato, visto estarem pouco intemperizados ou alterados.

Grande parte do feldspato nas lavras de gemas é descartada como rejeito por dificuldade de acesso às lavras, alto custo de transporte, falta de interesse dos garimpeiros e/ou mineradores pela seleção do material, etc. Existia uma usina de beneficiamento de feldspato em Governador Valadares utilizando material da região.

Espongilito

O espongilito, popularmente conhecido como ‘pó-de-mico’, é um material natural constituído de espículas biogênicas de sílica amorfa hidratada (opala), representando a porção inorgânica esquelética de esponjas, com formas alongadas à semelhança de microtubos, geradas

em ambiente lacustrino de águas paradas (ESPER, 2001; PINTO; PINHO; SOUZA, 2001). A acumulação sedimentar das espículas ocorre junto com sedimentos arenosos, argilosos, orgânicos e carapaças diatomáceas, que podem ser subordinados ou não.

As espículas apresentaram dimensões médias de 12µm de diâmetro e 240 a 360µm de comprimento (1µm = 1×10⁻⁶m, equivalente à milésima parte do milímetro), com quantidades variadas de espículas quebradas. No material *in natura*, o conteúdo de espículas mostrou-se variável desde menos de 30% até cerca de 70%, com quartzo e argila constituindo os outros componentes mais significativos (ESPER, 2001).

Espongilitos são encontrados, principalmente, nos municípios de João Pinheiro, sobretudo nas planícies-várzeas dos ribeirões da Anta, da Mutuca (margem direita do Rio Paracatu) e Lagoa Grande (margem esquerda do Rio da Prata), e nas cabeceiras de afluentes do Rio Tabocas, na Bacia do São Francisco. São conhecidas cerca de uma centena de lagoas rasas, recentes, que acumulam reservas estimadas de 5,8 milhões de toneladas de espongilito (ESPER, 2001). Também são relatadas outras ocorrências no município de Presidente Olegário.

As lagoas rasas formaram-se em superfícies erosivas sobre rochas neoproterozóicas da Bacia do São Francisco, Grupo Bambuí, e mesozóicas da Bacia Sanfranciscana, Grupo Areado, constituindo coberturas cenozóicas com sedimentos siliciclásticos. Almeida (2009) discorre sobre a evolução da paisagem geomorfológica dessa região, definindo quatro morfodomínios e aborda diversas lagoas com espongilitos.

O espongilito ainda não tem uso industrial amplo, sendo empregado na fabricação de tijolos comuns, possivelmente pelo desconhecimento do potencial do material

e falta de estudos tecnológicos específicos. Em princípio, poderia ser empregado em substituição à diatomita, em tijolos refratários silicosos, nas indústrias cerâmicas e em sistemas filtrantes. Sua forma acicular facilitaria este último uso pela alta porosidade dos agregados. Também é considerado um material pozolânico de alta qualidade, o que o remete à indústria cimenteira, com a vantagem de ocorrer em depósitos que contêm argilas como impurezas (PINTO; PINHO; SOUZA, 2001).

Filito Feldspático

No **Quadrilátero Ferrífero**, filito feldspático (denominação da empresa) é explotado, desde 1986, pela ANEX Mineração (www.anex.ind.br), na Mina **Valo do Rodoviário**, em Itabirito. Nos anos de 2010 e 2011, foram produzidas e processadas anualmente 119,5 mil toneladas ROM de filito, com expectativa de crescimento lento e sustentado para os próximos anos. A reserva medida estava em cerca de 22 milhões de toneladas e a reserva total aproximava-se de 105 milhões de toneladas. Quartzito é explotado como produto secundário. O material é usado na construção civil e nas indústrias cerâmica e cimenteira (REVISTA MINÉRIOS & MINERALES, nº 361, out/nov 2012).

Dados relativos a 2018, para a Mina **Valo do Rodoviário**, publicados na Revista Minérios & Minerales nº 403 (2019), mostram 16.369 toneladas de material lavrado e processado na planta de beneficiamento, aparecendo como bem mineral filito (embora conste, no título da tabela da revista, como feldspato). A movimentação total ROM, incluindo estéril, foi de 93.446 toneladas desse filito. Constavam reservas de 21,6 milhões de toneladas medidas, 40,7 milhões de toneladas indicadas e 41,8 milhões de toneladas inferidas de filito.

PROVÍNCIAS E DISTRITOS DE MATERIAL PARA CONSTRUÇÃO CIVIL



Calcita
7,0 x 4,5 cm
Januária - MG

Foto: Andrea Ferreira
Amostra pertencente ao acervo do
MM Gerdau - Museu das Minas e do Metal

9. PROVÍNCIAS E DISTRITOS DE MATERIAL PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

Minas Gerais, além da grande participação na produção de minerais metálicos, também destaca-se na produção e consumo de insumos minerais para construção civil, como as rochas calcárias, agregados (brita e areia) e argila. Em relação à arrecadação da CFEM/2019 no estado, os insumos para construção civil (juntamente com as rochas ornamentais) estão em terceiro lugar, totalizando mais de 32 milhões de reais (ver Capítulo 1). As rochas calcárias estão em quarto lugar no *ranking* de substâncias minerais em arrecadação da CFEM, com 0,9% da arrecadação total (ver Capítulo 1). Ferro e ouro participaram com 94,9% do total da CFEM em 2019.

9.1. ROCHAS CARBONÁTICAS (CALCÁRIO E DOLOMITO)

Em Minas Gerais, as principais jazidas de calcário calcítico, calcário dolomítico e dolomito estão situadas na Província Carbonática da Bacia do São Francisco (Grupo Bambuí, Grupo Vazante e parte do Grupo Paranoá), nas regiões centro-norte e noroeste do estado. Destacam-se as regiões de Vazante-Paracatu, de Unaí, de Arcos-Pains, de Lagoa Santa-Sete Lagoas e de Montes Claros (Figura 9.1). Outras regiões importantes são as de Carandaí-Barroso e Ijaci, pertencentes às unidades mesoproterozoicas (Grupo Carandaí, Formação Barroso), e em depósitos menores na região leste do estado, relacionadas ao Grupo Rio Doce (Formação Tumiritinga), como em Poté e Tumiritinga e Complexo Jequitinhonha em Salto da Divisa. Também no Quadrilátero Ferrífero são registrados alguns depósitos de rochas carbonáticas dolomíticas nos grupos Itabira e Piracicaba, do Supergrupo Minas (Figura 9.1).

Segundo a ANM (COSTA *et al.*, 2019), as reservas de calcários no estado, oficialmente medidas, em 2016, eram superiores a 17 bilhões de toneladas, além de 7,23 bilhões de toneladas indicadas e 5,62 bilhões de toneladas inferidas, com 11,35 bilhões de toneladas lavráveis. Para dolomito, eram 669 milhões de toneladas medidas, 154,5 milhões de toneladas indicadas e 75,8 milhões de toneladas inferidas, com 240,8 milhões de toneladas lavráveis. Conforme a mesma fonte e para o mesmo ano, foram lavradas 43,87 milhões de toneladas ROM de calcário e apenas 15 toneladas de dolomito. A produção beneficiada foi de 36,48 milhões de toneladas

de calcário e 959 toneladas de dolomito. Os valores para dolomitos parecem um tanto discrepantes entre o que foi lavrado e o beneficiado. Esses dados são globais para o estado.

A ANM (COSTA *et al.*, 2019) apresentava no *ranking* dos 100 maiores produtores minerais do estado, em relação ao valor da produção comercializada, 15 mineadoras de calcários, uma de calcário e dolomito, três também de argila comum e duas também de cascalho e brita, distribuídas por diversas regiões. A lista dessas empresas pode ser consultada na referência acima.

Embora não constem da lista, diversas outras empresas exploram calcários e dolomitos no estado, principalmente como fonte de insumos agrícolas (pó calcário) e industrial (construção civil), nos municípios de Arcos, Bambuí, Barroso, Campo Belo, Coromandel, Córrego Fundo, Curvelo, Doresópolis, Formoso, Igaratinga, Ijaci, Itaú de Minas, Juvenília, Lagamar, Lagoa Santa, Mar de Espanha, Martinho Campos, Matozinhos, Montes Claros, Pains, Paracatu, Pedro Leopoldo, Poté, Prados, Prudente de Morais, São João del-Rei, São José da Lapa, Sete Lagoas, Uberaba, Unaí, Vazante.

O principal uso de rochas carbonáticas está ligado à indústria da construção civil (cimenteira, brita e concreto) e à atividade agrícola (pó calcário). É normal a mesma indústria atuar fornecendo insumos aos dois segmentos.

Conforme informação obtida no site <https://cimento.org/cimento-no-brasil/>, consultado em 26/05/2020, com dados de 2017 e comentários até 2019, em Minas Gerais, operavam na indústria cimenteira as empresas Votorantim (marcas brasileiras Votoran, Poty, Itaú, Tocantins), InterCement, Grupo Camargo Corrêa (marcas Cauê, Cimpor, Zebu, Goiás), LafargeHolcim (marcas Lafarge, Montes Claros, Mauá, Holcim), CSN (marca CSN), Tupi (marca Tupi) e CRH (marcas Campeão e Alvorada). Até 2014, a indústria cimenteira nacional vinha em expansão, quando começou uma retração na produção e consumo nacionais, chegando, em 2019, com várias fábricas fechadas e ociosidade de cerca de 50%, apesar de uma leve retomada no consumo nacional, da ordem de 3,42%, naquele ano.

Na Revista Brasil Mineral nº 392 (ALVES, 2019a), consta que a Votorantim possuía 27 minas em atividade no Brasil, em 2018, com exploração de argila, brita, filito, folhelho, gipsita e calcário, sendo apenas uma em Minas Gerais, Mina Taboca, em Itaú de Minas.

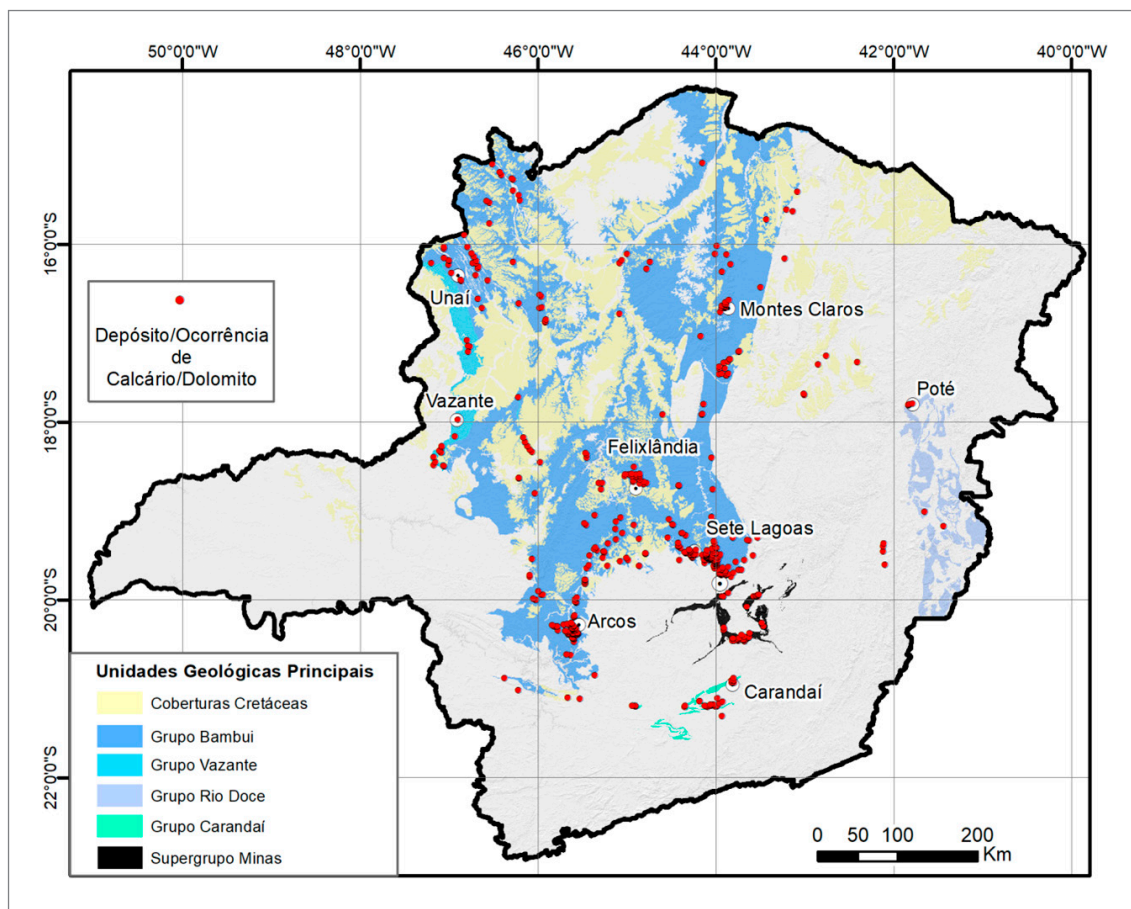


Figura 9.1 - Mapa geológico simplificado com destaque para os principais depósitos de rochas carbonáticas. Modificado de Pinto e Silva (2014b). Elaboração própria.

Outra empresa de destaque na produção de calcário para a indústria cimenteira é a LafargeHolcim, com atuação nas regiões Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste. A Lafarge atua em Minas Gerais, desde 1959, nas áreas de fabricação de cimento, produção de concreto, terminais cimenteiros e opera uma pequena usina hidrelétrica. Em 2018, estavam em atividades as minas de calcário e argila comum Bom Jardim (em Matozinhos), Boa Vista (em Montes Claros) e Serra dos Varões (em Arcos). Também produz argila comum nas minas Fazenda Bois (em Montes Claros) e Gordura (em Arcos).

A InterCement, com produção de cimento e clínquer, controla cerca de 30 pedreiras no Brasil, algumas em Minas Gerais (em Igaratinga e Pedro Leopoldo), com capacidade instalada de produção de 18 milhões de toneladas por ano.

A Mineração Belocal (controlada pelo Grupo Lhoist do Brasil, que comprou a divisão de cal industrial da Votorantim, em 2004) atua na Mina Matozinhos, com extração de calcário.

A Revista Minérios & Minerais nº 403 (2019), www.revistamineros.com.br, apresentava entre as maiores minas em operação em Minas Gerais, em 2018, baseado em informações das próprias empresas (algumas não

informam), a Mina Taboca, em Itaú de Minas (Votorantim Cimentos), Mina Casa da Pedra, em São João del-Rei (Mineração Jundu), minas Fort Cal Pains e Fort Cal Pains/ Amargoso, em Pains (Fort Cal Indústria Comércio e Transporte).

Em outros municípios, atuavam (a lista não é completa) diversas empresas em empreendimentos mineiros de portes pequeno a grande, segundo a classificação da ANM (MINÉRIOS & MINERAIS, no397, 2018):

1. Arcos, *Bocaina*, Agrimig Calcário Agrícola; *Cupins*, Mineração Arcos; *Limeira*, Mineração Belocal; *Mãe D'água*, Mineração Leal e Rosa; *Malícia*, Indústria de Cal Assunção; *Procal*, Pró Calcáreo; *Supercal Pains*, Supercal Pains (Arcos);
2. Bambuí, *Pedreira do Coutinho*, Cabal Calcário Bambuí;
3. Campo Belo, *Mina Natureza*, Viver Minas Mineração;
4. Coromandel, *Minas Coromandel 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8*, Ercal Empresas Reunidas de Calcário;
5. Córrego Fundo, *Mina Cal Oeste*, Cal Oeste; *Mina Fazenda Boqueirão*, Mineração Ducal Indústria e Comércio;
6. Curvelo, *Mina Fazenda Antonina*, Agrocitcity Mineração;

7. *Doresópolis, Mina Bagre*, Imerys do Brasil Comércio de Extração de Minérios;
8. *Formoso, Mina Gualberto*, Calcáreo Gualberto;
9. *Igaratinga, Mina Sul e Santa Helena*, Intercement Brasil; *Serra do Macaia*, Mineração Alvarenga;
10. *Juvenília, Mina Calcedônia*, Indústria e Comércio de Calcáreo Calcedônia;
11. *Lagamar, Mina da Matinha*, Cala-Calcário Lagamar;
12. *Mar de Espanha, Mina Fazenda Boa Esperança*, Mineração Mármore Branco Mar de Espanha;
13. *Martinho Campos, Pedreira Agrícola*, Mineração Brasil Austrália;
14. *Matozinhos, Fazenda Caxambú*, Mineração Belocal; *Mina Pedra Bonita*, Eimcal - Empresa Industrial de Mineração Calcária; *Unidade Matozinhos*, Crh Sudeste Indústria de Cimentos;
15. *Montes Claros, Minas Boa Vista e Expansão*, Lafarge Brasil; *Cedro*, Jlx Mineração; *Cros*, Cros Mineração;
16. *Paíns, Mina Corumbá*, Agro Campo Comércio e Indústria; *Mina Lagoa do Retiro*, Empresa Mineração Transporte Comércio M. Costa; *Mina Lagoa Seca 1 e Mina Amargoso*, Brasical Indústria e Transportes; *Mina Cipó*, Antônio Olímpio Nogueira & Cia; *Mina Gecal*, Ical Indústria de Calcinação; *Mineração Calciolândia*, Mineração Calciolândia; *Mina Onça*, Cooperativa dos Micromineralizadores do Centro Oeste de Minas Gerais; *Mina Solo Fértil*, Solo Fértil Indústria e Comércio;
17. *Paracatú, Mina Fazenda Lagoa Rica*, Indústria de Calcário Inae;
18. *Paraopeba, Mina Brejinho*, Mineração Paraopeba;
19. *Pedro Leopoldo, Minas Manoel Carlos e Mocambo*, Intercement Brasil; *Mina Fazenda Campinho*, Holcim;
20. *Prados, Minas Laranjeiras e Mamono*, Cemtal - Cerâmica Mineração e Transportes; *Mina Mata do Ribeirão I*, Mineração Barroso Indústria e Comércio;
21. *Prudente de Moraes, Mina de Taquaril*, Eimcal - Empresa Industrial de Mineração Calcária;
22. *São João del-Rei, Pedreira São João del-Rei*, Calcinação Vitória;
23. *São José da Lapa, Mina Lapa Branca*, Ical Indústria de Calcinação; *Mina Nova Granja*, Mineração Belocal;
24. *Sete Lagoas, Mina Delta Grande Retiro 1, 2, 3, e Mina Mata Grande*, Agroindustrial Delta de Minas;
25. *Uberaba, Pedreiras Uberaba 10, 13*, Calcário Triângulo Indústria e Comércio;
26. *Unaí, Mina F4*, Britacal Ind. & Com. de Brita e Calcário Brasília;
27. *Vazante, Mina Partezani*, Partecal Partezani Calcários.

Em anos anteriores, em outros números da mesma revista, que relacionavam as 200 maiores minas brasileiras (p. ex. 2010), constavam outras minas ativas, além das já referidas, uma da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) (Mina Bocaina, em Arcos; com o mesmo nome aparece, em 2018, como da Agrimig), uma da Empresa de Cimentos Liz (Mina ECL, em Lagoa Santa), uma da Mineração João Vaz Sobrinho (Mina Cazanga, em Arcos).

9.1.1. Província Carbonática da Bacia do São Francisco

Rochas carbonáticas são encontradas no Grupo Bambuí (Figura 9.1), de idade neoproterozóica (ediacarana)–cambriana, principalmente nas formações Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré (distritos 1 a 3 e 4 em parte, abaixo); no Grupo Paranoá (Toniano; distrito 4 em parte) e no Grupo Vazante (Toniano), Formação Serra do Garrote - Membro Sumidouro; Formação Serra do Poço Verde - Membro Pamplona Superior; e Formação Serra da Lapa (distrito 5). A atividade extrativa de grande porte estava concentrada nos distritos carbonáticos:

1. Arcos-Pains, atendendo às indústrias cimenteira, siderúrgica, química e agrícola;
2. Sete Lagoas-Pedro Leopoldo-Lagoa Santa, que atende às indústrias cimenteira e construção civil (brita);
3. Montes Claros, para uso agrícola e na indústria cimenteira;
4. Unaí, principalmente para uso agrícola;
5. Faixa Vazante–Paracatu, atendendo à indústria de Pb-Zn e agrícola.

Dados sobre as minas apresentadas a seguir foram obtidos principalmente na Revista Minérios & Minerais, números 317, 335, 345, 397 e 403, com informações prestadas pelas próprias empresas consultadas e em seus portais.

9.1.1.1. Distrito Carbonático de Arcos-Pains

O Distrito Carbonático de Arcos-Pains situa-se no extremo sudoeste da Bacia do São Francisco, em domínio de calcários e dolomitos da Formação Sete Lagoas, Grupo Bambuí (Figura 9.1). Algumas das principais minas são resumidas a seguir.

Mina da Bocaina (CSN) – situada em Arcos, iniciou as atividades em 1949, produzindo 2,88 milhões de toneladas ROM de calcário calcítico, calcário dolomítico, calcário magnesiano e calcário silicoso, em 2011. A estimativa de produção ROM total, para 2012, era de 3,47 milhões de toneladas de rocha calcária. As reservas, em 2012, garantiriam vida útil até 2080, com base na produção de 2011.

Os recursos totais eram de 1,18 bilhão de toneladas de rocha calcária, com média de 40,65% de CaO, 3,96% de MgO, 16,98% de SiO₂, 1,36% de Al₂O₃ e 2,10% de Fe₂O₃. Até o momento, maio de 2020, não foram obtidos dados atualizados sobre a produção.

Conforme divulgado em portal da CSN em 05/07/2017, consulta em 27/05/2020 (http://www.csn.com.br/conteudo_pti.asp), a partir de 2011 houve ampliação e diversificação da linha de produção, com a instalação de uma unidade de clínquer, utilizado como matéria-prima na fabricação de cimento e na siderurgia. A unidade de Arcos incorpora-se ao processo siderúrgico da CSN, fornecendo fundentes para produção de aço. Os rejeitos de britagem passam por reprocessamento, com os finos de dolomitos comercializados como corretivo de solos e os de calcário calcítico usados na fabricação de cimento.

Mina Serra dos Varões (LafargeHolcim Brasil) – situada em Arcos, iniciou as atividades em 1999. Em 2011, a produção foi de 865.500 toneladas de calcário ROM, com aplicação na fabricação de cimento. Em 2018, a capacidade instalada era de 1,1 milhão de toneladas por ano. Em Arcos, a empresa conseguia britar 600 mil toneladas de calcário por ano (ALVES, 2019a).

Em matéria do jornalista Raul Mariano, Jornal Hoje em Dia de 05/08/2014, sob o título “*Lafarge e Holcim colocam cinco unidades à venda em Minas*”, constava que a Lafarge colocaria à venda a unidade de Arcos (fábrica de cimento e estação de moagem), como parte do processo de fusão com a Holcim. Pelo visto, a mina continuava ativa em 2018.

Mina Gordura (LafargeHolcim) – situada em Arcos, onde era produzida argila comum com capacidade instalada de produção e beneficiamento de 200 mil toneladas por ano, conforme dados de 2018 (ALVES, 2019a).

Mina Pains (Indústria de Calcinção - ICAL; www.ical.com.br) - em Pains, apresentou produção de 1,2 milhão de toneladas ROM de calcário em 2008, mas não consta nas estatísticas dos anos seguintes. Eram lavrados calcário calcítico e dolomítico e calcário para agregados (construção civil). Em 2008, a reserva medida era 41,3 milhões de toneladas de calcário com 53% de CaO, a indicada 15,2 milhões de toneladas de calcário com 50% de CaO e a inferida 56,5 milhões de toneladas sem teor especificado. Conforme o site da empresa (consultado em 27/05/2020), a ICAL atua na área de calcinação e produz cal virgem, cal hidratada e calcário. Entre essa unidade e a de São José da Lapa, a empresa informa possuir reservas de 1,5 bilhão de toneladas de calcário calcítico e dolomítico, com capacidade de produção de 1,8 milhão de toneladas de cal por ano na soma das duas unidades.

Mina Lagoa Seca (Brasical Indústria e Transportes) - em Pains, produziu 280 mil toneladas ROM de calcários calcítico e dolomítico, em 2008, e 190 mil toneladas ROM

de calcário, em 2009. Não constam das estatísticas dos anos seguintes. A empresa atua nos segmentos de cal virgem e cal hidratada.

Mina Fort Cal/Amargoso (Fort Cal Indústria Comércio e Transporte; www.fortcal.com.br) - conforme dados disponíveis na Revista Minérios & Minerais nº 397 (2018) e nº 403 (2019), nessa mina, em Pains, a produção ROM de calcário calcítico foi de 192 mil toneladas em 2016, 205 mil toneladas em 2017 e 216 mil toneladas em 2018, com vida útil da mina estimada em 20 anos.

9.1.1.2. Distrito Carbonático de Sete Lagoas - Pedro Leopoldo - Lagoa Santa

O Distrito Carbonático de Sete Lagoas–Pedro Leopoldo-Lagoa Santa situa-se no extremo sul da Bacia do São Francisco, desde imediatamente ao norte de Belo Horizonte até Paraopeba (Figura 9.1), distante cerca de 100 quilômetros a noroeste da capital, margeando a porção norte do Cráton do São Francisco. As rochas calcárias estão inseridas na Formação Sete Lagoas, Grupo Bambuí. Várias minas estão em atividade no distrito, produzindo material para a indústria cimenteira e brita para a construção civil. Algumas minas estavam inativas, como a da Mineração GMD Ind. & Comércio e da Mineração Paraopeba (Fazenda Mato Grande), ambas em Paraopeba. As minas mais importantes eram:

Mina ECL (Empresa de Cimento Liz) – situada em Lagoa Santa, teve o início das atividades em 1974. Em 2011, produziu 1,8 milhão de toneladas ROM de calcário calcítico, tendo argila como produto secundário. Os produtos são utilizados na indústria de cimento. A vida útil da mina era estimada em 50 anos. Sem dados atuais divulgados.

Mina Lapa Branca (ICAL) - situada em São José da Lapa, produziu 2,88 milhões de toneladas ROM de calcário em 2008, com estimativa de produção de 3,06 milhões de toneladas em 2009, mas sem indicativos de produção confirmadas nos anos seguintes.

Mina Fazenda Campinho (Holcim) - situada em Pedro Leopoldo, produziu 2,02 milhões de toneladas ROM de calcário em 2008. Não constava nas estatísticas dos anos seguintes. O material tinha aplicação na fabricação de cimento.

Mina Matozinhos ou Bom Jardim (Lafarge Holcim Cimento) - situada em Matozinhos, iniciou as atividades em 1960. Em 2011, produziu 562 mil toneladas ROM de calcário e 11.660 toneladas de argila, utilizados na indústria cimenteira. Em 2018, a lavra tinha capacidade instalada de produção de 900 mil toneladas de calcário por ano. A britagem do calcário é feita na Planta Matozinhos, com capacidade de britagem, classificação por peneiramento e homogeneização de 1,5 milhão de toneladas por ano (ALVES, 2019a).

Segundo matéria do jornalista Raul Mariano, veiculada no Jornal Hoje em Dia de 05/08/2014 sob título “*Lafarge e Holcim colocam cinco unidades à venda em Minas*”, consta que a Lafarge se desfaria da unidade fabril de cimento de Matozinhos e de moagem de Santa Luzia, como parte do processo de fusão com a Holcim. Parece que a venda não se concretizou e a fusão foi concluída.

As Figuras 9.2 e 9.3 mostram minas de calcário calcítico na Formação Sete Lagoas, do Grupo Bambuí, nos municípios de Lagoa Santa e Pedro Leopoldo, região metropolitana de Belo Horizonte. O calcário é para uso na indústria cimenteira.



Figura 9.2 - Mina em calcário calcítico da Formação Sete Lagoas, Grupo Bambuí, para uso na indústria cimenteira, em Lagoa Santa. Acervo fotográfico SGB-CPRM.



Figura 9.3 - Mina em calcário calcítico da Formação Sete Lagoas, Grupo Bambuí, para uso na indústria cimenteira, em Pedro Leopoldo. Acervo fotográfico SGB-CPRM.

9.1.1.3. Distrito Carbonático de Montes Claros

O Distrito Carbonático de Montes Claros situa-se no norte do estado, na porção oriental da Bacia do São Francisco, em domínio de rochas da Formação Lagoa do Jacaré, do Grupo Bambuí (Figura 9.1).

Na **Mina Boa Vista** (LafargeHolcim Cimento), situada em Montes Claros, as atividades iniciaram em 1991. Em 2011, foram produzidas 852 mil toneladas de calcário beneficiado. Consta que a Lafarge também explotava calcário nas minas **Fazenda Lapa Grande e Fazenda do Cedro**. Em 2018, a capacidade instalada na Mina Boa Vista era de 1,1 milhão de toneladas por ano. A britagem do calcário era feita na Planta de Calcário III, com capacidade de processar 1,2 milhão de toneladas por ano com etapas de britagem, moagem e homogeneização.

A Lafarge também produz argila comum na **Mina Fazenda Bois**, em Montes Claros, com capacidade instalada de beneficiamento de 400 mil toneladas por ano, em duas plantas.

Outras minas - também são conhecidas as minas Fala Verdade/Riacho do Canto (Brasil Mineral Ltda), Fazenda do Mato (Sobrita Ind. & Com. Ltda), Córrego das Pedras (Cros Mineração Ltda) e Fazenda Bela Vista (JLX Mineração), com produção de material para uso na construção civil.

9.1.1.4. Distrito Carbonático de Unaí

No Distrito Carbonático de Unaí, são poucos os registros sobre minas, embora seja abundante a presença de rochas carbonáticas desde Unaí até a Serra do Meio (estrutura geológica Falha Dom Bosco), situada a leste (Figura 9.1). Esse domínio tem largura média em torno de 35 quilômetros e mais de 100 quilômetros de extensão na direção NW, adentrando o estado de Goiás. São calcários pretos e dolomitos cinzentos, eventualmente rosados, com domínios dispersos ricos em estromatólitos pequenos. Afloram em faixas estreitas, com dezenas a poucas centenas de metros de largura e alongadas, em contato com pelitos (Formação Serra da Saudade, Grupo Bambuí) e/ou arenito/quartzito (Grupo Paranoá). Os mergulhos de acamamento são sempre fortes a verticalizados. Os corpos carbonáticos ocupam os flancos de serras, cujos núcleos são formados pelo arenito/quartzito. O dolomito e o calcário são utilizados como brita para uso na construção civil, pó de pedra como neutralizante de efluentes ácidos da mineração de ouro ou como corretivo de solos agrícolas.

A única empresa de mineração ativa na região, em 2012, era a Calcário INAÊ, que produzia pó dolomítico. A Pedreira Unical, que produzia calcário calcítico preto, estava embargada, e a Pedreira Britacal, que lavrava dolomito, estava desativada.

Algumas dezenas de quilômetros para leste, ao longo da Falha de São Domingos (ou Serra de São Domingos), são abundantes os corpos de calcários e dolomitos, alguns com estruturas estromatolíticas (*conophyton*) similares as do Grupo Vazante. Essa estrutura orienta-se na direção NNW com mais de 400 quilômetros de

comprimento, desde Morada Nova de Minas, em Minas Gerais, seguindo em Goiás. A única lavra conhecida ao longo da serra, em 2010, fica no município de Buritis, com nome de Serra do Espinho.

9.1.1.5. Distrito Carbonático da Faixa Vazante-Paracatu

O Distrito Carbonático da Faixa Vazante-Paracatu representa a principal faixa de dolomitos (com calcários subordinados) relacionados às rochas do Grupo Vazante (Figura 9.1). Os dolomitos são cinza a cinza-claro e rosados, de granulometria variável desde muito fina a dolarenito e dolorrudito, laminados e estromatolíticos. Têm importância econômica, principalmente, por conterem mineralizações de Pb e Zn (região de Paracatu-Vazante), servirem como corretivos de solos para grande parte do cerrado das regiões do Alto Paranaíba e noroeste de Minas e serem utilizados como brita na construção civil.

A faixa carbonática tem forma arqueada com concavidade voltada para oeste, constituindo um ‘cordão recifal’ com aproximadamente 200 quilômetros de comprimento na direção norte e balizada a oeste pela Zona de Cisalhamento Paracatu-Coromandel, de baixo ângulo, com vergência para leste. Mais detalhes dessa zona constam do capítulo que trata das mineralizações de Pb-Zn.

9.1.1.6. Outros depósitos carbonáticos na Bacia do São Francisco

Ao longo da borda ocidental da Serra do Espinhaço, ocorrem diversas exposições de calcários, constituindo pequenos distritos carbonáticos que podem ser batizados informalmente de Felixlândia, Baldim, Curvelo, Monjolos, Buenópolis, Engenheiro Navarro-Guaraciama, Francisco Sá, Capitão Enéas, Janaúba, Francisco Dumont-Claro dos Poções (Figura 9.1). Os calcários são predominantemente pretos, calcíferos, formando maciços de dimensões variadas que se intercalam no topo ou se posicionam acima de uma unidade (meta)pelítica ardosiana. Os calcários são atribuídos à Formação Lagoa do Jacaré e os (meta)pelitos à Formação Serra de Santa Helena, do Grupo Bambuí.

No domínio oeste da Bacia, são poucas as áreas de calcário em exploração. Tem-se conhecimento de uma lavra na Fazenda da Lapa em Varjão de Minas, onde a Ultracal Indústria & Comércio produzia calcário para a fabricação de cal. Em Lagoa Formosa, existia uma pedreira na Fazenda Ranchinhos; em Itaú de Minas, a Mina Taboca.

Mina Taboca – situada em Itaú de Minas, na região sudoeste do estado, na Bacia do Rio Grande, no limite meridional da *Nappe* de Passos. De propriedade da

Cia. Cimento Portland Itaú, Grupo Votorantim Cimentos Brasil, iniciou as atividades em 1937. Era a maior mina de calcário do estado, com produção de 4,64 milhões de toneladas ROM de calcário em 2011, além de argila como bem mineral secundário. O calcário destinava-se à produção de cimento, cal, calcário agrícola e argamassa.

Conforme dados disponíveis na Revista Minérios & Minerais no 397 (2018) e no 403 (2019), a produção ROM foi de 3,27 milhões de toneladas de calcário, em 2017, e de 2,96 milhões de toneladas, em 2018. Na Revista Brasil Mineral no 392 (ALVES, 2019a), consta que a capacidade instalada de produção, em 2018, era de 6,5 milhões de toneladas de calcário por ano.

O (meta)calcário aflora em lentes associadas a ardósias e filitos ardosianos do Grupo Bambuí (Ediacarano-Cambriano). Regionalmente, afloram xistos diversos (xisto granadífero e feldspático, xisto calcífero, cálcio-clorita xisto) e quartzito de outras unidades estratigráficas, provavelmente dos grupos Canastra e Araxá. As rochas do Grupo Bambuí ocorrem em faixa estreita de terreno, bordejando a *Nappe* de Passos, a sul de Passos, adquirindo maior expressão no sentido de leste nas proximidades de Itaú de Minas. As lentes de (meta)calcários (mármore) têm até 15 metros de espessura, representadas na jazida em questão. Nessa faixa também são encontrados corpos lenticulares de (meta)conglomerado ou metadiamicrito constituídos por rochas do embasamento gnáissico e associadas. O metacalcário apresenta teores variáveis de cálcio e magnésio, sendo um dos critérios para a seleção econômica e aproveitamento do material.

Ribeiro (2009) apresenta resultados litogeoquímicos realizados no (meta)calcário dessa mina, informando que calcários, na fabricação do cimento, com teores de CaO entre 43% e 54%, são misturados a argilas com SiO₂ entre 56% e 65%, Al₂O₃ entre 13% e 17%, e Fe₂O₃ entre 6 e 8%. MgO deve ser inferior a 4,5%.

Na região de **Baldim**, são conhecidas duas minas inativas que produziam material para uso na construção civil.

Na região de **Curvelo**, a MD Mineração Ltda mantinha uma mina na localidade Fazenda Santo Afonso, mas não se dispõe de informações atualizadas.

Na região de **Janaúba**, era explotado calcário na pedreira de propriedade de Antônio P.C. Lage, sem informações adicionais.

9.1.2. Província Carbonática do Cinturão Mineiro

A Província Carbonática do Cinturão Mineiro tem, como distrito principal, a região de Carandaí-São João del-Rei, além de outras ocorrências e depósitos apresentados a seguir.

9.1.2.1. Distrito Carbonático de Carandaí-Barroso-São João del-Rei

O Distrito Carbonático de Carandaí-Barroso-São João del-Rei reúne os principais depósitos fora da Bacia do São Francisco (Grupo Bambuí) (Figura 9.1), com a exploração realizada por diversas empresas de mineração. As principais minas são Pedra do Sino, Casa da Pedra e Capoeira Grande.

O calcário está associado a calcifilitos e a metassiltitos calcíferos da Fácies Barroso da Formação Prados (HEINECK, 1991; HEINECK *et al.*, 2000) ou Formação Barroso do Grupo Carandaí, como atualmente é considerado (Figura 9.1), nos arredores de Pedra do Sino.

O metacalcário calcítico é utilizado, principalmente, na produção de cimento *Portland* e, secundariamente, na indústria siderúrgica, de cal, de corretivo de solos, brita e pedra marroada.

O tipo utilizado na fabricação do cimento *Portland* é o calcário cinza-claro a cinza-azulado, de aspecto maciço predominante, com estratificação ressaltada por níveis impuros micáceos, atingindo teores de CaCO_3 superiores a 95% (VIANA, 1991). Localmente, é cortado por veios de quartzo, ocasionalmente piritosos (SILVA, 1982). No Depósito Caeté, Rolf (1953) descreve o aumento dos teores de magnésio e sílica no sentido da base do pacote carbonático, que assume um aspecto marmóreo.

As reservas totais nos municípios de Barroso e Prados eram da ordem de 29 milhões de toneladas (Relatórios Anuais de lavra - RAL 1997/98). Em São João del-Rei, são declarados outras 3,6 milhões de toneladas de calcário com baixo magnésio. As reservas são expressivas e garantem a sobrevivência do parque industrial regional, que depende do calcário ainda por muitas décadas.

Mina Pedra do Sino – de propriedade da Cimento Tupi S/A www.cimentotupi.com.br, em Carandaí, teve as atividades iniciadas em 1976. Em 2011, a produção atingiu 1,5 milhão de toneladas ROM de calcário, com estimativa de forte crescimento a partir de 2013. As reservas medidas, em 2009, eram de *ca.* 160 milhões de toneladas de calcário com 43,8% de CaO , 13,9% de SiO_2 e 1,59% de Fe_2O_3 , permitindo vida útil de mais 110 anos à mina. O material é utilizado na fabricação de cimento. Conforme dados disponíveis na Revista Minérios & Minerais no 397 (2018) e no 403 (2019) a mina produziu 2,02 milhões de toneladas ROM de calcário em 2016.

Mina Capoeira Grande (LafargeHolcim) - em Barroso, teve produção de 910 mil toneladas ROM de calcário em 2008. Conforme o site <https://revistaminerios.com.br/projeto-envolve-nova-mina-de-calcario/>, em matéria de 14/07/2015, essa mina, em 2015, tinha 1.090 metros de comprimento, 102 metros de altura e 540 metros de largura, em bancos com 14 metros.

Nesse mesmo site constava que com a reabertura, em 2015, da **Mina Mata do Ribeirão**, situada em Prados, a produção de calcário ROM da Holcim passaria dos 1,2 milhão de toneladas para aproximadamente 3,5 milhões de toneladas anuais de calcário com 88-90% de CaCO_3 na soma das duas minas, atendendo à planta de cimento da empresa. A Mina **Mata do Ribeirão**, considerada exaurida pela Companhia de Cimento Portland Paraíso, foi assumida pela Holcim em 1996. Dista cerca de oito quilômetros da fábrica de cimento instalada em Barroso.

Nesses dois locais, o calcário insere-se na Formação Barroso, Grupo Carandaí, anteriormente considerada do Grupo São João del-Rei. A unidade calcárea pode estar capeada por filito da Formação Prados. O calcário é cinza, maciço e granular. Também ocorre calcioxisto/filito ou quartzo-mica(biotita)-calcita xisto/filito cinza, de grão fino a médio.

Mina Casa da Pedra (Mineração Jundu; www.mjundu.com.br) – em São João del-Rei, teve o início das atividades em 1981. Em 2011, produziu 204 mil toneladas ROM de calcário calcítico. Conforme dados disponíveis na Revista Minérios & Minerais nº 397 (2018) e nº 403 (2019), em 2017 a produção ROM de calcário foi de 214.656 toneladas e, em 2018, de 221.662 toneladas.

Ao redor das cidades de Ijaci e Macaia, também, são encontradas algumas jazidas de calcário, denominadas Capão, Porteira de Chaves ou Passa Três e Fazenda do Macaia/Serra do Macaia. A principal área de ocorrência situa-se na Serra do Macaia, na Formação Macaia, unidade estratigráfica correlata às formações Barroso e Prados do Grupo Carandaí. O calcário é cinzento, associado a filito calcífero e filito conglomerático (SILVA, 1982). O uso principal é na produção de cal.

9.1.2.2. Outros depósitos Carbonáticos do Cinturão Mineiro

Referências a calcários, também, são feitas nos municípios de Tiradentes, Dolores de Campos, Barbacena, Ingaí (SILVA, 1982), Santo Antônio do Porto e Mar de Espanha. Desses locais, o mais importante é Mar de Espanha, mas não se dispõe de dados de produção e reservas que sejam consistentes. Os metacalcários, ou mármore, de Mar de Espanha são preferencialmente brancos, considerados como parte do Grupo Raposo, em outras épocas do Complexo Juiz de Fora e mesmo do Complexo Paraíba do Sul (Figura 9.4).

No site <http://www.marssetti.com.br/Empresa.html>, consultado em 28/05/2020, consta que a empresa Marssetti Moagem de Minérios Ltda., controladora da Mármore Branco Mar de Espanha Ltda., fundada em 1969, atuava no beneficiamento de dolomita em Mar de Espanha desde 1974. A lavra de blocos de mármore é feita pela controlada, que os fornece à Marssetti.

Destaca que a dolomita é utilizada como carga mineral inerte aplicada com polímeros e copolímeros na fabricação de “mármore sintético” para pias, lavatórios, esculturas, revestimento de paredes, cerâmicas, vidros, tinta texturizada, “marmorite”, borracha, rejuntas, refratários e outros produtos.

Trabalho anterior, “Panorama do Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimento no Estado de Minas Gerais – COMIG”, divulgado por volta de 1999 (sem data), informava que a lavra de Mar de Espanha estava inativa. Não há confirmação da situação atual.



Figura 9.4 - Pedreira de mármore branco em Mar de Espanha, com uso na construção civil. Geologia: Grupo Raposo. Acervo fotográfico SGB-CPRM.

9.1.3. Distritos Carbonáticos da Faixa Araçuaí

Rochas calcárias neoproterozóicas ocorrem em domínios do Grupo Rio Doce, na região de Tumiritinga e Poté (Figura 9.1), e do Complexo Jequitinhonha, na região de Salto da Divisa, compondo os distritos carbonáticos da Faixa Araçuaí. O calcário de Poté é impuro, com domínios cinza-claro a cinza-escuro, em parte com sulfetos, e fortemente deformado (Figura 9.5). É aproveitado como brita e corretivo de solos. Os das outras áreas ainda não haviam despertado interesse econômico.

9.2. ARGILAS

As argilas são historicamente explotadas em Minas Gerais, apresentando uma gama de aplicações industriais e na construção civil. O presente item descreve, de forma geral, as principais características dos depósitos de argilas no estado, divididas em três grandes grupos: argilas comum, plástica e refratária; argilas bentonítica; e caulim.

Dentre os produtores de argilas no estado listados pela ANM (COSTA *et al.*, 2019), referente ao Ano-base 2016, estão as empresas cimenteiras (Votorantim, InterCement, Holcim, Liz, Crh), Vale (argila refratária),

Magnesita (comum e refratária), Agroindustrial Delta de Minas (comum), Mineração Caldense (refratárias). As reservas medidas oficialmente informadas de argilas comum, plástica, refratária, ocre e caulim somadas, referentes a 2016, eram 1,23 bilhão de toneladas, no estado. A produção bruta ROM oficial, excluindo ocre, foi de 3,38 milhões de toneladas, resultando em 1,54 milhão de toneladas beneficiadas, sem considerar ocre e caulim, não informadas. Os tipos principais produzidos são as argilas comuns e refratárias.

9.2.1. Argilas comum, plástica e refratária

A maior parte das reservas de argila comum e plástica está contida geologicamente na Bacia do São Francisco (Neoproterozoico) e Bacia Sanfranciscana (Fanerozoico). Os jazimentos dessas argilas têm ampla distribuição, notadamente nas regiões de Monte Carmelo, Coromandel e Lambari, no Alto Paranaíba e no Triângulo Mineiro, importantes polos produtores de cerâmica vermelha. A argila comum também é explotada junto às lavras de calcário utilizado pela indústria cimenteira, nos polos de Arcos–Pains, Sete Lagoas–Pedro Leopoldo–Lagoa Santa e Montes Claros. A argila provém, principalmente, da decomposição das rochas pelíticas e calcárias, acumulando-se junto dos maciços rochosos ou nas várzeas. Além dessas fontes, também são lavradas em camadas de argilitos *in situ*, em pegmatitos graníticos e em granitoides com pouco quartzo e forte intemperismo químico.

São usadas na produção de tijolos, lajotas, telhas, ladrilhos de piso e manilhas (Figura 9.6), como também empregadas pela indústria cimenteira como clínquer do cimento, participando em cerca de 15% da massa total.

Conforme dados disponibilizados em números da Revista Minérios & Minerales (200 Maiores Minas Brasileiras) dos anos de 2010 a 2012:



Figura 9.5 - Pedreira de calcário calcítico da Formação Tumiritinga, Grupo Rio Doce, em Poté, MG. Essa jazida pertencia à Companhia Mineradora de Minas Gerais (Comig), posteriormente CODEMIG e CODEMGE. Acervo fotográfico SGB-CPRM.

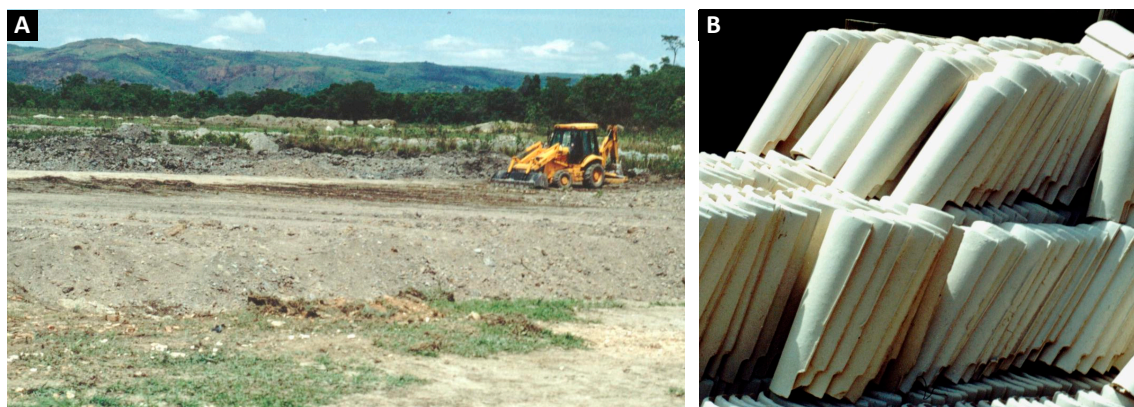


Figura 9.6 - A: Lavra de argila comum para a indústria de cerâmica (telhas e tijolos). B: Telhas coloniais. Ambas da Cerâmica Barro Branco, em Guarda-Mor. Fotos cedidas pelo geólogo Carlos R. Valle.

1. Em 2008, foram destaque as minas Palmital e Monjolo (Holcim), em Pedro Leopoldo e Barroso, respectivamente. A argila é derivada do intemperismo sobre rochas carbonáticas impuras. Palmital produziu 260 mil toneladas ROM e Monjolo 78 mil toneladas ROM de argila comum.

2. Em 2010, destacaram-se as minas Gordura e Fazenda Bois (Lafarge Cimentos), em Arcos e Montes Claros, respectivamente. Gordura produziu 148,5 mil toneladas ROM de argila comum, com movimentação total (ROM e estéril) de 984 mil toneladas; Fazenda Bois (começou em 1991) produziu 111,5 mil toneladas, atingindo movimentação total (ROM e estéril) de 1,05 milhão de toneladas. Toda a argila era utilizada pela Lafarge na fabricação de cimento em suas instalações (atualmente LafargeHolcim).

As reservas medidas de argilas comuns e plásticas em 2016 eram 965 milhões de toneladas e de argilas refratárias 219 milhões de toneladas. Nesse mesmo ano foram lavradas 2,99 milhões de toneladas ROM de argilas comum e plástica e 221 mil toneladas ROM de argila refratária, no estado. No total resultaram em 1,47 milhão de toneladas de argilas comum e plásticas e em 70 mil toneladas de argila refratária beneficiadas (ANM, 2019).

9.2.2. Argila bentonítica

A região do Alto Paranaíba ou Planalto da Mata da Corda apresenta ampla ocorrência de rochas vulcânicas piroclásticas com potencial para conter jazimentos de argilas bentoníticas. Eram conhecidas 41 ocorrências ou depósitos distribuídos pelos municípios de São Gotardo, Carmo do Paranaíba, São Gonçalo do Abaeté, Arapuá, Lagoa Formosa, Patos de Minas e Presidente Olegário, embora não existam minas desse material (CABRAL; SALIN FILHO; DEQUECH, 1969). As reservas calculadas possuem aproximadamente 26 milhões de toneladas.

Em depósitos de Carmo do Paranaíba, a argila bentonítica é principalmente do tipo nontronítico e provém da alteração de lavas e tufos vulcânicos (ou cineritos) da Fácies Patos, Formação Mata da Corda. Em depósitos de São Gonçalo do Abaeté, argila bentonítica montmorilonítica constitui a matriz de arenitos da Fácies São Gonçalo, (CABRAL; SALIN FILHO; DEQUECH, 1969) do Grupo Mata da Corda.

A presença de altas concentrações de opacos (magnetita), nos tufos, e de quartzo, nos arenitos, dificulta ou tem inviabilizado o aproveitamento econômico do material. Além disso, a argila bentonítica mostrou-se muito pouco expansiva, não justificando o uso como lama em sondagem rotativa. Situação similar ocorreu em argilas de fonte vulcânica da região de Sacramento, mostrando altos teores de magnetita e baixa expansibilidade. Esses resultados foram conseguidos em ensaios de laboratório, feitos na década de 1980, para empresa de sondagens sediada em Belo Horizonte, pelo geólogo Claiton P. Pinto e pelo engenheiro de minas Ieso C. Coutinho.

9.2.3. Caulim

O caulim representa um grupo de aluminossilicatos argilosos, resultado do intemperismo e alteração de rochas sedimentares de fontes pelítica e carbonática e de rochas ígneas ricas em feldspatos, como pegmatitos graníticos e leucogranitos de grão grosso, abundantes no nordeste e leste do estado e presentes também em outras regiões.

No passado, intensa atividade extrativa de caulim foi implantada na Zona da Mata, incluindo os municípios de Juiz de Fora, Belmiro Braga, Bicas, Pequeri, Cataguases, Mirai, Ubá, Mar de Espanha e São Miguel do Anta. Porém, grande parte dos depósitos foi exaurida ou a ocupação urbana inviabilizou as lavras. O caulim provinha de pegmatitos graníticos e tinha uso na indústria da construção

civil (argamassa, tintas, cerâmica), de cosméticos e como carga na indústria de papel, mas neste caso necessitava de blendagem com caulim de melhor qualidade.

A atividade extrativa também era conhecida na região de São João del-Rei-Tiradentes. São jazimentos estratiformes, relacionados a processos de enriquecimento supergênico (caulinização) sobre filitos sericíticos, intercalados ou não em quartzitos dos grupos São João del-Rei ou Carandaí. Na região, existem mais de duas centenas de pegmatitos graníticos, dos quais alguns foram ou estão sendo lavrados como fonte de minerais metálicos (Sn, Ta), mas não há informações sobre o aproveitamento econômico dos rejeitos como fonte de minerais industriais ou de caulim.

O caulim também era explotado na porção oriental do Quadrilátero Ferrífero, nas proximidades de Amarantina, nas lavras Olaria, Fazenda do Campo, Saboeiro, Lapa e Moreira, em domínio do Complexo Bação e na lava de Córrego Mato da Fábrica, em rochas metassedimentares clásticas do Grupo Nova Lima (HEINECK *et al.*, 2000). A morfologia dos depósitos é irregular e resultam de alteração superficial de rochas feldspáticas. As reservas e produção eram pequenas.

A noroeste de Belo Horizonte, no município de Cachoeira da Prata, o caulim resulta da alteração de rochas graníticas pobres em minerais máficos (Figura 9.7).



Figura 9.7 - Lavra de caulim em rocha granítica. Cachoeira da Prata, MG. Acervo fotográfico SGB-CPRM.

No extremo meridional da Bacia do São Francisco, nas regiões de Vespasiano, Sete Lagoas e Onça do Pitangui, ocorrem pacotes espessos de ritmitos argilosos brancos a cinzentos com lâminas arroxeadas, atribuídos à Formação Carrancas, porção basal do Grupo Bambuí, que constituem-se em importantes fontes de argila primária, talvez caulinítica (Figura 9.8 e 9.9).

Na região ao norte de Teófilo Otoni, Carajás e Novo Cruzeiro, ocorrem planaltos formados sobre leucogranitos de grão grosso, neoproterozoicos ediacaranos, fontes potenciais de caulim por alteração intemperística e acumulação

residual do material caulinítico junto com quartzo. O material oriundo de leucogranitos dessa região é um caulim grosso associado a grãos milimétricos de quartzo.

Rochas vulcanoclásticas da Unidade Serra do Tombo, aqui redefinida como formação, pelo menos em parte assentadas sobre leucogranitos, são de idade desconhecida, possivelmente entre o Cambriano e o Cretáceo (PAES; HEINECK; MALOUF, 2008; HEINECK *et al.*, 2008), com maior probabilidade de geração no Mesozóico durante a abertura do Atlântico (PAES *et al.*, 2010). As melhores exposições estão na Serra do Tombo, região ao sul de Itinga, na Chapada do Ceará, Vale do Córrego Novo (na Folha Itaobim 1:100.000) e na região a leste de Tuparecê (no SE da Folha Comercinho 1:100.000). Ocorrem regionalmente entre as cotas de base próxima de 750 metros e geralmente até 850 metros, mas em alguns locais pode chegar a até 1000 metros de altitude, provavelmente recebendo influência da superfície ou ciclo de aplainamento sulamericano, terciária-quaternária.



Figura 9.8 - Ritmito argiloso da Formação Carrancas, Grupo Bambuí, em corte da BR-040, entre Melo Viana e Sete Lagoas. Material similar ao da Figura 9.7. Coordenadas aproximadas UTM 582373E, 7830930S, zona 23K. Acervo fotográfico SGB-CPRM.



Figura 9.9 - Ritmito argiloso da Formação Carrancas, Grupo Bambuí, em Onça do Pitangui, na estrada entre Serra dos Ferreiras e Rio do Peixe. Lavra da Cerâmica Saffran. Coordenadas UTM 528730E - 7823987S, zona 23K. Acervo fotográfico SGB-CPRM.

Na unidade, os autores descrevem diversos tipos de tufos e ilustram com ótimas fotos mostradas em Paes *et al.* (2010). Permanecem pelo menos algumas dúvidas: qual a fonte desse vulcanismo, onde ela estaria e qual a idade?

Nessas cotas, outros planaltos foram considerados como cobertura de material detrito-laterítico residual, onde ainda não foi observada ou confirmada a presença de rochas vulcanoclásticas.

Sobre as chapadas, formadas sobre os leucogranitos brancos de grão grosso, podem ocorrer depressões rasas orladas por mata baixa ou cerrado, e nas escarpas das encostas formam-se franjas brancas com alguns metros de espessura (Figura 9.10). Essas superfícies aplainadas podem concentrar acumulações de material caulínico, mas ainda não despertaram interesse como fonte de material industrial, seja como material cerâmico ou de uso direto na construção civil. O material caulínico, embora não tenha passado por testes laboratoriais, mostra-se texturalmente “grosso”, associado a muito quartzo granular desagregado, podendo, aparentemente, ser utilizado como enchimento/carga, não sendo apropriado, em princípio, para acabamento. Talvez possa ter aproveitamento após beneficiamento.

As reservas medidas de caulim em Minas Gerais, oficialmente informadas pela ANM (COSTA *et al.*, 2019), referentes a 2016, eram 21,5 milhões de toneladas, com outras 18,6 milhões de toneladas indicadas, 69,7 milhões de toneladas inferidas e 16,1 milhões de toneladas lavráveis. A produção nesse mesmo ano foi de 156 mil toneladas ROM, sem indicação da quantidade beneficiada.

O Anuário Mineral Brasileiro – AMB 2011, com dados referentes a 2010, mostra reservas de caulim medidas e lavráveis em diversos municípios dos vales dos rios Jequitinhonha, Mucuri e Doce. Também consta, no site da ANM (ANM, 2018), uma relação de empresas mineradoras com títulos minerários para caulim, mas nem todas em operação, dentre elas a Caolim Azzi Ltda, Empresa de Caolim Ltda, Mineração Anasteve Ltda., aparentemente as principais.

A título de exemplo, na **Mina São Miguel do Anta** (Caolim Azzi), situada no município homônimo, foram explotadas 40 mil toneladas ROM de caulim em 2008 e 25 mil toneladas em 2010, resultando nesse ano em 800 toneladas de caulim beneficiado. A reserva medida era de 400 mil toneladas e a indicada de 500 mil toneladas. O caulim de São Miguel do Anta tem origem na alteração intempérica de pegmatitos, sendo rico em quartzo, com impurezas de muscovita, microclina e gibbsita, com as frações não magnética e alvejada apresentando também picos de ilita. Análise química em uma amostra de material caulínico bruto apresentou 19,98% de Al_2O_3 , 72,7% de SiO_2 , 0,84% de K_2O , 0,36% de Fe_2O_3 e 6,14% de PF com $\Sigma=99,93\%$ (ROLAND; BERTOLINO, 2012; BERTOLINO *et al.*, 2012). Quanto à alvura, a lavra em pegmatito sofre restrições técnicas, em função dos caulins de melhor qualidade ocorrerem nas proximidades da rocha fresca, que também mostra maiores concentrações de ferro nas formas de óxidos e hidróxidos, atuando como contaminantes (PINHEIRO *et al.*, 2005).

A **Mina Silício**, da GMA Mineradora, em Jequitibá, com início de operação em 2011, apresentou produção ROM e beneficiamento no britador de 2.500 toneladas de quartzo e caulim em 2018, conforme a Revista Minérios & Minerales nº 403, de outubro/novembro de 2019 (www.revistaminerios.com.br). O caulim é de granulometria fina, atendendo às especificações como cargas minerais industriais, conforme informação da GMA. Análises por difração de RX (XRF), fornecidas no site da empresa GMA (<http://www.minasilicio.com.br/default.asp>), consultado em 29/05/2020, mostravam resultados em porcentagem em peso para caulim “branco pérola” e “amarelo ouro” com valores respectivos de Al_2O_3 (16,69% e 17,10%), CaO (0,014% e 0,016%), Fe_2O_3 (1,482% e 7,156%), Fe (1,036% e 5,004%), K_2O (2,683% e 2,713%), MgO (0,71% e 0,78%), MnO (<0,01% e 0,019%), Na_2O (<0,1% e <0,01%), P_2O_5 (0,017% e 0,050%), SiO_2 (72,60% e 65,69%), TiO_2 (1,036% e 0,992%), LOI (4,72% e 5,46%).

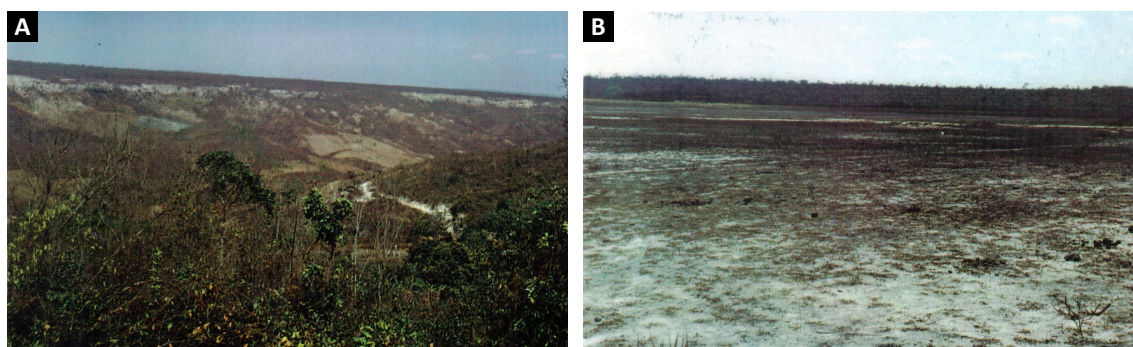


Figura 9.10 - Foto à esquerda: superfície caulínica sobre rochas leucograníticas, ressaltada pela franja branca, resultante de intemperismo. Foto à direita sobre a chapada registrada na foto a esquerda, mostrando superfície caulínica em forma de depressão rasa, onde acumula água no período de chuvas. Superfícies esculpidas sobre leucogranitos grossos e, eventualmente, sobre rochas vulcanoclásticas félsicas da Formação Serra do Tombo. Chapada a NNW de Teófilo Otoni, no Vale do Mucuri. Acervo fotográfico SGB-CPRM.

9.3. AGREGADOS

Os agregados para construção civil podem ser classificados como: “*materiais granulares, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades estabelecidas para uso em obras de engenharia civil, tais como, a pedra britada, o cascalho e as areias naturais ou obtidas por moagem de rocha, além das argilas e dos substitutivos como resíduos inertes reciclados, escórias de aciaria, produtos industriais, entre outros*” (LA SERNA; REZENDE, 2009). No presente Texto, foram considerados agregados a brita e/ou cascalho e a areia de qualquer natureza, insumos fundamentais na indústria da construção civil, incluindo obras de engenharia civil de todos os tipos.

A ANM classifica os agregados em: 1. **Areia (areia)**; 2. **Areias Industriais (areia industrial, quartzo industrial, quartzo e sílex)**; 3. **Rochas (Britadas) e Cascalho (brita e cascalho)**. Neste texto, as areias foram reunidas em um único grupo e as rochas britadas e cascalho em outro.

Segundo a norma NBR 7211 – ABNT, agregado miúdo é aquele que fica retido em peneira de malha 0,075mm e passa pela malha de 4,8mm. Agregado graúdo fica retido na malha de 4,8mm e passa na malha de 152mm. Pedregulho e cascalho têm granulometria entre 4,8mm e 100mm. O termo “bica corrida” representa o material que sobra no britador e não passa por beneficiamento, sem graduação definida, reunindo brita, pedrisco e pó de pedra.

Segundo a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção (Anepac), o mercado nacional de agregados vinha sofrendo retração, pelo menos até 2016, consequência da redução de grandes obras de engenharia no país, refletindo no mercado mineiro. Em 2015, a retração no consumo nacional de agregados chegou a 30% em relação ao ano anterior (ALVES, 2016a), e em Minas Gerais a menos 29%, mas mesmo assim a quantidade produzida estimada chegava a ser o dobro da produção de minério de ferro, com 741 milhões de toneladas da soma brita e areia em 2014, contra 356 milhões de toneladas de minério de ferro, segundo a Anepac. Acrescentando-se calcário como bem mineral de uso na construção civil como cimento, a produção aumentaria cerca de 10%, com aproximadamente 70 milhões de toneladas de cimento produzidas em 2013 (TEMPESTA, 2016), ou chegando a 830 milhões de toneladas anuais na soma dos três insumos (ALVES, 2016a). Segundo Amaral (2016), os dados são um pouco diferentes, mas também de retração, chegando na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) a quase 15% em 2015, comparado ao ano anterior, e a quase 25% em 2016, em comparação com 2015, refletindo na queda da arrecadação da CFEM em 12,5%, conforme atestavam dados do DNPM, atual ANM.

É inegável que a construção civil funciona como termômetro do funcionamento da economia, refletindo

momentos de expansão e retração. Nos últimos anos, o setor de agregados sofreu quedas continuadas e, em 2019, os índices de produção retroagiram a valores de 2003-2006, com uma tendência a crescimento em 2019 e início de 2020 (Anepac, Areia e Brita, ed.75, abril/2020). Na avaliação da Anepac (ALVES, 2016a), em um cenário otimista, a demanda estimada por agregados seria de 543 milhões de toneladas em 2018 e 2019. Em um cenário moderado, a demanda seria de 347 milhões de toneladas em 2019. A produção nacional de agregados, em 2019, praticamente atingiu o cenário otimista, com 514 milhões de toneladas, conforme dados da Anepac. Com a crise mundial causada pela pandemia da covid-19, em 2020, mesmo com o incremento de 2019, provavelmente haverá queda futura, embora o mercado brasileiro tenha imensa necessidade de insumos dessa natureza. Mesmo assim, Minas Gerais se mantém o primeiro ou segundo lugares em número de licenciamentos ou autorizações para exploração de agregados no país, com até cerca de 20% do total dos licenciamentos emitidos até 2016.

Outro fator limitante ou dificultador do crescimento e fortalecedor da retração do segmento de agregados é a ocupação desordenada do solo, com muitas cidades crescendo sobre áreas de mineração já implantadas, que passam a ser impedidas de continuar funcionando por questões ambientais, logística e por órgãos públicos diversos. A distância entre a fonte e o consumidor aumentando, onera o custo final pelo frete. Os produtores de menor porte acabam desistindo do negócio legal e outros, clandestinos, contribuem para aumentar ainda mais o problema da retração pela venda de produtos sem recolhimento de tributos (Anepac; AMARAL, 2016).

Um alento ao setor de agregados é o uso de agregados na agroindústria, principalmente no uso direto como fertilizantes e corretivo de solos (calagem ou rochagem), com assimilação direta de nutrientes minerais pelos vegetais. Já são usados assim o calcário-dolomito (Ca + Mg), gipsita (sulfato de cálcio – CaSO₄), rochas ígneas básicas (basalto, diabásio, gabro; fontes de Fe, Mg, Ni, Cr, Co, Cu) e outras. O material britado e moído teria aplicação direta no solo. Isso também contribuiria para reduzir os estoques e pilhas de finos nas plantas de britagem.

Conforme dados da Anepac, Revista Areia e Brita (AMARAL, 2016), Minas Gerais participava com 12% da produção nacional de agregados, ficando atrás apenas de São Paulo. A RMBH é constituída por 34 municípios e outros 16 no chamado colar metropolitano. A população estimada nesses 50 municípios em 2019, era de 5,96 milhões de habitantes conforme o IBGE, sendo 2,5 milhões só em Belo Horizonte, distribuída em superfície total de 14.979 quilômetros quadrados. Considerando a população do estado, estimada em 21 milhões de pessoas em 2020 e a produção de cerca de 62 milhões de

toneladas de agregados (12% do valor Brasil), o consumo/demanda médio *per capita* estaria em cerca de 2,9 a 3,0 toneladas por habitante ao ano (t/h/a) no estado e, provavelmente, maior na região metropolitana e menor em cidades menores. Esse valor médio é um pouco inferior ao apresentado pelo DNPM (LA SERNA; REZENDE, 2009), para o estado de São Paulo por volta de 2008, de 3,5 t/h/a e para a região metropolitana 4,2t/h/a. Informações com dados até 2001, indicavam consumo nacional médio de agregados da ordem de 2,4t/h/a, com a demanda crescendo a uma taxa de 1,1 a 1,2 vezes o crescimento do PIB nacional (Anepac, Revista Areia & Brita, 17/2002; MELLO; CALAIS, 2006). Aplicando-se o crescimento do PIB de Minas Gerais para o período 2002-2018 (38,0% segundo dados da Fundação João Pinheiro), sobre o consumo médio nacional de 2001, o consumo *per capita* no estado estaria em torno de 3,31t/h/a, bem próximo do valor informado para o estado de São Paulo, e corroborando estimativa apresentada pouco acima de ca. 3t/h/a, visto ter havido significativa retração de mercado nos últimos anos.

A relação entre brita (agregado graúdo) e areia comum é estimada 1:1,4 no caso do concreto e até 1:2 na argamassa.

9.3.1. Brita

Conforme a Anepac (<https://Anepac.org.br/agregados/areia-e-brita>; site de 22/nov/2018, consultado em 26/05/2020): *“A brita ou pedra britada é um bem mineral que pode ser constituído de vários tipos de materiais rochosos, disponíveis nos locais de extração e caracteriza-se como um material que, depois de sofrer desmonte por explosivos, britagem e classificação, pode ser usada in natura, ou misturada com outros insumos (cimento, asfalto, areia, etc.) e utilizada na construção civil.”*

A britagem de rochas pode passar por diversas etapas mecânicas, em meio seco ou úmido, ser ou não lavada para a retirada de finos e classificada. A tendência é usar os finos de britagem, como “areia britada ou de britagem”.

Os grandes maciços rochosos de calcário na Bacia do São Francisco e os granitoides, nas porções oriental e meridional do estado, permitem a produção de brita de tipos variados. Na Região Metropolitana de Belo Horizonte, é comum a brita de granitoides e de calcários, mas o calcário é preferencialmente usado na indústria cimenteira e só o material impróprio é vendido como brita. A demanda é perfeitamente atendida pela produção atual.

Segundo dados da ANM (COSTA *et al.*, 2019) referentes à 2015 e 2016, constantes do Anuário Mineral Estadual – Minas Gerais, a produção de rochas britadas e cascalho (conforme é agrupada no Anuário) foi de

17,4 milhões de toneladas em 2015 e de 16,9 milhões de toneladas em 2016, com beneficiamento de 18,90 milhões de toneladas e 14,85 milhões de toneladas, respectivamente. Percebe-se redução na produção em 2016, principalmente quanto à fração beneficiada, chegando a apenas 78% da produção do ano anterior. No *ranking* das 100 maiores empresas mineiras em relação à participação percentual no valor total da comercialização no estado, 20 constavam entre o 40º e o 96º lugares, em 2015, e 17 entre o 44º e 95º lugares, em 2016. Entre essas, poucas também produziam outros bens minerais, como ferro, gemas, quartzo, calcário e rochas ornamentais. A relação das empresas pode ser vista no Anuário da ANM acima referido.

Na Revista Minérios & Minerales no 397, de outubro/novembro de 2018, estavam listadas cerca de 120 empresas produtoras de britas no estado. Algumas dessas pedreiras são apresentadas sumariamente a seguir, com informações obtidas na revista em exemplares de 2018 e 2019 e em alguns anteriores. Ressalte-se que as informações são prestadas pelas próprias empresas mineradoras e algumas não aderem à pesquisa. São números mostrados aqui a título de ilustração dos tamanhos dos empreendimentos, mesmo que defasados no tempo por falta de informações mais atuais.

Pedreira Fazenda dos Borges (Mineração Fazenda dos Borges) - situada em Pedro Leopoldo, produz pedra britada a partir de calcário do Grupo Bambuí. Em 2010, foram produzidas 2,09 milhões de toneladas de pedra britada, com estimativa de produção de 2,8 milhões de toneladas em 2012. A reserva total chegava a 85 milhões de toneladas, das quais 35 milhões de toneladas de reserva medida, garantindo vida útil estimada até 2035 para a mina. A brita é utilizada na indústria siderúrgica e na construção civil.

Pedreira Belmont São Gonçalo do Rio Abaixo (Belmont Mineração) - situada em São Gonçalo do Rio Abaixo, produziu 350 mil toneladas de brita a partir de rocha gnáissica, em 2010. A reserva total estava avaliada em 20 milhões de toneladas. O material é integralmente utilizado como agregado para a construção civil.

Pedreira Belmont Itabira (Belmont Mineração) – situada em Itabira. A produção atingiu 250 mil toneladas de brita de gnaiss em 2010. A reserva medida era de 4,25 milhões de toneladas. O material também é utilizado como agregado para a construção civil.

Pedreira EBAM (Britasul Indústria e Mineração) - instalada em Pouso Alegre e em atividade desde 1999, produziu, em 2018, cerca de 518 mil toneladas ROM de rocha (gnaisse) e beneficiou cerca de 550 mil toneladas de brita. As reservas medidas foram divulgadas em 9,25 milhões de toneladas, estimando vida útil da mina para mais 18 anos (MINÉRIOS & MINERALES, nº 403, 2019).

Em 2016, a produção ROM foi de 393 mil toneladas e, em 2017, cerca de 530 mil toneladas (MINÉRIOS & MINERALES, nº 397, 2018).

Pedreira Beira Rio (Construtora e Pedreira Beira Rio; www.pedreirabeirario.com.br) - instalada em Uberaba, com início de produção em 2001, produziu 406 mil toneladas ROM de rocha (basalto) em 2018, tendo britado no mesmo período 428 mil toneladas de rocha. A reserva medida era de pouco mais de 8,25 milhões de toneladas de rocha, estimando vida útil da mina em 20 anos, na produção atual. A produção ROM, em 2016, foi 600 mil toneladas (MINÉRIOS & MINERALES, nº 397, 2018 e nº 403, 2019).

Na região de Nova Lima, a Mina **Mostardas** (Pedras Congonhas Extração Arte e Indústria (<http://www.pedras-congonhas.com.br>) teve as atividades de lavra iniciadas no final da década de 1970. Em 2010, foram explotadas 325 mil toneladas ROM de serpentinito, chegando em 2018 a 350 mil toneladas ROM lavradas e processadas, resultando da planta de beneficiamento 250 mil toneladas de rocha britada. Em 2018, só a reserva medida era superior a 34 milhões de toneladas, suficiente para garantir a vida útil da mina por cerca de 100 anos, nos valores atuais. A reserva inferida era de 285 milhões de toneladas de serpentinito (MINÉRIOS & MINERALES, nº 335, outubro 2011 e nº 403, out/nov 2019). No site da empresa, em 06/06/2020, era informada uma reserva média de 350 milhões de metros cúbicos, diferente da informada na revista, principalmente no que se refere a peso e volume.

A empresa atua com insumos para as áreas de construção, siderurgia e agricultura. No início, a produção visava o mercado de serpentinito ornamental. Pouco depois mudou o foco para o setor siderúrgico de coque. Desde o ano 2000, também atende à construção civil regional, com britas de diversas especificações, pedra de mão, bica corrida, pó de pedra e outros, como informado no site da empresa, visitado em 06/06/2020. Na área de insumos agrícolas, fornece matéria-prima fonte de MgO (dunito com MgO>38% e Mg total = 24%), como fertilizante mineral simples, e serpentinito com MgO>29%, como remineralizador de solos. A empresa destaca que tem capacitação técnica para a produção de silicato de magnésio para uso como carga mineral em plásticos e borrachas.

9.3.2. Areia

No conceito da Anepac (<https://Anepac.org.br/agregados/areia-e-brita/> consultado em 26/05/2020): “A areia é conceituada na indústria como um bem mineral constituído predominantemente por quartzo de granulção fina e pode ser obtida a partir de depósitos de leitos de rios e planícies aluviais, rochas sedimentares e mantos de alteração de rochas cristalinas.” Outro conceito adotado

é de conotação granulométrica, considerando areia como “...um material granular solto, não coesivo, constituído de partículas de dimensão 0,06mm a 2,0 mm.”

Ainda segundo a Anepac - Revista Areia e Brita ano 22 - edição 73 - outubro/2018 a janeiro/2019, a lavagem do pó de pedra retira da brita a fração fina, uma areia chamada *areia de brita ou areia de britagem*. Os principais benefícios dessa areia são: “Granulometria uniforme; Isenção de elementos contaminantes; Homogeneidade; Otimização do uso de mão de obra (não é necessário peneiramento do material); Controle sistemático da produção; Redução do custo com transporte; Redução do impacto ambiental”. Também fazem parte desses benefícios “o formato arredondado dos grãos que facilita o uso do produto no concreto” e “a ausência de matéria orgânica”, uma propriedade importante no uso da areia em diversas aplicações. A areia de britagem tem baixa quantidade de fração pó, com comercialização até a granulometria de 4,8 milímetros.

O reaproveitamento crescente dos finos de britagem, na produção de areia de brita ou areia de britagem, mantendo padrões de qualidade mais regulares e controlados, é uma tendência aparentemente sem retorno. Um ponto contrário pode ser o custo de produção mais elevado, o que onera o produto final e dificulta a competição com a areia de fonte aluvial. Mas, ao mesmo tempo, é uma solução para o consumo de pilhas de finos de rejeitos. Em 2016, atuavam seis empresas na produção e comercialização de areia industrial (de brita), com cerca de 120 mil toneladas por ano. O processo de beneficiamento dos finos da britagem teve como uma das pioneiras a empresa Martins Lanna, de Minas Gerais, no início na década de 1980. Inicialmente, o processo de classificação granulométrica era realizado por via úmida em circuito fechado, passando, no início deste século, a ser conduzido também a seco. No circuito via úmida, a água pode ser reaproveitada (ANEPAC - REVISTA AREIA E BRITA, ano 22 - edição 73 - outubro/2018 a janeiro/2019).

A ANM trata como **areias industriais** quatro produtos: areia industrial, quartzito industrial (não ornamental), quartzo (não cristal ou piezelétrico) e sílex. Em 2016 (ANM, 2019), as reservas medidas eram 193 milhões de toneladas de areia industrial, 364 milhões de toneladas de quartzito industrial, 147 milhões de toneladas de quartzo e 975 mil toneladas de sílex. É possível que esses nomes sejam apenas para fins de requerimentos de pesquisa e lavra, mas na realidade trata-se de areias até comuns. As reservas de areia em Minas Gerais são praticamente inesgotáveis, dada a imensa presença de rochas granito-gnáissicas, quartzitos e arenitos e a intensa rede de drenagens de todos os portes. Não fica claro o que é considerado pela ANM quartzito industrial, mas não se trata de quartzito ornamental, visto ser este apresentado em outro campo, no grupo das “Rochas Ornamentais”.

Também o quartzo com outros fins é tratado no grupo “Quartzo (Cristal) e Outros Piezelétricos”. O quartzo do grupo das areias pode incluir aquele de desmonte direto de rochas arenosas, como arenitos e quartzitos, como ocorria na região da Zona da Mata Mineira em quartzitos do Grupo Andrelândia ou Grupo Raposos. As reservas oficialmente apresentadas, com absoluta certeza, são muito inferiores à realidade geológica do estado. Referem-se a relatórios de áreas pesquisadas pelas empresas mineradoras com alvarás de pesquisas ou concessões de lavra.

A produção global bruta ROM, oficialmente declarada em 2016, foi de 4,9 milhões de toneladas de areia, 189 mil toneladas de areia industrial, 202 mil toneladas de quartzito industrial, 846 mil toneladas de quartzo e pouco mais de 1,2 mil toneladas de sílex, somando 6,15 milhões de toneladas acumuladas. Após beneficiamento, resultaram 636 mil toneladas de areia, 165 mil toneladas de areia industrial, 150 mil toneladas de quartzito industrial, 328 mil toneladas de quartzo e 1400 toneladas de sílex, resultando 1,28 milhão de toneladas beneficiadas, resultando em pouco mais de 20% aproveitável ou recuperado no beneficiamento. O bem que mais perde no beneficiamento é a areia, possivelmente pelo processo de lavagem com separação de frações muito finas (argilas) e grossas (seixos e outros).

Lavras de areia comum existem na periferia de praticamente todas as cidades do estado. A presença

de grandes domínios de rochas arenosas junto à Serra do Espinhaço e do Cabral (centro-leste do estado), na região de Araxá até a divisa com Goiás (metassedimentos arenosos da Faixa Brasília), no sul do estado (domínios dos grupos Andrelândia, Canastra, Raposos, Carandaí e outros) favorece a presença de depósitos de areia. O mesmo acontece junto às amplas coberturas de rochas sedimentares arenosas do domínio central das bacias do São Francisco (Formação Três Marias) e Sanfranciscana (Formação Urucua e Grupo Areado).

A areia tem uso principalmente como agregado ao cascalho ou brita no concreto, em argamassa, em diversos artefatos de concreto pré-fabricados, filtros, abrasivos e em uma infinidade de outros usos na indústria em geral.

Os principais polos de exploração de areia estão na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), ao norte da capital, envolvendo principalmente os municípios de Nova Serrana, Bom Despacho, Perdigoão, Cachoeira da Prata, Esmeraldas, Pedro Leopoldo e Vespasiano (Figura 9.11). São areias silicosas, praticamente isentas de matéria orgânica, oriundas do intemperismo das rochas granito-gnáissicas do embasamento e de sequências supracrustais arenosas. Acumulam-se nas calhas de drenagens ou constituem depósitos nas várzeas. Nos depósitos de várzeas, podem ocorrer lentes de argila intercaladas nos leitos de areia, algumas delas aproveitadas como subproduto.



Figura 9.11 - A) Depósito de areia na margem do Rio Lambari, entre Bom Despacho–Nova Serrana; B, C, D) Extração de areia na região a noroeste de Belo Horizonte. Acervo fotográfico SGB-CPRM.

A poluição em alguns rios favoreceu o deslocamento dos locais de extração regular de areias para o polo de Esmeraldas, onde também concentram-se outros produtores não autorizados ou licenciados, podendo chegar a 40% os empreendimentos clandestinos, conforme relatos de produtores citados por Amaral (2016). No município de Esmeraldas, em 2016, eram quase 80 empreendimentos com licenciamento para exploração de areia, cerca de 72% do total da RMBH, conforme dados da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais (SEMAD).

De um modo geral, as lavras de areia são bastante simples, realizadas através de dragas com bombas de sucção (chupadeiras), nos leitos dos rios ou em cavas nas várzeas. A areia retirada dessa forma, geralmente passa por um processo de peneiramento e deslamagem (areia lavada). Em lavra nas várzeas, feita com pá carregadeira, a areia é transportada em caminhões caçamba sem nenhum beneficiamento. Essas areias abastecem, sobretudo, o mercado da construção civil da RMBH.

Uma areia de qualidade especial é produzida pela **Mineração Ômega**, em Santa Cruz de Minas. A jazida encontra-se no extremo sudoeste da Serra de São José.

A Serra de São José, com altitude máxima em torno de 1300 metros, é formada por quartzitos do Grupo São João del-Rei (EBERT, 1967), com metamorfismo em fácies xisto-verde (VALERIANO, 1985). Ribeiro *et al.* (2003) adotaram o conceito de Megassequência São João del-Rei, como equivalente da Formação Tiradentes (LEONARDOS, 1940), representando uma sucessão essencialmente quartzítica com 1000 metros de espessura, rica em estruturas sedimentares primárias, exposta nas serras do Lenheiro e São José, situadas nos arredores de São João del-Rei, Santa Cruz de Minas, Tiradentes e Prados. Esses autores reconheceram quatro sequências deposicionais distintas, que chamaram de Tiradentes (quartzito, metaconglomerado e metarenito seixoso), São José (quartzito), Tejuco (quartzito, metapelito e metacalcário estromatolítico) e Lenheiro (metapelito, quartzito fino, quartzito, quartzito seixoso e metaconglomerado quartzolítico), esta a mais espessa, com cerca de 600 metros. Nos trabalhos de elaboração do Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais executado pelo SGB-CPRM em parceria com a CODEMIG, integrante do mesmo projeto (PINTO; SILVA, 2014a), foi adotada a nomenclatura

estratigráfica do Serviço Geológico do Brasil, em acordo com o Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica (SBG, 1986), retomando o termo Grupo São João del-Rei. As sequências de Ribeiro *et al.* (2003) passaram a compor as formações integrantes do grupo.

Consta que a mineração Ômega (UTM 582083E / 7665057S, zona 23K) iniciou suas atividades nesse local em 1940, com a produção de areia britada para uso na indústria vidreira de Santa Catarina. Em 1981, foi criada a Área de Proteção Ambiental (APA) São José – MG, que envolve a área da mina. Desde 2004, existe também o “Refúgio de Vida Silvestre Libélulas Serra São José”, com 80% da área considerada unidade de conservação de proteção integral, podendo estar nessa região até 50% das espécies de libélulas identificadas em Minas Gerais e quase 20% das espécies brasileiras.

A Mineração Ômega lava um quartzito fino, branco e puro, que beneficiado por processos de britagem, moagem e classificação transforma-se em areia especial com pureza de 99,9% de sílica (quartzo) e baixo ferro, com aplicação industrial na fabricação de argamassas colantes e massa pronta. Essa areia também é utilizada na indústria química, farmacêutica, eletrônica, laboratório, vidreira. Era também utilizada na limpeza de moinhos, em laboratórios de preparação de amostras de rochas para análises químicas.

Em 2018, foram produzidas e processadas no britador 100 mil toneladas ROM de quartzito, resultando em 80 mil toneladas de areia quartzítica, conforme dados fornecidos pela Ômega à Revista Minérios & Minerais e publicados na edição de outubro-novembro de 2019. Segundo essa fonte, a vida útil estimada da mina é de 200 anos.

Fora essa lavra organizada e autorizada da Ômega, também há denúncias de extração clandestina de quartzito em outros pontos da serra, principalmente no município de Prados, conforme relatos na imprensa regional em diversos momentos.

Outros depósitos de areias especiais (ou industriais) de alta pureza, utilizadas na indústria vidreira, de abrasivos e de fundição, são conhecidos no domínio do Quadrilátero Ferrífero, nas serras da Paina, do Galinheiro, dos Trovões e do Pico. Derivam da decomposição de quartzito sericítico, protoquartzito, ortoquartzito e metachert do Grupo Caraça, podendo ocorrer em acumulações lenticulares a estratiformes *in situ* (HEINECK *et al.*, 2000).

PROVÍNCIAS E DISTRITOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS



Serpentinito
80 x 80 x 3 cm
Nova Lima - MG
Foto: Pedras Congonhas

10. PROVÍNCIAS E DISTRITOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS

As rochas ornamentais e de revestimento compreendem os materiais geológicos naturais que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados por meio de esquadreamento, polimento, lustro e outros acabamentos de face. Seus principais campos de aplicação abrangem tanto peças isoladas, como esculturas, tampos e pés de mesas, balcões, lápides e arte funerária em geral, quanto edificações, destacando-se, neste caso, os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, colunas, pilares, soleiras, dentre outros.

10.1. PANORAMA DAS ROCHAS ORNAMENTAIS NO ESTADO DE MINAS GERAIS

O mais completo e talvez único levantamento sistemático das atividades produtivas de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais, no estado de Minas Gerais, foi realizado pela Cia. Mineradora de Minas Gerais (COMIG), em 1998, através do Projeto Diagnóstico do Setor de Rochas Ornamentais do Estado de Minas Gerais. Esse projeto cadastrou 15 centros produtores (Figura 10.1), incluindo 185 frentes ativas de lavra em 53 municípios, além de 26 empresas operando 64 teares multilâminas de aço, todos de fabricação nacional, em 20 diferentes municípios (Tabela 10.1). A produção de lavra então estimada somou quase 1,3 milhão de toneladas/ano, tendo as exportações estaduais totalizado US\$ 72,7 milhões em 1997. Os terrenos geológicos, à época considerados favoráveis para as rochas exploradas, são apresentados na Tabela 10.2

Outros projetos de destaque associados à antiga COMIG incluem o Panorama do Setor de Ardósias do Estado de Minas Gerais (GROSSI-SAD *et al.*, 1998) e o Projeto para Montagem de Central de Beneficiamento de Rochas Ornamentais na Cidade de Governador Valadares, MG (CHIODI FILHO *et al.*, 2016; CODEMIG, 2016). Além desses trabalhos, também merecem destaques os seguintes estudos:

- Aspectos de Interesse para o Setor de Rochas Ornamentais no Estado de Minas Gerais, elaborado para a COMIG em 2000, (CHIODI FILHO, 2000);
- Identificação, Caracterização e Classificação de Arranjos Produtivos de Base Mineral e Demanda Mineral Significativa no Brasil, elaborado pelo Instituto Metas/Federação das Indústria do Estado de Minas Gerais (FIEMG) para o Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) (INSTITUTO METAS, 2002);

- Projeto Minas Ambiente. Controle Ambiental na Mineração de Quartzito. Pedra São Thomé, coordenado pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - DESA/Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, (DESCHAMPS *et al.*, 2002);
- Projeto Rochas de Minas. Estudo da Competitividade do Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimento do Estado de Minas Gerais, elaborado pelo Instituto Euvaldo Lodi - IEL-MG para o Sindicato Intermunicipal da Indústria de Rochas Ornamentais no Estado de Minas Gerais - SINROCHAS-MG/ FIEMG, (INSTITUTO EUVALDO LODI, 2003);
- Diagnóstico da Indústria de Ardósia de Papagaios e Região: Sindicato Intermunicipal da Indústria de Rochas Ornamentais no Estado de Minas Gerais, elaborado pelo IEL-MG para o SINROCHAS-MG/ FIEMG, (IEL, 2004);
- Detalhamento de APLs de Base Mineral. Ardósia. Papagaio/MG, elaborado pelo IEL-MG para o MCT, (IEL, 2006a);
- Detalhamento de APLs de Base Mineral. Quartzito. São Thomé das Letras/MG, elaborado pelo IEL-MG para o MCT, (IEL, 2006b);
- Gestão de Passivos Ambientais na Mineração. Plano de Ação para Sustentabilidade do Setor de Rochas Ornamentais. Quartzito São Thomé das Letras. Projeto Associado 4174, elaborado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente, (FEAM, 2009);
- Gestão de Passivos Ambientais na Mineração. Plano de Ação para Sustentabilidade do Setor de Rochas Ornamentais. Ardósia Papagaios, (FEAM, 2010);
- Gestão de Passivos Ambientais na Mineração. Plano de Ação para Sustentabilidade do Setor de Rochas Ornamentais. Ardósia Papagaios. Implementação do Plano de Ação (CHIODI FILHO; CHIODI, 2014);
- Estudo da Competitividade do Setor de Rochas Ornamentais no Brasil. 5º Relatório de Andamento. Avaliação da Competitividade do Setor de Rochas Ornamentais no Estado de Minas Gerais, elaborado pela Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais, (CHIODI; RIBEIRO, 2018).

De forma mais ou menos exaustiva, esses estudos e projetos discutiram a sustentabilidade econômica e ambiental da atividade produtiva de materiais rochosos naturais de revestimento no estado de Minas Gerais, destacando a necessidade do aproveitamento dos resíduos da lavra e beneficiamento como insumos

industriais diversos, além da necessidade de verticalização da cadeia produtiva visando à elaboração e comercialização, nos mercados interno e externo, de produtos

industrializados semiacabados e acabados. Conforme será discutido a seguir, nenhum desses dois objetivos foi alcançado.

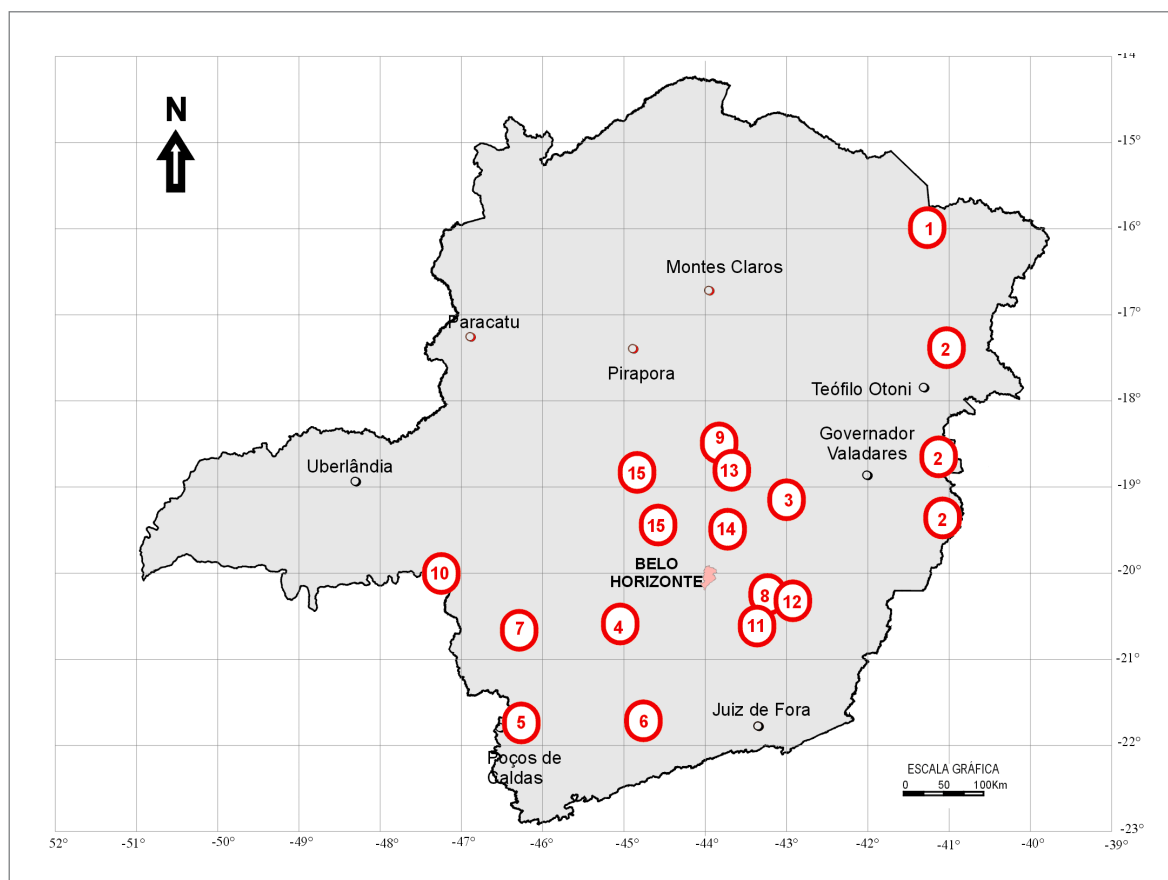


Figura 10.1 - Localização dos principais centros produtores de rochas ornamentais e de revestimento em Minas Gerais. Fonte: COMIG 1998 *apud* IEL-MG, 2003.

Tabela 10.1 - Distribuição municipal das lavras de rochas ornamentais em Minas Gerais

TIPO DE ROCHA (TOTAL LAVRAS)	MUNICÍPIO E Nº DE LAVRAS
Granito (82)	Candeias (11), Cachoeira de Pajeú (11), Itapecerica (10), São Francisco de Paula (5), Medina (4), Águas Vermelhas (3), Caldas (3), Camacho (3), Cláudio (3), Comercinho (3), Mantena (3), Piracema (3), Aimorés (2), Alfenas (2), Carmo da Mata (2), Novo Oriente de Minas (2), Oliveira (2), Serrania (2), Campestre (1), Campo Belo (1), Dolores de Guanhanes (1), Itueta (1), Passa-Tempo (1), Pavão (1), Santa Cruz de Salinas (1), Santa Rita de Caldas (1).
Ardósia (28)	Papagaios (11), Felixlândia (5), Paraopeba (4), Curvelo (3), Pompéu (2), Caetanópolis (1), Leandro Ferreira (1), Martinho Campos (1).
Quartzito (54)	São Thomé das Letras (15), Luminárias (10), Mariana (8), Alpinópolis (7), Capitólio (3), São João Batista do Glória (3), Datas (2), Diamantina (2), São José da Barra (2), Gouveia (1), Ouro Preto (1).
Mármore (3)	Córrego D'Anta (2), Ouro Preto (1).
Pedra Lagoa Santa (9)	Pedro Leopoldo (8), Funilândia (1).
Pedra-Sabão (5)	Gouveia (2), Acaiaca (1), Datas (1), Mariana (1).
Serpentinó (3)	Conselheiro Lafaiete (1), Sacramento (1), Piranga (1).
Pedra Preta Mariana (1)	Mariana (1).
Total de 185 lavras cadastradas em 53 municípios de Minas Gerais. Fonte: COMIG, 1998.	

Tabela 10.2 - Domínios geológicos favoráveis para rochas ornamentais em Minas Gerais

TIPO DE ROCHA	LOCALIDADE	UNIDADE GEOLÓGICA	ERA/EON (IDADE) GEOLÓGICO
Granitos marrons	Centro Produtor Caldas	Complexo Alcalino de Poços de Caldas	Mesozoico (~ 75 m.a.)
Ardósia	Papagaios / Felixlândia	Formação Santa Helena, Grupo Bambuí	Proterozoico Superior (~ 500-700 m.a.)
Mármore	Campos Altos	Formação Serra da Saudade, Grupo Bambuí	
Pedra Lagoa Santa	Pedro Leopoldo / Funilândia	Formação Sete Lagoas, Grupo Bambuí	
Granitos homogêneos	Centro Produtor Medina	Rochas graníticas da Faixa Araçuaí	
Quartzitos foliados	São Thomé das Letras	Grupo Andrelândia	Proterozoico Médio (~ 1400-1700 m.a.)
Quartzitos foliados	Alpinópolis	Grupo Canastra	
Quartzitos e quartzitos foliados	Diamantina	Grupo Diamantina, Supergrupo Espinhaço	
Mármore tipo Aurora	Quadrilátero Ferrífero	Formação Gandarela, Grupo Itabira, Supergrupo Minas	Proterozoico Inferior (~ 2400- 2660 m.a.)
Quartzitos foliados/ plaqueados	Ouro Preto / Mariana	Grupo Caraça, Supergrupo Minas	
Granitos esverdeados e esbranquiçados homogêneos	Centro Produtor Rio Doce-Mucuri	Complexo Juiz de Fora, rochas graníticas diferenciadas	Arqueano - Proterozoico Inferior (~ 2500-2800 m.a.)
Serpentinitos, pedra-sabão, pedra-talco	Quadrilátero Ferrífero	Supergrupo Rio das Velhas	Arqueano (~ 2700-3100 m.a.)
Pedra-sabão, pedra-talco	Serro / Datas	Sequências Serra da Serpentina, Rio Mata-Cavalo, Rio Paraúna	
Serpentinitos avermelhados	Sacramento	Rochas correlacionadas ao Morro do Ferro e Fortaleza de Minas	
Granitos multicores movimentados	Centro Produtor Candeias	Complexos Barbacena e Campos Gerais	Arqueano/Proterozoico Indiviso (terrenos gnáissico-migmatíticos de evolução policíclica)
Granitos avermelhados	Centro Produtor Caldas	Corpos graníticos do Complexo Varginha	
Granitos marrom-amarelados	Guanhães	Complexo Guanhães	

Fonte: COMIG, 1998.

10.1.1. Evolução da Produção Estadual

A partir de dados estimados em trabalhos da COMIG/CODEMIG e ABIROCHAS, a produção de rochas ornamentais no estado de Minas Gerais, evoluiu de quase 1,3 milhão t em 1998 para 2,5 milhões t em 2013, recuando então para o patamar de 1,8 milhão t em 2020.

Neste sentido, ao longo dos últimos 20 anos, pode-se observar:

- a quase paralisação da lavra de granitos a sudoeste de Belo Horizonte, na região de Candeias e municípios vizinhos;
- incremento da produção de granitos nas regiões nordeste e leste do estado, na área de abrangência dos denominados centros produtores, Medina e Rio Doce/Mucuri;

- o desenvolvimento da lavra de pegmatitos e quartzitos maciços, também nas porções nordeste e leste do estado; e
- a redução do montante da produção de ardósias e quartzitos foliados, premidos pela questão ambiental e desvalorização de seus produtos comerciais nos mercados interno e externo.

10.1.2. Evolução das Exportações Estaduais

A trajetória das exportações constitui o principal retrato do desempenho do setor de rochas no estado de Minas Gerais. Destaca-se, em primeiro lugar, que essas exportações foram superiores as do Espírito Santo até o ano de 1998 (Figura 10.3), quando atingiram US\$ 74,8 milhões (MG) e US\$ 70 milhões (ES). Em 1998, as exportações de Minas Gerais representaram

36% do total do faturamento das exportações brasileiras de rochas, ficando o Espírito Santo com 33% desse total.

As exportações de Minas Gerais evoluíram até um máximo de US\$ 213 milhões em 2011, quando as do Espírito Santo já atingiam US\$ 709 milhões e as do Brasil US\$ 1 bilhão. No pico histórico das exportações brasileiras (US\$ 1,3 bilhão em 2013), aquelas do Espírito Santo somaram US\$ 1.016 milhões e as de Minas Gerais

apenas US\$ 207 milhões. Desde 2011, quando atingiram os referidos US\$ 213 milhões, as exportações de Minas Gerais experimentaram recuo contínuo até 2020 e permaneceram cada vez mais distantes das brasileiras e capixabas (Figuras 10.2 e 10.3).

Tal tendência foi particularmente aguda para ardósias e quartzitos foliados, cujas exportações recuaram, respectivamente, de US\$ 96 milhões e US\$ 34 milhões, em 2008, para US\$ 42 milhões e US\$ 5 milhões, em 2020 (Figura 10.4).



Figura 10.2 - Evolução das exportações de rochas ornamentais e de revestimento do estado de Minas Gerais.
Fonte: Comex Stat - (mdic.gov.br).

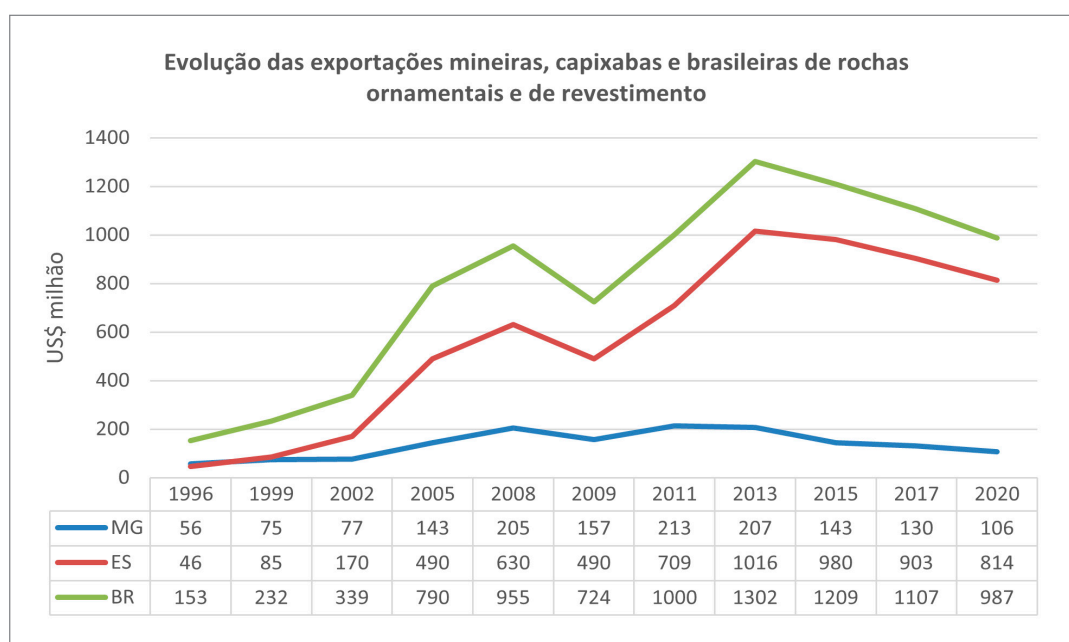


Figura 10.3 - Evolução das exportações mineiras, capixabas e brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento.
Fonte: Comex Stat - (mdic.gov.br).

As exportações de 2020 incluíram produtos de ardósia, blocos de granito, produtos de pedra-sabão e blocos de quartzito maciço, como principais itens comercializados; as chapas de granito somaram apenas US\$ 3 milhões e compuseram 2,7% do total exportado (Tabela 10.3 e Figura 10.5).

Assim, de uma participação de 36% em 1998, as exportações de rochas ornamentais de Minas Gerais

representaram apenas 10,7% do faturamento das exportações brasileiras de rochas em 2020, com restrita presença de rochas beneficiadas entre os produtos comercializados.

As Figura 10.2, 10.3, 10.4 e 10.5 e a Tabela 10.3 foram elaboradas a partir de dados estatísticos de comércio exterior disponibilizados no portal Comex Stat - (mdic.gov.br).

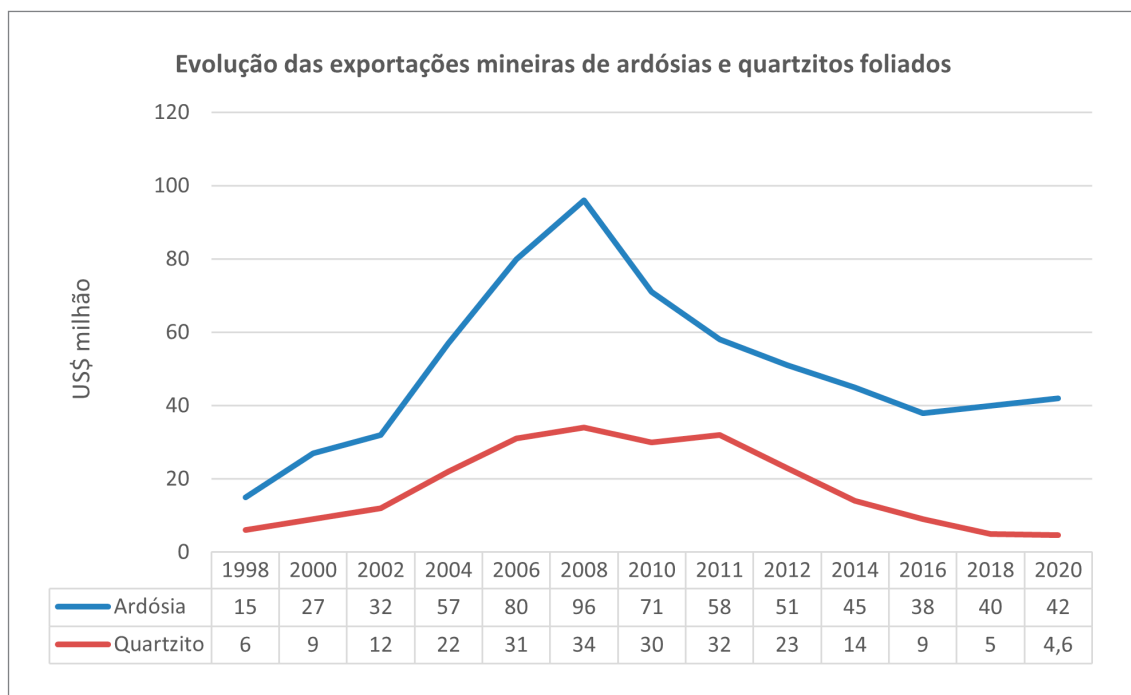


Figura 10.4 - Evolução das exportações mineiras de ardósias e quartzitos foliados.
Fonte: Comex Stat - (mdic.gov.br).

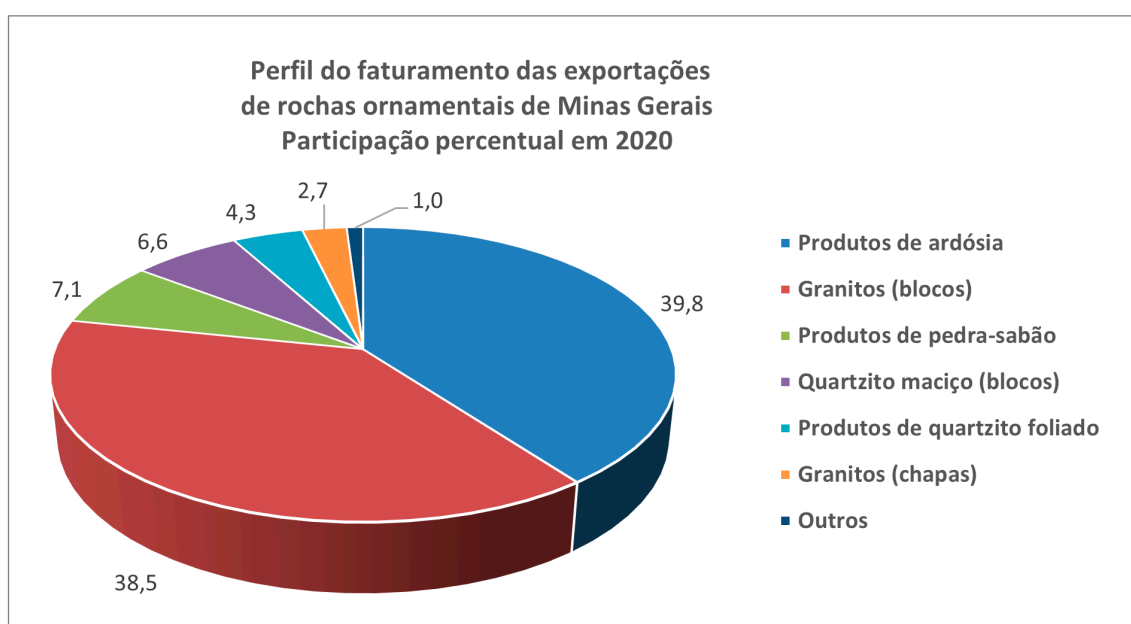


Figura 10.5 - Perfil do faturamento das exportações de rochas ornamentais de Minas Gerais.
Participação percentual em 2020. Fonte: Comex Stat - (mdic.gov.br).

Tabela 10.3 - Perfil do faturamento das exportações de rochas ornamentais de Minas Gerais para 2020.

Fonte: Comex Stat - (mdic.gov.br).

PRODUTOS	FATURAMENTO (US\$ MILHÃO)	PARTICIPAÇÃO (%)
Produtos de ardósia	42,2	39,8
Granitos (blocos)	40,8	38,5
Produtos de pedra-sabão	7,5	7,1
Quartzito maciço (blocos)	7	6,6
Produtos de quartzito foliado	4,6	4,3
Granitos (chapas)	2,9	2,7
Outros	1	1
Total	106	100

10.1.3. Distribuição Municipal da Produção e Exportações

O projeto elaborado pela CODEMIG (CHIODI FILHO *et al.*, 2016), relativo à montagem de uma central de beneficiamento em Governador Valadares, permitiu identificar os municípios mineiros de origem das exportações de rochas brutas (Tabela 10.5) e a localização dos arranjos produtivos ativos de rochas no estado (Figura 10.6). Também permitiu reafirmar os tipos de rochas exploradas à época e os principais produtos exportados. Os tipos de rochas e produtos exportados puderam ser inferidos pelos códigos fiscais (SH₄) utilizados pelos exportadores, conforme quadro abaixo (Tabela 10.4).

As Figuras 10.7, 10.8, 10.9, 10.10, 10.11, 10.12 e 10.13 mostram a localização dos 50 municípios de origem das exportações de 2015, com as respectivas posições fiscais (SH₄) adotadas pelos exportadores, volume físico e faturamento das exportações (CHIODI FILHO *et al.*, 2016).

Tabela 10.4 - Posição Fiscal e Tipos de Rochas/Produto Exportado

POSIÇÃO FISCAL (SH ₄)	TIPO DE ROCHA / PRODUTO EXPORTADO
2516	Blocos de granito e rochas similares.
6803	Produtos de ardósia.
6801	Produtos de quartzito foliado.
6802	Chapas, especialmente polidas, de granitos, quartzitos, além de chapas de outros produtos e pedra-sabão.
2526	Produtos de pedra-sabão, incluindo blocos e material moído.
2515	Blocos de mármore
2506	Blocos de quartzito; quartzo.

Tabela 10.5 - Municípios de origem das exportações mineiras de rochas ornamentais (CHIODI FILHO *et al.*, 2016).

Nº	MUNICÍPIO	Nº	MUNICÍPIO
1	Almenara	26	Guapé
2	Andradas	27	Inimutaba
3	Araçuaí	28	Itinga
4	Ataleia	29	Lagoa Santa
5	Baependi	30	Luminárias
6	Belo Horizonte	31	Mariana
7	Cachoeira de Pajeú	32	Martinho Campos
8	Campo Belo	33	Mata Verde
9	Candeias	34	Medina
10	Caraí	35	Nova Belém
11	Caratinga	36	Nova Lima
12	Carmo da mata	37	Ouro Preto
13	Carmo de Minas	38	Padre Paraíso
14	Caxambu	39	Papagaios
15	Conselheiro Lafaiete	40	Paraopeba
16	Contagem	41	Pavão
17	Corinto	42	Pequeri
18	Coronel Murta	43	Pompéu
19	Cruzília	44	Ponto dos Volantes
20	Curvelo	45	Salinas
21	Dom Viçoso	46	Santa Rita de Caldas
22	Dores de Guanhões	47	São Thomé das Letras
23	Funilândia	48	Serrania
24	Gouveia	49	Teófilo Otoni
25	Governador Valadares	50	Três Corações

10.1.4. Evolução do Parque Estadual de Beneficiamento

Existem dois perfis de beneficiamento dos materiais rochosos naturais utilizados para ornamentação e revestimento: o das rochas de processamento/beneficiamento especial e o das rochas de processamento simples. As especiais envolvem a extração de blocos e o seu desdobramento em chapas, para o que podem ser utilizados teares e talha-blocos. As simples incluem materiais com planos preferenciais de delaminação, aproveitados para lavra e desdobramento de placas com ferramentas manuais. A estrutura de comercialização das rochas de processamento especial é mostrada na Figura 10.14 e as de processamento simples na Figura 10.15.

Minas Gerais produz tanto rochas de processamento simples quanto especiais. Entre as simples destacam-se as ardósias e quartzitos foliados, salientando-se os granitos, a pedra-sabão, os quartzitos maciços e os pegmatitos no grupo das especiais.

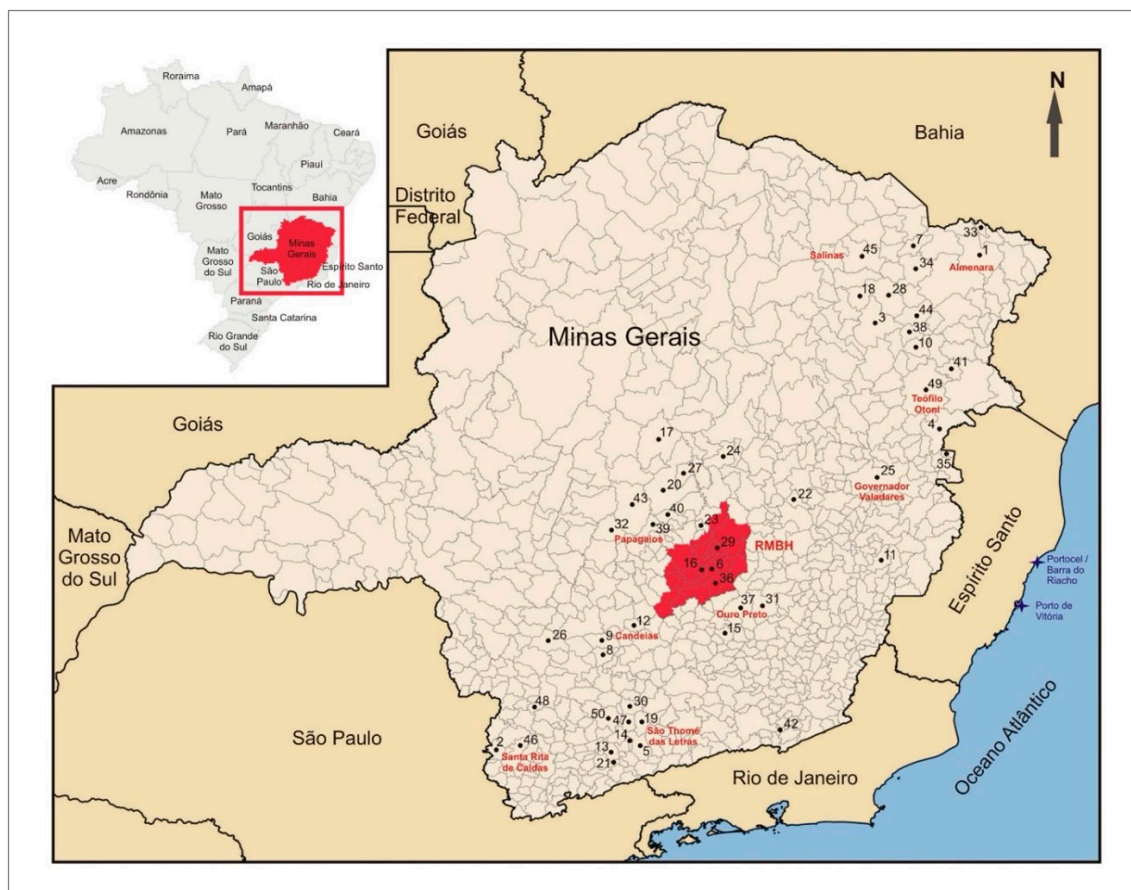


Figura 10.6 - Municípios de origem das exportações mineiras de rochas ornamentais (CHIODI FILHO *et al.*, 2016).

Todos os produtos finais das rochas de processamento simples são elaborados no próprio estado de Minas Gerais, para comercialização nos mercados interno e externo. Tendo como única exceção a pedra-sabão, as rochas de processamento especial, conforme já referido, são quase totalmente beneficiadas fora do estado.

Em 1998, a então Comig (COMIG, 1998) cadastrou 26 empresas de beneficiamento de blocos em Minas Gerais, operando 64 teares multilâminas de aço em 20 diferentes municípios do estado. Em 2020, a ABIROCHAS estimou que esse número foi reduzido a no máximo 12 máquinas ainda operantes, com acresção de um tear multifios e de quatro teares multilâminas, todos diamantados. O mesmo declínio, tanto para as atividades de beneficiamento quanto de lavra, foi registrado para os estados de São Paulo e Rio de Janeiro, também em decorrência do crescimento do Espírito Santo.

10.1.5. Desafios Competitivos

Entre os diversos estudos focados no setor de rochas ornamentais de Minas Gerais, os desafios competitivos foram principalmente analisados e apontados pelo Projeto Rochas de Minas (IEL, 2003). Sobre a realidade das pequenas empresas da área mineral, abrangendo

aquelas de rochas ornamentais, pontuou-se que sua atuação é focada em rochas e minerais não metálicos de uso industrial. Tais empresas, de maneira geral, teriam pouca familiaridade com programas institucionais de apoio e fomento tecnológico e financeiro.

O principal gargalo competitivo dessas empresas estaria relacionado ao seu elevado nível de informalidade quanto às legislações fiscais, tributárias, trabalhistas e ambientais. Atuar irregularmente implica no seu não credenciamento como beneficiárias dos agentes institucionais de fomento, sobretudo financeiros. Sua regularização, por outro lado, determinaria dificuldades de sobrevivência devido à elevada carga fiscal e tributária incidente sobre a atividade produtiva no Brasil.

Outro gargalo relevante está associado à prática não associativista entre pequenas empresas, dificultando a implementação de estratégias competitivas. Em um mercado globalizado, as empresas de menor porte não perceberam que a pressão competitiva se manifesta, sobretudo, através de produtos substitutos e da ação de países concorrentes nos mesmos produtos. As dificuldades existentes para o licenciamento ambiental das atividades de lavra, da mesma forma, não estariam permitindo isonomia competitiva entre as pequenas empresas.

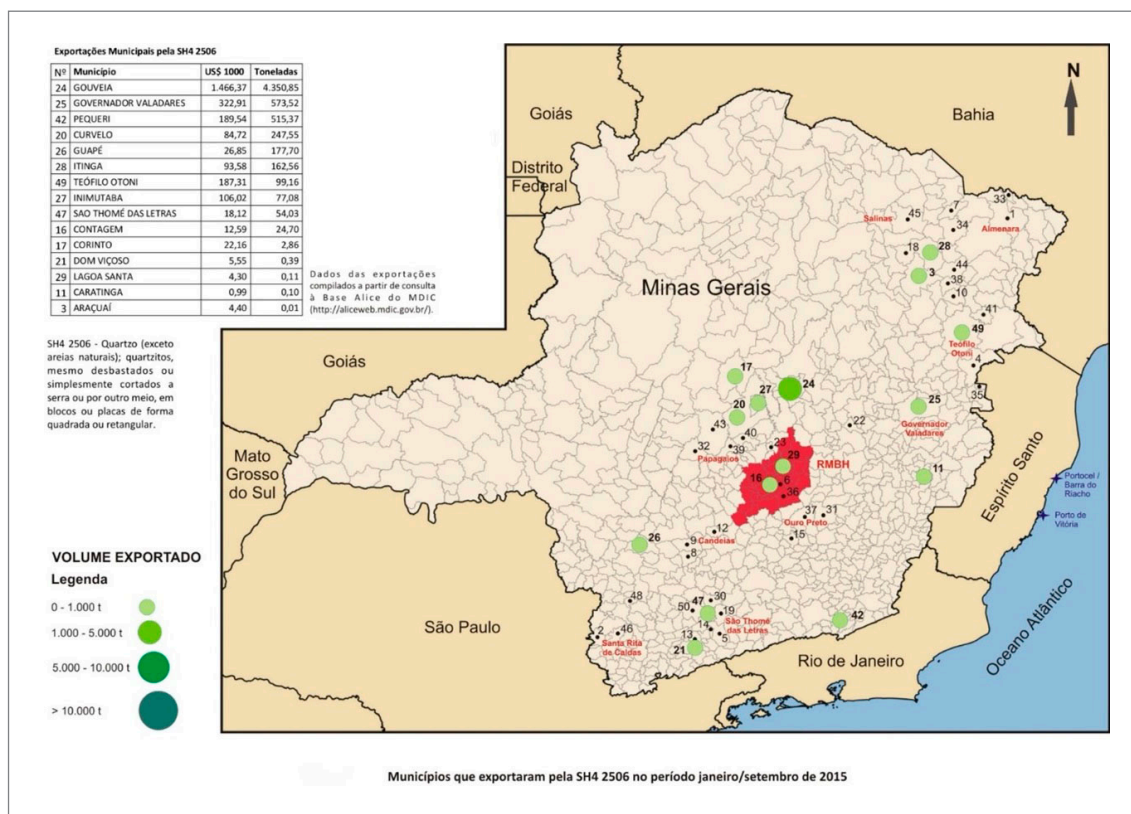


Figura 10.7 - Localização dos municípios de origem das exportações de rochas ornamentais (quartzito; quartzito) de Minas Gerais em 2015, com as respectivas posições fiscais (SH4) adotadas pelos exportadores (CHIODI FILHO *et al.*, 2016).

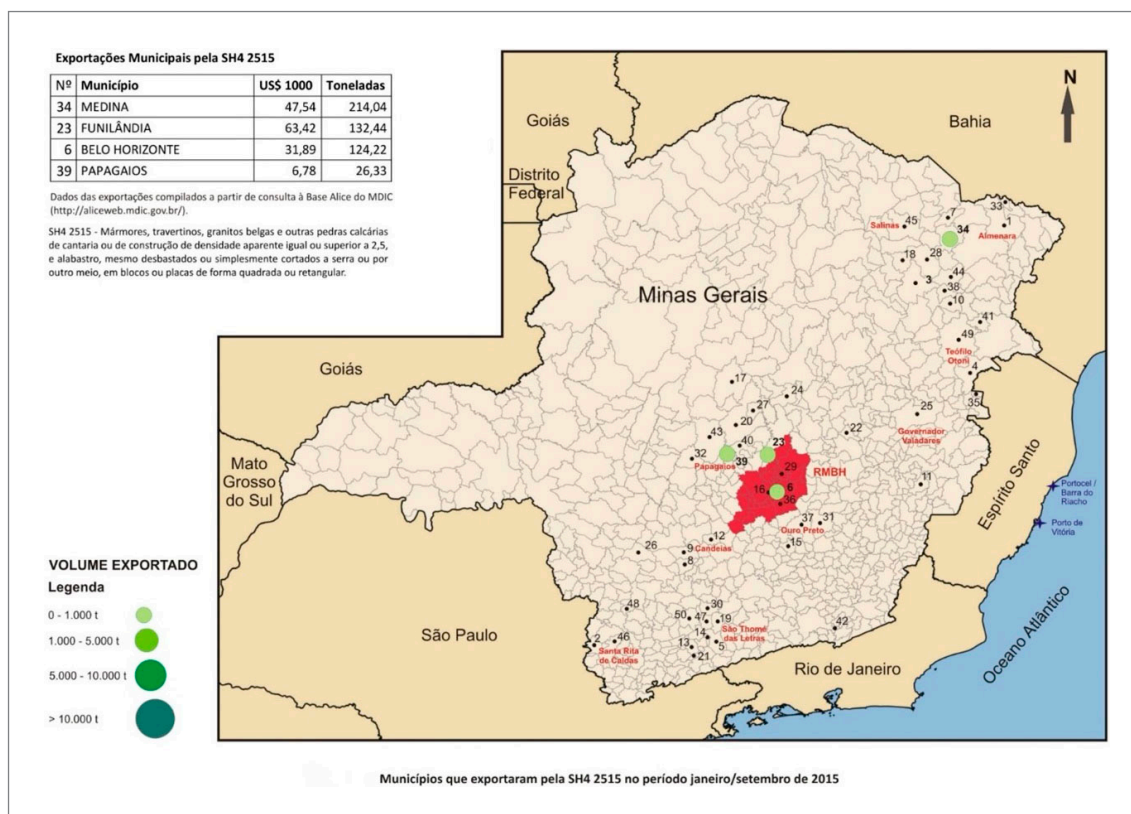


Figura 10.8 - Localização dos municípios de origem das exportações de rochas ornamentais (mármore travertino, granito belga, etc.) de Minas Gerais em 2015, com as respectivas posições fiscais (SH4) adotadas pelos exportadores (CHIODI FILHO *et al.*, 2016).

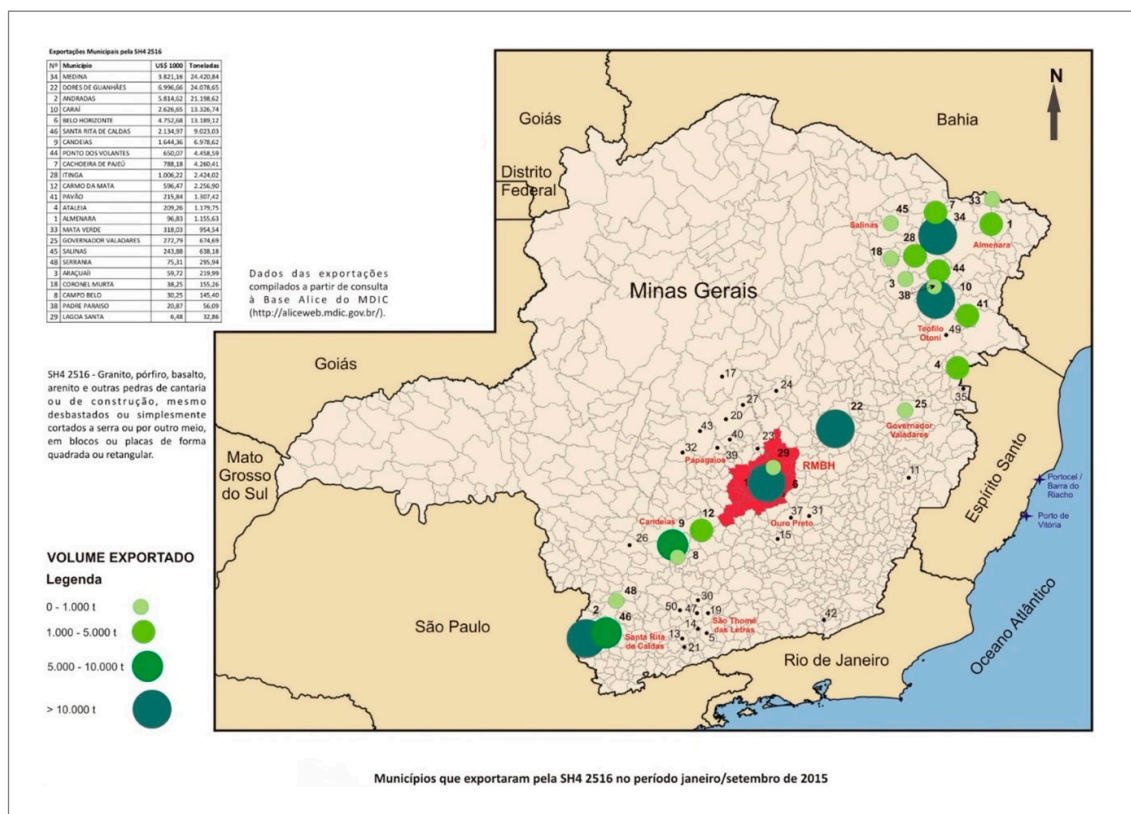


Figura 10.9 - Localização dos municípios de origem das exportações de rochas ornamentais (granito, basalto, arenito, etc.) de Minas Gerais em 2015, com as respectivas posições fiscais (SH4) adotadas pelos exportadores (CHIOLDI FILHO *et al.*, 2016).

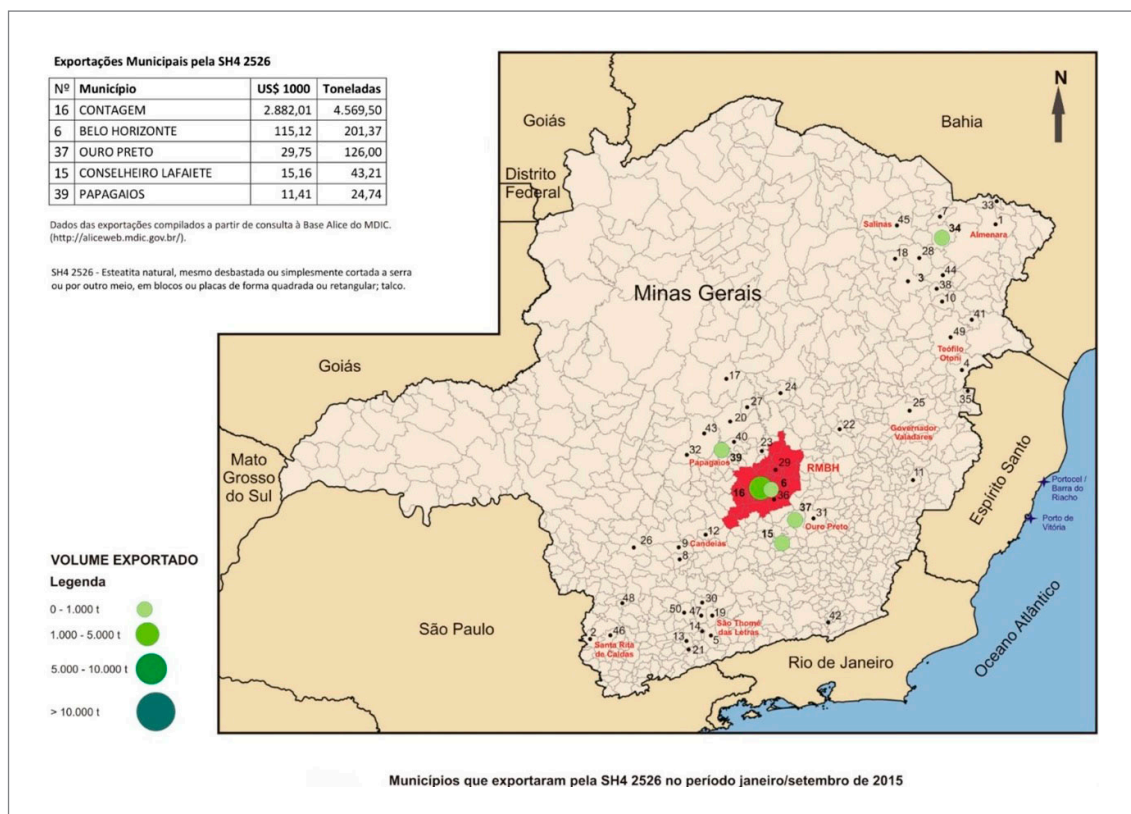


Figura 10.10 - Localização dos municípios de origem das exportações de rochas ornamentais (esteatita natural, talco) de Minas Gerais em 2015, com as respectivas posições fiscais (SH4) adotadas pelos exportadores (CHIOLDI FILHO *et al.*, 2016).

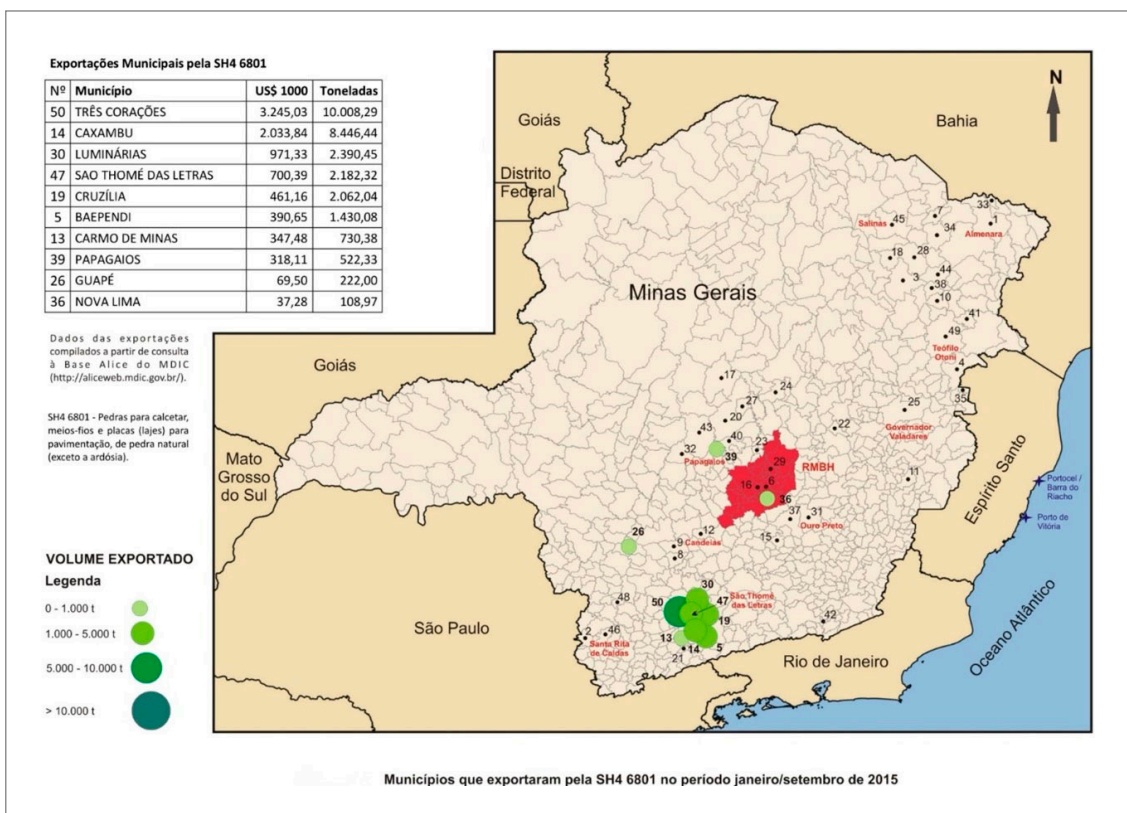


Figura 10.11 - Localização dos municípios de origem das exportações de rochas ornamentais (pedra de calçetar) de Minas Gerais em 2015, com as respectivas posições fiscais (SH4) adotadas pelos exportadores (CHIODI FILHO *et al.*, 2016).

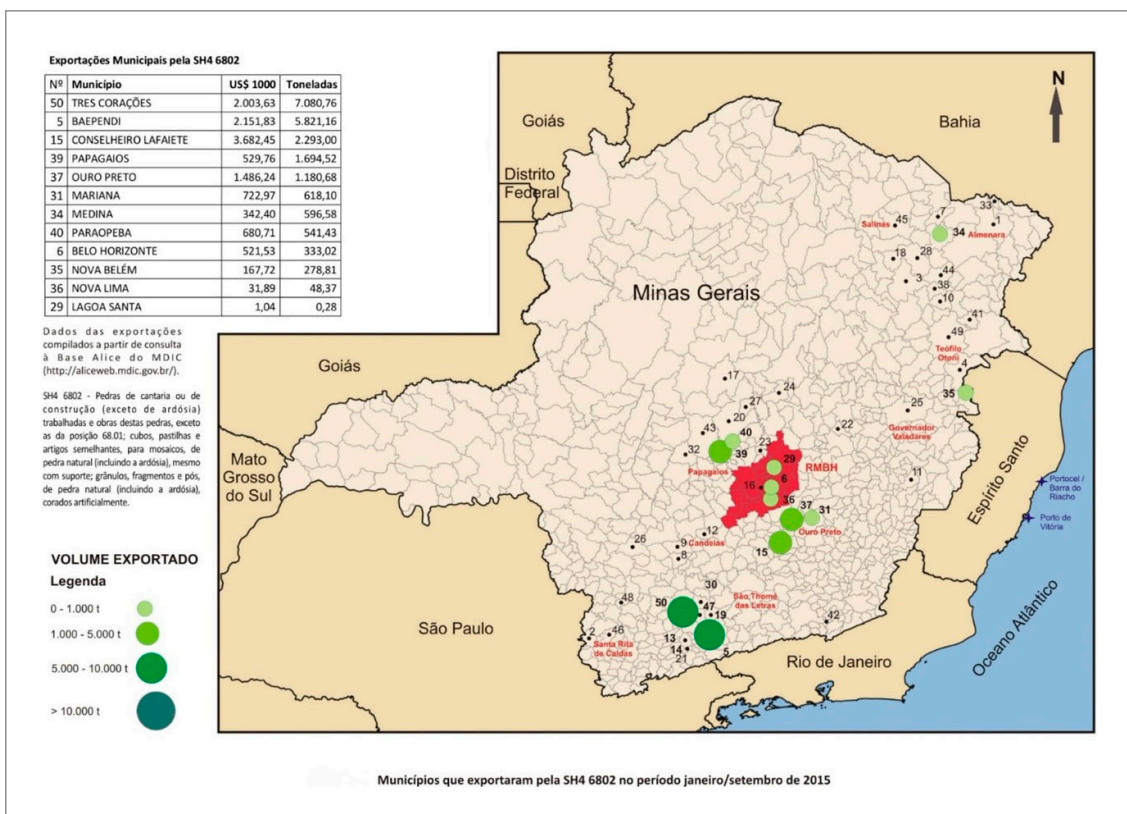


Figura 10.12 - Localização dos municípios de origem das exportações de rochas ornamentais (pedra de cantaria ou de construção) de Minas Gerais em 2015, com as respectivas posições fiscais (SH4) adotadas pelos exportadores (CHIODI FILHO *et al.*, 2016).

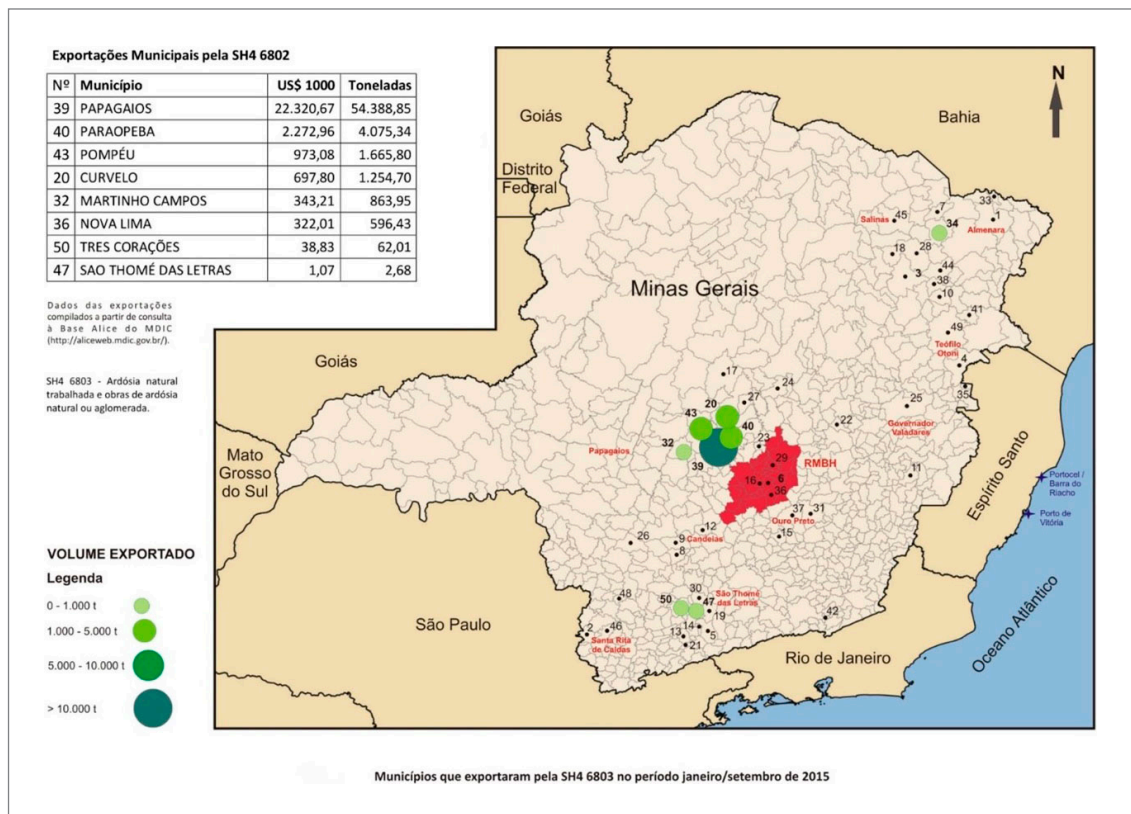


Figura 10.13 - Localização dos municípios de origem das exportações de rochas ornamentais (ardósia natural) de Minas Gerais em 2015, com as respectivas posições fiscais (SH4) adotadas pelos exportadores (CHIODI FILHO *et al.*, 2016).

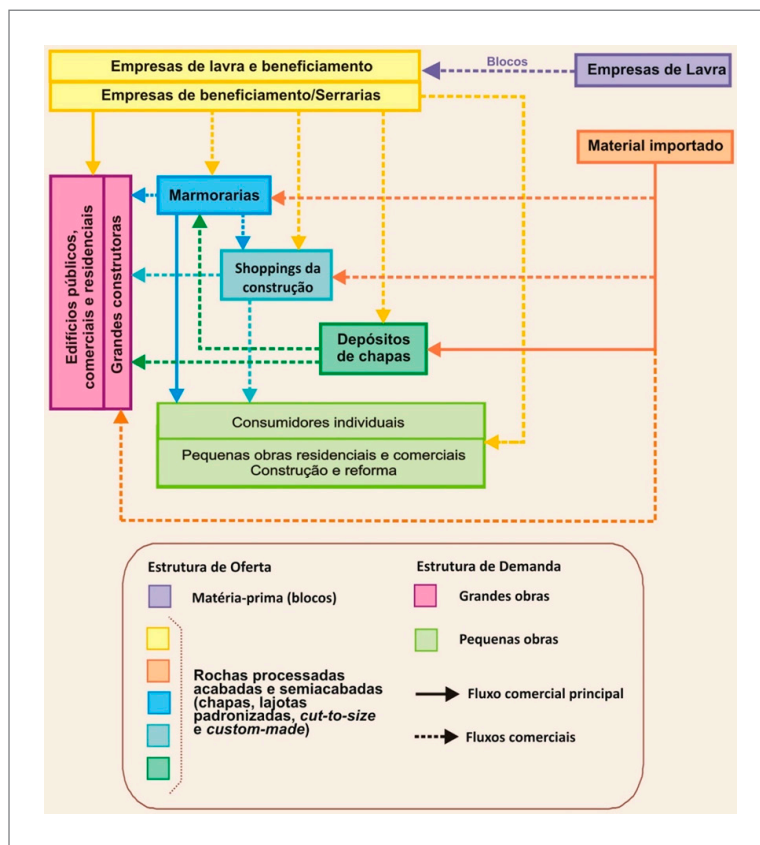


Figura 10.14 - Estrutura de comercialização das rochas de processamento especial no Brasil. Fonte: Chiodi *et al.* (2016) e CODEMIG (2016).

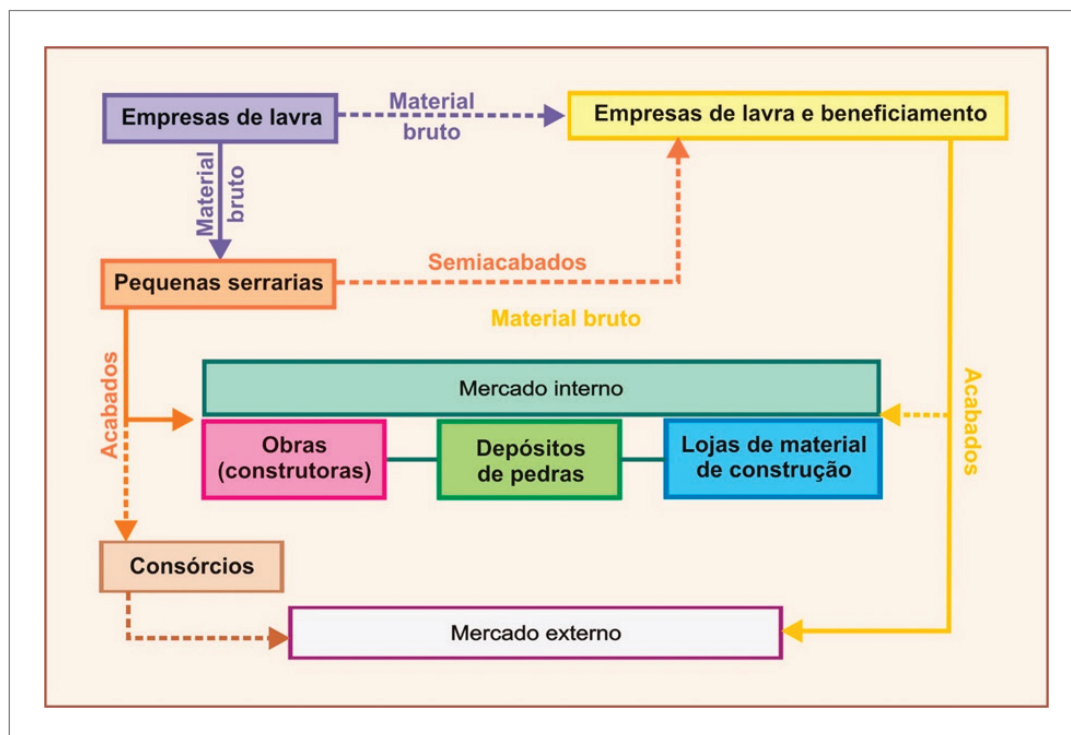


Figura 10.15 - Estrutura produtiva e comercial das ardósias, quartzitos foliados e outras rochas de processamento simples. Fonte: Chiodi *et al.* (2016) e CODEMIG (2016).

Desta forma, os desafios competitivos das empresas de lavra e beneficiamento do setor de rochas foram relacionados aos seguintes fatores:

- qualificação, diversificação e padronização dos produtos comerciais;
- atendimento de novos mercados potenciais e fortalecimento dos já existentes, com ênfase para exportações;
- aprimoramento tecnológico das atividades de lavra e beneficiamento;
- credenciamento da atividade produtiva frente à comunidade;
- fortalecimento dos arranjos produtivos.

Em termos gerais, o grande desafio das pequenas empresas do setor mineral continua sendo o credenciamento das pequenas empresas junto às instituições formais de fomento, para habilitarem-se aos seus benefícios. Outra questão ainda presente é buscar melhor entendimento para o conceito de que as rochas ornamentais não constituem *commodities* minerais, pois tanto os seus materiais brutos quanto os processados têm preços estabelecidos pelos produtores.

10.1.6. A Dinâmica de Transformação Setorial no Brasil

Conforme destacado no “Estudo da Competitividade Brasileira do Setor de Rochas Ornamentais” (CHIODI FILHO; RIBEIRO, 2018), um conjunto de fatores

está desencadeando transformações relevantes na estrutura industrial e nas bases de competitividade do setor de rochas, impondo novas premissas de atuação para os seus elos de mineração, beneficiamento primário e marmoraria. Entre essas novas premissas, todas aplicáveis a Minas Gerais, foram destacadas as seguintes:

- a consolidação da tecnologia do fio diamantado, através de teares multifio e máquinas monofio, ampliou a produtividade da serragem de chapas e de corte nas pedreiras, bem como elevou a capacidade de produção do complexo minero-industrial de rochas, repercutindo no aumento da oferta;
- o alto custo e a escassez de mão de obra qualificada, que atingem toda a indústria brasileira, também pressionam o setor de rochas. As empresas líderes têm empreendido investimentos em automação, e elos tipicamente industriais têm transformado-se em prestadores de serviços, visando equacionar a economicidade dos fatores de produção da lavra de blocos e serragem de chapas;
- a ampliação das exigências de licenciamento ambiental e minerário, além dos conflitos de competência neste campo e da sua insegurança jurídica, tem reduzido as possibilidades de mineração em recortes geográficos específicos. As atividades de mineração têm migrado para áreas de fronteira econômica, onde o ambiente normativo permite uma sobrevivência competitiva;

- as restrições às políticas de incentivo portuário, promovidas pelo Poder Executivo em conjunto com o Senado e o Superior Tribunal Federal, geraram a extinção do Fundap no Espírito Santo, repercutindo em um rearranjo logístico capaz de afetar a indústria de extração de blocos e produção de chapas daquele estado, com desdobramentos em todo o país;
- o mercado externo da construção, especialmente o norte-americano, está se reestruturando e, cada vez mais, recebendo produtos acabados, principalmente da China e da Itália, bem como reduzindo sua demanda por chapas polidas brasileiras no segmento do mercado residencial unifamiliar. Para não serem expostas às dinâmicas de disputa de mercado, via preços, típicas da comercialização de chapas polidas, empresas líderes no beneficiamento de rochas, inclusive marmorarias mais inovadoras, demandam estratégias na direção da produção de itens de maior valor agregado;
- as mudanças técnicas e normativas na indústria nacional da construção exigem uma migração de perfil artesanal para um perfil industrial em todos os elos da sua cadeia produtiva. As marmorarias que atendem às grandes construtoras são desafiadas para adaptar-se a novos padrões normativos, tecnológicos e de relacionamento comercial. A indústria da construção brasileira deve assim consolidar novas relações de encadeamento com os seus fornecedores, inclusive de rochas ornamentais;
- as mudanças no paradigma tecnológico e empresarial podem levar a marmoraria a um novo modelo de aglomeração geográfica, visando à estruturação em redes de empresas cooperativas. A automação no elo das marmorarias também tem dado resposta na qualidade dos produtos e no atendimento das exigências crescentes de padronização, acabamento e sustentabilidade, com vistas a ter um produto tecnologicamente competitivo ante às indústrias de produtos substitutos e concorrentes. As marmorarias líderes têm investido em automação e em produtividade, visando equacionar a economicidade dos seus fatores de produção, entre eles o trabalho. Emerge a demanda por um novo perfil profissional na atividade de marmoraria.

10.1.7. A Formulação da Central de Valadares

A montagem de uma central de beneficiamento e acabamento de rochas ornamentais, na cidade de Governador Valadares/MG, foi proposta para a Codemig em 2016, atual Codemge. A denominada Central de Valadares (CV), segundo seus formuladores, tinha como objetivo fomentar a industrialização de rochas ornamentais em Minas Gerais, agregando valor a produtos

semiacabados (chapas) e acabados. A CV aportaria tecnologia de processo industrial, design de produtos e tecnologia de mercado aos mineradores, serradores e marmoristas mineiros, inclusive contribuindo para a adequação e regularização das atividades de lavra e beneficiamento.

O modelo empresarial aventado para a CV foi o de uma Sociedade de Propósito Específico (SPE), encabeçada pela Codemig. A segunda parte da SPE envolveria uma empresa já consolidada de lavra e beneficiamento, conferindo-lhe o perfil e a dinâmica de um empreendimento privado. A terceira parte da SPE abrangeria empresas regionais de lavra, ainda não verticalizadas, mas capazes de aportar, como base de participação societária, uma carteira de materiais comercialmente representativa das regiões leste e nordeste de Minas Gerais.

A CV foi considerada o melhor ponto de partida para a verticalização da cadeia produtiva de rochas ornamentais no estado, fomentando atividades de lavra e beneficiamento primário, bem como a elaboração de produtos acabados para o atendimento de obras no Brasil e no exterior. Os atributos locais, logísticos e de infraestrutura oferecidos em Governador Valadares, tanto frente à principal área de suprimento das matérias-primas, quanto em relação aos principais polos consumidores brasileiros e aos principais portos de processamento das exportações de rochas na Região Sudeste, garantiriam boas perspectivas de sucesso para o empreendimento.

Beneficiando-se das bases competitivas aportadas pela CV, os mineradores regionais assumiriam condições para montagem de seus próprios empreendimentos, permitindo que a Codemig cumprisse sua missão de indutora de atividades minero-industriais, especialmente em regiões com baixo IDH. Considerou-se, além disso, que as empresas capixabas com frentes ativas de lavra em Minas Gerais e já com plantas industriais instaladas no Espírito Santo, não apresentavam interesse em transferir suas atividades de beneficiamento para os polos produtores dos vales do Jequitinhonha, Mucuri e Rio Doce.

Ainda hoje, o quadro de situação da atividade produtiva de rochas ornamentais nas regiões leste e nordeste de Minas Gerais reproduzem, em essência, o da região sudoeste do estado nas décadas de 1980 e 1990, à época controlada principalmente por empresas de fora do estado, no caso italianas, sem interesse em beneficiar localmente as matérias-primas lavradas, agregando valor aos seus produtos comerciais.

10.1.8. Considerações Finais

Apesar das recomendações apresentadas pelos diversos estudos e projetos realizados sobre o setor

de rochas em Minas Gerais, não se logrou verticalizar a cadeia produtiva de rochas de processamento especial. Isso decorre tanto da maior capacidade concorrencial do Espírito Santo, que inibe a industrialização das matérias-primas do setor nos estados vizinhos (Minas Gerais, Bahia e Rio de Janeiro), quanto da falta de políticas públicas capazes de promover o desenvolvimento da pequena mineração.

Exceção é feita às rochas de processamento simples, em especial ardósias e quartzitos foliados, cujas atividades produtivas são verticalizadas e desenvolvidas por empresários locais. Essas rochas, que são beneficiadas no próprio estado, também merecem do poder público uma maior atenção, pois o faturamento de sua atividade produtiva reverteu maiores benefícios regionais, pavimentando negócios de agricultura pivotada, cultura de eucalipto, indústria cerâmica, pecuária e mesmo de aproveitamento de resíduos da lavra e beneficiamento. Destaca-se, neste último caso, o aproveitamento de pó de ardósia, pelo processo de rochagem, como remineralizador de solos.

10.2. DISTRITOS GRANÍTICOS PARA FINS ORNAMENTAL E DE REVESTIMENTO

Granito é um termo genérico empregado pelos produtores para rochas ígneas de quaisquer composições (gabro, granito, sienito) e estruturas (isotrópica, foliada ou bandada e deformadas - movimentadas).

Granito ornamental e de revestimento é explotado, principalmente, nos centros produtores ou distritos de Medina, Rio Doce—Mucuri, Guanhães, Oliveira-Candeias e Caldas. Os dois primeiros integram domínios dos granitos neoproterozoicos ediacaranos-cambrianos (tipos S, I e A) da Faixa Araçuaí. Os distritos de Guanhães e Oliveira-Candeias estão relacionados a ortognaisses paleoproterozoicos e arqueanos do embasamento do Cráton do São Francisco, Brasiliano (Figura 10.16).

Falar-se em reservas de granitos ornamentais pode soar um tanto irreal dado a quantidade de rochas graníticas e gnáissicas no estado. Mesmo assim, no Anuário Mineral Estadual de Minas Gerais (COSTA *et al.*, 2019) constam valores relativos aos anos base de 2015 e 2016,

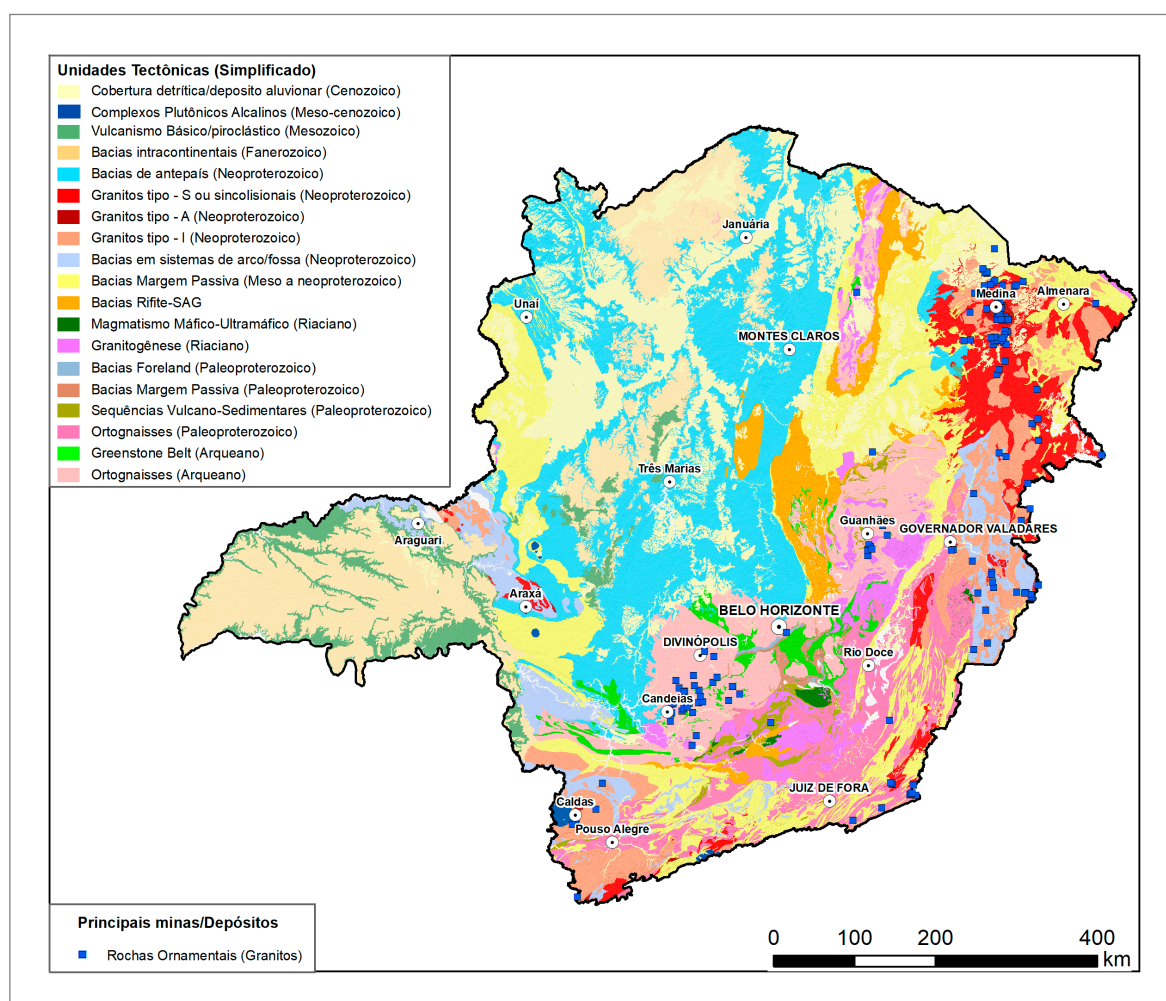


Figura 10.16 - Mapa com localização dos distritos graníticos. Modificado de Pinto e Silva (2014b).
Elaboração própria.

última informação disponível até maio/2020. Para 2015, as reservas de granito, gnaiss e afins de caráter ornamental e revestimento eram de 3,96 bilhões de toneladas medidas, 17,14 bilhões de toneladas indicadas, 4,25 bilhões de toneladas inferidas e 1,28 bilhão de toneladas lavráveis. Para 2016, os valores, na mesma ordem, foram 4,12 bilhões, 17,7 bilhões, 4,82 bilhões e 1,31 bilhão de toneladas.

Em 2015, a produção bruta dessas rochas ornamentais, divulgada pela ANM (COSTA *et al.*, 2019), foi de pouco mais de 718 mil toneladas. Em 2016, houve pequena queda declarada, chegando a 698 mil toneladas. A produção beneficiada não consta no informe da ANM, provavelmente por ser realizada principal ou totalmente no Espírito Santo. A quantidade e valor da produção bruta comercializada, em 2015, para granito, gnaiss e afins foi de 688 mil toneladas, com valor de 285,7 milhões de reais. Não houve comercialização de produção beneficiada. Em 2016, houve queda na produção bruta comercializada, 645 mil toneladas, mas o valor manteve-se praticamente o mesmo, 285,2 milhões de reais, indicando aumento de preços no mercado.

As lavras de rochas graníticas são totalmente a céu aberto. Em 2015, eram, no estado, 18 de porte pequeno (de 100.000 até 10.000t/ano ROM) e 178 de porte micro (<10.000t/ano ROM), totalizando 196 lavras formalmente autorizadas a funcionar. Em 2016, houve redução para 166 lavras de porte micro, mantendo-se o de lavras pequenas em 18, totalizando 183 lavras.

Esses números são os oficiais, mas certamente são muito maiores. Durante os trabalhos do Projeto Jequitinhonha (PAES *et al.*, 2010), que envolveu o mapeamento geológico e cadastramento de recursos minerais em aproximadamente 18 mil quilômetros quadrados no Vale do Jequitinhonha, em seis folhas em escala 1:100.000 (Comercinho, Jequitinhonha, Almenara, Itaobim, Joáima e Rio do Prado) foram cadastradas 112 lavras de granitos ornamentais e de revestimento, entre ativas e inativas. Só nos arredores de Medina foram mais de 50 lavras, provavelmente muitas sem o conhecimento das autoridades competentes.

A ANM não inclui nessa categoria o que chama de “*Outras Rochas Ornamentais (Pedra de Talhe, Pedra-Sabão, Basalto, etc.)*”.

No ranking das 100 maiores empresas mineradoras do estado em participação no valor total da produção comercializada em 2016, segundo a ANM, seis eram produtoras de granitos ornamentais, ocupando posições entre o 41º e o 96º lugares. Eram elas Itinga Mineração Ltda, Gransena Exportação e Comércio Ltda., Pedreiras do Brasil S/A, Alvorada Mineração Comércio e Exportação Ltda, C. Fernando R. da Paz & Cia. Ltda e Mineração Corcovado de Minas Ltda.

10.2.1. Distrito Granítico Medina

Era o principal centro produtor de granito para uso em revestimento e como rocha ornamental em 2013, sendo o principal bem mineral da região do Médio Jequitinhonha, junto com as gemas. Abrange diversos municípios, dentre eles Medina, Comercinho, Cachoeira do Pajeú, Jequitinhonha, Itaobim, Pedra Azul, tendo como cidade polo Medina (Figura 10.1 e 10.16), onde existe mais de uma dezena de empresas de mineração instaladas (Figura 10.17). A produção tomou impulso a partir de meados da década de 1980, motivada pela grande abundância de rochas graníticas na região, preços de venda favoráveis, localização privilegiada, infraestrutura viária satisfatória, disponibilidade razoável de energia elétrica, mão de obra abundante e, principalmente, variedades de tipos e ótima qualidade. Em 2009, Medina contava com três serrarias para desdobramento de blocos de granito em chapas brutas e polidas, mas esses dados não constam das estatísticas oficiais de produtos acabados.

Em 2010, existiam mais de uma centena de frentes de lavra de rochas ornamentais (blocos) no distrito, muitas em caráter intermitente, dependentes das condições de mercado. Eram lavrados maciços (Figura 10.17) e matacões por métodos diversos (cabo de aço abrasivo, maçarico, massa expansiva, etc.).



Figura 10.17 - Fotos de lavras da mineração Ouro Minas, no Maciço de Medina, em Bidó, Medina. Acervo fotográfico SGB-CPRM.

O granito de maior valor comercial era o chamado Giallo Fiorito ou Amarelo Florença (Figura 10.18), uma rocha isotrópica porfirítica de grão grosso, com fenocristais centimétricos de K-feldspato, extraído quase que exclusivamente do Maciço Medina. Tipos porfiríticos isotrópicos rosados e cinza eram de interesse secundário e a maior parte dessas lavras estava desativada.

Outro tipo importante era um leucogranito branco a creme-claro, com nódulos centimétricos ou manchas escuras de cordierita (Figura 10.19), isotrópico a discretamente foliado (movimentado), conhecido comercialmente como Lápis ou Lapidus, quando a cordierita está arranjada em ‘cordões ou rosários’ orientados. Granada pode ocorrer em agregados dispersos, mas é considerada nociva, prejudicando a qualidade comercial do granito (PINTO, 2010).



Figura 10.18 - Granito ‘Giallo Fiorito’ ou Amarelo Florença lavrado no Maciço de Medina, na região de Aredó, Medina. Acervo fotográfico SGB-CPRM.

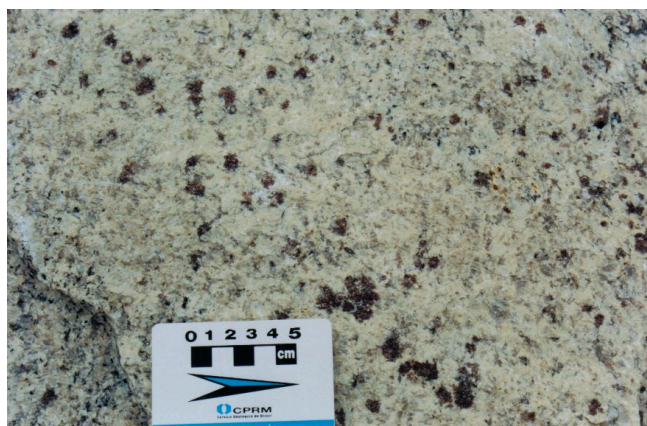


Figura 10.19 - Leucogranito Lapidus com cordierita e granada, na Fazenda Sete Lagoas, em Medina. Acervo fotográfico SGB-CPRM.

Tipos isotrópicos de grão fino e tonalidades esbranquiçada, cinza-claro, bege e castanho são explorados, principalmente, em Comercinho e Cachoeira do Pajeú,

com nomes comerciais: Ouro Velho, Dourado Carioca, Branco Minas, Amarelo Capri, Bege Dunas, Cinza Capri, dentre outros.

10.2.2. Distrito Granítico Rio Doce-Mucuri

O centro produtor Rio Doce–Mucuri ocupa posição meridional em relação ao Distrito de Medina. As lavras concentram-se nas regiões de Aimorés-Itueta, Pavão–Novo Oriente e Mantena (COMIG, 1999). São explorados granitos homogêneos de granulação fina a grossa porfirítica e cores variadas entre cinza, rosado, castanho e verde charnockítico (semelhante ao Verde Ubatuba).

10.2.3. Distrito Granítico Guanhães

Na região entre Guanhães e Dolores de Guanhães, no centro-leste do estado, é explorado granitoide relacionado à Suíte Borrachudos, comercialmente conhecido como Giallo Califórnia, com grande potencial e valor comercial (PIMENTA, 2002). O granito mostra-se com vênulas quartzo-feldspáticas (por fusão parcial) e deformado (tipo comercial movimentado).

10.2.4. Distrito Granítico Oliveira-Candeias

Situa-se no centro-oeste do estado, tendo Candeias como cidade-polo. São conhecidas cerca de 50 lavras, geralmente em rochas de grão médio, eventualmente fino e grosso, em padrões movimentados (foliadas ou bandadas) de intensidades variadas. As cores variam de verde (tipo Candeias), rosa–arroxeado (tipo Itapecerica), cinza-claro (tipo Cláudio) e bandado (tipo Fernão Dias). Os nomes comerciais são muitos, mais de meia centena, dependendo do minerador.

10.2.5. Distrito Granítico Caldas

Situado no sul do estado, explora granitos movimentados, de cor ou tonalidades rosada, amarelada e cinza-avermelhado reunidos no Complexo Varginha-Guaxupé e granitoides álcali-sieníticos homogêneos, isotrópicos, de cor marrom, do Complexo Alcalino Poços de Caldas.

10.3. DISTRITOS ARDOSIANOS (E PEDRA LAGOA SANTA)

10.3.1. Distrito Ardosiano Papagaios-Felixlândia

Conforme consta do Anuário Mineral Estadual de Minas Gerais (COSTA *et al.*, 2019), relativo aos anos de 2015 e 2016, as reservas medidas de ardósias situavam-se na ordem de 1,85 bilhão de toneladas, com reservas lavráveis de cerca de 820 milhões de toneladas. Nesses

anos, as produções brutas ROM foram 218 mil e 183 mil toneladas, respectivamente, representando 84% do ano anterior, sem informações sobre o total beneficiado. Praticamente toda a produção foi comercializada a um valor próximo de 17,4 milhões de reais, em 2015, e 20,3 milhões de reais, em 2016, ou seja, houve queda na quantidade produzida e aumento de cerca de 17% no valor de comercialização no período.

Segundo critérios da ANM, as lavras de ardósia, oficialmente autorizadas em 2016, eram: seis de porte pequeno (100.000 até 10.000t/ano ROM) e 18 de porte micro (<10.000t/ano ROM).

Esse distrito (GROSSI-SAD; CHIODI FILHO; CHIODI, 2001) está inserido no extremo meridional da Bacia do São Francisco (Figura 10.20). É representado pelas “ardósias” (metassiltito e meta-argilito) da Formação Serra de Santa Helena, do Grupo Bambuí (Figura 10.21).

A ardósia é composta basicamente de quartzo, mica-branca, clorita, feldspato e carbonato, além de quantidades subordinadas de óxidos de ferro e matéria carbonosa. Mostra cores variadas (preto, cinza, grafite, verde e vinho ou roxa), resultado de variações faciológicas, das quantidades de ferro e carbono e de controles estratigráficos. Essa região está preservada de dobramentos, mantendo-se em estratos horizontais a sub-horizontais (GROSSI-SAD; CHIODI FILHO; CHIODI, 2001). A espessura da formação pode ultrapassar 280 metros na região de Felixlândia, na Bacia do Rio Paraopeba.

A ardósia produzida em Minas representa cerca de 90% da produção brasileira e essa região é considerada como portadora dos mais importantes jazimentos mundiais atualmente conhecidos e em exploração. As reservas são muito grandes, mas a lavra pode ser dificultada por mantos de intemperismo espessos.

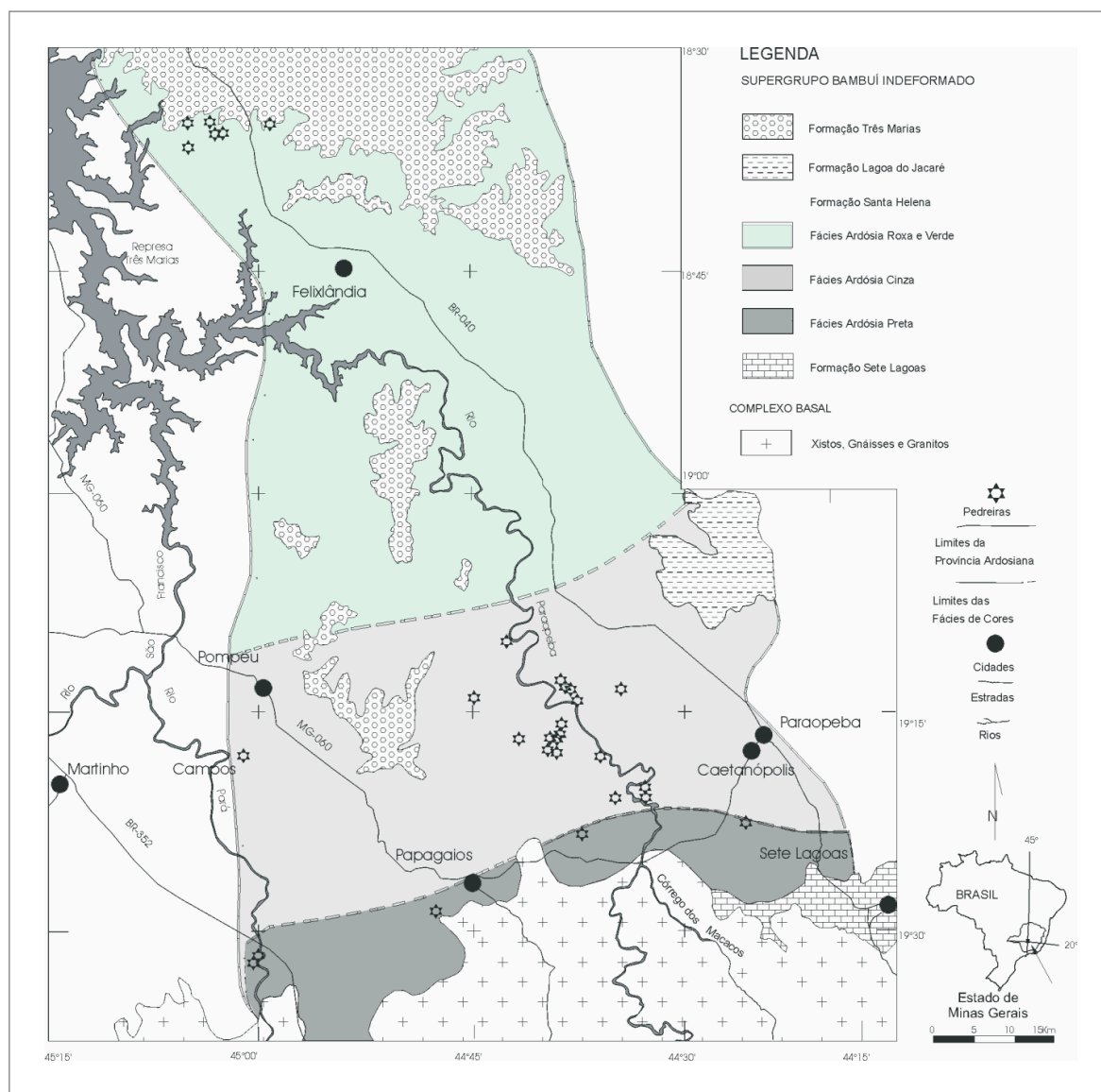


Figura 10.20 - Mapa geológico esquemático da Província de Ardósia de Minas Gerais. Áreas em branco representam o Grupo Bambuí deformado. Extraído de Grossi-Sad, Chiodi Filho e Chiodi (2001).



Figura 10.21 - Lavra de ardósia na Formação Serra de Santa Helena, Grupo Bambuí, ao norte de Belo Horizonte. Acervo fotográfico SGB-CPRM.

É utilizada, principalmente, como pedra de revestimento e mobiliário rústico. Oliveira (2001) demonstrou a viabilidade técnica do aproveitamento de rejeitos de lavras como matéria-prima na indústria cimenteira, em substituição à argila no clínquer. Entretanto, a viabilidade econômica deve ser melhor avaliada devido às localizações das minas em relação aos parques cimenteiros.

Dados do Projeto SIGIM Rochas (COMIG, 1999) informavam produção anual de 100 mil metros quadrados de placas, o equivalente a cerca de seis mil toneladas de rocha beneficiada, em sete pontos de extração. O material é fornecido em placas serradas em diversas dimensões, principalmente retangulares, com cerca de 2x12,5x25cm. A Região Metropolitana de Belo Horizonte é a maior consumidora.

Não constava nenhuma de ardósia entre as 100 maiores minas do estado, no Anuário Mineral Estadual de Minas Gerais de 2019 (COSTA *et al.*, 2019).

10.3.2. Distrito de Pedra Lagoa Santa

Os materiais comercialmente designados **Pedra Lagoa Santa** são explotados nos municípios de Pedro Leopoldo e Funilândia, cerca de 50 quilômetros ao norte de Belo Horizonte. Trata-se de siltito calcífero acinzentado com tonalidades esverdeadas predominantes, além de azulada e amarelada. Arranja-se em camadas paralelas com superfícies levemente onduladas a rugosas, com partição plana similar à da ardósia, apesar de mais irregular, talvez pela presença de carbonato. Representa a Fácies Pedro Leopoldo da Formação Sete Lagoas do Grupo Bambuí. Essa “pedra”, por ter superfície rugosa, é bastante utilizada na cobertura de pisos externos, calçadas e mesmo em revestimentos de algumas superfícies. Normalmente, é produzida em placas com aproximadamente 25x12,5x2 centímetros.

10.4. DISTRITOS QUARTZÍTICOS (E METACONGLOMERADO)

Os quartzitos, ornamental e de revestimento, têm amplo aproveitamento econômico em Minas Gerais, nos centros produtores São Tomé das Letras, Alpinópolis, Ouro Preto e Diamantina. Em mais de 50 pedreiras, a produção acumulada estimada girava em torno de 220 mil toneladas por ano, representando cerca de 3,85 milhões de metros quadrados de chapas com espessura média de dois centímetros (COMIG, 1999). Esse grande volume tem trazido grandes impactos ambientais para a região, devido a lavras sem acompanhamento técnico adequado, com escavações desordenadas e grandes volumes de rejeitos dispostos em encostas e vales. Os órgãos oficiais de controle ambiental têm acompanhado de perto o problema e soluções têm sido implantadas para minimizá-los.

As reservas divulgadas de “arenito ornamental” e de quartzito ornamental são significativas. Em 2015, eram 17 milhões de toneladas de arenitos e 1,83 bilhão de toneladas de quartzito medidas, com 2,2 milhões de toneladas lavráveis de arenitos e 885,7 milhões de toneladas lavráveis de quartzitos. Em 2016, permanecia a mesma condição para os arenitos, enquanto os quartzitos passaram a figurar com reservas medidas de 2,28 bilhões de toneladas e 802 milhões de toneladas lavráveis.

A produção bruta ROM, em 2015, foi de 1.578 toneladas de arenito ornamental e 97 mil toneladas de quartzito, com beneficiamento de apenas 170 toneladas de quartzito. Em 2016, foram extraídas 2.060 toneladas de arenito e 108,4 mil toneladas de quartzito, sem informações sobre beneficiamento.

Em 2015, toda a produção de arenito (1.578t) foi comercializada a um valor de 182 mil reais; de quartzito foram comercializadas 109.587 toneladas, um pouco mais do que o produzido, a um valor de 22,1 milhões de reais, incorporando 126,2 mil reais de produtos beneficiados. Em 2016, toda a produção de arenito foi comercializada por 233,2 mil reais; de quartzito foram vendidas 103 mil toneladas a 20,5 milhões de reais.

Em 2016, eram duas lavras de arenito, ambas micro (<10.000t/ano ROM), e 43 lavras de quartzitos, uma pequena (10.000 até 100.000t/ano ROM) e 42 micro.

Entre as 100 maiores minas do estado, não constava nenhuma de quartzito ou arenito ornamental no Anuário Mineral Estadual de Minas Gerais de 2019 (COSTA *et al.*, 2019), relativo aos anos de 2015 e 2016.

10.4.1. Centro Produtor São Tomé das Letras

É o mais importante do estado. Tem como cidade-polo São Tomé das Letras (Figura 10.16 e 10.17), com menos

de 10 mil habitantes em 2020, envolvendo também os municípios de Luminárias, Carrancas, Minduri, Cruzília, Baependi, Conceição do Rio Verde, Três Corações e São Bento Abade. A principal zona produtora situa-se nos municípios de São Tomé das Letras e Luminárias. Segundo dados da Comig (1999), nesse centro produtor existiam 25 pedreiras produzindo placas de quartzito. A produção teve início na década de 1950, com impulso entre 1970 e 1990, pelo uso mais amplo desse tipo de revestimento no mercado nacional e internacional, com incremento maior a partir do início deste século XXI. Estima-se que a produção tenha ultrapassado as 200 mil toneladas por ano na região produtora e como consequência houve aumento desordenado de rejeitos das lavras, assoreando encostas e vales, com grande degradação ambiental.

Atentos aos problemas ambientais causados pelos rejeitos da mineração, Fulgêncio e Navarro (2017) debruçaram-se sobre o estudo de aproveitamentos e usos alternativos para esses resíduos silicosos. Em princípio, duas alternativas foram apresentadas para o aproveitamento do quartzo de quartzito: 1. Enriquecimento e concentração por flotação com uso de ácido fluorídrico; 2. Uso de coletor catiônico de amina com pH por volta de 2,5. Larsen e Kleiv (2016) destacam que na segunda alternativa os resultados chegaram à concentração próxima de 99,9% de sílica. Também ressaltam a possibilidade de aproveitamento metalúrgico da sílica, em fusão com carbono, onde para cada três partes de quartzito utilizado seria obtida uma parte de sílica de grau metalúrgico, ou seja, uma relação de 3:1 em peso. Outra alternativa apresentada é a lixiviação ácida com HCl e HNO₃, podendo resultar em produto com pureza superior a 99,9% de SiO₂ e baixíssimos valores de elementos contaminantes Fe, Ti, Al, K, Mn e Na. O produto final teria uso na indústria eletroeletrônica, em células fotoelétricas e em vários outros ramos das ciências e indústria. A questão final resume-se no custo de instalação e utilização desses processos de purificação do quartzo, geralmente elevados. Certamente, esses processos aplicam-se aos outros centros produtores do estado, ressaltando-se os fatores econômicos e de mercado que podem ser decisivos.

Os quartzitos pertencem à Formação São Tomé das Letras, Subgrupo Carrancas, Grupo Andreândia. São principalmente de coloração esbranquiçada, com tonalidades amareladas ao marrom-claro por intemperismo, e, com menor frequência, esverdeados e acinzentados. O aumento no conteúdo de mica no quartzito leva a tipos xistosos ou com foliação proeminente.

O material é comercializado com nomes de Pedra São Tomé (branca, amarela ou *champagne*), Luminárias

e Carrancas (verde-claro, manchada por dendritos de óxidos de Fe e Mn), Pedra Rio Verde (esverdeada mais escura que as anteriores a verde-acinzentada).

Uma pergunta recorrente no mercado desse tipo de revestimento é: qual é a diferença entre “Pedra São Tomé”, “Pedra Mineira” e “Pedra Ouro Preto”? Normalmente os nomes comerciais são próprios de cada produtor e referem-se a uma determinada região. Nesses casos, a primeira provém do Centro Produtor São Tomé das Letras (e Luminárias), a segunda é oriunda do Centro Produtor Alpinópolis, na Serra da Canastra, e a terceira da região de Ouro Preto. Todas são quartzitos, podendo apresentar variações nas texturas, estruturas e colorações. As Pedras São Tomé costumam ter textura mais lisa, faces (ou foliação) mais regulares partindo em superfícies mais planas, alta coesão, com tonalidades de cores variando entre amareladas, rosadas e verde-claras. Os outros tipos são abordados nos itens referentes a seus centros produtores.

10.4.2. Centro Produtor Alpinópolis.

Abrange os municípios de Alpinópolis, Capitólio, São João Batista do Glória e São José da Barra, compreendendo a de 20 pontos de extração. A produção foi estimada em 850 mil metros quadrados de chapas de quartzito por ano, correspondendo a cerca de 50 mil toneladas ao ano (COMIG, 1999).

O material produzido nessa região é conhecido como Pedra Mineira. Trata-se de quartzito de grão fino a muito fino, atribuído ao Grupo Canastra. A Pedra Mineira costuma ter superfície rugosa, variedade de tonalidades entre o esbranquiçado, amarelado, rosado e cinza, muitas vezes com padronagens de cores indefinidas, e variações na coesão, dureza ou resistência mecânica ao atrito e friável. A foliação ou um discreto bandamento e a variação na coesão entre grãos de quartzo podem levar ao deslocamento e esfarelamento em determinadas situações de esforço ou pressão hidráulica.

10.4.3. Centro Produtor Diamantina

Situa-se na Serra do Espinhaço Meridional. Era de pouca expressão até o final da década de 1990, com produção estimada em 120 mil metros quadrados ao ano, representando cerca de sete mil toneladas ao ano de placas de quartzito. O quartzito explotado como pedra de revestimento e ornamental era principalmente fino, esbranquiçado com porções de tonalidades cinza, amarelo e marrom, de boa coesão, atribuídos às formações Sopa-Brumadinho e Galho do Miguel, do Supergrupo Espinhaço (COMIG, 1999).

10.4.4. Centro Produtor Ouro Preto

Desde junto à cidade de Ouro Preto até Mariana, cerca de 10 lavras produziam, estimativamente, 480 mil metros quadrados de quartzito ao ano, equivalente a 27,5 mil toneladas de placas de quartzito (COMIG, 1999).

O quartzito explotado, conhecido como Pedra Ouro Preto, é esbranquiçado, com domínios amarelados, cinzentos e rosados, de boa resistência mecânica, pertencente à Formação Moeda, do Grupo Caraça, Supergrupo Minas ou do Grupo Itacolomi, dependendo da localização geográfica da lavra. Questões ambientais dificultam a exploração em algumas áreas de Ouro Preto.

10.4.5. Metaconglomerado de Taiobeiras

Na região de Taiobeiras, no Vale do Jequitinhonha, ao longo da chamada Falha de Taiobeiras, são conhecidas belas exposições de metaconglomerados, atribuídos à Formação Salinas. Trata-se de rochas de matriz fina cinza, biotítica, com clastos arredondados, achatados e imbricados, polimíticos, de tamanhos centimétricos a métricos, principalmente de quartzo, granito e gnaiss. O material é explotado como rocha ornamental (Figura 10.22).

10.5. SERPENTINITO, ESTEATITO, TALCO OU SIMILARES (PEDRA-SABÃO)

Não se tem informações específicas para reservas, produção, beneficiamento e comercialização desse grupo de rochas. A ANM (COSTA *et al.*, 2019) as trata em um grupo que chama de “Outras Rochas Ornamentais”, onde são reunidas “pedra de talhe, pedra-sabão, basalto, etc.”.

Fora do Quadrilátero Ferrífero (QF), as principais regiões produtoras ou com presença significativa desses bens minerais localizam-se ao sul, nos distritos de Santa Rita de Ouro Preto–Bandeirinhas, Congonhas e

Piranga–Catás Altas da Noruega. Algumas lavras desses distritos não estão precisamente posicionadas em termos estratigráficos, mas a maioria, senão todas, estão no Complexo Monsenhor Isidro, de caráter plutono-vulcânico máfico-ultramáfico acamadado. As minas são geralmente pequenas, rudimentares, sendo as mais conhecidas Córrego dos Freitas, Córrego Macaquinhos, Fortuna-Congonhas, Congonhas, Córrego Santo Antônio, Fortunato–Ribeirão Goiabeira (HEINECK *et al.*, 2000).

Rochas máfico-ultramáficas hidrotermalizadas também estão presentes nos distritos de Santa Bárbara do Tugúrio-Campestre, Carandaí, Barbacena, Ressaquinha, Mercês, Alto Rio Doce, Almeidas (seis quilômetros a leste de Santa Rita de Ibitipoca), Dolores do Paraibuna-Paraibuna e Bias Fortes, quase todas integrantes do Grupo Barbacena, um *greenstone belt* paleoproterozóico (PINTO, 1991; VIANA, 1991). Também ocorrem no município de São Tomé das Letras (Faz. Caí); no polígono formado pelas cidades de Luminárias, Madre de Deus de Minas, Aiuruoca e Caxambu (SILVA, 1982), provavelmente ligadas ao Grupo Andrelândia, neoproterozoico, ou ao seu embasamento gnáissico paleoproterozoico; próximo à Bom Jardim de Minas; no Morro das Almas, junto à Serra de Bom Sucesso, em um complexo máfico-ultramáfico (QUÉMÉNEUR; BARAUD, 1983); na região de Ipanema (no leste do estado); em Sacramento (unidades de rochas metaultramáficas correlatas aos complexos Morro do Ferro e Fortaleza de Minas); em Serro–Gouveia, na região da Serra do Espinhaço (rochas metaultramáficas das sequências tipo Serra da Serpentina e Rio Mata Cavalo, na borda oriental da Serra do Espinhaço). Alguns desses locais estão em lavra e outros apresentam evidências de terem sido alvo de trabalhos de pesquisa ou exploração rudimentar.

Essas rochas metaultramáficas ocorrem como corpos de dimensões muito variadas, muitas vezes lenticulares, com comprimento exposto de algumas dezenas de



Figura 10.22 - À esquerda: Lavra de metaconglomerado como rocha ornamental. Formação Salinas, em Taiobeiras, foto à direita: detalhe do metaconglomerado lavrado na pedreira da foto à esquerda. Fotos cedidas pelo geólogo Julio Lombello (SGB/CPRM). UTM SAD-69: 796.121E/8.241.874N.

metros até poucos quilômetros. São geralmente concordantes com a estruturação regional do embasamento gnáissico e/ou das sequências supracrustais. Distribuem-se do Arqueano ao Proterozoico, em diversas unidades estratigráficas. Alguns corpos representam complexos máfico-ultramáficos acamadados, podendo ter componentes de assinaturas vulcânicas e plutônicas.

As regiões de Santa Rita de Ouro Preto e Bandeirinhas são as principais produtoras de variedades dessas rochas metaultramáficas, envolvendo diversos municípios situados imediatamente ao sul da Serra de Ouro Branco, fora do domínio do Quadrilátero Ferrífero. São explotadas rochas máfico-ultramáficas hidrotermalizadas do Complexo Monsenhor Isidro, com cerca de 600 quilômetros quadrados, representadas por serpentinito, pedra-sabão (esteatito) e pedra-talco (Figura 10.23). Nas localidades que dão nome ao distrito, existem diversas lavras, catas e fábricas de artesanato, mas as questões ambientais e de salubridade eram críticas.

A regiões de Piranga e Catas Altas da Noruega, situadas no domínio meridional do maciço máfico-ultramáfico de Monsenhor Isidro, apresentam o mesmo contexto geológico do Distrito de Santa Rita de Ouro Preto-Bandeirinhas.

Os tipos xistosos são ricos em clorita, pobres em quartzo e feldspato, verdes quando frescos e avermelhados a marrons quando intemperizados.

Os tremolititos mostram uma foliação pouco proeminente, granulação média a grossa, cor cinza ou ocre como resultado de intemperismo.

O serpentinito é geralmente verde-escuro e de maior dureza que as demais rochas em questão. Tem aplicação principal em chapas de revestimento (lareiras) e em utensílios que exijam resistência ao calor e maior dureza, como em utensílios domésticos (painéis e chapas), que entrem em contato direto com fogo ou altas temperaturas. Nos serpentinitos de uso como chapas de revestimento, o fraturamento dos maciços pode inviabilizar as lavras ou reduzir a dimensão dos blocos.

Pedra-sabão e esteatito são termos comercial e técnico aplicados a rochas metaultramáficas que sofreram processos de talcificação e carbonatação, com quantidades variáveis de serpentina, tremolita-actinolita, clorita, carbonatos, podendo também conter sulfetos, principalmente pirita. São cinzentas e mais macias que o serpentinito, de cor predominante cinza a cinza-esverdeado, estrutura macroscópica aparentemente maciça. Prestam-se a utensílios domésticos (desde que não seja rica em pirita), artesanatos como muitas das obras sacras das igrejas de Minas e peças para decoração.

O talco, ou pedra talco como também é conhecido, é de menor dureza que a pedra-sabão, de consistência maciça e sedoso, com padrão de cor liso a mosqueado em tons de marrom a cinza-esverdeado escuro. A ‘pedra talco’ é empregada em artesanato regional.

Muito empregado também na indústria de artesanato é o chamado pó-de-pedra, obtido dessas rochas e utilizado na moldagem de peças, principalmente réplicas de estátuas barrocas.

Amianto é encontrado próximo a Rio Pombo, onde foi lavrado durante vários anos, em duas minas atualmente abandonadas. Está associado à rocha metaultramáfica xistificada (anfíbólio xisto) do *Greenstone belt* ou Grupo Barbacena, encaixada em ortogneisses do Complexo Mantiqueira. A rocha é maciça, branca a amarelada, dura e abrasiva, com fibras de antofilita bem formadas associadas a talco e clorita. Uma das lavras foi paralizada devido à qualidade do material e a outra por situar-se a margem do Rio Pombo, já abaixo do nível do rio (BRANDALISE; VIANA, 1993). Outra lavra, também abandonada, é conhecida a leste da localidade de Abreus, no Vale do Rio Pombo. O amianto também está associado a xisto ultramáfico (anfíbólio xisto).

Outros materiais, considerados similares aos acima, são conhecidos em duas pedreiras no município de Gouveia e em uma no município de Datas, ao sul da cidade de Diamantina, e comercializados como ‘pedra-sabão’.

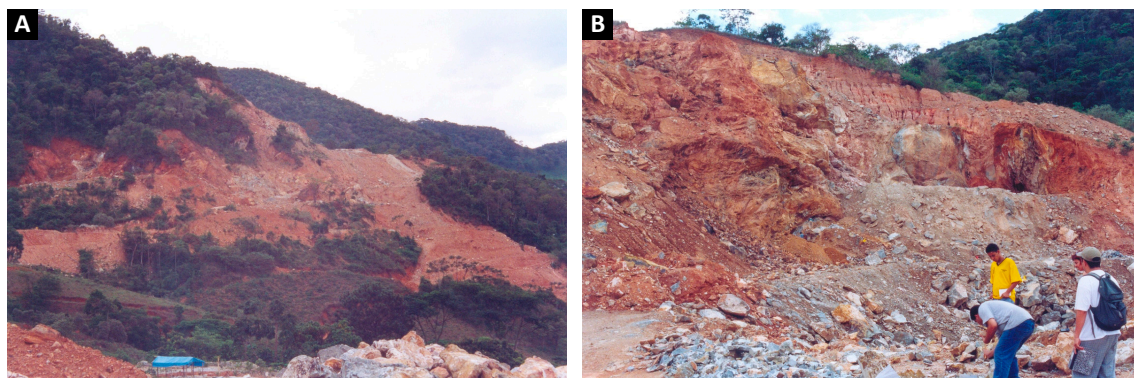


Figura 10.23 - Lavra de esteatito (pedra-sabão) na região de Bandeirinhas, Santa Rita de Ouro Preto. Complexo Monsenhor Isidro. A foto da direita é um detalhe da foto da esquerda. Acervo fotográfico SGB-CPRM.

Trata-se, na verdade, de rochas miloníticas foliadas, relacionadas ao Supergrupo Rio Paraúna. Os materiais apresentam-se nas cores verde e rosada (vinho) e são utilizados regionalmente para revestimentos de pisos e fachadas. As lavras são rudimentares e de pequeno porte, com produção intermitente determinada pela demanda.

A região de Congonhas, situada ao sul da Serra de Ouro Branco, na junção com a serra da Moeda–Jeceaba, apresenta lavras de rochas metaultramáficas talcificadas e serpentinizadas do Complexo Monsenhor Isidro, da Formação Lafaiete ou do Grupo Rio das Velhas (existem dúvidas estratigráficas). O material é aproveitado no local como matéria-prima para artesanato em pedra-sabão.

As regiões de Santa Bárbara do Tugúrio e Campestre, no Vale do Rio Pombo, contêm corpos de esteatito que foram pesquisados pela Metamig (atual CODEMGE). São rochas provavelmente do *Greenstone belt* ou Grupo Barbacena. Estão encaixadas em gnaisses tonalíticos do Complexo Mantiqueira (do Paleoproterozóico, *ca.* 2,2Ga.), em corpos aparentemente orientados segundo a direção nordeste. O aproveitamento econômico como pedra artesanal constituía-se em importante fonte de renda para a população de Santa Bárbara do Tugúrio. A lavra era manual, seletiva e as reservas suficientemente grandes para a pequena produção (VIANA, 1991).

Na Fazenda do Cedro, no município de Carandaí, aflora um corpo de rocha ultramáfica talcificada, em área exposta de cerca de 100 x 200 metros, constituído principalmente de talco lamelar esverdeado, de onde já haviam sido retiradas cerca de mil toneladas dessa rocha (VIANA, 1991).

Na Fazenda Caí, no município de São Tomé das Letras, é conhecida uma ocorrência de amianto relacionado a serpentinito, provavelmente do Grupo Andrelândia ou de seu embasamento paleoproterozóico. A tremolita pode atingir, eventualmente, 25 centímetros de comprimento, entretanto as fibras de melhor qualidade são curtas e posicionadas em veios irregulares (SILVA, 1982).

10.6. MÁRMORE E AFINS

Para a indústria de rochas ornamentais, mármore é qualquer rocha carbonática que aceita polimento. São poucos os pontos de extração conhecidos em Minas Gerais, fora do Quadrilátero Ferrífero.

Dados divulgados pela ANM, no Anuário Mineral Estadual de Minas Gerais (COSTA *et al.*, 2019), relativo aos anos de 2015 e 2016, mostravam reservas medidas de 285 milhões e 290 milhões de toneladas, respectivamente, com o somatório indicada e inferida chegando a aproximadamente 118 milhões de toneladas. As reservas lavráveis estavam em cerca de 275 milhões de toneladas.

A produção bruta ROM foi de 70 mil toneladas em 2015 e de 80 mil toneladas em 2016, com 329 toneladas ROM beneficiadas em 2015. Para 2016, não havia informação.

Em 2015, foram comercializadas 69 mil toneladas de mármore a um valor total de 1,05 milhão de reais, incluindo a porção beneficiada. Em 2016, as 78 mil toneladas comercializadas renderam 607 mil reais. A diferença entre produção e valor de comercialização entre esses dois anos pode estar no fato de não constar, em 2016, venda de produtos beneficiados de maior valor agregado. Em 2015 e 2016, havia uma lavra pequena (10.000 até 100.000t/ano ROM) e duas microempresas (<10.000t/ano ROM).

Durante trabalhos de campo em projetos da SGB-CPRM, na Bacia do São Francisco (ver projetos Bacia do São Francisco, Sete Lagoas–Abaeté, APA Lagoa Santa) as equipes constataram diversas frentes de lavra de mármore abandonadas ao longo das bordas sul e leste da bacia.

Entre Campos Altos (Pedreira da Prata) e Córrego D'Anta, na Serra da Saudade, aflora um pacote de calcilito bandado do Membro Pedro Leopoldo, unidade basal da Formação Sete Lagoas do Grupo Bambuí. Trata-se de lasca tectônica intercalada em rochas do Grupo Canastra, principalmente filitos da Formação Paracatu. O intenso dobramento produziu uma rocha de aspecto movimentado, alternando-se leitos creme com outros cinza-esverdeados, milimétricos a centimétricos, de textura muito fina. Comercialmente, é chamado mármore Verde Jaspe e Preto Florido. A mesma rocha é encontrada em Presidente Kubitschek e em Baldim (Figura 10.24), ao longo da borda ocidental da Serra do Espinhaço (Serra do Cipó), no extremo leste da Bacia do São Francisco.

Jazidas ou depósitos de mármore também são conhecidos em Cardeal Mota (mármore Primavera e Preto Florido), Monjolos (mármore Verde Esmeralda e Verde Rodeador) e Mar de Espanha (mármore brancos, tipo Espírito Santo) (COMIG, 1999).

A leste de Mar de Espanha, é conhecida uma faixa portadora de mármore dolomítico com mais de 20 quilômetros de comprimento e até um quilômetro de largura, provavelmente integrante do Grupo Raposo, mas até o momento não se mostrou interessante como material de revestimento, devido a impurezas, fraturamento e intemperismo, podendo ter outros usos.

Entre as 100 maiores minas do estado não constava nenhuma de mármore e afins no Anuário Mineral Estadual de Minas Gerais de 2019, relativo aos anos de 2015 e 2016 (COSTA *et al.*, 2019).

Mármore

Mármore dolomítico ocorre na Formação Gandarela, em transição com itabirito da Formação Cauê (inferior), reunida no Grupo Itabira, Supergrupo Minas.

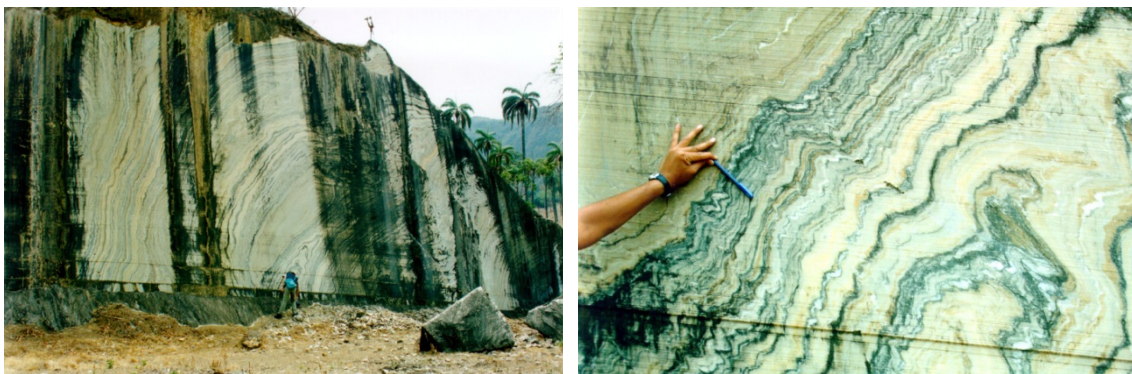


Figura 10.24 - Pedreira de mármore com dobras apertadas, consequência da Orogênese Brasileira na borda sul do Cráton do São Francisco. Membro Pedro Leopoldo, Formação Sete Lagoas, Grupo Bambuí, em Baldim. Acervo fotográfico SGB-CPRM.

O pacote de mármore dolomítico varia entre 200 metros e 500 metros de espessura na Serra da Moeda, na região de Marinho da Serra, diminuindo a espessura de norte para sul. Na Serra de Itabirito, na aba oriental da Sinclinal Moeda, a espessura passa de 400 metros junto à Represa das Codornas, diminuindo no sentido do Sul até uma fina faixa junto ao Complexo do Baçõ. Grandes espessuras também são encontradas nas serras do Curral e do Acaba Mundo, na região de Belo Horizonte. No Acaba Mundo já houve exploração. Ocorre também em diversas outras regiões do Quadrilátero Ferrífero (QF), como na Sinclinal Gandarela (domínio oriental do QF) e na Sinclinal Dom Bosco (domínio sul do QF), em estreita associação com as exposições de formações ferríferas (itabirito). Em associação com o mármore dolomítico, ocorrem filito dolomítico, formação ferrífera dolomítica e filito. O mármore é de grão fino, vermelho (rosa), branco e cinza, em muitos locais com brechas e conglomerado intraformacional com fragmentos estirados. O tipo vermelho é mais rico em ferro que os demais, mas todos os tipos contêm ferro (hematita e magnetita) e manganês (DORR II 1969). Predomina amplamente o mármore dolomítico, mas também ocorre mármore calcítico, com a possibilidade de ser rocha primária e substituída por dolomitização, o que teria ocorrido antes ou durante o metamorfismo, visto o mármore dolomítico ser denso e equigranular. Também, são comuns intercalações de lentes de itabirito dolomítico, que chegam a predominar em certas regiões, nas porções mais inferiores da formação (DORR II, 1969). A ampla presença de talco sugere que fluidos magnesianos permearam essas rochas, segundo esse autor.

Algumas áreas de exposição de rochas dolomíticas do Quadrilátero Ferrífero estão indisponíveis para atividades minerárias visto a presença de cavernas, como é o caso da Gruta Igreja, conhecida no mínimo desde a década de 1950 e a maior delas. O mármore sobre o qual se edificou a gruta também é atribuído à Formação Gandarela. A entrada da gruta está nas coordenadas 43°42'27,4"W e 20°26'47,7"S.

Na Mina da Bemil Beneficiamento de Minérios Ltda, junto ao Viaduto do Funil, na Rodovia dos Inconfidentes (BR356), a cerca de 15 quilômetros a oeste de Ouro Preto, a empresa Bemil produz insumos para agricultura (calcário dolomítico como corretivo de solos), construção civil (brita, pó limpo e pó sujo), siderurgia (dolomita fina e granulada) (Figuras 10.25 e 10.26).

O mármore ocorre também na Formação Fecho do Funil, do Grupo Piracicaba, Supergrupo Minas, associado a filitos dolomíticos marrom e cinza-escuro, filitos cinza, rosa e marrom-claro e, localmente, metassiltito sericítico. É impuro e na localidade-tipo (na quadrícula Fecho do Funil) tem 36% de SiO_2 , 4% de Al_2O_3 , 16% de CaO , 11% de MgO e 23% de PF (SIMMONS, 1968). Em um conjunto de sete análises de mármore mais puros do platô de Moeda, Wallace (1965) encontrou valores de 1% a 7% de SiO_2 , 0,1% a ca. 2% de Al_2O_3 , 28% a 51% de CaO , 1,4% a 19% de MgO , 0,6% a 4,2% de óxido de ferro e 41% a 48% de PF, com uma das amostras contendo 1,8% de manganês. O ferro ocorre, principalmente, na forma de hematita e magnetita e, em parte, parece estar em calcita e dolomita ferruginosas, o mesmo acontecendo com o manganês (DORR II, 1969).



Figura 10.25 - Lavra de dolomito junto ao Viaduto do Funil, à margem da rodovia BR040-Ouro Preto. Formação Gandarela, Grupo Itabira, Supergrupo Minas. Bemil Mineração. Acervo fotográfico SGB-CPRM.



Figura 10.26 - Detalhe da foto anterior, focando o centro da cava na bancada inferior, mostrando dolomitos vermelho (rosa), branco e cinza-escuro, em estratos concordantes. Formação Gandarela, Grupo Itabira, Supergrupo Minas. Bemil Mineração. Acervo fotográfico SGB-CPRM.

Uma das principais exposições desse mármore pode ser observada na Pedreira Cumbé, onde a lente tem, possivelmente, mais de 30 metros de espessura e várias centenas de metros de comprimento, ocupando qualquer posição estratigráfica na formação. A pedreira situa-se ao norte de Cachoeira do Campo, município de Ouro Preto.

O Mármore Cumbé apresenta cores creme, acinzentado-claro, rosado e avermelhado, com magníficas estruturas primárias e estromatolíticas de biohermas paleoproterozóicas (Figura 10.27). É conhecido comercialmente como Mármore Aurora, variedades Aurora Pérola, Aurora Prata ou Prateado, Pink e Jacarandá (COMIG, 1999). Tem boa aceitação como rocha ornamental e de revestimento (HEINECK *et al.*, 2000) e, também, era aproveitado para fins metalúrgicos, construção civil, pavimentação e calçadas. Conforme informado por Dorr II (1969), próximo ao Córrego do Eixo, na Quadrícula

Marinho da Serra (escala 1:25.000), existem ocorrências (consideradas não econômicas) de tetraedrita e de outros minerais de cobre associadas ao mármore. No saprólito dos mármore, ocorrem pequenas concentrações de óxidos de manganês.

Pedra Preta Mariana

Conhecida comercialmente como Preta Mariana ou Pedra Preta, era produzida em pequena lavra próximo à localidade Passagem de Mariana, município de Mariana. Trata-se de formação ferrífera bandada com especularita, quartzo e hornblenda, de cor cinza-escuro e brilho especular, com prismas fibrosos esverdeados de anfibólio. É parte da Formação Cauê, Grupo Itabira, Supergrupo Minas. Conforme dados do Projeto SIGIM Rochas (COMIG, 1999), a produção de placas era de aproximadamente mil metros quadrados ao ano.



Figura 10.27 - Dolomito da Pedreira Cumbé, com 'manchas rosadas' de estromatólitos. Formação Fecho do Funil, Grupo Piracicaba, Supergrupo Minas. Acervo fotográfico SGB-CPRM.

PROVÍNCIAS E DISTRITOS GEMOLÓGICOS (PEDRAS CORADAS)



Topázio Imperial
8,5 x 1,3 x 1,1 cm
Distrito de Antônio Pereira, Ouro Preto, MG

Foto: Andrea Ferreira
Amostra pertencente ao acervo do
MM Gerdau - Museu das Minas e do Metal

11. PROVÍNCIAS E DISTRITOS GEMOLÓGICOS (PEDRAS CORADAS)

11.1. PROVÍNCIA GEMOLÓGICA ORIENTAL DO BRASIL

No Brasil, estão as maiores e mais variadas províncias gemológicas mundiais (DELANEY, 1996) e em Minas Gerais está a principal delas, a Província Pegmatítica Oriental (PAIVA, 1946), ou Província Gemológica Oriental do Brasil (PINTO; PEDROSA-SOARES, 2000, 2001; PEDROSA-SOARES *et al.*, 2001).

Conforme Pinto e Pedrosa-Soares (2000), as províncias gemológicas brasileiras estão inseridas em: a) crátons neoproterozóicos do Ciclo Brasileiro; b) faixas móveis neoproterozoicas–cambrianas; e c) bacias paleozoicas–mesozoicas. Em Minas, estão representadas províncias relacionadas aos ambientes geotectônicos “a” e “b”.

Por se constituírem em ambientes geológicos, tectônicos e genéticos distintos, neste trabalho decidiu-se por adotar o conceito de província, subdividido-a em Subprovíncia Gemológica Pegmatítica Oriental do Brasil e Subprovíncia Esmeraldífera de Minas Gerais.

Adotou-se como definição de Província mineral uma região da crosta terrestre com mais de 10 mil quilômetros quadrados que contém jazimentos minerais, podendo ser dividida em subprovíncias. O conceito é de distribuição geográfica-territorial.

Como **distrito mineral** considerou-se a parte de uma província ou subprovíncia mineral onde ocorrem agrupamentos de depósitos minerais afins, distribuídos em uma região da ordem de 100 a 1.000 quilômetros quadrados e inseridos em terreno de geologia similar.

Campo mineral foi tratado como parte de um distrito mineral, também com características geológicas similares.

Corpo mineral ou de minério foi usado de modo similar a depósito mineral e representa uma concentração local de um determinado bem, substância ou matéria-prima mineral, vinculado a determinados elementos geológicos, no caso, por exemplo, um pegmatito ou acumulação secundária em depósitos detríticos.

Um relato abrangente da geologia, tratamento e usos de diversas gemas (água-marinha, goshenita, heliodoro, morganita, esmeralda, turmalina, topázio, crisoberilo, quartzo e coríndon) é encontrado em Castañeda, Addad e Liccardo (2001). Revisões da geologia do Orógeno Araçuai e da Província Gemológica são fornecidas principalmente em Correia-Neves, Pedrosa-Soares e Marciano (1996), Pinto (2001, 2002), Netto *et al.* (2000) e Pedrosa-Soares *et al.* (2001).

11.1.1. Subprovíncia Gemológica Pegmatítica Oriental do Brasil

A Subprovíncia Gemológica Pegmatítica Oriental do Brasil foi parcialmente mapeada no Projeto Leste de Minas Gerais (PINTO, 2002), com mais de 900 pegmatitos e lavras de gemas cadastrados nos trabalhos de campo e relatados em Netto *et al.* (2000). Os corpos foram reunidos em função de suas características geológicas e geográficas em distritos e em campos pegmatíticos, ampliados neste trabalho (Figura 11.1; Tabela 11.1).

Os pegmatitos estão relacionados a granitos dos tipos S e I, e podem ser endógenos, alojados no próprio granito, ou exógenos, encaixados em unidades metas-sedimentares, principalmente em xistos aluminosos e, mais raramente, em quartzito.

Os corpos alojados em unidades xistosas, geralmente, são os maiores. Costumam ser complexos e zonados, com metros a dezenas de metros de espessura e dezenas a várias centenas de metros de comprimento. São geralmente sub-horizontais e concordantes a subconcordantes com a xistosidade ou foliação principal das rochas encaixantes (Figura 11.2).

Os pegmatitos alojados em quartzito, como no Morro do Cruzeiro (Lavra Aricanga: turmalinas-gemas), podem ser discordantes e subverticais, mas também são de grande envergadura e zonados.

Nos pegmatitos encaixados em metassedimentos, as gemas costumam acumular-se em megageodos com até alguns metros de diâmetro, popularmente chamados caldeirões, distribuídos ao longo do corpo pegmatítico e ligados por uma tênue zona hidrotermalizada que os garimpeiros chamam de linha. Esses pegmatitos produzem, principalmente, turmalinas-gemas rosa, verde e bicolor, além de minerais não gemológicos, como turmalina preta, lepidolita, muscovita, albita, K-feldspato e minerais industriais de lítio, principalmente espodumênio, petalita e amblygonita. São fontes, também, de quartzo rosa, citrino, topázio azul a incolor e peças de coleção.

Os pegmatitos endógenos em granitos tipo I são delgados, geralmente com decímetros até poucos metros de espessura e verticais, com zonação simples ou não zonados. Produzem, principalmente, minerais de berílio (morganita, água-marinha, crisoberilo). As lavras são conduzidas sobretudo nos depósitos secundários (elúvios, colúvios e aluviões) e nos saprólitos, dada a dificuldade da lavra em rocha fresca.

A distribuição das lavras de gemas por campo pegmatítico, com indicação das espessuras médias dos corpos pegmatíticos e tipos de depósitos, é indicada na Tabela 11.2 e as composições minerais dos conjuntos de corpos pegmatíticos de cada campo são apresentadas na Tabela 11.3 (NETTO *et al.*, 2000).

11.1.2. Subprovíncia Esmeraldífera de Minas Gerais

A Província Esmeraldífera de Minas Gerais (CÉSAR-MENDES; BARBOSA, 2001) ou subprovíncia neste trabalho, integrante da Província Gemológica Oriental do Brasil

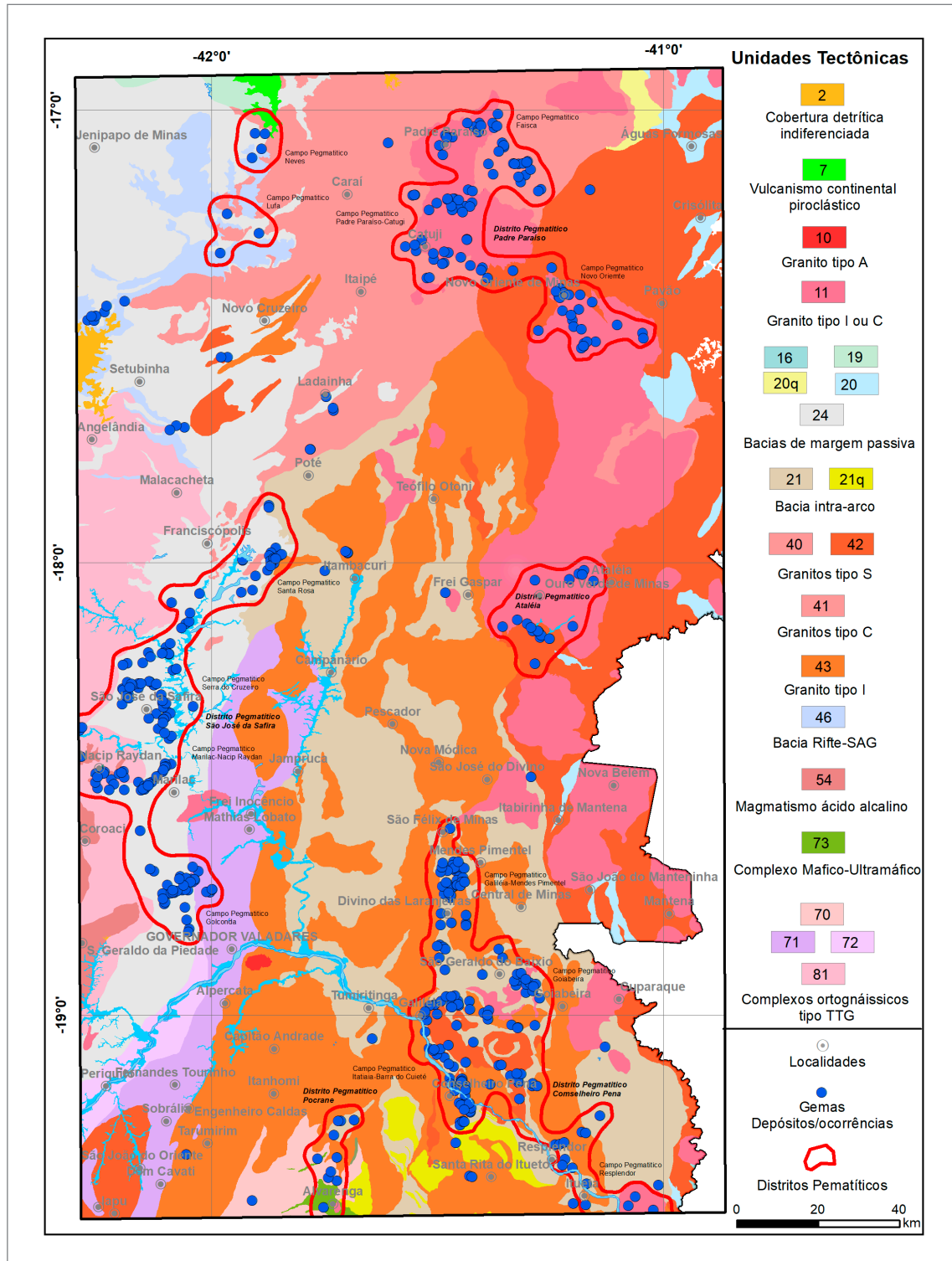


Figura 11.1 - Mapa tectônico da Subprovíncia Gemológica Pegmatítica Oriental do Brasil e dos campos pegmatíticos obtido do mapa de recursos minerais do estado de Minas Gerais (Ed. 2014), com dados sobre lavras de gemas baseados principalmente em Netto *et al.* (2000, 2002).

(PINTO; PEDROSA-SOARES, 2000, 2001; PEDROSA-SOARES *et al.*, 2001), é a principal representante dos depósitos de gemas oriundos de fluidos hidrotermais que percolaram uma sequência metavulcanossedimentar com rochas ultramáficas xistificadas. Estende-se desde a região de Rio Casca, ao sul, até as proximidades de Guanhães, ao norte. Nessa subprovíncia, estão os principais depósitos de esmeralda e alexandrita, explotados principalmente nos distritos de Itabira-Santa Maria de Itabira e Nova Era-São Domingos do Prata.

Esmeraldas sempre despertaram a cobiça de exploradores de pedras preciosas. Consta que as primeiras expedições começaram por volta dos anos 1540-1550, com uma bandeira partindo de Caravelas – BA, em 1554, contando com o capelão João Navarro e pouco mais de uma dezena de expedicionários acompanhados por batedores indígenas, aparentemente chegando até onde hoje está Diamantina e Serro, passando pela região da atual Teófilo Otoni. Várias outras expedições foram organizadas, sempre sem encontrarem as cobiçadas esmeraldas.

Tabela 11.1 - Distritos e campos gemológicos da Subprovíncia Gemológica Pegmatítica Oriental do Brasil, adaptados de Netto *et al.* (2000).

DISTRITO	CAMPO	TIPO/ASSOCIAÇÃO LITOLÓGICA
Araçuaí	Lufa	Pegmatitos encaixados em sequências supracrustais em domínio do Leucogranito Carai
	Neves	
Padre Paraíso	Padre Paraíso – Catugi	Pegmatitos no domínio da Suíte Intrusiva Aimorés, posicionados no interior da suíte ou nas encaixantes.
	Faisca	
	Novo Oriente	
São José da Safira	Serra do Cruzeiro	Pegmatitos encaixados em micaxisto ou quartzito (Serra do Cruzeiro) do Grupo Dom Silvério, Grupo Macaúbas, Grupo Rio Doce, no domínio de granitoides mais jovens, tipo S.
	Santa Rosa	
	Poté- Ladainha	
	Golconda	
	Marilac	
	Nacip Raydan	
Conselheiro Pena	Resplendor	Pegmatitos encaixados em micaxisto do Grupo Rio Doce, no domínio do Tonalito Galiléia e granitoides mais jovens tipos I e S.
	Goiabeira	
	Galileia- Mendes Pimentel	
	Itatiaia – Barra do Cuieté	
	Alvarenga - Itanhomi	
Ataleia	Ataleia - Fidelândia	Pegmatitos no domínio da Suíte Intrusiva Aimorés, posicionados no interior da suíte ou nas encaixantes metassedimentares e granitos tipo S.
Caratinga	Caratinga	Pegmatitos encaixados em unidades transamazônicas, reativadas no Brasileiro.
	Vargem Alegre	

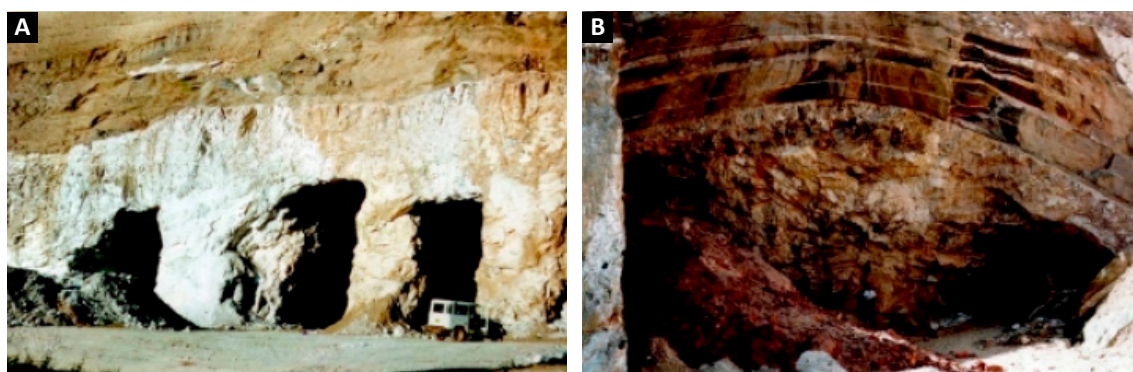


Figura 11.2 - A: Lavra do Ipê em pegmatito produtor de água-marinha, heliodoro, morganita, encaixado em biotita xisto do Grupo Dom Silvério. Foto cedida por Mario C. Araújo. B: Lavra Olho de Gato em pegmatito produtor de gemas, concordante em biotita xisto da Formação São Tomé, Grupo Rio Doce. Campo Pegmatítico Golconda, Governador Valadares, MG (acervoSGB-CPRM).

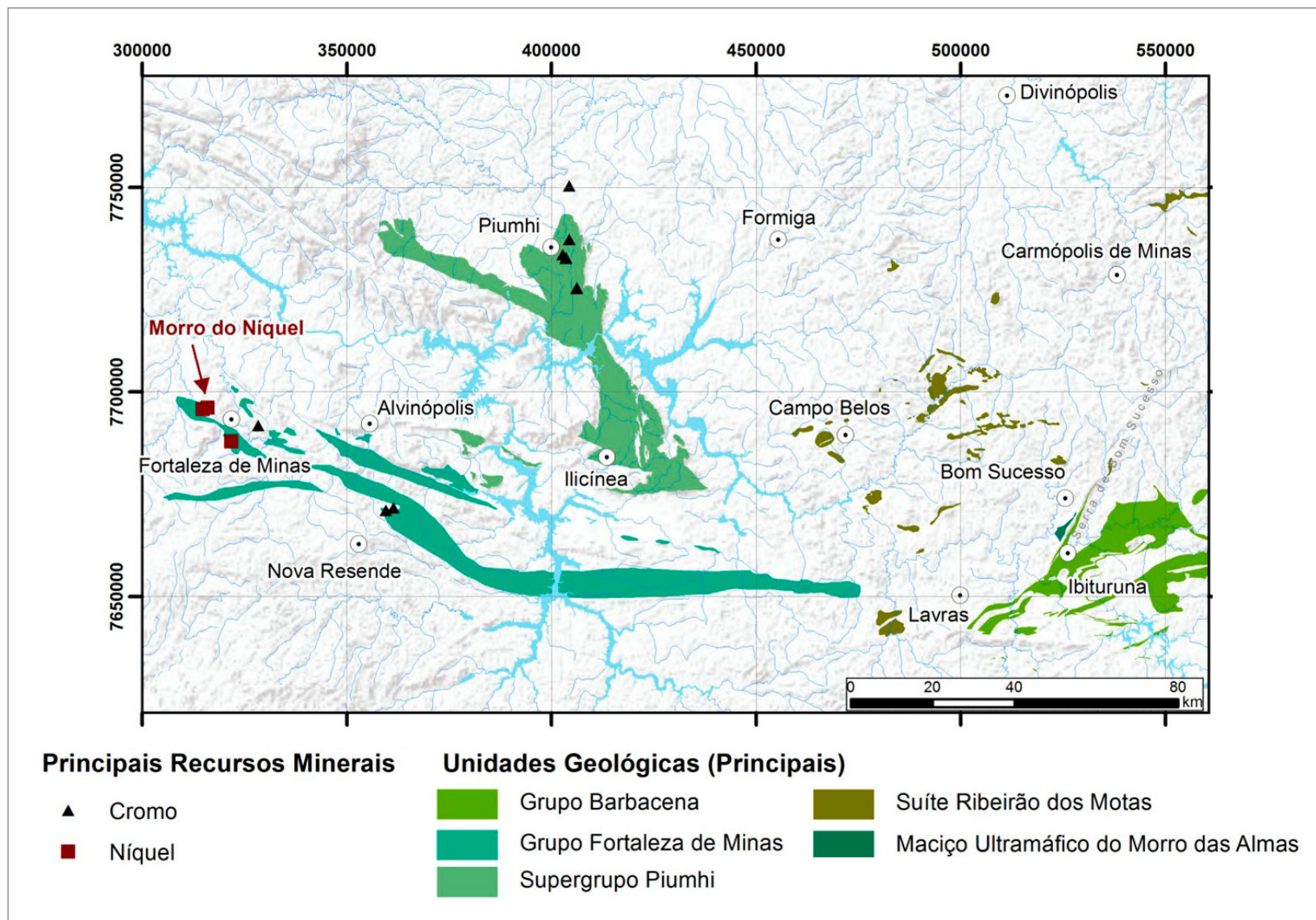


Figura 5.4 - Distribuição das principais unidades vulcano-sedimentares (grupos Fortaleza de Minas, Barbacena e Supergrupo Piumhi) e maciços ou suítes ultramáficas/acamadadas (Suíte Ribeirão dos Motas, Maciço Ultramáfico do Morro das Almas), onde são conhecidas as ocorrências e mineralizações de Ni e Cr, no sudoeste do estado de Minas Gerais. Modificado de Pinto e Silva (2014a). Elaboração própria.

Tabela 11.2 - Distribuição das lavras primárias e secundárias de gemas por campo pegmatítico da Província Pegmatítica Oriental da Brasil (NETTO *et al.*, 2000, 2002).

CAMPO PEGMATÍTICO	ESPESSURA >50M	ESPESSURA 15 - 50M	ESPESSURA 5 - 15M	ESPESSURA 0,5 - 5M	ESPESSURA <0,5M	ALUVIÃO	ELUVIÃO	COLUVIÃO	VEIO DE QUARTZO	TOTAL
Serra do Cruzeiro	1	19	21	14	-	-	1	-	-	56
Santa Rosa	4	9	7	4	-	-	-	2	-	26
Poté - Ladainha	-	-	5	3	-	-	1	-	-	9
Golconda	4	20	17	7	-	-	1	-	-	49
Marilac	1	7	13	4	-	-	-	-	-	25
Resplendor	-	4	3	13	-	-	-	1	-	21
Goiabeira	-	2	5	16	-	-	-	1	-	24
Galiléia - Mendes Pimentel	-	12	37	35	-	-	-	-	-	84
Itatiaia - Barra do Cuiceté	1	1	28	28	-	1	4	1	-	64
Alvarenga - Itanhomi	-	-	-	20	-	-	-	-	-	20
Lufa	-	-	-	9	-	1	1	1	-	12
Neves	-	-	-	4	-	-	-	-	-	4
Nacip Raydan	-	2	9	5	-	-	-	-	-	16
Padre Paraíso-Catugi	-	-	1	41	-	30	9	17	-	98
Faísca	-	-	-	-	-	13	2	-	-	15
Novo Oriente	-	-	-	7	-	14	5	6	-	32
Ataléia - Fidelândia	-	-	2	22	-	5	1	1	-	31
Itabira - Ferros	1	-	12	73	6	9	-	1	-	103
S. Dom. do Prata / Ant. Dias	-	9	19	7	-	-	-	-	1	35
Caratinga	-	-	4	16	-	-	-	-	-	20
Vargem Alegre	-	-	2	6	-	-	-	3	-	11
Pegmatitos Isolados	-	-	3	34	3	6	3	3	4	56
TOTAL	12	85	188	368	9	79	28	37	5	811

Tabela 11.3 - Composição mineral dos campos pegmatíticos dos distritos da Província Gemológica Oriental do Brasil
(extraído de NETTO *et al.*, 2000, 2002).

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	B1	B2	C1	D1	D2	D3	D4	E1	E2	F1	F2
SILICATOS																					
<i>fd</i>																					
<i>fg</i>																					
<i>amz</i>																					
<i>cm</i>																					
<i>cv</i>																					
<i>ab</i>																					
<i>mic</i>																					
<i>qz</i>																					
<i>qzh</i>																					
<i>rch</i>																					
<i>qzl</i>																					
<i>qzm</i>																					
<i>qzr</i>																					
<i>at</i>																					
<i>crr</i>																					
<i>crr-r</i>																					
<i>mi</i>																					
<i>flp</i>																					
<i>cl</i>																					
<i>bt</i>																					
<i>um</i>																					
<i>lep</i>																					
<i>be</i>																					
<i>ama</i>																					
<i>mor</i>																					
<i>es</i>																					
<i>gos</i>																					
<i>hel</i>																					
<i>ber</i>																					
<i>tu-a</i>																					
<i>tu-bi</i>																					
<i>tu-v</i>																					
<i>tu-r</i>																					
<i>tu-vm</i>																					
<i>tu-p</i>																					
<i>esp</i>																					
<i>kz</i>																					
<i>tz</i>																					
<i>dio</i>																					
<i>gra</i>																					
<i>zir</i>																					
<i>tm</i>																					
<i>epi</i>																					
<i>sil</i>																					

(Continua)

Tabela 11.3 - Composição mineral dos campos pegmatíticos dos distritos da Província Gemológica Oriental do Brasil (extraído de NETTO *et al.*, 2000, 2002) (Continuação).

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	B1	B2	C1	D1	D2	D3	D4	E1	E2	F1	F2
SILICATOS																					
<i>est</i>																					
<i>crd</i>																					
<i>anf</i>																					
<i>ci</i>																					
ÓXIDOS																					
<i>crb</i>																					
<i>ax</i>																					
<i>cor</i>																					
<i>as</i>																					
<i>ura</i>																					
<i>rt</i>																					
<i>Sn</i>																					
<i>cb/ta</i>																					
FOSFATOS																					
<i>fos</i>																					
<i>amb</i>																					
<i>aut</i>																					
<i>chi</i>																					
<i>bra</i>																					
<i>mo</i>																					
<i>rch</i>																					
<i>sab</i>																					
<i>sco</i>																					
<i>sou</i>																					
<i>str</i>																					
<i>jah</i>																					
<i>znw</i>																					
<i>wy</i>																					
<i>ap</i>																					
<i>brn</i>																					
<i>duf</i>																					
<i>eos</i>																					
<i>fap</i>																					
<i>fro</i>																					
<i>tap</i>																					
SULFETOS E FLUORETOS																					
<i>pi</i>																					
<i>flp</i>																					
<i>arp</i>																					

Abreviaturas: ab-albita; ama-água-marinha; ax-alexandrita; amz-amazonita; amb-ambablignita; at-ametista; anf-anfibólio; ap-apatita; arp-arsenopirita; aut-autunita; be-berilo; ber-bertrandita; brn-beraunita; bt-biotita; bra-brasilianita; cv-cleavelandita; Sn-cassiterita; chi-childrenita; crb-crisoberilo; crd-cordierita; cm-caulim; cl-clorita; duf-dufrenita; dio-diopsídio; eoseosforita; epi-epidoto; es-esmeralda; est-estauroilite; esp-espodumênio; fap-fluorapatita; fd-feldspato; fg-feldspato gráfico; fl-fluorita; flg-flogopita; fos-fosfato; fro-frondelita; gra-granada; gos-goshenita; hel-heliodoro; il-ilmenita; jah-jahnsita; kz-kunzita; lep-lepidolita; mi-mica; mic-microclina; mo-monazita; mor-morganita; mu-muscovita; pi-pirita; qz-quartzo; qzh-quartzo hialino; qzl-quartzo leitoso; qzm-quartzo morion; qzr-quartzo róseo; rch-roscherita; rt-rutilo; sab-sabugallita; as-safira; sco-scorzalita; sil-sillimanita; sou-sousalita; str-strunzita; tap-tapiolita; tm-tremolita; tu-turmalina (a-azul, b-bicolor, r-rosa, v-verde, vm-vermelha, p-preta); tz-topázio; ura-uraninita; wy-wyllita; znw-zinwaldita; zir-zircão

Em 1674, partiu a bandeira de Fernão Dias Paes Leme, o Caçador de Esmeraldas, que se dirigia à região leste do estado, na busca da Serra das Esmeraldas ou Terra das Esmeraldas, como chamaram bandeirantes anteriores. Na realidade, as ditas esmeraldas eram águas-marinhas e turmalinas verdes. Chegando à atual Serra do Cruzeiro, em São José da Safira, pensou ter encontrado as esmeraldas que buscava. Ao ver turmalinas verdes dessa serra, a qual chamou de Serra Resplandescente, pelo brilho do sol refletido sobre quartzitos e micas. Hoje, no local está a Mina Aricanga, explotando turmalinas-gemas. Um belo relato sobre o tema é apresentado por Cornejo e Bartorelli (2014) no livro *Minerais e Pedras Preciosas do Brasil*, nas páginas 446-461, com apoio institucional do SGB-CPRM.

As primeiras informações reais sobre esmeraldas em Minas Gerais são de 1978, em Itabira, na atual Mina Belmont, e de 1988, em Capoeirana (CESAR-MENDES, 1989 *apud* CÉSAR-MENDES; BARBOSA, 2001). Esses autores referem-se a novas descobertas em Minas Gerais entre 1995 e 2000, citando como exemplos o Garimpo do Toco e a Mina de Santa Galo, na região de Nova Era–São Domingos do Prata, e a jazida da Fazenda das Piteiras, situada em uma faixa de terreno entre a Mina Belmont e o Garimpo Capoeirana, na região de Itabira. A Jazida de Santa Galo era de propriedade da Mineração Santa Galo, que iria explorar esmeraldas a partir de saprólito e rocha fresca (CÉSAR-MENDES; FERREIRA JR., 1998 *apud* CÉSAR-MENDES; BARBOSA, 2001). A Jazida Fazenda das Piteiras era de propriedade da empresa canadense Seahawk Minerals Ltda (CÉSAR-MENDES, 2000 *apud* CÉSAR-MENDES; BARBOSA, 2001), posteriormente a 2008, incorporada pela Belmont Mineração, que já era proprietária da Mina Belmont.

Cornejo e Bartorelli (2014) também citam a descoberta de esmeraldas em Santana dos Ferros em 1920, na Fazenda do Sossego (ou Sítio Bom Sossego), baseados em relato de Odilon Loureiro da Cunha. Essa lavra teria funcionado de forma rudimentar, por alguns anos, e abandonada algum tempo depois.

De maneira geral, as mineralizações estão relacionadas a fluidos hidrotermais ricos em berílio, provenientes de intrusões graníticas alcalinas que interagiram com rochas metaultramáficas e xistos peraluminosos (RIBEIRO-ALTHOFF *et al.*, 1997; BASÍLIO, 1999), gerando disseminações ou veios que cortam xistos ultramáficos, biotita-flogopita xistos ou biotititos (CÉSAR-MENDES; BARBOSA, 2001), principalmente ao longo da xistosidade principal, posições apicais de dobras ou fraturas. A fonte dos fluidos é atribuída à Suíte Granítica Borrachudos, de idade paleoproterozoica, *ca.* 1,75Ga (DOSSIN *et al.*, 1993). (CÉSAR-MENDES; BARBOSA, 2001) destacam que em todas as jazidas está presente a associação metavulcanossedimentar em contato com a rocha metagranítica (Granito Borrachudos),

representada pelos xistos metapelíticos, rochas metaultramáficas xistificadas, anfíbolitos, veios pegmatoides e veios de quartzo, com as esmeraldas ocorrendo, principalmente, no xisto ultramáfico (biotita-flogopita xisto ou biotitito). Essa afirmativa é contestada na Mina Piteiras por Viana, Jordt-Evangelista e Gomes (2006).

A idade das mineralizações de esmeraldas é objeto de dúvidas há longo tempo, com hipóteses que vão do Arqueano ao Neoproterozóico. Conforme dados disponíveis na literatura, os pegmatitos dessa região esmeraldífera apresentam duas idades distintas de formação. Os mais velhos e deformados, provavelmente vinculados ao magmatismo do Granito Borrachudos e geneticamente responsáveis pela mineralização esmeraldífera, têm idade Rb-Sr de cerca de 1,9Ga. Já os mais novos e indeformados estariam relacionados ao evento de metamorfismo e migmatização do Granito Borrachudos no Brasiliano e podem conter água-marinha, conforme Preinfalk, Kostitsyn e Morteani (2002) e outros por eles citados. Esse valor de 1,9Ga difere daquele de *ca.* 1,75Ga obtido por Dossin *et al.* (1993).

Mais recentemente, em geocronologia U-Pb (LA-ICP-MS) em titanita de uma lâmina de flogopita-plagioclásio-hornblenda xisto da Mina Piteiras, Jordt-Evangelista *et al.* (2016) obtiveram idade de 576 ± 7 Ma, que consideraram como a provável idade de geração da esmeralda durante o Ciclo Brasiliano, por ter sido o único evento tectonometamórfico que afetou os granitos Borrachudos, fornecendo calor e fluidos para mobilização de Be e Cr para a formação do mineral no Distrito Esmeraldífero de Itabira-Nova Era.

Na **Mina Belmont** (Belmont Mineração Ltda), situada no município de Itabira, em 2010, foram lavradas e processadas 60 mil toneladas ROM de rochas esmeraldíferas metaultramáficas xistificadas e hidrotermalizadas com flogopita (Figura 11.3), resultando em 50 quilogramas de esmeraldas beneficiadas (Revista Minérios & Minerais nº 335, de outubro de 2011).

A lavra é mecanizada e feita a céu-aberto na porção intemperizada decomposta, e subterrânea na rocha mais resistente. Segundo relato de Cornejo e Bartorelli (2014), referindo-se à informação da Belmont, destacam que a empresa desenvolveu tecnologia própria de lavra e beneficiamento do produto ROM e concentração das esmeraldas por separação ótica totalmente mecanizada. O processo, chamado “Método Belmont”, classifica as esmeraldas em parâmetros de cor, brilho, tamanho, forma e inclusões, sem uso de tratamento químico. Consta que as esmeraldas eram comercializadas em bruto.

Na **Mina Piteiras** (Belmont Mineração Ltda), localizada nas coordenadas $19^{\circ}41'36''S$ e $43^{\circ}5'33''W$, esmeraldas foram descobertas em 1998 e, em 2000, a mina subterrânea entrou em produção, operada até 2008 pela Seahawk Minerals Ltda, quando foi adquirida pela Belmont Mineração (<https://www.mindat.org/loc-42760.html>).



Figura 11.3 - A: flogopita xisto com vênulas de quartzo hidrotermal e encrustações de esmeralda, nas proximidades do contato com o Granito Borrachudos; B: exemplar de esmeralda que ocorre encrustada em flogopita xisto. Fotos cedidas pela Mineração Belmont, Itabira.

Nesse período, foram movimentadas cerca de 500 toneladas de cascalho (*gravel* no original; deve ser rocha, flogopita xisto), de onde foram obtidos dois quilogramas de esmeraldas. Em 2008, a Belmont avaliou o depósito/jazida como contendo 800 mil toneladas de “minério” com teor de 112 quilates de esmeraldas por tonelada, ou seja, 22 gramas por tonelada e uma reserva total de cerca de 90 milhões de quilates, ou 18 toneladas de esmeraldas. Segundo a Mindat, as esmeraldas são na maioria turvas de cor verde-pálido, ricas em inclusões fluidas, fraturadas, com cerca de 10% podendo ser lapidadas na forma cabochões ou para entalhe e um décimo disso, ou seja, 1% do total, é considerada de boa qualidade. As esmeraldas têm até cinco centímetros de comprimento, algumas com formas cristalinas perfeitas, ocorrendo disseminadas ou aglomeradas no xisto (Figura 11.4), nas proximidades de corpos graníticos ou ainda em veios de quartzo. As esmeraldas resultaram da reação de fluidos hidrotermais, de fonte granítica alcalina, ricos em berílio, que as originaram em reação com Cr, V, Fe, Mg dos xistos ultramáficos. Viana, Jordt-Evangelista e Gomes (2006) desconsideram o vanádio como elemento cromóforo das esmeraldas por ser sua concentração muito baixa em Piteiras, abaixo do limite de detecção da microsonda, restando como elemento da cor o cromo e talvez o ferro.

Lynch *et al.* (2014) realizaram estudos de inclusões fluidas e gemológicas em esmeraldas da Mina de Piteiras, onde ocorrem em cristais euédricos-anédricos, com 0,5 a 50 milímetros de comprimento. Como em outros locais, a mineralização esmeraldífera ocorre disseminada em biotita-flogopita xisto, associada a pegmatitos alcalinos metassomatizados, veios de quartzo e bandas de talco-clorita xisto. Embora os autores não façam menção, os pegmatitos podem ser as zonas hidrotermalizadas do Granito Borrachudos, de idade paleoproterozoica, no limite Orosiriano-Estateriano. Reconheceram quatro tipos de inclusões fluidas representadas por “*salmoura*

aquosa e variedades carbônicas aquosas com uma ou duas fases líquidas, juntamente com bolhas de gás e/ou cristais sólidos (por exemplo, carbonatos)”. “As inclusões de fluido primário nas esmeraldas registram salinidades de –4–24eq.% em peso de NaCl e temperaturas mínimas de aprisionamento de ~350 a 480°C.” Pelos estudos realizados, concluíram que “o fluido mineralizante era uma *salmoura* carbônica aquosa enriquecida em espécies voláteis reduzidas, como CH_4 , N_2 , H_2S e alcalinos”, e que essas esmeraldas são compatíveis com tipos metassomáticos hospedados em xistos.

O corpo mineralizado em esmeralda, em Piteiras, comporta-se como um leito com dois a quatro metros de largura, eventualmente até 12 metros por dobramentos, e centenas de metros de comprimento, orientado, preferencialmente, segundo N30°W;35°SW, representado, sobretudo, por anfibólio-biotita xisto com intercalações lenticulares de espessuras centimétricas a métricas de hornblenda xisto ou anfíbolito ultramáfico, anfíbolito e gnaiss similar ao da encaixante (VIANA; JORDT-EVANGELISTA; GOMES, 2006).



Figura 11.4 - Foto de esmeralda em flogopita-xisto da Mina Piteiras, Itabira, MG. Fonte: imagem obtida no site <https://www.mindat.org/loc-42760> em 22/06/2020. Escala não informada.

Esses autores ressaltam que nas proximidades de corpos pegmatíticos há enriquecimento em biotita formando flogopita xisto. Identificaram como minerais acessórios quartzo, fluorita e ocasionalmente cromita aluminosa, conforme relato de Viana (2004 *apud* VIANA; JORDT-EVANGELISTA; GOMES, 2006). A esmeralda está contida no flogopita xisto, com algum talco como produto de alteração/substituição de biotita ou anfibólio, e também em veios de quartzo, formando cristais até centimétricos, podendo estar encurvados/tortos e fraturados.

Os corpos pegmatíticos mais velhos, “... *presumivelmente ligados ao magmatismo gerador dos Metagranitóides Borrachudos e associados à esmeralda* ...”, são irregulares, com dezenas de metros de comprimento, deformados e fraturados, concordantes com a foliação dos xistos encaixantes, contendo albita, quartzo, moscovita e clinoclóro, com raro berilo normalmente azulado. Quando a esmeralda ocorre em veios feldspáticos é anédrica com bordas sugestivas de feições de corrosão. Nos veios de quartzo em flogopita xisto, distantes dos corpos pegmatíticos, ocorrem as melhores esmeraldas (VIANA; JORDT-EVANGELISTA; GOMES, 2006). Os veios pegmatíticos mais novos, brasileiros, dizem ser indeformados e localmente mineralizados em água-marinha, sem referência a conterem esmeraldas.

Um aspecto interessante relatado por Viana, Jordt-Evangelista e Gomes (2006) é que em Piteiras não ocorre o Granito Borrachudos, ou ainda não havia sido encontrado até 2006, contrariando o que é observado em outros depósitos, abrindo perspectivas para a busca de esmeraldas em outros locais longe do contato entre o granito e as rochas da associação metavulcanossedimentar, em especial nos xistos ultramáficos e flogopita xisto.

No **Garimpo Capoeirana**, a exploração era feita em um misto de poços, galerias e túneis, conduzida de maneira rudimentar e aparentemente com perda de material gemológico. A exploração começou em 1988, por garimpeiros, e, em 1992, passou a ser conduzida por uma cooperativa de garimpeiros.

11.1.3. Topázio Imperial

O Topázio Imperial é encontrado no distrito de Ouro Preto, na porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero, onde foi identificado pela primeira vez por volta de 1772 (CÉSAR-MENDES *et al.*, 2001). Trata-se da única região atualmente produtora dessa gema no mundo, em cristais de cor amarelo mel a avermelhado (vinho *sherry*). Ocorre em bolsões ao longo de zonas de cisalhamento que cortam rochas carbonáticas e filitos do Supergrupo Minas, resultado de processo hidrotermal, provavelmente, relacionado a vulcanismo félsico (FERREIRA, 1991).

Eschwege (1833), ao referir-se aos recursos minerais do Brasil em seu tratado “*Pluto Brasiliensis*”, publicado em Berlin em 1833 e no Brasil em 1979 (vol.2, p.108-114), escreve que “*De maior importância para os negociantes de pedras foi, porém, a descoberta do topázio amarelo nas vizinhanças de Vila Rica.*” (atualmente Ouro Preto), suspeitando que isso tenha ocorrido por volta de 1760. Mais adiante, informava que “*Os sítios mais ricos em topázios de cor excelente ficam em uma fratura da serra que se estende do Capão do Lana a João Corrêa*”, ou José Corrêa como corrige o tradutor do original, e prossegue “*... e de Boa Vista a Vila Rica, numa distância de cerca de légua e meia. A largura em que se encontram nessa espécie de formação atinge somente algumas centenas de passos.*”. Informa que, “*São também encontrados uma légua ao norte, em Chiqueiro do Alemão, próximo de Cachoeira do Campo. No Saramenha, a meia légua de Vila Rica, encontra-se uma importante camada isolada de limonita, na qual os topázios, como que cravados, se apresentam em grande abundância.*” Uma observação importante de Eschwege é que nas regiões onde se encontram topázios amarelos não ocorrem os topázios brancos e azuis. Destaca que os topázios eram encontrados em jazidas primárias, raramente em ambientes secundários, rolados. Diz que a rocha primária era um clorita xisto e, para concordar com observações de outros viajantes, também um talcoxisto, mas deixa claro que esses xistos, na opinião de terceiros, sobrepunham-se a um xisto ferrífero. Segundo essas pessoas, como Spix e Martius, Mawe, Wagner, referidas por Eschwege, “*... o topázio não ocorre nem no cloritaxisto, na pedra formada do mesmo, nem da areia branca e fina, mas sim em certa mica untuosa modificada em litomarga, ... em parte misturada de ocre ferruginosa, e que seria acompanhada de quartzo e caolin.*” Para Eschwege, a litomarga forma a massa do depósito, mas a dúvida seria “*... se a massa rochosa, onde ocorre o topázio, é composta de micaxisto modificado, ou de mica untuosa modificada em litomarga, ..., ou de micaxisto em transição para xisto argiloso, ..., ou segundo minha na opinião ...*” (dele, Eschwege) “*... de talcoxisto e cloritaxisto, que se apresentam em camadas e decompostos em talco e greda¹.*” A conclusão a que Eschwege chegou é que “*Nesse tipo de rocha, que forma morros baixos entre altas serras, ocorre o topázio, sobretudo em depósitos e ninhos na litomarga² finamente escamosa e branca, ora friável e escura, contendo ocre ferruginosa.*”, complementado que em associação com o topázio ocorrem quartzo, cristal de rocha, titânio e titanita, rutilo, especularita e euclásio, destacando que quanto mais ferruginosa a litomarga, mais escura a cor do topázio. Na litomarga branca o topázio é de um amarelo mais claro.

¹greda = variedade de argila macia, friável, mais ou menos arenosa; Barro ou calcário muito macio e friável, de um amarelo esverdeado, que geralmente contém sílica e argila. Algo similar a giz.

²Litomarga = palavra em desuso, refere-se a um tipo de material argiloso composto geralmente de silicato hidratado de alumínio originário de alteração de rocha contendo feldspato, como um granito.

Eschwege (1833) declara ter sido o primeiro a identificar euclásio na lavra do Capão e que os mineiros o identificavam como esmeraldas sem valor, destacando, que os ninhos de litomarga, quando ocorrem euclásio, são pobres em topázios. A esse respeito, o tradutor (Domício de Figueiredo Murta) faz um comentário, de nº 367, nas Notas Explicativas (p.288, vol.2), em que escreve:

“Como nas jazidas do Ural, os euclásios acompanham sempre o topázio no Brasil. Segundo Gorceix ..., ocupam, também, “uma fenda no meio das rochas xisto-micáceas da região, fenda em relação íntima com um dos principais deslocamentos dos terrenos da Província de Minas Gerais”. Ele ocorre com o topázio em um filito de estrutura lenticular-xistosa, bastante decomposto até uma profundidade de mais de 10 metros, em D. Bosco. Os cristais são encontrados em lentes de quartzo e outras de material caolínico, algumas vezes impregnadas de óxido de manganês. Essas lentes teriam sido, originalmente, lentes de feldspato e quartzo. Nessas condições, a rocha será um filonito, resultante de metamorfismo regressivo de rocha gneissica ou leptinolítica. (Vejam-se Guimarães, D. Souza, H. C. A. “Estudos sobre o euclásio de Trino, Hargreaves, Ouro Preto”, An. da Acad.

Bras. Ci. t. IV, 30-6-32, n.2, Rio; Saldanha, R. “Sobre o Euclásio de Dom Bosco”, Mineralogia no3, S. Paulo, 1939). (N. do T.)”.

Euclásio pode ocorrer nas lavras Boa Vista e Morro do Gabriel, em cristais azuis e hialinos centimétricos, além de rutilo e talco, esses normalmente associados ao cloritaxisto. Há também menção à fluorita em dolomito das proximidades de Boa Vista, Água Santa e Saramenha, em associação com calcita, quartzo e pirita, provenientes de intrusões ácidas em fase pneumatolítica, também fonte das mineralizações de topázio e de alguma turmalina (PIRES *et al.*, 1983).

Segundo Rolff (1944, 1945), buchos de fluorita também ocorrem na pedra de mármore do Cumbé, em Ouro Preto, e Pomerene (1964) também as encontrou na Pedreira do Acaba Mundo, na região de Belo Horizonte.

Pires *et al.* (1983) indicam as mineralizações de topázio da região de Ouro Preto como contidas em quatro faixas descontínuas de orientação nordeste: 1) Trino, com os depósitos Caxambú, Lagoa de Cima, Zé Ferraz, João Sumido, Ranchador e Fundão; 2) Capão, com os depósitos-jazidas Papa-Cobra, Capão, Bora, Adão, Israel, e Brocotó; 3) Boa Vista; 4) Vermelhão; (Figura 11.5).

A jazida do Morro do Gabriel poderia estar ligada a uma dessas últimas. Referem-se também a numerosas

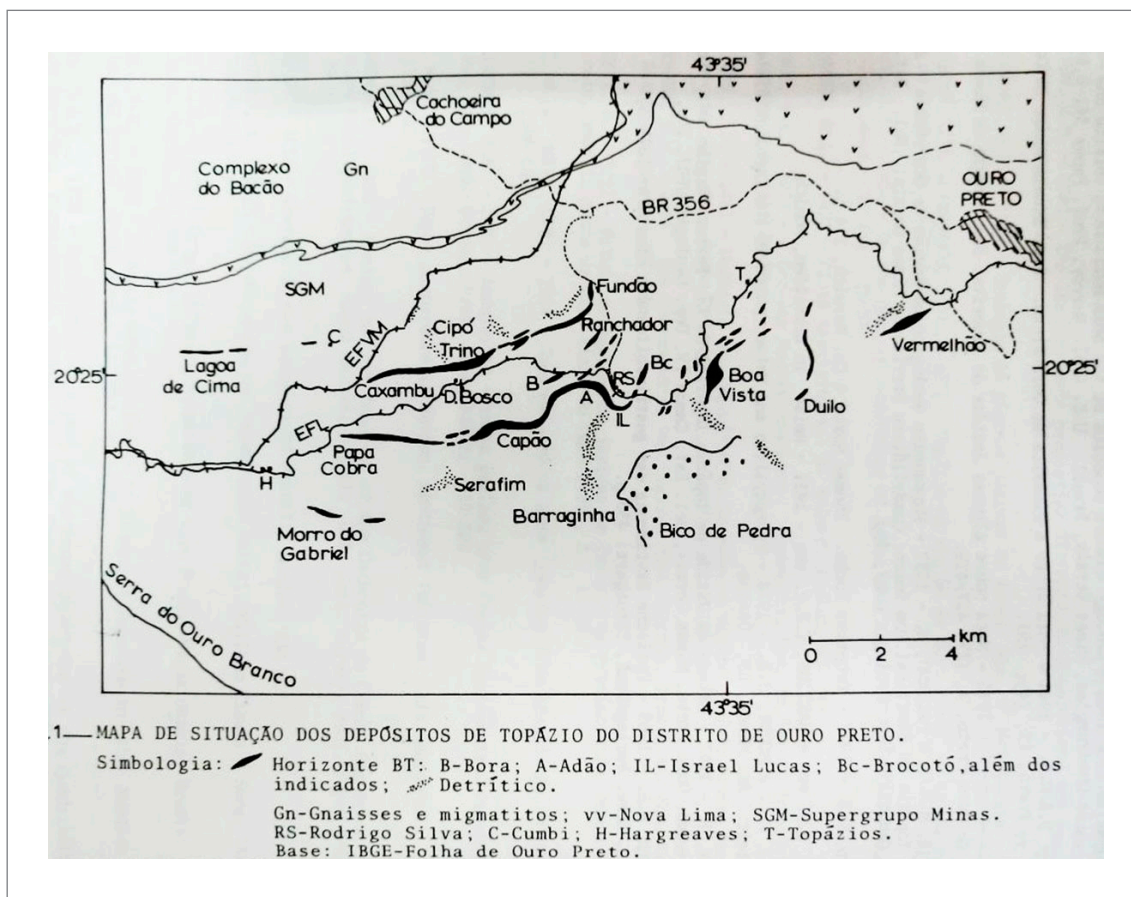


Figura 11.5 - Mapa de situação dos depósitos de topázio do distrito de Ouro Preto. Extraído de Pires *et al.* (1983).

outras ocorrências menores entre as serras do Delgado e Holandesa (ao norte) e Serra do Ouro Branco (ao sul). Depósitos aluviais ocorrem nos ribeirões Colônia, Maracujá, Colégio, Mango, Azul, nos córregos Cipó, Papa-Cobra, Fundo e nas localidades Morro da Mata, Barraginha e outras (Gandini 1994) também citam Capão do Lana.

Os corpos mineralizados estariam contidos em um horizonte descontínuo chamado de “Brown Terrena” ou BT por Olsen (1971), consequência da ação de fluidos mineralizantes ao longo de fraturas e horizontes caolínicos favoráveis. Olsen admitia que a caolinita sofreu metassomatismo potássico durante intrusões graníticas ou, posteriormente, gerando sericita e até ortoclásio. Pires *et al.* (1983) ressaltam que o horizonte BT está frequentemente na zona de contato entre sericita xisto, do topo da Formação Gandarela, e quartzitos ferruginosos negros, da Formação Cercadinho, dando como exemplos observações nas minas do Capão, Boa Vista, Trino, Adão, Morro do Gabriel, Lagoa de Cima e Vermelhão, esta em parte.

Como características do horizonte BT mineralizado destacam que trata-se de “... nível estratigraficamente controlado,..., um wad argiloso castanho escuro a negro com estrutura ou textura ora homogênea ora bandada, ora laminada, com aspecto untuoso e graxo,...”. “... bandas e venulações caolínicas podem conter cristais bem formados de quartzo hialino, topázio leitoso, azul claro ou cinzento ou mesmo imperial e hematita especular.” Informam, também, que os cristais de topázio podem ter coloração amarelo-ouro imperial, pêssego, lilás, vermelho e incolor, uniterminados ou limitados pela clivagem basal (Figura 11.6), alguns chegando a 25 centímetros de comprimento.



Figura 11.6 - Cristal de Topázio Imperial com clivagem basal e uniterminado, amostra da região de Ouro Preto, MG.
Fonte: Acervo fotográfico SGB-CPRM.

Na paragénesese dos depósitos de topázio, Pires *et al.* (1983) indicam inicialmente a formação de rocha potássica peraluminosa rica em flúor junto com quartzo e magnetita. O flúor estaria contido em sedimentos pelíticos e, por metamorfismo, teria entrado na estrutura do topázio, ocorrendo também micas brancas, phengita e sericita. Microprismas de topázio ocorrem em magnetita-sericita xisto. O excesso de flúor e OH se acumulariam em zonas preferenciais, como seriam os contatos litológicos e zonas de falhas, na forma de topázio em paragénesese hidratada, rica em H₂O, como na “transição pneumatolítica-hidrotermal”. A magnetita primária se transformaria em hematita e mesmo rutilo em zonas ricas em titânio. Esses autores apresentam uma série de outras reações para justificarem a hipótese genética do topázio. Concluem dizendo que o topázio teria origem em atividade pneumatolítica subordinada a uma atividade hidrotermal principal em “horizonte de composição favorável da unidade de magnetita-sericita xistos do topo da Fm. Gandarela,...”, aparentemente com o ápice da mineralização coincidindo com o pico do metamorfismo, ou logo após, o que estaria demonstrado pela orientação preferencial desses constituintes no xisto e pelo faturamento do topázio, hematita e quartzo. Também citam inversão estratigráfica na Serra de Rodrigo Silva, onde rochas da Formação Gandarela estariam sobre as da Formação Cercadinho. Com se sabe, a estratigrafia dessa região é bastante questionável, incluindo rochas do Grupo Itabira e Piracicaba, do Supergupo Minas e do Grupo Sabará. Assim, é especulado se a citada inversão estratigráfica não seria uma certa confusão estratigráfica, estando a Formação Gandarela em posição normal, embora em contato tectônico, sobre formações ferríferas da Formação Cauê, ambas do Grupo Itabira.

Embora Pires *et al.* (1983) refiram-se a metamorfismo como fonte da mineralização, destacam que na Lavra do Bora “o sericita xisto apresenta uma zona caolínica com 8-10m de espessura que exhibe textura de grã fina a média, ..., lembrando textura plutônica fina ou vulcânica com delgadas venulações de caolinita orientadas ...”. Em outros locais, entre Bela Vista e Dom Bosco, observaram “fenocristais” prismáticos de 2-3 centímetros, transformados em caolinita, possivelmente feldspatos alterados, em meio a sericita xisto de grão muito fino, cinzento, textura que consideraram porfirítica ou mesmo vitroférica e indicativa de possível rocha vulcânica félsica.

Também Ferreira (1983) dedicou-se ao estudo das mineralizações de topázio da região, a oeste e sudoeste de Ouro Preto, com foco em Saramenha, e nas regiões de Miguel Burnier, Dom Bosco e Rodrigo Silva, concluindo pela associação desses depósitos com rochas vulcânicas e subvulcânicas ácidas e dolomíticas, com ocorrências no domínio central da Sinclinal Dom Bosco.

Em diversos locais do Quadrilátero Ferrífero (QF), foram descritas ocorrências de argilas aluminosas de aspecto maciço, sem foliação aparente, com presença importante na Sinclinal Dom Bosco, mas não exclusivamente aí, e muitas vezes nas proximidades ou junto das ocorrências de topázio e mesmo formando depósitos de bauxita. Vários desses locais-corpos estão descritos em relatórios do USGS-DNPM durante os mapeamentos do QF em escala 1:25.000 nas décadas de 1950-1960. A geologia dessa região da Sinclinal Dom Bosco ainda hoje suscita discussões sobre suas unidades estratigráficas, como comentado antes. De todo modo, no domínio central da sinclinal predominam filito, quartzito ferruginoso, dolomito, quartzito, conglomerado, que Ferreira (1983) atribui ao Grupo Piracicaba.

Ferreira (1983) descreve no Morro de Saramenha, junto a Ouro Preto, o que chamou de um “corpo laterítico” vermelho a branco com 750 metros de comprimento, 150 metros de largura e mais de 38 metros de profundidade (àquela época), encaixado em contato vertical a subvertical discordante com dolomito decomposto. Além desse, outros três corpos foram descritos, até com forma de dique vertical e mesmo subjacente e concordante com o estrato dolomítico. No saprólito de dolomito, descreve zonas de dimensões até métricas mineralizadas em topázio amarelo com orientação caótica “*permeado por veios anastomosados do material laterítico*”. Na dita laterita, ressalta a presença de grãos de quartzo de até 0,9 milímetros com faces angulosas, arestas vivas, formas de corrosão e várias outras feições que remetem a quartzo vulcânico. Baseado nessas e em outras observações conclui que a laterita é “*saprólito de uma rocha vulcânica*”, não metamórfica, e que a mineralização teria ocorrido após a injeção da rocha vulcânica, a partir de fase pneumatolítica de fonte magmática e após o último evento metamórfico-deformacional que ocorreu no Brasiliano. Avalia que o magmatismo poderia estar relacionado ao vulcanismo da Bacia do Paraná, ou seja, do Cretáceo.

Outras ocorrências, com características similares às daquelas de Saramenha, são citadas por Ferreira (1983):

a) 1,2km a oeste de São Julião, na estrada para Pires; b) 2km a sudeste da Lagoa das Codornas, na estrada Ouro Preto–Belo Horizonte; c) 1km a leste de Cumbé e a 1km a noroeste do Morro do Caxambu; d) 200 metros a oeste da Estação Dom Bosco, na estrada de ferro da RFFSA; e) 2,5km a leste da mina de topázio do Capão e 1,5km a sudoeste de Rodrigo Silva, na estrada para a Mina do Capão; f) Morro do Cruzeiro, no campus da UFOP, em corte entre o DEGEO e o Instituto de Ciências Exatas e Biológicas.

Estudos petrográficos de inclusões fluidas em topázio imperial das minas do Vermelhão e JJC, situadas em Ouro Preto, conduzidos por Almeida, Bello e Gandini (2007), levaram à identificação de dois agrupamentos com assinaturas diferentes, um deles mostrando inclusões primárias, trifásicas, de contornos regulares, e outro com inclusões bifásicas pseudo-secundárias de contornos regulares e irregulares. Esses autores concluíram pela presença de fluido composto de CO_2 e soluções aquosas salinas com sugestão da presença de íons Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e, talvez Al^{3+} , com base em temperaturas eutéticas das soluções salinas. As temperaturas e pressão mínimas de formação dos topázios dessas duas minas, com base no aprisionamento das inclusões fluidas primárias, foram determinadas em 410°C a 4.930bar e 412°C a 5.240bar, respectivamente. As inclusões pseudo-secundárias mostraram valores de T e P de 300°C a 2.650bar. Esses autores apresentam duas hipóteses genéticas para os topázios: a) relacionada ao soerguimento dos depósitos para níveis estruturais mais rasos, por meio de falhas de empurrão e dobramentos durante o Brasiliano, e b) falhamentos normais, do tipo *horsts* e *grabens*, no Cretáceo. Essa hipótese “b” corroboraria a suspeita de Ferreira (1983) de magmatismo relacionado no tempo àquela da Bacia do Paraná.

Ambas as hipóteses de Almeida, Bello e Gandini (2007) justificariam as pressões de cerca de 5 kbar, consideradas relativamente elevadas na formação dos topázios ricos em OH^- , esta uma assinatura característica dos topázios dessa região.

ÁGUA MINERAL, POTÁVEL DE MESA E TERMAL/BALNEÁRIOS



Lagoa da Tiririca
Montes Claros, MG

Foto: José Adilson Dias Cavalcanti
Acervo fotográfico do projeto Rio Verde Grande
SGB-CPRM/ANA

12. ÁGUA MINERAL, POTÁVEL DE MESA E TERMAL/BALNEÁRIOS

Faz-se aqui breve comentário sobre as águas minerais, potável de mesa e termais em Minas Gerais. Informações sobre águas minerais foram obtidas principalmente no Agência Nacional da Mineração (antigo DNPM) e no Serviço Geológico do Brasil (CPRM), contando-se, também, com a colaboração de José Antônio Menezes de Paiva (geólogo, ANM/DNPM, 3º Distrito) e Lauro de Oliveira Silva Junior (consultor químico e ex-funcionário do SGB-CPRM). Os dados da ANM foram acessados, em 22/06/2011, em <http://www.dnpm.gov.br/sighidro> e em 14/06/2020, com informações até 2017, no Sumário Mineral 2018.

Os dados do SGB-CPRM foram obtidos em junho de 2011 e em 30 de junho de 2014. Informações relevantes também são encontradas na Associação Brasileira da Indústria de Águas Minerais (ABINAM), (www.abinam.com.br).

Dados sobre águas subterrâneas foram compilados principalmente do trabalho de Diniz 2006. O SGB-CPRM também cadastrou e compilou informações de cerca de 5.000 poços tubulares nas microrregiões de Unaí e Montes Claros, durante os trabalhos do Projeto São Francisco, em parceria com a Comig (atual Code-mge), com resultados divulgados em Soares, Simões e Oliveira (2002).

Estudo sobre a proveniência de algumas outras águas minerais de Minas Gerais foi apresentado por Beato e Lima (1999), envolvendo as fontes hidrominerais de Caxambu, Cambuquira, Lambari, São Lourenço, Águas de Contendas e Conceição do Rio Verde. Outro estudo trata das águas minerais do Barreiro, em Araxá (VIANA *et al.*, 1998). Em 2018, foi apresentado o trabalho “Caracterização geoambiental, geológica, geofísica, hidrogeológica e hidroquímica do Circuito das Águas de Minas Gerais, com ênfase nos parques hidrominerais de Caxambu, Cambuquira, Marimbeiro, Contendas e Lambari” (SOARES *et al.*, 2018), que traz dados novos e contesta conclusões de Beato e Lima (1999), com ressalvas de que aqueles não dispunham das informações agora obtidas.

Um diagnóstico sobre o setor de águas minerais no Brasil foi preparado por J. Mendo Consultoria (2009) para o Plano Duodecenal de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (PNM 2030).

O Código de Águas Minerais, Decreto-Lei 7841 de 08/08/1945, DNPM “Estabelece a classificação, bem como a regulamentação das águas minerais e potáveis de mesa, para fins de engarrafamento e balneabilidade”. Considera

água mineral “aquelas provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que possuem composição química ou propriedades físicas ou físico-químicas distintas das águas comuns, com características que lhes confirmam uma **ação medicamentosa**”. Nesse Código são definidas as águas potáveis de mesa como “as águas de composição normal provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas, que preencham tão somente as condições de potabilidade para a região”.

Em 1959, foi excluído da classificação o caráter medicamentoso (crenologia), levando a serem classificadas em águas minerais (quando atingidos os limites físico-químicos mínimos) e águas **potáveis de mesa** (quando os limites mínimos não foram atingidos), conforme o Código de Águas Minerais.

Nesse contexto, não caberiam na classificação de água mineral, as Águas **Oligominerais** (**oligo = pouco; são águas com** baixa salinidade ou presença de elementos químicos como traços), que trazem embutido o caráter medicamentoso, como definido no Código de Águas Minerais de 1945.

Em 2005, a Anvisa conceituou que “Água Mineral Natural é a água obtida diretamente de fontes naturais ou por extração de águas subterrâneas. É caracterizada pelo conteúdo definido e constante de determinados sais minerais, *oligoelementos e outros constituintes, considerando as flutuações naturais*.” (RDC 274/2005 – ANVISA – MS).

Atualmente, consideram-se águas minerais as águas subterrâneas inseridas em “um contexto hidrogeológico dinâmico, possuindo ainda, composição química e características físicas e físico-químicas bem definidas, bem como pureza microbiológica, considerando as flutuações naturais. (Lauro de Oliveira Silva Junior – químico – CPRM/LAMIN)”.

Assirati (2018) apresenta praticamente a mesma conceituação, incluindo as águas potáveis de mesa e retirando os oligoelementos: “As águas minerais e potáveis de mesa são obtidas de fontes naturais ou por extração de águas subterrâneas. Caracterizam-se pelo conteúdo definido e constante de sais minerais e outros constituintes, considerando-se as flutuações naturais.”

A Resolução Anvisa 309/1999 cria a categoria das Águas Purificadas Adicionadas de Sais, definidas como “aquelas preparadas artificialmente a partir de qualquer captação, tratamento e adicionada de sais de uso permitido, podendo ser gaseificada com dióxido de carbono de padrão alimentício.”

No Código de Águas Minerais é empregado o termo “soluções salinas artificiais”. Algumas empresas, principalmente multinacionais, utilizam-se dessa possibilidade de mineralização das águas.

Segundo a legislação atual, qualquer água subterrânea potável, que obedeça aos parâmetros legais (ANM, Anvisa) pode ser comercializada como água mineral ou potável de mesa, ou seja, para se enquadrar nessa categoria basta ser potável e subterrânea (captada em fonte ou poço tubular) e, assim, as reservas passam a ser praticamente infinitas, desde que não contaminadas por atividades antrópicas.

Desse modo, água mineral e subterrânea pode ter origens comuns, diferindo quanto aos usos. Água Mineral é aquela utilizada para fins de engarrafamento e balneabilidade e a água subterrânea tem uso na indústria, agricultura, abastecimento público e outros (site do SGB-CPRM). Mesmo assim, parte expressiva do que é considerado água mineral tem uso na indústria de bebidas. Cabe à ANM a classificação das águas para fins de engarrafamento e balneabilidade, e as análises são feitas no Laboratório de Análises Minerais do Serviço Geológico do Brasil - LAMIN-CPRM/SGB, no Rio de Janeiro.

Conforme consta no site da ANM, “A pesquisa e a lavra de água mineral e potável de mesa para consumo

humano, bem como destinada a fins balneários, far-se-ão pelos Regimes de Autorização de Pesquisa e de Concessão de Lavra, conforme previstos no Código de Mineração, bem como no Código de Águas Minerais, respectivos regulamentos e legislações correlatas complementares.” (<http://www.anm.gov.br/assuntos/ao-publico/paginas/explorar-agua-mineral->) consultado em 14/06/2020. Também submetem-se ao Regulamento Técnico para Águas Envasadas e Gelo, Resolução RDC nº 274/2005 da Anvisa. Faz-se necessária a constante consulta aos órgãos oficiais, ANM, Anvisa e outros para o acompanhamento de portarias e decretos complementares.

Alguns dados e informações interessantes são encontrados no site <https://www.portalsaofrancisco.com.br/meio-ambiente/agua-mineral>

12.1. CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS MINERAIS

As águas minerais (CÓDIGO DE ÁGUAS MINERAIS, 1945) são classificadas conforme suas características permanentes (composição química; Tabela 12.1) e características inerentes às fontes (gases presentes e temperaturas; Tabela 12.2).

As águas radíferas contêm sal de rádio (Ra226) dissolvido permanente e as thorioativas contêm thorônio (radônio 220) (LAMIN; CPRM, 2018).

Tabela 12.1 - Classificação das águas minerais quanto à composição química, segundo o Código de Águas Minerais (Decreto-Lei nº 7.841, de 08/08/1945).

CLASSIFICAÇÃO QUANTO À COMPOSIÇÃO QUÍMICA	CARACTERIZAÇÃO
Oligomineral	Apresenta diversos sais, todos em baixa concentração, considerada como tendo apenas ação medicamentosa.
Radíferas*	Contém substâncias radioativas que garantam radioatividade permanente
Alcalina bicarbonatada	Contém compostos alcalinos equivalentes a no mínimo 200mg/l de bicarbonato de sódio
Alcalino terrosas	Contém alcalinos terrosos equivalentes a no mínimo 120mg/l de CaCO ₃
• cálcicas	No mínimo 48mg/l de Ca sob a forma de bicarbonato de cálcio
• magnesianas	No mínimo 30mg/l de Mg sob a forma de bicarbonato de magnésio
Sulfatadas	No mínimo 100 mg/l de SO ₄ combinado a Na, K e Mg
Sulfurosas	No mínimo 1mg/l de S
Nitratadas	No mínimo 100 mg/l NO ₃ de origem mineral
Cloretadas	No mínimo 500mg/l de NaCl
Ferruginosas	No mínimo 5mg/l de Fe
Radioativas	As que tiverem radônio em dissolução, classificadas como abaixo
• Fracamente radioativas	Teor de radônio mínimo entre 5 e 10 unidades Mache por litro, a 20°C e 760 mm de Hg de pressão
• Radioativas	Teor de radônio entre 10 e 50 unidades Mache por litro a 20°C e 760 mm de Hg de pressão
• Fortemente radioativas	Teor de radônio acima de 50 unidades Mache por litro, a 20°C e 760 mm de Hg de pressão
Toriativas	Que possuírem teor em torônio em dissolução equivalente em unidades eletrostáticas a 2 unidades Mache por litro, no mínimo
Carbogasosas	No mínimo 200mg/l de gás carbônico livre dissolvido, a 20°C e 760mm de Hg de pressão.
Elemento predominante	> 0,01mg/l: Iodadas; Arseniadas; Litinadas, etc.

* Não é medido pelo Laboratório de Análises Minerais – LAMIN/CPRM – Serviço Geológico do Brasil (laboratório oficial para análises de águas minerais no Brasil).

Tabela 12.2 - Classificação das fontes de água mineral segundo o Código de Águas Minerais (Decreto-Lei nº 7.841, de 08/08/1945).

CLASSIFICAÇÃO DAS FONTES DE ÁGUA MINERAL QUANTO AOS GASES	CARACTERIZAÇÃO
Quanto aos Gases	
Fontes radioativas	
• Fracamente radioativas	As que apresentarem, no mínimo, uma vazão gasosa de 1 litro por minuto com um teor em radônio compreendido entre 5 a 10 unidades Mache, por litro de gás espontâneo, a 20°C e 760 mm de Hg de pressão.
• Radioativas	As que apresentarem, no mínimo, uma vazão gasosa de 1 litro por minuto com um teor em radônio compreendido entre 10 e 50 unidades Mache, por litro de gás espontâneo, a 20°C e 760 mm de Hg de pressão.
• Fortemente radioativas	As que apresentarem, no mínimo, uma vazão gasosa de 1 litro por minuto com um teor em radônio superior a 50 unidades Mache, por litro de gás espontâneo, a 20°C e 760 mm de Hg de pressão.
Fontes toriativas	As que apresentarem, no mínimo, uma vazão gasosa de 1 litro por minuto, com um teor em torônio na fonte equivalente, em unidades eletrostáticas, a 2 unidades Mache por litro.
Fontes sulfurosas	As que possuírem, na fonte, desprendimentos definidos de gás sulfídrico.
Quanto à Temperatura	
Fontes frias	Quando sua temperatura for inferior a 25°C
Fontes hipotermiais	Quando sua temperatura estiver compreendida entre 25° e 33°C.
Fontes mesotermiais	Quando sua temperatura estiver compreendida entre 33° e 36°C.
Fontes isotermiais	Quando sua temperatura estiver compreendida entre 36° e 38°C.
Fontes hipertermiais	Quando sua temperatura for superior a 38°C.

As águas com maior salinidade são as alcalinas bicarbonatadas, alcalinas terrosas, sulfurosas e ferruginosas e as ‘mais leves’ as carbogasosas, hipotermiais, radioativas e fracamente radioativas, fluoretadas, litinadas e potáveis de mesa. As águas leves têm a preferência do mercado, com a tendência de se buscar águas com cada vez menor concentração de sais dissolvidos. As mais salinas são mais apropriadas às estâncias hidrominerais, como o Circuito das Águas em Minas Gerais.

Os valores máximos permitidos (VMP) de cátions e ânions para os diversos tipos de águas constam das resoluções Anvisa 54/2000 e 274/2005 e da Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde (Tabela 12.3). Novas portarias podem surgir e é necessário permanente acompanhamento da legislação específica.

Para a água purificada adicionada de sais (Resolução Anvisa 309/99) os limites máximos de sais permitidos, em mg/l, são Ca=50, Mg=20, K=175, Na=175, aditivos incidentais iguais aos aceitáveis para água potável e aditivo intencional apenas gás carbônico.

A Resolução Anvisa 54/2000, sobre critérios microbiológicos em água mineral, estabelece que para cada cinco amostras coletadas em cada fonte ou captação a quantidade de bactérias *E. Coli* deve ser nula (zero) em todas elas e que coliformes totais, enterococos, *pseudomonas aeruginosa* e clostrídios sulfito redutores podem ser detectados em apenas uma amostra e em quantidade máxima aceitável até 2.

12.2. INDÚSTRIA DA ÁGUA MINERAL

Entre 2012 e 2017, o mercado mundial de água envasada cresceu com taxa anual média de 6,4%, com o Brasil crescente, a taxa anual de 4,7%, nesse período, e 5,8% entre 2016 e 2017, permanecendo como o 5º maior mercado mundial na estimativa da consultoria internacional *Beverage Marketing Corporation (BMC)* (ASSIRATI, 2018). Com crescimentos maiores estão: China, Indonésia, Índia e Estados Unidos, nesta ordem.

Conforme tabela apresentada no Sumário Mineral 2018 (ASSIRATI, 2018), tendo como fonte a consultoria internacional *BMC*, o consumo brasileiro de água mineral previsto/estimado, em 2017, foi de 21,9 bilhões de litros, correspondendo a consumo *per capita* de 105,6 Litros, com base em estimativa de população pelo IBGE em 01/07/2017, representando aumento de 5,2% em relação ao ano anterior. Estranho é que o título da tabela é Reserva e Produção Mundial, mas os dados constam como de consumo *per capita* e consumo por ano.

Ao longo do texto da ANM (ASSIRATI, 2018), consta que no somatório dos Relatórios Anuais de Lavra (RAL), relativos à 2017, foram declarados engarrafamento de 8,44 bilhões de litros de água mineral, quase 100% para consumo interno, refletindo retração de 2,8% em relação a 2016. A discrepância de volume com aquele estimado pela consultoria BMC (cerca de 260% maior) poderia refletir subdeclaração da produção, ou os valores da

BMC estariam superdimensionados. Historicamente, a produção declarada parece manter-se por volta de 40% do valor estimado por essa consultoria.

Ainda segundo ANM (ASSIRATI, 2018), o ano de 2017 encerrou com 1205 concessões de lavra para água mineral e potável de mesa em atividade no país, distribuídas em 567 complexos de engarrafamento, 25 em utilização para bebidas. Minas Gerais tinha 59 desses complexos de engarrafamento, ficando atrás de São Paulo (151 unidades) e a frente de Rio de Janeiro (58 unidades) e Pernambuco (33 unidades) em número de empreendimentos, os quatro maiores. Já em relação à produção,

Minas participava com 5,1% em 2017, ocupando o 6º lugar no *ranking*, atrás de SP (20,8%), PE (9,3%), BA (7,0%), CE (6,5%) e RN (6,3%). O valor relativo de Minas, em 2013, era de 6%, ficando então à frente de Rio Grande do Norte e perdendo para o Rio de Janeiro.

Em Minas, não foi declarado uso de água mineral em balneários, mesmo possuindo importantes parques hidrominerais com essa finalidade.

A tendência da produção nacional é de progresso, com expectativa de água mineral e potável de mesa envasada atingir mais de 11 bilhões de litros em 2030, com crescimento médio de 4% ao ano até lá (PNM, 2010-2030).

Tabela 12.3 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de cátions e ânions em água mineral e potável de mesa para consumo humano segundo a legislação vigente nas datas indicadas.

PARÂMETRO	VMP (mg/l)		
	ANVISA, RESOLUÇÃO 54/2000	ANVISA RESOLUÇÃO 274/2005	PORTARIA MS 518/2004
CÁTIONS			
Alumínio	----	----	0,2
Antimônio	0,005	0,005	0,005
Arsênio	0,05 (As total)	0,01	0,01
Bário	1	0,7	0,7
Boro	5	5	----
Cádmio	0,003	0,003	0,005
Cálcio		----	----
Chumbo	0,01	0,01	0,01
Cianeto	0,07		0,07
Cobre	1	1	2
Cromo	0,05 (Cr total)	0,05	0,05
Ferro		----	0,3
Manganês	2	0,5	0,1
Mercurio	0,001		0,001
Níquel	0,02	0,02	----
Nitrato	50		10
Nitrito	0,02		1*
Selênio	0,05	0,01	0,01
Sódio		----	200
Zinco			5
Mercurio (AA com geração de vapor à frio-Hg inorgânico)		0,001	0,001
ÂNIONS			
Cianeto livre		0,07	0,07
Cloreto		----	250
Fluoreto		----	1,5
Nitrato**		50	10*
Nitrito (Método Colorimétrico)		0,02	1*
Sulfato		----	250
Sulfeto		---	0,05

* Calculados como nitrogênio (N); ** O íon nitrato serve como indicativo da contaminação antrópica das águas subterrâneas.

Em Minas Gerais, operavam os grupos **Nestlé Waters Brasil** Bebidas e Alimentos Ltda (São Lourenço-Perrier), CPN Mineração Ltda, Mineração Água Padre Manoel Ltda., Mineração Pouso Alto Ltda., Hidrobrás - Águas Minerais do Brasil Ltda. A **Danone** (sem fonte própria, participava da Icoara Ind. e Com. de Águas S.A. em Jacutinga – MG, com a água Bonafont).

Essas empresas, fora a Danone, ocupavam posições entre 33 e 94 dentre as 100 maiores no *ranking* da “Quantidade e valor da produção vendida, consumida ou transferida para industrialização”, participando com valores entre 0,17% e 0,03% do valor total comercializado no estado, conforme a ANM (COSTA *et al.*, 2019). Conforme destaca a ANM (ASSIRATI, 2018), “*Para a água mineral, são contabilizados produtos engarrafados (garrafas de plástico, garrações de 20 litros, garrafas de vidro, copos de plástico e outras embalagens) e o volume utilizado para a composição de produtos industrializados (refrigerantes e cervejas, por exemplo) na quantidade e no valor da produção comercializada.*”

A Copasa Águas Minerais de Minas S/A adquiriu os direitos minerários das fontes das águas Caxambu, Araxá, Lambari e Cambuquira. A produção da água Caxambu foi retomada em 2008 e a da água Cambuquira em meados de 2011. A Água Cambuquira tem tradição de exploração desde 1834. Todas as quatro marcas têm como características químicas baixos conteúdos em sódio. Em 2012, retomou a produção da Água Mineral Araxá, na fonte Dona Beja V, com vazão de 18,7 milhões de litros por ano. Ainda em 2012, seria retomada a produção da Água Mineral Lambari, na fonte Lambari, na forma de água mineral gasosa na fonte, com vazão de 8,9 milhões de litros por ano. A capacidade instalada para a água Araxá é de 50 milhões de litros por ano e para a água Lambari de dois milhões de litros por ano. A produção prevista para 2012 girava entre 40% e 30% das capacidades instaladas em Araxá e Lambari, respectivamente, segundo informação da época publicada no *site* da COPASA ÁGUAS MINERAIS DE MINAS ora extinto. Conforme consta no *site* www.jornal.iof.mg.gov.br, na página “Minas Gerais - Caderno 1, Diário do Executivo, sexta-feira, 11 de Março de 2016 – 55”, “em 08 de fevereiro de 2016, foi aprovada em AGE, a dissolução da Copasa Águas Minerais de Minas – AGMM por perda das atribuições para a qual foi criada, considerando a rescisão amigável do contrato de arrendamento e a não renovação do contrato de prestação de serviços para a continuidade da operação, manutenção e vendas de águas minerais, ...”.

O restante da produção está distribuído por empresas de médio, pequeno e micro portes (DNPM, 2009). A entrada de novas empresas multinacionais no mercado de água mineral deverá provocar tendência de expansão da produção e uma competição mais acirrada por fatias do mercado.

No estado, a produção de água mineral dita beneficiada foi de cerca de 410 milhões de litros em 2015, e de pouco mais de 411 milhões de litros em 2016, representando aproximadamente 191,8 milhões de reais e 199,7 milhões de reais, respectivamente. Desses volumes de águas minerais, em 2015, 99,84%, e, em 2016, 99,86% dos valores comercializados no estado foram de produtos engarrafados. As estatísticas de águas engarrafadas não cobriam as águas adicionadas de sais, em franca expansão.

12.3. QUÍMICA DAS ÁGUAS MINERAIS

Na avaliação de um universo de 1439 poços tubulares espalhados pelo estado, perfurados entre 1943 e 2003 (independentemente de aproveitamento como água mineral ou não), apenas 383 dispunham de informações hidroquímicas completas para os íons principais e informações locais que permitissem georreferenciar-los no território (DINIZ, 2006). Apesar do número reduzido de poços, parece ter havido distribuição geográfica e geológica representativa, sendo constatado que 37 tinham valores naturais excessivos de flúor, acima de 0,8 mg/l, valor máximo permitido pela Portaria nº635/BSB de 26 de dezembro de 1975 do Ministério da Saúde. Isso correspondeu a 10% dos poços com dados hidroquímicos perfurados, principalmente no noroeste e norte do estado (Figura 12.1). Alguns poços, não considerados por falta de parâmetros hidroquímicos completos, chegaram a apresentar 11mg/l de flúor (DINIZ, 2006)

Esse trabalho de Diniz (2006) também constatou que em amostras de 1065 poços, mesmo não georreferenciados, a relação hidroquímica do íon flúor foi superior a 99% com o pH, Na⁺, Mg²⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻ e de 95% com Ca²⁺ e não apresenta relação com nitrito (NO₂) e nitrato (NO₃). A relação do flúor com a condutividade elétrica (CE) e sólidos totais dissolvidos (STD) era direta, mas variável, e constante em relação ao Na⁺ e Cl⁻. A relação com o Ca²⁺ nos aquíferos carbonáticos mostrou-se negativa, talvez pela quebra da fluorita (CaF) e formação de CaCO₃. Dos 1065 poços, 71 (6,7%) apresentaram teores de flúor superiores a 0,8mg/l (VMP pela Portaria 635/1975) e 20 (1,9%) tiveram valores superiores a 1,5mg/l (VMP pela Portaria 518/2004) (DINIZ, 2006). Neste trabalho ressalta-se a necessidade de reavaliação das normas/portarias em função de limitações estabelecidas para a temperatura máxima diária do ar, em 32°C. Os interessados devem acompanhar constantemente a legislação sobre o tema, que pode mudar.

Comparando-se ligeiramente a assinatura de flúor com o arcabouço geológico é possível verificar que as altas concentrações de flúor no noroeste do estado estão relacionadas às rochas carbonáticas da Bacia do São Francisco (Grupo Bambuí), em especial nas regiões de Dom Bosco, Brasilândia de Minas, Pirapora e São Francisco.

Na região norte do estado, o flúor parece estar associado a rochas graníticas alcalinas e a pegmatitos delas derivados (regiões de Medina e Salto da Divisa), no Vale do Jequitinhonha; no sudeste, a rocha-fonte pode ser granito tipo-S da Suíte Pangarito ou similar; na região centro-sul, ao norte de Belo Horizonte, as fontes parecem ser as rochas carbonáticas do Grupo Bambuí.

A influência da temperatura nos limites aceitáveis de fluoreto nas águas tem relação com o consumo, que tende a aumentar com o aumento da temperatura,

levando à maior ingestão de água nas regiões mais quentes. Daí o limite de fluoreto ser decrescente com o aumento da temperatura média máxima diária do ar em graus Celcius, conforme a Tabela 12.4, segundo a Portaria 635/BSB de 1975 e a recomendação contida na Portaria nº 36/1990 do Ministério da Saúde.

O excesso de flúor influencia maleficamente na ação de proteínas, enzimas e ácidos nucléicos, interfere negativamente na ação benéfica do Ca e Mg e contribui para o acúmulo de Pb e Al no organismo.

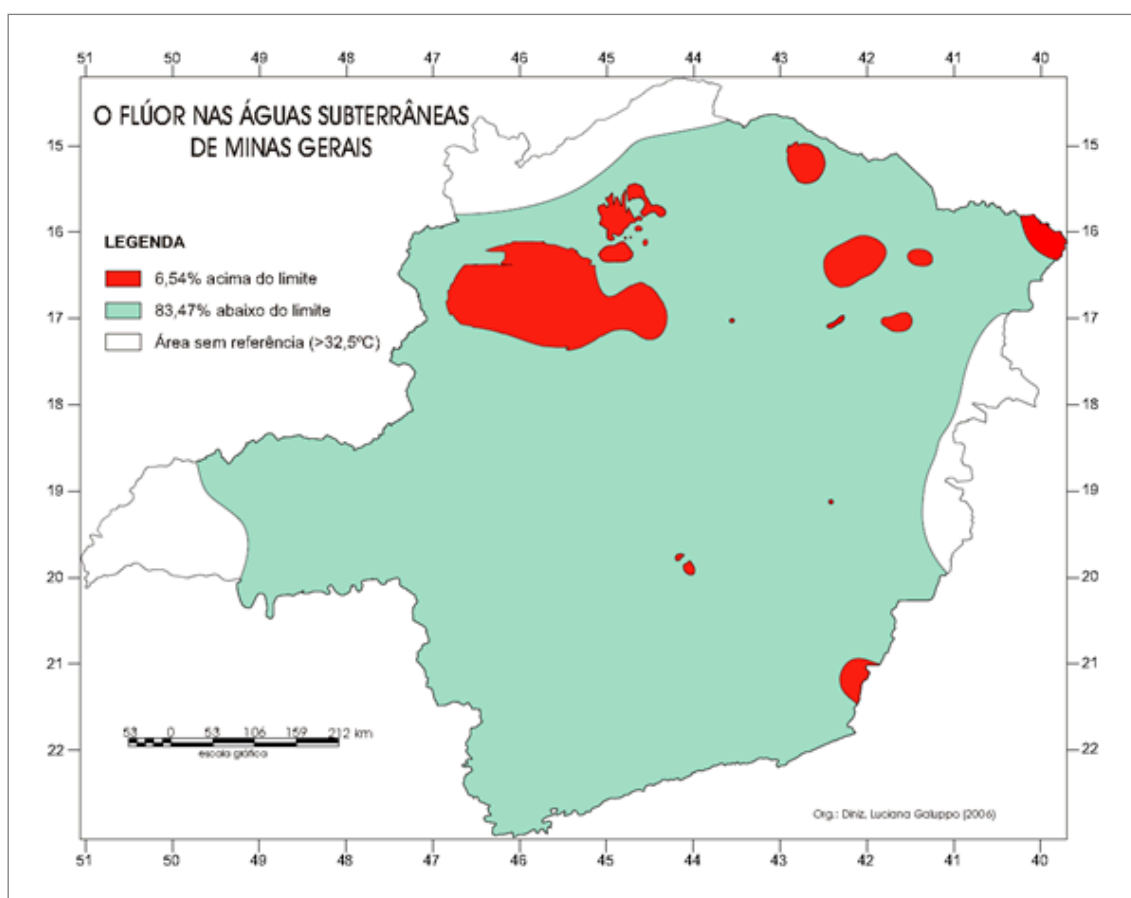


Figura 12.1 - Qualidade das águas subterrâneas de acordo com as concentrações de flúor e suas relações com a temperatura, conforme a legislação vigente (Fonte: DINIZ, 2006).

Tabela 12.4 - Concentração do íon fluoreto em função da média das temperaturas máximas diárias (Portaria 635/BSB de 1975 e Portaria nº 36/1990 do Ministério da Saúde). Tabela obtida em Diniz (2006).

MÉDIA ANUAL DE TEMPERATURAS DIÁRIAS MÁXIMAS DO AR (°C)	LIMITES DE CONCENTRAÇÕES DE FLUORETO (mg DE F ⁻ , L ⁻¹)		
	MÍNIMA	ÓTIMA	MÁXIMA
10,0 - 12,1	0,9	1,2	1,7
12,2 - 14,6	0,8	1,1	1,5
14,7 - 17,7	0,8	1,0	1,3
17,8 - 21,4	0,7	0,9	1,2
21,5 - 26,3	0,7	0,8	1,0
26,4 - 32,5	0,6	0,7	0,8

Fonte: Ministério da Saúde, 1975.

O fluoreto de alumínio pode modificar o comportamento de hormônios e causar problemas neurológicos (neuroquímicos). O excesso de flúor não eliminado do organismo acumula-se nos ossos, hipófise e outros órgãos. Em indivíduos com problemas renais, o efeito é potencializado (MARTINS NETO *et al.*, 2004). Os problemas mais visíveis são a fluorose dentária e a degeneração óssea (DINIZ, 2006).

Em 11/12/2017, o Ministério da Saúde expediu o documento “Acesso à Matriz de Consolidação: Compêndio com informações estruturadas em abas - atualizado até 28.09.2017. Portaria de consolidação nº 5, Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde”, interessando às águas o documento “DO CONTROLE E DA VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO E SEU PADRÃO DE POTABILIDADE (Origem: PRT MS/GM 2914/2011)”. estaca-se os seguintes artigos e capítulos do documento.

“Art. 1º Ficam definidos os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, Art. 1º).

CAPÍTULO V - “DO PADRÃO DE POTABILIDADE (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, CAPÍTULO V).

Art. 37. “A água potável deve estar em conformidade com o padrão de substâncias químicas que representam risco à saúde e cianotoxinas, expressos nos Anexos 7 e 8 do Anexo XX e demais disposições deste Anexo. (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, Art.37).

§ 1º No caso de adição de flúor (fluoretação), os valores recomendados para concentração de íon fluoreto devem observar a Portaria nº 635/GM/MS de 26 de dezembro de 1975, não podendo ultrapassar o VMP expresso no documento citado. (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, Art.37, §1º).

Esse documento consolida normas, mas parece que não as modifica ou cria novas normas ou portarias, mantendo os parâmetros e as concentrações máximas permitidas em termos de componentes químicos e microbiológicos. De qualquer modo, uma leitura atenta do documento, de 444 páginas, é necessária para maior segurança por parte do interessado.

12.4. ESTÂNCIAS HIDROMINERAIS, TERMAIS E BALNEÁRIOS

Soares *et al.* (2018) concluíram que as águas minerais de Caxambu, Cambuquira, Marimbeiro (Cambuquira), Contendas (Águas de Contendas, em Conceição do Rio Verde) e Lambari apresentam características distintas. Todas representam aquíferos profundos, entre centenas a milhares de metros de profundidade, e milhares a dezenas de milhares de anos de residência (até mais de

43.500 anos e, principalmente, acima de 25 mil anos), com origens em águas de chuvas pretéritas, longos trânsitos subterrâneos e surgências, como águas hipotermiais em Caxambu e águas frias nas demais fontes. Também ressaltam que o gás da água expelida no *Gêiser* de Caxambu tem idade superior a 41.800 anos.

A Bacia do Rio Verde apresenta-se como importante região para a prospecção de novas fontes de águas minerais, principalmente ao longo de zonas de fraquezas estruturais como são as zonas de cisalhamento de caráter regional.

12.4.1. Circuito das Águas

Situado no sul do estado e composto por cerca de 15 municípios (os dados variam), é o principal roteiro turístico de estações de águas do Brasil. As propriedades físico-químicas das águas são apresentadas resumidamente na tabela SIG que acompanha o Mapa de Recursos Minerais deste projeto (PINTO; SILVA, 2014b).

Informações sobre as estações de águas podem ser obtidas no site do Circuito das Águas: www.circuitodasaguasmg.com.br. No site constam como cidades do Circuito das Águas: Três Corações, Soledade de Minas, São Lourenço, Liberdade, Passa Vinte, Lambari, Dom Viçoso, Cruzília, Conceição do Rio Verde, Caxambu, Carmo de Minas, Campanha, Cambuquira, Baependi e Jesuânia. Em outros sites também aparecem Heliodora, Araxá, Monte Sião, Passa Quatro, Poços de Caldas, Tiradentes, Maria da Fé, Caldas, Jacutinga, Fervedouro e Andradadas.

Parte dessas estações, parques, estâncias hidrominerais ou balneários são de gestão do governo de Minas, através da Codemge, outros são geridos em parcerias com prefeituras e iniciativa privada.

Dados sobre medidas de vazão de parques e balneários de Caxambu, Contendas, Cambuquira, Marimbeiro e Lambari estão publicados, com atualizações mensais das informações, no site www.codemge.com.br/transparencia/parques-e-balnearios/.

Caxambu - diversas fontes são conhecidas no Parque das Águas de Caxambu desde a época do Império, batizadas atualmente com nomes nobres: Dona Leopoldina, Duque de Saxe, Conde D’Eu, Dom Pedro II, Dona Isabel, Tereza Cristina. Outras foram descobertas mais tarde: Viotti, Venâncio, Mayrink I, II e III, Beleza.

As águas minerais são carbogasosas, bicarbonatadas cálcicas, geralmente de baixa radioatividade, atingindo excepcionalmente 45 unidades *Mache*, com teores elevados de CO₂ dissolvido, geralmente superiores a 875mg/l – miligramas por litro. São obtidas em poços tubulares, com profundidades variáveis entre 6 e 45 metros, que penetraram argilas orgânicas (até oito metros de espessura), sedimentos clásticos, rochas gnáissicas (os mais profundos) (BEATO; LIMA, 1999) e rochas alcalinas intrusivas (PINTO *et al.*, 1994).

As vazões livres variam entre 42 e 1.514 litros por hora. Dados hidroquímicos detalhados são apresentados por Beato e Lima (1999) para toda a região do Circuito das Águas, como parte do Programa GATE - Informação para a Gestão e Administração Territorial, desenvolvido na região para o Projeto Circuito das Águas.

Como destaca Pinto *et al.* (1994), a região é formada por rochas gnáissicas do embasamento e por metasedimentos (xistos aluminosos, quartzo-mica xistos e quartzitos) neoproterozoicos do Grupo Andrelândia, com presença de importantes zonas de cisalhamento dúctil orientadas na direção nordeste. Rochas alcalinas cortam todas as litologias e interrompem as zonas de cisalhamento.

A natureza alcalina das águas minerais de algumas fontes de Caxambu levou Sá (1970) a suspeitar da presença de rochas alcalinas na região, mas não confirmadas em trabalhos publicados. A presença dessas rochas, até onde se sabe, só foi confirmada mais tarde por Pinto *et al.* (1994) no morro onde está o teleférico de Caxambu e em alguns outros locais nos arredores da cidade. O forte intemperismo impediu que fossem estudadas ao microscópio, optando por estudos químicos como alternativa.

Análises químicas em oito amostras de rochas intemperizadas/saprólitos mostraram altos teores de sílica, Ti, Ba, Sr, Ce, La, Nb, Zr, Y, P e baixos teores de Al, Fe, Ca, Mg, Na, K. Amostras ricas em Fe_2O_3 , concentrado possivelmente devido ao intemperismo, mostraram teores mais altos de Ce, La, Th, U, Cr, Cl e S, e mais baixos de sílica, Ti, Al, P, Sr, Nb e Zr, em comparação com rochas pobres em ferro. Os teores de Na, K e Ca são baixos em todos os tipos, o que pode ter relação também com o intemperismo e lixiviação (como Na e Ca) ou ser naturalmente baixo na rocha. As análises nessas oito amostras apresentaram teores de Fe (3 a 15%), Mg (até 1%), Ca (até 0,07%), Ti (0,2 a >1%), Mn (de 300 a > 5000ppm), Ba (200 a 5000ppm), Co (5 a 200ppm), Cr (15 a 200ppm), Cu (15 a 300ppm), Ni (10 a 150ppm), La (de 20 a >1000ppm), Nb (<10 até >2000ppm), Sr (<100 até 3000ppm), V (50 a 300ppm), Y (10 a >2000ppm), Zr (100 a >1000ppm), Ce (500 a 2000 ppm).

Os altos teores de Cr, Co, Cu, Ni, Nb sugerem a presença de rochas máficas/ultramáficas e outros como sílica, La, Sr, Y poderiam conduzir a rochas mais intermediárias, como tipos traquíticos, ou sieníticos, de assinaturas alcalinas. Conclusões definitivas ou pelo menos mais precisas, ficaram prejudicadas pela qualidade do material analisado. A título de referência, traquito orbicular de dique no Maciço da Pedra Branca, na região de Bangu, Rio de Janeiro, conforme dados de Porto Jr., Valente e Duarte (1991 *apud* SGARBI, 2012) mostrou valores de $\text{MgO}=0,12\%$, $\text{CaO}=0,38\%$, $\text{Na}_2\text{O}=6,2\%$, $\text{K}_2\text{O}=3,3\%$, $\text{FeO}=0,42\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3=3,1\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3=20,2\%$, $\text{TiO}_2=\text{nulo}$ e $\text{SiO}_2=62,9\%$.

Pinto *et al.* (1994) também apresentam estudos em lupa binocular, com apoio em difratometria de raios X, nessas mesmas amostras revelando a presença de quartzo, feldspato potássico, muscovita, goethita e fragmentos de rocha, com rara biotita e flogopita, entre os minerais leves. Os pesados são magnetita, ilmenita, óxidos de manganês, rutilo, zircão, xenotímio (YPO_4), anatásio, turmalina, leucóxênio, apatita, brookita (TiO_2), churchita ($\text{YPO}_{4,2}\text{H}_2\text{O}$), gorceixita-goyazita ($\text{BaSrCaAl}_3\text{H}(\text{OH})_6(\text{PO}_4)_2$), além de clinoanfólio, mica, óxidos de ferro, pirita oxidada e fragmentos de rocha. Cianita e estauroлита estão presentes em várias amostras, sugerindo assimilação da encaixante por parte da intrusão, minerais estes comuns ou presentes em xistos e quartzito do Grupo Andrelândia.

Todos esses dados são reforçados por assinaturas radiométricas obtidas em aerolevantamentos geofísicos. Um deles, o Levantamento Aerogamaespectrométrico de Furnas (NUCLEBRÁS, 1977) mostrou anomalia radiométrica nos canais U e Th, especialmente o canal U (Bi214), em linha de voo sobre o Morro de Caxambu. O reconhecimento geofísico terrestre preliminar, realizado pelo Projeto Circuito das Águas (BEATO *et al.*, 1998; BEATO, 1999c), confirmou os valores anômalos dos dados aéreos, com medidas de contagem total em contato direto com blocos de material coluvial provenientes desse morro, que atingiram valores de até 3000cps (contagens por segundo). Destacam que perfis para estudar as fontes hidrominerais, realizados na encosta sul do morro, mostram uma zona com intensidade de radiação de três a cinco vezes maiores que o valor medido no entorno da região do município de Caxambu. É possível também verificar essas anomalias em voos aerogeofísicos de alta resolução (gama e mag) patrocinados pelo SGB-CPRM e Codemig no início da década de 2000, que podem ser obtidos nas duas empresas.

Pinto *et al.* (1994) concluíram que a natureza alcalina de algumas águas minerais de Caxambu passa a ter uma explicação baseada em fatos, ou seja, o tempo de residência das águas subterrâneas em contato com as rochas teria papel preponderante, havendo total interação água/rocha, com assimilação de diversos elementos químicos. As análises químicas em rochas intemperizadas levam a isso.

Beato *et al.* (1998) também concluíram pela dissolução de minerais das rochas percoladas por águas pluviais infiltrantes em zonas de cisalhamento e fraturas. Apresentaram, como provável fonte alternativa ou adicional da mineralização das águas, os sedimentos ricos em argila orgânica situados nas zonas de surgência das fontes. Haveria mistura de águas do aquífero fraturado com águas do aquífero aluvial ou intergranular. Também destacam que “a diversidade de tipos de água existentes está relacionada aos diferentes tempos de residência das águas das diferentes fontes. O tempo de interação água-rocha, e a profundidade de percolação definirão o grau de mineralização.”

Soares *et al.* (2018) concluíram que na grande maioria das águas minerais do Circuito das Águas não existem relações químico-isotópicas e conexão física direta com águas subterrâneas dos aquíferos de aluviões, do manto de intemperismo e das sub-bacias onde estão os parques. Mesmo assim, confirmam que em alguns pontos/loais haviam indícios de contaminação por efluentes antrópicos nas amostras analisadas. Nas fontes de **Caxambu**, Cambuquira e Marimbeiro não encontraram evidências de mistura das águas minerais com águas superficiais.

A inexistência de comunicação entre aquíferos profundos e rasos ou superficiais não elimina a necessidade de cuidados permanentes para se evitar contaminações antrópicas das águas minerais e das fontes dos parques.

Araxá - a Estância do Barreiro é um dos mais importantes complexos termais do Brasil, localizado a 4,5 quilômetros do centro da cidade. O parque turístico do Barreiro é de propriedade do governo de Minas (Codemge) e explorado pelo Grupo Tauá desde 2010. São duas fontes, Dona Beja e Andrade Júnior.

As águas minerais e termais percolam o Complexo Alcalino do Barreiro (ou Araxá), uma intrusão alcalino-carbonatítica de idade cretácea, mineralizada em Nb, P, ETR (Th, U) e com altos teores de Ba.

Viana *et al.* (1998) concluíram que os aquíferos da região do Barreiro, em Araxá, são do tipo intergranular livres e semiconfinados no manto de intemperismo e fraturado livre a confinado nas rochas frescas do complexo ultramáfico alcalino carbonatítico do Barreiro e nas encaixantes xistos e quartzitos do Grupo Araxá. A recarga do aquífero intergranular dar-se-ia, principalmente, por infiltração pluvial direta a partir de regiões mais elevadas com surgência nos lagos do Grande Hotel e do Barreiro. O aquífero fraturado seria recarregado por águas de chuvas sobre afloramentos de rochas fraturadas e por águas dos solos sobre as rochas, podendo atingir grandes profundidades pelo intenso fraturamento das encaixantes causado pela intrusão do complexo. A grande quantidade de poços de diferentes tipos e finalidades, cerca de 131 em 1998, alguns com extração de água mineral, e nascentes, podem trazer preocupações se não forem bem monitorados. Alguns deles são monitorados no controle de contaminantes metalúrgicos (BaCl_2) e no rebaixamento da mina de fosfato. A Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) mantinha controle sobre a manutenção dos poços que estavam sob sua responsabilidade. (VIANA *et al.*, 1998) ressaltam que 39 poços estavam desativados ou abandonados sem os devidos cuidados de tamponamento para evitar contaminação do aquífero subterrâneo.

As águas do aquífero intergranular são bicarbonatadas cálcicas, oligominerais, frias, radioativas, alcalinas a levemente ácidas com bário em torno de 1,4mg/l. O

bário seria resultado da solubilização do carbonato de bário do carbonatito. As barragens de efluentes, que acumulam grandes quantidades de cloreto de bário, como rejeito do tratamento do minério, são causa da contaminação no aquífero, que aumenta em profundidade (VIANA *et al.*, 1998).

A água da Fonte **Dona Beja** é proveniente da infiltração de águas pluviais na área da cava da mina de fosfato, àquela época da Arafertil, e do chamado “anel verde” do entorno do parque e também por infiltração de águas das barragens, o que fica evidente pelos aumentos de vazão nessa fonte desde a implantação das barragens no anel verde (VIANA *et al.*, 1998). Algumas dessas barragens foram construídas nos anos de 1980 para acumular a água do rebaixamento da mina e manter o nível freático a jusante com o objetivo de preservar a vazão da fonte. Em setembro de 1997, as medidas realizadas por técnicos da CPRM indicaram vazão média de 45m³/h (metros cúbicos por hora), diferente da apresentada pela Arafertil em setembro do mesmo ano, de 59,72m³/h, provavelmente por diferenças nos métodos de medição. Em 1997, um dos poços da fonte foi fechado devido a problemas com a qualidade da água. A fonte foi captada na década de 1940, apresentando água do tipo oligomineral (baixa salinidade, com ação medicamentosa), fortemente radioativa com 145 *Mache* (MOURÃO, 1990 *apud* VIANA *et al.*, 1998), temperatura de 22,7°C e resíduo seco de 112mg/l (miligrama por litro). Dizem que a fonte resulta da interseção do lençol freático com a topografia, ou seja, pelo “afloramento” do lençol freático.

Na Fonte **Andrade Júnior** (ou Sulfurosa) Viana *et al.* (1998) suspeitam da origem da água por percolação de fraturas em quartzitos preenchidas por minerais sódicos (zona fenitizada pelos fluidos alcalinos). A água chegaria a centenas de metros de profundidade, certamente mais de 200 metros pelas estimativas e medidas de temperaturas, através das fraturas do quartzito, atingindo o carbonatito fresco, voltando à superfície junto à zona de contato entre esses dois litotipos, enriquecida de diversos componentes químicos. A água é alcalino-sulfurosa, hipotermal com temperatura medida de 29,1°C, radioativa com valor medido de 44 *Mache* (MOURÃO, 1990 *apud* VIANA *et al.*, 1998) e resíduo seco de 3.818mg/l (miligrama por litro). O nome da fonte deve-se a Andrade Júnior que, em 1928, junto com Carvalho Lopes, fez a primeira captação e trabalhos adicionais.

São Lourenço - no Parque das Águas estão as fontes Oriente, Andrade Figueira, Vichy, Nova Alcalina, Sotó Mayor e, em especial a Fonte Águas Santas do Viana. Suas águas são magnesianas, ferruginosa, sulfurosa, alcalina, alcalino-gasosa e gasosa. A Fonte Alcalina Vichy 3, com água alcalino-gasosa ferro-bicarbonatada, explotada pelo grupo francês Perrier, é comparada a da cidade francesa Vichy, daí seu nome.

Cambuquira - são conhecidas sete fontes, cinco delas localizadas no Parque das Águas e outras duas fora do parque, são elas as fontes Marimbeiro e Laranjal, distantes dois quilômetros do centro da cidade.

Segundo a Codemge, a água mineral *“extraída da fonte Roxo Rodrigues desde 1834, é uma água de pequena produção, com alto potencial para atuar no mercado externo e concorrer com marcas importadas, devido às suas características naturais.”* (<http://www.codemge.com.br/atuacao/comunidades/cambuquira/>) consultado em 17/06/2020.

Lambari - sete fontes de águas minerais integravam o Parque das Águas. São identificadas por números e/ou nomes, com águas de composições químicas gasosa a fortemente gasosa, alcalina pouco gasosa, magnesiana gasosa, bicarbonatada férrea, potável levemente gasosa e carbogasosa. Consta que a água carbogasosa também é fortemente radioativa e que o poço tubular produtor, situado em frente ao pavilhão principal do Parque das Águas, estava desativado, conforme consulta em 11/11/2011. Não se obteve informações mais recentes, até junho de 2020.

Conforme comunicado de 31/01/2019, *“A Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (Codemge) informa que as águas minerais das fontes localizadas no Parque das Águas de Lambari permanecem adequadas para o consumo pela população, de acordo com os resultados da pesquisa geoambiental SIGA Circuito das Águas.”* Mas aponta que *“Cabe pontuar que os valores de nitrato nas fontes LMB01, LMB02, LMB03 e LMB04, que variaram de 4 a 5 mg/L, chamam atenção para um possível uso sanitário inadequado ao redor do parque ou mistura das águas minerais com águas subterrâneas contaminadas por esgoto, o que pode provocar alteração da qualidade das águas. A causa mais provável dos índices apurados de nitrato nessas fontes é a urina, dentre outras possíveis. Portanto, embora as águas do parque estejam plenamente dentro dos parâmetros sanitários para consumo, é necessário que o poder público e a sociedade zelem constantemente pela preservação do local.”*

Jacutinga - são conhecidas seis fontes de água mineral no município, classificadas como águas oligominerais. No Parque São Clemente está a fonte São Clemente, de onde é engarrafada a Água Mineral Jacutinga.

Monte Sião - destacam-se as fontes Virtuosa, a dois quilômetros, e Leopoldina, a 12 quilômetros da sede municipal e Virtuosinha, a um quilômetro da praça central da cidade. As águas das duas primeiras são classificadas como bicarbonatadas cálcio-sódio-magnesianas e a última é radioativa.

Caldas - no Parque Balneário Dr. Reynaldo de Oliveira Pimenta, em Balneário de Pocinhos do Rio Verde, são encontradas águas sulfurosa, alcalina-bicarbonatada e radioativa.

Poços de Caldas - cidade implantada sobre o complexo alcalino ao qual deu nome, junto à divisa com São Paulo, tem na indústria mineral (alumínio, urânio e água mineral) e no turismo seus pilares de sustentação econômica. No complexo das águas minerais destacam-se as fontes Pedro Botelho, Chiquinha e Mariquinha, de características alcalino-sulfurosas hipertermais, reunidas em captação única nas Thermas Antônio Carlos. Outras fontes são conhecidas como dos Macacos, Sinhazinha, XV de Novembro, dos Amores, Bela e Monjolinho.

Segundo a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) (<http://www.abes-mg.org.br/>), em consulta ao site em 19/06/2020, Poços de Caldas contava com 28 fontes hidrotermais, minerais, sulfurosas e radioativas, monitoradas pelo município. Grande parte são fontes de meados do século XX e outras são conhecidas desde o século XVII. Segundo a ABES, existe monitoramento sistemático das fontes, com análises bacteriológicas semanais e físico-químicas trimestralmente, e executadas em laboratórios da prefeitura. Cloração com hipoclorito de cálcio é feita nas caixas de contato das fontes, como forma de prevenir contaminação por coliformes, com exceção das fontes Monjolinho e dos Amores, com águas de altas pureza e qualidade. Segundo essa mesma fonte, a água da fonte dos Amores é fracamente radioativa, com temperatura de surgência de 17°C, enquanto a água da fonte Monjolinho é radioativa e dita de ação diurética.

As Thermas Antônio Carlos foram inauguradas em 1931, como o primeiro estabelecimento termal do Brasil a oferecer uma série de serviços e tratamentos voltados à saúde corporal pelo uso da água termal. Constituem um bem tombado pelo Estado e gerido pela Codemge desde janeiro de 2018.

Conceição do Rio Verde - o Parque das Águas de Contendas, com mais de cinco mil metros quadrados, possui fontes de água gasosa, ferruginosa e magnesiana, consideradas terapêuticas. Consta que Dom Pedro II teria visitado a fonte em 1884.

A concessão é de propriedade da Codemig (atual Codemge), arrendada a terceiros. São três captações de águas minerais conhecidas como fontes gasosa, ferruginosa e magnesiana, formadas por poços tubulares com cerca de 12 metros de profundidade. Um outro poço tubular, com 102 metros, é conhecido como Fonte Águas de Contendas, utilizada para engarrafamento e de uso público no fontanário.

O site da Codemge, consultado em 19/06/2020, mostra que em maio de 2017 a fonte gasosa teve vazão de 132,98 l/h, a fonte ferruginosa 203,47 l/h, a magnesiana 60,88 l/h. No Fontanário Público, a vazão total em duas bicas foi 782,40 l/h. O poço tubular mostrou vazão de 1434 l/h. (<http://www.codemge.com.br/wp-content/uploads/2017/09/parque-das-aguas-de-contendas-set17.pdf>).

O Boletim 673/LAMIN/15, de 4 de janeiro de 2016, disponibilizado pela Codemge no site acima, mostrou em miligramas por litro (mg/l): bicarbonato = 82,27, Na=11,376, Ca=9,129, K=4,578, Mg=3,522, Sulfato = 0,56, Nitrato = 0,12, Ba=0,095, Sr=0,075, Fluoreto = 0,07, Cloreto = 0,04, Se=0,007. Em medições diretas na fonte, pH=4,93 (a 25°C), T=22,8°C, condutividade elétrica = 131µS/cm (a 25°C), resíduo de evaporação = 155,38 mg/l (a 180°C, calculado), gás carbônico = 2346,53 mg/l. Essa água foi classificada como “Água Mineral *Fluoretada, Seleniada e Carbogásosa na fonte.*”

Tiradentes – mesmo um pouco fora do eixo do Circuito das Águas, mas por suas características similares e proximidades geográfica, a Fonte Águas Santas (ou Balneário Gabriel Passos), situada na região do Campo das Vertentes, é aqui abordada. Conhecida desde pelo menos o início do século XX, situa-se no sopé da vertente noroeste da Serra de São José, próximo à cidade de São João del-Rei, com suas águas integrando a bacia hidrográfica do Rio Carandaí. A água percola o contato entre quartzito e xisto (ERICHSEN, 1929) da Formação Tiradentes e é famosa por suas propriedades radiativas e termais ditas terapêuticas, provenientes das fontes “magnesiânica e radiativa”. Conforme informação da Codemge, o complexo ocupa pouco mais de 11 hectares, fazendo parte da Área de Proteção Ambiental de São José, criada por decreto-lei em 1990.

12.4.2. Circuito da Serra do Espinhaço

Estudos sobre as condicionantes geológicas das fontes desse circuito ainda são incipientes ou inexistentes. Em princípio, estão condicionadas a sistemas de fraturas relacionadas a zonas de cisalhamentos dúcteis-rúpteis que afetaram rochas siliciclásticas do Supergrupo Espinhaço e rochas diversas do Supergrupo São Francisco, com expressão ao longo da borda ocidental da Serra do Espinhaço, imponente cadeia montanhosa de direção NS. O cisalhamento, ou os esforços distensivos posteriores, causaram fraturas abertas orientadas principalmente EW e NE-SW, por onde parecem percolar as águas de algumas surgências. Análises físicas realizadas *in loco* por Lima (2001), enquadram as águas nas categorias hipotermal (temperaturas entre 25°C e 33°C) e mesotermal (temperaturas entre 33°C e 36°C). A infraestrutura turística nessa região do Espinhaço ainda é muito incipiente, mas há movimentos para que se fortaleça.

As informações relativas às estações de águas termais Santa Bárbara, Fazenda Lagoa Santa, Fazenda Água Quente, Fazenda Água Santa e Fazenda da Fábrica foram obtidas de Lima (2001).

Águas Termais Santa Bárbara (Figura 12.2) a fonte situa-se na coordenada UTM-SAD69 598119E/8005578S, na localidade Santa Bárbara, distante cerca de 29 quilômetros da sede do município de Augusto de Lima, em área de concessão da Mineração Paculdino Ltda. A água percola quartzitos do Supergrupo Espinhaço e tem pH=7,36, condutividade elétrica de 250µS/cm (a 25°C) e temperatura de 32°C na fonte.

Águas Termais Fazenda Lagoa Santa - uma das fontes (poço tubular) está situada no município de Buenópolis, a um quilômetro do povoado de Curumataí, na coordenada UTM-SAD69 611608E/8024109S, em propriedade de João Maurício de Souza e outros. Trata-se de poço tubular jorrante, com vazão de 70 metros cúbicos por hora, perfurado em quartzito do Supergrupo Espinhaço. A água no poço tem pH 5,36, condutividade elétrica de 24,30µS/cm (a 25°C) e temperatura de 36,0°C. Uma nascente, na mesma fazenda, está posicionada na coordenada UTM-SAD69 611642E/8024069S, próxima ao poço tubular. As características da água, medidas *in loco*, são: pH=5,92, condutividade elétrica de 14,5µS/cm (a 25°C) e temperatura de 32,0°C.

Águas Termais Fazenda Água Quente - a fazenda, de propriedade de Roque da Cunha Pereira, está situada na região de Pé de Serra, a cerca de nove quilômetros a nordeste do povoado de Curumataí, no município de Buenópolis. A nascente utilizada está na coordenada UTM-SAD69 614614E/8030917S e percola quartzitos do Supergrupo Espinhaço. Parâmetros físicos da água, determinados *in loco* na nascente, mostram pH=5,71, condutividade elétrica de 14,39µS/cm (a 25,0°C) e temperatura de 30,0°C.

Águas Termais Fazenda Água Santa - situa-se no município de Conceição do Mato Dentro, na coordenada 43°24'50''W e 18°52'22''S. A água é hipotermal, com temperatura de 30°C na fonte, ainda sem aproveitamento econômico.

Águas Termais Fazenda da Fábrica - situa-se no município de Conceição do Mato Dentro na coordenada 43°23'37''W e 18°57'00''S. A água é hipotermal, com temperatura de 28,5°C na fonte, também sem aproveitamento econômico.

Águas Termais de **Montezuma** - situada na Serra do Espinhaço Meridional, na Bacia do Rio Pardo, divisa com o estado da Bahia, Montezuma dispõe de balneário de águas termais naturais com temperaturas variando entre 34°C e 41°C. A fonte mais antiga situa-se próximo ao Ribeirão da Tábua.

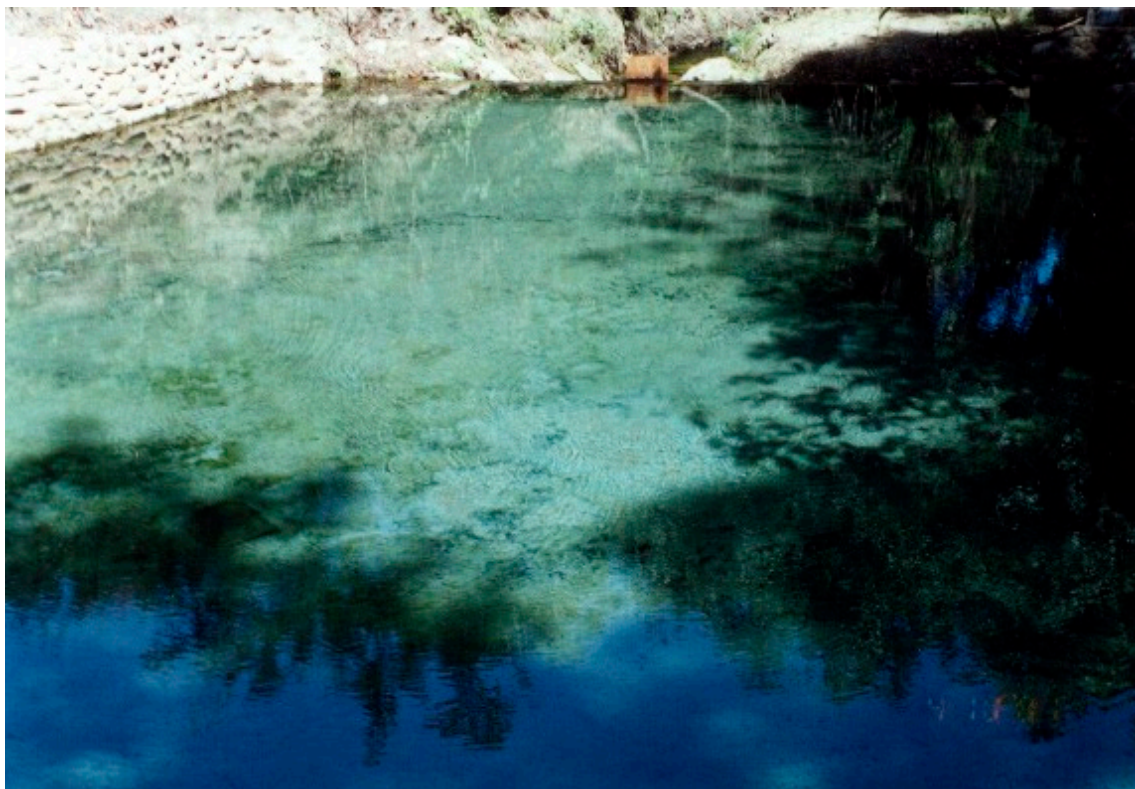


Figura 12.2 - Piscina natural formada pelo represamento do conjunto de nascentes da Fonte Santa Bárbara. No centro são observados círculos concêntricos formados pelo movimento das nascentes no fundo da piscina (foto e legenda de JOSÉ DO ESPÍRITO SANTO LIMA, 2001).

REFERÊNCIAS

- 200 Maiores Minas Brasileiras. **Minérios e Minerais**. São Paulo, ano 37, n. 355, p. 8-9, out. 2013. Disponível em: www.revistaminerios.com.br. Acesso em: 20 jun. 2022.
- 200 Maiores Minas Brasileiras. **Minérios e Minerais**. São Paulo, ano 42, n. 397, p. 20-40, out./nov. 2018. Disponível em: www.revistaminerios.com.br. Acesso em: 20 jun. 2022.
- 200 Maiores Minas Brasileiras. **Minérios e Minerais**. São Paulo, ano 43, n. 403, p. 22-37, out./nov. 2019. Disponível em: www.revistaminerios.com.br. Acesso em: 20 jun. 2022.
- 200 Maiores Minas Brasileiras. **Minérios e Minerais**. São Paulo, ano 33, n. 317, ago. 2009.
- 200 Maiores Minas Brasileiras. **Minérios e Minerais**. São Paulo, ano 36, n. 345, 2012.
- ABREU, A. S.; DINIZ, H. B.; PRADO, M. G. B.; SANTOS, S. P. Mina de ouro de São Bento, Santa Bárbara, Minas Gerais. *In*: SCHOBENHAUS FILHO, C.; COELHO, C. E. S. (ed.). **Principais depósitos minerais do Brasil 3, Metais básicos não-ferrosos, ouro e alumínio**. Brasília: DNPM : Vale, 1988. p. 393-411.
- ABREU, F. R. **Estudo das mineralizações auríferas filonianas da região da cidade de Diamantina-MG**. 1991. 85 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, 1991.
- ABREU, F. R.; SANTOS, G. G. V. dos; SCHRANK, A. Estudo das mineralizações auríferas filonianas da região da cidade de Diamantina, MG. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., 1992, São Paulo. **Bol. Res. Expandidos**. São Paulo: SBG-SP, 1992. v. 1, p. 229.
- ABREU, S. F. **Recursos Minerais do Brasil: Combustíveis Fósseis e Minerais Metálicos**. Rio de Janeiro: Ministério da Indústria e do Comércio : Instituto Nacional de Tecnologia, 1962. v. 2
- AFGOUNI, K.; MARQUES, F. F. Depósito de Lítio, berílio e cério de Araçuaí/Itinga, Minas Gerais. *In*: SCHOBENHAUS, C.; QUEIROZ, E. T.; COELHO, C. E. S. (coord.). **Principais Depósitos Minerais do Brasil**. Brasília: DNPM, 1997. v. 4, parte B, cap. 35, p. 373-388.
- ALMEIDA, A. C. S. **Gênese, distribuição e caracterização dos espongilitos do noroeste de Minas Gerais**. 2009. 113 f. Tese (Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.
- ALMEIDA, A. C. S.; BELLO, R. M. S.; GANDINI, A. L. Topázio imperial das minas do Vermelho e JJC, Ouro Preto, MG: estudos de inclusões fluidas e considerações genéticas. **Geochimica Brasiliensis**, v. 21, n. 2, p. 129-139, 2007.
- ALMEIDA, B. S.; BIONDI, J. A.; DARDENNE, M. A.; THOMPSON, B. Modelamento geoquímico do Alvo Albernaz, depósito Morro do Ouro, Paracatu, Minas Gerais. *In*: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 14.; SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 10., 2007, Diamantina. **Livro de Resumos**. Diamantina: Simpósio do Sudeste, 2007. p. 132.
- ALMEIDA, G. S. **Caracterização Hidrogeoquímica da Microbacia de Drenagem do Córrego do Bule, Ouro Branco, MG**. 2017. 209 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017.
- ALVES, F. E. Agregados: Qual será o futuro da indústria de agregados? **Brasil Mineral**, n. 364, p. 3-6, ago. 2016a. Disponível em: <https://www.brasilmineral.com.br/revista/364/>. Acesso em: 13 jun. 2022.
- ALVES, F. E. As Maiores Empresas do Setor Mineral 2019. **Brasil Mineral**, n. 392, jul. 2019a. Disponível em: <https://www.brasilmineral.com.br/revista/392/>. Acesso em: 13 jun. 2022.
- ALVES, F. E. Fertilizantes: Kalium instalará processo pioneiro para produção de sulfato de potássio. **Brasil Mineral**, n. 365, p. 18-20, set. 2016b. Disponível em: <https://www.brasilmineral.com.br/revista/365/>. Acesso em: 13 jun. 2022.
- ALVES, F. E. Fertilizantes: O Brasil já pode contar com o Potássio da Kalium Mineração. **Brasil Mineral**, n. 396, p. 16-18, dez. 2019b. Disponível em: <https://www.brasilmineral.com.br/revista/396/>. Acesso em: 13 jun. 2022.
- ALVIM, M. D.; CARVALHO, S. G. de; BRENNER, T. L.; ZANARDO, A. Caracterização dos principais tipos de minério presentes na jazida de Fortaleza de Minas, com base em estudos texturais. *In*: SIMPÓSIO DO SUDESTE, 2007, Diamantina. **Livro de Resumos**. Diamantina: SBG-MG, SP, RJ, 2007. p. 118.
- AMARAL, G. Contribuição ao conhecimento dos depósitos de Zn-Pb-Cu-Ag da serra do Poço Verde, Vazante, estado de Minas Gerais. *In*: CONGRESSO BRASILEIROS DE GEOLOGIA, 22., 1968, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SBG, 1968. p. 13-31.
- AMARAL, G. **Geologia e depósitos de minério na região de vazante, Estado de Minas Gerais**, 1968. 133 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas) – Escola Politécnica, USP, São Paulo, 1968.
- AMARAL, M. Mercado de areia na Região Metropolitana de Belo Horizonte. **Revista Areia e Brita**, São Paulo, v. 19, n. 66, p. 20-28, 2016.
- AMORIM, H. Fechamento de Mina que gerava mais de 200 empregos em Lagamar ainda causa preocupação. **P O**

Notícias, 6 nov. 2018. Disponível em: <https://ponoticias.com.br/fechamento-de-mina-que-gerava-mais-de-200-empregos-em-lagamar-ainda-cause-preocupacao/>. Acesso em: 12 maio 2020.

ANEPAC - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO. Areia de brita para construção: Evolução de processos e mudanças estruturais nos grandes centros urbanos favorecem utilização do produto para o mercado. **Revista Areia e Brita**, ano 22, ed. 73, p. 20-24, out.2018 – jan.2019.

ANEPAC - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO. Tendências para o mercado de agregados. **Revista Areia e Brita**, ano 23, ed. 75, p. 28-33, abr. 2020.

ANGELI, N.; CARVALHO, S. G.; OLIVEIRA, M. A. F.; CHOUDHURI, A.; SARAGIOTTO, J. A. R. Caracterização das ocorrências de minério de manganês em parte da porção nordeste do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: SBG, 1984. v. 8, p. 3710-3723.

ANGELI, N.; GARUTTI, G.; ZACCARINI, F.; PROENZA, J.; THALLAMMER, O.; PENHA, U.C. Chromite Composition and PGE Mineralogy in Chromitite from Serro and Alvorada de Minas Ultramafic Bodies (MG, Brazil): Evidence for a stratiform origin. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 11., 2009, São Pedro. **Anais [...]**. São Pedro: SBG, 2009. p.102.

ANGELI, N.; KHAN, H.; ITO, G. M.; CARVALHO, S. G.; JIMENEZ-RUEDA, J. R.; PENHA, U. C. Geologia e caracterização tecnológica do minério de manganês da mina Córrego do Cocho, Itapira (SP). **Geol. USP, Sér. Cient.**, São Paulo, v. 11, n. 3, p. 107-130, dez. 2011.

ANGELI, N.; MARTINELLI, C. Estudo preliminar das ocorrências de asbesto na região de Rio Piracicaba e Bela Vista de Minas, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: SBG, 1984. v. 4, p. 4220-4228.

ANGELI, N.; ZACCARINI, F.; GARUTI, G.; THALLAMMER, O.; PROENZA, J.; WALSH, L. Platinum group minerals in Brazilian chromitites from Serro, Alvorada de Minas and Pedra Branca: evidence for a stratiform origin. **Acta Mineralogica Petrographica**, Abstract Series, Budapest, p. 268, 2010.

ANGELI, N.; CHOUDHURI, A. Ultramafic complexes and associated mineral deposits in the Precambrian of Eastern Minas Gerais, Brazil. **Mineralium Deposita**, v. 20, 1985, p. 309-313.

ANGELI, N.; OLIVEIRA, S. M. B.; CHOUDHURI, A. Avaliação preliminar dos produtos de alteração dos serpentinitos de Ipanema, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: SBG, 1984. v. 4, p. 4229-4240.

ANM – AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Arrecadação da CFEM por substância**. Brasília, 2021. Relatórios CFEM. Disponível em: https://sistemas.anm.gov.br/arrecadacao/extra/Relatorios/arrecadacao_cfem_substancia.aspx. Acesso em: 7 jul. 2022.

ANM – AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **SIGMINE – Sistema de Informações Geográficas da Mineração**. Brasília, 2018. Disponível em: <https://geo.anm.gov.br/portal/apps/webappviewer/index.html?id=6a8f5ccc4b6a4c2bba79759aa952d908>. Acesso em: 8 jul. 2022.

ANM – AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Anuário Mineral Estadual – Minas Gerais: anos base 2015 e 2016**. Brasília: ANM, 2019.

APPEL, P. W. U. Stratabound scheelite in the Archean Malen supracrustal belt, West Greenland. **Mineralium Deposita**, v. 21, p. 207-215, 1986.

ARAÚJO, A.; CARLSON, R. W.; GASPAR, J. C.; BIZZI, L. A. Petrology of kamafugites and kimberlites from the Alto Paranaíba alkaline province, Minas Gerais, Brazil. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 142, n. 2, p. 163-177, 2001.

ARAÚJO, M. C. **Projeto de cadastramento de poços artesianos, poços para mineração e levantamento de indícios de hidrocarbonetos: relatório de atividades**. Belo Horizonte, 1988. Inédito.

ARAÚJO, P. R. da R. **Les phosphorites d'âge protérozoïque moyen de Rocinha (Minas Gerais, Brésil). Gèneses et évolution d'un gisement de phosphate tectonisé et métamorphisé au Brésilien (~600Ma)**. 1998. 232 f. Tese (Doutorado) – Aix - Marseille III, France, 1998.

ARAÚJO, P. R. da R.; FLICOTEAUX, R.; TROMPETTE, F. Phosphorites of Rocinha Mine – Patos de Minas (Minas Gerais, Brasil): Genesis and evolution of a Middle Proterozoic deposit tectonized by the Brasiliano Orogeny. **Economic Geology**, v. 87, p. 332-351, 1992.

ASSIRATI, D. M. Água mineral. In: ANM. **Sumário Mineral Brasileiro**. Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/pasta-sumario-brasileiro-mineral-2018/agua-mineral>. Acesso em: 05 jul. 2022.

ASSIS, L. C. de. **Estratigrafia, tectônica e potencialidade mineral das unidades pré-cambrianas da região do Serro, MG, Quadrícula de Mato Grosso: Contribuição à controvérsia Minas x Espinhaço**. 1982. 149 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 1982.

ÁVILA, C. A.; PEREIRA, R.; MOURA, C.; COUTO, F.; DUTRA, D. Presença de galena e de uma anomalia geoquímica de Pb na região entre Nazareno e São João del Rei, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 40., 1998, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SBG, 1998a. p. 334.

ÁVILA, C. A.; VALENÇA, J. G.; MOURA, C.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F. Idades ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb em zircões de corpos metaplutônicos da região de São João del Rei, borda sul do Cráton São Francisco, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 40., 1998, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SBG, 1998b. p. 34.

BALTAZAR, O. F.; SILVA, S. L.; PADILHA, A. V. **Folha Heliodora SF.23-Y-B-II-2 (1:50.000) – Estado de Minas Gerais**. Brasília:

- CPRM, 1988. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil).
- BALTAZAR, O. F.; ZUCCHETTI, M. Lithofacies associations and structural evolution of the Archean Rio das Velhas *greenstone belt*, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: a review of the setting of gold deposits. *Ore Geology Review*, v. 32, p. 471-499, 2007.
- BARBOSA, A. L. M. **Geologic map of Ouro Preto and Santa Rita de Ouro Preto Quadrangles, Minas gerais, Brazil**. Washington: United States Government Printing Office, 1969. 110 p. (Geological Survey Professional Paper 641-A).
- BARBOSA, C. P. Notas sobre a ocorrência de paládio e platina no município de Pilar, MG. **Eng. Min. Metalurgia**, v. 35, p. 111, 1962.
- BARCELOS, J. P.; BÜCHI, J. Mina de minério de ferro-manganês de Miguel Congo, Minas Gerais. In: SCHOBENHAUS, C.; COELHO, C. E. S. (ed.) **Principais Depósitos Minerais do Brasil: ferro e metais da indústria do aço**. Brasília: MME : DNPM, 1986. v. 2, p. 87-95.
- BASÍLIO, M. S. **A alexandrita de Malacacheta**. 1999. 111 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999.
- BASÍLIO, M. S. **Geoquímica dos sedimentos associados aos minérios de ferro da região leste-sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG e seu potencial para adsorção e dessorção de metais traço**. 2005. 202 f. Tese (Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005. (Contribuições às Ciências da Terra, Série D, v. 13).
- BEATO, D. A. C. **Projeto Araxá: Estudo geoambiental das fontes hidrominerais**. Belo Horizonte: COMIG : CPRM. 1999c. p. 65-102.
- BEATO, D. A. C.; LIMA, J. do E. S. **Projeto Circuito das Águas: Estudos geoambientais das fontes hidrominerais de águas de Cambuquira, Caxambú, Conceição do Rio Verde, Lambari e São Lourenço**. Belo Horizonte: COMIG : CPRM, 1999b. p. 59-127.
- BEATO, D. A. C.; OLIVEIRA, F. A. R de; VIANA, H. S. **Estudos Geoambientais das fontes hidrominerais de Águas de Contendas, Cambuquira, Caxambu, Lambari e São Lourenço**. Belo Horizonte: CPRM, 1999a. 142 p.
- BEATO, D. A. C.; OLIVEIRA, F. A. R.; VIANA, H. S.; SHINZATO, E.; LIMA, J. E. S.; PENA, F. M.; LUMBRENNAR, J. F.; COSTA, N. B. O. R. **Estudos geoambientais das fontes hidrominerais de Cambuquira, Caxambu, Conceição do Rio Verde, Lambari e São Lourenço**. Belo Horizonte: COMIG : CPRM, 1998. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/8558>. Acesso em: 20 jun. 2022.
- BERTOLINO, L. C.; RODRIGUES, D. M. C.; ROLAND, C. L.; ALVES, O. C.; SANTOS FILHO, E. **Caracterização Tecnológica e Mineralógica dos Caulins Belmiro BRAGA e São Miguel do Anta, Minas Gerais**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2012. (Anuário do Instituto de Geociências, v. 35). p. 65-70.
- BETTENCOURT, J. S.; MONTEIRO, L. V. S.; BELLO, R. M. S.; OLIVEIRA, T. F. de; JULIANI, C. Metalogênese do zinco e chumbo na região de Vazante – Paracatu, Minas Gerais. In: PINTO, C. P.; MARTINS-NETO, M. A. (ed.) **Bacia do São Francisco: Geologia e recursos naturais**. Belo Horizonte: SBG, 2001. p. 161-198.
- BEURLIN, H. **Ocorrências de chumbo, zinco e fluorita nas rochas sedimentares do precambriano superior no Grupo Bambuí em Minas Gerais (Brasil central)**. 1973. 165 f. Tese (Doutorado) – Ruprecht-Karls-Universität, Heidelberg, 1973.
- BIONDI, J. C. Brazilian mineral deposits associated with alkaline and alkaline carbonatite complexes. In: COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C. B. **Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Platform**. São Paulo: EdUSP : Fapesp, 2005. p. 707-750.
- BIONDI, J. C. **Depósitos de minerais metálicos de filiação magmática**. São Paulo: CBMM : Queiroz Editor, 1986. 602 p.
- BIONDI, J. C. **Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros**. São Paulo, Oficina de Textos, 2003. 528 p.
- BOA-NOVA, F. P. **Trabalhos executados na jazida de cinábrio de Três Cruzes, município de Ouro Preto: Relatório Anual do Diretor ano 1929**. DNPM : SGM, 1930. p. 24-27.
- BORBA, R. P. **O magmatismo ácido e sua relação com a mineralização aurífera de Bico de Pedra, Greenstone belt Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil**. 1998. Dissertação (Mestrado) – UNICAMP, Campinas, 1998.
- BORBA, R. P.; FIGUEIREDO, B. R. Influência de plutonismo ácido na formação de depósito aurífero de Bico de Pedra, *Greenstone belt* Rio das Velhas, Quadrilátero ferrífero, M.G. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1996, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: SBG, 1996. v. 3, p. 331-332.
- BOULANGÉ, B.; CARVALHO, A.; VARAJÃO, C. A. C.; VARAJÃO, A. F. The Bauxite of the Quadrilátero Ferrífero. In: CARVALHO, A.; BOULANGÉ, B.; MELFI, A. J.; LUCAS, Y. (ed.) **Brazilian Bauxites**. São Paulo: USP : Fapesp : Orstom, 1997. p.165-194.
- BRAGA, F. C. S. **A sequência portadora de formação ferrífera da Serra do Morro Escuro, Santa Maria de Itabira, Minas Gerais**. 2012. 130 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.
- BRAGA, P. F. A.; SAMPAIO, J. A. Lítio. In: LUZ, A. B. da; LINS, F. A. F. (ed.) **Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações**. Rio de Janeiro: CETEM : MCT, 2008. parte 2, cap. 26, p. 585-603.
- BRANDALISE, L. A.; VIANA, H. S. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Projeto Barbacena, Folha Rio Pombo, SF.23-X-D-I, escala 1:100.000**. Brasília: DNPM : CPRM, 1993. 148 p.
- BRANDO-SOARES, M.; CORRÊA NETO, A. V.; BERTOLINI, L. C.; ALVES, F. E. A.; ALMEIDA, A. M.; SILVA, P. H. M. da; MABUB, R. O. de A.; MANDUCA, L. G.; ARAÚJO, I. M. C. P. Multistage mineralization at the hypozonal São Sebastião gold deposit,

Pitangui greenstone belt, Minas Gerais, Brazil. **Ore Geology Reviews**, v. 102, p. 618–638, 2018.

BRANDO-SOARES, M.; CORRÊA NETO, A. V.; ZEH, A.; CABRAL, A. R.; PEREIRA, L. F.; PRADO, M. G. B. do; SCHLICHTA, T. M. Geology of the Pitangui greenstone belt, Minas Gerais, BRAZIL: Stratigraphy, geochronology and BIF geochemistry. **Precambrian Research**, v. 291, p. 17–41, 2017.

BRANDO-SOARES, M.; SELBY, D.; ROBB, L.; CORRÊA NETO, A. V. Sulfide Recrystallization and gold remobilization during the 2.0 Ga Stage of the Minas Orogeny: implications for gold mineralization in the Quadrilátero Ferrífero Ares, Brazil. **Economic Geology**, v. 116, n. 6, p. 1455-1466, 2021. DOI <https://doi.org/10.5382/econgeo.4830>

BRENNER, T. L. **A jazida de níquel, cobre e platinoídes de Fortaleza de Minas: aspectos tectônicos, vulcanológicos e tipos de minérios**. 2006. 122 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, 2006.

BRENNER, T. L.; TEIXEIRA, N. A.; OLIVEIRA, J. A. L.; FRANKE, N. D.; THOMPSON, J. F. N. The O’Toole nickel deposit, Morro do Ferro greenstone belt, Brazil. **Economic Geology**, v. 85, p. 904-920, 1990.

BROD, A. F.; GIBSON, S. A.; THOMPSON, R. N.; JUNQUEIRA-BROD, T. C.; SEER, H. J.; MORAES, L. C.; BOAVENTURA, G. R. The kamaflagite-carbonatite association in the Alto Paranaíba igneous province (APIP) Southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, p. 404-408, 2000.

CABRAL, A. R. **Mineralização de ouro paladiado em itabiritos: a jacutinga de Gongo Soco, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. 1996. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, UNICAMP, Campinas, 1996.

CABRAL, A. R.; BEAUDOIN, G.; CHOQUETTE, M.; LEHMANN, B.; POLÔNIA, J. J. Supergene leaching and formation of platinum in alluvium: Evidence from Serro. Minas Gerais, Brazil. **Mineralogy and Petrology**, v. 90, p. 141-150, 2007.

CABRAL, A. R.; TUPINAMBÁ, M.; LEHMANN, B.; KWITKO-RIBEIRO, R.; VYMAZALOVÁ, A. Arborescent palladiferous gold and empirical Au₂Pd and Au₃Pd in alluvium from southern Serra do Espinhaço, Brazil. **Neues Jahrbuch für mineralogie, Abhandlungen**, v. 184, p. 329-336, 2008.

CABRAL, A. R.; ZEH, A.; GALBIATTI, H. F.; LEHMANN, B. Late Cambrian Au-Pd mineralization and Fe enrichment in the Itabira district, Minas Gerais, Brazil, at 496Ma: constraints from U-Pb monazite dating of a jacutinga lode. **Economic Geology**, v. 110, p. 263–272, 2015.

CABRAL, J. A. L.; SALIN FILHO, P.; DEQUECH, V. **Prospecção dos vulcanitos e rochas associadas da região da Mata da Corda e áreas adjacentes, Minas Gerais, Brasil**. DNPM : Geosol., 1969. 212 p. Inédito.

CABRAL, R. A.; LEHMANN, B.; TUPINAMBÁ, M.; SCHLOSSER, S.; KWITKO-RIBEIRO, R.; ABREU, F. R. de. The platiniferous Au-Pd belt of Minas Gerais, BRAZIL, and genesis of its botryoidal Pt-Pd aggregates. **Economic Geology**, v. 104, n. 8, p. 1265-1276, dec. 2009.

CABRAL, A. R.; LEHMANN, B. Seleniferous minerals of palladium and platinum from *ouro preto*-bearing mineralization in Brazil. **Ore Geology Reviews**, v. 32, p. 681-688, 2007.

CAMPOS, G. de. **Relatório da Directoria do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil**. Rio de Janeiro, 1923. p. 80-81.

CANALE, A. L. **Geologia do depósito Córrego do Sítio, Quadrilátero Ferrífero (MG) e caracterização mineralógica do minério aurífero sulfetado**. 1999. Dissertação (Mestrado) – IGC, UFRGS, Porto Alegre, 1999.

CARLSON, R. W.; ARAUJO, A. L. N.; JUNQUEIRA-BROD, T. C.; GASPAR, J. C.; BROD, J. A.; PETRINOVIC, I. A.; SICHEL, S. Chemical and isotopic relationships between peridotite xenoliths and mafic-ultrapotassic rocks from Southern Brazil. **Chemical Geology**, v. 242, n. 3-4, p. 415-434, 2007.

CARLSON, R. W.; ESPERANCA, S.; SVISERO, D. P. Chemical and Os isotopic study of Cretaceous potassic rocks from southern Brazil. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 125, n. 4, p. 393-405, 1996.

CARNEIRO, M. A.; SUITA, M. T. F. O potencial econômico e metalogenia de Ni-Cu (EGP) da Suíte Ribeirão dos Motas (SARM). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 45., 2010, Belém. **Anais [...]**. Belém: SBG, 2010.

CARVALHO, S. G.; SOARES, P. C.; ANGELI, N. Os processos formadores e deformadores das concentrações cupríferas, ziníferas e níquelíferas nos terrenos granito-*greenstone* de Alpinópolis, MG. **Geociências**, São Paulo, v. 15, n. Especial, p. 09-39, 1996.

CARVALHO, S. G.; SOARES, P. C.; ANTÔNIO, M. C.; ZANARDO, A.; OLIVEIRA, M. A. F. Geologia da sequencia vulcanosedimentar de Alpinópolis. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 23, n. 1, p. 38-51, 1993.

CASSEDANNE, J. P. Les gîtes de plomb et de zinc du Brésil et leur répartition linéamentaire. 1972. 336 f. Tese (Doutorado) – Universidade Clermont Ferrand, 1972.

CASSEDANNE, J. P.; CASSEDANNE, J. O. As aluviões platiníferas de Serro (MG). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: SBG, 1974. v. 6, p. 33-47.

CASTAÑEDA, C.; ADDAD, J.; LICCARDO, A. (org.). **Gemas de Minas Gerais**. Belo Horizonte: SBG, 2001. 288 p.

CAVALCANTE, J. C.; CUNHA, H. C. da S.; CHIEREGATI, L. A.; KAEFER, L. Q.; ROCHA, J. M. da; DAITX, E. C.; COUTINHO, M. G. da N.; HAMA, M.; YAMAMOTO, K.; DRUMOND, J. B. V.; ROSA, D. B.; RAMALHO, R. **Projeto Sapucaí: relatório final**. São Paulo: CPRM, 1977. 5 v.

CAVALCANTE, V. B. P.; JORDT-EVANGELISTA, H. Distrito Manganífero de Saúde, Grupo Dom Silvério - MG: Caracterização Mineralógica e Petrográfica do Protominério. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, n. 1, p. 11-20, 2004.

CERNÝ, P. Rare element granitic pegmatites. Part I: Anatomy and internal evolution of pegmatite deposits. **Geoscience Canada**, v. 18, n. 2, p. 49-67, 1991.

CÉSAR-MENDES, J.; ADDAD, J. E.; LICCARDO, A.; GANDINI, A. L. *Topázio*. In: CASTAÑEDA, C.; ADDAD, J.; LICCARDO, A. (org.). **Gemas de Minas Gerais**. Belo Horizonte: SBG, 2001. p. 180-195.

CÉSAR-MENDES, J.; BARBOSA, M. S. C. *Esmeralda*. In: CASTAÑEDA, C.; ADDAD, J.; LICCARDO, A. (org.). **Gemas de Minas Gerais**. Belo Horizonte: SBG, 2001. p. 128-151.

CHAUVEY, A.; PIANTONE, P.; BARBANSON, L.; NEHLIG, PEDROLETTI, I. Gold Deposit Formation during Collapse Tectonics: Structural, Mineralogical, Geochronological, and Fluid Inclusion Constraints in the Ouro Preto Gold Mines, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. **Economic Geology**, v. 96, n. 1, p. 25-48, 2001.

CHAVES, A. O.; CAMPELLO, M. S.; PEDROSA-SOARES, A. C. Idade U-Th-Pb de monazitas do sillimanita-cordierita-granada-biotita gnaiss de Itapeçerica (MG) e a atuação da orogenia riaciano-orosiriana no interior do craton São Francisco meridional. **Geociências**, São Paulo, v. 34, n. 3, p. 324-334, 2015.

CHAVES, A.; HEINECK, C.A.; TAVARES, W.P. **Projeto Fosfato de Cedro do Abaeté**. [S.l.]: CPRM, 1971. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/6537> . Acesso em: 22 jun. 2022.

CHAVES, M. L. de S. C.; ANDRADE, K. W. **Geologia e recursos minerais da folha Bocaiúva SE.23- X-C-III, estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CPRM, 2012.

CHAVES, M. L.; UHLEIN, A. Dados preliminares sobre a geologia do Distrito Aurífero de Diamantina, MG. In: SIMPOSIO GEOLOGIA MINAS GERAIS, 3., 1985, Belo Horizonte. **Boletim**. Belo Horizonte: SBG, 1985. p. 264-275.

CHIARINI, A. P.; SCHORSCHER, J. H. D. Supergrupo Piumhi. In: SIMPOSIO GEOLOGIA DO SUDESTE, 7., 2001, Rio de Janeiro. **Boletim de Resumos**. Rio de Janeiro: SBG-RJ/ES, 2001. p. 2.

CHIODI FILHO, C. **Aspectos de interesse para o setor de rochas ornamentais no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: COMIG, 2000. 44 p. Relatório inédito.

CHIODI FILHO, C.; CHIODI, D. K. **Plano de Ação para Sustentabilidade do Setor de Rochas Ornamentais. Ardósia em Papagaios**. Belo Horizonte: FEAM, 2014. 3 v. Disponível em: <http://www.feam.br/noticias/1/1289-plano-de-acao-para-sustentabilidade-do-setor-de-rochas-ornamentais--ardosia> . Acesso em: 18 abr. 2021.

CHIODI FILHO, C.; CHIODI, D. K.; CINTRA JÚNIOR, A.; ARAÚJO, J. F. de. **Projeto para montagem de central de beneficiamento de rochas ornamentais na cidade de Governador Valadares, MG**. Belo Horizonte: CODEMIG, 2016. 117 p. Relatório inédito.

CHIODI FILHO, C.; RIBEIRO, H. M. **Estudo da Competitividade Brasileira do Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimento. Avaliação da Competitividade do Setor de**

Rochas no Estado de Minas Gerais. Brasília: ABIROCHAS, 2018. 50 p. Disponível em: www.abirochas.com.br . Acesso em: 18 abr. 2021.

CODMIG - COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS. **Principais indicadores**. Belo Horizonte, 2016. Apresentação do Balanço de Gestão Codemig, 2016. Disponível em: <http://www.codemig.com.br/wp-content/uploads/2016/12/codemig-encerramento2016.pdf> . Acesso em: 8 jul. 2022.

COELHO, I. S. Origem dos minérios de manganês de Minas Gerais. In: SICEG - SEMANA DE ESTUDOS GEOLÓGICOS E ECONÔMICOS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, 1961, Ouro Preto. **Boletim 1**. Ouro Preto, 1961. p. 208, 1961.

COMIG - COMPANHIA MINERADORA DE MINAS GERAIS. **Diagnosis of the Dimension Stones Sector of Minas Gerais State**. Belo Horizonte: COMIG, 1998. 74 p. Relatório inédito.

COMIG - COMPANHIA MINERADORA DE MINAS GERAIS. **Projeto Leste: Província Pegmatítica Oriental, Mapeamento geológico e cadastramento de recursos minerais**. Belo Horizonte: CPRM : COMIG, 2001. CD-ROM.

COMIG - COMPANHIA MINERADORA DE MINAS GERAIS. **Projeto SIGIM Rochas Ornamentais, Cia. Mineradora de Minas Gerais**. COMIG, 1999. 76 p. Não-publicado.

CORNEJO, C.; BARTORELLI, A. **Minerais e pedras preciosas do Brasil**. São Paulo: Solaris Edições Culturais, 2014. 712 p.

CORREIA-NEVES, J. M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; MARCIANO, V. R. P. R. O. A Província Pegmatítica Oriental do Brasil à LUZ dos conhecimentos atuais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 16, n. 1, p. 106-118, 1996.

COSTA, F. G.; OLIVEIRA, F. A. **O 'verdete' – rocha potássica na região de Cedro do Abaeté**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 24., 1970, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: SBG, 1970. p. 115-116.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Projeto Rio das Velhas**. Texto explicativo. Mapa Geológico Integrado, escala 1:100.000. Belo Horizonte: DNPM : CPRM, 1996. 122 p.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Análise de Água**. Brasília, 2018. Site Rede Lamin. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Laboratorios-de-Analises-Minerais--Rede-LAMIN/Analise-de-Agua-3503.html> . Acesso em: 8 jul. 2018.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Projeto Catalão**. Belo Horizonte: CPRM, 1977. 30, [102] p. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/7529> . Acesso em: 8 jul. 2022.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Projeto Fosfato de Patos de Minas: relatórios finais de pesquisa própria**. Belo Horizonte: CPRM, 1976. 10 v. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/9555> . Acesso em: 14 jul. 2022.

- CROCCO, F. A.; ABREU, F. R.; TEIXEIRA, N.; CANÇADO, F. L. L.; MACIEL, J. D.; SENA, F.; RAMOS, M. M. Mineralizações de zinco e chumbo do depósito Salobro, Porteirinha (MG). **Geociências**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 359-378, 2006.
- CROCCO, F. A.; GUIMARÃES, M. L. V.; ABREU, F. R. de; BELO DE OLIVEIRA, O. A.; GRECO, F. M. Evolução tectônica do Bloco Itacambira-Monte Azul entre Barroco e Porteirinha (MG). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 4., 1993, Belo Horizonte. **Resumos [...]**. Belo Horizonte: SBG, 1993, p. 212-216.
- DACONTI, B. C. **Contexto geológico, controle e correlação regional das mineralizações de grafita da região de Almenara, Província Gráfica do Nordeste de Minas Gerais**. 2004. Dissertação (Mestrado) – IGC, UFMG, 2004.
- DARDENNE, M. A. Geologia do chumbo e zinco. In: SCHOBENHAUS, C.; COELHO, C. E. S. (coord.) **Principais depósitos minerais do Brasil**: Metais básicos não-ferrosos, ouro e alumínio. Brasília, DNPM : CVRD, 1988. v. 3, p. 84-90.
- DARDENNE, M. A. **Les mineralizations de plomb, zinc, fluor du proterozoique superieur dans le Brésil central. Avec une mise au point sur la chronologie de pré-cambrien brésilien**. 1979. 251 f. Tese (Doutorado) – Universidade de Paris VI, Paris, 1979.
- DARDENNE, M. A. Os grupos Paranoá e Bambuí na faixa dobrada Brasília. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS, 1981, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: CPM : SBG, 1981. p. 140-157.
- DARDENNE, M. A.; FREITAS-SILVA, F. H.; NOGUEIRA, G. M. S.; SOUZA, J. C. F. Depósitos de fosfato de Rocinha e Lagamar, Minas Gerais. In: SCHOBENHAUS, C.; QUEIROZ, E. T. de; COELHO, C. E. S. (ed.). **Principais Depósitos Minerais do Brasil**. Brasília: DNPM : CPRM, 1997. v. 4C, p.113-122.
- DARDENNE, M. A.; FREITAS-SILVA, F. H.; SOUZA, J. C. F.; CAMPOS, J. E. G. Evolução tectono-sedimentar do Grupo Vazante no contexto da Faixa de Dobramentos Brasília. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40., 1998, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SBG, 1998.
- DARDENNE, M. A.; SCHOBENHAUS, C. Depósitos minerais no tempo geológico e épocas metalogenéticas. In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.; GOLÇALVES, J. H. (ed.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. Brasília: CPRM, 2003. p. 365-448.
- DARDENNE, M. A.; SCHOBENHAUS, C. **Metalogênese do Brasil**. Brasília: CPRM : UnB, 2001. 392 p.
- DARDENNE, M. A.; SCHOBENHAUS, C. The metalogenesis of the South American Platform. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAS FILHO, A.; CAMPOS, D. A. (org). **Tectonic Evolution of South America**. Rio de Janeiro: 31st International Geological Congress, 2000. p. 755-850.
- DARDENNE, M. A.; TROMPETTE, R.; MAGALHÃES, L. F.; SOARES, L. A. Proterozoic and Cambrian phosphorites – regional review: Brazil. In: COOK, P. J.; SHERGOLD, J. H. (ed.). **Phosphate Deposits of the World**: v. 1 - Proterozoic and Cambrian Phosphorites. Cambridge: Cambridge University Press, 1986. v. 1, p. 116-131.
- DAVID, M. E. V. **Composição isotópica de Pb, Sr e Nd da mineralização de ouro do depósito Córrego do Sítio, Quadrilátero Ferrífero (MG)**: implicações na modelagem conceitual. 2006. 76 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- DELANEY, P. J. V. **Gemstones of Brazil, Geology and Occurrences**. Ouro Preto: REM, 1996. 123 p.
- DELGADO, I. M.; PEDREIRA, A. J. **Mapa Tectono-Geológico do Brasil**. Brasília: CPRM, 1995.
- DESCHAMPS, E.; MAIA JUNIOR, B.; COSTA, C. S.; SANTOS, M. G. V.; DAMASCENO, M. A. P.; PINTO, C. L. L.; CARVALHO FILHO, C. A.; KELLER, W. S.; FARIA, S. M. **Controle Ambiental na Mineração de Quartzito Pedra São Thomé**. Belo Horizonte: Segrac, 2002. 204 p. (Projeto Minas Ambiente).
- DINIZ, L. G. **O Flúor nas águas subterrâneas do Estado de Minas Gerais**. 2006. 205 f. Dissertação (Mestrado) – IGC/ UFMG, Belo Horizonte, 2006.
- DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Principais depósitos minerais do Brasil**. Brasília: Companhia Vale do Rio Doce : DNPM, 1985.
- DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Anuário Mineral Brasileiro = Brazilian Mineral Yearbook**. Brasília: MME, 2009. 863 p.
- DORR II, J. V. N. Nature and origin of the high-grade hematite ores of Minas Gerais, Brazil. **Econ. Geology**, v. 60, n. 1, p. 1-46, 1965.
- DORR II, J. V. N. **Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil**. Washington: United States Government Printing Office, 1969. 110 p. (Geological Survey Professional Paper 641-A).
- DORR II, J. V. N. Supergene iron ores of Minas Gerais, Brazil. **Econ. Geology**, v. 59, n. 7, p. 1203-1240, 1964.
- DORR II, J. V. N.; COELHO, I. S.; HOREN, A. The manganese deposits of Minas Gerais, Brazil. In: INTERN. GEOL. CONGRESS, 20., 1956, Mexico City; SYMPOSIUM SOBRE YACIMIENTOS DE MANGANESO, 1956, Mexico City. **Anais [...]**. Mexico City, 1956. v. 3, p. 279-346.
- DOSSIN, I. A.; DOSSIN, T. M.; CHARVET, J.; COCHERIE, A.; ROSSI, P. Single-zircon dating by step-wise Pb-Evaporation of middle proterozoic magmatism in the Espinhaço range, Southeastern São Francisco Craton (Minas Gerais, Brazil) In: SYMPOSIUM ON SAO FRANCISCO CRATON: TECTONIC AND METALLOGENETIC EVOLUTION FROM SAO FRANCISCO CRATON, 2., 1993, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: SBG, 1993.
- DRUMOND, J. B. V. **Projeto Jequitinhonha: Geologia e recursos minerais da Folha Almenara, escala 1:100.000**. Belo Horizonte: CPRM, 2010. CD-ROM.
- DRUMOND, J. B. V. **Projeto mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais. Folha SF.23-V-D, Varginha, Escala 1:250.000**. Belo Horizonte: DNPM : CPRM, 1982. v. 1, 42 p.

- DUCHINI JR., J.; CAMPOS, W. F.; GOLÇALVES, F. D.; ANDRADE, P. J. M. B.; TAKAI, V.; SCARPELLI, W. A mina de ouro de Juca VIEIRA, Caeté, Minas Gerais. *In: SIMPÓSIO INTERNAL DE MINERAÇÃO*, 1990, Nova Lima. **Anais [...]**. Nova Lima: Grupo AMSA, 1990. p. 360-364.
- DUSSIN, I. A. **Geologia, Gênese e Controle dos Depósitos de Manganês Associados ao Grupo Macaúbas na Borda Ocidental da Serra do Cipó – MG**. 1983. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1983.
- EBERT, H. A estrutura pré-cambriana do sudoeste de Minas Gerais e áreas adjacentes. **Boletim Paranaense Geociências**, Curitiba, v. 26, p. 42-44, 1967.
- EBERT, H. **O Grupo Eleutério e a Falha de Jacutinga (nordeste de São Paulo)**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974. (Boletim Especial). p. 726-730.
- EBERT, H. Ocorrência de fácies granulítica no sul de Minas Gerais e em áreas adjacentes, em dependência da estrutura orogênica: hipóteses sobre sua origem. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 40, p. 215-229, 1968.
- EBERT, H. **Os Paraibídes entre São João Del Rey, Minas Gerais e Itapira, São Paulo e a bifurcação entre Paraibídes e Araxáides**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1971. (Boletim Especial). p. 177-178.
- EBERT, H. Seção de Petrografia. *In: BRASIL. Divisão de Geologia e Mineralogia, Relatório Anual do Diretor*. Rio de Janeiro: DNPM : DGM, 1956. p. 97-107.
- EBERT, H.; GUEDES, S. V.; GOMES, F. A. **Levantamento geológico – geofísico da região de São João del Rei, Estado de Minas gerais, Brasil**. Rio de Janeiro: PROSPEC, 1958. 144 p.
- ERICHSEN, A. I. **Geologia da folha São João del Rei, Estado de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: DNPM : DFPM, 1929. (Boletim, n.36). 26 p.
- ESCHWEGE, W. L. von. **Pluto Brasiliensis**. Belo Horizonte: Ed. Itatiaia; São Paulo: Edusp, 1979.
- ESPER, J. A. da M. M. **Caracterização mineralógica de espongilito da região de João Pinheiro, MG**. 2001. 116 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte, 2001.
- ESRI; HERE; GARMIN; INTERMAP; INCREMENT P CORP.; GEBCO; USGS; FAO; NPS; NRCAN; GEOBASE; IGN; KADASTER NL; ORDNANCE SURVEY; ESRI JAPAN; METI; ESRI CHINA (Hong Kong). **OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community**. World Topographic Map, s. d. Mapa Topográfico Mundial. Escala não fornecida. Disponível em: http://server.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Topo_Map/MapServer . Acesso em 04 maio 2022.
- FABRÍCIO-SILVA, W. **Evolução tectono-metamórfica aplicada aos processos responsáveis pela mineralização no depósito de ouro Turmalina, Quadrilátero Ferrífero, Brasil: geologia, análise estrutural e isótopos de enxofre**. 2016. 113 f. Dissertação (Mestrado) – UFMG, Belo Horizonte, 2016.
- FABRÍCIO-SILVA, W.; FRIMMEL, H. E.; SCHUTESKY, M. E.; ROSIÈRE, C. A.; MASSUCATTO, A. Temperature-Controlled Ore Evolution in Orogenic Gold Systems Related to Synchronous Granitic Magmatism: An Example from The Iron Quadrangle Province, Brazil. **Economic Geology**, v. 116, n. 4, p. 937–962, 2021.
- FABRÍCIO-SILVA, W.; ROSIÈRE, C. A.; BÜHN, B. The shear zone-related gold mineralization at the Turmalina deposit, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: Structural evolution and the two stages of mineralization. **Mineralium Deposita**, v. 54, p. 347–368, 2019.
- FARIA, L. F. **Controle e tipologia de mineralizações de grafita flake do nordeste de Minas Gerais e sul da Bahia: uma abordagem regional**. 1997. Dissertação (Mestrado) – IGC, UFMG, 1997.
- FEAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Gestão de Passivos Ambientais na Mineração. Plano de Ação para Sustentabilidade do Setor de Rochas Ornamentais**. Ardósia Papagaios. Belo Horizonte: FEAM, 2010. 83 p. Disponível em: www.feam.br . Acesso em: 18 abr. 2021.
- FEAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Plano de Ação para Sustentabilidade do Setor de Rochas Ornamentais: Quartzito São Thomé das Letras**. Belo Horizonte: FEAM, 2009. 143 p. Disponível em: www.feam.br . Acesso em: 18 abr. 2021.
- FELICÍSSIMO JUNIOR, J. Gondito no Estado de São Paulo. **Boletim IGG**, São Paulo, n. 25, Parte II, p. 91–127, 1939.
- FERREIRA, C. M. Topázio de Ouro Preto, Minas Gerais. *In: SCHOBENHAUS, C.; QUEIROZ, E. T. de; COELHO, C. E. S. Principais depósitos minerais do Brasil: Gemas e Rochas Ornamentais*. Brasília: DNPM : CPRM, 1991. p. 303-308.
- FERREIRA, C. M. Vulcanismo ácido no Quadrilátero Ferrífero e sua relação com algumas ocorrências e/ou depósitos minerais. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS*, 2., 1983, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SBG, 1983. v. 3, p. 128-133
- FERREIRA-SILVA, L. C. **Depósito Pilar: Contexto Geológico, alteração hidrotermal e mineralização aurífera**. 2007. 123 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.
- FLEET, M. E.; ALMEIDA, C. M.; ANGELI, N. Botryoidal platinum, palladium and potarite from the Bom Sucesso stream, Minas Gerais, Brazil: compositional zoning and origin. **Canadian Mineralogist**, v. 40, p. 341-355, 2002.
- FOGAÇA, A. C. C.; ALMEIDA-ABREU, P. A. Depósitos de planícies de marés na Formação Sopa Brumadinho (Proterozoico Inferior) Cordilheira do Espinhaço, Estado de Minas Gerais, Brasil. *In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE GEOLOGIA*, 5., 1982, Buenos Aires. **Actas [...]**. Buenos Aires, 1982. v. 2, p. 373-388.
- FONSECA, E. **Depósito aurífero de Riacho dos Machados, Minas Gerais: hidrotermalismo, deformação e mineralizações associadas**. 1993. 178 f. Dissertação (Mestrado) – IGC, UFMG, 1993.

- FONSECA, E.; GUIMARÃES, P. J.; LEAL, E. D.; SILVA, H. M. The Ouro Fino gold deposit, Minas Gerais, Brazil. *In*: LADEIRA, E. A. (ed.): BRAZIL GOLD'91, 1991, Belo Horizonte. **Proceedings [...]**. Rotterdam: A. A. Balkema, 1991. p. 499-505.
- FONSECA, E.; LOBATO, L. M. Depósito aurífero em zona de cisalhamento na borda leste do Cráton do São Francisco: Riacho dos Machados, Minas Gerais. *In*: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS, 1., 1993, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: SBG, 1993. p. 331-333.
- FONSECA, S. F. da; SILVA, A. C.; SENNA, J. A. de. Identificação de usos da Terra no entorno de turfeiras em Datas, Minas Gerais. **Geografia, Ensino & Pesquisa**, v. 22, e10, p. 01-11, 2018.
- FORLIN, R. **Mapeamento geológico de detalhe**: Bico de Pedra. Belo Horizonte: Rio Doce Geologia e Mineração, 1974. 50 p.
- FORMAN, J. M. A. **Quadro de reservas geológicas de urânio em toneladas métricas de U3O8 em julho de 1982**. Rio de Janeiro, 1982. Relatório Interno da Nuclebrás.
- FRANCESCONI, R. **Pegmatitos da região de São João del Rey, MG**. 1972. 170 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1972.
- FREITAS-SILVA, F. H. **Enquadramento lito-estratigráfico e estrutural do depósito de Morro do Ouro, Paracatu, MG**. 1991. 151 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 1991.
- FREITAS-SILVA, F. H. **Metalogênese do depósito do Morro do Ouro, Paracatu, MG**. 1996. Tese (Doutorado) – UnB, Brasília, 1996.
- FRITZSON JR., O.; NASSIF, M. A. A distribuição areal das rochas do Membro Campo SAMPAIO entre os municípios de Presidente Kubitschek e Bom Jesus do Amparo, Espinhaço Meridional. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 45, n.1/2, p. 105-108, 1992.
- FRITZSON JR., O.; BIONDI, J. C.; CHABAN, N. Geologia da região de Piumhi (MG). *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., 1980, Camboriú. **Anais [...]**. Camboriú: SBG, 1980. v. 5, p. 2905-2917.
- FRITZSON JR., O.; NASSIF, M. A.; SILVA, A. C. **Relatório de situação dos trabalhos de pesquisa mineral para fosfato. Conceição do Mato Dentro**. Belo Horizonte: COMIG, 1990. 122 p. Relatório Interno.
- FRIZZO, C.; TAKAI, V.; SCARPELLI, W. **Auriferous mineralization at Pitangui, Minas Gerais**. *In*: LADEIRA, E. A. (ed.): BRAZIL GOLD'91, 1991, Belo Horizonte. **Proceedings [...]**. Rotterdam: A. A. Balkema, 1991. p. 579-583.
- FULGÊNCIO, R. A. M.; NAVARRO, F. C. Resíduos de quartzito São Thomé das Letras podem ser transformados em produtos? *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, 27., 2017, Belém. **Anais [...]**. Belém, 2017.
- GALBIATTI, H. F.; FONSECA, M. A.; PEREIRA, M. C.; POLÔNIA, J. C. Structural control of Au–Pd mineralization (Jacutinga): An example from the Cauê Mine, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. **Ore Geology Reviews**, v. 32, p. 614-628, 2007.
- GANDINI, A. L. **Mineralogia, inclusões fluidas e aspectos genéticos do topázio imperial da região de Ouro Preto, Minas Gerais**. 1994. 212 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.
- GARAYP, E.; MINTER, W. E. L.; RINGER, F. E.; SIEGERS, A. Moeda Placer gold deposits in the Ouro Fino Syncline, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *In*: LADEIRA, E. A. (ed.): BRAZIL GOLD'91, 1991, Belo Horizonte. **Proceedings [...]**. Rotterdam: A. A. Balkema, 1991. p. 601-610.
- GEOSOL – GEOLOGIA E SONDAGENS. **Síntese da geologia e recursos minerais do Complexo de Serra Negra, Patrocínio – MG**. Belo Horizonte: Geosol, 1970. Inédito.
- GIBSON, S. A.; THOMPSON, R. N.; LEONARDOS, O. H.; DICKIN, A. P.; MITCHELL, J. G. The Late Cretaceous impact of the TRINDADE mantle plume: evidence from large-volume, mafic, potassic magmatism in SE Brazil. **Journal of Petrology**, v. 36, n. 1, p. 189-229, 1995.
- GOLDSMITH, R.; FORCE, E. R. Distribution of rutile in metamorphic rocks and implications for placer deposits. **Mineralium Deposita**, v. 13, p. 329-343, 1978.
- GORCEIX, H. Grafita do Emparedado. *In*: MORAES, L. J. **Geologia Econômica do Norte de Minas Gerais, 1880**. Rio de Janeiro: DNPM : DFPM, 1936. (Boletim, 19).
- GROSSI-SAD, J. H.; CHIODI FILHO, C.; CHIODI, D. K. A província de ardósia de Minas Gerais. *In*: PINTO, C. P.; MARTINS-NETO, M. A. (ed.). **Bacia do São Francisco, Geologia e recursos naturais**. Belo Horizonte: SBG-MG, 2001. p. 235-244.
- GROSSI-SAD, J. H.; CHIODI FILHO, C.; CHIODI, D. K. **Panorama do setor de ardósias do Estado de Minas Gerais, Brasil**. Belo Horizonte: COMIG, 1998. v. 2. CD-ROM.
- GROSSI-SAD, J. H.; LOBATO, L. M. Petrology of the Proterozoic host rocks, Andrelândia Group, of the gold mineralization of São Gonçalo do Sapucaí, Minas Gerais, BRAZIL. *In*: LADEIRA, E. A. (ed.): BRAZIL GOLD'91, 1991, Belo Horizonte. **Proceedings [...]**. Rotterdam: A. A. Balkema, 1991. p. 427-429.
- GROSSI-SAD, J. H.; MOURÃO, M. A. A.; GUIMARÃES, M. L. V.; KNAUER, L. G. Geologia da Folha Conceição do Mato Dentro. *In*: GROSSI-SAD, J. H.; LOBATO, L. M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; SOARES-FILHO, B. S. (coord.). **Projeto Espinhaço**. Belo Horizonte: COMIG, 1997. p. 2533-2693. CD-ROM.
- GROSSI-SAD, J. H.; PINTO, C. P.; DUARTE, C. L. **Geologia do distrito manganífero de Conselheiro Lafaiete, MG**. *In*: SIMPÓSIO GEOLOGIA, 2., 1983, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SBG, 1983. Bol. 3, p. 259-270.
- GROSSI-SAD, J. H.; PINTO, C. P.; DUARTE, C. L. **Geologia do Pré-Cambriano do distrito de Lafaiete, MG**. Cia. Meridional de Mineração : U.S.Steel, 1975. Inédito.
- GROVES, D. I.; GOLDFARB, R. J.; GEBRE-MARIAM, M.; HAGEMANN, S. G.; ROBERT, F. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. **Ore Geology Reviews**, v. 13, p. 7-27, 1998.

- GUILD, P. W. **Geology and mineral resources of the Congonhas district, Minas Gerais, Brazil**. Washington: United States Government Printing Office, 1957. 90 p. (Geological Survey Professional Paper 290).
- GUIMARÃES, D. **Contribuição ao estudo da origem dos depósitos de minério de ferro e manganês do centro de Minas Gerais: Brasil**. Rio de Janeiro: SFP, 1935. 70 p. (Boletim, 8).
- GUIMARÃES, D. **Fundamentos da metalogênese e os depósitos minerais do Brasil**. Rio de Janeiro: DFPM : DNPM, 1961. 441 p. (Boletim, 109).
- GUIMARÃES, D. **Jazida de minério de ouro-cupro-antimonífero de Bico de Pedra, Rodrigo SILVA, Município de Ouro Preto**. Rio de Janeiro: DNPM : DFPM, 1944. 27 p.
- GUIMARÃES, D. **Jazida de minério sulfurado do Morro do Bule, Hargreaves(*), Ouro Preto**. Belo Horizonte: SGG, 1934. 26 p. (Boletim, 2).
- GUIMARÃES, D. **Jazida de Ouro de Cuieté**. Rio de Janeiro: DNPM : SGM, 1925. (Boletim, 2). p. 1-127.
- GUIMARÃES, D. **Notas à margem de “O paládio e a platina no Brasil”, de E. HUSSAK**. Rio de Janeiro: DNPM : DFPM, 1959. (Boletim, 106). p. 81-98.
- GUIMARÃES, D. **Prospecção da jazida zinco-antimonífera do Morro do Bule, em Ouro Preto, Minas Gerais. Mineração e Metalurgia**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 61, p. 59-60, 1946.
- GUIMARÃES, D.; COELHO, I. **Nota preliminar sobre as jazidas de minerais tungstênicos, em Sumidouro, Mariana – Minas Gerais**. Rio de Janeiro: DNPM : DFPM, 1944. (Avulso, 60).
- GUIMARÃES, D.; COELHO, I. S. O cinábrio de Dom Bosco, Minas Gerais. **Mineração e Metalurgia**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 63, p. 161-166, 1963.
- GUIMARÃES, F. R. **Uso de imagem do satélite landsat TM5 e de sistema de informações geográficas no estudo geológico da Província Gráfica Minas-Bahia – setor noroeste**. 2000. Dissertação (Mestrado) – IGC, UFMG, 2000.
- GUIMARÃES, M. L. Y.; CROCCO-RODRIGUES, E. A.; ABREU, F. R. de; OLIVEIRA, O. A. B. de; GRECO, F. M. **Geologia do Bloco Itacambira-Monte Azul entre Barroco e Porteirinha (MG)**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 7., 1993, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SBG, 1993. p. 74-78.
- GUIMARÃES, P. V. **Contexto Geológico – Geotectônico da Faixa Manganésifera localizada entre Itaperuna (RJ) e Volta Grande (MG)**. 2011. 111 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia, Rio de Janeiro, 2011.
- HAGEMANN S. G.; CASSIDY K. F. Archean Orogenic Lode Gold Deposits. **Reviews in Economic Geology**, v. 13, p. 9-68, 2000.
- HEINECK, C. A. **Geologia e mineralizações do Greenstone belt Rio das Velhas na região de Mateus Leme, Minas Gerais**. 1997. Dissertação (Mestrado) – IGC, UFMG, 1997.
- HEINECK, C. A. Recursos Minerais. In: VIANA, H. S. **Carta geológica, carta metalogenética/previsional**: Barbacena, Folha SF.23-X-C-III, escala 1:100.000. Belo Horizonte: DNPM : CPRM, 1991. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil).
- HEINECK, C. A.; PINTO, C. P.; MALOUF, R. F.; JUNQUEIRA, P. A. **Geologia Econômica**. In: PERILLO, I. A.; HEINECK, C. A. (org.). **Folha Divinópolis SF.23-X-A**. Escala 1:250.000. Belo Horizonte: CPRM, 2000. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil).
- HEINECK, C. A.; ROPOSO, F. O.; MALUF, R. F.; JARDIM, S. V. **Projeto Jequitinhonha, Mapa geológico da folha Comercinho, estado de Minas Gerais, Folha SE.24-V-A-I, escala 1:100.000**. Belo Horizonte: CPRM, 2008.
- HEINECK, C. A.; VIEIRA, V. S.; SILVA, M. A.; LEITE, C. A. (comp.). **Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, Escala 1:1.000.000**. Belo Horizonte: COMIG : CPRM, 2003. CD-ROM. Edição especial.
- HENWOOD, W. J. **Observations on metalliferous deposits: on the gold mines of Minas Gerais in Brazil**. Cornwall: Royal Geol. Soc., 1871. v. 8, pt. 1, p. 168-370, 1871.
- HETTICH, M. A glaciação proterozoica no centro-norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 7, n. 2, p. 87-101, 1977.
- HILL, J. V.; TOMASELLI, B. Y. **Technical Report on Turmalina Mine Complex, Minas Gerais, Brasil**: NI 43-101. Jaguar Mining Inc., 2020. 182 p. Relatório Técnico.
- HUSSAK, E. Nota sobre o atopito das minas de manganês de Miguel Burnier. **An. da EMOP**, n. 9, p. 125-132, 1907.
- HUSSAK, E. Über das vorkommen von palladium und platinin Brasilien. Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften. Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, 1905. v. 113, p. 379-466.
- IAMGOLD CORPORATION. Iamgold Provides exploration update on its wholly-owned Pitangui project, Brazil. **Iamgold Corporation**, 23 jun. 2014. Disponível em: www.iamgold.com. Acesso em: 8 jun. 2015.
- IAMGOLD CORPORATION. Iamgold Reports 2020 Attributable P&P Reserves of 13.9 Million Ounces and Attributable M&I Resources of 23.9 Million Ounces. **Iamgold Corporation**, 17 fev. 2020. Disponível em: www.iamgold.com. Acesso em: 13 maio
- IEL – INSTITUTO EUVALDO LODI. **Detalhamento de APLs de Base Mineral: Ardósia, Papagaio/MG**. Belo Horizonte: MCT : EL-MG, 2006a. CD-ROM.
- IEL – INSTITUTO EUVALDO LODI. **Detalhamento de APLs de Base Mineral: Quartzito, São Thomé das Letras/MG**. Belo Horizonte: MCT: IEL-MG, 2006b. CD-ROM.
- IEL – INSTITUTO EUVALDO LODI. **Diagnóstico da Indústria de Ardósia de Papagaios e Região**. Belo Horizonte: FIEMG : IEL-MG : SINROCHAS-MG, 2004. 64 p.

- IEL – INSTITUTO EUVALDO LODI. **Projeto Rochas de Minas:** Estudo da Competitividade do Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimento do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: FIEMG : IEL-MG : SINROCHAS-MG, 2003. 97 p.
- IM – INSTITUTO METAS. **Identificação, Caracterização e Classificação de Arranjos Produtivos de Base Mineral e Demanda Mineral Significativa no Brasil.** Belo Horizonte: MCT : CGEE : CNPq : FIEMG, 2002. CD-ROM.
- ISSA FILHO, A.; LIMA P. R. A. S.; SOUZA, O. M. de. Asp ctos da geologia do complexo carbonatítico do Barreiro, Araxá, Minas Gerais, Brasil. *In: Complexos Carbonatíticos do Brasil: Geologia.* Brasília: CBMM 1984.
- ISSA FILHO, A.; RIFFEL, B. F.; SOUZA, C. A. F. Some aspects of the mineralogy of CBMM niobium deposit and mining and pyrochlore ore processing, Araxá, MG, Brazil. *In: INTERN. SYMP. NIOBIUM*, 2001, Orlando. **Proceedings [...]**. Orlando: Patherson, 2001.
- ISSA FILHO, A.; MOURA, O. J. M. de; FANTON, J. J. **Reconhecimento de jazimentos da Província Oriental Brasileira, entre Aimorés e Itambacuri, MG.** Belo Horizonte: Metamig, 1979. 23 p. Relat tio inédito.
- IYER, S. S. A discussion on the lead isotope geochemistry of galenas from the Bambuí Group, Minas Gerais, Brazil. **Mineralium Deposita**, v. 19, p. 132–137, 1984.
- IYER, S. S.; HOEFS, J.; KROUSE, H. R. Sulfur and lead isotope geochemistry of galenas from the Bambuí Group, Minas Gerais, Brazil: implications for ore genesis. **Economic Geology**, v. 87, p. 437–443, 1992.
- JAVARONI, J. H.; MACIEL, A. C. Prospecção e pesquisa de urânio no Brasil: Atuação da Nuclebrás (1975-1984). *In: SCHOBENHAUS, C. (coord.). Principais depósitos minerais do Brasil: Volume 1: Recursos Energéticos.* Brasília: DNPM, 1985. p. 81-87.
- JORDT-EVANGELISTA, H.; LANA, C.; DELGADO, C. E. R.; VIANA, D. J. Idade da mineralização de esmeralda do distrito de Itabira - Nova Era, Minas Gerais, Brasil, com base na geocronologia LA-ICP-MS de titanita cogen tica. **Revista Brasileira de Geologia**, v. 46, n. 3, p. 427-437, July/Sept. 2016.
- JORDT-EVANGELISTA, H.; ROESER, H.; CARMO, V. E. F. do. Sobre o manganês do distrito de Saúde e suas rochas encaixantes (Grupo Dom Silvério), Minas Gerais, **Rev. Esc. Minas, Ouro Preto**, v. 43, n 4, p. 36-43, 1990.
- JUNQUEIRA, P. A.; LADEIRA, E. A.; LOBATO, L. M. Contribuição à geologia da porção oriental e meridional de Volta Grande e da jazida de minério de manganês do Aquino, Minas Gerais. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NÚCLEO MINAS GERAIS*, 5.; SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NÚCLEO BRASÍLIA, 1., 1989, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SBG, 1989. p. 85-89, 1989.
- JUNQUEIRA, P. A.; LOBATO, L. M.; LADEIRA, E. A.; SIM ES, E. J. M. Structural control and hydrothermal alteration at the BIF-hosted ROPOSOs lode-gold deposit, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. **Ore Geology Reviews**, v. 32, p. 629-650, 2007.
- KOSYNKIN, V. D.; MOISEEV, S. D.; PETERSON, C. H.; NIKIPELEV, B. H. The commonwealth of independent states rare earths industry. **Elements**, v. 1, n. 1, p. 12-15, 1992.
- KWITKO-RIBEIRO, R. **Mineralogia, geoquímica e gênese das ocorrências auríferas no flanco norte do anticlinal de Mariana, Quadrilátero Ferrífero: Uma nova tipologia de minério denominada Bugre.** 1998. 115 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 1998.
- KWITKO-RIBEIRO, R.; CABRAL, A. R.; LEHMANN, B.; LAFLAMME, J. H. G.; CRIDDLE, A. J.; GALBIATTI, H. F. Hongshiite (PtCu) from itabirite-hosted Au-Pd-Pt mineralization (jacutinga), Itabira district, Minas Gerais, Brazil. **Canadian Mineralogist**, v. 40, p. 711-723, 2002.
- LA SERNA, H. A. de; REZENDE, M. M. Agregados para a construção civil. *In: Economia Mineral do Brasil.* Brasília: DNPM, 2009. p. 602-636.
- LADEIRA, E. A. Genesis of gold in Quadrilátero Ferrífero: A remarkable case of permanency, recycling and inheritance – A tribute to Djalma GUIMARÃES, Pierre Routhier and Hans Ramberg. *In: LADEIRA, E. A. (ed.): BRAZIL GOLD’91*, 1991, Belo Horizonte. **Proceedings [...]**. Rotterdam: A. A. Balkema, 1991. p. 11-30.
- LADEIRA, E. A. **Metalogenesis of gold at the Morro Velho mine and in Nova LIMA district, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil.** 1980. 272 f. Tese (Doutorado). – Univ. of Western Ontario, Canada, 1980.
- LADEIRA, E. A. Metalogenia dos depósitos de ouro do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *In: SCHOBENHAUS FILHO, C.; COELHO, C. E. S. (ed.). Principais depósitos minerais do Brasil: Metais básicos não-ferrosos, ouro e alumínio.* Brasília: DNPM : Vale, 1988. p. 301-375.
- LADEIRA, E. A. Primeiras lavas com almofadas (pillows) encontradas no Supergrupo Rio das Velhas, de idade Arqueana, no Quadrilátero Ferrífero e no Distrito de Pitangui, Minas Gerais. **Ciências da Terra**, n. 1, p. 12-14, 1981.
- LAGACHE, M.; QUÉMÉNEUR, J. J. G. The Volta Grande pegmatites, Minas Gerais, BRAZIL: an example of rare-element granitic pegmatite exceptionally enriched in lithium and rubidium. **Canadian Mineralogist**, v. 35, p. 153-165, 1997.
- LAPIDO-LOUREIRO, F. E. de V. **Terras raras no Brasil: Depósitos, recursos identificados, reservas.** Rio de Janeiro: MCT : CNPq : CETEM, 1994. (Estudos e Documentos, 21).
- LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; FIGUEIREDO, C. M. V.; TOREZAN, M. J. Os elementos de terras-raras nos complexos carbonatíticos brasileiros. *In: FORMOSO, M. L. L. (ed.). Geoquímica dos elementos terras-raras no Brasil.* Rio de Janeiro: CPRM : DNPM : SGBq, 1989. p. 47-59.
- LARIZZATTI, J. H.; MARQUES, E. D.; SILVEIRA, V. F. **Mapeamento geoquímico do Quadrilátero Ferrífero e seu entorno, Estado de Minas Gerais.** Rio de Janeiro: CPRM, 2014. 208 p. (Informes de Recursos Minerais. Série Metais, Informes gerais 2).

- LEMOS, M. G. **Caracterização geológica e tecnológica do minério de zinco do extremo norte da mina Vazante, Minas Gerais**. 2011. 202 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Unicamp, Campinas, 2011.
- LEONARDOS, O. H. Grafita no Estado de Minas Gerais. **Mineração e Metalurgia**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 11, p. 303-312, 1938.
- LEONARDOS, O. H. Tilito metamórfico de Carandaí, Minas Gerais. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 243-259, 1940.
- LIMA, J. E. S. **Ocorrências de águas quentes na serra do Espinhaço**. CPRM, 2001. 13 p. Relatório de viagem. Inédito.
- LIMA, S. A. A.; MARTINS-NETO, M. A.; PEDROSA-SOARES, A. C.; CORDANI, U. G.; NUTMAN, A. A. Formação Salinas na área tipo, NE de Minas Gerais: uma proposta de revisão da estratigrafia da Faixa Araçuai com base em evidências sedimentares, metamórficas e de idades U-Pb SHRIMP. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, n. 4, p. 491-500, 2002.
- LOBATO, L. M.; FERNANDES, R. C. **Archaean orogenic gold deposits of the Rio das Velhas Greenstone belt**. Belo Horizonte, 2009. XXVIII Curso Latinoamericano de Metalogenia UNESCO-SEG-SGA. Guia de Campo.
- LOBATO, L. M.; PEDROSA-SOARES, A. C. Síntese dos recursos minerais do cráton do São Francisco e faixas marginais em Minas Gerais. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 51-64, 1993.
- LOBATO, L. M.; RINGER, F. E.; SILVA, R. C. F.; ROSIÈRE, C. A.; BAARS, F. J.; ROLIM, V. K. Metalogênese do Setor Meridional do Cráton São Francisco. *In*: SILVA, M. da G. da; ROCHA NETO, M. B. da; JOST, H.; KUYUMJIAN, R. M. (org.). **Metalogênese das províncias tectônicas brasileiras**. Belo Horizonte: CPRM, 2014, p. 119-140.
- LOBATO, L. M.; RIBEIRO-RODRIGUES, L. C.; VIEIRA, F. W. R. Brazil's premier gold province. Part II: geology and genesis of gold deposits in the Archaean Rio das velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero. **Mineralium Deposita** v. 36, p. 249-277, 2001b.
- LOBATO, L. M.; RIBEIRO-RODRIGUES, L. C.; ZUCCHETTI, M.; BALTAZAR, O. F. **Geology and gold mineralization in the Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil**. Rio de Janeiro: 31st International Geological Congress, 2000. p. 40.
- LOBATO, L. M.; RIBEIRO-RODRIGUES, L. C.; ZUCCHETTI, M.; NOCE, C. M.; BALTAZAR, O. F.; SILVA, L. C. da; PINTO, C. P. Brazil's premier gold province. Part I: the tectonic, magmatic and structural setting of the Archaean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero. **Mineralium Deposita**, v. 36, p. 228-248, 2001a.
- LOBATO, L. M.; SANTOS, J. O. S.; MCNAUGHTON, N. J.; FLETCHER, I. R.; NOCE, C. M. U-Pb SHRIMP monazite ages of the giant Morro Velho and Cuiabá gold deposits, Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Ore Geology Reviews**, v. 32, p. 674-680, 2007.
- LOPES, O. F. **Minéralizations em plomb, zinc et fluorine encaissées dans le Groupe Bambuí, du proterozoïque supérieur de la région d'Itacarambi (Minas Gerais, Brésil)**. 1979. 190 f. Tese (Doutorado) – Univ. Pierre et Marie Curie (Paris VI), Paris, 1979.
- LORDÃO, R.; SILVEIRA, W. Estudos Geológicos em Itapanhoacanga. *In*: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 14.; SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 10., 2007, Diamantina. **Livro de Resumos**. Diamantina: SBG-MG, SP, RJ, 2007. p.127.
- LUZ, A. B.; ANDRADE, M. C.; GASPAR, O. M.; TOMEDI, P.; LARES, C. A. R. **Agalmatolito - Lage Minérios - LAMIL**. CT2002-169-00. CETEM, 2002. Comunicação Técnica elaborada para o Livro Usina de Beneficiamento de Minérios do Brasil.
- LYNCH, E. P.; COSTANZO, A.; FEELY, M.; BLAMEY, N. J. F.; PIRONON, J.; LAVIN, P. A mina de esmeralda de Piteiras, Minas Gerais, Brasil: inclusões fluidas e perspectivas gemológicas. **Mineralogical Magazine**, v. 78, p. 1571-1587, 2014.
- LYRIO, J. G. G.; LEAL, E. D. L.; OLIVEIRA, J. A. L. Pesquisa em Bico de Pedra – Ouro Preto, MG. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., 1976, Ouro Preto. **Resumos [...]**. Belo Horizonte: SBG, 1976. p. 279-280.
- MACHADO, I. C. **Technical Report Turmalina Gold Mining Complex: Faina, Pontal, and Body C Targets Statement of Resources**. Jaguar Mining Inc, 2011. 160 p. v. 1.
- MACHADO, I. C. **Technical Report Turmalina Gold Project: Sationoco Target Resources Statement**. Jaguar Mining Inc, 2008. 36 p.
- MAGALHÃES, C.; LATORRACA, F. Prospecção de ouro em Caeté, MG. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978, Recife. **Anais [...]**. Recife: SBG, 1978. v. 4, p. 1827-1833.
- MARANHÃO, C. M. L. **Os conglomerados uraníferos da Formação Moeda, Quadrilátero ferrífero, Minas Gerais, Brasil**. 1979. 102 f. Dissertação (Mestrado) – UnB, Brasília, 1979.
- MARCHETTO, C. M. L. Platinum-group minerals in the O'Toole (Ni-Cu-Co) Deposit, Brazil. **Economic Geology**, v. 85, p. 921-927, 1990.
- MARINHO, M. D. S.; SILVA, M. A. D.; LOMBELLO, J. C.; DI SALVIO, L. P. P.; SILVA, R. N.; FÉBOLI, W. L.; BRITO, D. C. **Mapa geológico integrado: área de relevante interesse mineral-ARIM**. Quadrilátero Ferrífero, subárea faixa Pará de Minas, Pitangui. Belo Horizonte: CPRM, 2018.
- MARSHAK, S.; ALKMIM, F. F. Proterozoic contraction/extension tectonics of southern São Francisco region, Minas Gerais, Brazil. **Tectonics**, v. 8, n. 3, p. 555-571, 1989.
- MARTINI, S. L. **Apanhado sobre os recursos minerais da Folha Varginha 1:250.000 e da Folha Furnas 1:250.000**. CPRM, 1994. Documento interno.
- MARTINS NETTO, J. P. G.; DINIZ, H. N.; JOROSKI, R.; OKAMOTO, F. S.; FRANÇA, V. C. de; TANAKA, S. E.; SILVA,

- V. H. A. da. A ocorrência de fluoreto na água de poços da região metropolitana de São Paulo e novas tecnologias para a sua remoção. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*, 13., 2004, Cuiabá. **Anais [...]**. Cuiabá: ABAS, 2004. CDROM.
- MARTINS, B. S.; LOBATO, L. M.; ROSIÈRE, C. A.; HAGEMANN, S. G.; SANTOS, J. O. S.; VILLANOVA, F. L.; FIGUEIREDO E SILVA, R. C.; LEMOS, L. H. The Archean BIF-hosted Lamego gold deposit, Rio das velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero: evidence for Cambrian structural modification of an Archean orogenic gold deposit. **Ore Geology Reviews**, n. 72, p. 963-988, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.08.025>.
- MARTINS, R. **Caracterização petrográfica e geoquímica mineral dos corpos de minério Fonte Grande Sul e Galinheiro, nível 11, mina de Cuiabá, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. 2000. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.
- MARTINS-NETO, M. A. Classificação de bacias sedimentares: uma revisão comentada. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, n. 1, p. 165-176, mar. 2006
- MASSUCATTO, A. J.; LIMA, L. C. Controle estrutural da mineralização de Córrego do Sítio, Quadrilátero Ferrífero. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS*, 14.; SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 10., 2007, Diamantina. **Livro de Resumos**. Diamantina: SBG-MG, SP, RJ, 2007. p. 122.
- MATOS, E. C.; PRADO, M. G.; FUZIKAWA, K.; ALVES, J. V.; RIOS, F. R. The Au-U **Gandarela Project**. Belo Horizonte, 2009. XXVIII Curso Latinoamericano de Metalogenia UNESCO-SEG-SGA.
- MATOS, G. M. M. de. **Evolução petrogenética da jazida de sulfetos auríferos, do tipo “stratabound”, de Bico de Pedra, Minas Gerais – Brasil**. 1991. Tese (Doutorado) – Mineralogisch-Petrographisches Institut der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Alemanha, 1991.
- MAUCHER, A. The strata-bound cinnabar-stibnite-scheelite deposits discussed with examples from the mediterranean region. *In: WOLF, K. H. Handbook of strata-bound and stratiform ore-deposits*. Amsterdam: Elsevier, 1976. v. 7, p. 477-503.
- MAXWELL, C.H. **Geology and ore deposits of the Alegria District, Minas Gerais, Brazil**. Washington: United States Government Printing Office, 1972. 72 p. (Geological Survey Professional Paper 290).
- MELLO, E. F.; CALAES, G. D. **A indústria de brita na região metropolitana do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: UFRJ : CONDET, 2006. 193 p.
- MELO, M. G. de. **A origem do fosfato nas rochas vulcânicas e vulcanoclásticas do Grupo Mata da Corda nas regiões de Patos de Minas e Presidente Olegário, MG**. 2012. 170 f. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.
- MELO, M. T. V. de. Depósitos de fosfato, titânio e nióbio de Tapira, Minas Gerais. *In: SCHOBENHAUS C.; QUEIROZ, E. T.; COELHO, C. E. S. (coord.). Principais Depósitos Minerais do Brasil - Rochas e Minerais Industriais*. Brasília: DNPM : CPRM, 1997. v. 4-C, p. 41-55.
- MIDDLETON, R. C. **Report on the Bico de Pedra Project**. Rio de Janeiro: DOCEGEO, 1975. 15 p. Inédito.
- MISI, A.; AZMY, K.; KAUFMAN, A. J.; OLIVEIRA, T. F.; SANCHES, A. L.; OLIVEIRA, G. D. Review of the geological and geochronological framework of the Vazante sequence, Minas Gerais, Brazil: Implications to metallogenic and phosphogenic models. **Ore Geology Reviews**, v. 63, p. 76-90, 2014.
- MÖLLER, J. C.; BATELOCHI, M.; AKITI, Y.; SHARRATT, M.; BORGES, A. L. Geologia e caracterização dos recursos minerais de Morro do Ouro, Paracatu, Minas Gerais. *In: PINTO, C. P.; MARTIN-NETO, M. A. (ed.). Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais*. Belo Horizonte: SBG-MG, 2001. p. 199-234.
- MONTEIRO, L. V. S. **Contribuição à gênese das mineralizações de Zn da Mina de Vazante, MG**. 1997. 159 f. Dissertação (Mestrado) – IGC, USP, São Paulo, 1997.
- MONTEIRO, L. V. S. **Modelamento metalogenético dos depósitos de zinco de Vazante, Fagundes e Ambrósia, associados ao Grupo Vazante, Minas Gerais**. 2002. Tese (Doutorado) – USP, São Paulo, 2002. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-08062013-111126/pt-br.php>. Acesso em: 28 jun. 2022.
- MONTEIRO, L. V. S.; BETTENCOURT, J. S.; GRAÇA, R. Contribuição à gênese das mineralizações de Zn-Pb de Vazante, MG: um estudo preliminar. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 39., 1996, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: SBG, 1996. v. 5, p. 501-503.
- MORAES, L. J. de. O Passado e o futuro da mineração em Ouro-Preto. *In: Geologia e Metalurgia*. São Paulo: USP, 1945. (Boletim, 1). p. 49-55.
- MORAES, L. J.; BARBOSA, O.; LISBOA, J. M. A.; LACOURT, F.; GUIMARÃES, D. **Geologia Econômica do Norte de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: DNPM : DFPM, 1937. 254 p. (Boletim, 19).
- MOSELEY, G. **The geology of the São Bento gold deposit. In: Workshop on gold related to greenstone belts and base metals associated with volcanogenic rocks. BRAZIL, Field trip guide book**. Belo Horizonte: IBRAM, 1986.
- MOURA, L. A. M. **Projeto Gandarela: Primeiro seminário sobre prospecção e pesquisa de urânio**. Belo Horizonte: Nuclebrás, 1979. 18 p.
- MOURÃO, M. A. A. **A unidade fosfática da Formação Sopa-Brumadinho, Supergrupo Espinhaço (região de Conceição do Mato Dentro, Minas Gerais): petrografia, geoquímica e considerações genéticas**. 1995. 124 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 1995.

- NAKAMURA, S.; REINHARDT, M. C.; MATTA, P. Minério argiloso, chuvas sazonais e topografia íngreme. **Minérios-Extração Process**, v. 161, p. 43-47, 1990.
- NALDRETT, A. J.; HOFFMAN, E. L.; GREEN, A. H.; CHEN-LIN, C.; NALDRETT, S. R. The composition of Ni-sulfide ores, with particular reference to their content of PGE and Au. **The Canadian Mineralogist**, v. 17, p. 403-415, 1979.
- NETTO, C.; ARAÚJO, M. C.; PINTO, C. P.; DRUMOND, J. B. Pegmatitos. In: PINTO, C. P. (coord). **Projeto Leste: Província Pegmatítica Oriental, Mapeamento geológico e cadastramento de recursos minerais**. Belo Horizonte: CPRM : COMIG, 2000. CD-ROM.
- NETTO, C.; ARAÚJO, M. C.; PINTO, C.P.; DRUMOND, J. B. **Projeto Leste: Cadastramento de Recursos Minerais - Pegmatitos**. Belo Horizonte: SEME : COMIG : MME : CPRM, 1998. v. 1, 210 p.
- NEVES, S. de C. **Caracterização geológica e geoquímica das ocorrências de fosfatos de alumínio e ferro no contato entre os supergrupos Rio Paraúna e Espinhaço, ao sul de Diamantina, Minas Gerais**. 1999. Dissertação (Mestrado) – IGC, UFMG, 1999.
- NOCE, C. M.; TASSINARI, C. G.; LOBATO, L. M. Geochronological framework of the Quadrilátero Ferrífero, with emphasis on the age of gold mineralization hosted in Archean greenstone belt. **Ore Geology Reviews**, v. 32, p. 500-510, 2007.
- NOGUEIRA, G. S. M. **Enquadramento litoestratigráfico, sedimentologia e evolução geoquímica do depósito fosfático de Lagamar, MG, Formação Vazante**. 1993. 165 f. Dissertação (Mestrado) – IGC, UnB, Brasília, 1993.
- NUCLEBRÁS. **Projeto Aerogeofísico Fumas**. Mapas Aerogamaespectrométrico, perfis dos canais Th e U, folhas Caxambu e Conceição do Rio Verde, escalas 1:100.000. Rio de Janeiro: NUCLEBRÁS, 1977.
- OLIVEIRA, E. C. **Aproveitamento industrial de resíduos da ardósia como insumo mineral na fabricação de cimento**. 2001. 187 f. Dissertação (Mestrado) – UFMG, Belo Horizonte, 2001.
- OLIVEIRA, E. G. de. A mina de manganês de Jacutinga, MG – Lavra e caracterização tecnológica do minério. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 6., 1987, Rio Claro. **Atas [...]**. Rio Claro: SBG, 1987. v. 2. p. 457-469.
- OLIVEIRA, F. P. Jazida de cinábrio das Três Cruzes, perto de Tripuhy. **Revista Industrial de Minas Geraes**, ano 1, n. 7, p. 159-161, 1894.
- OLIVEIRA, J. J. C.; RIBEIRO, J. H.; SOUSA, H. A. de. **Projeto Geoquímica do Quadrilátero Ferrífero: levantamento orientativo e regional**. Belo Horizonte: CPRM, 1979. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/7972> . Acesso em: 28 jun. 2022.
- OLIVEIRA, M. J. R.; FOGAÇA, A. C. C.; FONSECA, E. da. Geologia da Folha Baldim. In: GROSSI-SAD, J. H.; LOBATO, L. M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; SOARES-FILHO, B. S. (coord.). **Projeto Espinhaço**. BELO HORIZONTE, COMIG, 1997. P. 2437-2531. CD-ROM.
- OLIVEIRA, M. L. Ouro. In: RODRIGUES, A. F. da S.; FERRAZ, C. P. **Economia Mineral do Brasil**. Brasília: DNPM, 2009. p. 304-361.
- OLIVER, N. H. S.; THOMSON, B.; FREITAS-SILVA, F. H.; HOLCOMBE, R. J.; RUSK, B.; ALMEIDA, B. S.; FAURE, K.; DAVIDSON, G. R.; ESPER, E. L.; GUIMARÃES, P. J.; DARDENNE, M. A. Local and regional mass transfer during thrusting, veining and boudinage in the genesis of the giant shale-hosted Paracatu Gold Deposit, Minas Gerais, Brazil. **Economic Geology**, Lancaster, n. 110, p. 1803-1834, 2015.
- OLIVO, G. R.; GAMMONS, C. H. Palladium and gold mineralization during supergene alteration of the jacutinga ore in the Itabira district, Minas Gerais, Brazil. In: INT. GEOL. CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro. **Abstracts [...]**. Rio de Janeiro: 31 Int. Geol. Congress, 2000. CD-ROM.
- OLIVO, G. R.; GAUTHIER, M.; BARDOUX, M.; LEÃO DE SÁ, E.; FONSECA, J. T. F.; CARBONARI, F. Palladium-bearing gold deposits hosted by Proterozoic Lake Superior-Type iron-formation at the Cauê iron mine, Itabira District, Southern São Francisco Craton, Brazil: Geologic and Structural control. **Economic Geology**, v. 90, p. 118-134, 1995.
- OLIVO, G. R.; GAUTHIER, W.; WILLIAN-JONES, A. E.; LEVESQUE, M. The Au-Pd mineralization at the Conceição iron mine, Itabira district, southern São Francisco Craton, Brazil: an example of jacutinga-type deposit. **Economic Geology**, v. 96, p. 61-74, 2001.
- OLIVO, G. R.; GAUTHIER, M.; GARIÉPY, C.; CARIGNAN, J. Transamazonian tectonism and Au-Pd mineralization at the Cauê mine, Itabira district, Brazil: Pb isotopic evidence. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 9, p. 273-279, 1996.
- OLSEN, D. R. Origin of topaz deposits near Ouro Preto, Minas Gerais, Brazil. **Economic Geology**, v. 66, n. 4, p. 627-631, 1971.
- OPPENHEIM, V. Estudo preliminar da zona aurífera de São Gonçalo do Sapucahy, MG. **Boletim SFPM**, Rio de Janeiro, v. 1, p. 29-39, 1934.
- OPPENHEIM, V. **Ouro em São Gonçalo do Sapucahy**. Rio de Janeiro: DNPM : SFPM, 1935. 25 p. (Avulso, 4).
- PAES, V. J. C. **Geologia da quadrícula ALVARENGA, MG, e a geoquímica: implicações geotectônicas e metalogenéticas**. 1999. 149 f. Dissertação (Mestrado) – IGC, UFMG, 1999.
- PAES, V. J. C.; ARAÚJO, M. C.; DRUMOND, J. B. V.; PINTO, C. P.; OLIVEIRA, F. A. R.; GOMES, A. C. B.; MALOUF, R. F.; NETTO, C.; JUNQUEIRA, P. A. Recursos Minerais. In: PAES, V. J. C.; ROPOSO, F. O.; PINTO, C. P.; OLIVEIRA, F. A. R. (org.). **Projeto Jequitinhonha**. Belo Horizonte: CPRM, 2010. cap. 8, p. 265-314.
- PAES, V. J. C.; HEINECK, C. A.; MALOUF, R. F. **Projeto Jequitinhonha, Mapa geológico da folha Itaobim, estado**

de Minas Gerais, Folha SE.24-V-A-IV, escala 1:100.000. Belo Horizonte: CPRM, 2008.

PAES, V. J. C.; ROPOSO, F. O.; PINTO, C. P.; OLIVEIRA, F. A. R. (org.). **Projeto Jequitinhonha, Estados de Minas Gerais e Bahia: texto explicativo.** Belo Horizonte: CPRM-BH, 2010. 376p.

PAES, V. J. de C.; SANTOS, L. D.; TEDESCHI, M. F.; BETIOLLO, L. M. (org.). **Avaliação do potencial do lítio no Brasil: área do Médio Rio Jequitinhonha, Nordeste de Minas Gerais: texto explicativo e mapas.** Belo Horizonte: CPRM, 2016. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17451>. Acesso em: 28 jun. 2022.

PAIVA, G. de. Províncias pegmatíticas do Brasil. **Boletim DNPM-DFPM**, Rio de Janeiro, v. 78, p. 13-22, 1946.

PAKTUNÇ, A. D. Metamorphism of the ultramafic rocks of the THOMPSON Mine, THOMPSON Nickel Belt, Northern Manitoba. **The Canadian Mineralogist**, v. 22, n. 1, p. 77-91, 1984.

PARISI, C. A. Jazidas de bauxita da região de Poços de Caldas, Minas Gerais – São Paulo. In: SCHOBENHAUS, C.; COELHO, C. E. S. (org). **Principais depósitos minerais brasileiros, Metais básicos não-ferrosos, ouro e alumínio.** Brasília: DNPM, 1988.

PATTERSON, G. C.; WATKINSON, D. H. Metamorphism and supergene alteration of the Cu-Ni sulfides, Thierry mine, Northwestern Ontario. **The Canadian Mineralogist**, v. 22, n. 1, p. 13-21, 1984b.

PATTERSON, G. C.; WATKINSON, D. H. The Geology of the Thierry Cu-Ni Mine, Northwestern Ontario. **The Canadian Mineralogist**, v. 22, n. 1, p. 3-11, 1984a.

PEDROSA-SOARES, A. C.; CAMPOS, C. P.; NOCE, C. M.; SILVA, L. C.; NOVO, T.; RONCATO, J.; MEDEIROS, S.; CASTAÑEDA, C.; QUEIROGA, G.; DANTAS, E.; DUSSIN, I.; ALKMIM, F. F. Late Neoproterozoic-Cambrian Granitic Magmatism in the Araçuaí Orogen (BRAZIL), the Eastern BRAZILIAN Pegmatite Province and Related Mineral Resources. In: SIAL, A. N.; BETTENCOURT, J. S.; CAMPOS, C. P.; FERREIRA, V. P. (ed.). **Granite- Related Ore Deposits.** London: Geological Society, 2011. (Special Publications). p. 25–51.

PEDROSA-SOARES, A. C.; PINTO, C. P.; NETTO, C.; CUSTÓDIO NETTO, J.; ARAÚJO, M. C.; CASTAÑEDA, C.; ACHTSCHIN, A. B.; BASÍLIO, M. S. A Província Gemológica Oriental do Brasil. In: CASTAÑEDA, C.; ADDAD, J.; LICCARDI, A. (org.) **Gemas de Minas Gerais.** Belo Horizonte: SBG-MG, 2001. p. 16-33.

PENHA, U. C. Metodologia de prospecção e ocorrência de fosfato no Grupo Andrelândia (MG). CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Camboriú. **Anais [...]**. Camboriú: SBG, 1994. p.168-169.

PENHA, U. C.; CARDOSO, V. L.; SILVA, V. N.; OLIVEIRA, I. P.; DIAS, C. da C.; PEREIRA, V. L. A.; OLIVEIRA, T. H. F. de; ZAPPAROLI, A. de C.; WEBWER, W. Uma nova ocorrência polimetálica no Grupo Sabará, Quadrilátero Ferrífero. In: GEOSUDESTE, 2017, Diamantina. **Anais [...]**. Diamantina: SBG, 2017.

PENHA, U. C. Prospecção geoquímica em terreno transcorrente. O exemplo do sul de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., 1992, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: SBG, 1992. v. 2, p. 239-240.

PEREIRA, M. A. S. P.; LOBATO, L. M.; ROSIÈRE, C. A.; FIGUEIREDO E SILVA, R. C. Classificação dos Veios Quartzo-carbonáticos de Depósitos Auríferos no Lineamento Córrego do Sítio, QF, MG. **Geonomos**, v. 21, n. 2, p. 53-71, 2013.

PEREIRA, R. M.; D'ÁVILA, C.; SANTOS, R. A. A.; FERREIRA, E. A. Mineralizações de scheelita nas rochas anfibolíticas do greenstone Barbacena, na área de Nazareno – São João del Rei – Lagoa Dourada, MG. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 5.; SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NÚCLEO BRASÍLIA, 1., 1989, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: SBG, 1989. p. 91-93.

PEREIRA, R. M.; NEUMANN, R.; CASTRO, C. Cassiterita no maciço de Piumhi: uma nova ocorrência de estanho no Estado de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 14.; SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 10., 2007, Diamantina. **Livro de Resumos.** Diamantina: SBG-MG, SP, RJ, 2007. p. 121.

PEREIRA, R. M.; SANTOS, R. A. A ocorrência de scheelita estratiforme de Caeté, MG: base de uma nova interpretação metalogenética para os índices de W, Sb, Hg do Quadrilátero Ferrífero. **Mineração e Metalurgia**, n. 450, p. 38-42, 1984.

PEREIRA, R. M.; WILHELM, C. F.; VIEIRA, M. C.; OLIVEIRA, R.; PIMENTEL, M. Nota sobre a prospecção de cromita na região das serras de Bom Sucesso e Ibituruna, MG. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 58, p. 267-275, 1986.

PEREIRA, R. S. **Cráton do São Francisco, Kimberlitos e Diamantes.** 2007. 200 f. Tese (Doutorado) – UnB, Brasília, 2007a.

PEREIRA, S. **Grafite – Produção x Demanda.** 2007b. Trabalho apresentado no 12º Congresso Brasileiro de Mineração, Belo Horizonte, 2007.

PEREIRA, S. L. M. **Controles litoestruturais da mineralização aurífera no distrito de Santa Bárbara, Quadrilátero Ferrífero, MG - Mina São Bento.** 1996. Dissertação (Mestrado) – IGC, UFMG, 1996.

PEREIRA, S. L. M.; LOBATO, L. M.; FERREIRA, J. E.; JARDIM, E. C. Nature and origin of the BIF-hosted São Bento gold deposit, Quadrilátero Ferrífero, Brazil, with special emphasis on structural controls. **Ore Geology Reviews**, v. 32, p. 571-595, 2007.

PERROTTA, M. P. **A Faixa Alto Rio Grande na região a sul de São Gonçalo do Sapucaí.** 1991. 158 f. Dissertação (Mestrado) – IG, USP, São Paulo, 1991.

PIMENTA, V. B. **Sistemática de investigação geológica na exploração e caracterização de rochas ornamentais e o caso do Giallo Califórnia – Dolores de Guanhanes, MG.** 2002. Dissertação (Mestrado) – IGC, UFMG, 2002.

- PINHEIRO, P. G.; FABRIS, J. D.; MUSSEL, W. N.; MURAD, E.; SCORZELLI, R. B.; GARG, V. K. Beneficiation of a commercial kaolin from Mar de Espanha, Minas Gerais, Brazil: Chemistry and Mineralogy. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 20, p. 267-271, 2005.
- PINHEIRO, S. O. **Geologia e petrologia dos depósitos de cromita de piumhi, MG**. 1988. 207 f. Dissertação (Mestrado) – IG, UnB, Brasília, 1988.
- PINHO, J. M. M. **Evolução tectônica da mineralização de zinco de Vazante, MG**. 1990. 115 f. Dissertação (Mestrado) – IGC, UnB, Brasília, 1990.
- PINHO, J. M. M.; DARDENNE, M. A.; RIGOBELLO, A. E. Caracterização da movimentação transcorrente da falha Vazante, MG. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. **Anais [...]**. Natal: SBG, 1990. v. 5, p. 2284-2295, 1990.
- PINHO, J. M. M.; FÉBOLI, W. L.; SIGNORELLI, N.; TULLER, M. P.; BRITO, D. C.; RIBEIRO, J. H.; BAPTISTA, M. C.; SILVA, R. N. (org.). **Projeto Vazante – Paracatu, Estado de Minas Gerais e Goiás: texto explicativo**. Belo Horizonte: CPRM, 2017. 356 p. (Série Geologia do Brasil – PGB). 12 mapas geológicos escala 1:100.000. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/19397>. Acesso em: 29 jun. 2022.
- PINHO, R. R. **Caracterização e gênese do minério de manganês do depósito da Mina Fazenda dos PENAs, borda oeste da Serra do Espinhaço Meridional, MG**. 2009. Dissertação (Mestrado) – IGC, UFMG, 2009.
- PINHO, R. R.; RIBEIRO, L. C. R.; LOBATO, L. M. O estudo das mineralizações de manganês na borda oeste da serra do Espinhaço – o estudo de caso da mina PENAs – Santana de Pirapama, Minas Gerais. *In*: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 14.; SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 10., 2007, Diamantina. **Livro de Resumos**. Diamantina: SBG-MG, SP, RJ, 2007. p.133.
- PINTO, C. P. (coord). **Projeto Leste: Província Pegmatítica Oriental, Mapeamento geológico e cadastramento de recursos minerais**. Belo Horizonte: CPRM, 2001. CD-ROM.
- PINTO, C. P. (coord). **Projeto Leste: Província Pegmatítica Oriental, Mapeamento geológico e cadastramento de recursos minerais**. 2. ed. Belo Horizonte: CPRM, 2002. CD-ROM.
- PINTO, C. P. **Depósitos de minério de manganês nas regiões de Lafaiete e São João del Rei – Mapas geológicos de serviço do período 1975 a 1977**. Rio de Janeiro: Cia Meridional de Mineração : U.S. Steel Co., 1977. Inéditos.
- PINTO, C. P. **Folha LIMA DUARTE, SF.23-X-C-VI, Estado de Minas Gerais, escala 1:100.000**, Belo Horizonte: DNPM : CPRM, 1991. 224 p. (Programa levantamentos Geológicos do Brasil – PLGB).
- PINTO, C. P.; DRUMOND, J. B. V.; FÉBOLI, W. L. (Coord.). Geologia: Nota Explicativa do Mapa Geológico Integrado, escala 1:500.000, folhas SE.24-V, SE.23-Z, SE.24-Y (partes). *In*: **Projeto Leste**. Belo Horizonte: COMIG : CPRM, 2000. 181 p. CD-ROM.
- PINTO, C. P.; DUARTE, C. L. **Mapa Geológico da Folha Conselheiro Lafaiete, escala 1:50.000**. Cia. Meridional de Mineração, 1977. Inédito
- PINTO, C. P.; DUARTE, C. L.; GROSSI-SAD, J. H. **Geologia do Pré-Cambriano do Distrito de Lafaiete - MG**. Cia. Meridional de Mineração, 1975. Inédito.
- PINTO, C. P.; PADILHA, A. V. **Texto explicativo da Folha Barbacena (SF.23-X-C), escala 1:250.000**. Belo Horizonte: CPRM, 2000.
- PINTO, C. P.; PEDROSA-SOARES, A. C. Brazilian Gem Provinces. *In*: SPECIAL SYMPOSIA, METALLOGENESIS: GEOLOGY OF GEMSTONES DEPOSITS, Rio de Janeiro. **Extended abstract**. Rio de Janeiro: 31 Intern. Geol. Congress, 2000.
- PINTO, C. P.; PEDROSA-SOARES, A. C. Brazilian Gem Provinces. **The Australian Gemmologist**, v. 21, n. 1, p. 12-16, 2001.
- PINTO, C. P.; PINHO, J. M. M.; SOUZA, H. A. Recursos Minerais e Energéticos da Bacia do São Francisco em Minas Gerais: Uma abordagem regional. *In*: PINTO, C. P.; MARTINS-NETO, M. A. (ed.). **Bacia do São Francisco, Geologia e recursos naturais**. Belo Horizonte: SBG, 2001. p. 139-160.
- PINTO, C. P.; SILVA, M. A. **Mapa de Recursos Minerais do Estado de Minas Gerais, escala 1:1.000.000**. Belo Horizonte: CPRM, 2014b.
- PINTO, C. P.; SILVA, M. A. **Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, escala 1:1.000.000**. Belo Horizonte: CPRM, 2014a. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/20786>. Acesso em: 29 jun. 2022.
- PINTO, C. P.; VIANA, H. S.; OLIVEIRA, F. A. R.; SOUZA, H. A. A presença de rochas ígneas alcalinas em Caxambu – MG. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. 38., 1994, Camboriú. **Boletim de Resumos Expandidos**. Camboriú: SBG, 1994. p. 102-103.
- PIRES, F. R. M. **Geologia do distrito manganífero de Conselheiro Lafaiete, Minas Gerais**. 1977. 344 f. Dissertação (Mestrado) – UFRJ, Rio de Janeiro, 1977.
- PIRES, F. R. M. Nova ocorrência de antimônio no Quadrilátero Ferrífero, MG. **Min. Metalurgia**, v. 1, n. 298, out. 1969.
- PIRES, F. R. M. Textural and mineralogical variations during metamorphism of the Proterozoic Itabira Iron Formation in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Anais Academia Brasileira de Ciências**, v. 67, p. 77-105, 1995.
- PIRES, F. R. M.; GOLÇALVES, M. L. Distribuição de óxidos de Fe e Ti (“Carranquita”) no sul de Minas Gerais e seu possível controle metamórfico. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 59, n. 1 / 2, 1987.
- PIRES, F. R. M.; LEONARDOS JR., O. H.; COUTO, J. G. P. Gonditos da região de Pouso Alegre, Minas Gerais. **Min. Metalurgia**, v. 52, n. 312, p. 237-239, 1970.
- PIRES, F. R. M.; MATUHY, J. R. J.; STENZEL, L. C. Zoneamento da mineralização de Ta-Nb-Sn-Li em pegmatitos relacionados ao granito Santa Rita, São João del Rei, Minas Gerais. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. **Boletim de Resumos**. Natal: SBG, 1990. p. 152

- PIRES, F. R. M.; NEVES, N. T. Gênese dos depósitos de cianita do distrito de Ouro Preto, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS*, 3., 1985, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SBG, 1985. v. 5, p. 251-263.
- PIRES, F. R. M.; PALERMO, N.; SARCIÁ, M. N. Análise de Deformação e Revisão Lito-estratigráfica do Supergrupo Minas no Sinclinal Dom Bosco, Quadrilátero Ferrífero, MG. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: SBG, 1984. p. 3151-3165.
- PIRES, F. R. M.; PIRES, H. L. Regional zoning in the São João del Rei pegmatite district and its relation with the collisional Santa Rita Granite, Minas Gerais, Brazil. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 37., 1992, São Paulo. **Boletim de Resumos Expandidos**. São Paulo: SBG, 1992. p. 269-271.
- PIRES, F. R. M.; PORTO JR., R. A mineralização de Sn-Ta-Nb-Li e o granito Santa Rita, São João del Rei, Minas Gerais. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 34., 1986, Goiânia. **Anais [...]**. Brasília: SBG, 1986. v. 5, p. 2023-2034.
- PIRES, F. R. M.; RIBEIRO, A.; BARBOSA, M. J. M. Distribuição do *Greenstone belt* Barbacena na região de São João del Rei, Minas Gerais. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 36., 1990, Natal. **Boletim de Resumos**. Natal: SBG, 1990. p. 330.
- PIRES, F. R. M.; FREITAS, C. O.; PALERMO, N.; SARCIÁ, M. N. G. Geologia e gênese dos depósitos de topázio do distrito de Ouro Preto, Minas Gerais. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS*, 2., 1983, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SBG, 1983. v. 3, p. 283-296.
- PLIMER, I. R. **The association of tourmaline bearing rocks with mineralization at Broken Hill**, New South Wales: Aust. Inst. Min. Metall. 1983. p. 175-186.
- POMERENE, J. B. **Geology and ore deposits of the Belo Horizonte, Ibirité and Macacos quadrangle, Minas Gerais, Brazil**. Washington: United States Government Printing Office, 1964. 84 p. (Geological Survey Professional Paper 341-D).
- PORTO JR., R.; VALENTE, S. C.; DUARTE, B. R. Textura orbicular em traquito: uma abordagem petrográfico-geoquímica. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA*, 3.; CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LINGUA PORTUGUESA, 1., 1991, São Paulo. **Boletim de resumos**. São Paulo, 1991. v. 1, p. 130-133.
- PREINFALK, C.; KOSTITSYN, Y.; MORTEANI, G. The pegmatites of the Nova Era – Itabira - Ferros pegmatite district and the emerald mineralization of Capoeirana and Belmont (Minas Gerais, Brazil): geochemistry and Rb-Sr dating. **Journal South American Earth Sciences**, v. 14, p. 867-887, 2002.
- QUEIROGA, G. N. **A seção sedimentar sulfetada do ofiolito de Ribeirão da Folha e seu potencial metalogenético, Orógeno Araçuai, MG**. 2006. Dissertação (Mestrado) – IGC, UFMG, 2006.
- QUEIROGA, G. N.; PEDROSA-SOARES, A. C.; NOCE, C. M.; ALKMIM, F. F.; PIMENTEL, M. M.; DANTAS, E.; MARTINS, M.; CASTAÑEDA, C.; SUÍTA, M. T. F.; PRICHARD, H. Age of the Ribeirão da Folha ophiolite, Araçuai Orogen: the U-Pb zircon (LA-ICPMS) dating of a plagiogranite. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS*, 14.; SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 10., 2007, Diamantina. **Livro de Resumos**. Diamantina: SBG-MG, SP, RJ, 2007. p.18.
- QUÉMÉNEUR, J. J. G. Petrography of the pegmatites from Rio das Mortes Valley, Southeast Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 17, n. 4, p. 595-600, 1987a.
- QUÉMÉNEUR, J. J. G. Petrography of the pegmatites from the Rio das Mortes Valley, Southeast Minas Gerais, Brazil. *In: ISGAM – INTERN. SYMP. ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS*, 1987, Salvador. **Extended abstracts [...]**. Salvador: Sec. Minas e Energia : SGRM, 1987b. p. 259-263.
- QUÉMÉNEUR, J. J. G.; BARAUD, R. Estrutura do embasamento Arqueano e geologia econômica da área pegmatítica de São João del Rei – MG. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS*, 2., 1983, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SBG, 1983. p. 450-459.
- QUÉMÉNEUR, J. J. G.; BARAUD, R. Geologia da área pegmatítica de São João del Rei (Brasil). *In: CONGRESSO DE GEOLÓGICO DA AMÉRICA LATINA*, 5., 1982, Buenos Aires. **Acta [...]**. Buenos Aires, 1982. v. 1, p. 39-53.
- QUÉMÉNEUR, J. J. G.; LAGACHE, M. Comparative study of two pegmatites fields from Minas Gerais using the Rb and Cs contents of micas and feldspars. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 29, n. 1, 1999.
- QUÉMÉNEUR, J. J. G.; RIBEIRO, A.; TROUW, R. A. J.; PACIULLO, F. V. P.; HEILBRON, M. **Projeto Sul de Minas: Geologia da Folha Lavras**. Belo Horizonte: CODEMIG : UFMG : UFRJ : UERJ, 2003. v. 2, cap. 07, p. 263-316. Disponível em <http://www.portalgeologia.com.br>.
- RAMOS, L. J. Lítio. *In: BRASIL. DNPM. Sumário Mineral*. Brasília: DNPM : DIDEM, 2006. p. 187-190.
- REIS, E. L. **Caracterização e tratamento de alguns minérios de manganês utilizados para a produção de ferro-ligas, com ênfase no comportamento do As, Pb, Cd, Hg e Zn**. 2010. 185 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.
- REIS, L. B. **Estudo de mineralizações de grafita no extremo nordeste de Minas Gerais**. 1999. Dissertação (Mestrado) – IGC, UFMG, 1999.
- REIS, L. B.; PEDROSA-SOARES, A. C. Graphite deposits of the northern Minas-Bahia Province (Jacinto-Jordânia-Pouso Alegre Region), eastern Brazil. *In: INTERN. GEOL. CONGRESS*, 31., 2000, Rio de Janeiro. **Abstracts [...]**. Rio de Janeiro: CPRM; DNPM, 2000. CD-ROM.
- RENGER F. E.; MINTER, W. E. L. Proterozoic placers of the Moeda Formation within the Gandarela Syncline, Minas Gerais, Brazil. *In: GEOCONGRESS*, 21., 1986, Johannesburg. **Proceedings [...]**. Johannesburg: Geol. Soc. South África, 1986. v. 1, p. 335-340.

- RENGER, F. E.; SILVA, R. P. M.; SUCKAU, V. E. Ouro nos conglomerados da Formação Moeda, Sinclinal de Gandarela, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 35., 1988, Belém. **Anais [...]**. Belém: SBG, 1988. v. 1, p. 54-57.
- RIBEIRO, A.; PACIULLO, F. V. P.; NOCE, C. M.; VALERIANO, C. M.; VALENÇA, J. G.; ÁVILA, C. A.; TROUW, R. A. J.; SILVA, M. A. **Projeto Sul de Minas** - Etapa I: CARTA GEOLÓGICA, Folha SF.23-X-C-II - São João del Rei, Escala 1:100.000. Belo Horizonte: COMIG, 2003.
- RIBEIRO, A.; PACIULLO, F. V. P.; TROUW, R. A. J.; VALENÇA, J. G. **Síntese Geológica Regional do Bloco Ocidental (Campo das Vertentes e Sul de Minas)**. Belo Horizonte: UFRJ, 2003.
- RIBEIRO, A.; TEIXEIRA, N.; SOARES, L. A. Gold-bearing Proterozoic metasediments – Eastern Brasil. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 37., 1992, Goiânia. **Boletim de Resumos Expandidos**. Goiânia: SBG, 1992. p. 229-230.
- RIBEIRO, G. P. **Caracterização geoquímica e tecnológica do metacalcário da mina Taboca em Itaú de Minas, MG**. 2009. 111 f. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.
- RIBEIRO-ALTHOFF, A. M.; CHEILLTZ, A.; GIULIANI, G.; BARBOSA-CAMACHO, G.; ZIMMERMANN, J. L. ⁴⁰Ar/³⁹Ar and K-Ar geochronological evidence for two periods (~2Ga and 650 to 500Ma) of emerald formation in Brazil. **Intern. Geol. Reviews**, v. 39, p. 924-937, 1997.
- RIBEIRO-RODRIGUES, L. C.; OLIVEIRA, C. G. de; FRIEDRICH, G. The Archean BIF-hosted Cuiabá Gold Deposit, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Ore Geology Reviews**, v. 32, p. 543-570, 2007.
- RIGOBELLO, A. E.; BRANQUINHO, J. A.; DANTAS, M. G. S.; OLIVEIRA, T. F.; NEVES FILHO, W. Mina de zinco de Vazante, Minas Gerais. *In: Principais depósitos minerais brasileiros, Metais básicos não-ferrosos, ouro e alumínio*. Brasília: DNPM, 1988.
- ROBERTSON, J. F. Geology of the lead-zinc deposits in the município de Januária, State of Minas Gerais, Brazil. **Geological Survey Bulletin**, v. 1110-B, p. 110, 1963.
- RODRIGUES, I. J.; PIRES, R. F. M. Efeitos metassomáticos nos pegmatitos com Sn-Ta-Li de Volta Grande, Nazareno, Minas Gerais. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 40., 1998, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SBG, 1998. p. 135.
- RODRIGUES, M. do C. B. L.; BRAGA, L. L.; RIBEIRO, M. J.; SILVA, N. L. da; BARROS, R. C.; FREITAS, J. C. de; CARVALHO, C. B. T. de; RODRIGUES, W. de O. Direito ambiental em foco: a serra do Brigadeiro e a extração de Bauxita. Zona da Mata, Minas Gerais, 1988-2005. II encontro de iniciação científica FAMINAS da Zona da Mata – MG. **Revista Científica da FAMINAS**, Muriaé, v. 2, n. 1, supl.1, p. 128, jan./abr. 2006.
- ROESER, H.; SCHUERMANN, K.; TOBSCHALL, H. J. The black palladium-gold of the Iron Quadrangle, Minas Gerais, Brazil. *In: LADEIRA, E. A. (ed.): BRAZIL GOLD'91*, 1991, Belo Horizonte. **Proceedings [...]**. Rotterdam: A. A. Balkema, 1991. p.411-413.
- ROIG, H. L.; SCHRANK, A. Caracterização da zona de sutura Jacuí-Conceição Aparecida, limite norte do Complexo de *nappes* de Guaxupé, MG. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 37., 1992, São Paulo. **Resumos Expandidos [...]**. São Paulo: SBG, 1992b. v. 1, p. 283-285.
- ROIG, H. L.; SCHRANK, A. Ocorrência de cromititos portadores de PGM da Fazenda Catalão, Nova RESENDE, MG: caracterização e classificação. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 37., 1992, São Paulo. **Resumos Expandidos [...]**. São Paulo: SBG, 1992a. v. 1, p. 245-246.
- ROIG, H. L.; SCHRANK, A. Platinum-group minerals (PGM) as indicative of a possible ophiolitic origin for the Petunia Complex, SW Minas Gerais, Brazil. *In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE ELEMENTOS DO GRUPO DA PLATINA*, 1., 1993, Brasília. **Extended abstracts [...]**. Brasília: SBG, 1993. p. 76.
- ROLAND, C. L.; BERTOLINO, L. C. Caracterização tecnológica e mineralógica dos caulins de Belmiro Braga e São Miguel do Anta, Minas Gerais. *In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA*, 19., Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: CETEM : MCT, 2011.
- ROLFF, P. A. M. A. Nota sobre a fluorita em Ouro Preto. **Revista Escola Minas de Ouro Preto**, v. 9, n. 4, p. 181, 1944.
- ROLFF, P. A. M. A. Nota sobre algumas jazidas de fluorita. **Revista Escola Minas de Ouro Preto**, v. 10, n. 2, p. 427-429, 1945.
- ROLFF, P. A. M. A. **Relatório adicional de pesquisa de calcário e argila em Caeté e Bom Jardim, distrito de Barroso, Município de Dolores de Campo, MG**. Belo Horizonte: DNPM, 1953. Relatório interno: DNPM 006.243/44.
- ROLIM, V. K.; ROSIÈRE, C. A.; SANTOS, J. O. S.; MCNAUGHTON, N. J. The orosirian-Statherian banded iron formation-bearing sequences of the Southern border of the Espinhaço Range, Southeast Brazil. **Jour. of South Am. Earth Sc.**, v. 65, p. 43-66, 2016.
- ROMANO, A. **Programa Geologia do Brasil. Folha Pará de Minas, SE- 23-Z-CI. Escala 1:100.000, relatório final**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 72 p.
- ROMANO, A. W. Évolution tectonique de la region nord-ouest du Quadrilatère Ferrifère – Minas Gerais – Brésil (Geochronologie du socle. Aspects géochimiques et pétrographiques des Supergroupes Rio das Velhas et Minas). 1989. 294 f. Tese (Doutorado) – CNRS, Univ Nancy I, Nancy, 1989.
- ROMANO, A. W. O Supergrupo Rio das Velhas da faixa MATEUS Leme – Pitangui, parte meridional do cráton do São Francisco – MG e seu sistema de alteração hidrotermal. **Geonomos**, v. 1, n. 1, p. 16-32, 1993.
- ROMANO, A. W.; CASTAÑEDA, C. A tectônica distensiva pós-mesozoica no condicionamento dos depósitos de bauxita da Zona da Mata Mineira. **Geonomos**, v. 14, n. 1 / 2, p. 1-5, 2016.

- ROMEIRO, J. C. P. **Controle da mineralização de lítio em pegmatitos da mina da Cachoeira, Companhia Brasileira de Lítio, Araçuaí, MG.** 1998. Dissertação (Mestrado) – IGC, UFMG, 1998.
- ROSA, A. F. **Estudo de Amostras da Região de Presidente Olegário Visando Identificar Minerais Portadores de Urânio.** 2015. 124 f. Trabalho de Conclusão de Curso – CEFET-MG/Unidade Araxá, Araxá, 2015.
- ROSE, H. Beitrage zur kentnis atopits von Miguel Burnier, Minas geraes, Brasilien: Cbt. **F. Min. Geol. Palaeon.,** Stuttgart, 1919.
- ROSIERE, C. A. **The Geology of the Iron Quadrangle, Minas Gerais (Brazil).** Belo Horizonte, 2009. XXVIII Curso Latinoamericano de Metalogenia UNESCO-SEG-SGA. Guia de Campo.
- ROSIERE, C. A.; RIOS, F. J. The origin of hematite in high-grade iron ores based on infrared microscopy and fluid inclusion studies: the example of the Conceição mine, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. **Econ. Geology**, v. 99, p. 611-624, 2004.
- ROSIERE, C. A.; SIEMENS, H.; QUADE, H.; BROKMEIER, H. G.; JANSEN, E. M. Microstructures, textures and deformation mechanisms in hematite. **Journal of structural Geology**, v. 23, p. 1429-1440, 2001.
- ROSIERE, C. A.; SPIER, C. A.; RIOS, F. J.; SUCKAU, V. E. The itabirites from the Quadrilátero Ferrífero and related high-grade iron ores: an overview. In: HAGEMANN, S. G.; ROSIÈRE, C.; GUTZMER, J.; BEUKES, N. J. (ed.). **BIF-related High-grade Iron Mineralization.** Littleton: Society of Economic Geologists, 2008. (Reviews in Economic Geology, v. 15). p. 223-254.
- ROSSI, G. **Quartzitos e metaconglomerados auríferos da sequência da Serra da Boa Vista, borda Leste do Quadrilátero Ferrífero, MG, Brasil.** 2010. 192 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- ROSSI, G.; LUCHESI, I.; BATTESTIN, T. N.; SCHORSCHER, J. H. D. **Mineralizações de ouro em sequências metaquartzíticas pré-cambrianas da borda leste do Quadrilátero Ferrífero.** In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 14.; SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 10., 2007, Diamantina. **Livro de Resumos.** Diamantina: SBG-MG, SP, RJ, 2007. p.131.
- SÁ, J. H. da S. **Geologia da Quadrícula de Caxambu - Minas Gerais.** 1970. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, UFRJ, Rio de Janeiro, 1970.
- SÁ, J. H. da S. **Pegmatitos litiníferos da região de Itinga-Araçuaí, Minas Gerais.** 1977. 112 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1977.
- SÁ, J. H. da S.; ELLERT, R. Pegmatitos do Médio Jequitinhonha, um modelo genético. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS, 1., 1981, Salvador. **Atas [...].** Salvador: SBG, 1981. p. 199-207.
- SAMPAIO, J. A.; BRAGA, P. F. A.; DUTRA, A. J. B. Grafita. LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. (ed.). **Rochas e minerais Industriais: usos e especificações.** 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM : MCT, 2008. cap. 24, p. 527-549. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/522> . Acesso em: 30 jun. 2022.
- SANTOS, M. F. M. dos. **Avaliação de jazidas brasileiras de quartzo mais adequadas para uso em sílica vítrea.** 2014. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas, 2014.
- SBG - SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA. Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 16, n. 4, p. 370-415, 1986.
- SCARPELLI, W. **Aspects of gold mineralizations in the Iron Quadrangle, Brazil.** In: LADEIRA, E. A. (ed.): BRAZIL GOLD'91, 1991, Belo Horizonte. **Proceedings [...].** Rotterdam: A. A. Balkema, 1991. p.151-158.
- SCHNELLRATH, J.; CORREIA, J. C. G.; GUIMARÃES, R. C.; TEIXEIRA, S. H. A. Fosfato Mina de Araxá, Serrana. **Geologia.** In: SAMPAIO, J. A.; LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. (ed.). **Usinas de beneficiamento de minérios do Brasil.** Rio de Janeiro: CETEM : MCT, 2001. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2037> . Acesso em: 30 jun. 2022.
- SCHOBENHAUS, C. **Estudo geoeconômico preliminar do depósito de ferro do Rio do Peixe Bravo, norte de Minas Gerais.** Recife: Sudene, 1972. 36 p. (Série Geologia Econômica, 8).
- SCHOBENHAUS, C.; QUEIROZ, E. T. de; COELHO, C. E. S. **Principais Depósitos Minerais do Brasil.** Brasília: DNPM : CPRM, 1997. v. 3
- SCHOLL, W. U.; FOGAÇA, A. C. C. Estratigrafia da serra do Espinhaço na região de Diamantina. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 1., 1979, Diamantina. **Anais [...].** Diamantina: SBG, 1979. p. 55-73.
- SCHRANK, A. **Petrologie des komattites et des roches associées de la ceinture verte du Massif Pré-Cambrien de Piumhi (Minas Gerais, Brésil).** 1982. 272 f. Tese (Doutorado) – Univ. Paris Sud-Orsay, Paris, 1982.
- SCHRANK, A.; SILVA, M. G. Os *greenstone belts* do Cráton do São Francisco. In: DOMINGUES, J. M. L.; MISI, A. (ed). **O Cráton do São Francisco.** Salvador: SBG, 1993. p. 85-118.
- SCORZA, E. P. Ocorrência de cinábrio em Dom Bosco, Minas Gerais. **Notas Prel. e Estudos**, DGM/DNPM, n. 18, p. 1-8, 1939.
- SECCO, P. R. **Agalmatolito da serra dos Ferreiras, Onça de Pitangui - MG.** 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, 2009.
- SEIXAS, L. A. R. **Geologia e metalotectos de ouro de uma fração do Lineamento Congonhas, MG.** 1988. 116 f. Dissertação (Mestrado) – IG, UnB, 1988.
- SEPP, J.; PRESSACO, R.; PATEL, A. **Technical Report on Turmalina Mine Complex, Minas Gerais, Brasil.** NI 43-101. Jaguar Mining Inc., 2019. 177 p

- SGARBI, G. N. C. (org.) **Petrografia macroscópica das rochas ígneas, sedimentares e metamórficas**. 2.ed. Revisada e ampliada. Belo Horizonte: UFMG, 2012. 632 p.
- SIGNORELLI, N.; PINHO, J. M. M.; TULLER, M. P.; BAPTISTA, M. C.; BRITO, D. C. **Folha Lagamar SE.23-Y-A-III: estado de Minas Gerais, escala 1:100.000**. Belo Horizonte: CPRM, 2014a.
- SIGNORELLI, N.; TULLER, M. P.; PINHO, J. M. M.; BRITO, D. C. **Folha Arrenegado SE.23-V-CVI: estado de Minas Gerais, escala 1:100.000**. Belo Horizonte: CPRM, 2014b.
- SILVA JR., J. C.; MARTINS JR., F. L. Pesquisa de manganês na jazida do Peruaçu, em Januária e Itacarambi, Minas Gerais. *In*: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 4., 1987, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SBG, 1987. Boletim 7, p. 406-419.
- SILVA, C. J.; ROESER, U.; SCHULZ-DOBRICK, B.; TOBSCHALL, H. J. Ouro Paladiado of the Mineralogical Museum, Ouro Preto, MG. New electron microprobe analyses. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA. 3., 1985, Ouro Preto. **Boletim de Resumos**. Ouro Preto: UFOP, 1985. p. 9.
- SILVA, D.; FERREIRA, D. Estudos geológicos no depósito Ceu Aberto, Serro, MG. *In*: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 14.; SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 10., 2007, Diamantina. **Livro de Resumos**. Diamantina: SBG-MG, SP, RJ, 2007. p. 127.
- SILVA, J. M. R.; LIMA, M. I. C.; VERONESE, V. F.; RIBEIRO-JÚNIOR, R. N.; ROCHA, R. M.; SIGA-JÚNIOR, O. Geologia. *In*: **Radambrasil: Levantamento de Recursos Naturais, folha SE.24-Rio Doce**. Rio de Janeiro: IBGE, 1987. v. 34, p. 23-174.
- SILVA, O. F. **Ocorrências auríferas do sul de Minas Gerais**. 1987. Não publicado.
- SILVA, S. L. da. **Projeto Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais: Folha SF.23-X-C, Barbacena, escala 1:250.000**. Belo Horizonte: DNPM : CPRM, 1982. 2 v.
- SILVA, S. L. da; BALTAZAR, O. F.; PADILHA, A. V. **Folha São Gonçalo do Sapucaí, SF.23-V-D-V-4, escala 1:50.000, Estado de Minas Gerais**. Brasília: MME : DNPM; CPRM, 1988.
- SIMMONS, G.C. **Geology and iron deposits of the western Serra do Curral, Minas Gerais, Brazil**. Washington: United States Government Printing Office, 1968. 57 p. (Geological Survey Professional Paper 341-G).
- SINKANKAS, J. World largest kunzite crystal. **Gems and Gemology**, Los Angeles, v. 10, n. 9, p. 274-277, 1962.
- SKINNER, B. J.; JOHNSON, C. A. Evidence for movement of ore materials during high-grade metamorphism. **Ore Geology Reviews**, v. 2, p. 191-204, 1987.
- SMIRNOV, V. I. (ed). **Geology of mineral deposits** [S. l.]: Mir. Publishers, 1976. 520 p.
- SOARES, A. C. P.; JEBER, A.; ALKMIM, F. F.; MARTINS, V. T. S.; SCUDINO, P. C. B.; LA TERRA, E. F.; SOUZA, M. A. T. A.; CARMO, J. C. C.; REIS M. M.; PROFETA, A. L.; SOUZA, J. C.; VOLL, K. **Caracterização geoambiental, geológica, geofísica, hidrogeológica e hidroquímica do Circuito das Águas de Minas Gerais, com ênfase nos parques hidrominerais de Caxambú, Cambuquira, Marimbeiro, Contendas e Lambari**. Belo Horizonte: CODEMGE, 2018.
- SOARES, A. G.; SIMÓES, E. J. M.; OLIVEIRA, E. S. de V. **Projeto São Francisco: Caracterização Hidrogeológica da Micro Região de Montes Clatos**. Belo Horizonte: SEME : COMIG : CPRM, 2002.
- SOARES, M. B.; CORRÊA NETO, A. V.; BERTOLINI, L. C.; ALVES, F. E. A.; ALMEIDA, A. M.; SILVA, P. H. M. da; MABUB, R. O. de A.; MANDUCA, L. G.; ARAÚJO, I. M. C. P. Multistage mineralization at the hypozonal São Sebastião gold deposit, Pitangui greenstone belt, Minas Gerais, Brazil. **Ore Geology Reviews**, v. 102, p. 618–638, 2018.
- SOARES, M. B.; CORRÊA NETO, A. V.; ZEH, A.; CABRAL, A. R.; PEREIRA, L. F.; PRADO, M. G. B. do; SCHLICHTA, T. M. Geology of the Pitangui greenstone belt, Minas Gerais, BRAZIL: Stratigraphy, geochronology and BIF geochemistry. **Precambrian Research**, v. 291, p. 17–41, 2017.
- SOARES, M. B.; SELBY, D.; ROBB, L.; CORRÊA NETO, A. V. Sulfide Recrystallization and gold remobilization during the 2.0 Ga Stage of the Minas Orogeny: implications for gold mineralization in the Quadrilátero Ferrífero Ares, Brazil. **Economic Geology**, v. 116, n. 6, p. 1455-1466, 2021. DOI <https://doi.org/10.5382/econgeo.4830> .
- SOARES-FILHO, B. S.; PINTO, L. M. **Seleção de faixas favoráveis para mineralizações fosfatadas**. Belo Horizonte: Metamig, 1987. 12 p. Relatório interno. Inédito.
- SOBREIRA, F. G.; FONSECA, M. A.; PIRES, F. R. M. Mineralizações de Cinábrio em Tripui e Paragêneses associadas, Ouro Preto, Quadrilátero Ferrífero, MG. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 59, n. 4, p. 364-374, 1987. Disponível em: <http://memoria.bn.br/DocReader/158119/29249> . Acesso em: 30 jun. 2022.
- SOUZA FILHO, C. R.; SCHRANK, A. **Lithostructural control, geometry and geothermometry of Tinguá gold mineralization, Rio das Velhas greenstone belt**. *In*: LADEIRA, E. A. (ed.): **BRAZIL GOLD'91**, 1991, Belo Horizonte. **Proceedings [...]**. Rotterdam: A. A. Balkema, 1991. p. 575-577.
- SOUZA, A. A.; SOUZA, O. M. **Cassiterita e minerais pesados associados em Conselheiro Lafaiete, Carandaí, Cristiano Ottoni e Entre Rios de Minas**. Belo Horizonte: DNPM, 1970. 3º Distrito, relatório de visita técnica, No. 1076, não-publicado.
- SOUZA, V. O.; RIBEIRO, J. H.; FÉBOLI, W. L. **Projeto manganês no centro-sul de Minas Gerais: texto e anexos, escala 1:10.000 e 1:2.000**. 1977.
- SUITA, M. T. F. **Geoquímica & Metalogenia de Elementos do Grupo da Platina (EGP+Au) em Complexos Máfico-ultramáficos do Brasil: critérios e guias com ênfase no Complexo máfico-ultramáfico acamadado de alto grau**

de Barro Alto (CBA, Goiás). 1996. 525 f. Tese (Doutorado) – UFRGS, Instituto de Geociências, Porto Alegre, 1996.

SUÍTA, M. T. F.; PRICHARD, H.; FONSECA, M. A.; FISHER, P.; CATARINO, M. O. Autigenic, alluvial & hydrothermal pgm & au nuggets from Serro and Morro do Pilar regions, MG: new data. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS*, 2003, Ouro Preto. **Anais [...]**. Ouro Preto: Editora da Universidade Federal de Ouro Preto, 2003. p. 70.

SUÍTA, M. T. F.; Strieder, A. J. Metamorphic Changes in Cr-spinels from Brazilian Mafic-ultramafic Complexes: an Initial Evaluation. **Intern. Geol. Review**, v. 38, n. 3, p. 245-267, 1996.

TAKAI, V.; PINTO, L. C.; DUCHINI JR., J. Córrego do Sítio gold deposit. *In: LADEIRA, E. A. (ed.): BRAZIL GOLD'91*, 1991, Belo Horizonte. **Proceedings [...]**. Rotterdam: A. A. Balkema, 1991. p. 811-816.

TASSINARI, C. C. G.; MATEUS, A. M.; VELÁSQUEZ, M. E.; MUNHÁ, J. M. U.; LOBATO, L. M.; BELLO, R. M.; CHIQUINI, A. P.; CAMPOS, W. F. Geochronology and thermochronology of gold mineralization in the Turmalina deposit, NE of the Quadrilátero Ferrífero Region. Brazil. **Ore Geol. Rev.**, v. 67, p. 368–381, 2015.

TEDESCHI, M. F. Lítio no Brasil: Região Leste de Minas Gerais. *In: PAES, V. J. de C.; SANTOS, L. D.; TEDESCHI, M. F.; BETIOLLO, L. M. Avaliação do potencial do lítio no Brasil: área do Médio Rio Jequitinhonha, Nordeste de Minas Gerais*. Belo Horizonte: CPRM, 2016. cap. 9.3, p. 188-196.

TEIXEIRA, N. A. Contribuição à geologia do *greenstone belt* Itumirim-Nazareno (MG). *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 37., 1992, São Paulo. **Boletim Resumos Expandidos**. São Paulo: SBG, 1992. v. 1, p. 476-477.

TEIXEIRA, N. A. **Geologia, petrologia e prospecção geoquímica da Sequência Vulcanosedimentar do Morro do Ferro, Fortaleza de Minas, MG**. 1978. 202 f. Dissertação (Mestrado) – UnB, Brasília, 1978.

TEIXEIRA, N. A.; FRANKE, N. D.; BRENNER, T. L.; MARCHETTO, C. Polymetalic sulfides and manganese deposits of the Itumirim Nazareno *Greenstone belt* and example of Archean sub-seafloor geothermal system. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 39., 1996, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: SBG, 1996. v. 3, p. 326-328.

TEIXEIRA, N. A.; GASPAR, J. C.; BRENNER, T. L.; CHENEY, J. T.; MARCHETTO, C. M. L. Geologia e implicações geotectônicas do greenstone belt do Morro do Ferro (Fortaleza de Minas-MG). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 12, p. 562-571, 1987.

TEIXEIRA, N. A.; KUYUMJIAN, R. M. The Mateus Leme – Pitangui Hydrothermal zone: Do they represent a fossil hot spring system in the Rio das Velhas *Greenstone belt*, central Brazil. *In: LADEIRA, E. A. (ed.): BRAZIL GOLD'91*, 1991, Belo Horizonte. **Proceedings [...]**. Rotterdam: A. A. Balkema, 1991. p. 171-177.

TEIXEIRA, W. **Evolução Geotectônica da porção Meridional do Cráton do São Francisco, com base em interpretações**

geocronológicas. 1985. 207 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, USP, 1985.

TEIXEIRA, W.; ÁVILA, C. A. Evolução geodinâmica do Cinturão Mineiro: revisão do conhecimento após duas décadas de estudos. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS*, 14.; *SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE*, 10., 2007, Diamantina. **Livro de Resumos**. Diamantina: SBG-MG, SP, RJ, 2007. resumo 84.

TEIXEIRA, W.; OLIVEIRA, E. P.; PENG, P.; DANTAS, E. L.; HOLLANDA, M. H. M. Sequência Metassedimentar de Itapeçerica Vinculada à Colisão (2.0 Ga) do Cinturão Mineiro, Cráton São Francisco: Geocronologia U-Pb em Zircão Detritico, Implicações Tectônicas e Inferências Paleogeográficas. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS*, 16., 2017, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: SBG, 2017. p. 105-108.

TEMPESTA, P. Autorizações ambientais: Uma comparação entre os quesitos no Brasil e na França. **Revista Areia e Brita**, ano 19, v. 66, p. 6-13, jan./mar. 2016.

THORMAN, C. H.; DEWITT, E.; MARON, M. A. C.; LADEIRA, E. A. Major Brazilian gold deposits – 1982 to 1999. **Mineralium Deposita**, v. 36, p. 218-227, 2001.

TORRES, M. G. **Caracterização mineralógica do minério fosfático da mina da Arafertil S.A. no complexo carbonatítico do Barreiro, Araxá, MG**. 1996. 149 f. Dissertação (Mestrado) – UnB, Brasília, 1996.

TRESCASES, J. J.; OLIVEIRA, S. M. B. Alteração dos serpentinitos de Morro do Níquel (MG). *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 30., 1978, Recife. **Anais [...]**. Recife: SBG, 1978. v. 4, p. 1655-1669.

TROUW, C. C.; MEDEIROS, F. F. F.; TROUW, R. A. J. Evolução Tectônica da Zona de Cisalhamento Caxambu, MG. **Revista Brasileira de Geociências**, v.37, n.4, p. 767-776, 2007.

TULLER, M. P.; RIBEIRO, J. H.; SIGNORELLI, N.; FÉBOLI, W. L.; PINHO, J. M. M. **Projeto Sete Lagoas-Abaeté, Estado de Minas Gerais**: texto explicativo. Belo Horizonte: CPRM, 2009.

UFOP - UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO. **Projeto Mercúrio**: mineralizações de mercúrio e metais associados na área de Tripui-Hargreaves, Município de Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. Ouro Preto: UFOP : DEGEO : FINEP, 1985. 2 v.

UHLEIN, A. **Geologia e mineralização de cromita e itabiritos da região de Serro, MG**. 1982. 189 f. Dissertação (Mestrado) – IG, UnB, Brasília, 1982.

UHLEIN, A.; ASSIS, L. C.; DARDENNE, M. A. As mineralizações de ouro e cromita da sequência vulcano-sedimentar de Serro. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS*, 2., 1983, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SBG, 1983. p. 306-320.

UHLEIN, A.; CHAVES, M. L. de S. C.; DOSSIN, I. A. Recursos minerais da serra do Espinhaço meridional (MG). Uma síntese baseada no contexto litoestratigráfico regional. *In:*

CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., 1986, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: SBG, 1986. v. 5, p. 2453-2464.

ULIANA, D.; KAHN, H.; BRAZ, A. B. Caracterização tecnológica dos tipos de minério de fosfato do Complexo Alcalino de Salitre, MG - Área Fosfertil. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 62, n. 4, Oct./Dec. 2009.

VALERIANO, C. M. Geologia estrutural e estratigrafia do grupo de São João del Rei na região de São João del Rei. **Anu. Inst. Geocienc.**, Rio de Janeiro, v. 16, 1985.

VALLE, C. R. **Projeto Cromita Serro**. [S. l.]: Metamig, 1988. Relatório interno, não publicado.

VARAJÃO, C. A. C.; BOULANGÉ, B.; CARVALHO, A. The bauxites of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, BRAZIL. **Travaux ICSOBA**, v. 19, n. 22, p. 127-136, 1989.

VARAJÃO, C. A. C.; COLIN, F.; VIEILLARD, P.; MELFI, A. J.; NAHON, D. Early weathering of palladium gold under lateritic conditions, Maquiné mine, Minas Gerais, BRAZIL. **App. Geochem.**, v. 15, p. 245-263, 2000.

VERÍSSIMO, C. U. V. **Evolução geológica dos corpos de protominério e mineralizações de manganês associadas – porção leste de São Paulo e sul de Minas Gerais**. 1991. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Unesp, Rio Claro, 1991.

VIAL, D. S.; ABREU, G. C.; SCHUBERT, G.; RIBEIRO-RODRIGUES, L. C. Smaller gold deposits in the Archean Rio das Velhas *greenstone belt*, Quadrilátero Ferrífero, BRAZIL. **Ore Geology Reviews**, v. 32, p. 651-673, 2007c.

VIAL, D. S.; DEWITT, E.; LOBATO, L. M.; THORMAN, C. H. The geology of the Morro Velho gold deposit in the Archean Rio das Velhas *greenstone belt*, Quadrilátero Ferrífero, BRAZIL. **Ore Geology Reviews**, v. 32, p. 511-542, 2007b.

VIAL, D. S.; FERREIRA JR., M. G.; FERRARI, P. G. A lapa seca na mina de Morro Velho: metavulcanitos alterados hidrotermalmente. *In*: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 4., 1987, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SBG, 1987. v. 7, p. 369-390.

VIAL, D. S.; GROVES, D. I.; COOK, N. J.; LOBATO, L. M. Preface – Special issue on gold deposits of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, BRAZIL. **Ore Geology Reviews**, v. 32, p. 469-470, 2007a.

VIANA, D. J.; JORDT-EVANGELISTA, H.; GOMES, C. J. S. Esmeralda da mina de Piteiras, região de Itabira, MG: geologia e gênese. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, Suplemento, p. 174-178, mar. 2006.

VIANA, H. S. **Carta geológica, carta metalogenética/previsional: Barbacena, Folha SF.23-X-C-III, escala 1:100.000**. Belo Horizonte: DNPM : CPRM, 1991. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil).

VIANA, H. S.; DAVIS, E. G.; BEATO, D. A. C.; CABRAL, J. A de L. (org.). **Estudo geoambiental do Barreiro: município de Araxá – MG**. Belo Horizonte: COMIG : CPRM, 1998. 125 p.

VIEIRA, F. W. R. Processos epigenéticos na formação dos depósitos auríferos e zonas de alteração hidrotermal do

Grupo Nova LIMA, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. **Anais [...]**. Belém: SBG, 1988. v. 1, p. 76-86.

VIEIRA, F. W. R. Textures and processes of hydrothermal alteration and mineralization in the Nova LIMA Group, Minas Gerais, BRAZIL. *In*: LADEIRA, E. A. (ed.): BRAZIL GOLD'91, 1991, Belo Horizonte. **Proceedings [...]**. Rotterdam: A. A. Balkema, 1991. p. 319-328.

VIEIRA, F. W. R.; LISBOA, L. H. A.; CHAVES, J. L.; OLIVEIRA, G. A. I.; CLEMENTE, P. L. C.; OLIVEIRA, R. L. Excursion to the Morro Velho gold mine, Minas Gerais, BRAZIL. *In*: THORMAN, C. H.; LADEIRA, E. A.; SCHNABEL, D. C. (ed.). **Gold deposits related to greenstone belts in BRAZIL-deposit modeling workshop. Part A, excursions**. Denver: USGS, 1986. p. A67-A73. (U.S. Geological Survey bulletin, 1980-A).

VIEIRA, V. S. **Folha Juiz de Fora SF.23-X-D., escala 1:250.000** (texto explicativo). Belo Horizonte. CPRM, 2000. 71 p. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB).

VILELA, F. T. **Caracterização de metadiamictitos ferruginosos da Formação Nova Aurora (Grupo Macaúbas, Orógeno Araçuai) a oeste de Salinas, MG**. 2010. Dissertação (Mestrado). – IGC, UFMG, Belo Horizonte, 2010.

VILELA, O. V. As jazidas de minério de ferro dos municípios de Porteirinha, Rio Pardo de Minas, Riacho dos Machados e Grão Mogol, norte de Minas Gerais. *In*: SCHOBENHAUS, C.; COELHO, C. E. S. (coord.). **Principais Depósitos Minerais do Brasil**. Brasília: DNPM, 1986. v. 3, p. 111-120.

VILELA, O. V.; LAGUNA, A. G. M.; SANTOS, O. M. Prospecção e geologia da jazida de minério de ferro de Morro do Pilar, M.G. *In*: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 2., 1983, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SBG, 1983. p.321-332.

VILELA, O. V.; SANTOS, O. M. Dados preliminares sobre o depósito de minério de ferro da serra Serpentina, Conceição do Mato dentro, M.G. *In*: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 2., 1983, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SBG, 1983. p. 333-346.

VILLAÇA, J. N. **Alguns aspectos sedimentares da Fm. Moeda**. Belo Horizonte: SBG, 1981. (Boletim, 1). p. 93-137.

VILLAÇA, J. N.; MOURA, L. A. M. O urânio e o ouro da Formação Moeda, Minas Gerais. *In*: SCHOBENHAUS, C.; COELHO, C. E. (ed.). **Principais depósitos minerais do Brasil**. Brasília: DNPM, 1985. v. 1, p. 177-187.

VITORINO, A. L. A. **Mineralização aurífera associada aos veios quartzo-carbonáticos hospedados na unidade máfica basal da jazida Cuiabá, greenstone belt Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Minas Gerais, 2017. Não publicada.

VIVEIROS, J. F. M. de; SÁ, E. L.; VILELA, O. V.; SANTOS, O. M.; MOREIRA, J. M. P.; HOLDER-NETO, F.; VIEIRA, V. S. Geologia dos vales dos rios Peixe Bravo e Alto Vacaria, norte de Minas

Gerais. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978, Recife. **Anais [...]**. Recife: SBG, 1978. v. 1, p. 243-254.

WALLACE, R. M. **Geology and mineral resources of the Pico de Itabirito district, Minas Gerais, Brazil**. Washington: United States Government Printing Office, 1965. 68 p. (Geological Survey Professional Paper 341-F).

WALSH, L. **Transformações metamórficas e química mineral de cromitas dos corpos de Alvorada de Minas – MG**. 2012. 80 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2012.

WERNICK, E.; FERNANDES, N. A.; ALMEIDA JÚNIOR, N. F. Gonditos de Socorro e de Itapira (SP). **Engenharia Mineração e Metalurgia**, São Paulo, v. 39, n. 372, p. 16-21, 1976.

WILLIAN, H. **Bol. Min. Agric.**, v. 1, jan./fev. 1916

ZANARDO, A.; MORALES, N.; LAMA, E. A. del. Petrografia de gnaiss do Grupo Araxá/Canastra da região de Passos – MG, portadores de sulfetos de Fe, Zn e Pb. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Camboriú. **Anais [...]**. Camboriú: SBG, 1994. v. 3, p. 97-98.

ZINI, A.; FORLIN, R.; ANDREAZZA, P.; SOUZA, A. Depósito de ouro do Morro do Ouro, Paracatu, Minas Gerais. *In*: SCHOBENHAUS, C.; COELHO, C. E. (ed.). **Principais depósitos minerais do Brasil**. Brasília: DNPM : CVRD, 1988. v. 3, p. 479-489.

ZUCCHETTI, M.; BALTAZAR, O. F. (ed.). **Projeto Rio das Velhas. Texto explicativo do Mapa Geológico Integrado, escala 1:100.000**. Brasília: DNPM : CPRM, 1998.

LISTAGEM INFORMES DE RECURSOS MINERAIS

SÉRIE METAIS DO GRUPO DA PLATINA E ASSOCIADOS

- Nº 01 - Mapa de Caracterização das Áreas de Trabalho (Escala 1:7.000.000), 1996.
- Nº 02 - Mapa Geológico Preliminar da Serra do Colorado - Rondônia e Síntese Geológico-Metalogenética, 1997.
- Nº 03 - Mapa Geológico Preliminar da Serra Céu Azul - Rondônia, Prospecção Geoquímica e Síntese Geológico-Metalogenética, 1997.
- Nº 04 - Síntese Geológica e Prospecção por Concentrados de Bateia nos Complexos Canabrava e Barro Alto - Goiás, 1997.
- Nº 05 - Síntese Geológica e Prospecção Geoquímica/Aluvionar da Área Migrantinópolis - Rondônia, 2000.
- Nº 06 - Geologia e Prospecção Geoquímica/Aluvionar da Área Corumbiara/Chupinguaia - Rondônia, 2000.
- Nº 07 - Síntese Geológica e Prospecção Geoquímica/Aluvionar da Área Serra Azul - Rondônia, 2000.
- Nº 08 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Rio Branco/Alta Floresta - Rondônia, 2000.
- Nº 09 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Santa Luzia - Rondônia, 2000.
- Nº 10 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Nova Brasilândia - Rondônia, 2000.
- Nº 11 - Síntese Geológica e Prospecção Geoquímica da Área Rio Madeirinha - Mato Grosso, 2000.
- Nº 12 - Síntese Geológica e Prospectiva das Áreas Pedra Preta e Cotingo - Roraima, 2000.
- Nº 13 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Santa Bárbara - Goiás, 2000.
- Nº 14 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Barra da Gameleira - Tocantins, 2000.
- Nº 15 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Córrego Seco - Goiás, 2000.
- Nº 16 - Síntese Geológica e Resultados Prospectivos da Área São Miguel do Guaporé - Rondônia, 2000.
- Nº 17 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Cana Brava - Goiás, 2000.
- Nº 18 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Cacoal - Rondônia, 2000.
- Nº 19 - Geologia e Resultados Prospectivos das Áreas Morro do Leme e Morro Sem Boné - Mato Grosso, 2000.
- Nº 20 - Geologia e Resultados Prospectivos das Áreas Serra dos Pacaás Novos e Rio Cautário - Rondônia, 2000.
- Nº 21 - Aspectos Geológicos, Geoquímicos e Potencialidade em Depósitos de Ni-Cu-EGP do Magmatismo da Bacia do Paraná - 2000.
- Nº 22 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Tabuleta - Mato Grosso, 2000.
- Nº 23 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Rio Alegre - Mato Grosso, 2000.
- Nº 24 - Geologia e Resultados Prospectivos da Área Figueira Branca/Indiavaí - Mato Grosso, 2000.
- Nº 25 - Síntese Geológica e Prospecção Geoquímica/Aluvionar das Áreas Jaburu, Caracaraí, Alto Tacutu e Amajari - Roraima, 2000.
- Nº 26 - Prospecção Geológica e Geoquímica no Corpo Máfico-Ultramáfico da Serra da Onça - Pará, 2001.
- Nº 27 - Prospecção Geológica e Geoquímica nos Corpos Máfico-Ultramáficos da Suíte Intrusiva Cateté - Pará, 2001.
- Nº 28 - Aspectos geológicos, Geoquímicos e Metalogenéticos do Magmatismo Básico/Ultrabásico do Estado de Rondônia e Área Adjacente, 2001.
- Nº 29 - Geological, Geochemical and Potentiality Aspects of Ni-Cu-PGE Deposits of the Paraná Basin Magmatism, 2001.
- Nº 30 - Síntese Geológica e Prospecção Geoquímica da Área Barro Alto - Goiás, 2010.

SÉRIE MAPAS TEMÁTICOS DE OURO - ESCALA 1:250.000

- Nº 01 - Área GO-09 Aurilândia/Anicuns - Goiás, 1995.
- Nº 02 - Área RS-01 Lavras do Sul/Caçapava do Sul - Rio Grande do Sul, 1995.
- Nº 03 - Área RO-01 Presidente Médici - Rondônia, 1996.
- Nº 04 - Área SP-01 Vale do Ribeira - São Paulo, 1996.
- Nº 05 - Área PA-15 Inajá - Pará, 1996.
- Nº 06 - Área GO-05 Luziânia - Goiás, 1997.
- Nº 07 - Área PA-01 Paru - Pará, 1997.
- Nº 08 - Área AP-05 Serra do Navio/Cupixi - Amapá, 1997.
- Nº 09 - Área BA-15 Caripará - Bahia, 1997.
- Nº 10 - Área GO-01 Crixás/Pilar - Goiás, 1997.
- Nº 11 - Área GO-02 Porangatu/Mara Rosa - Goiás, 1997.
- Nº 12 - Área GO-03 Niquelândia - Goiás, 1997.
- Nº 13 - Área MT-01 Peixoto de Azevedo/Vila Guarita - Mato Grosso, 1997.
- Nº 14 - Área MT-06 Ilha 24 de Maio - Mato Grosso, 1997.
- Nº 15 - Área MT-08 São João da Barra - Mato Grosso/Pará, 1997.

Nº 16 - Área RO-02 Jenipapo/Serra Sem Calça - Rondônia, 1997.
Nº 17 - Área RO-06 Guaporé/Madeira - Rondônia, 1997.
Nº 18 - Área RO-07 Rio Madeira - Rondônia, 1997.
Nº 19 - Área RR-01 Uraricaá - Roraima, 1997.
Nº 20 - Área AP-03 Alto Jari - Amapá/Pará, 1997.
Nº 21 - Área CE-02 Várzea Alegre/Lavras da Mangabeira/Encanto - Ceará, 1997.
Nº 22 - Área GO-08 Arenópolis/Amorinópolis - Goiás, 1997.
Nº 23 - Área PA-07 Serra Pelada - Pará, 1997.
Nº 24 - Área SC-01 Botuverá/Brusque/Gaspar - Santa Catarina, 1997.
Nº 25 - Área AP-01 Cassiporé - Amapá, 1997.
Nº 26 - Área BA-04 Jacobina Sul - Bahia, 1997.
Nº 27 - Área PA-03 Cuiapucu/Carará - Pará/Amapá, 1997.
Nº 28 - Área PA-10 Serra dos Carajás - Pará, 1997.
Nº 29 - Área AP-04 Tumucumaque - Pará, 1997.
Nº 30 - Área PA-11 Xinguara - Pará, 1997.
Nº 31 - Área PB-01 Cachoeira de Minas/Itajubatiba/Itapetim - Paraíba/Pernambuco, 1997.
Nº 32 - Área AP-02 Tartarugalzinho - Amapá, 1997.
Nº 33 - Área AP-06 Vila Nova/Iratapuru - Amapá, 1997.
Nº 34 - Área PA-02 Ipitinga - Pará/Amapá, 1997.
Nº 35 - Área PA-17 Caracol - Pará, 1997.
Nº 36 - Área PA-18 Vila Riozinho - Pará, 1997.
Nº 37 - Área PA-19 Rio Novo - Pará, 1997.
Nº 38 - Área PA-08 São Félix - Pará, 1997.
Nº 39 - Área PA-21 Marupá - Pará, 1998.
Nº 40 - Área PA-04 Três Palmeiras/Volta Grande - Pará, 1998.
Nº 41 - Área TO-01 Almas/Natividade - Tocantins, 1998.
Nº 42 - Área RN-01 São Fernando/Ponta da Serra/São Francisco - Rio Grande do Norte/Paraíba, 1998.
Nº 43 - Área GO-06 Cavalcante - Goiás/Tocantins, 1998.
Nº 44 - Área MT-02 Alta Floresta - Mato Grosso/Pará, 1998.
Nº 45 - Área MT-03 Serra de São Vicente - Mato Grosso, 1998.
Nº 46 - Área AM-04 Rio Traíra - Amazonas, 1998.
Nº 47 - Área GO-10 Pirenópolis/Jaraguá - Goiás, 1998.
Nº 48 - Área CE-01 Reriutaba/Ipu - Ceará, 1998.
Nº 49 - Área PA-06 Manelão - Pará, 1998.
Nº 50 - Área PA-20 Jacareacanga - Pará/Amazonas, 1998.
Nº 51 - Área MG-07 Paracatu - Minas Gerais, 1998.
Nº 52 - Área RO-05 Colorado - Rondônia/Mato Grosso, 1998.
Nº 53 - Área TO-02 Brejinho de Nazaré - Tocantins, 1998.
Nº 54 - Área RO-04 Porto Esperança - Rondônia, 1998.
Nº 55 - Área RO-03 Parecis - Rondônia, 1998.
Nº 56 - Área RR-03 Uraricoera - Roraima, 1998.
Nº 57 - Área GO-04 Goiás - Goiás, 1998.
Nº 58 - Área MA-01 Belt do Gurupi - Maranhão/Pará, 1998.
Nº 59 - Área MA-02 Aurizona/Carutapera - Maranhão/Pará, 1998.
Nº 60 - Área PE-01 Serrita - Pernambuco, 1998.
Nº 61 - Área PR-01 Curitiba/Morretes - Paraná, 1998.
Nº 62 - Área MG-01 Pitangui - Minas Gerais, 1998.
Nº 63 - Área PA-12 Rio Fresco - Pará, 1998.
Nº 64 - Área PA-13 Madalena - Pará, 1998.
Nº 65 - Área AM-01 Parauari - Amazonas/Pará, 1999.
Nº 66 - Área BA-01 Itapicuru Norte - Bahia, 1999.
Nº 67 - Área RR-04 Quino Maú - Roraima, 1999.
Nº 68 - Área RR-05 Apiaú - Roraima, 1999.
Nº 69 - Área AM 05 Gavião/Dez Dias - Amazonas, 1999.

Nº 70 - Área MT-07 Araés/Nova Xavantina - Mato Grosso, 2000.
Nº 71 - Área AM-02 Cauaburi - Amazonas, 2000.
Nº 72 - Área RR-02 Mucajaí - Roraima, 2000.
Nº 73 - Área RR-06 Rio Amajari - Roraima, 2000.
Nº 74 - Área BA-03 Jacobina Norte - Bahia, 2000.
Nº 75 - Área MG-04 Serro - Minas Gerais, 2000.
Nº 76 - Área BA-02 Itapicuru Sul - Bahia, 2000.
Nº 77 - Área MG-03 Conselheiro Lafaiete - Minas Gerais, 2000.
Nº 78 - Área MG-05 Itabira - Minas Gerais, 2000.
Nº 79 - Área MG-09 Riacho dos Machados - Minas Gerais, 2000.
Nº 80 - Área BA-14 Correntina - Bahia, 2000.
Nº 81 - Área BA-12 Boquira Sul - Bahia, 2000.
Nº 82 - Área BA-13 Gentio do Ouro - Bahia, 2000.
Nº 83 - Área BA-08 Rio de Contas/Ibitiara Sul - Bahia, 2000.
Nº 84 - Área MT-05 Cuiabá/Poconé - Mato Grosso, 2000.
Nº 85 - Área MT-04 Jauru/Barra dos Bugres - Mato Grosso, 2000.

SÉRIE OURO - INFORMES GERAIS

Nº 01 - Mapa de Reservas e Produção de Ouro no Brasil (Escala 1:7.000.000), 1996.
Nº 02 - Programa Nacional de Prospecção de Ouro - Natureza e Métodos, 1998.
Nº 03 - Mapa de Reservas e Produção de Ouro no Brasil (Escala 1:7.000.000), 1998.
Nº 04 - Gold Prospecting National Program - Subject and Methodology, 1998.
Nº 05 - Mineralizações Auríferas da Região de Cachoeira de Minas – Municípios de Manairá e Princesa Isabel - Paraíba, 1998.
Nº 06 - Mapa de Reservas e Produção de Ouro no Brasil (Escala 1:7.000.000), 2000.
Nº 07 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Caçapava do Sul, Subárea Minas do Camaquã - Rio Grande do Sul, 2000.
Nº 08 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Caçapava do Sul, Subárea Ibaré – Rio Grande do Sul, 2000.
Nº 09 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Caçapava do Sul, Subárea Caçapava do Sul - Rio Grande do Sul, 2000.
Nº 10 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Caçapava do Sul, Subárea Passo do Salsinho - Rio Grande do Sul, 2000.
Nº 11 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Caçapava do Sul, Subárea Marmeleiro - Rio Grande do Sul, 2000.
Nº 12 - Map of Gold Production and Reserves of Brazil (1:7.000.000 Scale), 2000
Nº 13 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Caçapava do Sul, Subárea Cambaizinho - Rio Grande do Sul, 2001.
Nº 14 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Caçapava do Sul, Subárea Passo do Ivo - Rio Grande do Sul, 2001.
Nº 15 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Caçapava do Sul, Subárea Batovi – Rio Grande do Sul, 2001.
Nº 16 - Projeto Metalogenia da Província Aurífera Juruena-Teles Pires, Mato Grosso – Goiânia, 2008.
Nº 17 - Metalogenia do Distrito Aurífero do Rio Juma, Nova Aripuanã, Manaus, 2010.
Nº 18 – Províncias e Distritos Auríferos do Brasil, Goiânia, 2022.

SÉRIE INSUMOS MINERAIS PARA AGRICULTURA

Nº 01 - Mapa Síntese do Setor de Fertilizantes Minerais (NPK) no Brasil (Escala 1:7.000.000), 1997.
Nº 02 - Fosfato da Serra da Bodoquena - Mato Grosso do Sul, 2000.
Nº 03 - Estudo do Mercado de Calcário para Fins Agrícolas no Estado de Pernambuco, 2000.
Nº 04 - Mapa de Insumos Minerais para Agricultura e Áreas Potenciais nos Estados de Pernambuco, Alagoas, Paraíba e Rio Grande do Norte, 2001.
Nº 05 - Estudo dos Níveis de Necessidade de Calcário nos Estados de Pernambuco, Alagoas, Paraíba e Rio Grande do Norte, 2001.

- Nº 06 - Síntese das Necessidades de Calcário para os Solos dos Estados da Bahia e Sergipe, 2001.
- Nº 07 - Mapa de Insumos Minerais para Agricultura e Áreas Potenciais de Rondônia, 2001.
- Nº 08 - Mapas de Insumos Minerais para Agricultura nos Estados de Amazonas e Roraima, 2001.
- Nº 09 - Mapa-Síntese de Jazimentos Minerais Carbonatados dos Estados da Bahia e Sergipe, 2001.
- Nº 10 - Insumos Minerais para Agricultura e Áreas Potenciais nos Estados do Pará e Amapá, 2001.
- Nº 11 - Síntese dos Jazimentos, Áreas Potenciais e Mercado de Insumos Minerais para Agricultura no Estado da Bahia, 2001.
- Nº 12 - Avaliação de Rochas Calcárias e Fosfatadas para Insumos Agrícolas do Estado de Mato Grosso, 2008.
- Nº 13 - Projeto Fosfato Brasil – Parte I, Salvador, 2011.
- Nº 14 - Projeto Fosfato Brasil – Estado de Mato Grosso – Áreas Araras/Serra do Caeté e Planalto da Serra, 2011.
- Nº 15 - Projeto Mineralizações Associadas à Plataforma Bambuí no Sudeste do Estado do Tocantins (TO) – Goiânia, 2016.
- Nº 16 – Rochas Carbonáticas do Estado de Rondônia, Porto Velho, 2015.
- Nº 17 – Projeto Fosfato Brasil – Parte II, Salvador, 2016.
- Nº 18 – Geoquímica Orientativa para Pesquisa de Fosfato no Brasil, Salvador, 2016.
- Nº 19 – Projeto Agrominerais da Região de Irecê -Jaguarari, Salvador, 2016.
- Nº 20 – Avaliação do Potencial do Fosfato no Brasil – Fase III - Bacia dos Parecis, Porto Velho, 2017.
- Nº 21 – Avaliação do Potencial do Fosfato no Brasil – Fase III: Bacia Sergipe-Alagoas, Sub-bacia Sergipe, Recife, 2017.
- Nº 22 – Avaliação do Potencial do Fosfato no Brasil – Fase III: Centro-leste de Santa Catarina, Salvador, 2018.
- Nº 23 – Avaliação do Potencial do Potássio no Brasil: Bacia do Amazonas, setor centro-oeste, Estados do Amazonas e Pará, Manaus, 2020.
- Nº 24 – Investigação de Anomalias Geofísicas no Escudo Sul-Rio-Grandense com Enfoque em Insumos Agrícolas, Porto Alegre, 2020.
- Nº 25 – Avaliação do Potencial do Fosfato no Brasil: Borda Norte da Bacia do Amazonas, região de Monte Alegre e Monte Dourado, Estado do Pará, Belém, 2020.
- Nº 26 – Avaliação do Potencial Agromineral do Brasil: Grupo Serra Geral da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021
- Nº 27 – Avaliação do Potencial do Fosfato no Brasil: Bacia Potiguar – Um estudo a partir de testemunhos de sondagem, Estado do Rio Grande do Norte, Salvador, 2021

SÉRIE PEDRAS PRECIOSAS

- Nº 01 - Mapa Gemológico da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, 1997.
- Nº 02 - Mapa Gemológico da Região Lajeado/Soledade/Salto do Jacuí - Rio Grande do Sul, 1998
- Nº 03 - Mapa Gemológico da Região de Ametista do Sul - Rio Grande do Sul, 1998.
- Nº 04 - Recursos Gemológicos dos Estados do Piauí e Maranhão, 1998.
- Nº 05 - Mapa Gemológico do Estado do Rio Grande do Sul, 2000.
- Nº 06 - Mapa Gemológico do Estado de Santa Catarina, 2000.
- Nº 07 - Aspectos da Geologia dos Pólos Diamantíferos de Rondônia e Mato Grosso – O Fórum de Juína – Projeto Diamante, Goiânia, 2010.
- Nº 08 - Projeto Avaliação dos Depósitos de Opalas de Pedro II – Estado do Piauí, Teresina, 2015.
- Nº 09 - Aluviões Diamantíferos da Foz dos Rios Jequitinhonha e Pardo - Fase I – Estado da Bahia, Salvador, 2016.
- Nº 10 - Áreas Kimberlíticas e Diamantíferas do Estado de Minas Gerais, Brasília, 2017
- Nº 11 - Áreas Kimberlíticas e Diamantíferas do Estado de Rondônia, Brasília, 2017
- Nº 12 - Áreas Kimberlíticas e Diamantíferas do Estado do Mato Grosso, Brasília, 2017
- Nº 13 - Áreas Kimberlíticas e Diamantíferas do Estado da Bahia, Brasília, 2017

SÉRIE OPORTUNIDADES MINERAIS – EXAME ATUALIZADO DE PROJETO

- Nº 01 - Níquel de Santa Fé - Estado de Goiás, 2000.
- Nº 02 - Níquel do Morro do Engenho - Estado de Goiás, 2000.
- Nº 03 - Cobre de Bom Jardim - Estado de Goiás, 2000.
- Nº 04 - Ouro no Vale do Ribeira - Estado de São Paulo, 1996.
- Nº 05 - Chumbo de Nova Redenção - Estado da Bahia, 2001.

Nº 06 - Turfa de Caçapava - Estado de São Paulo, 1996.
Nº 08 - Ouro de Natividade - Estado do Tocantins, 2000.
Nº 09 - Gipsita do Rio Cupari - Estado do Pará, 2001.
Nº 10 - Zinco, Chumbo e Cobre de Palmeirópolis - Estado de Tocantins, 2000.
Nº 11 - Fosfato de Miriri - Estados de Pernambuco e Paraíba, 2001.
Nº 12 - Turfa da Região de Itapuã - Estado do Rio Grande do Sul, 1998.
Nº 13 - Turfa de Águas Claras - Estado do Rio Grande do Sul, 1998.
Nº 14 - Turfa nos Estados de Alagoas, Paraíba e Rio Grande do Norte, 2001.
Nº 15 - Nióbio de Uaupés - Estado do Amazonas, 1997.
Nº 16 - Diamante do Rio Maú - Estado da Roraima, 1997.
Nº 18 - Turfa de Santo Amaro das Brotas - Estado de Sergipe, 1997.
Nº 19 - Diamante de Santo Inácio - Estado da Bahia, 2001.
Nº 21 - Carvão nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, 1997.
Nº 22 - Coal in the States of Rio Grande do Sul and Santa Catarina, 1999.
Nº 23 - Kaolin Exploration in the Capim River Region - State of Pará - Executive Summary, 2000.
Nº 24 - Turfa de São José dos Campos - Estado de São Paulo, 2002.
Nº 25 - Lead in Nova Redenção - Bahia State, Brazil, 2001.
Nº 26 – Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral, Área Polimetálicos de Palmeirópolis, Estado do Tocantins, Brasília, 2020.
Nº 27 – Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral, Área Carvão Sul Catarinense, Estado de Santa Catarina, Brasília, 2021.
Nº 28 – Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral, Área Fosfato de Miriri, Estado de Pernambuco e Paraíba, Brasília, 2021.
Nº 29 – Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral, Área Carvão Iruí-Butiá, Estado do Rio Grande do Sul, Brasília, 2021.
Nº 30 – Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral, Área Caulim do Rio Capim, Estado do Pará, Brasília, 2021.
Nº 31 – Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral, Área Gipsita do Rio Cupari, Estado do Pará, Brasília, 2022.
Nº 34 – Projeto Reavaliação do Patrimônio Mineral, Área Calcário de Aveiro, Estado do Pará, Brasília, 2022.

SÉRIE DIVERSOS

Nº 01 - Informe de Recursos Minerais - Diretrizes e Especificações - Rio de Janeiro, 1997.
Nº 02 - Argilas Nobres e Zeolitas na Bacia do Parnaíba - Belém, 1997.
Nº 03 - Rochas Ornamentais de Pernambuco - Folha Belém do São Francisco - Escala 1:250.000 - Recife, 2000.
Nº 04 - Substâncias Minerais para Construção Civil na Região Metropolitana de Salvador e Adjacências - Salvador, 2001.
Nº 05 – Terras Indígenas do Noroeste do Amazonas: Geologia, Geoquímica e Cadastramento Mineral na região do Tunuí-Caparro, Estado do Amazonas, Manaus, 2020

SÉRIE RECURSOS MINERAIS MARINHOS

Nº 01 – Potencialidade dos Granulados Marinhos da Plataforma Continental Leste do Ceará – Recife, 2007.
Nº 02 – Potencialidade dos Granulados Marinhos da Plataforma Continental Oeste do Ceará, Recife, 2020.
Nº 03 – Potencialidade dos Granulados Marinhos da Plataforma Continental Rasa de Pernambuco, Recife, 2021.
Nº 04 – Potencialidade dos Granulados Marinhos da Plataforma Continental Oriental do Rio Grande do Norte, Recife, 2021.
Nº 05 – Prospecção e Exploração de Depósitos de Fosforitas Marinhas na Plataforma Continental Jurídica Brasileira (REMPLOC), Rio de Janeiro, 2021.
Nº 06 – Prospecção e Exploração de Sulfetos Polimetálicos Maciços na Cordilheira Mesoatlântica Equatorial, Rio de Janeiro, 2022.

SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS

Nº 01 – Projeto Materiais de Construção na Área Manacapuru-Iranduba-Manaus-Careiro (Domínio Baixo Solimões) – Manaus, 2007.
Nº 02 – Materiais de Construção Civil na região Metropolitana de Salvador – Salvador, 2008.

- Nº 03 – Projeto Materiais de Construção no Domínio Médio Amazonas – Manaus, 2008.
- Nº 04 – Projeto Rochas Ornamentais de Roraima – Manaus, 2009.
- Nº 05 – Projeto Argilas da Bacia Pimenta Bueno – Porto Velho, 2010.
- Nº 06 – Projeto Quartzo Industrial Dueré-Cristalândia – Goiânia, 2010.
- Nº 07 – Materiais de Construção Civil na região Metropolitana de Aracaju – Salvador, 2011.
- Nº 08 – Rochas Ornamentais no Noroeste do Estado do Espírito Santo – Rio de Janeiro, 2012.
- Nº 09 – Projeto Insumos Minerais para a Construção Civil na Região Metropolitana do Recife – Recife, 2012.
- Nº 10 – Materiais de Construção Civil da Folha Porto Velho – Porto Velho, 2013.
- Nº 11 – Polo Cerâmico de Santa Gertrudes – São Paulo, 2014.
- Nº 12 – Projeto Materiais de Construção Civil na Região Metropolitana de Natal – Natal, 2015.
- Nº 13 – Materiais de Construção Civil para Vitória da Conquista, Itabuna-Ilhéus e Feira de Santana – Salvador, 2015.
- Nº 14 – Projeto Materiais de Construção da Região de Marabá e Eldorado dos Carajás – Belém, 2015.
- Nº 15 – Panorama do Setor de Rochas Ornamentais do Estado de Rondônia – Porto Velho, 2015
- Nº 16 – Projeto Materiais de Construção da Região Metropolitana de Goiânia – Goiânia, 2015
- Nº 17 – Projeto Materiais de Construção da Região Metropolitana de Porto Alegre – Porto Alegre, 2016
- Nº 18 – Projeto Materiais de Construção da Região Metropolitana de Fortaleza – Fortaleza, 2016
- Nº 19 – Projeto Materiais de Construção Civil da Região da Grande Florianópolis – Porto Alegre, 2016
- Nº 20 – Projeto materiais de construção da região de Macapá - Estado do Amapá – Belém, 2016.
- Nº 21 – Projeto Materiais De Construção da Região Metropolitana de Curitiba - Estado do Paraná, 2016.
- Nº 22 – Projeto Materiais de Construção da Região Metropolitana de São Luís e Entorno - Estado do Maranhão, 2017.
- Nº 23 – Panorama do Segmento de Rochas Ornamentais do Estado da Bahia, Salvador, 2019
- Nº 24 – Materiais de Construção da Região Metropolitana de São Paulo - Estado de São Paulo, São Paulo, 2019.
- Nº 25 – Gipsita no sudoeste da Bacia sedimentar do Araripe - Estado de Pernambuco, Recife, 2019.
- Nº 26 – Projeto Materiais de Construção da Região Metropolitana de Belo Horizonte - Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.
- Nº 27 – Rochas Ornamentais do Estado do Rio Grande do Norte: Mapa de Potencialidades, Natal, 2020.
- Nº 28 – Materiais de Construção da Região Metropolitana de Palmas - Estado do Tocantins, Goiânia, 2020.
- Nº 29 – Estudos dos granitoides da região Nordeste do Pará para produção de brita, Belém, 2020.
- Nº 30 – Materiais de Construção da Região de Capitão Poço-Ourém - Estado do Pará, Belém, 2020.
- Nº 31 - Calcários da Bahia: Faixas Rio Pardo e Orolândia-Campo Formoso, Salvador, 2021
- Nº 32 – Rochas Ornamentais do Espírito Santo: Mapa de Potencialidade, Belo Horizonte, 2021
- Nº 33 - Argilas dos vales dos rios Doce e Jequitinhonha (MG), Belo Horizonte, 2021
- Nº 34 - Materiais de Construção Civil da Região Rio Grande-Pelotas (RS), Porto Alegre, 2021
- Nº 35 - Materiais de Construção Civil da Região Metropolitana de João Pessoa (PB), Recife, 2021

SÉRIE ATLAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS

- Atlas de Rochas Ornamentais de Roraima, Manaus, 2009
- Atlas de Rochas Ornamentais da Amazônia Brasileira, São Paulo, 2011
- Atlas de Rochas Ornamentais do Espírito Santo, Brasília, 2013
- Atlas of Dimension Stones of the Espírito Santo State, Brasília, 2015
- Atlas de Rochas Ornamentais dos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas, Recife, 2017
- Atlas de Rochas Ornamentais da Bahia, Salvador, 2022
- Atlas of Dimension Stones of the Bahia State, Salvador, 2022

SÉRIE METAIS - INFORMES GERAIS

- Nº 01 – Projeto BANEIO – Bacia do Camaquã – Metalogenia das Bacias Neoproterozóico-eopaleozóicas do Sul do Brasil, Porto Alegre, 2008
- Nº 02 – Mapeamento Geoquímico do Quadrilátero Ferrífero e seu Entorno - MG – Rio de Janeiro, 2014.
- Nº 03 – Projeto BANEIO – Bacias do Itajaí, de Campo Alegre e Corupá – Metalogenia das Bacias Neoproterozoico-eopaleozoicas do Sul do Brasil, Porto Alegre, 2015

SÉRIE PROVÍNCIAS MINERAIS DO BRASIL

- Nº 01 – Áreas de Relevante Interesse Mineral - ARIM, Brasília, 2015

- Nº 02 – Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Área Tróia-Pedra Branca, Estado do Ceará, Fortaleza, 2015
- Nº 03 – Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Área Sudeste do Tapajós, Estado do Pará, Brasília, 2015.
- Nº 04 – Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Província Aurífera Juruena-Teles Pires-Aripuanã – Geologia e Recursos Minerais da Folha Ilha Porto Escondido – SC.21-V-C-III, Brasília, 2015.
- Nº 05 – Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Distrito Zíncífero de Vazante – MG, Brasília, 2015.
- Nº 06 – Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Rochas Alcalinas da Porção Meridional do Cinturão Ribeira. Estados de São Paulo e Paraná, Brasília, 2015.
- Nº 07 – Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Área Sudeste de Rondônia, Brasília, 2016.
- Nº 08 – Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Área Seridó-Leste, extremo nordeste da Província Borborema (RN-PB), Brasília, 2016.
- Nº 09 – Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Porção sul da Bacia do Paraná, RS, 2017
- Nº 10 – Metalogenia das Províncias Minerais do Brasil: Área Eldorado do Juma, Estado do Amazonas, AM, 2019
- Nº 11 – Áreas de Relevante Interesse Mineral: Cinturão Gurupi, Estados do Pará e Maranhão, Brasília, 2017.
- Nº 12 – Áreas de relevante interesse mineral: Reserva Nacional do Cobre e Associados, Estados do Pará e Amapá, Belém, 2017.
- Nº 13 – Áreas de Relevante Interesse Mineral – Vale do Ribeira: Mineralizações Polimetálicas (Pb, Ag, Zn, Cu e Au – “Tipo Panelas”) em zonas de cisalhamento Rúptil, Cinturão Ribeira Meridional, SP-PR, São Paulo, 2017.
- Nº 14 – Área de Relevante Interesse Mineral - ARIM: Distrito Mineral de Paracatu-Unai (Zn-Pb-Cu), MG, 2018
- Nº 15 – Área de Relevante Interesse Mineral Integração Geológica-Geofísica e Recursos Minerais do Cráton Luis Alves, RS, 2018.
- Nº 16 – Áreas de Relevante Interesse Mineral - Província Mineral de Carajás, PA: Estratigrafia e análise do Minério de Mn de Carajás - áreas Azul, Sereno, Buritirama e Antônio Vicente, PA, 2018.
- Nº 17 – Áreas de Relevante Interesse Mineral Troia-Pedra Branca - Geologia e mineralização aurífera da sequência metavulcanossedimentar da Serra das Pipocas, Maciço de Troia, Ceará, Estado do Ceará, CE, 2018
- Nº 18 – Áreas de Relevante Interesse Mineral – Reavaliação da Província Estanífera de Rondônia, RO, 2019.
- Nº 19 – Áreas de relevante interesse mineral – Evolução Crustal e Metalogenia da Faixa Nova Brasilândia, RO, 2019.
- Nº 20 – Áreas de Relevante Interesse Mineral - Batólito Pelotas–Terreno Tijucas, Estado do Rio Grande do Sul, RS, 2019.
- Nº 21 – Áreas de Relevante Interesse Mineral – Vale do Ribeira: mineralizações polimetálicas (Pb-Zn-Ag-Cu-Ba) associadas a Formação Perau, Cinturão Ribeira Meridional, Estado do Paraná, São Paulo, 2019.
- Nº 22 – Áreas de relevante interesse mineral – Evolução crustal e metalogenia da Província Mineral Juruena–Teles-Pires, MT, Goiânia, 2019.
- Nº 23 – Áreas de relevante interesse mineral – Projeto evolução crustal e metalogenia da Faixa Brasília setor centro-norte, GO-TO, Goiânia, 2019
- Nº 24 – Avaliação do Potencial Mineral do NW do Ceará, CE, Fortaleza, 2019.
- Nº 25 – Avaliação do Potencial Mineral das faixas Marginais da borda NW do Craton do São Francisco (Área Riacho do Pontal), PI, Teresina, 2019.
- Nº 26 – Avaliação do Potencial Mineral das faixas Marginais da borda NW do Craton do São Francisco (Área Rio Preto), PI, Teresina, 2019.
- Nº 27 – Áreas de Relevante Interesse Mineral - Avaliação do Potencial Mineral do Vale do Ribeira (Área Castro), SP, São Paulo, 2019.
- Nº 28 - Áreas de Relevante Interesse Mineral - Evolução crustal e Metalogenia da região de Aripuanã, MT, Goiânia, 2020.
- Nº 29 – Modelo Prospectivo para Ametista e Ágata na Fronteira Sudoeste do Rio Grande do Sul, RS, Porto Alegre, 2020.
- Nº 30 - Áreas de Relevante Interesse Mineral - Reavaliação das sequências metavulcanossedimentares a Sudoeste do Quadrilátero Ferrífero – Área de Nazareno, Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.
- Nº 31 - Áreas de Relevante Interesse Mineral – Integração Geológica e Avaliação do Potencial Metalogenético da Serra de Jacobina e dos Greenstone Belt Mundo Novo, Estado da Bahia, Salvador, 2021
- Nº 32 - Áreas de Relevante Interesse Mineral – Integração Geológica e Avaliação do Potencial Metalogenético das Sequências Metavulcanossedimentares tipo Greenstone Belts e/ou similares da região de Remanso-Sobradinho, Estado da Bahia, Salvador, 2021

Nº 33 - Áreas de Relevante Interesse Mineral –Província Mineral de Carajás, Controles Críticos das Mineralizações de Cobre e Ouro do Lineamento Cinzento, Estado do Pará, Belém, 2021

Nº 34 - Áreas de Relevante Interesse Mineral – Evolução Crustal e Metalogenia do Sudeste do Amazonas, Estado do Amazonas, Manaus, 2021

Nº 36- Áreas de Relevante Interesse Mineral – Avaliação do Potencial Mineral da região de São Raimundo Nonato, Estado de Pernambuco, Recife, 2022

Nº 37 - Áreas de Relevante Interesse Mineral – Quadrilátero Ferrífero, Setor Central: Mapa de Favorabilidade para Ouro Orogênico, Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022

SÉRIE MINERAIS ESTRATÉGICOS

Nº 01 – Diretrizes para Avaliação do Potencial do Potássio, Fosfato, Terras Raras e Lítio no Brasil, Brasília, 2015.

Nº 02 – Avaliação do Potencial de Terras Raras no Brasil, Brasília, 2015.

Nº 03 – Projeto Avaliação do Potencial do Lítio no Brasil – Área do Médio Rio Jequitinhonha, Nordeste de Minas Gerais, Brasília, 2016.

Nº 04 – Projeto Avaliação do Potencial de Terras Raras No Brasil - Área Morro dos Seis Lagos, Noroeste do Amazonas, Brasília, 2019.

Nº 05 – Projeto Avaliação do Potencial da Grafita no Brasil – Fase I, São Paulo, 2020.

SÉRIE GEOQUÍMICA PROSPECTIVA

Nº 01 – Informe Geoquímico Bacia do Araripe, Estados de Pernambuco, Piauí e Ceará, Recife, 2018.

Nº 02 – Informe Geoquímico das Folhas Quixadá-Itapiúna, Estado do Ceará, Fortaleza, 2020.

Nº 03 – Informe Geoquímico São José do Campestre, Província Borborema, Estado do Rio Grande do Norte, Recife, 2021.

SÉRIE MAPEAMENTO GEOQUÍMICO

Nº 01 – Levantamento geoquímico do Escudo do Rio Grande do Sul, Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

O SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM E OS OBJETIVOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - ODS

Em setembro de 2015 líderes mundiais reuniram-se na sede da ONU, em Nova York, e formularam um conjunto de objetivos e metas universais com intuito de garantir o desenvolvimento sustentável nas dimensões econômica, social e ambiental. Esta ação resultou na *Agenda 2030*, a qual contém um conjunto de *17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS*.

A Agenda 2030 é um plano de ação para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade. Busca fortalecer a paz universal, e considera que a erradicação da pobreza em todas as suas formas e dimensões é o maior desafio global, e um requisito indispensável para o desenvolvimento sustentável.

Os 17 ODS incluem uma ambiciosa lista 169 metas para todos os países e todas as partes interessadas, atuando em parceria colaborativa, a serem cumpridas até 2030.



O **Serviço Geológico do Brasil – CPRM** atua em diversas áreas intrínsecas às Geociências, que podem ser agrupadas em quatro grandes linhas de atuação:

- Geologia
- Recursos Minerais;
- Hidrologia; e
- Gestão Territorial.

Todas as áreas de atuação do SGB-CPRM, sejam nas áreas das Geociências ou nos serviços compartilhados, ou ainda em seus programas internos, devem ter conexão com os ODS, evidenciando o comprometimento de nossa instituição com a sustentabilidade, com a humanidade e com o futuro do planeta.

A tabela a seguir relaciona as áreas de atuação do SGB-CPRM com os ODS.

Áreas de atuação do Serviço Geológico do Brasil – CPRM e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS

ÁREA DE ATUAÇÃO **GEOCIÊNCIAS**

LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS



LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS



AVALIAÇÃO DOS RECURSOS MINERAIS DO BRASIL



LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS MARINHOS



LEVANTAMENTOS GEOQUÍMICOS



LEVANTAMENTOS BÁSICOS DE RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS



SISTEMAS DE ALERTA HIDROLÓGICO



AGROGEOLOGIA



LEVANTAMENTOS BÁSICOS DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS



RISCO GEOLÓGICO



GEODIVERSIDADE



PATRIMÔNIO GEOLÓGICO E GEOPARQUES



ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO



GEOLOGIA MÉDICA



RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO



ÁREA DE ATUAÇÃO **SERVIÇOS COMPARTILHADOS**

GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO



TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO



LABORATÓRIO DE ANÁLISE MINERAIS



MUSEU DE CIÊNCIAS DA TERRA



PALEONTOLOGIA



PARCERIAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS



REDE DE BIBLIOTECAS



REDE DE LITOTECAS



GOVERNANÇA



ÁREA DE ATUAÇÃO **PROGRAMAS INTERNOS**

SUSTENTABILIDADE



PRÓ-EQUIDADE



COMITÊ DE ÉTICA



ISBN**978-65-5664-329-8**

PROGRAMA GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

AValiação DOS RECURSOS MINERAIS DO BRASIL

SÉRIE DIVERSOS - Nº 06

INFORME DE RECURSOS MINERAIS DO ESTADO DE MINAS GERAIS

O Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM), empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia, tem como missão gerar e disseminar o conhecimento geocientífico com excelência. No que diz respeito à área de geologia e recursos minerais, realiza sua missão, sobretudo, por meio do desenvolvimento de projetos em linhas de atuação, que incluem o mapeamento geológico sistemático, levantamentos geofísicos e geoquímicos e o estudo de avaliação do potencial de recursos minerais em todas as regiões do país.

Desta forma, o SGB-CPRM produz e gerencia acervos expressivos de dados e informações geológicas e de recursos minerais em todo território nacional, o que possibilita a realização de projetos de integração regional que apresentam o estado da arte do conhecimento geocientífico e do potencial mineral das áreas enfocadas.

Os produtos obtidos através dos projetos de integração geológica regional, que incluem mapas, relatórios e conjuntos de bases de dados, constituem ferramentas importantes para a elaboração de estratégias e ações desenvolvidas pelos setores público e privado, além de serem fundamentais para as áreas de pesquisa e ensino em Geociências.

Diante dessas premissas, o Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM) tem a grata satisfação de disponibilizar à comunidade técnico-científica, gestores públicos, empresários do setor mineral e à sociedade em geral os resultados alcançados pelo Projeto do Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Minas Gerais, vinculado ao Programa Geologia, Mineração e Transformação Mineral, e à ação Levantamentos Geológicos e Integração Geológica Regional, sob coordenação dos departamentos de Geologia (DEGEO) e de Recursos Minerais (DEREM), da Diretoria de Geologia e Recursos Minerais (DGM).

Esse projeto foi executado pela Superintendência Regional de Belo Horizonte do SGB-CPRM e contempla a atualização do projeto Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Minas Gerais (2014), realizado em parceria com a Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (Codemge), do Governo de Minas Gerais. Seu principal objetivo foi compilar, consistir e sistematizar informações das principais províncias, distritos e depósitos minerais do estado de Minas Gerais, destacando importantes recursos minerais metálicos, não metálicos e as águas mineral, termal e de mesa. O resultado final é um compêndio que apresenta as principais áreas de relevante interesse mineral do estado, dados históricos e sua contextualização geológica. Os dados levantados e consistidos neste projeto são sintetizados neste relatório, e integrados em mapas e bases de dados disponíveis para download no banco de dados corporativo do SGB-CPRM, o GeoSGB (<http://geosgb.cprm.gov.br>), e no Repositório Institucional de Geociências (RIGeo, <http://rigeo.cprm.gov.br/>).

Com mais este lançamento, o Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM) dá continuidade à política governamental de atualizar o conhecimento geológico do país, através dos levantamentos geológicos básicos, geoquímicos e geofísicos, e da avaliação integrada das informações, fundamental para o desenvolvimento regional e importante subsídio à formulação de políticas públicas e de apoio à tomada de decisão de investimentos.

Sede

Setor Bancário Norte - SBN - Quadra 02, Asa Norte
Bloco H - 5º andar - Edifício Central Brasília
Brasília - DF - CEP: 70040 - 904
Tel: 61 2108-8400

Escritório Rio de Janeiro

Av. Pasteur, 404 - Urca
Rio de Janeiro - RJ - CEP: 22290-255
Tel: 21 2295-5337 - 21 2295-5382

Diretoria de Geologia e Recursos Minerais

Tel: 21 2546-0212 - 61 3223-1166

Departamento de Geologia

Tel: 91 3182-1326

Departamento de Recursos Minerais

Tel: 21 2295-4992

Diretoria de Infraestrutura Geocientífica

Tel: 21 2295-5837 - 61 2108-8457

Núcleo de Comunicação

Tel: 61 2108-8468
E-mail: comunicacao@sgb.gov.br

Ouvidoria

Tel: 21 2541-6344
E-mail: ouvidoria@sgb.gov.br

Serviço de Atendimento ao Asuário - SEUS

Tel: 21 2295-5997
E-mail: seus@sgb.gov.br

WWW.SGB.GOV.BR



SECRETARIA DE
GEOLOGIA, MINERAÇÃO
E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL