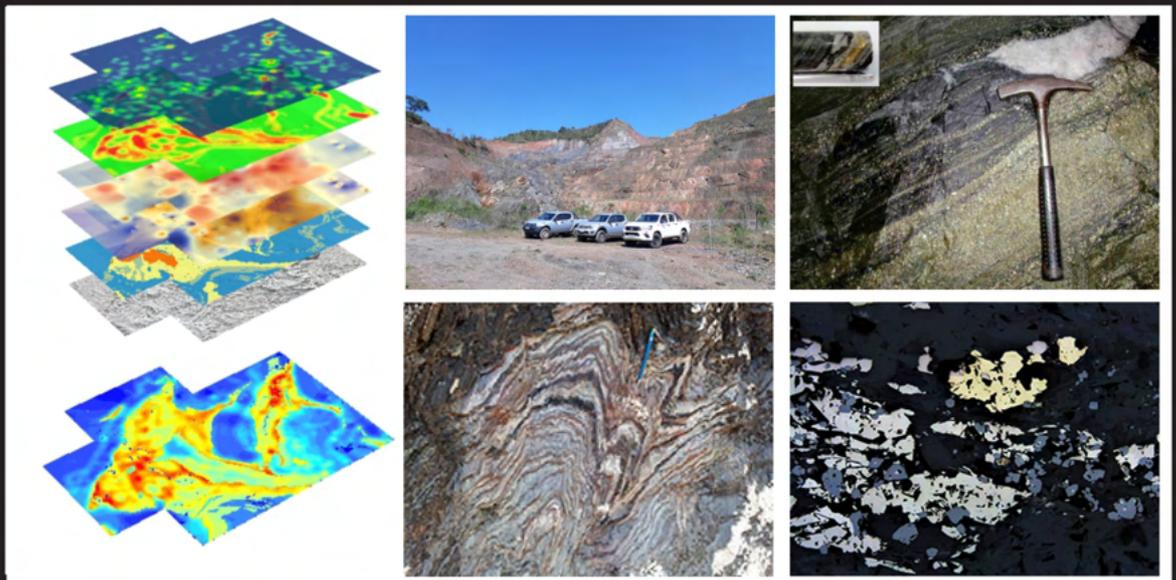


PROGRAMA GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

ÁREAS DE RELEVANTE INTERESSE MINERAL – QUADRILÁTERO FERRÍFERO, SETOR CENTRAL: MAPA DE FAVORABILIDADE PARA OURO OROGÊNICO



INFORME DE RECURSOS MINERAIS

Série Províncias Minerais do Brasil, nº 37

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Adolfo Sachsida

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Líliá Mascarenhas Sant'agostino (interino)

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor Presidente

Pedro Paulo Dias Mesquita

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Márcio José Remédio

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 do Departamento de Geologia

Valter Rodrigues Santos Sobrinho

Chefe da Divisão de Geologia Básica

Patrick Araujo dos Santos

Chefe da Divisão de Sensoriamento Remoto e Geofísica

Luiz Gustavo Rodrigues Pinto

Chefe da Divisão de Minerais e Rochas Industriais

Michel Marques Godoy

Chefe da Divisão de Projetos Especiais e Minerais Estratégicos

Ioná de Abreu Cunha

Chefe da Divisão de Geologia Econômica

Guilherme Ferreira da Silva

Chefe da Divisão de Economia Mineral e Geologia Exploratória

Rubem Sardou Filho

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 do Divisão de Documentação Técnica

Roberta Pereira da Silva de Paula

Chefe do Departamento de Relações Institucionais e Divulgação

Patrícia Düringer Jacques

Chefe do Núcleo de Comunicação

Heber Vieira de Oliveira

Chefe da Divisão de Editoração Geral

Lucas Victor de Alcântara Estevão

Chefe da Divisão de Marketing e Divulgação

David Teles Ferreira

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELO HORIZONTE

Superintendente Regional

Marlon Marques Coutinho

Gerente de Geologia e Recursos Minerais

Marcelo de Souza Marinho

Responsável Técnico do Projeto

Lila Costa Queiroz

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

ÁREAS DE RELEVANTE INTERESSE MINERAL (ARIM) QUADRILÁTERO FERRÍFERO, SETOR CENTRAL: MAPA DE FAVORABILIDADE PARA OURO OROGÊNICO

ORGANIZADORES

Lila Costa Queiroz
Joanna Chaves Souto Araújo
Raianny Carolini Ramos Ferreira
Camila Franco Basto
Frederico Moreira Freitas
Eduardo Duarte Marques

INFORME DE RECURSOS MINERAIS
Série Províncias Minerais do Brasil, nº 37



Belo Horizonte
2022

REALIZAÇÃO

Superintendência Regional de Belo Horizonte
Gerência de Geologia e Recursos Minerais de Belo Horizonte
Divisão de Geologia Econômica

ORGANIZAÇÃO

Lila Costa Queiroz
Joanna Chaves Souto Araújo
Raianny Carolini Ramos Ferreira
Camila Franco Basto
Frederico Moreira Freitas
Eduardo Duarte Marques

TEXTO EXPLICATIVO

1. Introdução

Lila Costa Queiroz
Raianny Carolini Ramos Ferreira
Joanna Chaves Souto Araújo

2. Contexto Tectonoestratigráfico Regional

Raianny Carolini Ramos Ferreira
Camila Franco Basto
Joanna Chaves Souto Araújo
Frederico Moreira Freitas

3. Geologia e Metalogênese do Ouro

Camila Franco Basto
Raianny Carolini Ramos Ferreira
Joanna Chaves Souto Araújo
Aurélio da Silva Souza

4. Mapa de Favorabilidade Mineral para o QF Central: Integração de Dados e Geração de Alvos

Lila Costa Queiroz
Eduardo Duarte Marques
Frederico Moreira Freitas
Raianny Carolini Ramos Ferreira
Joanna Chaves Souto Araújo
Camila Franco Basto
Aurélio da Silva Souza

Referências

Serviço Geológico do Brasil – CPRM

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

SIG GEOLÓGICO

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

COLABORADORES

Marcelo de Souza Marinho (SUREG-BH)
Felipe Mattos Tavares (DIGECO)
Rafael Bittencourt Lima (DIGECO)
Júlio Cesar Lombello (SUREG-BH)
Márcio Antônio da Silva (SUREG-BH)

APOIO TÉCNICO

LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS

Nicola Signorelli
José Heleno Ribeiro
Manoel Pedro Tuller
José Adilson Dias Cavalcanti
Joanna Chaves Souto Araújo
Frederico Moreira Freitas
Raianny Carolini Ramos Ferreira

GEOFÍSICA E SENSORIAMENTO REMOTO

Antonino Juarez Borges (*in memoriam*)
Diego Guilherme da Costa Gomes
Marco Antônio Couto Jr.

GEOCRONOLOGIA

Joana Reis Magalhães

ESTAGIÁRIOS

Isabela Santhiago Soares de Oliveira (UFMG)
Wilker Soares Silva (UFOP)

PROJETO GRÁFICO/EDITORAÇÃO

Capa

Washington José Ferreira Santos
Lucas Victor de Alcântara Estevão

Miolo (DIEDIG)

Andréia Amado Continentino
Agmar Alves Lopes

Diagramação (GERINF/BH)

Patrícia Silva Araújo Dias

Revisão de texto

Irinéia Barbosa da Silva

NORMALIZAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

Maria Madalena Costa Ferreira

REVISÃO FINAL

Evandro Luiz Klein
Sulsiene Machado de Souza Gaia

FOTOS DA CAPA

Da esquerda para a direita:

1. Empilhamento das principais camadas utilizadas na modelagem prospectiva, resultando no Mapa de Favorabilidade para Ouro Orogênico do Quadrilátero Ferrífero Central (Figura de Lila Queiroz)
2. Cava a céu aberto inativa da Mina Lamego (Foto de Paulo Amorim Dias)
3. Sulfeto maciço em FFB mineralizada. Em detalhe, furo de sondagem com ouro livre em veio de quartzo. Mina Cuiabá. (Cortesia de Rodrigo Martins)
4. FFB dobrada na cava a céu aberto inativa RG06 da mina Roça Grande (Foto de Paulo Amorim Dias).
5. Fotomicrografia de FFB da Mina Lamego, com substituição de magnetita por sulfeto (pirrotita, piritita). (Foto de Joanna Araújo)

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Q 3 q Quadrilátero ferrífero, setor central: mapa de favorabilidade para ouro orogênico. / Organizadores Lila Costa Queiroz, Joanna Chaves Souto Araújo, Raianny Carolini Ramos Ferreira, Camila Franco Basto, Frederico Moreira Freitas, Eduardo Duarte Marques. – Belo Horizonte: CPRM, 2022.
1 recurso eletrônico: PDF.

Conteúdo: Coleção Informe de Recursos Minerais – ARIM.
Série Províncias Minerais do Brasil, nº 37.
ISBN: 978-65-5664-238-3

1. Geologia de Minas Gerais . 2. Recursos Minerais. I. Queiroz, Lila Costa (Org.) II. Araújo, Joanna Chaves Souto (Org.) III. Ferreira, Raianny Caroline Ramos (Org.) IV. Basto, Camila Franco (Org.) V- Freitas, Frederico Moreira (Org.) VI. Marques, Eduardo Duarte (Org.)

CDU – 531(815.1)

Ficha Catalográfica elaborada pela bibliotecária Maria Madalena Costa Ferreira – CRB-6/1393

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte.

APRESENTAÇÃO

O Ministério de Minas e Energia e a Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, por intermédio do Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM), tem a satisfação de disponibilizar, à comunidade geocientífica, aos empresários do setor mineral e à sociedade em geral, os resultados obtidos pelo projeto Evolução Crustal e Metalogenia do Setor Central do Quadrilátero Ferrífero, por meio do Informe de Recursos Minerais – ARIM Quadrilátero Ferrífero, Setor Central: Mapa de Favorabilidade para Ouro Orogênico.

O projeto está ligado ao empreendimento Áreas de Relevante Interesse mineral (ARIMs), financiado pelo Programa de Aceleração do Crescimento (PACII - MME00970) do governo federal, dentro da ação Avaliação dos Recursos Minerais do Brasil, que integra o Programa Geologia, Mineração e Transformação Mineral. A ação consiste em um conjunto de projetos que visam estimular a pesquisa e a produção mineral brasileira, com foco adicional no suprimento de matérias-primas essenciais para o desenvolvimento da infraestrutura e do agronegócio no Brasil. O projeto foi executado pela Gerência de Geologia e Recursos Minerais da Superintendência Regional de Belo Horizonte, com supervisão nacional da Divisão de Geologia Econômica (Digeco) e coordenação-geral do Departamento de Recursos Minerais (Derem).

A área de estudo, localizada na porção central do Quadrilátero Ferrífero, no estado de Minas Gerais, engloba cerca de 3000 km² e é reconhecida como uma das províncias metalogenéticas mais importantes do Brasil. O projeto envolveu estudos temáticos de geologia básica e geologia econômica. Esse trabalho traz uma síntese sobre a geologia e aspectos metalogenéticos dos principais depósitos de ouro da região, além de apresentar e discorrer sobre os dados e ferramentas utilizados para a confecção do Mapa de Favorabilidade para Ouro Orogênico: Quadrilátero Ferrífero Central.

Os produtos finais compreendem: (i) texto em pdf do Informe de Recursos Minerais e (ii) Mapa de Favorabilidade para Ouro Orogênico: Quadrilátero Ferrífero Central, e estão disponíveis no banco de dados corporativo do SGB-CPRM, o GEOSGB (<http://geosgb.cprm.gov.br>).

Com mais este lançamento, o Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM) cumpre seu papel de induzir o desenvolvimento socioeconômico regional e setorial por meio da atualização do conhecimento geológico e dos recursos minerais do Brasil.

Pedro Paulo Dias Mesquita

Diretor-Presidente

Márcio José Remédio

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

RESUMO

O Quadrilátero Ferrífero (QF) ocupa uma área de aproximadamente 7.000 km² na porção centro-sudeste do estado de Minas Gerais, correspondendo a uma das mais importantes províncias metalogenéticas do Brasil. Historicamente, os depósitos de ouro orogênico do QF, hospedados no *Greenstone Belt* Rio das Velhas, incluindo as jazidas de classe mundial Morro Velho e Cuiabá, são responsáveis por cerca de 40% (>1000 t) do ouro produzido no Brasil (> 2300 t), extraídos desde o início do século XVIII até os dias de hoje. A maior parte das ocorrências de ouro orogênico está localizada na região central da província, denominada de Quadrilátero Ferrífero Central. Apesar da grande quantidade de minério produzida ao longo de séculos de exploração e do potencial estimado de 749 t de ouro ainda não explorado, nas últimas décadas, a taxa de novas descobertas tem caído vertiginosamente enquanto os custos na exploração têm crescido. Uma forma eficaz de diminuir os custos, sobretudo nas etapas iniciais da prospecção mineral, é integrar critérios geológicos, modelos metalogenéticos, dados geofísicos, geoquímicos, dentre outros, em Mapas de Prospectividade Mineral. Esses mapas delimitam regiões com maior favorabilidade para ocorrências minerais, reduzindo a área considerada prospectiva da região de estudo. A maior eficiência para este tipo de modelagem prospectiva ocorre em escalas entre regionais e de distrito. O presente trabalho apresenta o contexto tectonoestratigráfico regional e o Mapa de Favorabilidade para ouro orogênico do Quadrilátero Ferrífero Central, em escala 1:100.000, elaborado com dados disponíveis na base do Projeto ARIM - Evolução Crustal e Metalogenia do Setor Central do Quadrilátero Ferrífero. Os *proxies* espaciais utilizados para a confecção do mapa foram obtidos a partir de dados de natureza diversa e processados para ressaltar indicadores de mineralizações de ouro orogênico. O resultado foi validado com ocorrências minerais de ouro primário do banco de dados do Serviço Geológico do Brasil, ressaltando locais potencialmente favoráveis para hospedar depósitos ainda não conhecidos de ouro do tipo orogênico. Duas faixas com altos índices de prospectividade, e ainda sem depósitos conhecidos, foram ressaltadas: uma, alongada na direção NS, no extremo oeste do mapa, com cerca de 27 km², e outra com aproximadamente 10 km de extensão e 2 km de largura, paralela ao Anticlinal Conceição, com direção NE-SW, e situada a sudoeste da Mina de Córrego do Sítio.

ABSTRACT

The Quadrilátero Ferrífero (QF) occupies approximately 7.000 km² of the southeastern São Francisco Craton, in the central-southeast portion of the Minas Gerais State, corresponding to one of the most important metallogenic provinces in Brazil. The orogenic gold deposits in the central region of the QF, hosted in the Rio das Velhas Greenstone Belt, including the Morro Velho and Cuiabá world-class gold deposits, have historically been responsible for around 40% (> 1000 t) of the gold produced in Brazil (> 2300 t), exploited from the beginning of the 18th century to the present day. Despite a large amount of ore produced over centuries of exploration and an estimated potential of 749 t of gold not yet explored, in the last decades, the rate of new discoveries has dropped sharply while exploration costs have grown considerably. An effective way to reduce costs, especially in the initial stages of mineral exploration, is to integrate geological criteria, metallogenic models, geophysical and geochemical data, among others, as Mineral Prospectivity Maps. These maps delimit regions with greater favorability for mineralization, reducing the area considered prospective. The most outstanding efficiency for this type of prospective modeling occurs at regional and district scales. This report presents the Mineral Prospectivity Map for the Central Quadrilátero Ferrífero, on a 1:100.000 scale. The spatial proxies used in the integration were obtained from data of different nature, processed to highlight indicators of orogenic gold mineralization. The result was validated with primary orogenic gold occurrences from the Geological Survey of Brazil database, indicating new potentially favorable regions for hosting yet unrecognized gold deposits. Two bands with high prospectivity indices, and still without known deposits, were highlighted: one, along the NS direction, in the extreme west of the map, with about 27 km²; and another approximately 10 km long and 2 km wide, parallel to the Anticline Conceição with NE-SW direction and located southwest of the Córrego do Sítio mine.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 7 |
| 2. CONTEXTO TECTONOESTRATIGRÁFICO REGIONAL | 8 |
| 2.1. ASSOCIAÇÕES TECTÔNICAS | 8 |
| 2.1.1. Complexos TTG arqueanos | 8 |
| 2.1.2. <i>Greenstone belt</i> arqueano | 9 |
| 2.1.2.1. Grupo Quebra Osso | 9 |
| 2.1.2.2. Grupo Nova Lima | 9 |
| 2.1.2.3. Grupo Maquiné | 11 |
| 2.1.3. Bacia rifte/Margem passiva | 11 |
| 2.1.4. Bacias sin- a pós-orogênicas | 11 |
| 2.1.5. Corpos intrusivos | 12 |
| 2.1.6. Coberturas sedimentares cenozoicas | 12 |
| 2.2. EVENTOS DEFORMACIONAIS E METAMORFISMO | 13 |
| 3. GEOLOGIA E METALOGÊNESE DO OURO | 15 |
| 3.1. SISTEMAS MINERAIS AURÍFEROS NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO | 15 |
| 3.1.1. Sistema orogênico | 15 |
| 3.1.2. Outros sistemas auríferos | 16 |
| 3.2. PRINCIPAIS DEPÓSITOS DE OURO OROGÊNICO NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO | 16 |
| 3.2.1. Depósitos hospedados em formação ferrífera bandada (FFB) | 17 |
| 3.2.2. Depósitos hospedados em “lapa seca” | 21 |
| 3.2.3. Depósitos hospedados em rochas metassedimentares clásticas e vulcanoclásticas | 22 |
| 3.2.4. Depósitos hospedados em rochas metavulcânicas máficas e ultramáficas | 23 |
| 4. MAPA DE FAVORABILIDADE MINERAL PARA O QF CENTRAL: INTEGRAÇÃO DE DADOS E GERAÇÃO DE ALVOS | 24 |
| 4.1. INTRODUÇÃO..... | 24 |
| 4.2. SISTEMAS MINERAIS | 24 |
| 4.3. METODOLOGIA..... | 25 |
| 4.3.1. Dados geológicos e estruturais..... | 26 |
| 4.3.2. Dados Geoquímicos | 29 |
| 4.4. INTEGRAÇÃO DE DADOS | 31 |
| 4.5. VALIDAÇÃO | 33 |
| 4.6. RESULTADOS | 34 |
| 4.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 36 |
| REFERÊNCIAS..... | 37 |

1. INTRODUÇÃO

Mapas de prospectividade mineral (BONHAM-CARTER, 1994; CARRANZA, 2008; YOUSEFI *et al.*, 2021) são focados no delineamento de áreas com alta probabilidade para conter depósitos minerais ainda não descobertos. A definição dessas áreas é feita com base em diversas camadas de informação, obtidas através de depósitos minerais já conhecidos. Esse processo visa transformar dados de naturezas distintas (*p.ex.* geológicos, geofísicos e geoquímicos) em informações sobre possíveis assinaturas espaciais que agregam conhecimento ao modelo exploratório adotado.

O Quadrilátero Ferrífero (QF) é uma das províncias metalogenéticas mais importantes do Brasil e um dos maiores produtores de ouro do mundo (LOBATO *et al.*, 2001A; LOBATO *et al.*, 2014). Apesar do grande volume de ouro já extraído dos depósitos conhecidos, estima-se um potencial de novas descobertas que somariam, pelo menos, 749 t (COSTA *et al.*, 2019). Mesmo em um cenário prospectivo favorável, é extremamente importante buscar a redução dos custos da pesquisa mineral. Uma boa alternativa é a aplicação de métodos indiretos que indicam áreas significativamente reduzidas com alto

potencial para a descoberta de depósitos minerais, a partir da utilização integrada dos dados existentes sobre a província mineral.

No presente trabalho, será apresentado o contexto tectonoestratigráfico regional e o mapa prospectivo para a área central do QF, visando ressaltar regiões mais favoráveis à ocorrência de ouro, seguindo um modelo exploratório para ouro orogênico (GROVES *et al.*, 1998, ROBERT *et al.*, 2007), que é a classe dominante nessa província. Esse produto é o resultado da integração de dados geológicos, estruturais, geofísicos, geoquímicos e de recursos minerais levantados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) no âmbito do Projeto Rio das Velhas (década de 1990) e do Projeto ARIM - Evolução Crustal e Metalogenia do Setor Central do Quadrilátero Ferrífero, além de dados fornecidos por empresas de mineração da região. A modelagem prospectiva para o QF Central foi do tipo guiada pelo conhecimento (*knowledge-driven*; BONHAM-CARTER, 1994) e teve como base teórica o conceito de sistemas minerais (WYBORN *et al.*, 1994; MCCUAIG *et al.*, 2010; MCCUAIG & HRONSKY, 2014) para o mapeamento de regiões mais favoráveis para hospedar mineralizações de ouro ainda não descobertas.

2. CONTEXTO TECTONOESTRATIGRÁFICO REGIONAL

2.1. ASSOCIAÇÕES TECTÔNICAS

A província mineral do Quadrilátero Ferrífero (QF) está localizada no estado de Minas Gerais, no extremo sudeste do Cráton São Francisco (ALMEIDA, 1977, 1981). Nessa região, distinguem-se seis domínios tectônicos: (1) complexos TTG (tonalito-trondhjemito-granodiorito) arqueanos do embasamento cristalino; (2) sequências metavulcanossedimentares arqueanas tipo *greenstone belt* do Supergrupo Rio das Velhas; (3) rochas metasedimentares arqueanas-paleoproterozoicas formadas em bacias do tipo rifte/margem passiva do Supergrupo Minas; (4) rochas metasedimentares paleoproterozoicas relacionadas às bacias sin- a pós-orogênicas dos grupos Sabará e Itacolomi; (5) corpos intrusivos; (6) coberturas sedimentares cenozoicas (Figura 2.1).

As associações tectônicas do QF formam um arranjo geométrico em domos e quilhas, no qual os complexos TTG correspondem aos domos, enquanto as quilhas englobam as sequências supracrustais arqueanas-paleoproterozoicas (ALKMIM & MARSHAK, 1998; CUTTS *et al.*, 2019; ENDO *et al.*, 2020).

2.1.1. Complexos TTG arqueanos

Os complexos TTG são representados por associações granito-gnáissicas de idade arqueana, que constituem estruturas dômicas, formalmente agrupadas nos complexos Santa Bárbara, Bação, Belo Horizonte, Bonfim e Caeté (MACHADO & CARNEIRO, 1992; MACHADO *et al.*, 1992; NOCE *et al.*, 1998; LANA *et al.*, 2013; FARINA *et al.*, 2015, 2016). Esses complexos são constituídos por ortognaisses bandados e, subordinadamente, por migmatitos, anfibolitos, corpos intrusivos de granitoides leucocráticos, veios aplíticos e diques máficos de diferentes gerações. Essas rochas foram afetadas por metamorfismo de médio a alto grau, em fácies anfibolito, que resultou na formação de foliação penetrativa e de feições migmatíticas estromáticas (LANA *et al.*, 2013; FARINA *et al.*, 2016; ALBERT *et al.*, 2016; ENDO *et al.*, 2020 e referências neles contidas).

O embasamento cristalino foi formado a partir de diversos pulsos magmáticos, incluindo cinco eventos principais: Santa Bárbara (3220-3200 Ma); Rio das Velhas I (2930-2850 Ma), Rio das Velhas II (2800-2760 Ma), Mamona I (2760-2680 Ma) e II (2650-2580 Ma) (LANA *et al.*, 2013;

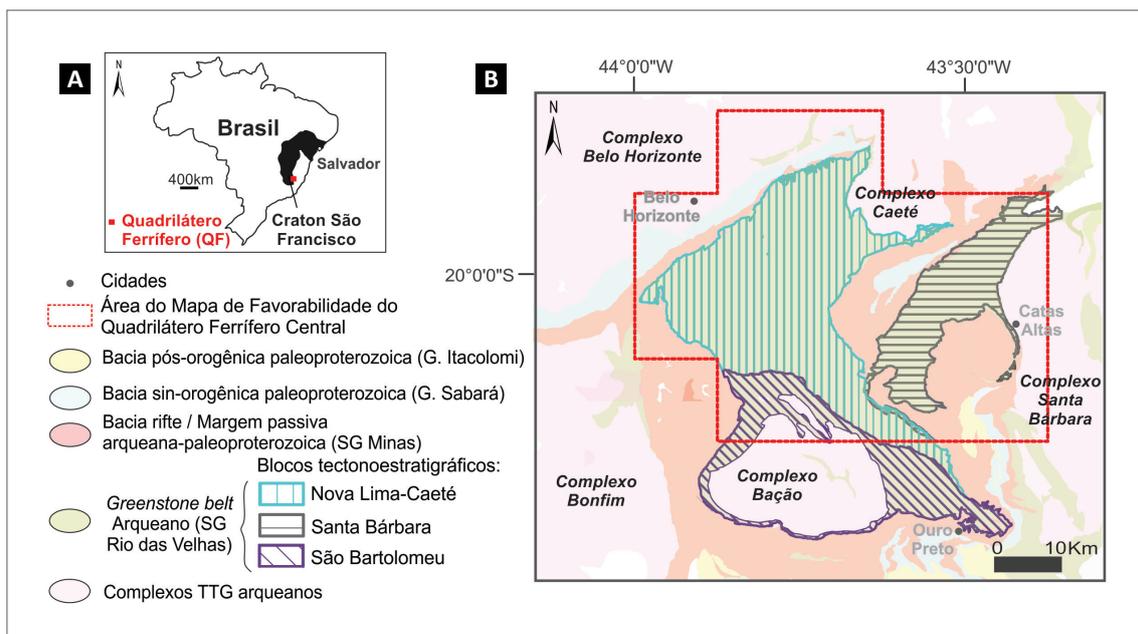


Figura 2.1 - A) Localização do Quadrilátero Ferrífero (QF) no território brasileiro, no extremo sudeste do Cráton São Francisco; B) Mapa geológico simplificado da região do QF, com destaque para o *Greenstone Belt* Rio das Velhas, subdividido em três blocos tectonoestratigráficos (modificado de ARAÚJO *et al.*, 2020). O polígono vermelho assinala a área do Mapa de Favorabilidade para Ouro Orogênico do Quadrilátero Ferrífero Central. Abreviaturas - G.: Grupo; SG: Supergrupo; TTG: tonalito- trondhjemito-granodiorito.

FARINA *et al.*, 2015; DOPICO *et al.*, 2017). O Complexo Santa Bárbara apresenta idades de cristalização de 3210 Ma (U-Pb em zircão; LANA *et al.*, 2013), sendo considerado o fragmento cratônico mais antigo do QF. Por sua vez, os complexos Bação, Belo Horizonte, Bonfim e Caeté foram formados no intervalo de idades entre 2920-2760 Ma (LANA *et al.*, 2013; FARINA *et al.*, 2015). Posteriormente, esses complexos foram intrudidos por diversos batólitos de granitoides potássicos, entre 2750 e 2600 Ma, marcando a estabilização da crosta TTG e o desenvolvimento de um núcleo cratônico rígido (LANA *et al.*, 2013; ROMANO *et al.*, 2013).

2.1.2. Greenstone belt arqueano

O *Greenstone Belt* Rio das Velhas (GBRV) engloba as sequências metavulcanossedimentares arqueanas do Supergrupo Rio das Velhas (BALTAZAR & ZUCCHETTI, 2007). Os contatos entre o *greenstone belt* e os domos granito-gnáissicos do embasamento são tectônicos, assinalados por zonas de cisalhamento e/ou falhas de empurrão (ALMIM & MARSHAK, 1998; COELHO, 2015; CUTTS *et al.*, 2019).

O Supergrupo Rio das Velhas é constituído por rochas máfico-ultramáficas e vulcânicas/vulcanoclásticas ácidas a intermediárias, além de sequências sedimentares clasto-químicas. Essas rochas foram metamorfozadas em fácies xisto-verde a anfibolito baixo e encontram-se deformadas e hidrotermalizadas em graus diversos (BALTAZAR & ZUCCHETTI, 2007; ARAÚJO *et al.*, 2020).

Diversas subdivisões estratigráficas foram propostas para o GBRV (DORR, 1969; SCHORSCHER, 1979; ZUCCHETTI & BALTAZAR, 2000; BALTAZAR & ZUCCHETTI, 2007; ARAÚJO *et al.*, 2020), sendo amplamente aceita sua compartimentação, da base para o topo, nos grupos Quebra Osso, Nova Lima e Maquiné. Essas rochas estão distribuídas ao longo de três blocos tectonoestratigráficos (Nova Lima-Caeté, Santa Bárbara e São Bartolomeu, Figura 2.1B), os quais foram justapostos por amalgamação tectônica, separados por grandes falhas regionais (BALTAZAR & ZUCCHETTI, 2007; ARAÚJO *et al.*, 2020).

Devido à sua importância enquanto unidade hospedeira de ouro orogênico (LOBATO *et al.*, 2001a), o Supergrupo Rio das Velhas é apresentado em maior detalhe a seguir.

2.1.2.1. Grupo Quebra Osso

O Grupo Quebra Osso (SCHORSCHER, 1978, 1979, 1992), unidade basal do Supergrupo Rio das Velhas, é considerado um dos principais segmentos do magmatismo ultrabásico do QF e sua ocorrência é restrita ao bloco tectonoestratigráfico Santa Bárbara (Figura 2.2; ARAÚJO *et al.*, 2020).

Esse grupo é constituído, majoritariamente, por derrames komatiíticos subaquáticos metamorfozados, com raras intercalações de rochas metassedimentares clasto-químicas (formações ferríferas bandadas ou FFB, *metachert*, filitos carbonosos, fuchcita-quartzo xistos) e metatufos ultramáficos. Os metakomatiitos são representados por serpentinitos e xistos ultramáficos com feições ígneas preservadas, incluindo texturas *spinifex* e cumulática, *pillow lavas* e hialoclastitos (SCHORSCHER, 1992; SCHRANK *et al.*, 1990; SANTOS, 2011; FERREIRA *et al.*, 2020).

A formação desses magmas foi atribuída à fusão parcial de plumas mantélicas (SCHORSCHER *et al.*, 1992; ACKEN *et al.*, 2016; FERREIRA *et al.*, 2020) e, alternativamente, à fusão do manto superior em ambiente de arco de ilha (VERMA *et al.*, 2017). De acordo com Ferreira *et al.* (2020), a erupção das lavas komatiíticas ocorreu como um sistema de derrames canalizados e encaixados na crosta sílica do Complexo Santa Bárbara.

2.1.2.2. Grupo Nova Lima

O Grupo Nova Lima é composto, da base para o topo, por rochas metavulcânicas ultramáficas a ácidas, FFB, *metacherts* ferruginosos, rochas metapiroclásticas e metavulcanoclásticas, metagrauvas, metapelitos e metapelitos carbonosos, depositados em ambiente marinho (BALTAZAR & ZUCCHETTI, 2007; ARAÚJO *et al.*, 2020).

De acordo com a estratigrafia proposta por Araújo *et al.* (2020), no Bloco Nova Lima-Caeté, são reconhecidas quatro formações: Ouro Fino e Morro Vermelho, constituídas por metabasaltos komatiíticos a toleíticos e, subordinadamente, rochas vulcânicas/vulcanoclásticas ácidas-intermediárias e metassedimentares clasto-químicas (FFB, *metachert*, filito carbonoso); Mestre Caetano, composta principalmente por rochas metapiroclásticas, metavulcanoclásticas e metavulcanogênicas, com xistos carbonáticos de origem hidrotermal subordinados (“lapa seca”; e.g. LADEIRA, 1980); e Ribeirão do Brumado, que compreende sequências rítmicas do tipo grauvasca-argilito, interpretadas como turbiditos formados principalmente pelo retrabalhamento dos depósitos vulcanogênicos (Figura 2.2). Na porção basal, Machado *et al.* (1992) obtiveram idades U-Pb em zircão de ca. 2776 Ma relativas à cristalização das rochas vulcânicas félsicas. Idades máximas de deposição foram obtidas por Noce *et al.* (2005) para três grauvascas vulcanoclásticas (2792 ± 11 , 2773 ± 7 Ma, e 2751 ± 9 Ma – U-Pb em zircão detrítico).

No Bloco Santa Bárbara, a leste da Falha do Fundão, esse grupo foi subdividido nas formações Vigário da Vara (metabasaltos toleíticos), Santa Quitéria (rochas metassedimentares clasto-químicas, principalmente FFB) e Córrego do Sítio (sequências turbidíticas;

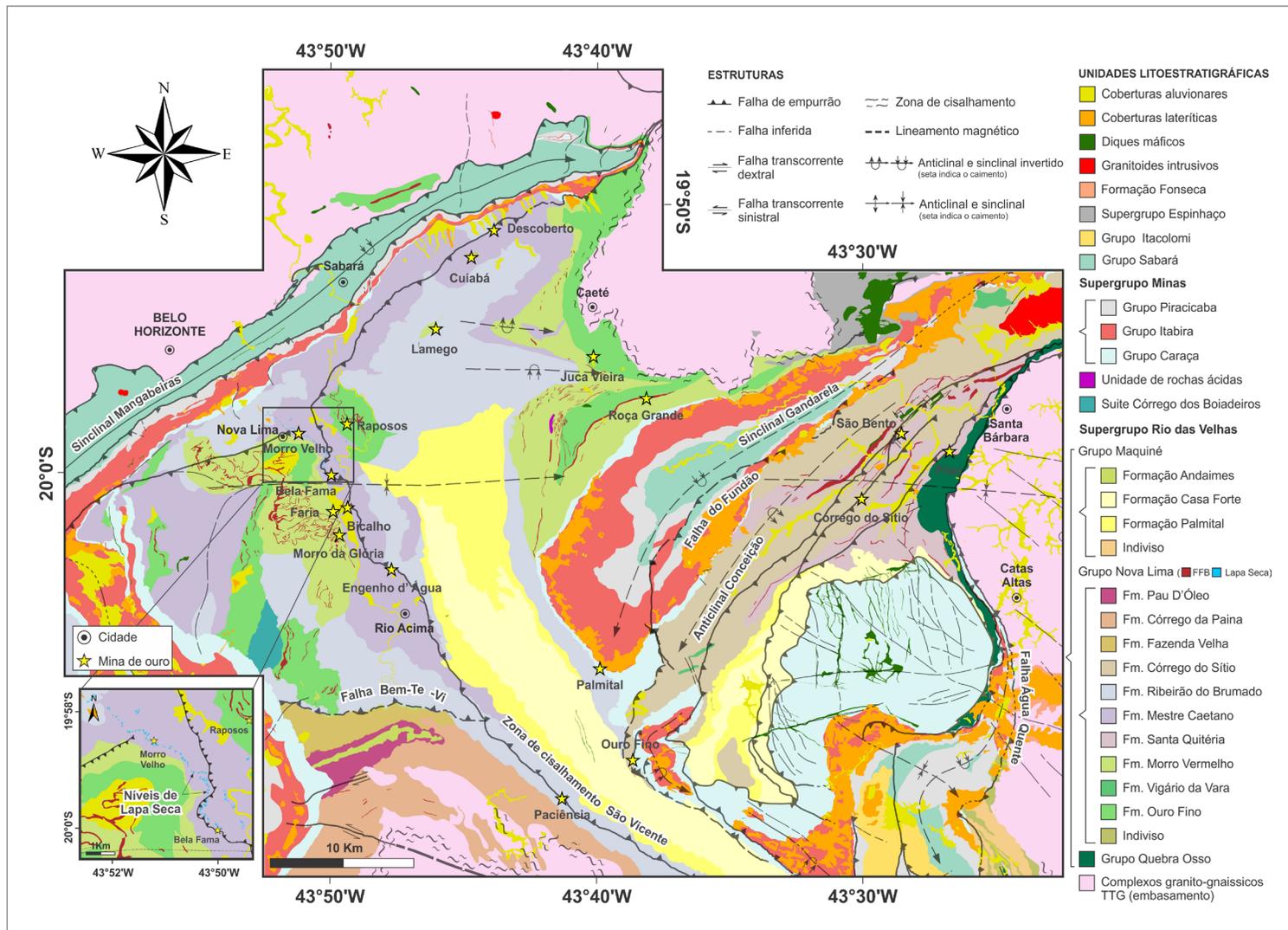


Figura 2.2 - Mapa geológico simplificado da porção central do Quadrilátero Ferrífero, região onde foi feito o mapa de favorabilidade, com a localização dos principais depósitos de ouro orogênico. O recorte na região da Mina de Morro Velho destaca os níveis de “lapa seca” (modificado de SILVA et al., 2020). Abreviaturas - FFB: Formação Ferrífera Bandada; Fm.: Formação; TTG: tonalito-trondhjemito-granodiorito.

Figura 2.2), cuja idade máxima de sedimentação é de 2818 Ma (U-Pb em zircão detrítico de metagrauvaca; SEPULVEDA *et al.*, 2021).

Finalmente, no Bloco São Bartolomeu, a sul da Falha Bem-Te-Vi, o Grupo Nova Lima inclui as associações metassedimentares das formações Fazenda Velha, Córrego da Paina e Pau D'Óleo (Figura 2.2). Zircões detríticos obtidos em rochas desse bloco forneceram idades máximas de sedimentação (U-Pb) de 2744 Ma (granada xisto; COELHO, 2015) e 2679 Ma (quartzito; DOPICO *et al.*, 2017).

2.1.2.3. Grupo Maquiné

O Grupo Maquiné está localizado na porção superior do Supergrupo Rio das Velhas e é subdividido nas formações Palmital, Casa Forte e Andaimés (ARAÚJO *et al.*, 2020). As duas primeiras formações ocorrem nos Blocos Nova Lima-Caeté e Santa Bárbara, enquanto a última é restrita ao Bloco São Bartolomeu (Figura 2.2). Os litotipos desse grupo incluem metapelitos, quartzitos, metagrauvas e metaconglomerados, depositados em ambiente marinho raso, costeiro e alúvio-fluvial, em uma bacia do tipo antepaís (DORR, 1969; ZUCCHETTI & BALTAZAR, 2000; MOREIRA *et al.*, 2016; ARAÚJO *et al.*, 2020).

Idades U-Pb em zircões detríticos das rochas do Grupo Maquiné ocorrem no intervalo entre 2780-2700 Ma (HARTMANN *et al.*, 2006; MOREIRA *et al.*, 2016). Segundo Moreira *et al.* (2016), a idade máxima de sedimentação do grupo é de 2730 Ma, a qual foi obtida a partir da média ponderada dos grãos mais jovens analisados.

2.1.3. Bacia rifte/Margem passiva

Entre o Neoarqueano e o Paleoproterozoico, desenvolveu-se no Quadrilátero Ferrífero um evento extensional responsável pela formação da Bacia Minas, em um contexto de rifte à margem passiva (ALKMIM & MARSHAK, 1998; DOPICO *et al.*, 2017). Essa bacia inclui rochas clásticas e químicas depositadas em ambiente continental a marinho e agrupadas no Supergrupo Minas (DORR, 1969; Figura 2.2), estratigraficamente posicionado acima das rochas do *greenstone belt* arqueano Rio das Velhas, em discordância angular e/ou erosiva (SCHORSCHER, 1992; CANUTO, 2010).

As fases rifte e transicional da bacia de margem passiva estão representadas pelas unidades basais do Supergrupo Minas, que englobam rochas siliciclásticas de ambiente continental a marinho (DORR, 1969; RINGER *et al.*, 1995; ALKMIM & MARSHAK, 1998). O Grupo Caraça contém, em sua base, os metarenitos e conglomerados da Formação Moeda, comumente piritosos e uraníferos e, por vezes, auríferos, com idade máxima de sedimentação por volta de 2600 Ma (U-Pb em zircão detrítico, KOGLIN *et al.*, 2014; MACHADO *et al.*, 1996; HARTMANN *et al.*,

2006). No topo do Grupo Caraça, têm-se os filitos da Formação Batatal (DORR, 1959; FARINA *et al.*, 2016), que registram a transição da sedimentação continental de fase rifte para a sedimentação marinha a costeira de margem passiva (MORAES, 1985; ALKMIM & MARSHAK, 1998).

A fase de subsidência termal da margem passiva da Bacia Minas está representada pelo Grupo Itabira (DORR, 1969; ALKMIM & MARSHAK, 1998), que inclui as formações ferríferas do tipo Lago Superior da Formação Cauê e os carbonatos estromatolíticos e xistos carbonosos da Formação Gandarela (DORR, 1969; BABINSKI *et al.*, 1995). Considerando as idades das unidades acima e abaixo da Formação Cauê, sua idade de deposição pode ser estimada entre 2620 e 2420 Ma (KOGLIN *et al.*, 2014; BABINSKI *et al.*, 1995). Embora Cabral *et al.* (2012) tenham proposto uma idade U-Pb em zircão de 2650 Ma para uma rocha metavulcânica intercalada aos itabiritos, essa datação é considerada controversa, por ser mais antiga que as rochas da base do Supergrupo Minas.

No topo do Supergrupo Minas, tem-se o Grupo Piracicaba, que está sobreposto ao Grupo Itabira de forma discordante (POMERENE, 1964; DORR, 1969) ou concordante (DORR, 1969; ALKMIM & MARSHAK, 1998) e tem uma idade máxima de deposição de 2333 ± 11 Ma (U-Pb em zircão detrítico - ROSSIGNOL *et al.*, 2020). O Grupo Piracicaba é constituído por um pacote de metarenitos quartzosos, com conglomerados subordinados, que gradam para metapelitos e filitos grafitosos em direção ao topo, contendo ainda finas lentes de dolomito (DORR, 1969). Essa unidade depositou-se em um ambiente deltaico a marinho (raso a profundo) e inclui, da base para o topo, as formações Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões e Barreiro (DORR, 1969; BEKKER *et al.*, 2003; ALKMIM & MARTINS-NETO, 2012).

As rochas do Supergrupo Minas foram metamorfizadas em fácies xisto-verde a anfíbolito, com aumento progressivo do grau metamórfico em direção a leste (HERZ, 1959, 1978).

2.1.4. Bacias sin- a pós-orogênicas

No Paleoproterozoico, um evento compressional, com vergência para NW, resultou na inversão da Bacia Minas e na formação das bacias sin- a pós-orogênicas, englobadas nos grupos Sabará e Itacolomi (Figura 2.2), após um hiato de cerca de 300 Ma (TEIXEIRA *et al.*, 2015; ALKMIM & MARSHAK, 1998; ENDO *et al.*, 2020).

O Grupo Sabará inclui um espesso pacote de metapelitos, metagrauvas, metaconglomerados e metadiamicitos, arranjados em ciclos de granocrescência ascendente com algumas lentes de rochas metavulcanoclásticas intercaladas (DORR, 1969; REIS *et al.*, 2002; ALKMIM & MARTINS-NETO, 2012). Essa unidade é interpretada

como uma bacia sin-orogênica de antepaís e apresenta idade máxima de sedimentação em 2125 ± 4 Ma (U-Pb em zircão detrítico), com aporte de detritos provenientes, principalmente, de áreas-fonte a sul e sudeste do Quadrilátero Ferrífero (MACHADO *et al.*, 1992; ALKMIM & MARTINS-NETO, 2012). As litologias do Grupo Sabará foram recentemente agrupadas em três formações, da base para o topo: Córrego do Germano (ENDO *et al.*, 2020), Saramenha (ALMEIDA *et al.*, 2005) e Catarina Mendes (idade máxima de sedimentação em 2098 Ma; FREITAS *et al.*, 2019, U-Pb em zircão detrítico).

O Grupo Itacolomi é a unidade mais jovem da sequência supracrustal do Quadrilátero Ferrífero e engloba um pacote sedimentar de quartzitos impuros e metaconglomerados, com níveis de filito subordinados e raras lentes de formação ferrífera (DORR, 1969; ALKMIM & MARTINS-NETO, 2012). Dorr (1969) descreve uma discordância erosiva na base dessa unidade, enquanto Endo *et al.* (2020) caracterizam interdigitações entre os quartzitos do Grupo Itacolomi e os xistos do Grupo Sabará. Esse grupo tem ocorrência restrita na porção meridional do Quadrilátero Ferrífero, e exhibe um espectro de zircões detríticos que sugere uma forte proveniência sedimentar de áreas-fonte riacianas situadas a sul e a sudeste da província (MACHADO *et al.*, 1996; FARINA *et al.*, 2016), bem como uma idade máxima de sedimentação entre 2039 Ma e 2144 Ma (U-Pb - MACHADO *et al.*, 1996; HARTMANN *et al.*, 2006; JORDT-EVANGELISTA *et al.*, 2015; DUQUE *et al.* 2020). O pacote sedimentar do Grupo Itacolomi teria sido depositado em bacias intermontanas, formadas durante a fase de colapso da Orogenia Riacciana (DORR, 1969; ALKMIM & MARSHAK, 1998). Endo *et al.* (2020) propuseram a compartimentação desse grupo em duas formações, denominadas Florália (base) e Pico do Itacolomi (topo).

De maneira semelhante à bacia do estágio rifte/margem passiva do Supergrupo Minas, as rochas dos grupos Sabará e Itacolomi encontram-se metamorfizadas em condições de fácies xisto-verde a anfíbolito, com aumento progressivo do grau metamórfico em direção a leste (HERZ, 1959, 1978). Endo *et al.* (2020) sugerem que esses dois grupos sejam reunidos em uma nova unidade denominada Supergrupo Estrada Real.

2.1.5. Corpos intrusivos

Entre os diversos corpos intrusivos descritos e cartografados no QF, destaca-se a Suíte Córrego dos Boia-deiros, localizada na porção centro-oeste do QF, em contato tectônico com as rochas dos supergrupos Rio das Velhas e Minas. Constitui uma associação de rochas metaltramáficas e metamáficas, incluindo serpentinitos, esteatitos, tremolita-serpentina e clorita-tremolita xistos (protólitos ultramáficos), além de clinozoisita-actinolita

granofels e metagabros (protólitos máficos) (FERNANDES, 2016 e referências nele contidas). Essa suíte foi interpretada como um conjunto de derrames komatiíticos do Supergrupo Rio das Velhas por Padilha *et al.* (1985) e, alternativamente, como um corpo intrusivo relacionado ao magmatismo komatiítico do *greenstone belt* (FERNANDES, 2016) ou encaixado na base do Grupo Nova Lima (SCHRANK *et al.*, 1990, COSTA, 1995; ZUCCHETTI & BALTAZAR, 2000).

Silva (1992) sugere a existência de pelo menos quatro enxames de diques máficos afetando a província: (i) diques e *sills* deformados de direção NS; (ii) diques, soleiras e batólitos com direções preferenciais NE-SW, NS, NW-SE e, raramente, EW; (iii) diques sem deformação com direção NS; (iv) corpos máficos diversos com direção NS, EW, NW-SE e NE-SW, sem metamorfismo e deformação, cortando todo o arcabouço pré-cambriano da região. Baltazar & Zucchetti (2000) agrupam esses diques segundo seus intervalos de idade: (i) 1,7-1,5 Ga, associados à abertura da Bacia Espinhaço (*p.ex.* 1714 Ma; SILVA *et al.*, 1995); (ii) ~906 Ma (MACHADO *et al.*, 1989) e 1000 Ma (MACHADO & CARNEIRO, 1992; CHAVES, 1997), associados à separação dos crátons São Francisco e Congo nos estágios iniciais da Orogenia Brasileira; e (iii) 220-120 Ma (SILVA *et al.*, 1991; DOSSIN *et al.*, 1995), associados à fragmentação do supercontinente Gondwana. Ademais, estudos geocronológicos corroboram a existência de pelo menos dois sistemas de diques neoarqueanos no QF (CARNEIRO *et al.*, 1998; LANA *et al.*, 2013; FARINA *et al.*, 2015; FARINA *et al.*, 2016).

Além dos diques máficos, finos diques pegmatíticos e pequenos corpos graníticos cortam tanto o embasamento do QF quanto rochas supracrustais do Supergrupo Minas (ALKMIM & MARSHAK, 1998). Essas pequenas intrusões graníticas comumente apresentam idades arqueanas e paleoproterozoicas, a exemplo dos veios pegmatíticos datados em 2,69 Ga e 2,06 Ga (U-Pb em zircão), por Farina *et al.* (2015) e Noce (1995), respectivamente. Adicionalmente, um vulcanismo ácido a intermediário, de idade entre 2,68 e 2,65 Ga (U-Pb em zircão), ocorre associado, em contato tectônico, com a porção central do GBRV (ARAÚJO *et al.*, 2020), e intercalado aos itabiritos do Supergrupo Minas (CABRAL *et al.*, 2012). Recentemente, uma soleira granítica neoproterozoica (620 Ma) foi caracterizada por Cabral *et al.* (2020) na porção sudeste do QF, portando zircões que sugerem fontes magmáticas mistas envolvendo anatexia de rochas juvenis paleoproterozoicas e arqueanas.

2.1.6. Coberturas sedimentares cenozoicas

As coberturas cenozoicas do QF englobam depósitos aluvionares, elúvio-coluvionares e lateríticos, além de

pacotes sedimentares relacionados a fluxos de detritos e ambientes fluviolacustres. Dentre eles, destacam-se os depósitos associados às bacias sedimentares das formações Fonseca, Cata Preta, Chapada de Canga, Fazenda do Gandarela e Gongo Soco. Os litotipos incluem argilitos, arenitos, conglomerados, cangas, linhitos e diamictitos, depositados entre o Paleógeno e o Quaternário (ENDO *et al.*, 2020 e referências nele contidas).

2.2. EVENTOS DEFORMACIONAIS E METAMORFISMO

A evolução geodinâmica da região do QF é complexa, principalmente, devido à superposição de múltiplos eventos deformacionais. Entre os primeiros autores que descreveram a geologia dessa província estão Harder & Chamberlin (1915), que interpretaram a deformação das rochas do QF como resultado de forças compressivas dirigidas geralmente de leste e do sul, resultando em dobras acompanhadas de falhas. Ao longo de quase dois séculos de investigações científicas, diversas interpretações e modelos estruturais foram propostos para explicar a geometria expressa nos grandes sinclinais e anticlinais que compõem o arcabouço do QF. Ladeira (1980) apresenta um modelo geotectônico para a evolução do *Greenstone Belt* Rio das Velhas, evidenciando a inversão e preenchimento de um rifte próximo a um centro vulcânico. Já Alkmim & Marshak (1998) propõem para o QF a concepção de uma arquitetura em domos e quilhas, típica de terrenos arqueanos. Endo *et al.* (2005), em nova interpretação para o arcabouço estrutural do QF, propõem que a arquitetura observada hoje no QF deve-se à superposição de duas grandes *nappes* alóctones. Outros trabalhos que merecem destaque são os de Chemale *et al.* (1994); Endo (1997); Marshak *et al.* (1989); Baltazar & Zucchetti (2007). Sínteses do avanço no conhecimento tectônico da província podem ser encontradas em Martins (2011) e Baltazar & Lobato (2020).

Na construção do presente trabalho, foi considerada a classificação dos eventos deformacionais proposta por Baltazar *et al.* (2016), que hierarquizam quatro fases de deformação (D1, D2, D3, e D4). A fase D1, de idade neoarqueana, foi responsável pela inversão e início do fechamento da Bacia Rio das Velhas, durante a orogenia homônima. Essa primeira fase, reliquiar na trama das rochas, é atribuída às principais zonas de cisalhamento da porção central do QF (Lineamentos São Vicente e Raposos), onde o acamamento original das rochas encontra-se transposto e subparalelo a uma foliação milonítica. Essas zonas de cisalhamento seriam resultantes de uma compressão dirigida de NE para SW, apresentam direção geral NW-SE e mergulho para NE. A continuidade da Zona de Cisalhamento São Vicente a noroeste da província corresponderia ao Sinclínio Pitangui.

A fase deformacional D2, coaxial a D1 e também de idade neoarqueana, representa o fechamento completo da Bacia Rio das Velhas, marcada pela circulação de fluidos controlada por falhas e fraturas (BALTAZAR *et al.*, 2016).

A fase D3 corresponde a um evento compressional no Riáciano, com transporte tectônico de SE para NW. Esse transporte, de direção quase ortogonal às estruturas arqueanas D1 e D2, foi responsável por reorientar as estruturas juntamente com as zonas mineralizadas. No contexto geotectônico do sul do Cráton São Francisco, a deformação D3 correlaciona-se com o Cinturão Mineiro (TEIXEIRA & FIGUEIREDO, 1991). Regionalmente, essa fase de deformação é caracterizada por um dobramento aberto, bem marcado nos mapas aerogeofísicos e geológicos, bem como por uma foliação de direção NE-SW e mergulho para SE, desenvolvida em resposta ao dobramento. Baltazar *et al.* (2016) consideram, de maneira geral, que a compressão riáciana reorientou os corpos de minério, mas não promoveu remobilização significativa.

A fase deformacional mais jovem (D4) representa o evento Brasileiro, caracterizado por uma compressão dirigida de leste para oeste em resposta ao desenvolvimento do Orogênio Araçuai (PEDROSA SOARES *et al.*, 1992, 2001), com formação de dobras abertas e clivagem de crenulação de orientação N-S. O alcance dessa deformação estende-se do extremo leste, adentrando até a região central do QF (FREITAS *et al.*, 2019).

Essas deformações também estão registradas nos diferentes eventos metamórficos que afetaram o QF. Dados isotópicos U-Pb, obtidos em grãos de zircão, titanita e monazita, apontam a ocorrência de dois eventos metamórficos principais no Quadrilátero Ferrífero, o primeiro no intervalo 2780-2610 Ma e o segundo 2080-1940 Ma, predominando no registro geológico condições de fácies xisto-verde (MACHADO & CARNEIRO, 1992; COELHO, 2015; LANA *et al.*, 2013; FARINA *et al.*, 2015; AGUILAR *et al.*, 2017; CUTTS *et al.*, 2020).

Estudos revelam que o metamorfismo neoarqueano nessa província teria atingido, localmente, condições de alto grau próximas a 700°C, registradas no Domo do Bação e em xistos da porção meridional do QF (CUTTS *et al.*, 2019; MOREIRA *et al.*, 2019). Por sua vez, o segundo evento metamórfico abarca um longo período entre o início e o final da orogênese paleoproterozoica, relativa à amalgamação dos núcleos arqueanos dos crátons São Francisco-Congo e ao fechamento da Bacia Minas (entre 2100 e 2070 Ma), seguidos pelo colapso orogênico e exumação dos domos granito-gnáissicos (entre 2070 e 2050 Ma), e findando com uma fase de resfriamento (ca. 1940 Ma) (AGUILAR *et al.*, 2017). O registro desse ciclo no QF foi investigado por diversos autores e métodos, usando isótopos como

K-Ar, Rb-Sr, Sm-Nd, Pb-Pb e U-Pb (*p.ex.* MACHADO *et al.*, 1989; CARNEIRO, 1992; NOCE, 1995; BABINSKI *et al.*, 1995; BRUECKNER *et al.*, 2000; COELHO, 2015, e outros). As condições metamórficas atuantes na província durante esse ciclo teriam atingido temperaturas máximas entre 650° e 700°C (fácies anfibolito), registradas, especialmente, em auréolas de metamorfismo de contato situadas nas adjacências dos complexos Belo Horizonte, Bonfim e Bação, geradas durante a ascensão dos domos gnáissicos, embora predominem condições de fácies xisto-verde (HERZ, 1978; JORDT-EVANGELISTA *et al.*, 1992; CUTTS *et al.*, 2019).

Por fim, o QF foi afetado, em menor extensão, por um evento metamórfico neoproterozoico associado à Orogenia Brasileira (ca. 640-500 Ma). Esse evento é assinalado por idades K-Ar, obtidas em anfibólios e micas das rochas do embasamento e das rochas supracrustais (TEIXEIRA, 1993), bem como por isócronas Sm-Nd em rocha total e granada (BRUECKNER *et al.*, 2020) e por idades U-Pb em monazita, xenotima e rutilo, obtidas por diversos autores, principalmente, mas não exclusivamente, no setor oriental da província (e.g. CABRAL & ZEH, 2015; CABRAL *et al.*, 2015; MARTINS *et al.*, 2016; GONÇALVES *et al.*, 2019).

3. GEOLOGIA E METALOGÊNESE DO OURO

3.1. SISTEMAS MINERAIS AURÍFEROS NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

O principal sistema mineral aurífero do QF é o orogênico e a vasta maioria dos depósitos está hospedada em rochas do *Greenstone Belt* Rio das Velhas (LOBATO *et al.*, 1998, 2001a). Contudo, o Supergrupo Minas também hospeda importantes ocorrências de ouro em *paleoplacers*, associadas à Formação Moeda, e de ouro paladiado, relacionado às formações ferríferas da Formação Cauê.

3.1.1. Sistema orogênico

Depósitos de ouro orogênico geralmente se formam em ambientes tectônicos associados a subducção em orógenos acrescionários a colisionais, do Arqueano ao Terciário. Os mecanismos atuantes no processo mineralizante do ouro orogênico permanecem controversos, mas modelos envolvendo circulação de fluidos metamórficos durante uma mudança de regime tectônico de compressão para transpressão ou, menos comumente, transtensão, são amplamente aceitos (GROVES *et al.*, 2018). Esses depósitos são tipicamente caracterizados por sistemas de veios de quartzo contendo sulfetos e carbonatos, baixos teores de metais base (com algumas exceções), associação entre ouro e As, W, Ag, Sb, Te e B, fluidos de baixa salinidade e alto conteúdo de H₂O e CO₂ (GOLDFARB & GROVES, 2015 e referências nele contidas). Entre os controles estruturais do ouro orogênico destacam-se zonas de charneira de antifomes, bem como falhas e zonas de cisalhamento de escala crustal (lineamentos de primeira ordem), especialmente quando elas se conectam em alto ângulo a lineamentos tarditectônicos de segunda ordem, formando juntas mineralizadas (GROVES *et al.*, 2018)

O Neoarqueano é marcado pelo intenso crescimento de crosta continental juvenil e magmatismo de plumas mantélicas, e destacando-se como um importante período de formação de depósitos de ouro orogênico, incluindo jazidas de grande porte e de classe mundial (GROVES *et al.*, 2015). O principal evento mineralizante do QF tem idade arqueana (2672±14 Ma nas minas de Cuiabá e Morro Velho e 2730±42 Ma na mina Lamego; LOBATO *et al.*, 2007; MARTINS *et al.*, 2016), com possível remobilização no Paleoproterozoico e no Neoproterozoico (SILVA, 2006; DAVID, 2006; VELASQUEZ, 2006).

No QF, as principais rochas hospedeiras do ouro orogênico são formações ferríferas bandadas (FFB) de fácies óxido e carbonato e a unidade hidrotermal denominada “lapa seca” (rocha fortemente carbonatada), além de rochas metamáficas, metaltramáficas, metavulcano-clásticas e metassedimentares clásticas (LOBATO *et al.*, 2001a). As mineralizações auríferas ocorrem de três formas principais: (1) zonas de substituição por sulfetação estruturalmente controladas em FFB (*stratabound*); (2) sulfetos disseminados em zonas de alteração hidrotermal associadas a cisalhamento; e (3) vênulas e veios auríferos de quartzo-carbonato-sulfeto associados a zonas de cisalhamento (LOBATO *et al.*, 2001a).

Segundo Lobato *et al.* (2001a), na maioria dos depósitos orogênicos do QF, a proporção Au:Ag fica entre 5:1 e 6:1, o ouro é anédrico e ocorre como inclusões e em fraturas em sulfetos, sendo o teor de ouro proporcional ao enriquecimento em arsênio na pirita (±pirrotita) e/ou à abundância em arsenopirita. Essas mineralizações exibem um forte controle estrutural, com falhas transcorrentes, dobras, zonas de cisalhamento compressionais de rampa oblíqua e/ou estruturas subsidiárias, favorecendo a concentração do minério ao longo de corpos orientados segundo a lineação mineral, que por sua vez é paralela aos eixos de dobra. Além disso, a alteração hidrotermal associada ao ouro oblitera a paragênese mineral de pico metamórfico das rochas hospedeiras, e a forte associação do minério com litologias ricas em ferro e com sulfetos de ferro e arsênio sugerem que a sulfetação das encaixantes foi um importante mecanismo de deposição de ouro nessa província durante o Neoarqueano (LOBATO *et al.*, 2001a).

O hidrotermalismo associado à mineralização aurífera envolve adição de H₂O, K, CO₂, S, Au, As, B e Ba, e comumente gera halos de alteração distal cloríticos, que gradam para halos carbonáticos e, então, para halos proximais de mica branca, (VIEIRA, 1988; LOBATO *et al.*, 2001b). Nos principais depósitos do QF, predomina o processo de carbonatação (especialmente carbonatos ricos em Fe), seguido por silicificação e sericitização, enquanto sulfetação, cloritização, albitização e biotitização são menos comuns e ocorrem de forma subordinada (RIBEIRO-RODRIGUES, 1998; LOBATO *et al.*, 2001b; VIAL *et al.*, 2007).

A mineralogia e as inclusões fluidas dos depósitos auríferos do QF sugerem um fluido mineralizante redutor, rico em enxofre, com baixa salinidade e pH quase neutro.

Esse fluido teria razão CO_2/CH_4 variável, sendo inicialmente dominado por CH_4 , com N_2 e algum CO_2 , passando gradativamente para um fluido mais rico em CO_2 (GODOY, 1994; LOBATO *et al.*, 2001b). Lobato *et al.* (2001b) estimam, de forma geral, que os fluidos mineralizantes do QF teriam sido aprisionados em condições entre 300°C e 400°C e 3,2-3,5 kbar. Beleque (2015) sugeriu, ainda, que o Pb incorporado em sulfetos poderia estar associado ao embasamento do *greenstone*, e que as fontes dos fluidos mineralizantes seriam heterogêneas, principalmente concentradas na crosta continental superior.

3.1.2. Outros sistemas auríferos

Além dos clássicos depósitos de ouro orogênico, o QF também hospeda mineralizações de ouro paladiado (tipo Jacutinga) e de ouro em *paleoplacers*. Esses depósitos não foram incluídos na modelagem desenvolvida durante este trabalho e, portanto, serão abordados de forma bastante sucinta, a título de conhecimento e contextualização do leitor na província mineral do QF.

Depósitos auríferos do tipo *paleoplacer* destacam-se em terrenos onde bacias conglomeráticas tardias sobrepoem-se a seqüências portadoras de ouro orogênico, especialmente no Arqueano, a exemplo de Witwatersrand, na África do Sul (GROVES, 2018; FRIMMEL, 2014). No âmbito do QF, têm-se, sobrepostos ao GBRV, os metaconglomerados auríferos e uraníferos da Formação Moeda (CHEMALE *et al.*, 1994; ALKMIM & MARSHAK, 1998), que atingem teores de ouro de até 150 g/t, com teor médio ao redor de 10 g/t (FRIMMEL, 2014). Os maiores teores concentram-se na porção basal da seqüência, onde as rochas são compostas por seixos de até 20 cm de quartzo, quartzito, *metachert* ou formação ferrífera, filito e clastos vulcânicos (FRIMMEL, 2014), além de abundantes cristais de pirita arredondada que atingem até 5 mm de diâmetro (MINTER *et al.*, 1990). Por esse motivo, o contato inferior da Formação Moeda com os xistos do Supergrupo Rio das Velhas, de natureza discordante ou tectônica, foi intensamente garimpado e minerado nos sinclinais Gandarela e Ouro Fino desde o período colonial (MINTER *et al.*, 1990; PEREIRA *et al.*, 2019).

As minas de ouro e urânio da Formação Moeda são de pequeno porte e encontram-se paralisadas. Dentre elas, destacam-se as minas de Palmital e Ouro Fino e, secundariamente, Cata Branca (fortemente afetada por processos secundários; WALLACE, 1965). Atualmente, o modelo genético mais aceito para essas mineralizações é o de *paleoplacer* modificado, devido às evidências de retrabalhamento em 2100 Ma e 500 Ma (MADUREIRA, 2017; PEREIRA *et al.*, 2019; LOBATO *et al.*, 2020).

As mineralizações de ouro paladiado do QF, denominadas “tipo Jacutinga”, são hospedadas por itabiritos do Grupo Itabira (com exceção da Mina Cata Preta) e

associadas a sistemas oxidantes (HENWOOD, 1871; HUSSAK, 1904). Esse ouro concentra-se, principalmente, na porção leste do QF, associado às megadobras de orientação NE, denominadas Sinclinal Gandarela e Sinclínório Itabira (distrito de Itabira; GALBIATTI *et al.*, 2007), onde a trama estrutural regional é fortemente influenciada pela deformação Brasileira (ca. 600 Ma; CHEMALE *et al.*, 1994; ALKMIM & MARSHAK, 1998).

Os corpos de minério do tipo Jacutinga ocorrem, principalmente, como veios de quartzo-hematita (talco-caulinita), que truncam a foliação principal dos itabiritos e contêm ouro paladiado, com conteúdo variável de Ag, Cu, Hg, Se e Sb e minerais de Pd e Pt associados (*p.ex.*, HENWOOD, 1871; HUSSAK, 1904; CLARK *et al.*, 1974; VARAJÃO *et al.*, 2000; KWITKO *et al.*, 2002; CABRAL, 2006; CABRAL *et al.*, 2009). Os corpos estão associados a uma alteração hidrotermal com especularita, quartzo, caulinita, óxidos de Mn, talco, goethita, muscovita e flogopita (OLIVO *et al.*, 2001; CABRAL *et al.*, 2002; CABRAL, 2006; GALBIATTI *et al.*, 2007; VIAL *et al.*, 2007A; LOBATO *et al.*, 2020), apresentam forte controle estrutural (principalmente por estruturas rúpteis) e idade estimada em $495,6 \pm 2,2$ Ma (CABRAL *et al.*, 2002; CABRAL, 2006; GALBIATTI *et al.*, 2009; CABRAL *et al.*, 2015).

O ouro paladiado do QF foi extraído como subproduto da mineração de ferro nas minas Conceição e Cauê, em Itabira (ANDRADE & SÁ, 1990), e na mina de ferro de Gongo Soco, trabalhada intermitentemente (CABRAL *et al.*, 2002). Além dessas, merecem destaque as minas inativas de Maquiné e Cata Preta, essa última associada a uma rocha brechada no contato basal de sedimentos cenozoicos com quartzitos ferruginosos da Formação Cercadinho (CABRAL & KOGLIN, 2014). Anteriormente a 1900, a produção histórica de ouro tipo Jacutinga ocorreu, principalmente, nas minas de Gongo Soco (12.887 kg Au); Maquiné (5.277 kg Au); Mina Sete de Itabira (905 kg Au); Água Quente (350 kg Au); Pitanguí (285 kg Au); Cocais (207 kg Au); e Cata Preta (93 kg Au) (GALBIATTI, 1999; PORTO *et al.*, 2002). Para a Mina Cauê, Galbiatti *et al.* (2007) reportam uma produção de 8 t de ouro, a partir de 1984, com uma reserva adicional de 2,5 t e teores variando de 3-30 g/t Au.

3.2. PRINCIPAIS DEPÓSITOS DE OURO OROGÊNICO NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

Tanto a trama estrutural quanto o arranjo litológico de uma determinada região podem favorecer a formação de depósitos de ouro orogênico. Em geral, as rochas mais competentes de um pacote são as mais propensas à deformação rúptil, o que eleva a permeabilidade do meio e favorece a percolação de fluidos mineralizantes. Em *greenstone belts* arqueanos e paleoproterozoicos, esse papel é comumente desempenhado por litologias ricas

em ferro, tais como FFB e rochas máficas vulcânicas ou intrusivas (GROVES, 2018). Além disso, os corpos de minérios nos maiores depósitos do QF estão frequentemente em contato com filitos carbonosos (*p.ex.* Cuiabá, Lamego, Roça Grande). Essa litologia, por ser impermeável e limitar a infiltração de fluido, parece comportar-se como uma barreira química e física e tem papel determinante na deposição do ouro (LOBATO *et al.*, 2014).

A seguir, é apresentada uma pequena descrição dos principais depósitos de ouro orogênico do Quadrilátero Ferrífero, separados pelo tipo de rocha hospedeira. Mais informações podem ser encontradas também na Tabela 3.1, onde são listados todos os depósitos e ocorrências utilizadas nesse trabalho.

3.2.1. Depósitos hospedados em formação ferrífera bandada (FFB)

O estilo de mineralização de Au associado a FFB e *metachert* ferruginoso, no QF, é fortemente influenciado pelo conteúdo de ferro da rocha. FFB *stricto sensu* (> 15% Fe; JAMES, 1954) hospeda a maioria das mineralizações auríferas relacionadas a essas rochas químicas. Nesse caso, o estilo *stratabound* é predominante, formando zonas de substituição dos minerais diagenéticos/metamórficos (principalmente magnetita e siderita) por minerais hidrotermais (carbonato: ankerita; sulfetos: pirita, arsenopirita e pirrotita). O ouro comumente é encontrado incluso ou no contato entre sulfetos. As zonas mineralizadas ocorrem como camadas alternadas de sulfeto e carbonato, e a espessura da unidade hospedeira tem relação direta com o tamanho do depósito (LOBATO *et al.*, 1998; LOBATO *et al.*, 2001b; VIAL *et al.*, 2007; UCHOA, 2018). Em *metachert* ferruginoso, a mineralização está frequentemente relacionada a zonas pervasivas de silicificação, com a presença de ouro livre, onde são encontrados os maiores teores. Zonas de substituição por sulfeto são menos comuns (MARTINS *et al.*, 2016; ARAÚJO & LOBATO, 2019; LOBATO *et al.*, 2020). Devido à composição de FFB/*metachert*, as principais alterações presentes nas zonas mineralizadas são silicificação, carbonatação e sulfetação (LOBATO *et al.*, 2001b; VIAL *et al.*, 2007).

Na porção central do Quadrilátero Ferrífero, no domínio do bloco tectono-estratigráfico Nova Lima-Caeté, próximo às cidades de Nova Lima, Sabará e Caeté, ocorrem diversos depósitos hospedados em FFB/*metachert* (*p.ex.* Cuiabá, Lamego, Raposos, Roça Grande, Faria e Morro da Glória; Figura 2.2 e Tabela 3.1), e muitos deles mostram sequências litológicas similares, com rochas vulcânicas máficas na base e filitos carbonosos ou grafitosos no topo. As FFB mineralizadas estão associadas, principalmente, às formações Morro Vermelho e Ouro Fino (VIAL *et al.*, 2007; ARAÚJO *et al.*, 2020).

Cuiabá é um depósito de classe mundial, sendo o maior produtor de ouro do QF e a maior mina subterrânea ativa do Brasil, com mais de 1100 m de profundidade (VITORINO *et al.*, 2020). Sua sucessão estratigráfica compreende rochas vulcânicas máficas, vulcanoclásticas e sedimentares químicas e clásticas do Grupo Nova Lima, metamorfizadas em fácies xisto-verde (VIAL, 1980a). O depósito é estruturalmente controlado por uma dobra anticlinal, fechada a isoclinal, com o flanco norte invertido e o flanco sul normal, e com eixo mergulhando para SE com ângulo variável que diminui com a profundidade (35° próximo a superfície, 12° à uma profundidade de 1100m). Os corpos mineralizados são paralelos ao eixo da Dobra Cuiabá e o principal estilo de mineralização é *stratabound*, hospedado em FFB. Subordinadamente, ocorre minério disseminado e em veios, hospedado em FFB e em rochas máficas (RIBEIRO RODRIGUES *et al.*, 2007; VITORINO *et al.*, 2020).

O depósito de Lamego está inserido em uma sequência litológica composta, da base para o topo, por rochas metavulcânicas máficas-intermediárias, camadas de *metachert* com FFB subordinada, rochas metavulcanoclásticas e metassedimentares clásticas (SALES, 1998). O depósito é estruturalmente controlado por uma dobra, descrita por Martins *et al.* (2016) como cilíndrica, sem raiz, reclinada e isoclinal, com eixo mergulhando para SE com ângulo entre 20-30°. A mineralização ocorre, principalmente, hospedada no *metachert*, composto por quartzo, carbonato e matéria carbonosa, e os corpos de minério são relacionados às zonas com forte silicificação das bandas ricas em ferro. Subordinadamente, o estilo de mineralização por substituição ocorre em FFB e, o estilo disseminado, em rochas máficas e filitos carbonosos. (MARTINS *et al.*, 2016).

Raposos compreende uma mina subterrânea inativa e vários corpos lavrados a céu aberto no passado. A FFB mineralizada ocorre intercalada com rochas ultramáficas derivadas de komatiito peridotítico, rochas máficas de composição toleítica, xistos carbonosos, e rochas sedimentares pelíticas e psamíticas com alguma contribuição vulcanoclástica (VIAL, 1980b; JUNQUEIRA *et al.*, 2007). Os corpos de FFB apresentam dobras assimétricas e isoclinais com mergulho para leste e direção do plano axial variando de norte a nordeste. A direção preferencial dessas camadas é E-W, na porção oeste da mina, e NW-SE, na porção leste. O controle estrutural da mineralização é dado pelo mergulho das camadas, preferencialmente para leste, e pelas dobras assimétricas (TOLBERT, 1964).

Roça Grande é formada por uma mina subterrânea e várias cavas a céu aberto, todas inativas. A mineralização aurífera está principalmente hospedada em FFB rica em carbonato, que faz contato na base com rochas metamáficas e no topo com filito carbonoso e metagrauvascas.

Tabela 3.1 - Lista com as ocorrências e depósitos de ouro orogênico do Quadrilátero Ferrífero Central utilizadas neste trabalho, apresentando algumas informações importantes sobre as mineralizações.

| Nº | NOME | MORFOLOGIA | ROCHA HOSPEDEIRA/ ENCAIXANTE | CONTROLE DA MINE- RALIZAÇÃO | DIREÇÃO DO MERGULHO (°) | MERGULHO (°) | GRAU DE IM- PORTÂNCIA | STATUS ECONÔ- MICO | PRODUÇÃO HISTÓRICA (T AU) | RECURSOS / TEOR MÉDIO | RESERVAS / TEOR MÉDIO | REFERÊNCIAS |
|----|----------------------------------|---------------|---|-----------------------------|-------------------------|--------------|-----------------------|--------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| 1 | Ápis | Estratiforme | FFB | - | - | - | Depósito | Garimpo Inativo | - | 0,30 t (ouro contido) | - | Pereira, 2003 |
| 2 | Barra Feliz | Filoneana | Veio de quartzo/ filito | - | - | - | Depósito | Garimpo Inativo | - | - | - | - |
| 3 | Bela Fama | Filoneana | Veio de quartzo/ xisto vulcanoclástico, pelito, "lapa seca" | Dobra (Eixo) | 92 | 45 | Depósito | Mina Inativa | 3 | - | - | Vial et al., 2007 |
| 4 | Bicalho | Filoneana | Veio de quartzo, "lapa seca" | Dobra (Eixo) | 92 | 45 | Depósito | Mina Inativa | 8,78 | - | - | Lobato et al., 2016 |
| 5 | BIF Norte | Estratiforme | Formação ferrífera bandada | Dobra (Eixo) | 110 | 34 | Depósito | Mina Inativa | - | 0,95 Mt / 1,60 g/t | - | Jaguar Mining, 2011 |
| 6 | Bocaina (Córrego do Sítio) | Disseminada | Metagrauvaca | - | - | - | Depósito | Não explotada | - | - | - | - |
| 7 | Capoeirinha | Indeterminada | FFB, metagrauvaca | - | - | - | Depósito | Mina Inativa | - | - | - | - |
| 8 | Carrapato (Piedade do Paraopeba) | Indeterminada | Rochas metavulcânicas máficas e ultramáficas | - | - | - | Depósito | Mina Inativa | - | - | - | - |
| 9 | Carrapato de Cima | Estratiforme | Metachert carbonoso | Lineação Mineral | 105 | 14 | Depósito | Mina Inativa | - | 0,15 t (ouro contido) | - | Calógeras, 1938 |
| 10 | Carrapato de Baixo | Filoneana | Veios de quartzo/ metabasalto | Lineação Mineral | 100 | 6 | Depósito | Mina Inativa | - | - | - | - |
| 11 | Catita | Filoneana | Veio de quartzo/ metabasalto, metachert | Dobra (eixo) | 110 | 25 | Depósito | Mina Inativa | 0,1 | 0,08 Mt / 7,79 g/t | 0.62 t | Jaguar Mining, 2004, 2020 |
| 12 | Córrego do Sítio I | Disseminada | Xistos micáceos e carbonáticos/ filitos | - | - | - | Depósito | Mina Ativa | - | 21,44 Mt / 2,84 g/t Au | 5.28 Mt / 2.34 g/t Au | AngloGold, 2020 |
| 13 | Cuiabá (Viana) | Filoneana | Veios quartzo-carboná- ticos/ metamáfica | - | - | - | Depósito | Mina Inativa | 1 | 0,12 Mt / 5,15 g/t | - | Pereira, 2003; AngloGold, 2020 |

Tabela 3.1- Lista com as ocorrências e depósitos de ouro orogênico do Quadrilátero Ferrífero Central utilizadas neste trabalho, apresentando algumas informações importantes sobre as mineralizações (continuação).

| Nº | NOME | MORFOLOGIA | ROCHA HOSPEDEIRA/ ENCAIXANTE | CONTROLE DA MINERALIZAÇÃO | DIREÇÃO DO MERGULHO (°) | MERGULHO (°) | GRAU DE IMPORTÂNCIA | STATUS ECONÔMICO | PRODUÇÃO HISTÓRICA (T AU) | RECURSOS / TEOR MÉDIO | RESERVAS / TEOR MÉDIO | REFERÊNCIAS |
|----|---------------------------|---------------|---|---------------------------|-------------------------|--------------|---------------------|------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------|---|
| 14 | Cuiabá | Estratiforme | FFB, veio de quartzo/ andesito | Dobra (eixo) | 116 | 12-35 | Depósito | Mina Ativa | 186 | 25,5 Mt / 6,46 g/t* | 7.48 Mt / 5.06 g/t Au | AngloGold, 2020; Vitorino et al., 2020 |
| 15 | Cutão (Boa Vista) | Estratiforme | FFB | – | – | – | Depósito | Mina Inativa | | 0,46 Mt / 7,14 g/t | | Jaguar Mining, 2011 |
| 16 | Engenho D'água | Lenticular | Vulcanoclásticas, filito carbonoso | Lineação de estiramento | 85 | 34 | Depósito | Mina Inativa | 0,7 | 1,7 Mt / 4.29 g/t | | Anglo Gold, 2003 |
| 17 | Faria | Estratiforme | FFB | Dobra (Eixo) | 128 | 30 | Depósito | Mina Inativa | 10,18 | – | | Costa, 2019 (com. oral) |
| 18 | Fazenda Papa Milho | Estratiforme | FFB | Corpo de minério | 60 | 30 | Depósito | Mina Inativa | | 0,3 t (ouro contido) | | Pereira, 2003 |
| 19 | Cachoeira | Estratiforme | FFB | – | – | – | Depósito | Mina Inativa | | – | | – |
| 20 | Jambeiro (Santa Quitéria) | Indeterminada | FFB | – | – | – | Depósito | Não explotada | – | – | – | – |
| 21 | Juca Vieira | Filoneana | Veios quartzo-carbonáticos/ metabasalto | Foliação milonítica | 195 | 43 | Depósito | Mina Inativa | 4 | 0,8 Mt / 5,51 g/t | | Vial et al. 2007; Jaguar Mining, 2004 |
| 22 | Lamego | Estratiforme | Metachert, FFB, filito carbonoso | Dobra (eixo) | 120 | 25 | Depósito | Mina Ativa | 40 | 10,89 Mt / 2,99 g/t Au | 1.29 Mt / 2.9 g/t Au | AngloGold, 2020; Lobato et al., 2016 |
| 23 | Limoeiro | Indeterminada | FFB | – | – | – | Depósito | Garimpo Inativo | – | – | | – |
| 24 | Moita | Estratiforme | Metabasalto | Dobra (Eixo) | 110 | 25 | Depósito | Mina Inativa | 1 | – | | Vial et al., 2007 |
| 25 | Morcego Norte | Indeterminada | FFB | – | – | – | Depósito | Garimpo Inativo | – | – | | – |
| 26 | Morro da Glória | Estratiforme | FFB | | 85 | 40 | Depósito | Mina Inativa | 1,26 | 1,26 Mt t / 6,52 g/t Au | | AngloGold, 2016; Costa 2019 (com. oral) |
| 27 | Morro das Bicas | Filoneana | FFB | – | – | – | Depósito | Garimpo Inativo | – | 0,3 t (ouro contido) | | Pereira, 2003 |

Tabela 3.1- Lista com as ocorrências e depósitos de ouro orogênico do Quadrilátero Ferrífero Central utilizadas neste trabalho, apresentando algumas informações importantes sobre as mineralizações (continuação).

| Nº | NOME | MORFOLOGIA | ROCHA HOSPEDEIRA/ ENCAIXANTE | CONTROLE DA MINERALIZAÇÃO | DIREÇÃO DO Mergulho (°) | Mergulho (°) | GRAU DE IMPORTÂNCIA | STATUS ECONÔMICO | PRODUÇÃO HISTÓRICA (T AU) | RECURSOS / TEOR MÉDIO | RESERVAS / TEOR MÉDIO | REFERÊNCIAS |
|----|--------------------------|---------------|--|---------------------------|-------------------------|--------------|---------------------|------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|---|
| 28 | Morro Velho | Estratiforme | “Lapa seca”, veio de quartzo | Dobra (Eixo) | 95 | 49 | Depósito | Mina Inativa | 470 | 41 Mt / 7 g/t | 54 t/7 g/t Au | Anglo Gold, 2003; Lobato et al., 2014 |
| 29 | Paciência / Santa Isabel | Disseminada | Veio de quartzo/ sericita-clorita xistos | – | 110 | 35 | Depósito | Mina Inativa | – | 5,34 Mt / 3,58 g/t | | Jaguar Mining, 2009 |
| 30 | Pilar | Disseminada | FFB, veios quartzo-carbonáticos | – | 135 | 45 | Depósito | Mina Ativa | 12,99 | 5,28 Mt/ 4,38 g/t | 1.86 Mt / 4.0 g/t Au | Jaguar Mining, 2020 |
| 31 | Pitanga | Indeterminada | FFB | – | – | – | Depósito | Garimpo Inativo | – | 0,1 t (ouro contido) | | Pereira, 2003 |
| 32 | Pinta Bem | Filoneana | FFB | – | – | – | Depósito | Mina Ativa | – | 0,61 Mt / 4,74 g/t | | AngloGold, 2019 |
| 33 | Quati | Filoneana | Veio de quartzo | – | – | – | Depósito | Mina Inativa | – | 0,09 Mt / 9,58 g/t | | Jaguar Mining, 2011 |
| 34 | Quebra-braço | Filoneana | Veio de quartzo/ Filito | – | – | – | Depósito | Garimpo Inativo | – | – | | – |
| 35 | Raposos | Estratiforme | FFB | Dobra (Eixo) | 96 | 22 | Depósito | Mina Inativa | 67 | 2,84 Mt / 6,53 g/t | | AngloGold, 2020; Lobato et al., 2016 |
| 36 | Roça Grande | Estratiforme | FFB, veio de quartzo | Lineação de estiramento | 110 | 20 | Depósito | Mina Inativa | 2,08 | 2,84 Mt / 3,21 g/t | | Machado, 2010; Jaguar Mining, 2020 |
| 37 | Santa Quitéria | Filoneana | FFB, veio de quartzo | – | – | – | Depósito | Mina Inativa | – | 14,3 t (ouro contido) | | Pereira, 2003 |
| 38 | São Bento | Filoneana | Veio de quartzo, FFB, chert ferruginoso | Lineações de estiramento | 120 | 50 | Depósito | Mina Inativa | 59,93 | 5,88 Mt / 4,05 g/t | 0.1 Mt / 4.04 g/t Au | AngloGold, 2020; Costa 2019 (com. oral) |
| 39 | Terras do Capão | Filoneana | Veios de quartzo/ FFB | – | – | – | Depósito | Não explotado | – | 6,75 Mt / 1,51 g/t | 1.85 t | Jaguar Mining, 2003 |
| 40 | Urubu | Estratiforme | “Lapa seca” | – | 86 | 40 | Depósito | Não explotado | – | 0,5 t | | Pereira, 2003 |

* Dados de recurso e teor médio para a mina de Cuiabá, excluindo o corpo Viana. **Abreviações:** FFB (Formação Ferrífera Bandada); com. oral (Comunicação Oral)

Subordinadamente, ocorrem espessos veios de quartzo fumê mineralizados, principalmente no contato entre rochas vulcanoclásticas e filito carbonoso (VIAL *et al.*, 2007; ARAÚJO & LOBATO, 2019). Os corpos mineralizados encontram-se em uma região interpretada como uma rampa lateral resultante da superposição das frentes de empurrão Ribeirão da Prata e Fundão-Cambotas (BALTAZAR & LOBATO, 2020). Como consequência, o bandamento da FFB está transposto, apresentando boa continuidade lateral, com direção aproximada ENE-WSW e mergulho de 30-35° para SSE. A mineralização de ouro se desenvolve aproximadamente paralela ao bandamento da FFB (JAGUAR MINING INC., 2018).

Na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero, a mineralização nas minas de São Bento e Pilar está hospedada nas FFB da Formação Santa Quitéria (porção intermediária do Grupo Nova Lima), no domínio do Bloco Santa Bárbara (ARAÚJO *et al.*, 2020). A Mina São Bento está localizada no município de Santa Bárbara (MG), sua exploração teve início no final do século XIX e, desde 2007, faz parte do complexo mineiro de Córrego do Sítio. O depósito é estruturalmente controlado pela Zona de Cisalhamento São Bento-Donana, com direção NE-SW e mergulho para SE, pertencente ao Lineamento Aurífero Córrego do Sítio (LIMA, 2012; RONCATO *et al.*, 2015). Na geologia da mina, quatro unidades litoestratigráficas informais são identificadas: Formação Ferrífera Inferior, Unidade Grafítica Basal (filitos/xistos carbonosos), Formação Ferrífera São Bento e metagrauvacas da Unidade Carrapato (ABREU *et al.*, 1988; PRADO *et al.*, 1991, VALLADARES, 2004; MARTINS PEREIRA, 1995; MARTINS PEREIRA *et al.*, 2007). A Formação Ferrífera São Bento é a principal hospedeira da mineralização aurífera, e o minério tende a se concentrar na sua porção inferior, próximo ao contato com a Unidade Grafítica Basal. As rochas mineralizadas apresentam bandamento milimétrico, com proporções variáveis de quartzo, magnetita, carbonato, estilpnomelano e sulfetos, são comumente cortadas por veios de quartzo sulfetados. Em algumas porções, diques máficos cortam e deslocam os níveis mineralizados e, portanto, constituem um bom guia prospectivo (MARTINS PEREIRA *et al.*, 2007).

A Mina Pilar também está localizada no município de Santa Bárbara, próximo à zona de contato entre os grupos Nova Lima e Quebra Osso, a qual é assinalada por uma falha de empurrão de direção NE-SW. O depósito está associado a uma estrutura sinformal isoclinal a fechada e de flanco invertido, com plano axial de direção NE-SW e mergulho para SE (eixo com caimento para 135/50), sobreposto a leste por falha inversa e zonas de cisalhamento de mesma direção (SILVA, 2007). Os corpos mineralizados tendem a se espessar na zona de charneira e apresentam alongamento preferencial segundo o eixo da dobra. O ouro ocorre preferencialmente incluso em

arsenopirita e pirrotita, que formam níveis maciços a disseminados, mas pode apresentar-se em sua forma livre, em veios quartzo-carbonáticos (PASSOS, 1999; SILVA, 2007; GUERRERO, 2016). Os minerais sulfetados presentes incluem ainda pirita, calcopirita e esfalerita.

3.2.2. Depósitos hospedados em “lapa seca”

O nome “lapa seca” é dado a rochas xistosas a maciças, compostas essencialmente por carbonatos (principalmente Fe-dolomita), quartzo e plagioclásio (LOBATO *et al.*, 2020). Elas representam produtos da alteração hidrotermal e cisalhamento de rochas metavulcanoclásticas e metatufos; sua composição varia de dacítica a andesítica ou basáltica (VIAL *et al.*, 2007b e referências nele contidas). Segundo VIAL *et al.* (2007b), o hidrotermalismo que gerou a “lapa seca” carbonática é anterior à mineralização, que foi datada em 2,67 Ga por Lobato *et al.* (2007).

As minas de Bela Fama, Bicalho e Morro Velho (Tabela 3.1) encontram-se no mesmo *trend* estrutural, interpretado como uma zona de cisalhamento subparalela ao acamamento (VIAL, 1983a), e hospedam ouro em “lapa seca”, ao longo de níveis sulfetados e veios de quartzo. Essas minas estão situadas no município de Nova Lima, porção centro-norte do Quadrilátero Ferrífero, e caracterizam-se por uma forte continuidade dos corpos de minério segundo os eixos de dobra e por alterações hidrotermais típicas de depósitos orogênicos, com carbonatação, sulfetação, cloritização, silicificação, sericitização e albitização (VIAL *et al.*, 2007b). Além disso, os três depósitos apresentam estilo de mineralização *stratabound* ou filoneano, associado a processos de substituição (LOBATO *et al.*, 2001a; VIAL *et al.*, 2007b).

A mina inativa de Morro Velho constitui um depósito de classe mundial hospedado por rochas da porção intermediária do Grupo Nova Lima, mais especificamente da Formação Mestre Caetano (ARAÚJO *et al.*, 2020). A mina está situada nas proximidades de uma grande zona de cisalhamento regional denominada Lineamento São Vicente, que teria constituído um importante conduto para fluidos hidrotermais mineralizantes (UCHOA, 2018). De acordo com Vial *et al.* (2007b), o minério ocorre como níveis ricos em sulfetos, maciços a disseminados, e como veios de quartzo fumê com ouro livre (em níveis superiores da jazida). Os sulfetos associados à mineralização incluem pirrotita, arsenopirita, pirita e calcopirita, em ordem decrescente de abundância. Nesses sulfetos, o ouro pode estar presente como finas inclusões (principalmente na pirita) ou preenchendo fraturas, planos de clivagem e interstícios, mas também ocorre de forma intragranular. A “lapa seca” é subdividida nas fácies carbonática, micácea e quartzosa. Os níveis mineralizados concentram-se na interface entre

a “lapa seca” carbonática e a “lapa seca” micácea, e a substituição de dolomita e siderita por sulfetos pode ter constituído um mecanismo de mineralização importante. Além disso, elementos do grupo da platina, especialmente Pt e Pd, também foram identificados em associação com o ouro (LADEIRA, 1980). O depósito ocorre em um antiforme redobrado de forma complexa (LOBATO *et al.*, 2001a). Segundo Vial *et al.* (2007b), a “lapa seca” e a mineralização aurífera distribuem-se em cinco dobras apertadas, associadas à primeira fase de dobramento e rompidas por zonas de cisalhamento de direção NE-SW a E-W. Os corpos de minério são alongados segundo a lineação de estiramento local e são contínuos na direção dos eixos de dobra por até 4,8 Km (aproximadamente 085/45 em superfície).

Bicalho compreende uma mina subterrânea inativa e hospeda níveis sulfetados ricos em ouro, especialmente na “lapa seca” xistosa, com raras ocorrências na “lapa seca” maciça. Os principais minerais de minério são *electrum*, ouro, pirita, pirrotita, arsenopirita, esfalerita, galena, calcopirita e tetraedrita, e a mineralização se distribui em cinco corpos de minérios principais (VIAL *et al.*, 2007a).

Na mina de Bela Fama, os veios de quartzo estão encaixados preferencialmente no contato entre rochas ácidas vulcanoclásticas e rochas pelíticas ou “lapa seca”. A mineralização distribui-se em quatro corpos de minério, e os principais minerais de minério são: *electrum*, ouro nativo, pirita, esfalerita, galena, calcopirita e tetraedrita (VIAL *et al.*, 2007a).

3.2.3. Depósitos hospedados em rochas metassedimentares clásticas e vulcanoclásticas

Os depósitos de ouro hospedados em rochas metassedimentares clásticas, da porção intermediária do Grupo Nova Lima, distribuem-se ao longo de estruturas e zonas de cisalhamento regionais, disseminado em rochas milonitizadas e hidrotermalizadas e em veios de quartzo estirados. Os principais depósitos dessa categoria ocorrem na porção nordeste do QF, no âmbito do bloco Santa Bárbara (ARAÚJO *et al.*, 2020), no Lineamento Aurífero Córrego do Sítio e na mina homônima (Tabela 3.1; PORTO, 2008; LIMA, 2012, RONCATO *et al.*, 2015). No Bloco Nova Lima-Caeté, destacam-se alguns depósitos do Complexo Paciência, como as minas Santa Isabel e Quati (Tabela 3.1). As rochas metavulcanoclásticas, por sua vez, além de estarem associadas aos depósitos hospedados em “lapa seca” (metavulcanoclásticas hidrotermalizadas), também hospedam mineralizações em pequenos depósitos, como a Mina Engenho d’Água, e em inúmeros garimpos e galerias lavrados no passado, com o ouro ocorrendo principalmente em veios ou disseminado nessa litologia.

Na Mina Córrego do Sítio, os corpos mineralizados distribuem-se em três zonas de cisalhamento principais de direção NE-SW (Córrego do Sítio, Cristina e São Bento-Donana). As rochas hospedeiras são interpretadas como sequências turbidíticas da Formação Córrego do Sítio (ARAÚJO *et al.*, 2020), e são caracterizadas pela alternância de metagrauvas e filitos carbonosos, comumente cortadas por veios quartzo-carbonáticos e soleiras/diques metamáficos (CANALE, 1999; DAVID, 2006; PORTO, 2008; LIMA, 2012; SEQUETTO-PEREIRA *et al.*, 2013; RONCATO *et al.*, 2015). Dentre as subunidades mapeadas na mina (inferior, intermediária e superior), o minério se concentra na zona intermediária, especialmente nos contatos com os diques (RONCATO *et al.*, 2015 e referências nele contidas). O ouro está incluso em sulfetos ou em sua forma livre, disseminado nas rochas hospedeiras e em veios quartzo-carbonáticos (RIBEIRO *et al.*, 2013; SEQUETTO-PEREIRA *et al.*, 2013; RONCATO *et al.*, 2015). Os principais minerais sulfetados são arsenopirita, pirrotita e pirita, além de calcopirita, bertierita e estibinita.

O Complexo Paciência é formado por minas e escavações (ex. Marzagão, Bahú, Santa Isabel) distribuídas ao longo do Lineamento São Vicente-Paciência, uma zona de cisalhamento de direção NW-SE e mergulho para NE. A Mina inativa Santa Isabel é o principal depósito desse complexo e localiza-se no município de Itabirito. A sequência estratigráfica nesse depósito é composta principalmente por metapelitos e rochas metavulcanoclásticas, que estão intensamente dobrados, falhados e alterados hidrotermalmente. A mineralização aurífera está presente em veios de quartzo sulfetados encaixados em rochas metassedimentares clásticas (sericita-clorita xistos) ou disseminada nas rochas hospedeiras, e o ouro ocorre na forma livre ou como inclusão em sulfetos (JAGUAR MINING, 2011).

O depósito de Engenho d’Água situa-se no prolongamento NW do Lineamento São Vicente-Paciência, a aproximadamente 3 km da cidade de Rio Acima. A mineralização está hospedada em uma sequência de rochas metavulcanoclásticas dacíticas félsicas ou, em menor proporção, em filitos carbonosos, ambos pertencentes ao GBRV (FIGUEIREDO E SILVA *et al.*, 2002; BELEQUE, 2015). A mineralização aurífera é caracterizada por alteração a quartzo-carbonato-sericita e por sulfetação das rochas hospedeiras, além da formação de sulfossais de Sb e de zonas de intensa silicificação e injeção de veios de quartzo (MUNDO MINERALS LTDA., 2006). Segundo Figueiredo e Silva *et al.* (2002), as principais fases de deformação incluem dobras com foliação de plano-axial em 110/45 e um empurrão oblíquo de direção NW-SE (pertencente ao Lineamento São Vicente-Paciência), que sobrepõe as rochas pelíticas às rochas vulcanoclásticas na porção norte do depósito. Por fim, esse empurrão é deslocado

por uma falha secundária, orientada segundo NE-SW. Segundo Beleque (2015), o corpo de minério principal está mais bem desenvolvido nas zonas de charneira, onde o teor de ouro atinge 9 g/t, e a mineralização está controlada principalmente pelos eixos de dobra, com mergulho para 085/34.

3.2.4. Depósitos hospedados em rochas metavulcânicas máficas e ultramáficas

Os depósitos auríferos hospedados em rochas metavulcânicas máficas e ultramáficas ocorrem de forma subordinada no QF. Nesses depósitos, o ouro está disseminado em veios quartzo-carbonáticos ou incluso em sulfetos, localizados nas zonas de contato entre os veios e as rochas máficas e ultramáficas milonitizadas, que apresentam zonas de alteração hidrotermal ricas em sericita, carbonato e clorita. A Mina Juca Vieira constitui o principal exemplo desse tipo de depósito, além de ocorrências subordinadas na Mina Cuiabá, e nos depósitos Santana, Descoberto e Moita (Tabela 3.1; LOBATO *et al.*, 2001a; VIAL *et al.*, 2007a).

A Mina inativa Juca Vieira está localizada nas proximidades do município de Caeté. Os corpos mineralizados estão distribuídos ao longo de uma zona de cisalhamento dúctil NNW-SSE, com cerca de 10 km de extensão e

2,5 km de espessura, a qual associa-se uma foliação milonítica de atitude 195/43 e uma lineação de alongamento mineral com mergulho para 114/10 (PEREIRA, 1996; LOBATO *et al.*, 2001a). Na área da mina, predominam rochas metavulcânicas máficas a intermediárias da Formação Ouro Fino (ARAÚJO *et al.*, 2020), com raras intercalações de rochas ultramáficas e xistos grafitosos, cortados por veios mineralizados (PEREIRA, 1996; LOBATO *et al.*, 1998, 2001a; VIAL *et al.*, 2007a). Ao redor dos veios, desenvolvem-se zonas de sericitização, nas quais também há concentrações importantes de sulfetos com inclusões de ouro, incluindo arsenopirita, pirrotita e pirita, e mais raramente galena, esfalerita, calcopirita, estibinita, scheelita, tetraedrita-tennantita e bornita (PEREIRA, 1996; LOBATO *et al.*, 1998; VIAL *et al.*, 2007a).

No Depósito Cuiabá, recentemente, foram identificadas mineralizações importantes relacionadas a zonas de cisalhamento e hospedadas em veios quartzo-carbonáticos que cortam as rochas máficas (a exemplo do Corpo Viana). O ouro ocorre principalmente nos veios, na forma livre, em partículas grossas, visíveis e, subordinadamente, nas rochas encaixantes, incluso ou no contato entre sulfetos (VITORINO *et al.*, 2020). Quatro sistemas de veios foram identificados por esses autores, sendo que o tipo V1, controlado por uma foliação milonítica de atitude média 145/46, é a principal fonte de ouro.

4. MAPA DE FAVORABILIDADE MINERAL PARA O QF CENTRAL: INTEGRAÇÃO DE DADOS E GERAÇÃO DE ALVOS

4.1. INTRODUÇÃO

Mapas de Prospectividade Mineral (MPM, BONHAM-CARTER, 1994; CARRANZA, 2008) são focados no delimitamento de áreas com alta probabilidade para conter depósitos minerais ainda não descobertos. O conceito básico dos MPM é a integração de diversas camadas de informação com a análise das ocorrências minerais já conhecidas, possibilitando a identificação de regiões que sobrepõem critérios prospectivos favoráveis. Desta forma, o índice de prospectividade corresponde ao grau de probabilidade para um determinado *pixel* ter assinaturas similares às de ocorrências já mapeadas.

No presente trabalho, dados de naturezas distintas foram processados e posteriormente integrados na forma de mapa de favorabilidade (QUEIROZ *et al.*, 2022), visando ressaltar regiões mais favoráveis à ocorrência de ouro do tipo orogênico (GROVES *et al.*, 1998; ROBERT *et al.*, 2007). O embasamento teórico para a escolha dos *proxies* e da base de dados adotada foi guiado pelo conceito de sistemas minerais, conforme descrito a seguir.

4.2. SISTEMAS MINERAIS

A abordagem de sistemas minerais (SM), consolidada desde a década de 1970 para a indústria do petróleo, foi inicialmente aplicada para a prospecção mineral por Wyborn *et al.* (1994) em terrenos proterozoicos da Austrália e, após mais de duas décadas, passou a ser ampliada e consolidada para as etapas iniciais da exploração mineral por diversos autores (KNOX-ROBINSON & WYBORN, 1997; HRONSKY, 2004; BARNICOAT, 2007; HRONSKY & GROVES, 2008; MCCUAIG *et al.*, 2010; MCCUAIG & HRONSKY, 2014; UCHÔA *et al.*, 2020; YOUSEFI *et al.*, 2021). Essa abordagem entende o depósito mineral como parte de um sistema mineralizante maior, que transfere energia e massa em diversas escalas. O objetivo é traduzir os processos críticos para formação do minério em feições mapeáveis, identificando os *footprints* da mineralização na escala de trabalho. Na aplicação desse conceito, a escala de trabalho deve ser combinada com a escala de processos geológicos relevantes para a gênese do minério e com a resolução espacial do banco de dados disponível para a pesquisa.

Em escala litosférica, a formação de um depósito depende da atuação de três elementos críticos: fertilidade, geodinâmica e arquitetura favorável da litosfera, além

de condições para preservação do minério (Figura 4.1; MCCUAIG *et al.*, 2010; MCCUAIG & HRONSKY, 2014). Assim como para o sistema petrolífero, esses elementos podem ser diferenciados com base nos processos envolvidos na mobilização do fluido mineralizado a partir da fonte, incluindo o transporte, a acumulação e a preservação durante a subsequente história geológica (MAGOON & DOW, 1994; WYBORN *et al.*, 1994).

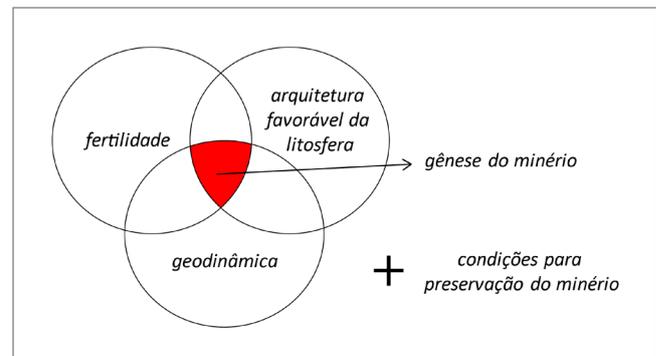


Figura 4.1 - Elementos críticos para a formação e preservação de um sistema mineral segundo McCuaig & Hronsky (2014).

A aplicação do conceito de SM para a geologia econômica implica que depósitos minerais formados por processos geológicos semelhantes, mesmo que contenham variações, devem ser agrupados em um único modelo ou clã. Para este trabalho, os elementos críticos e a base teórica foram estruturados a partir de um modelo exploratório para ouro do tipo orogênico (GROVES *et al.*, 1998; GROVES *et al.*, 2000; ROBERT *et al.*, 2007).

Após a escolha do modelo exploratório, o SM pode ser separado a partir de três esferas do conhecimento: arcabouço litoestrutural, alteração hidrotermal e evolução geodinâmica. Para o QF Central, os fundamentos teóricos, que levaram à escolha dos *proxies* espaciais e dados primários nos quais se baseia a extração de informações prospectivas, estão sintetizados na Tabela 4.1, de acordo com suas respectivas esferas do conhecimento.

Em escalas locais, a combinação dos fatores litológicos e estruturais representa a configuração mais favorável para a ocorrência de ouro orogênico (GROVES *et al.*, 1998; ROBERT *et al.*, 2007). Desta forma, mapas geológicos merecem destaque dentro do conjunto de elementos relacionados ao arcabouço litoestrutural.

Tabela 4.1 - Caracterização dos principais critérios exploratórios para confecção do Mapa de Favorabilidade para Ouro Orogênico do Quadrilátero Ferrífero Central, contendo as justificativas para a escolha dos proxies espaciais, dados primários e feições mapeáveis.

| ESFERA DO CONHECIMENTO | CRITÉRIO EXPLORATÓRIO | JUSIFICATIVA | PROXY | DADOS PRIMÁRIOS | MAPAS EVIDENCIAIS |
|---------------------------------|----------------------------|---|--|---|--|
| Arcabouço Litoestrutural | Geologia | O ouro orogênico tende a estar hospedado em unidades litológicas do GBRV e/ou em encaixantes próximas | 1) Unidades mais prospectivas pertencentes ao GBRV | Mapa Geológico ARIM QF-Central (16 Folhas - 1:25.000) | Unidades litológicas com pesos definidos a partir do potencial prospectivo |
| | Estrutural | Regiões com alta densidade estrutural tendem a gerar zonas de baixa pressão em que fluidos mineralizados podem ser precipitados | Regiões com intersecção de estruturas | Dados estruturais obtidos no Mapa Geológico ARIM QF-Central (16 Folhas - 1:25.000) em campo | Mapa da densidade <i>kernel</i> de intersecção de estruturas |
| Alteração Hidrotermal | Geoquímica (Sed. Corrente) | O ouro tende a se concentrar em bacias enriquecidas em Au e elementos farejadores | 1) Regiões anômalas em Au e elemento associados (As, Bi, Sb) | Dados de Geoquímica de Solo e Sedimento de Corrente (CPRM) | A técnica PFA (<i>Principal Factor Analysis</i>) foi aplicada aos dados de geoquímica de solo e sedimento de corrente destacando os fatores F3 (Au + Sb + As + Mo) e F5 (Au + Sb + As), respectivamente. Estes fatores foram integrados através do operador <i>fuzzy</i> "OR", gerando uma única camada evidencial |
| | Geoquímica (Solo) | O ouro tende a se concentrar em bacias enriquecidas em Au e elementos farejadores | 1) Regiões anômalas em Au e elemento associados (As, Bi, Sb, Mo) | | |
| Geodinâmica | Estruturas Deformacionais | Corredores deformacionais e estruturas regionais tendem a ser condutos para a ascensão de fluidos mineralizados | Densidade de estruturas deformacionais regionais | Estruturas deformacionais D1, D2, D3, D4 e mapas aeromagnéticos | Densidade <i>kernel</i> de estruturas deformacionais |

Em ambientes mesozonais a epizonais, a atuação de fluidos hidrotermais mineralizados conduzidos por estruturas sintectônicas está diretamente relacionada à formação de depósitos de ouro orogênico (ROBERT *et al.*, 2007). Para mapear a esfera do conhecimento relativa à alteração hidrotermal, é necessário entender a composição dos fluidos mineralizantes. Os depósitos orogênicos arqueanos apresentam associações características de Au, com As, W, Ag, Sb, Te e B. Em alguns depósitos, no entanto, podem ser considerados o enriquecimento de um ou mais elementos como Sb, Cu, Pb, Mo e Ag (FOSTER, 1990).

A respeito da evolução geodinâmica, depósitos de ouro orogênico apresentam mineralizações hospedadas em veios ou associadas à substituição da rocha encaixante, relacionadas à uma tectônica compressional ou transpressional que, por sua vez, é representada por falhas reversas e dobras (ROBERT *et al.*, 2007). Desta forma, para modelos exploratórios desse tipo, a configuração litosférica e as principais estruturas deformacionais são importantes *proxies* para possíveis condutos de fluidos mineralizantes e/ou locais para deposição do minério.

4.3. METODOLOGIA

O Mapa de Favorabilidade para Ouro Orogênico do QF Central (QUEIROZ *et al.*, 2022) foi elaborado em escala 1:100.000, considerada escala de distrito para a exploração mineral (HRONSKY & GROVES, 2008), a partir da integração de dados geológicos, estruturais e geoquímicos. O tipo de modelagem escolhida foi dirigido pelo conhecimento, ou *knowledge-driven* (BONHAM-CARTER, 1994; PORWAL *et al.*, 2003), em que dominam análises qualitativas guiadas majoritariamente pelas características geológicas dos depósitos conhecidos na área de trabalho. Esse tipo de técnica é recomendado para regiões com poucas ocorrências minerais conhecidas ou áreas maduras em que há um conhecimento maior dos componentes da mineralização, sendo essencial para minimizar possíveis vieses de outros métodos exploratórios (PORWAL *et al.*, 2015; UCHOA, 2018; YOUSEFI *et al.*, 2021). Assim, os métodos orientados pelo conhecimento carregam guias exploratórios e incertezas derivados do julgamento de especialistas na categorização convencional de dados espaciais contínuos em classes arbitrárias

e na alocação do mesmo peso para todos os valores em cada classe de recursos de evidência (*p.ex.* KNOX-ROBINSON, 2000; PORWAL *et al.*, 2003; NYKÄNEN AND OJALA, 2007; NYKÄNEN *et al.*, 2008; LUSTY *et al.*, 2012; MCKAY & HARRIS, 2016; UCHOA, 2018). Desta forma, apesar do QF central ter um grande volume de ocorrências de ouro registradas, o método escolhido para a modelagem se faz necessário para anteceder modelagens mais sofisticadas (*data-driven*), evitando vieses exploratórios indesejados, e para melhor caracterizar o potencial mineral regional (JOLY *et al.*, 2012; YOUSEFI *et al.*, 2021).

O primeiro passo para a geração do mapa de favorabilidade foi a escolha do modelo exploratório adotado, guia para a seleção dos dados de entrada e escolha dos *proxies* espaciais. Após, foi feito o pré-processamento dos dados, que envolveu diversas técnicas, incluindo: interpolação e tratamento de dados geoquímicos, cálculos de raster, mudanças de escala e classificação de dados geológicos e estruturais.

Em seguida, iniciou-se a etapa de *fuzzificação*. A lógica *fuzzy* é uma forma de lógica multivalorada, na qual os valores das variáveis são números reais entre 0 e 1. A escolha das associações *fuzzy* mais adequadas para cada conjunto de dados gera uma simplificação padronizada das diferentes variáveis, possibilitando seu uso em conjunto. As funções de pertinência especificam o grau de compatibilidade de cada elemento ao conjunto *fuzzy*. Nessa etapa, a função de pertinência utilizada foi a *fuzzy categorical*, em que o especialista define quais valores devem ser ressaltados. Desta forma, os parâmetros críticos da mineralização foram transformados em mapas evidenciais com valores que variam entre 0, exclusão total do conjunto, a 1, pertinência total ao conjunto (NYKÄNEN *et al.*, 2008; RAINES *et al.*, 2010). Para a elaboração do mapa evidencial de geoquímica, o operador *fuzzy* OR foi utilizado para unificar duas camadas contendo informações distintas (fatores F3 e F5). Esse operador tende a preservar os maiores valores em uma intersecção, sendo considerado, por este motivo, um operador máximo.

A Tabela 4.1 traz informações sobre os dados primários, feições mapeáveis, *proxies* espaciais e critérios exploratórios que foram utilizados para a confecção do Mapa de Favorabilidade do QF Central. Nos tópicos seguintes serão detalhados o banco de dados e principais vetores prospectivos utilizados e os processamentos realizados para produção dos mapas evidenciais.

4.3.1. Dados geológicos e estruturais

A base de dados utilizada para produção dos mapas evidenciais relacionados ao arcabouço lito-estrutural e geodinâmica foi obtida no Projeto ARIM - Evolução Crustal e Metalogenia do Setor Central do Quadrilátero

Ferífero (SILVA *et al.*, 2020) e inclui dados, em escala 1:25.000, de unidades litológicas, estruturas geológicas e recursos minerais para 16 folhas cartográficas (Figura 2.1). O conjunto de dados lito-estruturais para confecção do MPM do QF Central é apresentado na Tabela 4.1.

Na esfera de conhecimento relacionada ao arcabouço lito-estrutural do QF Central, dois critérios exploratórios foram utilizados para a confecção do Mapa de Prospectividade Mineral (MPM): a geologia, representada pelas unidades litológicas classificadas de acordo com o potencial para hospedar a mineralização aurífera; e a estrutural, que inclui uma série de estruturas geológicas mapeadas em campo e/ou interpretadas através de imagens geofísicas e de sensores remotos.

No que se refere à geologia, o ouro orogênico no QF está hospedado em unidades arqueanas do GBRV e/ou em encaixantes próximas. Dessa forma, as unidades litológicas foram classificadas de acordo com o potencial para hospedar ocorrências de Au, produzindo um mapa evidencial de geologia em que as unidades litológicas foram agrupadas em 10 classes representadas pelos números 1 a 10 (em que 1 representa o menor potencial prospectivo e 10 o maior; Tabela 4.2, Figura 4.8D). Neste contexto, as unidades pertencentes ao GBRV, em particular litologias como FFB, “lapa seca” e rochas máficas-ultramáficas, tiveram maior peso do que as rochas pertencentes ao Supergrupo Minas.

Tabela 4.2 - Pontuações atribuídas às unidades litológicas do Quadrilátero Ferífero para confecção do mapa de favorabilidade.

| MAPA DE EVIDÊNCIA | LITOLOGIA | PONTUAÇÃO |
|-------------------|---|-----------|
| Litologia | Formações ferríferas bandadas, <i>metachert</i> , “lapa seca”, filitos/xistos carbonosos e turmalinitos do Grupo Nova Lima | 9 |
| | Metabasaltos, metandesitos, metaperidotitos, talco-xistos do Grupo Nova Lima | 8 |
| | Predominantemente rochas metassedimentares clásticas, metavulcanossedimentares, metavulcanoclásticas e metapiroclásticas do Grupo Nova Lima | 7 |
| | Grupo Nova Lima indiviso; metakomatiitos do Grupo Quebra Osso | 6 |
| | Rochas metassedimentares do Grupo Maquiné e do Supergrupo Minas; coberturas aluvionares e lateríticas; rochas metavulcânicas máficas-ultramáficas da Suíte Córrego dos Boiadeiros; e rochas granito-gnáissicas do embasamento | 1 |

Para a análise do critério estrutural, as regiões com alta densidade de estruturas e com alta densidade de interseção de estruturas foram consideradas favoráveis, uma vez que podem gerar condutos e zonas de baixa pressão, nas quais o ouro tende a ser precipitado a partir de fluidos hidrotermais mineralizados. A associação espacial das estruturas geológicas com os principais produtos do campo magnético anômalo (amplitude do gradiente total, derivadas, segundas derivadas e inclinação do sinal analítico) ajuda a validar seu posicionamento cartográfico, refinar contatos e, por vezes, ajustar ou inferir o traçado de feições encobertas. Os dados aerogeofísicos utilizados neste trabalho foram provenientes de dois projetos aerogeofísicos realizados pelo SGB: Projeto Rio das Velhas (código 3007 no banco de dados GeoSGB), com duas direções de voo (N40W e N50E), altura de voo de 80 m e espaçamento das linhas de 250 m; e Projeto Aerogeofísico Rio das Velhas-Nova Redenção (código 1116 no GeoSGB), com linhas de voo N45W, altura de voo de 90 m e espaçamento das linhas de 250 m. O Mapa da Amplitude do Gradiente Total do Campo Magnético Anômalo (Figura 4.2) ilustra bem os diferentes padrões que o campo magnético exibe nos terrenos do GBRV e seu contraste com os domínios da Bacia Minas. As principais estruturas regionais do QF, bem como os contatos entre os diferentes domínios

tectônicos, são ressaltadas nas imagens aerogeofísicas, especialmente no Mapa da Segunda Derivada do Campo Magnético Anômalo (Figura 4.3).

As interseções entre estruturas geológicas foram extraídas, gerando um conjunto de pontos que foi posteriormente interpolado com o algoritmo *kernel density* em escala 1:25.000. O último processamento deu origem ao mapa evidencial de interseção de estruturas (Figura 4.8B).

Para avaliação do critério de evolução geodinâmica, foi gerado um mapa de densidade de estruturas deformacionais. O conjunto de dados usado nessa etapa é proveniente de uma filtragem das principais estruturas do mapa geológico integrado do QF Central (SILVA *et al.*, 2020). Esses dados foram hierarquizados de acordo com as quatro fases deformacionais (D1, D2, D3 e D4), descritas no item 2.2 (Figura 4.4) e classificadas quanto ao seu menor ou maior potencial em hospedar mineralizações de Au.

Para dar suporte à hierarquização das estruturas correspondentes às fases deformacionais, foram utilizados produtos aerogeofísicos derivados do campo magnético anômalo, em especial a amplitude do gradiente total, derivada vertical, segunda derivada vertical e a inclinação do sinal analítico (Figura 4.2 e 4.3), ressaltando as relações de corte e superposição dessas estruturas

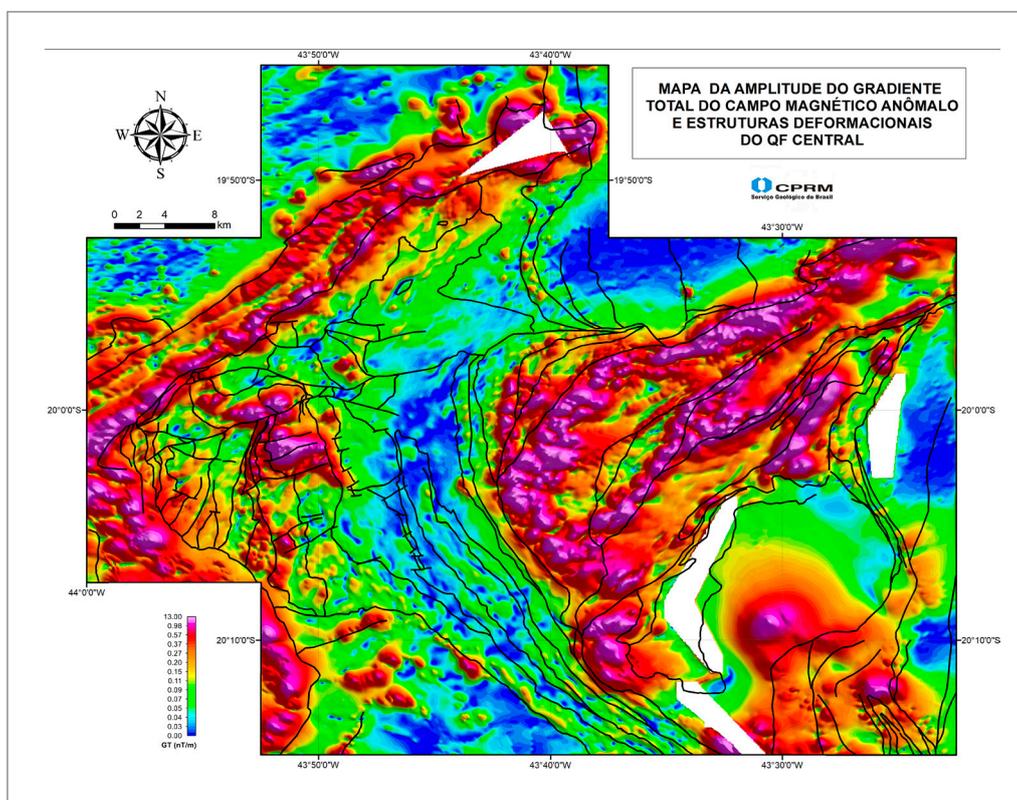


Figura 4.2 - Mapa da Amplitude do Gradiente Total do Campo Magnético Anômalo (junção dos Projetos Aerogeofísicos, Áreas 2, 3, 10, RV e IF. CPRM, 1996; DNPM, 1992; SEME, 2001; CODEMIG, 2009) e principais estruturas deformacionais.

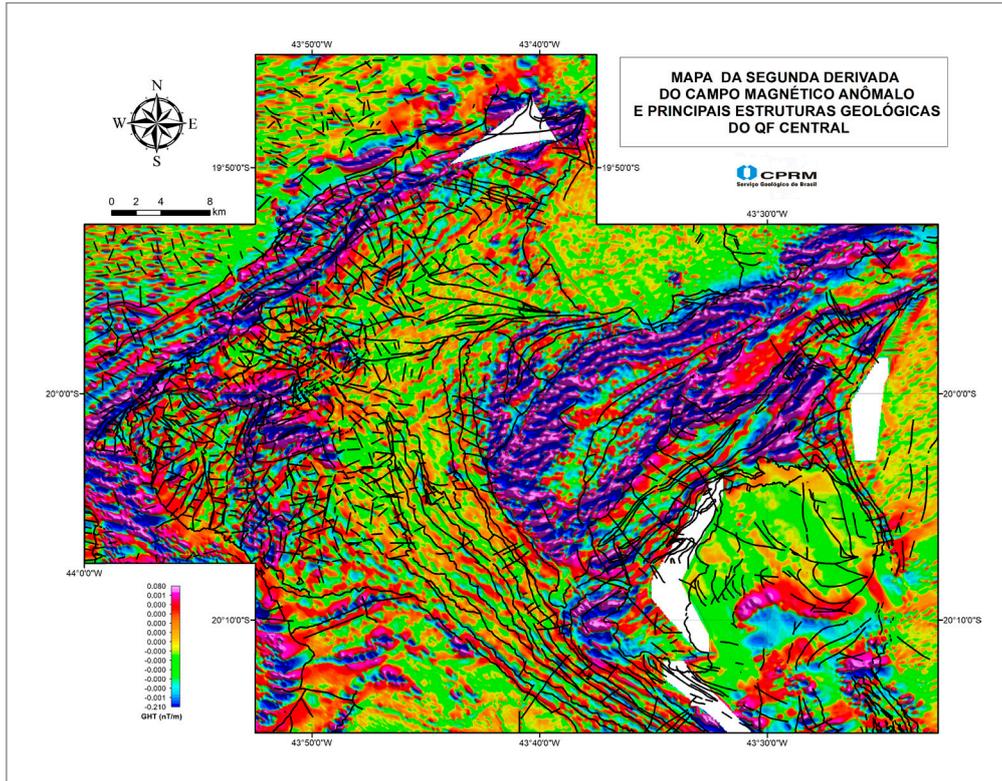


Figura 4.3 - Mapa da Segunda Derivada do Campo Magnético Anômalo (junção dos Projetos Aerogeofísicos, Áreas 2, 3, 10, RV e IF. CPRM, 1996; DNPM, 1992; SEME, 2001; CODEMIG, 2009) e principais estruturas geológicas (SILVA et al., 2020).

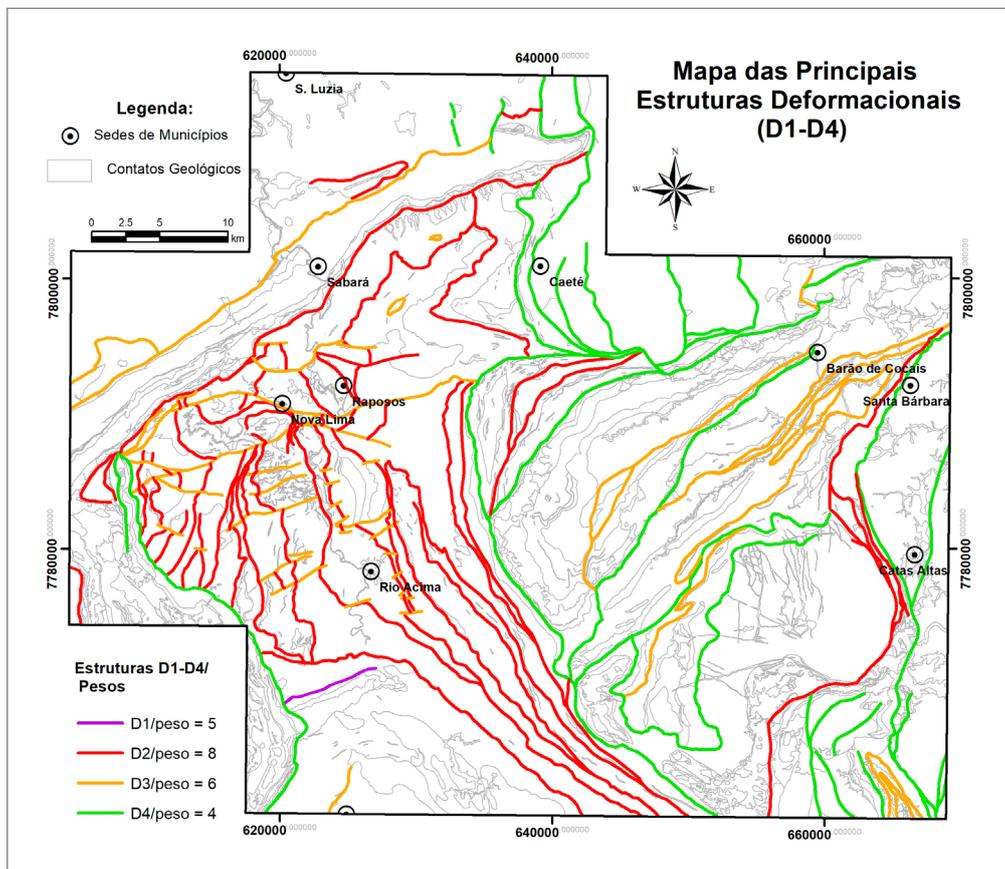


Figura 4.4 - Mapa com as principais estruturas deformacionais do Quadrilátero Ferrífero Central, apresentando a hierarquização das fases deformacionais e os diferentes pesos atribuídos, referentes ao potencial mineral para hospedar depósitos de ouro orogênico.

em escala regional. Os dados das estruturas obtidas em campo, extraídos de Silva *et al.* (2020) foram utilizados na checagem e validação da hierarquização proposta.

Pesos diferentes foram atribuídos a cada fase deformacional relacionada (D1, D2, D3 e D4), em função da idade estimada e de sua importância na percolação de fluidos mineralizantes e, conseqüentemente, na gênese do minério. Essas informações foram obtidas, principalmente, dos mapas geológico-estruturais de diferentes minas de Au da região, publicados na literatura. Entre os mapas analisados estão os das Minas Cuiabá (RIBEIRO-RODRIGUES *et al.*, 2007), Morro Velho (VIAL *et al.*, 2007b), Lamego e Faria (VIAL *et al.*, 2007a) e Raposos (JUNQUEIRA *et al.*, 2007).

A fase deformacional D1, de idade arqueana, teve seus traços estruturais obliterados e rompidos pela deformação D2, subsequente, e encontra-se preservada apenas em um local restrito, na porção sudoeste da área (Figura 4.4), e lhe foi atribuído o peso 5. Associada aos planos axiais das dobras D1, a deformação D2 é interpretada como a fase diretamente relacionada aos fluidos da mineralização aurífera arqueana do tipo ouro orogênico (LOBATO *et al.*, 2007). Como portadora da mineralização, a fase D2 recebeu o maior peso atribuído entre as fases, 8. A fase deformacional D3, associada ao evento Transamazônico, reorienta e, por vezes, rompe as estruturas de D2, sendo responsável pela rotação dos corpos de minério (BALTAZAR *et al.*, 2016). A essa fase foi atribuído o peso 6. Ao conjunto de estruturas hierarquizadas como D4, relacionadas ao evento Brasileiro e à evolução da Faixa Araçuaí, e registradas principalmente na porção leste da área, foi atribuído o peso 4. Esses pesos foram considerados na interpolação das camadas através do algoritmo *kernel density*, que produziu o mapa de densidade de estruturas deformacionais (Figura 4.8A).

4.3.2. Dados Geoquímicos

Neste trabalho, o conjunto de elementos críticos relacionados à alteração hidrotermal foi mapeado a partir da análise de dados geoquímicos de solo e de sedimento de corrente. Esses dados foram obtidos do Projeto Mapeamento Geoquímico do Quadrilátero Ferrífero e seu entorno (LARIZZATTI *et al.*, 2014). As amostras de sedimento ativo de corrente foram coletadas, de forma composta (entre 5 a 10 porções) e num raio máximo de 50 metros. As amostras de solo obedeceram a uma malha regular de 5 km de distanciamento entre as mesmas, coletando-se o horizonte B, caracterizado pelo acúmulo de material predominantemente em fração granulométrica mais fina (processo de iluviação).

A preparação e análise químicas das amostras de sedimentos e solos foram realizadas pelo laboratório analítico SGS-GEOSOL®. Em relação às análises químicas,

a polpa peneirada < 80 *mesh* de cada amostra é submetida à pulverização (150 *mesh*) e digestão por água-régia (3HCl:1HNO₃), em chapa aquecedora. Após a digestão com os ácidos, os extratos são submetidos à análise de 53 elementos químicos. Os elementos maiores são analisados em ICP-OES (emissão óptica com plasma indutivamente acoplado) e os elementos-traços em ICP-MS (espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado).

Os dados obtidos foram submetidos ao tratamento estatístico dos dados, baseado no conjunto de técnicas e procedimentos da Análise Exploratória dos Dados (*Exploratory Data Analysis – EDA*), fundamentado nos trabalhos de Tukey (1977), Grunsky (2010), Reimann *et al.* (2002; 2008) e Carranza (2008; 2011). Esse conjunto de técnicas é dividido em três etapas principais, sendo a primeira a estatística univariada, onde as variáveis (elementos) são analisados segundo suas distribuições e comportamentos estatísticos, por meio de gráficos (histogramas, *boxplot*, probabilidade normal, etc.) dos dados brutos e *log*-transformados, além da definição de seus parâmetros estatísticos registrados no sumário estatístico, tais como: média, mediana, percentis, coeficiente de variação, testes de normalidade, etc. Posteriormente, realiza-se a estatística bivariada, onde verifica-se a relação entre as variáveis, principalmente por meio da matriz de correlação (ranqueamento de Spearman) e regressão linear (gráficos de dispersão). Por fim, na etapa de estatística multivariada, por análise fatorial, define-se a assinatura geoquímica multielementar dos dados de sedimento de corrente e solos.

A análise fatorial com extração dos fatores por componentes principais tem por objetivo identificar importantes estruturas que explicam a variância do sistema de dados, mostrando a melhor estrutura de correlação entre as variáveis e, conseqüentemente, indicando as principais associações geoquímicas de elementos predominantes na área de estudo (REIMANN *et al.*, 2002). Essa análise é designada a reduzir o número de variáveis em pequenos números de índices (fatores), preservando as relações presentes nos dados originais. Isto contribui para uma interpretação mais refinada de dados geoquímicos (MANLY, 1986; DAVIS, 1986; TABACHNICK & FIDELL, 2001).

Para a realização dessa análise, é utilizada a transformação dos dados por razão logarítmica centrada (*Centred Logratio - CLR*; AITCHISON, 1986), considerando os dados geoquímicos no âmbito de dados composicionais. Por definição, dados composicionais são descrições quantitativas das partes de algum todo. Tomando-se como exemplo um banco de dados geoquímico, cada leitura de cada elemento químico de uma amostra representa uma subcomposição, ou seja, uma parte dessa amostra, independente de como sua totalidade seja representada (por exemplo, em porcentagem - 100%, 1.000.000 mg.kg⁻¹ ou ppm). Portanto, dados geoquímicos são composicionais

e multivariados por natureza (PAWLOWSKY-GLAHN & OLEA, 2004). O uso de razões logarítmicas minimiza o efeito de fechamento pela soma constante (*closure effect*), além de reduzir a ocorrência de correlações espúrias, tornando o tratamento estatístico mais favorável a interpretações (PAWLOWSKY-GLAHN & EGOZCUE, 2016; PAWLOWSKY-GLAHN & OLEA, 2004; TOLOSANA-DELGADO, 2005). A transformação CLR utiliza a média geométrica como normalizador, ou seja, faz com que os dados tenham isomorfismo e isometria, consequentemente, fazendo com que as correlações originais entre a maioria das variáveis sejam mantidas. Ainda, em termos práticos, a utilização da transformação CLR permite maior desempenho da análise fatorial, ao mostrar num mesmo fator duas informações de associações geoquímicas, uma na contraparte positiva do fator e outra na contraparte negativa, potencializando ainda mais a interpretação dos dados.

Os produtos do tratamento geoquímico utilizados para a confecção do mapa de favorabilidade mineral foram extraídos da análise fatorial aplicada aos dados de sedimento de corrente e solo. Os dados foram submetidos à rotação *Varimax* (minimiza o número de variáveis que têm altas cargas em um fator, simplificando a interpretação dos fatores). Essa análise estatística foi realizada para cada matriz geológica, com a utilização de 28 elementos químicos para sedimentos de corrente e 29 para solos. Os resultados da análise fatorial para cada matriz geológica encontram-se na Tabela 4.3.

Para os sedimentos de corrente, a análise resultou em cinco fatores que explicam 77,33% da variância do sistema de dados (valor considerado significativo para a análise), obtendo no Fator 5 (4,82% da variância) a associação geoquímica representativa das mineralizações de ouro (Au-Sb-As) para a contraparte positiva do fator (Figura 4.5). Para solo, tal análise resultou também em cinco fatores, que explicam 75,56% da variância do sistema de dados, onde o Fator 3 também apresenta a associação geoquímica característica das mineralizações de ouro (Mo-Sb-Au-As), 10,09% da variância (Figura 4.6).

Cada fator gerado é relacionado a um *score*, que o representa em cada amostra envolvida na análise. Os *scores* são calculados pela multiplicação dos autovetores (índices vetoriais originados pela análise) e dos valores de concentração (nesse caso, são os valores de concentração CLR-transformados) de cada variável envolvida no fator. Assim, os *scores* representam o peso de cada fator gerado em cada amostra. Quanto maior e mais positivo for um *score*, maior a sua representatividade na contraparte positiva do fator (associação geoquímica positiva). Da mesma forma, quanto menor e mais negativo for o *score*, mais representa a contraparte negativa do fator.

Tabela 4.3 - Autovalores e suas respectivas porcentagens de variância para cada fator segregado da análise fatorial em amostras de solo e sedimento de corrente para a área estudada.

| FATORES | ASSOCIAÇÃO GEOQUÍMICA (SOLO) | AUTOVALORES | VARIÂNCIA (%) |
|---------|---|-------------|---------------|
| 1 | Ni-Zn-Cu-Co (+) / Nb-Sn-U-Th (-) | 8,42 | 32,40 |
| 2 | Fe-Mn-Ti-P (+)/ Rb-Cs-K-ETRL- Th-Tl (-) | 5,20 | 20,02 |
| 3 | Mo-Sb-Au-As (+) | 2,62 | 10,09 |
| 4 | U-ETRL (+)/ V-Cr-Sc (-) | 2,15 | 8,30 |
| 5 | Li-Ba-Tl (+) | 1,23 | 4,73 |
| | Total | 19,64 | 75,56 |

| FATORES | ASSOCIAÇÃO GEOQUÍMICA (SEDIMENTO) | AUTOVALORES | VARIÂNCIA (%) |
|---------|--|-------------|---------------|
| 1 | Co-Ni-Cu-Cr- Zn-Mg (+)/ Nb-U-Th-Tl (-) | 9,67 | 35,81 |
| 2 | Fe-Mn-V (+)/ Rb-K-Cs-ETRL- Th-Li (-) | 4,15 | 15,37 |
| 3 | Sc-Ga-Al-V (+) | 3,12 | 11,56 |
| 4 | Ca-Sr (+) | 2,64 | 9,76 |
| 5 | Au-As-Sb (+) | 1,30 | 4,82 |
| | Total | 20,88 | 77,33 |

As associações geoquímicas para sedimento de corrente e para solo que se correlacionam melhor com a mineralização aurífera (Fator 5 e Fator 3, respectivamente, Tabela 4.3) apresentam somente a contraparte positiva. Dessa forma, os *scores* mais positivos representam melhor a associação característica da mineralização aurífera. Os maiores *scores* relacionados a esses fatores estão claramente associados com o Supergrupo Rio das Velhas, tanto para as amostras de solo como para as de sedimento de corrente (Figuras 4.5 e 4.6). Boa parte da área exposta do GBRV, incluindo os Grupos Nova Lima e Maquiné, apresentou altos *scores*. Tal característica mostra o alto potencial aurífero dessa sequência, ilustrado também pela grande dispersão dos depósitos auríferos na região. Os *scores* para solos (Figura 4.6) destacaram o *trend* de mineralização NW-SE (Zona de Cisalhamento São Vicente) na porção central da área de estudo, coincidindo com os depósitos Santa Isabel, Margazão, Bahú, Quati e Engenho d'Água. Já os *scores* para sedimentos de corrente (Figura 4.5)

destacaram o *trend* de mineralização NE-SW a leste da área de estudo, conhecido como Lineamento Aurífero Córrego do Sítio (PORTO, 2008; LIMA, 2012; RONCATO *et al.*, 2015), coincidindo com os depósitos Córrego do Sítio, São Bento e Ouro Fino. Uma região a sul da mina Cuiabá e a oeste do Depósito Juca Vieira, sem depósitos importantes conhecidos, destaca-se por apresentar altos *scores* nos dois mapas, de solo e sedimento de corrente (Figuras 4.5 e 4.6). Embora os mapas geoquímicos marquem muito bem regiões com mineralizações conhecidas e, também, destaquem outras áreas anômalas sem grandes depósitos, a extensa área com *scores* positivos, gerados pela interpolação, dificulta a delimitação de áreas mais restritas com potencial, o que é muito importante para os estudos exploratórios. Por isso, é importante a integração da camada de geoquímica, baseada nos *scores* dos fatores, com dados estruturais, estratigráficos, entre outros.

Para o mapa de favorabilidade da porção central do QF foram utilizados os fatores com associação geoquímica característica das mineralizações de ouro: o fator **F3 (Au + Sb + As + Mo)** dos dados de solo e o fator **F5 (Au + Sb + As)** para as amostras de sedimento de corrente (Tabela 4.3). Esses fatores foram integrados pelo operador *fuzzy OR*, gerando uma única camada evidencial relacionada à alteração hidrotermal (Figuras 4.7 e 4.8C). Desta forma, os elementos Au, Sb, As, e Mo foram considerados guias para o mapeamento de regiões possivelmente afetadas por hidrotermalismo na porção central do QF.

4.4. INTEGRAÇÃO DE DADOS

As etapas iniciais do modelamento produziram quatro mapas evidenciais: (a) mapa de densidade de estruturas deformacionais; (b) mapa de densidade de interseção de estruturas geológicas; (c) mapa integrado de geoquímica

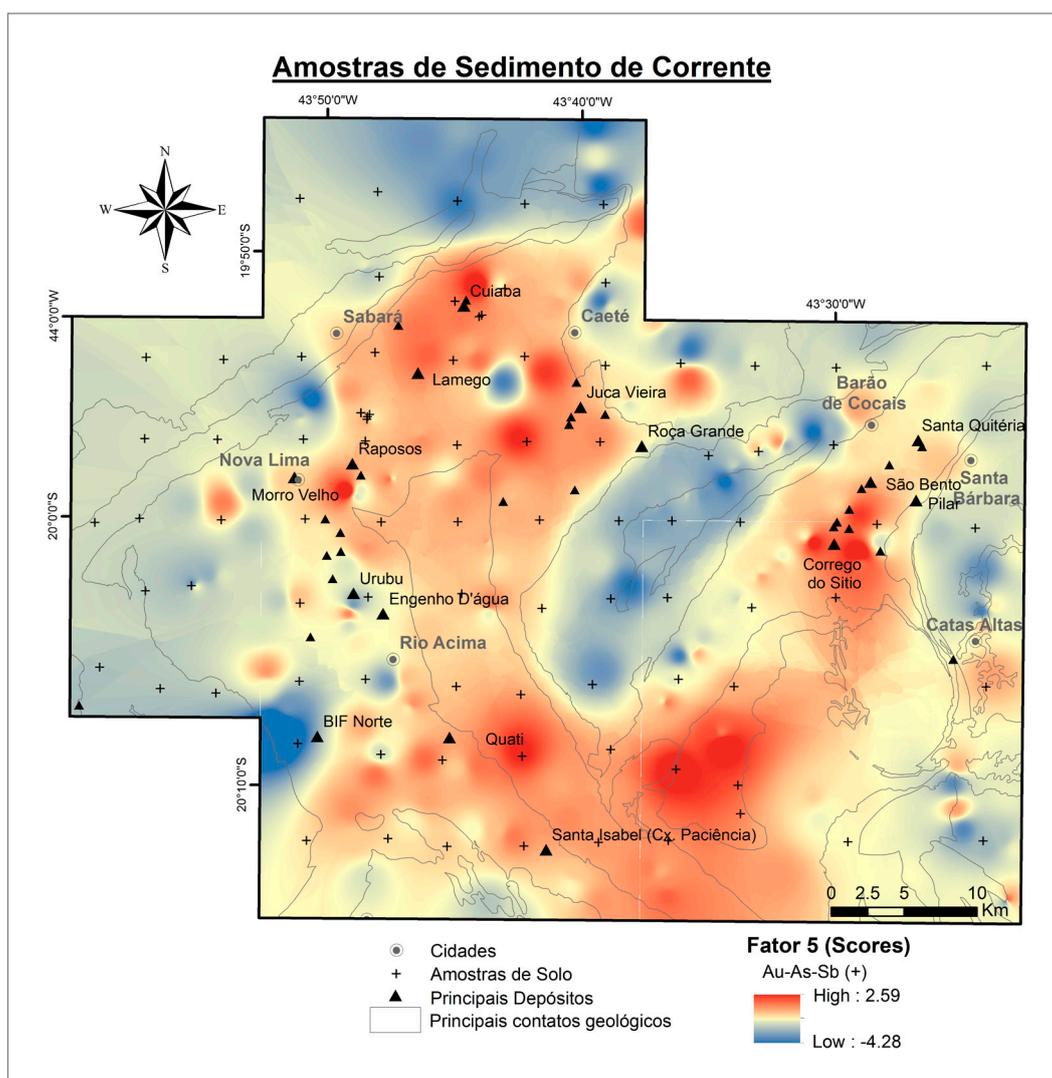


Figura 4.5 - Mapa com o Fator 5 relativo às amostras de sedimentos de corrente (LARIZZATTI *et al.*, 2014), contendo os principais contatos geológicos (simplificado de SILVA *et al.*, 2020) e depósitos de ouro orogênico.

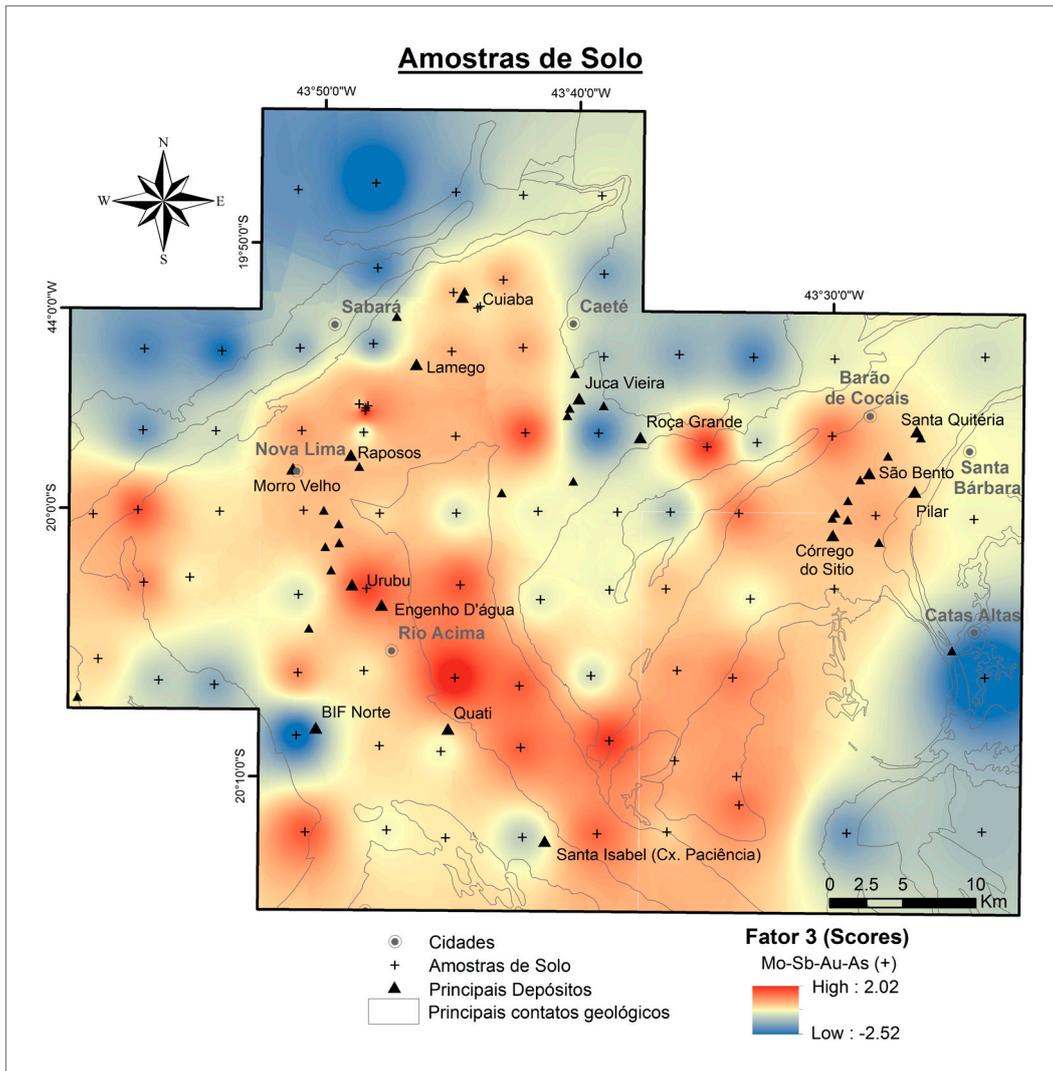


Figura 4.6 - Mapa com o Fator 3 relativo às amostras de solo (LARIZZATTI *et al.*, 2014), contendo os principais contatos geológicos (simplificado de SILVA *et al.*, 2020) e depósitos de ouro orgênico.

de exploração e (d) mapa de unidades litológicas classificadas por grau de prospectividade. Esses mapas foram normalizados pelo operador *fuzzy categorical*, para que todas as camadas possuam valores de prospectividade variando entre 0 e 1. Todas as etapas para a elaboração do MPM, em ambiente SIG, foram realizadas no Arcmap (ESRI), com suporte da extensão Arc SDM (*Spatial Data Modeller*; SAWATZKY *et al.*, 2009).

Após a normalização, os dados foram integrados pelo método de sobreposição de múltiplas classes. Para cada vetor (V), em um mapa de evidência (e), foi atribuída uma pontuação, P(ve), entre 0 e 10, de acordo com a importância do processo mapeado na formação do depósito mineral. Cada um dos mapas de evidência recebeu o mesmo valor de peso, devido ao grau de incerteza e de confiabilidade da base de dados. Para a geração do mapa de favorabilidade, as classes foram combinadas, ou somadas (S), seguindo a equação abaixo:

$$S = (A + B + C + D) \div 4$$

As variáveis A, B, C e D são equivalentes aos mapas evidenciais descritos no tópico anterior (Figura 4.8) e S corresponde ao Mapa de Favorabilidade do QF Central (Figura 4.9). Quanto maior a intersecção de vetores preditivos em uma região específica do mapa, maior a pontuação atribuída à zona. Os vetores de cada mapa evidencial foram classificados de 0 a 10, da seguinte forma: i) 0 significa que não há prospectividade alguma, ou nenhuma chance para encontrar depósitos minerais; ii) valores de 1 a 3 significam que o processo é incerto ou de menor importância; iii) resultados entre 4 e 6 denotam um processo desejável; iv) valores de 7 a 9 significam que os processos relacionados são de grande importância; e v) 10 significa que o processo mapeado é essencial para a formação do depósito mineral. A técnica de sobreposição de múltiplas classes utiliza um

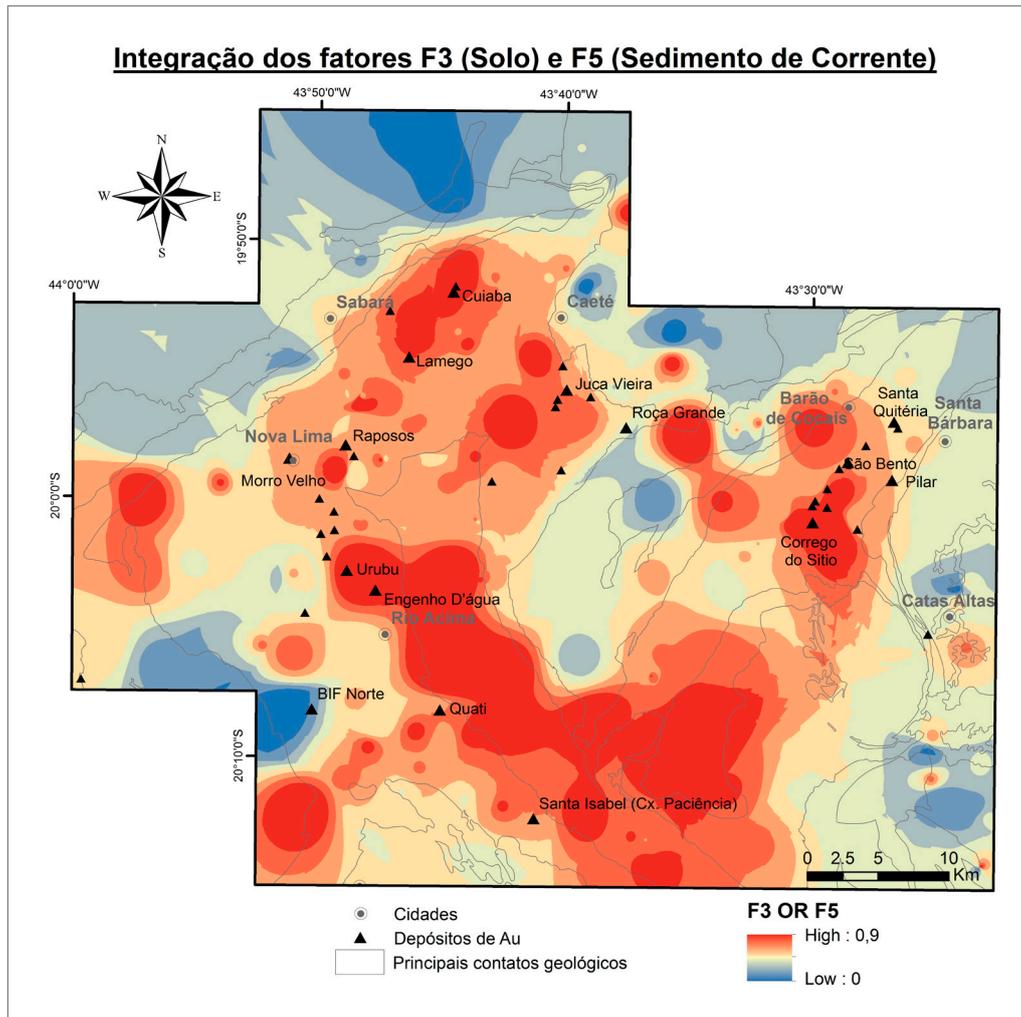


Figura 4.7 - Camada evidencial utilizada no mapa de favorabilidade, com a integração dos fatores F3 (solo) e F5 (sedimento de corrente) (LARIZZATTI *et al.*, 2014). Os principais contatos geológicos (simplificado de SILVA *et al.*, 2020) e depósitos de Au são plotados para comparação.

conceito matemático semelhante ao da álgebra booleana (HALMOS, 1963; MONK & BONNET, 1989; MONK, 2018), onde o valor de cada classe de evidência é adicionado quando existe uma interseção de dois ou mais vetores preditivos.

4.5. VALIDAÇÃO

Dada a compreensão limitada dos processos envolvidos na formação de depósitos minerais e aos diversos modelos geológicos existentes (muitas vezes inconclusivos), eventualmente, mais de um modelo de favorabilidade se ajusta aos conceitos e dados disponíveis. Desta forma, a validação se faz necessária para selecionar o modelo de favorabilidade que apresenta maior eficiência para prever novos alvos. Existem diversas formas de validar modelos prospectivos ou de favorabilidade, tanto para modelos tipo *knowledge-driven*, quanto *data-driven* (BONHAN-CARTER, 1994; CARRANZA, 2008; YOUSEFI *et al.*, 2021).

Neste trabalho, a validação foi feita comparando o número de ocorrências primárias de ouro orogênico dentro de classes, definidas de acordo com o grau de prospectividade em comparação com a área total. As pontuações de prospectividade variaram entre valores de 1 a 10, considerando o 1 como o menor grau de prospectividade e o 10 como o maior. O contraste entre o percentual da área mapeada e o percentual de ocorrências e depósitos de ouro em cada uma das classes de prospectividade (1 a 10) permite validar os modelos de prospectividade.

Conforme indicado pelo gráfico da Figura 4.10, a maioria dos depósitos primários está inserida nas classes com pontuação mais alta do mapa de favorabilidade. Desta forma, dentre todos os modelos testados neste trabalho, o mapa apresentado na Figura 4.9 teve a melhor performance: as classes com prospectividade mais altas (8, 9 e 10) mapearam cerca de 93% de todas as ocorrências já conhecidas de ouro orogênico. Por outro lado, as classes com menores prospectividades (1 a 6) não mapearam nenhuma ocorrência.

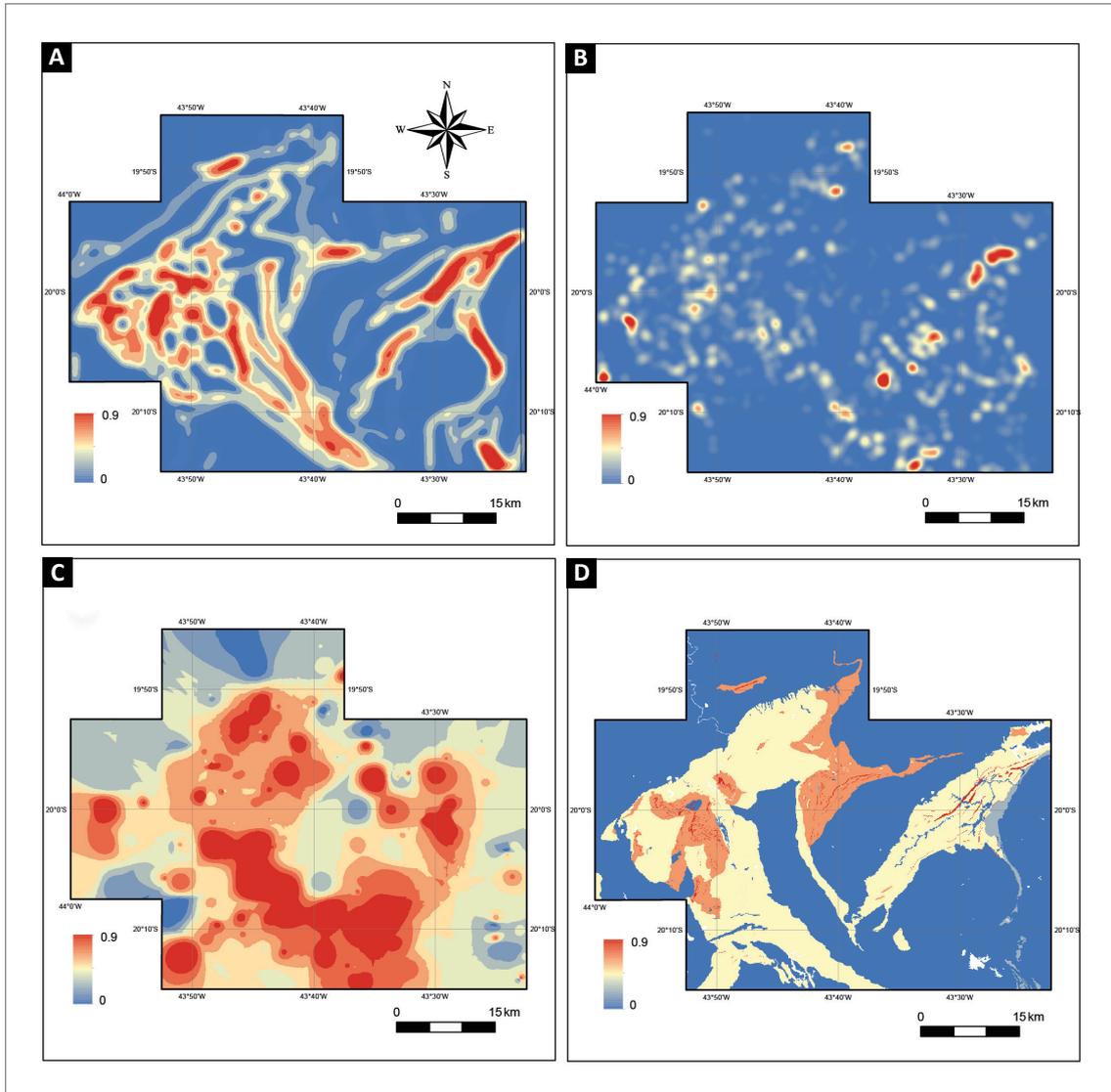


Figura 4.8 - Mapas evidenciais utilizados para a confecção do Mapa de Favorabilidade do QF Central: (A) Densidade de estruturas regionais classificadas de acordo com as fases deformacionais (D1, D2, D3, D4) e pesos atribuídos a partir da relevância para formação de ouro (D1 = 5; D2 = 8; D3 = 6; D4 = 4); (B) Densidade de interseção de estruturas *kernel*, em que os pontos de interseções de estruturas lineares validadas em campo, na escala 1:75.000, tiveram suas densidades estimadas por *kernel* ressaltando regiões com maiores interações entre estruturas; (C) Integração, por operador *fuzzy* "OR" dos fatores F3 (Au + Sb + As + Mo) e F5 (Au + Sb + As), geoquímica de solo e sedimento de corrente, respectivamente; e (D) Mapa das unidades litológicas classificadas por grau de favorabilidade.

4.6. RESULTADOS

O produto final da integração de dados, o Mapa de Favorabilidade do Quadrilátero Ferrífero Central (QUEIROZ *et al.*, 2022), apresentado na Figura 4.9, delimita regiões com potencial similar para hospedar mineralizações de ouro orogênico, medidas pelo índice de prospectividade, que varia entre valores de 0 a 1. As regiões que sobrepõem valores altos de prospectividade, em todas as camadas evidenciais, foram destacadas por tons quentes (alaranjados ou vermelhos), enquanto regiões que sobrepõem baixas favorabilidades nos mapas evidenciais estão delimitadas por tonalidades frias (azul ou ciano). Índices de prospectividade intermediários aparecem com tonalidades derivadas das cores amarela e verde.

O mapa ressaltou faixas de maior prospectividade nos *trends* NW-SE e NE-SW, dentro dos limites do *Greenstone Belt* Rio das Velhas, paralelos às estruturas deformacionais arqueanas (D1 e D2), e/ou ao longo de contatos geológicos com rochas potencialmente hospedeiras de mineralizações (como formações ferríferas bandadas ou rochas máficas). Regiões reconhecidas produtoras de ouro orogênico também foram destacadas, como as minas de Morro Velho, Bicalho, Lamego, Cuiabá e Córrego do Sítio, conforme descrito na etapa de validação. Em contraste com as faixas de maior prospectividade, as regiões em que afloram as unidades do Supergrupo Minas foram destacadas como zonas de baixa prospectividade, representadas pela cor azul anil.

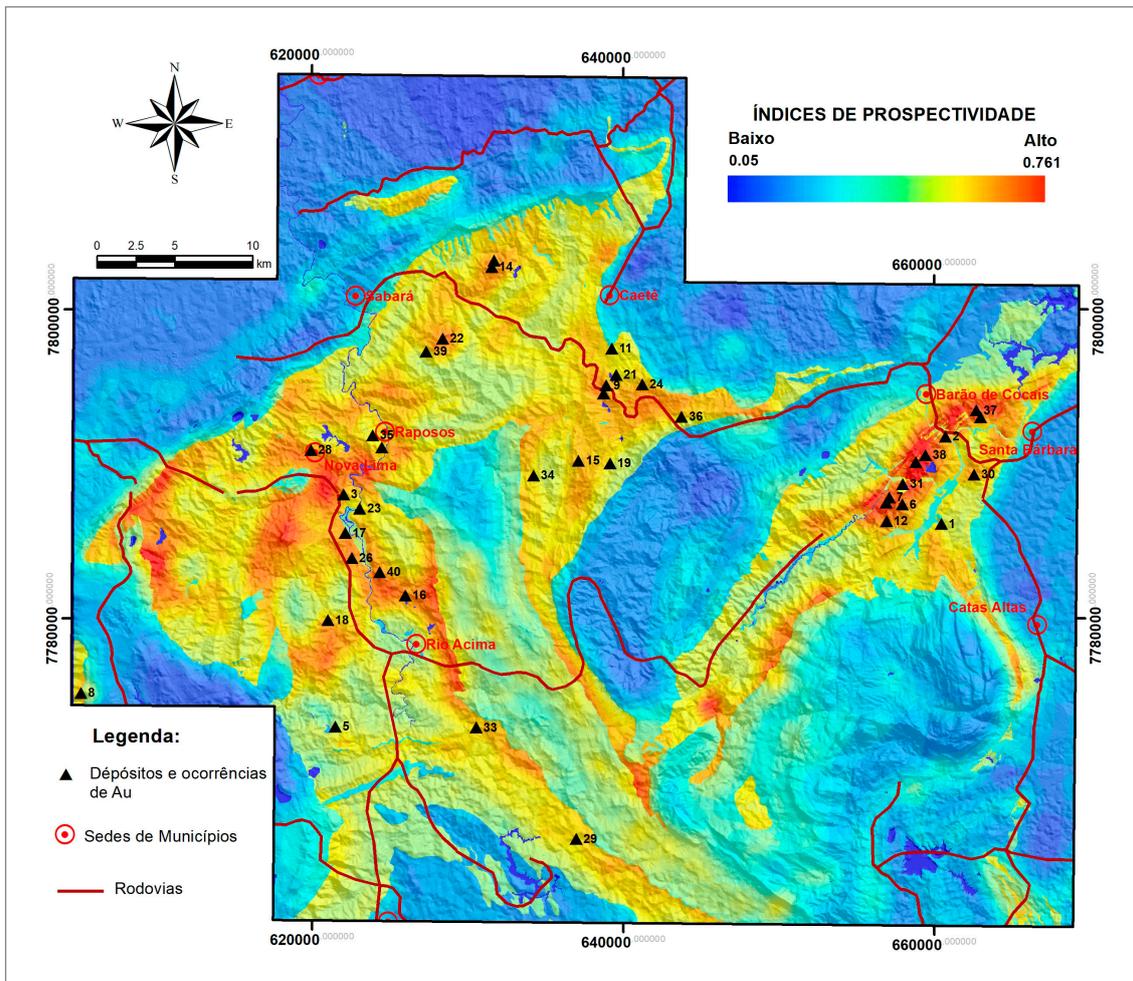


Figura 4.9 - Mapa de Favorabilidade para ouro orogênico na porção central do QF, com índices de prospectividade variando de 0.05 (muito baixo) a 0.761 (muito alto). As ocorrências de ouro utilizadas para a validação do mapa estão representadas por triângulos, com numeração correspondente à descrição da Tabela 3.1.

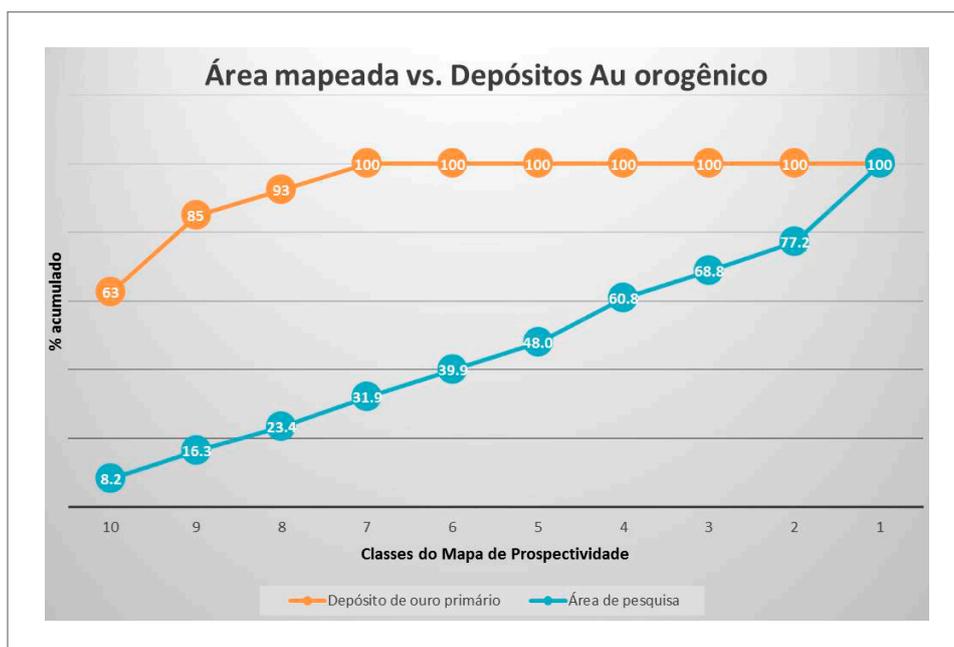


Figura 4.10 - Gráfico com o resultado comparativo entre a porcentagem de área mapeada (linha azul) e a porcentagem acumulada de depósitos de ouro orogênico (linha laranja) em cada uma das classes de prospectividade (1 a 10).

Duas regiões com altos valores de prospectividade, e ainda sem ocorrências de ouro registradas, foram destacadas (Figura 4.9): (1) Limite extremo oeste do *Greenstone Belt* Rio das Velhas, próximo ao contato com o Supergrupo Minas, a leste da Mina de Ferro da Mutuca, no município de Nova Lima. Na região, ocorre uma faixa alongada na direção NS, com cerca de 9 km de comprimento e 3 km de largura, caracterizada por um alto potencial prospectivo. Exposições das formações Ouro Fino e Mestre Caetano ocorrem como intercalações de rochas vulcânicas máficas, formações ferríferas bandadas e rochas metassedimentares. Estruturas deformacionais das fases D2, D3 e D4 têm relevância na configuração geológica da área, especialmente nas direções NS e EW; (2) Faixa alongada de direção NE-SW, paralela ao Anticlinal Conceição (DORR, 1969) e seguindo o mesmo *trend* do Lineamento Aurífero Córrego do Sítio (LIMA, 2012; RONCATO *et al.*, 2015), com aproximadamente 10 km de extensão e 2 km de largura. Esta região está localizada a oeste da Serra do Caraça, próximo ao distrito de Conceição do Rio Acima, no município de Santa Bárbara. A geologia da área é caracterizada por xistos, filitos, *metacherts* e formações ferríferas, pertencentes às formações Santa Quitéria e Córrego do Sítio.

4.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Reduzir a área de busca é um critério fundamental para diminuir os riscos e custos nas etapas iniciais da exploração mineral. Para isso, é necessário escolher dentre os dados disponíveis para a pesquisa exploratória, aqueles que melhor se adequam na escala do projeto. O objetivo é transformar os dados em informações para extrair conhecimento e gerar vetores prospectivos, que irão guiar o modelamento de potencial mineral da área.

O mapa de favorabilidade para a região central do Quadrilátero Ferrífero (QUEIROZ *et al.*, 2022), elaborado em escala de distrito, ressaltou regiões com maior potencial para hospedar novas mineralizações de ouro

orogênico em superfície com base em evidências obtidas a partir de múltiplas camadas de informação geológica, estrutural e geoquímica integradas em ambiente SIG.

A abordagem de sistemas minerais (WYBORN *et al.*, 1994; MCCUAIG *et al.*, 2010; MCCUAIG & HRONSKY, 2014) guiou todo o processo, desde a escolha dos dados de entrada até o processamento dos mapas evidenciais e sua integração em MPM. Para este trabalho, os seguintes mapas evidenciais foram produzidos: (a) Densidade de estruturas deformacionais classificadas por fase (D1-D4); (b) Densidade de interseção das principais estruturas geológicas; (c) Integração dos fatores F3 (Au + Sb + As + Mo) da geoquímica de solo e F5 (Au + Sb + As) da geoquímica de sedimento de corrente, através do operador *fuzzy OR*; e (d) Unidades litológicas classificadas de acordo com o potencial para hospedar mineralizações de ouro orogênico. A integração dos mapas evidenciais foi feita utilizando o método de sobreposição de múltiplas camadas e delimitou regiões que sobrepõem valores altos de prospectividade em todas as camadas de entrada.

A validação do mapa foi feita a partir do contraste entre o percentual da área mapeada e o percentual de ocorrências primárias de ouro, dando confiabilidade ao modelo proposto. Algumas das regiões no mapa, com alto índice de favorabilidade, não hospedam ocorrências conhecidas e, portanto, merecem destaque em futuros trabalhos exploratórios. A técnica de modelagem espacial aplicada neste trabalho, do tipo guiada pelo conhecimento, foi importante para introduzir novas abordagens exploratórias, incluindo o conceito de sistemas minerais.

Novas técnicas de modelagem, especialmente do tipo *data-driven*, em diferentes escalas de trabalho, são recomendadas para a continuidade da pesquisa exploratória para ouro orogênico no QF Central. A aquisição de dados geofísicos magnéticos e gamaespectrométricos de maior resolução espacial (espaçamento de linhas de voo menores que 125 m), além de novos levantamentos, com métodos como magnetotelúrico, sísmico e/ou eletromagnético, também são sugeridos para o imageamento da crosta em etapas futuras da exploração.

REFERÊNCIAS

- ABREU, A.S.; DINIZ, H.B.; PRADO, M.G.B.; SANTOS, S.P. Mina de ouro de São Bento, Santa Bárbara, Minas Gerais. In: Schobbenhaus, C., COELHO, C.E.S. (Eds.). **Principais depósitos minerais do Brasil**. Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral/Companhia Vale do Rio Doce, 1988. vol. III, p. 393-411.
- ACKEN, D.V.; HOFFMANN, J.E.; SCHORSCHER, J.H.D.; SCHULZ, T.; HEUSER, A.; LUGUETA, A. 2016. Formation of high-Al komatiites from the Mesoarchean Quebra Osso Group, Minas Gerais, Brazil: Trace elements, HSE systematics and Os isotopic signature. **Chemical Geology**, n. 422, p. 108-121. DOI <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2015.12.015>.
- AGUILAR, C.; ALKMIM, F.F.; LANA, C. FARINA, F. Palaeoproterozoic assembly of the São Francisco craton, SE Brazil: new insights from U-Pb titanite and monazite dating. **Precambrian Research**, n. 289, p. 95-115, 2017. DOI <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2016.12.001>.
- AITCHISON, J. **The statistical analysis of compositional data**: monographs on statistics and applied probability. London: Chapman & Hall Ltd, 1986. DOI: 10.1007/978-94-009-4109-0.
- ALBERT, C., FARINA, F., LANA, C., STEVENS, G., STOREY, C., GERDES, A., DOPICO, C.M. 20 Archean crustal evolution in the Southern São Francisco craton, Brazil: Constraints from U-Pb, Lu-Hf and O isotope analyses. **Lithos**, p. 266–267, 64–86. DOI <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2016.09.029>. 2016.
- ALKMIM, F.F., MARSHAK, S. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. **Precambrian Research**, [s.l.] n. 90, p. 29-58, 1998. DOI [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(98\)00032-1](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(98)00032-1).
- ALKMIM, F.F., MARTINS-NETO, M.A. 2012. Proterozoic first-order sedimentary sequences of the São Francisco Craton, eastern Brazil. **Mar. Pet. Geol.** ,[s.l.] n. 33, p. 127-139. DOI <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2011.08.011>. Disponível em: www.repositório.ufop.br. Acesso em: 10 nov 2021.
- ALMEIDA, L.G.; CASTRO, P. de T.A.; ENDO, I.; FONSECA, M.A. O Grupo Sabará no sinclinal Dom Bosco, Quadrilátero Ferrífero: uma revisão estratigráfica. **Revista Brasileiro de Geociências**, São Paulo, v. 35, n.2 ; p. 177-186, [s.m], 2005.
- ANDRADE, L.P. SÁ, E.L. Lavra seletiva de minério aurífero nos itabiritos. **Minérios**, [s.l.] v. 161, p. 34-40, 1990.
- ANGLOGOLD ASHANTI. **Supplementary mineral resource and ore reserve information at 31 December 2003**. Disponível em: <https://www.anglogoldashanti.com/investors/annual-reports/> (Acesso em 26 mai).2021.
- ANGLOGOLD ASHANTI. **Mineral Resource and Ore Reserve Report 2016**. Disponível em: <https://www.anglogoldashanti.com/investors/annual-reports/> (Acesso em 26/05/2021).
- ANGLOGOLD ASHANTI. **Mineral Resource and Ore Reserve Report 2019**. Disponível em: <https://www.anglogoldashanti.com/investors/annual-reports/> (Acesso em 26/05/2021).
- ANGLOGOLD ASHANTI. **Mineral resource and ore reserve report as at 31 December 2020**. Disponível em: [https://www.anglogoldashanti.com/investors/annual-reports.](https://www.anglogoldashanti.com/investors/annual-reports/) Acesso em 26 de maio de 2021.
- ARAÚJO, J.C.S.; LOBATO, L.M. Depositional model for banded iron formation host to gold in the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Brazil, based on geochemistry and LA-ICP-MS magnetite analyses. **Journal of South American Earth Sciences**, n.9, 2019. [s.n.t.] DOI <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.05.021>. 2019.
- ARAÚJO, J.C.S.; FERREIRA, R.C.R; FREITAS, F.M; MAGALHÃES, J.R. The Archean Rio das Velhas greenstone belt revisited: new insights into the stratigraphy. **Journal of the Geological Survey of Brazil**, [s.l.], v.3, n.3, p. 113–149.2020. DOI <https://doi.org/10.29396/jgsb>.
- BABINSKI, M.; CHEMALE JUNIO, Farid; VAN SCHMUS, W.R The Pb/Pb age of the Minas Supergroup carbonate rocks, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. **Precambrian Research**, [s.l.], n. 72, p. 235–245.1995. DOI [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(94\)00091-5](https://doi.org/10.1016/0301-9268(94)00091-5). 1995.
- 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 Reviews**, [s.l.] n.32 p. 471–49,.2007. DOI <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2005.03.021>.
- BALTAZAR, O.F.; FREITAS, F.M.; FERREIRA, R.C.R.; ARAÚJO, J.C.S.; QUEIROZ, S.F.; SANTOS, L.D. O efeito da compressão Transamazônica nas mineralizações auríferas do Greenstone Belt Rio das Velhas na região centro-norte do Quadrilátero Ferrífero. In: **SIMEXMIN**, Ouro Preto.2016.[s.n.t]
- BALTAZAR, O.F.; LOBATO, L.M. Structural Evolution of the Rio das Velhas Greenstone Belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: Influence of Proterozoic Orogenies on Its Western Archean Gold Deposits. **Minerals**, n. 10, p. 983. DOI <https://doi.org/10.3390/min10110983>. 2020
- BARNICOAT, A.C. Mineral systems and exploration science: linking fundamental controls on ore deposition with the exploration process. In: Andrew, C.J. (Eds.), **Digging Deeper: Proceedings of the Ninth Biannual SGA Meeting**, Dublin, Ireland 20th-23rd August 2007, p1407–1410, 2007.

- BEKKER, A.; SIAL, A.N.; KARHU, J.A.; FERREIRA, V.P.; NOCE, C.M., KAUFMAN, A.J., ROMANO, A.W., PIMENTEL, M.M. Chemostratigraphy of carbonates from the Minas Supergroup, Quadrilátero Ferrífero (iron quadrangle), Brazil: A stratigraphic record of early proterozoic atmospheric, biogeochemical and climatic change. **American Journal of Science**, n. 303, p. 865-904, 2003. DOI <https://doi.org/10.2475/ajs.303.10.865>.
- BELEQUE, A.R.C. **Estudo geocronológico e evolução metalogenética da mineralização aurífera do depósito Engenho d'Água, Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brasil)**. 2015.152 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2015.
- BONHAM-CARTER, G.F. **Geographic Information Systems for Geoscientists: Modeling with GIS**: Pergamon. Oxford [sl.], 1994.398p.
- BRUECKNER, H.K.; CUNNINGHAM, D.; ALKIMIM, F.F.; MARSHAK, S. Tectonic implications of Precambrian Sm-Nd dates from the southern São Francisco craton and adjacent Araçuaí and Ribeira belts, Brazil. **Precambrian Res.** n. 99,[s.l. p. 255-269,2000. DOI [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(99\)00065-0](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(99)00065-0).
- CABRAL, A.R. **Mineralização de ouro paladiado em itabiritos: a Jacutinga de Gongo Soco, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**.1996. 129f. Dissertação (mestrado) – Instituto de Geociências – IG, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.
- CABRAL, A.R. **Palladiferous Gold Mineralisation (Ouro Preto) in Brazil: Gongo Soco, Itabira and Serra Pelada**. 2006. 115f. (Ph.D. thesis). Hannover, Germany, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und dem Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, 2006
- CABRAL, A.R.; KOGLIN, N. Hydrothermal overprint on Cenozoic sediments in the Quadrilátero Ferrífero of Minas Gerais: implications for precious metals in cratonic terrains. **Terra Nova**,[s.l.] ,n. 26, p. 111-11, 2014. DOI <https://doi.org/10.1111/ter.12076>.
- CABRAL, A.R.; ZEH, A. Detrital zircon without detritus: a result of 496-Ma-old fluid-rock interaction during the gold-lode formation of Passagem, Minas Gerais, Brazil. **Lithos**, [s.l.], 2015. 212-215, 415–427. DOI <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2014.10.011>.
- CABRAL, A.R.; LEHMANN, B.; TUPINAMBÁ, M.; SCHLOSSER, S.; KWITKO-RIBEIRO, R., ABREU, F. R. The platiniferous Au-Pd belt of Minas Gerais, Brazil, and Genesis of its botryoidal Pt-Pd aggregates. **Economic Geology** ,[s.l.] n. 104, p. 1265-1276,2009. DOI <https://doi.org/10.2113/econgeo.104.8.1265>. 2009.
- CABRAL, A.R.; LEHMANN, B.; KWITKO, R.; GALBIATTI, H.F.; PEREIRA, M.C. Palladseite and its oxidation: evidence from Au-Pd vein type mineralization (Jacutinga), Cauê iron-ore mine, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Minerals Magazine** ,n. 66, p. 327-336.2002. DOI <https://doi.org/10.1180/0026461026620033>. [s.d.]
- CABRAL, A.R.; ZEH, A.; KOGLIN, N.; GOMES JR., A.A.S.; VIANA, D.J.; LEHMANN, B. Dating the Itabira iron formation, Quadrilátero Ferrífero of Minas Gerais, Brazil, at 2.65 Ga: Depositional U–Pb age of zircon from a metavolcanic layer. **Precambrian Research**, [s.l.], n. 204-205, p. 40-45, 2012. DOI <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2012.02.006>.
- 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 496 Ma: constraints from U-Pb monazite dating of a Jacutinga lode. **Economic Geology**, [s.l.], n. 110, p. 263-27, 2015.. <https://doi.org/10.2113/econgeo.110.1.263>. 2015.
- CABRAL, A.R.; ZEH, A.; TUPINAMBÁ, M.; PIMENTA, J. Neoproterozoic magmatism in the Quadrilátero Ferrífero of Minas Gerais, Brazil, and geotectonic implications. **Journal of South American Earth Sciences**, [s.l.] n. 104, p. 102-844, 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102844>.
- CALÓGERAS. **As minas do Brasil e sua legislação: geologia econômica do Brasil (refundida, atualizada e dirigida por Djalma Guimarães com auxílio de vários colaboradores)** 2.ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional.1938.t.3.
- CANALE, A.L. **Geologia do depósito Córrego do Sítio, Quadrilátero Ferrífero (MG), e caracterização mineralógica do minério sulfetado**. 1999. 142f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.
- CANUTO, J.R. Estratigrafia de seqüências em bacias sedimentares de diferentes idades e estilos tectônicos. **Rev. Bras. Geociências, São Paulo, v. 40.n.4, p. 537-549, [s.m.], 2010.**
- CARNEIRO, M.A. **O Complexo Metamórfico Bonfim Setentrional (Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais): litoestratigrafia e evolução geológica de um segmento de crosta continental do Arqueano**. 1992. 233f. Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992. DOI <https://doi.org/10.11606/T.44.1992.tde-18112015-104751>.
- CARNEIRO, M.A.; CARVALHO JÚNIOR, I.M.; TEIXEIRA, W. Petrologia, geoquímica e geocronologia dos diques máficos do Complexo Metamórfico Bonfim setentrional (Quadrilátero Ferrífero) e suas implicações na evolução crustal do Craton do São Francisco meridional. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, [s.v.] n.28, p. 29-44, [s.m.] ,1998.
- CARRANZA, E.J.M. **Geochemical Anomaly and Mineral Prospectivity Mapping in GIS: Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry**. Amsterdam: Elsevier, 2008.
- CARRANZA, E.J.M. Analysis and mapping of geochemical anomalies using logratio- transformed stream sediment data with censored values. **Journal of Geochemical Exploration**, [s.l.], n. 110, p. 167-185.2011.
- CHAVES, M.L.S.C. **Geologia e mineralogia do diamante da Serra do Espinhaço em Minas Gerais**. 1997. 289f. Tese

- (doutorado) Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997. DOI <https://doi.org/10.11606/T.44.1997.tde-18112015-110030>.
- CHEMALE F; ROSIÈRE C.; ENDO I. The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Precambrian Res.**, [s.l.] , n.65, p. 22-54,1994. DOI [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(94\)90098-1](https://doi.org/10.1016/0301-9268(94)90098-1).
- CLARK, A.M.; CRIDDLE, A.J.; FEJER, E.E. Palladium arsenide-antimonides from Itabira, Minas Gerais, Brazil. **Min. Magazine**, [s.l.] , n. 39, p. 528-543. 1974.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS- CODEMIG. **Levantamento aerogeofísico de Minas Gerais: Curvelo - Três Marias: área 10, relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos.** Belo Horizonte: CODEMIG/ Prospectors, 2009.. v. 1, 128 p. 28 mapas de geofísica. Disponível em: www.portalgeologia.com.br. Acesso em: 19 jan 2022.
- COELHO, V.V. **Modelagem metamórfica e geocronologia de xistos e anfibólitos do grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero.** 2015. 183f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Ouro Preto, Dep.de Geologia, Ouro Preto, 2015.
- COSTA, C.S. **Petrogênese do corpo metaltramáfico do Córrego dos Boiadeiros, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil.** 1995. 172f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais- UFMG, Belo Horizonte, 1995.
- COSTA, I. S. L.; DA SILVA, G. F.; FERREIRA, M. V. Application of Zipf's law to estimate undiscovered gold endowment in the Quadrilátero Ferrífero Province, Brazil. **Journal of the Geological Survey of Brazil**, [s.l.], v. 2, n. 3, p.165-172. 2019.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto gemas de Minas Gerais: levantamento aeromagnetométrico e gamaespectrométrico da Faixa Itabira Ferros, relatório final de levantamento e processamento de dados.** Belo Horizonte: CPRM, 1996. v.1., 36 p. 14 mapas. (Convênio CPRM/ GEOMAG).
- CUTTS, K.; LANA, C.; ALKMIM, F.; FARINA, F.; MOREIRA, H.; COELHO, V. 2019. Metamorphism and exhumation of basement gneiss domes in the Quadrilátero Ferrífero: Two stage dome-and-keel evolution? **Geoscience Frontiers**, [s.l.] n.10, p. 1765–1787.2009. DOI <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2019.02.009>.
- 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. 76f. Dissertação (Mestrado) Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- DAVIS, J. C. **Statistical and data analysis in geology.** 2. ed. New York: John Willey & Sons, 1986.150p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL- DNPM. Nova Lima - Caeté: aquisição processamento e interpretação de dados: relatório final. *In: Levantamento aéreo magnetométrico, gamaespectrométrico e eletromagnético: projeto Rio das Velhas, texto técnico.* Belo Horizonte: DNPM/ Prospec, 1992. v. 1. 18 mapas. (Relatório interno).
- DORR II, J.V.N. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **United States Geological Survey Professional Paper 641-A**, Wahington, 1969.
- DOPICO, C.I.M.; LANA, C.; MOREIRA, H.S.; CASSINO, L.F.; ALKMIM, F.F. U–Pb ages and Hf-isotope data of detrital zircons from the late Neoproterozoic–Paleoproterozoic Minas Basin, SE Brazil. **Precambrian Research**, [s.l.] n.291, p. 143–161.2017. DOI <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2017.01.026>.
- DOSSIN, T.M.; DOSSIN, I.A.; CHAR VET, J.; BONHOMME, M.G. K–Ar chronology of a Mesozoic dike swarm from southern Espinhaço Region (SE Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**.n. 8, [s.l.] p. 47-53.1995. DOI [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(94\)00040-9](https://doi.org/10.1016/0895-9811(94)00040-9).
- ENDO, Issamu. **Regimes tectônicos do Arqueano e Proterozóico no interior da Placa Sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes, Minas Gerais.** 1997. 243 f. Tese (Doutorado) Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- ENDO, Issamu.; OLIVEIRA, A. H.; PERES, G. G.; GUIMARAES, M. L. V.; LAGOEIRO, L. E.; MACHADO, R.; ZAVAGLIA, G. ; ROSAS, C. F.; MELO, R. J. Nappe Curral: Uma megaestrutura alóctone do Quadrilátero Ferrífero e controle da mineralização .In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS - SNET, 10, 4th International Symposium On Tectonics, Curitiba. **Boletim de Resumos Expandidos**, p. 279-282. 2005.
- ENDO, Issamu; MACHADO, R.; GALBIATTI, H.F.; ROSSI, D.Q.; ZAPPAROLI, A.C.; DELGADO, C.E.R., CASTRO, P.T.A., OLIVEIRA, M.M.F. Estratigrafia e evolução estrutural do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: CASTRO, P.T.A.; ENDO, I.; GANDINI, A.L. (Eds.). **O Quadrilátero Ferrífero: avanços do conhecimento nos últimos 50 anos.** 3.ed. Belo Horizonte: [s.e.], 2020. p. 70-113.
- FARINA, F.; ALBERT, C.; LANA, C. The Neoproterozoic transition between medium- and high-K granitoids: Clues from the Southern São Francisco Craton (Brazil). **Precambrian Research**, [s.l.] 266, p. 375–394.2015. DOI <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2015.05.038>.
- FARINA, F.; ALBERT, C.; MARTÍNEZ DOPICO, C.; AGUILAR GIL, C.; MOREIRA, H.; HIPPERTT, J.P.; CUTTS, K.; ALKMIM, F.F., LANA, C. The Archean–Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Brazil): Current models and open questions. **Journal of South American Earth Sciences**, [s.l.] n. 68, p. 4–21.2016. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2015.10.015>.
- FERNANDES, V.M.T. **Petrogênese e geoquímica de rochas metaltramáficas e metamáficas do corpo Córrego dos Boiadeiros, Grupo Nova Lima, Quadrilátero Ferrífero, MG.** 2016. 97f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

- FERREIRA, R.C.R.; PINHEIRO, M.A.P.; MAGALHÃES, J.R.; NOVO, T.A.; SCHORSCHER, J.H.D., QUEIROGA, G. Physical volcanology and petrogenesis of the Archean Quebra Osso komatiite flow field, Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero (Brazil). **Lithos, [s.l.]** p. 370–371.2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105626>.
- FIGUEIREDO e SILVA, R.; SÁ, L.R.B.M.; MATA, M.A.F.; LOBATO, L.M.; DUCHINI, J.R.J. 2002. Mineralização aurífera e estruturas do depósito Engenho d'Água, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, João Pessoa.2002. **Anais...** p.41.[s.n.t.]
- FOSTER, R. P. **Gold metallogeny and exploration**. Glasgow: [s.e.] 1990,432p.
- FREITAS, F.M.; PINHEIRO, M.A.P.; NOVO T.A.; MAGALHÃES, J.R.; MARINHO, M. DE S. U-Pb ages for metasedimentary rocks of the Catarina Mendes Formation, Quadrilátero Ferrífero. In: SIMPÓSIO DO CRÁTON DO SÃO FRANCISCO E ORÓGENOS MARGINAIS,4,2019, Aracaju. **Anais...**Salvador: SBG,2019. p. 34.
- FRIMMEL, H.E. A giant Mesoarchean crustal gold-enrichment episode: possible causes and consequences for exploration In: KELLEYK, Golden HC (eds). **Society of Economic Geologists**. Special Publication 18, p. 209-234.2014. DOI <https://doi.org/10.5382/SP.18.10>.
- GALBIATTI, H.F. **Natureza e controle estrutural da mineralização aurífera (Jacutinga) na Mina do Cauê, Itabira, MG**. 1999. 150f. Dissertação (Mestrado) Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999.
- 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**, [s.l.] ,n. 32, p. 614-628.2007. DOI <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2005.03.020>.
- GALBIATTI, H.F., CABRAL, A.R., LEHMANN, B., AND KWITKO-RIBEIRO, R. “Ouro preto” found at Timbopeba iron-ore deposit, Minas Gerais, Brazil: Neues Jahrbuch für Geologie und **Paläontologie**, Abhandlungen, n. 235, p. 15–23, 2009. DOI <https://doi.org/10.1127/0077-7749/2009/0253-0015>.
- GOLDFARB, R.J.; GROVES D.I. Orogenic gold: Common or evolving fluid and metal sources through time. **Lithos**, Amsterdã, n. 233, 2-26. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2015.07.011>.
- GONÇALVES DIAS, T.; FIGUEIREDO e SILVA, R.C.; LOBATO, L.M.; HAGEMANN, S.; CAXITO, F.A.; MCNAUGHTON, N.J.; BARROTE, V. Cambrian fluid flow in archean metaturbidite-hosted gold deposits, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: evidence from U -Pb shrimp hydrothermal monazite ages . In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METALOGENIA, 4, Gramado, ADIMB, 2019.
- 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**,[s.l.] n. 1, p. 7-27, 1998.
- GROVES, D.I.; GOLDFARB, R.J.; KNOX-ROBINSON, C.M.; OJALA, J.; GARDOLL, S.; YUN, . HOLYLAND, P. Late kinematic timing of orogenic gold deposits and significance for computer-based exploration techniques with emphasis on the Yilgarn block, Western Australia. **Ore Geology Reviews**, [s.l.],n. 17, p1–38, 2000.
- GROVES, D.I.; GOLDFARB, R.J.; SANTOS, H. The conjunction of factors that lead to the formation of giant gold provinces and deposits in non-arc settings. **Geoscience Frontiers**, [s.l.] ,n. 7, p. 303-314.2016. DOI <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.07.001>.
- GROVES, D.I.; SANTOSH, M.; GOLDFARB, R.J.; LIANG, Z. Structural geometry of orogenic gold deposits: implications for exploration of world-class and giant deposits. **Geoscience Frontiers**, [s.l.] v. 9, n.4, p. 1163-1177,2018. DOI <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.01.006>.
- GRUNSKY, Eric C. The interpretation of geochemical survey data. *Geochemistry Exploration and Environmental Analysis*,[s.l.] v. 10, n. 1 , p.27-74, fev. 2010.
- GUERRERO, L.J.R. **Metalogênese do depósito aurífero Pilar, Santa Bárbara, MG**. 115f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Exatas. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.
- HALMOS, P. **Lectures on Boolean Algebras**. Princeton: Van Nostrand.1963.[s.p.]
- HARDER E.C. ; CHAMBERLIN R.T. The geology of central Minas Geraes, Brazil. **Journal of Geology**,[s.l.] , v. 23, n.4,p. 341-378, [s.m.], 1915.
- HARTMANN, L.A., ENDO, I., SUITA, M.T.F., SANTOS, J.O.S., FRANTZ, J.C., CARNEIRO, M.A., MCNAUGHTON, N.J., BARLEY, M.E. Provenance and age delimitation of Quadrilátero Ferrífero sandstones based on zircon U-Pb isotopes. **Journal of South American Earth Sciences**,[s.l.], n. 20, p. 273–285.2006. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2005.07.015>.
- HENWOOD W.J. On the gold mines of Minas Geraes, Brazil. **Transactions Royal Geological Society of Cornwall**, [s.l.] ,n. 8, p. 168-370, 1871. Disponível em: www.mineraldata.org – Acesso em: 11 nov 2021.
- HERZ, N. Rochas Eruptivas. In: Dorr, J.V.N. II, Herz, N., Barbosa, A.L.M. 1959 (Eds.). **Esboço geológico do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, Brasil**. Rio de Janeiro: DNPM, 1959. p.23-33 .(Publicação Especial 1 - Coleção Boletins DNPM).
- HERZ, N. **Metamorphic rocks of the Quadrilátero Ferrífero. United States Geological Survey, Minas Gerais, Brazil**. Professional Paper 641-C.1978. p.81.
- HRONSKY, J.M.A. The science of exploration targeting. In: Muhling, J., Goldfarb, R., Vielreicher, N., Bierlein, F., Stumpf, E., Groves, D., Kenworthy, S. (Eds.), SEG2004—Predictive Mineral Discovery Under Cover. SEG2004 Conference, Perth, Centre for Global Metallogeny, **The University of Western Australia Publication** ,[s.l.] , v. 33, p. 129–133.2004.

- HRONSKY, J.M.A.; GROVES, D.I. 2008. Science of targeting: definition, strategies, targeting and performance measurement. **Journal of Earth Science**, Austrália, n. 55, p. 3–12.2008.
- HUSSAK, E. Über das Vorkommen von Palladium und Platin in Brasilien. **Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen**, Klasse der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, n. 113, p. 379-468. 1904.
- JAGUAR MINING INC. 2004. **Annual Information Form for the year ended December, 31**, 2004.
- JAGUAR MINING INC. 2004. **Annual Information Form for the year ended December, 31**, 2009.
- JAGUAR MINING INC. **Multi-target mineral resources estimates Paciência and Caeté Mininc Complex Areas**: Technical Report for the Gold Mineral Properties Belonging to the Paciência Mining Complex: BIF Norte, Bocaina, Ouro Fino, Palmital, and Quati; and Caeté Mining Complex: Serra Paraíso, Boa Vista, Camará I, Camará II and Fernandes, Located in the Municipalities of Itabirito and Caeté, Respectively, in Minas Gerais, Brazil.2011.
- JAGUAR MINING INC. **Technical Report on the Roça Grande and Pilar Mines**, Minas Gerais state, Brazil.2018. NI 43-101 Report. Disponível em https://www.jaguarmining.com/site/assets/files/2230/technical_report_on_the_roca_grande_and_pilar_mines_-_a.pdf. Acesso em 10 jun.2021.
- JAGUAR MINING INC. **Jaguar Mining Reports Updated Mineral Reserves and Mineral Resources for the Pilar Mine**. Brazil as at May 31, 2020. Disponível em <https://www.jaguarmining.com/en/investors/news-releases/2020/jaguar-mining-reports-updated-mineral-reserves-and-mineral-resources-for-the-pilar-mine-brazil-as-at-may-31-2020/>. Acesso em 25 mai. 2021.
- JAGUAR MINING INC. **Technical report on the Caeté Mining Complex**, Minas Gerais State, Brazil. NI 43-101 Technical Report.2020.
- JAMES, H.L. Sedimentary facies of iron-formation. **Economic Geology**, [s.l.] n. 49, p. 235–293. DOI <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.49.3.235>. 1954.
- JOLY, A.; PORWAL, A.; MCCUAIG, T.C. Exploration targeting for orogenic gold deposits in the Granites-Tanami Orogen: Mineral system analysis, targeting model and prospectivity analysis. **Ore Geology Reviews**, [s.l.] n. 48, p.349–383 .2012 DOI <https://doi.org/10.1016/J.OREGEOREV.2012.05.004>.
- JORDT-EVANGELISTA, H; ALKMIM, F.; MARSHAK, S. Metamorfismo progressivo e a ocorrência de três polimorfos de Al₂SiO₅ na formação Sabará, Ibirité, Quadrilátero Ferrífero, MG. **REM Revista da Escola de Minas**, Ouro Preto, n. 45, p. 157-160.1992.
- JORDT-EVANGELISTA H.; ALVARENGA J. P. M.; LANA C. C. Petrography and geochronology of the Furquim Quartzite, na eastern extension of the Itacolomi Group (Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais). **REM Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, n.68, p. 393-399, 2015. DOI <http://dx.doi.org/10.1590/0370-44672015680054>.
- JUNQUEIRA, P.A.; LOBATO, L.M.; LADEIRA, E.A.; SIMÕES, E.J.M. 2007. Structural control and hydrothermal alteration at the BIF-hosted Raposos lode-gold deposit, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. **Ore Geology Reviews** ,[s.l.] , n. 32: p. 629–650.2006. DOI <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2006.03.004>.
- KOGLIN, N.; ZEH, A.; CABRAL, A.R.; GOMES, JR. A.A.S.; NETO, A.V.C.; BRUNETTO, W.J; GALBIATTI, H. Depositional age and sediment source of the auriferous Moeda Formation, Quadrilátero Ferrífero of Minas Gerais Brazil: new constraints from U-Pb–Hf isotopes in zircon and xenotime. **Precambrian Research**, [s.l.] 255, p. 96-108.2014. DOI <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2014.09.010>.
- KNOX-ROBINSON, C.M. Vectorial fuzzy logic: a novel technique for enhanced mineral prospectivity mapping, with reference to the orogenic gold mineralization potential of the Kalgoorlie Terrane, Western Australia. **Australian Journal of Earth Sciences**, Austrália, n. 47,p. 929–942.2000.
- KNOX-ROBINSON, C.M., WYBORN, L.A.I. Towards a holistic exploration strategy: using Geographic Information Systems as a tool to enhance exploration. **Australian Journal of Earth Science**, Austrália, n. 44, p. 453–463, 1997.
- KWITKO, R.; CABRAL, A.R. ; LEHMANN, B.; LAFLAMME, J.H.G.; CABRI, L.J.; CRIDDLE, A.J.; GALBIATTI, H.F. Hongshiite (Pt-Cu) from itabirite-hosted Au-Pd-Pt mineralization (Jacutinga), Itabira district, Minas Gerais, Brazil. **Canadian Mineral Resources**, [s.l.] , n.40, p. 711-723.2002. DOI <https://doi.org/10.2113/gscanmin.40.2.711>.2002.
- LADEIRA, Eduardo A. **Metallogenesis of gold at the Morro Velho mine and in the Nova Lima District, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil**.1980. 272f. Thesis(Ph.D.) University of Western Ontario, London, Ontario, Canadá,1980.
- LANA, C.; ALKMIM, F.F.; ARMSTRONG, R.; SCHOLZ, R.; ROMANO, R.; NALINI, H.A. The ancestry and magmatic evolution of Archaean TTG rocks of the Quadrilátero Ferrífero province, southeast Brazil. **Precambrian Research**, [s.l.] , n.231, p. 157–173.2013. DOI <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2013.03.008>.
- LARIZZATI J. H.; MARQUES E. D.; SILVEIRA F. V. **Mapeamento geoquímico do Quadrilátero Ferrífero e seu entorno – MG**. Rio de Janeiro: CPRM. 2014. (Coleção Informe de Recursos Minerais, Rio de Janeiro, n. 2). Disponível em: www.cprm.gov.br/Rigeo .
- LIMA L.C. **Depósito LODE Au-As-Sb Laranjeiras, em metaturbitos do Grupo Nova Lima, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. 2012. 306f.** Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- LOBATO, L.M.; VIEIRA, F.W.R.; RIBEIRO-RODRIGUES, L.C.; PEREIRA, L.M.M.; MENEZES, M.; JUNQUEIRA, P.A.; MARTINS-PEREIRA, S.L.M. Styles of hydrothermal alteration and gold mineralization associated with the Nova Lima Group of the Quadrilátero Ferrífero: Part I, description of selected gold deposits. **Revista Brasileira Geociências**, São Paulo, v.28, n.3, p. 339-354, [s.m.], 1998.

- 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 Archean rio das velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero. *Mineralium Deposita [s.l.]*, n.36, p. 249–277. 2001 a. DOI <https://doi.org/10.1007/s001260100180>.
- LOBATO, L.M.; RIBEIRO-RODRIGUES, L.C.; COSTA, M.N.S.; MARTINS, R.; LEHNE, E.; ALVES, J.V.; TASSINARI, C.G.; VIEIRA, F.W.R., BIASI, E.E., FIGUEIREDO E SILVA, R.C., PEREIRA, V.C.A., NOCE, C.M. Geologia do depósito de ouro Cuiabá, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, 2001 b. p.3-77. In: JOST, H.; BROD, J.A.; QUEIROZ, E.T. de (Eds.). **Depósitos auríferos em distritos mineiros brasileiros**. Brasília: DNPM/ADIMB, 2001b.
- 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**, [s.l.] n. 32, p. 674-680. 2007. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2006.11.007>.
- LOBATO, L.M.; RENGGER, F.E.; FIGUEIREDO E SILVA, R.C.; ROSIÈRE, C.A.; BAARS, F.J.; ROLIM, V.K. Metalogênese do setor meridional do Cráton São Francisco. In: SILVA, M.G.; ROCHA NETO, M.B.; JOST, H.; KUYUMJIAN, R.M. (orgs.). **Metalogênese das províncias tectônicas brasileiras**. Belo Horizonte: Serviço Geológico do Brasil-CPRM, 2014. p.119-140.
- LOBATO, L.M.; COSTA, M.A.; HAGEMANN, S.G.; MARTINS, R. Ouro no Brasil: principais depósitos, produção e perspectivas. In: MELFI, A.J.; MISI, A.; CAMPOS, D.A.; CORDANI, U.G. (orgs.). **Recursos Minerais no Brasil: problemas e desafios**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2016. p. 46-59.
- LOBATO, L.M.; COSTA, M.A. **Recursos minerais no Estado de Minas Gerais**. Disponível em: <http://recursomineralmg.codemge.com.br/wpcontent/uploads/2018/10/RecMinCenarioGeologicoMG.pdf>. Acesso em: maio de 2021.
- LOBATO, L.M.; FIGUEIREDO E SILVA, R.C.; COSTA, M.A. Ouro no Quadrilátero Ferrífero. In: CASTRO, P.T.M.; ENDO, Issamu; GANDINI, A.L. (Eds.). **Quadrilátero Ferrífero: avanços do conhecimento nos últimos 50 anos**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Ouro Preto, 2020. p.266-287.
- LUSTY, P.A.J.; SCHEIB, C.; GUNN, A.G. Reconnaissance-Scale Prospectivity analysis for gold mineralisation in the southern Uplands-Down-Longford Terrane, Northern Ireland. **Natural Resources Research**, [s.l.] v.21, n.3 p.359–382. 2012. <https://doi.org/10.1007/s11053-012-9183-3>
- MACHADO, N.; CARNEIRO, M.A. U–Pb evidence of late Archean tectonothermal activity in the southern São Francisco shield, Brazil. **Canadian Journal of Earth Science**, [s.l.], n. 29, p. 2341-2346. 1992. DOI <http://dx.doi.org/10.1139/e92-182>.
- MACHADO, N.; SCHRANK, A.; ABREU, F.R.; KNAUER, L.G.; ABREU, P.A. 1989. Resultados preliminares da geocronologia U/Pb na Serra do Espinhaço Meridional. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 5, 1989. **Boletim ...** Belo Horizonte: SBG, 1989. Bol. 10, p. 171-174.
- MACHADO, N.; NOCE, C.M.; LADEIRA, E.A.; BELO DE OLIVEIRA, O. U-Pb geochronology of Archean magmatism and Proterozoic metamorphism in the Quadrilátero Ferrífero, southern São Francisco craton, Brazil. **Geological Society of America Bulletin**, [s.l.], n.104, p. 1221-1227. 1992. DOI [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1992\)104<1221:UPGOAM>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1992)104<1221:UPGOAM>2.3.CO;2).
- MACHADO, N.; SCHRANK, A.; NOCE, C.M.; GAUTHIER, G. Ages of detrital zircon from Archean–Paleoproterozoic sequences: implications for greenstone belt setting and evolution of a Transamazonian foreland basin in Quadrilátero Ferrífero, southeast Brazil. **Earth and Planetary Science Letters**, [s.l.], n. 141, p. 259–276. 1996. DOI [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(96\)00054-4](https://doi.org/10.1016/0012-821X(96)00054-4).
- MACHADO, I.C. Caeté (CTX) Gold Project Pilar and Roça Grande properties feasibility study amended due to enhancement of the Process Route and Resources/Reserve Increase. **Techno Mine Services**, LLC, n. 29, [s.l.] , October, 2010, 305 p.
- MADUREIRA, R.S. **Petrografia e caracterização mineralógica das unidades portadoras de ouro e urânio da Formação Moeda na região da Serra do Ouro Fino, Quadrilátero Ferrífero, MG**. 2017. 119 f. (Trabalho de conclusão de curso) Universidade Federal de Minas Gerais- UFMG, Belo Horizonte . 2017.
- MAGOON, L.B.; DOW, W.G. 1994. The petroleum system. In: MAGOON, L.; DOW, W.G. (Eds.). **The petroleum system: from source trap**. In: American Association of Petroleum Geologists Memoir, n. 60, 1994. p. 3–24.
- MANLY, B.F.J. **Multivariate statistical methods: a primer**. London: Chapman Hall, 1986. 110 p.
- MARTINS, B. **Controle da Mineralização Aurífera de Lamego, Sabará, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil**. 2011. 247 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais- UFMG, Belo Horizonte. 2021.
- 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**, [s.l.] n. 72, p. 963-988. 2016. DOI <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.08.025>.
- MARTINS PEREIRA, S.L. **Controles litoestruturais da mineralização aurífera no Distrito de Santa Bárbara, Quadrilátero Ferrífero, MG: Mina São Bento**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte, 1995.
- MARTINS PEREIRA, S.L.; 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**, [s.l.], n.32, p. 571–595. 2007. DOI <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2005.03.018>.
- MCCUAIG, T.C.; BERESFORD, S.; HRONSKY, J. Translating the mineral systems approach into an effective exploration targeting system. **Ore Geology Reviews**, [s.l.] v. 38, p. 128–138. 2010.
- MCCUAIG, T.C.; HRONSKY, J. The mineral system concept: the Key to exploration targeting. **Society of Economic Geologists, Special Publication**, n. 18. p. 153-175. 2014.
- MCKAY, G.; HARRIS, J.R. Comparison of the data-driven Random Forests model and a [87ytds]knowledge-driven method for mineral prospectivity mapping: a case study for gold deposits around the Huritz Group and Nueltin Suite, Nunavut, Canada. **Natural Resources Research**, [s.l.], n. 25, p. 125–143, 2016.
- MINAS GERAIS (Estado). Secretaria de Estado de Minas e Energia. Pitangui – São João Del Rei - Ipatinga - Área 2: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. In: MINAS GERAIS (Estado). Secretaria de Estado de Minas e Energia. **Levantamento aerogeofísico de Minas Gerais: texto técnico**. Belo Horizonte: SEME/ Lasa Engenharia e Prospecções, 2001. v. 1, 44 p. 22 mapas. (Relatório interno).
- MINAS GERAIS (Estado). Secretaria de Estado de Minas e Energia. Morro do Pilar - Serro - Guanhães – Área 3: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. In: MINAS GERAIS (Estado). Secretaria de Estado de Minas e Energia. **Levantamento aerogeofísico de Minas Gerais: texto técnico**. Belo Horizonte: SEME/ Megafísica Survey Aerolevantamentos S.A., 2001. v. 1, 41 p. 14 mapas. (Relatório interno).
- MINTER, W.E.L.; RENGER, F.E.; SIEGERS, A. Early proterozoic gold placers of the Moeda formation within the Gandarela syncline, Minas Gerais, Brazil. **Economic Geology**, [s.l.], n. 85, p. 943–951.1990. DOI <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.85.5.943>.
- MONK, J.D.; BONNET, R. (Eds.) **Handbook of boolean algebras**. Amsterdam: North-Holland, 1989. 3v.
- MONK, J.D. “The mathematics of boolean algebra”, The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Fall 2018). Edward N. Zalta (ed.) URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/fall2018/entries/boolalg-math/>>.
- MORAES, M.A.S. Reconhecimento de fácies sedimentares em rochas metamórficas da região de Ouro Preto (MG). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 3,1985, Belo Horizonte. **Boletim**, n.3. Belo Horizonte: SBG/MG, 1985. p. 84-93.
- MOREIRA, H.; CASSINO, L.; LANA, C.; STOREY, C.; ALBERT, C. Insights into orogenic processes from drab schists and minor intrusions: Southern São Francisco Craton, Brazil. **Lithos**, [s.l.] n. 346.2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2019.07.013>.
- MOREIRA, H.; LANA, C.; NALINI JR., H.A. The detrital zircon record of an Archaean convergent basin in the Southern São Francisco Craton, Brazil. **Precambrian Research**, [s.l.] , n.276, p. 84-99.2016. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2015.12.015>.
- MOREIRA, H.; CASSINO, L.; LANA, C.; STOREY, C.; ALBERT, C. Insights into orogenic processes from drab schists and minor intrusions: Southern São Francisco Craton, Brazil. **Lithos**, [s.l.] ,p. 346–347,2019. 105146. DOI <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2019.07.013>.
- MUNDO MINERALS LTDA. **Prospectus** (including Snowden report). Australia: Perth, 2006.146 p.
- NOCE, C.M. **Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**.1995. 128f. Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995. DOI <https://doi.org/10.11606/T.44.2016.tde-05012016-154125>.
- NOCE, C.M.; MACHADO, N.; TEIXEIRA, W. U/Pb Geochronology of gneisses and granitoids in the Quadrilátero Ferrífero (Southern São Francisco Craton): age constraints for Archean and Paleoproterozoic magmatism and metamorphism. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.28, p. 95-102.1998. DOI <http://doi.org/10.25249/0375-7536.199895102>.
- NYKÄNEN, V.; OJALA, V.J. Spatial analysis techniques as successful mineralpotential mapping tools for orogenic Gold deposits in the Northern Fennoscandian Shield, Finland. **Natural resources research**, [s.l.] , n. 16,p. 85–92, 2007.
- NYKÄNEN, V.; GROVES, D.I.; OJALA, V.J.; GARDOLL, S.J. Combined conceptual/empirical prospectivity mapping for orogenic gold in the Northern Fennoscandian Shield, Finland. **Aust. Journal earth sciences**, [s.l.], n. 55, p.39–59, 2008.
- OLIVO, G.R.; GAUTHIER, M.; WILLIAMS-JONES, A.E.; LEVESQUE, M. The Au-Pd mineralization at the Conceição iron mine, Itabira district, southern São Francisco craton, Brazil: an example of a Jacutinga-type deposit. **Economic geology**, [s.l.] n.96, p. 61-74 .2001. DOI <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.96.1.61>.
- PADILHA, A.V.; SILVA, J.R.; OLIVEIRA, S.O. A unidade metavulcânica do Grupo Nova Lima no Córrego dos Boiadeiros: uma sequência máfica-ultramáfica komatiítica na base do Supergrupo Rio das Velhas, na área central do Quadrilátero Ferrífero, MG. **Revista Brasileira de Geociências**. São Paulo, n. 15, p. 74-84, 1985.
- PAWLOWSKY-GLAHN ; V., EGOZCUE, J. J. Spatial analysis of compositional data: A historical review. **Journal of Geochemical Exploration**, [s.l.] , n.164, p. 28–32., 2016. DOI:10.1016/j.gexplo.2015.12.010.
- PAWLOWSKY-GLAHN V. ; OLEA R. A. **Geostatistical analysis of compositional data: studies in mathematical geology**. New York: Oxford University Press, 2004. 304 p.
- PASSOS, R. V. **Caracterização da geometria de zonas de alteração hidrotermal: estudo de caso no depósito aurífero**

- de Brumal, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais.1999. 190f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas,1999.
- PEDROSA-SOARES, A.C.; NOCE, C.M.; VIDAL, P.; MONTEIRO, R.L.B.P.; LEONARDOS, O.H. Toward a new tectonic model for the Late Proterozoic Araçuaí (SE Brazil) - West Congolian (SW Africa) Belt. **Journal of South American Earth Sciences**, [s.l.] ,n. 6, p.33-47, 1992.
- PEDROSA-SOARES, A.C.; NOCE, C.M.; WIEDEMANN, C.M.; PINTO, C.P. The Araçuaí–West Congo orogen in Brazil: An overview of a confined orogen formed during Gondwanland assembly. **Precambrian Research**,[s.l.] ,n. 110, p. 307-323, 2001.
- PEREIRA, L.M.M. **Estudo da alteração hidrotermal do corpo SE-2, nível 5, da mina de ouro de Juca Vieira, Quadrilátero Ferrífero, MG.**1996. 204f. Dissertação (Mestrado) Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG, Belo Horizonte, 1996.
- PEREIRA, V.C.A. **Metalogenia do ouro em formações ferríferas bandadas do greenstone belt Rio das Velhas. Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, com base em sistemas de informações geográficas.**2003. 170 f. Dissertação (Mestrado) Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais- UFMG, Belo Horizonte, 2003.
- PEREIRA, I.; STOREY, C.; DARLING, J.; LANA, C.; ALKMIM, A.R. Two billion years of evolution enclosed in hydrothermal rutile: Recycling of the São Francisco Craton Crust and constraints on gold remobilisation processes. **Gondwana Resources, [s.l.]** n.68, p. 69-92. 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.gr.2018.11.008>.
- PORWAL, A.; CARRANZA, E.J.M.; HALE, M. 2003. Knowledge–driven and data–driven fuzzy models for predictive mineral potential mapping. **Natural Resources Research**, [s.l.] v. 12, n.1, p. 1–25.2003.
- PORWAL, A.; DEB DAS, R.; CHAUDHARY, B.; GONZALEZ-ALVAREZ, I.; KREUZER, O. Fuzzy inference systems for prospectivity modeling of mineral systems and a case-study for prospectivity mapping of surficial Uranium in Yeelirrie Area, Western Australia. **Ore Geology Reviews**, [s.l.] ,n. 71, p. 839–852.2015.
- POMERENE, J.B. The geology and ore deposits of the Belo Horizonte, Ibirité and Macacos Quadrangles, Minas Gerais, Brazil. U.S. Geology Survey, U.S.A. U.S. Geology Survey. **Prof Paper**,n. 341-D, 1964. (Coleção Boletins USGS).
- PORTO, C.G. **A mineralização aurífera do depósito Córrego do Sítio e sua relação com o enxame de diques metamáficos no corpo Cachorro Bravo - Quadrilátero Ferrífero - Minas Gerais.**2008. 117f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais- UFMG, Belo Horizonte, 2008.
- PORTO, C.G.; PALERMO, N.; PIRES, F.R.M. Panorama da Exploração e Produção do Ouro no Brasil. In: TRINDADE, R.B.E.; BARBOSA FILHO, O. (Eds.). **Extração de ouro: princípios, tecnologia e meio ambiente.** Rio de Janeiro: CETEM, 2002. p.1-22.
- PRADO, M.G.B.; MARTINS PEREIRA, S.L.; RODRIGUES, J.T.L.; RIBEIRO, P.A. Synthesis of the geology of São Bento and Santa Quitéria mines, Santa Bárbara, Minas Gerais. In: FLEISCHER, R.; GROSSI SAD, J.H.; FUZIKAWA, K.; LADEIRA, E.A. (Eds.), **Field and Deposit Trip to Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Field Guide Book of Brazil Gold '91.** Belo Horizonte, Brasil, p. 41–74, 1991.
- QUEIROZ, L.C.; TAVARES, F. M.; MARINHO, M.S.; FREITAS, F.M.; MARQUES,E.D; BASTOS, C.F.; SOUZA, A. S.; FERREIRA, R.C.R; ARAÚJO, J.C.S. **Mapa de Favorabilidade para Ouro Orogênico:** Quadrilátero Ferrífero Central. Projeto Estratigrafia, arquitetura crustal e recursos minerais do Quadrilátero Ferrífero. Belo Horizonte: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2022. (1 mapa, color, 1,5 m x 90 cm. Escala1:100.000).
- RAINES, Sawatzky, D.L.; BONHAM-CARTER, G.F. **New fuzzy logic tools in ArcGis 10:** ArcUser, ESRI,2010. 13 p.
- REIS L. A.; MARTINS-NETO M.A.; GOMES N.S., ENDO, Issamu 2002. A bacia de antepaís paleoproterozoica Sabará, Quadrilátero Ferrífero, MG. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo,n. 32, p. 43-58. 2002. DOI <https://doi.org/10.25249/0375-7536.20023212742>.
- RENGER, F.E.; NOCE, C.M.; ROMANO, A.W.; MACHADO, N. Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. **Geonomos**, Belo Horizonte, v.2, n.1, p. 1-11, [s.m.] ,2005. DOI <https://doi.org/10.18285/geonomos.v2i1.227>.
- REIMANN, C.; FILZMOSER, P.; GARRETT, R.G. Factor analysis applied to regional geochemical data: problems and possibilities. **Applied Geochemistry**,[s.l.] n, 17, , p.185-206, 2002.
- REIMANN, C.; FILZMOSER, P.; GARRETT, R.G.; DUTTER, R. **Statistical data analysis explained.**Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2008. [n.p.].
- RIBEIRO, Y.; SILVA, R.C.F.; LOBATO, L.M.; LIMA, L.C.; HAGEMANN, S.G.; CLIFF, J. Estudo de inclusões fluidas em veios de quartzo e carbonato (± sulfetos e sulfossais) do depósito Carvoaria Velha, Lineamento Aurífero Córrego do Sítio, Santa Bárbara, Quadrilátero Ferrífero, MG. **Geonomos**, Belo Horizonte, n. 21, p. 7-28, 2013.
- 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**,[s.l.] , n. 32: p. 543–570, 2007. DOI <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2006.09.001>.
- ROBERT, F.; BROMMECKER, R. ; BOURNE, B.T.; DOBBAK, P.J.; MCEWAN, C.J.; ROWE, R.R.; ZHOU, X. Models and exploration methods for major gold deposit types. In “Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration” edited by B. Milkereit,2007. **Ore deposits and Exploration Tecnology** , paper n. 48. p. 691-71. Disponível em: www.reserachgate.net. Acesso em: 10 nov 2021.

- ROMANO, R.; LANA, C.; ALKMIM, F.F.; STEVENS, G.; ARMSTRONG, R. 2013. Stabilization of the southern portion of the São Francisco craton, SE Brazil, through a long-lived period of potassic magmatism. **Precambrian Research**, [s.l.], n.224, p. 143-159. 2013. DOI <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2012.09.002>.
- RONCATO, J.G.; LOBATO, L.M.; LIMA, L.C.; PORTO, C.G.; FIGUEIREDO E SILVA, R.C. Metaturbidite-hosted gold deposits, Córrego do Sítio Lineament, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, [s.l.] n.45, p. 5-22.2015. DOI <http://dx.doi.org/10.1590/23174889201500010001>.
- ROSSIGNOL, C.; LANA, C.; ALKMIM, F.F. Geodynamic evolution of the Minas Basin, southern São Francisco Craton (Brazil), during the early Paleoproterozoic: Climate or tectonic? **Journal of South American Earth Sciences**, [s.l.] n.101., 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102628>.
- SANTOS, C.A. **Geologia e petrogênese dos metakomatiitos arqueanos do Grupo Quebra Osso, Greenstone Belt Rio das Velhas, Borda Leste do Quadrilátero Ferrífero, MG**. 2011. 36f. Trabalho de Graduação, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- SALES, M.A.S. **The geological setting of the Lamego banded iron-formation-hosted gold deposit, Quadrilátero Ferrífero district, Minas Gerais - Brazil**. 1988. 262 f. Dissertation (Mestrado) - Queen's University, Kingston (Canadá), 1998.
- SAWATZKY, D.L.; RAINES, G.L.; BONHAM-CARTER, G.F.; AND LOONEY, C.G. **Spatial Data Modeller (SDM): ArcMAP 9.3 geoprocessing tools for spatial data modelling using weights of evidence, logistic regression, fuzzy logic and neural networks**. 2009.
- SCHORSCHER, H.D. Komatiitos na estrutura "Greenstone Belt" Série Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, 1978, Recife. **Anais...** Recife: SBG- Núcleo Nordeste, 1978. p. 292-293.
- SCHORSCHER, H.D. Evolução geotectônica e petrogenética do embasamento arqueano do Quadrilátero Ferrífero. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, n 51, p. 766-768, 1979.
- SCHORSCHER, H.D. **Arcabouço petrográfico e evolução crustal dos terrenos precambrianos do sudeste de Minas Gerais: Quadrilátero Ferrífero, Espinhaço Meridional, e domos granitoides-gnaissicos adjacentes**. 1992. 393 f. Livre Docência (Tese). Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 1992.
- SCHRANK, A.; SOUZA FILHO, C.R.; ROIG, H.L. Novas observações sobre as rochas ultramáficas do Grupo Quebra Osso e Formação Córrego dos Boiadeiros, "Greenstone belt" Rio das Velhas (MG). **Cadernos IG/UNICAMP**, Campinas, n.1, p. 6-29, 1990.
- SEPULVEDA, G.O.; NOVO, T.A.; RONCATO, J. Characterization and geochronology of Archean metasedimentary sequences in the eastern portion of Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero. **Journal of South American Earth Sciences**, [s.l.] , n.10, 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102962>.
- SEQUETTO-PEREIRA, M.A.; LOBATO, L.M.; ROSIÈRE, C.A.; SILVA, R.C.F. Classificação dos veios quartzo-carbonáticos de depósitos auríferos no Lineamento Córrego do Sítio, Quadrilátero Ferrífero, MG. **Geonomos**, Belo Horizonte, n. 21, p. 53-71.2013.
- SILVA, L.C.F. **Depósito Pilar: contexto geológico, alteração hidrotermal e mineralização aurífera**. 2007 123 f. Dissertação (Mestrado) Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/MPBB-7X4G9X>.
- SILVA, A.M. **Geologia e petroquímica dos enxames de diques máficos do Quadrilátero Ferrífero e Espinhaço Meridional, MG**. 1992. 117 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Brasília – UnB, Instituto de Geociências, Brasília, 1992.
- SILVA, A.M.; KUYUMJIAN, R.M.; CHEMALE, JR.F. Mafic dykes swarms in the southern São Francisco Craton, Southeastern Brazil. In: **International Symposium of Mafic Dykes**, 3, São Paulo, p. 90-93.1991.
- SILVA, M.A.; CAVALCANTI, J.A.D.; ARAÚJO, J.C.S.; FERREIRA, R.C.R.; FREITAS, F.M. **Projeto ARIM – Áreas de Relevante Interesse Mineral - Parte Norte do Quadrilátero Ferrífero Central – Mapa Geológico e de Recursos Minerais Integrado da Porção Norte do Quadrilátero Ferrífero**. Belo Horizonte: CPRM, 2020, 1 mapa colorido. Escala 1:75.000.
- TABACHNICK, B. G.; FIDELL, L. S. **Using multivariate statistics**. London: Allyn and Bacon., 2001. 305 p.
- TEIXEIRA, W., FIGUEIREDO, M.C.H. An outline of Early Proterozoic crustal evolution in the São Francisco region, Brazil: a review. **Precambrian Research**, [s.l.] , v.53, n.1/2, p.1-22, 1991.
- TEIXEIRA, W. Avaliação do acervo de dados geocronológicos e isotópicos do Cráton do São Francisco - Implicações tectônicas. In: DOMINGUEZ, J.M.L.; MISI, A. (Eds.). **O Cráton do São Francisco**. Sociedade Brasileira de Geologia/Núcleo BA/SE, Salvador, Brasil, p. 11-33.1993
- TEIXEIRA, W.; AVILA, C.A.; DUSSIN, I.A.; NETO, A.C.; BONGIOLO, E.M.; SANTOS, J.O.; BARBOSA, N.S. A juvenile accretion episode (2.35-2.32 Ga) in the Mineiro belt and its role to the Minas accretionary orogeny: Zircon U-Pb-Hf and geochemical evidences. **Precambrian Research**, [s.l.] n. 256, p. 148-169, 2015.
- TOLBERT, G.E. Geology of the Raposos gold mine, Minas Gerais, Brazil. **Economic Geology**, [s.l.] n.59, p. 775-798, 1964. DOI <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.59.5.775>.
- TOLOSANA-DELGADO, R. **Geostatistics for constrained variables: positive data, compositions and probabilities**. Applications to environmental hazard monitoring. University of Girona, 2005.

- TUKEY J. W. **Exploratory data analysis**. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1977. 688 p.
- UCHÔA, J.C.F.; TOLEDO, C.L.B.; SILVA, A.M.; MENDONÇA, A.F.; HAGEMANN, S.G.; KREUZER, O.P.; CARMELO, A.C. Multi-process and multi-scale spatial predictive analysis of an orogenic Archean gold system, Rio das Velhas Greenstone Belt, Brazil. **Ore Geology Reviews**, [s.l.] 122(2020)103442 .2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103442>.
- UCHÔA, J.C.F. **A decisão econômica na exploração mineral: uma abordagem de sistemas minerais e sua aplicação aos depósitos auríferos do greenstone belt Rio das Velhas**. 2018. 135 f. Tese (Doutorado) Universidade de Brasília, Brasília, 135 p.
- VALLADARES, F.B. **Geologia e petro-metalogênese da mineralização de ouro da mina São Bento, MG, Quadrilátero Ferrífero**. 2004. 55 f. Dissertação (Mestrado) Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 55 p.
- 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. *Applied Geochemistry*, [s.l.] n. 15, p. 245-263.2000. DOI [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(99\)00038-4](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(99)00038-4).
- VERMA, S.K.; OLIVEIRA, E.P.; SILVA, P.M.; MORENO, J.A.; AMARAL, W.S. Geochemistry of komatiites and basalts from the Rio das Velhas and Pitangui greenstone belts, São Francisco Craton, Brazil: Implications for the origin, evolution, and tectonic setting. **Lithos**, [s.l.] v. 284–285, p. 560–577. 2017. DOI <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2017.04.024>. Disponível em: www.repositorio.IPIYT.com. Acesso em: 10 nov 2021.
- VIAL, D.S. **Mapeamento geológico do nível 3 da Mina de Cuiabá**. Belo Horizonte: Mineração Morro Velho, 1980 a. 22p. (Internal Report)
- VIAL, D.S. Geologia da mina de ouro de Raposos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, 1980, Balneário de Camburiú. **Anais...** Sociedade Brasileira de Geologia, Balneário de Camburiú: Soc. Bras. De Geologia, 1980 b. p. 1851–1866.
- 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**, [s.l.] n.32, p. 651-673. 2007 a. DOI <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2005.01.004>.
- VIAL D. S.; DEWITT E.; LOBATO L. M.; THORMAN C. The geology of the Morro Velho gold deposit in the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. **Ore Geology Reviews**, [s.l.] , n. 32, p. 511-542. 2007b. DOI <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2004.12.008>.
- 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**, [s.l.] , 32:651-673. 2007. DOI 10.1016/j.oregeorev.2005.01.004.
- VITORINO A.L.A.; FIGUEIREDO E SILVA, R.C.; LOBATO, L.M. Shear-zone-related gold mineralization in quartz-carbonate veins from meta-mafic rocks of the BIF-hosted world-class Cuiabá deposit, Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: vein classification and structural control. **Ore Geology Reviews**, [s.l.] , n. 127, p. 103-789. 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103789>.
- WALLACE, R.M. Geology and mineral resources of the Pico de Itabirito District, Minas Gerais, Brazil. **USGS Professional Paper 341-F**, 1965. 68 p. .(Coleção boletins USGS).
- WYBORN, L.A.I; HEINRICH, C.A.; JAQUES, A.L. Australian Proterozoic mineral systems: essential ingredients and mappable criteria. In: Hallenstein PC (ed) Australian mining looks north – the challenges and choices. **Australian Institute of Mining and Metallurgy Publication Series 5**, p109-115, 1994.
- YOUSEFI, M.; CARRANZA, E.J.M.; KREUZER, O.P.; NYKÄNEN, V.; HRONSKY, J.M.A.; MIHALASKY, M.J. Data analysis methods for prospectivity modelling as applied to mineral exploration targeting: State-of-the-art and outlook. **Journal of Geochemical Exploration**, [s.l.] , n.229. 2021. 106839.
- ZUCCHETTI, M.; BALTAZAR, O.F. **Projeto Rio das Velhas: texto explicativo do mapa geológico integrado, escala 1:100.000**. Belo Horizonte: Departamento Nacional de Produção Mineral/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2000. Disponível em: www.cprm.gov.br/rigeo. Acesso em: 10 nov 2021.

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 Baciado 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, Caracará, 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/Çaçapava 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 Manáira 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/Çaçapava 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/Çaçapava do Sul, Subárea Ibaré – Rio Grande do Sul, 2000.
Nº 09 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Çaçapava do Sul, Subárea Çaçapava do Sul - Rio Grande do Sul, 2000.
Nº 10 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Çaçapava 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/Çaçapava 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/Çaçapava do Sul, Subárea Cambaizinho - Rio Grande do Sul, 2001.
Nº 14 - Resultados da Prospecção para Ouro na Área RS-01 - Lavras do Sul/Çaçapava 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/Çaçapava 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.

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.

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 Ouroândia-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 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 Água 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

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.

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

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



PROGRAMA GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

INFORME DE RECURSOS MINERAIS

Série Províncias Mineraias do Brasil, nº 37

ÁREAS DE RELEVANTE INTERESSE MINERAL (ARIM). QUADRILÁTERO FERRÍFERO, SETOR CENTRAL: MAPA DE FAVORABILIDADE PARA OURO OROGÊNICO

O produto Informe de Recursos Mineraias, parte integrante do Programa Geologia, Mineração e Transformação Mineral, objetiva sistematizar e divulgar os resultados das atividades e projetos desenvolvidos pelo Serviço geológico do Brasil – CPRM, nos campos da geologia econômica, metalogênese, prospecção, pesquisa e economia mineral. Tais resultados são apresentados sob a forma de estudos, artigos, relatórios e mapas.

O empreendimento Áreas de Relevante Interesse Mineral, vinculado à Diretoria de Geologia e Recursos Mineraias, consiste em um conjunto de projetos com foco nas províncias mineraias, com vista a estimular a pesquisa e a produção mineral do país. Envolve levantamentos geológicos, geoquímicos e metalogenéticos, a utilização otimizada de dados geofísicos, com interpretação integrada de informações, visando a evolução do conhecimento geológico, o entendimento dos controles das mineralizações e a posição de áreas potenciais para estudos metalogenéticos de detalhe e para execução de projetos de pesquisa mineral.

O projeto Áreas de Relevante Interesse Mineral – Quadrilátero Ferrífero, Setor Central: Mapa de Favorabilidade para Ouro Orogênico possui cerca de 3000 Km², na porção centro-sudeste do estado de Minas Gerais, pertencente a uma das mais importantes províncias metalogenética do Brasil. O projeto envolveu estudos temáticos de geologia básica e geologia econômica. Esse trabalho traz uma síntese sobre a geologia e aspectos metalogenéticos dos principais depósitos de ouro da região, além de apresentar e discutir sobre os dados e ferramentas utilizados para a confecção do Mapa de Favorabilidade para Ouro Orogênico: Quadrilátero Ferrífero Central.

Os dados levantados foram integrados neste Informe Mineral e em ambiente de Sistema de Informações Geográficas, bases de dados e mapas temáticos, vinculados ao banco de dados corporativo da CPRM, o GeoSGB, e disponíveis para *download* no portal www.cprm.gov.br.

Serviço Geológico do Brasil - CPRM

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 Mineraias

Tel: 21 2546-0212 - 61 3223-1166

Departamento de Geologia

Tel: 91 31821326

Departamento de Recursos Mineraias

Tel: 21 2295-4992

Diretoria de Infraestrutura Geocientífica

Tel: 21 2295-5837 - 61 2108-8457

Superintendência de Belo Horizonte

Avenida Brasil, 1731- Bairro Funcionários
Belo Horizonte - MG - CEP: 30140-020
Tel.: 31 3878-0307

Assessoria de Comunicação

Tel: 61 2108-8468
E-mail: asscom@cprm.gov.br

Ouvidoria

Tel: 21 2541-6344
E-mail: ouvidoria@cprm.gov.br

Serviço de Atendimento ao Usuário – SEUS

Tel: 21 2295-5997
E-mail: seus@cprm.gov.br

www.cprm.gov.br