



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG
Campus Avançado de Poços de Caldas
Rodovia José Aurélio Vilela, nº 11.999 - Cidade Universitária
CEP: 37715-400 - Poços de Caldas/MG



Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), Campus de Poços de Caldas
Curso de Especialização em Engenharia de Mineral (CEEM)

Bárbara Santana Estanislau Neto

Ouro no Quadrilátero Ferrífero: Contexto Geológico e Histórico

Poços de Caldas

2023



Curso de Especialização
em Engenharia Mineral



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG
Campus Avançado de Poços de Caldas
Rodovia José Aurélio Vilela, nº 11.999 - Cidade Universitária
CEP: 37715-400 - Poços de Caldas/MG



Bárbara Santana Estanislau Neto

Ouro no Quadrilátero Ferrífero: Contexto Geológico e Histórico

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à
Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) como parte
dos requisitos para a integralização do curso de
Especialização em Engenharia Mineral (CEEM).

Área de concentração: Lavra

Orientador: Prof. Dr. Matheus Fernando Ancelmi

Coorientador: Msc. William Medina Leite Féres

Poços de Caldas

2023



Curso de Especialização
em Engenharia Mineral



Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Campus Poços de Caldas

Santana Estanislau Neto, Bárbara.

Ouro no Quadrilátero Ferrífero: Contexto Geológico e Histórico / Bárbara
Santana Estanislau Neto. - Poços de Caldas, MG, 2023.
22 f. : il. -

Orientador(a): Matheus Fernando Ancelmi.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de
Minas) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2023.
Bibliografia.

1. Depósitos de Ouro. 2. Greenstone Belt. 3. Quadrilátero Ferrífero. 4. Rio
das Velhas. 5. Pilar. I. Ancelmi, Matheus Fernando, orient. II. Título.

Ficha gerada automaticamente com dados fornecidos pelo autor.





Bárbara Santana Estanislau Neto

Ouro no Quadrilátero Ferrífero: Contexto Geológico e Histórico

A banca examinadora abaixo-assinada aprova o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) como parte dos requisitos para a integralização do curso de Especialização em Engenharia Mineral (CEEM).

Área de concentração: Lavra

Aprovada em: 28 de setembro de 2023.

Orientador: Prof. Dr. Matheus Fernando Ancelmi

Instituição: Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL - MG

Assinatura:

Documento assinado digitalmente
 MATHEUS FERNANDO ANCELMÍ
Data: 28/09/2023 19:42:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador 1: Prof^a. Dr^a. Carolina Del Roveri

Instituição: Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL - MG

Assinatura:

Documento assinado digitalmente
 CAROLINA DEL ROVERI
Data: 28/09/2023 19:45:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador 2: Prof. Dr. Guilherme José Ramos Oliveira

Instituição: Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL - MG

Assinatura:

Documento assinado digitalmente
 GUILHERME JOSÉ RAMOS OLIVEIRA
Data: 30/09/2023 16:36:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>





AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, família e amigos pelo apoio incondicional de sempre.

Aos meus colegas da Geologia da Jaguar Mining pela paciência, ensinamentos diários e por compartilhar a paixão pela geologia. Em especial agradeço ao meu grande amigo William por ter aceitado encarar o desafio desse trabalho comigo.

Aos professores, coordenação e tutoria do CEEM por esse curso que me proporcionou tanto aprendizado.





MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG
Campus Avançado de Poços de Caldas
Rodovia José Aurélio Vilela, nº 11.999 - Cidade Universitária
CEP: 37715-400 - Poços de Caldas/MG



“Sou do ouro, eu sou vocês.
Sou do mundo, sou Minas Gerais.”
(Milton Nascimento)





LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero.....	4
Figura 2 - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero.....	5
Figura 3 - Produção de ouro de empresas e garimpos no Brasil de 1939 a 1999.....	11
Figura 4 - Produção de ouro de 17 minas dentro e fora do Quadrilátero Ferrífero de 1982 a 1999	12
Figura 5 - Produção total de ouro em toneladas para as 17 maiores minas no Brasil de 1982 a 1999.....	13
Figura 6 - Localização do depósito de Pilar no contexto geológico do Quadrilátero Ferrífero....	15
Figura 7 - Arranjo estrutural esquemático dos corpos de minério da Mina Pilar	16
Figura 8 - Vista em perspectiva (na direção do azimute 68°) do modelo tridimensional da mina Pilar, mostrando os corpos minerais BA, BF, BFIII e Torre.....	16





LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sequência estratigráfica simplificada do Supergrupo Minas	8
Tabela 2 - Principais depósitos de ouro no Quadrilátero Ferrífero e suas características	14





LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CSF	Cráton São Francisco
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
QF	Quadrilátero Ferrífero
TTG	Trondhjemitó-tonalito-granodiorito
USGS	United States Geological Survey





SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	1
2. OBJETIVO	1
2.1. Objetivo geral	1
2.2. Objetivos específicos	2
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	2
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
4.1. Geologia Regional do Quadrilátero Ferrífero.....	3
4.1.1. Unidades Litoestratigráficas	4
4.1.1.1. Terrenos Granito-Gnáissicos Arqueanos	6
4.1.1.2 Supergrupo Rios das Velhas	6
4.1.1.3 Supergrupo Minas.....	7
4.1.1.4 Grupo Itacolomi	8
4.2. Mineralizações Auríferas no Quadrilátero Ferrífero	8
4.2.1. Depósitos Auríferos do Supergrupo Rio das Velhas	9
4.2.2. Depósitos Auríferos do Supergrupo Minas	9
4.3 Histórico de Exploração de Ouro no Brasil	10
4.3 Mina de Pilar (Santa Bárbara - MG).....	14
5. CONCLUSÕES	18
REFERÊNCIAS	19



RESUMO

O Quadrilátero Ferrífero (QF), localizado no estado de Minas Gerais, é uma área nacionalmente destacada pela grande riqueza mineral. Situado no extremo sudeste do Cráton São Francisco em uma área de aproximadamente 7.000 km², é alvo de estudos geológicos, estruturais e geocronológicos espalhados tanto na literatura nacional quanto internacional. Considerada uma das províncias minerais mais importantes do Brasil, o QF tem contribuição significativa para a produção de ouro no país. Esses depósitos minerais são hospedados nas rochas proterozóicas do Supergrupo Minas e nas rochas arqueanas do Supergrupo Rio das Velhas. Há vários séculos, o Brasil ocupa um local de destaque como um grande produtor de ouro, desde a chegada dos portugueses em 1500. Destacam-se dois períodos de grande produção: de 1982 até 1990, com o primeiro *boom* brasileiro de ouro dos tempos modernos; e a partir dos anos 2000, com o segundo *boom* parcialmente devido à abertura de novas minas, como a mina de Pilar, da Jaguar Mining. Localizado no distrito de Brumal, município de Santa Bárbara - MG, na região nordeste do QF, o depósito Pilar corresponde a um dos depósitos de tamanho médio do QF e é parte integrante do grupo Nova Lima, *Greenstone Belt* Rio das Velhas. Possui mineralização principal de estilo *stratabound* e associada a sulfetos. Com essa pesquisa foi possível traçar um cenário dos extensos estudos a respeito do Quadrilátero Ferrífero e seus depósitos de ouro, entregando uma síntese do desenvolvimento científico durante o período de 1960 a 2022, visando contribuir com pesquisadores que buscam trabalhar com este tema.

Palavras-chave: Depósitos de Ouro, Greenstone Belt, Pilar, Quadrilátero Ferrífero, Rio das Velhas.





ABSTRACT

The Iron Quadrangle (Quadrilátero Ferrífero - QF), located in the state of Minas Gerais, is an area nationally known for its great mineral wealth. Located in the extreme southeast of the São Francisco Craton, in an area of approximately 7,000 km², QF is the subject of geological, structural and geochronological studies spread in both national and international literature. Considered one of the most important mineral provinces in Brazil, QF has a significant contribution to gold production in the country. These mineral deposits are hosted in the Proterozoic rocks of the Minas Supergroup and in the Archean rocks of the Rio das Velhas Supergroup. For several centuries, Brazil has occupied a prominent place as a major gold producer, since the arrival of the portuguese in 1500. Two periods of great production stand out: from 1982 to 1990, with the first Brazilian gold boom in modern times; and from the 2000s, with the second boom, partially due to the opening of new mines, such as Jaguar Mining's Pilar mine. Located in the district of Brumal, municipality of Santa Bárbara - MG, in the northeast region of the QF, the Pilar deposit corresponds to one of the medium-sized deposits of the QF and is an integral part of the Nova Lima group, Greenstone Belt Rio das Velhas. It has stratabound as the main mineralization style and is associated with sulfides. With this research it was possible to outline a scenario of the extensive studies regarding the QF and its gold deposits, delivering a summary of scientific development during the period from 1960 to 2022, contributing to researchers seeking to work with this topic.

Keywords: Gold Deposits, Greenstone Belt, Iron Quadrangle, Pilar, Rio das Velhas.





1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O Quadrilátero Ferrífero, localizado no estado de Minas Gerais, entre Ouro Preto a sudeste e Belo Horizonte a noroeste, é uma área nacionalmente destacada pela grande riqueza mineral. Situado no extremo sudeste do Cráton São Francisco em uma área de aproximadamente 7.000 km², a região é alvo de vários pesquisadores e exploradores desde a chegada dos portugueses no Brasil. Estudos geológicos, estruturais e geocronológicos estão espalhados tanto na literatura nacional quanto internacional.

O presente trabalho foca, através de uma revisão bibliográfica, nos depósitos auríferos dessa importante região, considerada a área de maior produção de ouro do país. Primeiramente, é apresentado seu contexto geológico através de sua coluna estratigráfica, passando por suas divisões de terrenos arqueanos e paleoproterozóicos. Em seguida, as mineralizações auríferas contidas em seu território são descritas. Posteriormente, é relatado o histórico de exploração de ouro na região desde o século XVII até a atualidade. Finalmente, o depósito de Pilar, localizado na porção nordeste do Greenstone Belt Rio das Velhas, no distrito de Brumal – Santa Bárbara (MG), é apresentado como exemplo de mineralização aurífera do QF.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é apresentar uma revisão bibliográfica dos extensos estudos referentes ao Quadrilátero Ferrífero, destacando seus depósitos auríferos e o depósito de Pilar.



2.2. Objetivos específicos

- Apresentar o contexto regional do Quadrilátero Ferrífero através de suas unidades estratigráficas;
- Descrever os tipos de mineralizações auríferas do Quadrilátero Ferrífero;
- Detalhar um breve histórico da exploração de ouro no Brasil, focando na região do Quadrilátero Ferrífero.
- Apresentar o depósito de Pilar, localizado no distrito de Brumal - Santa Bárbara (MG), pertencente à porção nordeste do Greenstone Belt Rio das Velhas, como exemplo de mineralização aurífera no Quadrilátero Ferrífero.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia de pesquisa adotada neste estudo se caracteriza como pesquisa bibliográfica de trabalhos presentes nas bases de dados Science Direct, Google Acadêmico, repositórios de universidades (Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ) com o objetivo de abranger diferentes tipos de estudos.

Foram utilizados como buscadores (palavras-chave) os termos: quadrilátero ferrífero, greenstone belt, orogenic gold deposits, banded iron formation, lithostratigraphy, orogenia, proterozóico, arqueano, Rio das Velhas greenstone belt, archean orogeny, paleoproterozoic orogeny, São Francisco Craton, gold deposits.

Seguiram-se como parâmetros de inclusão:

- Pertinência dos conteúdos em relação ao tema abordado neste trabalho;
- Trabalho completo;
- Estar escrito em português ou inglês;
- Publicado entre 01/01/1960 e 31/12/2022.

A realização da busca nos bancos de dados escolhidos ocorreu entre os meses de abril e setembro de 2023, através do acesso online.



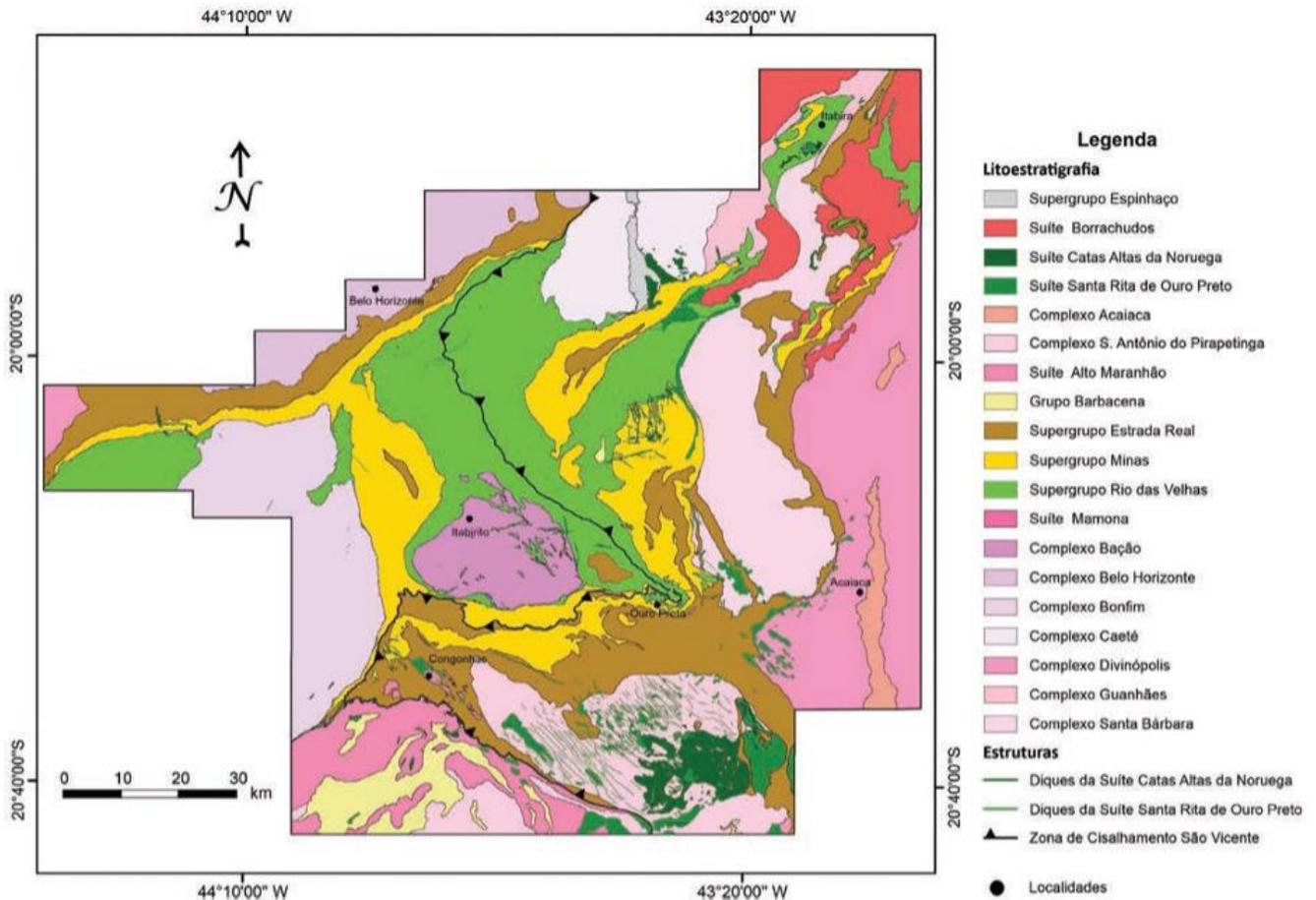
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Geologia Regional do Quadrilátero Ferrífero

A província metalogenética do Quadrilátero Ferrífero (QF) está localizada na fronteira sul do Cráton São Francisco (CSF), que faz parte da Plataforma Sul-Americana, consolidada e estabilizada como resultado de sucessivos ciclos geodinâmicos, responsáveis pela decomposição e re-agregação de grandes massas continentais ao longo do tempo geológico. O QF ocupa uma área de aproximadamente 7.000 km² nas regiões centro e sul do estado de Minas Gerais e constitui a agregação de terrenos proterozóicos e arqueanos (Baltazar e Lobato, 2020).

A história geológica do QF pode ser dividida em dois estágios principais. O primeiro estágio é relacionado à intrusão de corpos ígneos do tipo tonalito-throjemito-granodiorito (TTG) e a formação de sequências vulcanossedimentar entre 3,2 e 2,77 Ga. Já o segundo estágio, entre 2,75-2,6 Ga, é associado a deformação das rochas formadas no primeiro estágio, associado a colocação de rochas ígneas potássicas e a sedimentação de espessas sequências sedimentares siliciclásticas e químicas, incluso as extensas formações ferríferas bandadas (Teixeira et al., 1996). A Figura 1 ilustra o mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero, com suas cidades circundantes (Belo Horizonte, Ouro Preto, Itabirito e Congonhas).

Figura 1 - Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero



Fonte: Endo et al. 2019.

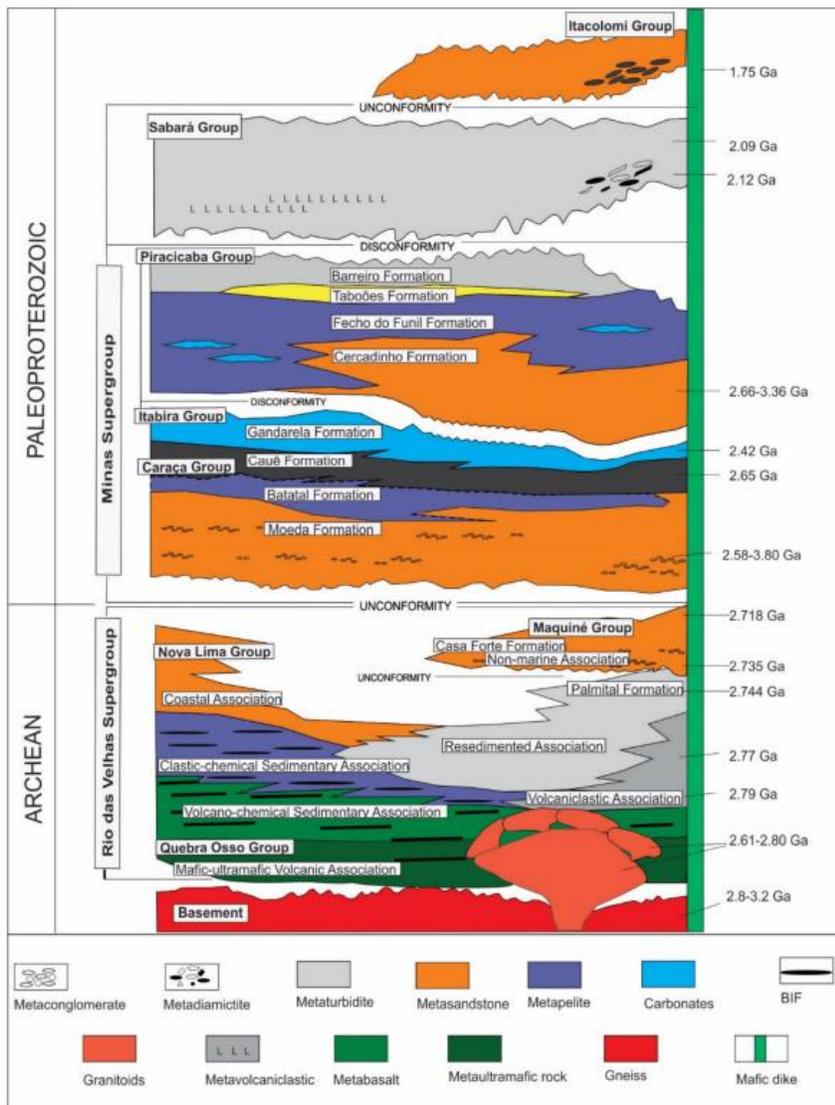
4.1.1. Unidades Litoestratigráficas

Os estudos da discriminação das unidades litológicas e sua ordem estratigráfica começaram em 1808, após a chegada da família real no Brasil, com incursões de naturalistas estrangeiros. Nos últimos anos do século XIX, deu-se início uma segunda fase de estudos com alto nível de detalhes, realizado por brasileiros e estrangeiros. Após a finalização dos trabalhos no convênio DNPM-USGS, poucas mudanças foram feitas na coluna estratigráfica proposta por Dorr em 1969 (Alkmim, 2020).



Segundo Condie (1981), a estratigrafia do quadrilátero em escala regional é constituída por três unidades principais: (i) terrenos granito-gnáissicos arqueanos - complexo de embasamento; (ii) seqüências vulcanossedimentares arqueanas - Supergrupo Rio das Velhas; (ii) seqüências de coberturas sedimentares e vulcanossedimentares proterozóicas - Supergrupo Minas e Grupo Itacolomi, conforme ilustra a Figura 2.

Figura 2 - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero



Fonte: Lobato et al., 2020.



Devido a complexa evolução tectônica e estrutural, vários modelos de interpretações foram propostos. Segundo Araújo (2018 apud. Baltazar e Zuccheti, 2007; Teixeira et al, 2015; Alkmim e Marshak, 1998), as rochas do supergrupo Rio das Velhas e seu embasamento gnáissico sofreram dois eventos deformacionais compressivos arqueanos: um evento extensional entre o Neoarqueano e o Paleoproterozóico que gerou a formação da bacia em que foram depositados os sedimentos do Supergrupo Minas; em seguida, um evento de deformação compressiva Paleoproterozóica que fechou a bacia Minas e gerou falhas de empurrão e dobramentos para NW, denominada orogenia Minas, cujo colapso foi responsável pela estrutura de domos e quilhas do QF. Por fim, uma deformação compressiva associada ao evento Brasileiro (Neoproterozóico) gerou encurtamento E-W com falhas de empurrão com vergência para W.

4.1.1.1. Terrenos Granito-Gnáissicos Arqueanos

Considerados como o embasamento do Quadrilátero Ferrífero, os terrenos granito-gnáissicos arqueanos possuem associação trondhjemitó-tonalito-granodiorito (TTG), representados nos complexos Bonfim, Belo Horizonte, Caeté, Bação e Santa Bárbara (Lobato, 2001) e com idades U-Pb em zircão entre 2,92-2,77 Ga (Machado e Carneiro, 1992).

Estes terrenos são constituídos de diversos complexos de rochas gnáissicas de composição quartzo-feldspática, com associações de rochas anfíbolíticas (várias gerações), ultramáficas, quartzitos, calciossilicáticas, micaxistos, formação ferrífera, metavulcânicas félsicas e variados corpos ígneos discordantes (Condie, 1981).

4.1.1.2 Supergrupo Rios das Velhas

Esta unidade consiste em sequências vulcanossedimentares arqueanas, e é considerada um *greenstone belt*, com presença de lavas de composição riolítica, komatiítica, basáltica e rochas sedimentares intercaladas. Dentre as rochas sedimentares estão as formações ferríferas bandadas (*BIF - Banded Iron Formation*), calcários e dolomitos e rochas siliciclásticas (Alkmim & Marshak, 1998). Neste supergrupo ocorrem as jazidas de ouro em sua paragênese clássica de sulfetos. (Roeser e Roeser, 2010)

Segundo Baltazar e Silva (1996), a sequência estratigráfica do Supergrupo Rio das Velhas é subdividida em três grupos:



1. Grupo Maquiné: composto por rochas metassedimentares clásticas e representados por quartzo-sericita-xisto, com lentes e leitos de *wackes*, quartzito sericítico e conglomerado, com camada basal de seixos de quartzo e *metachert* (Formação Palmital) e por quartzito, com quantidade elevada de conglomerado, filitos e xistos (Formação Casa Forte) (Dorr, 1960).
2. Grupo Nova Lima: composto, principalmente, por rochas metassedimentares máficas, xistos grafitosos e carbonosos, formações ferríferas bandadas, metagrauvacas e metatufos máficos, quartzitos impuros, raros conglomerados e importantes eventos de mineralizações de ouro e manganês (Sichel, 1983).
3. Grupo Quebra Osso: constituído principalmente por rochas metaultramáficas, com formações ferríferas bandadas intercaladas, sendo seus principais constituintes komatiitos peridotíticos (Sichel, 1983).

4.1.1.3 Supergrupo Minas

O Supergrupo Minas é constituído de quatro unidades de mais 4.000 metros de espessura e engloba os sedimentos clásticos do Grupo Caraça, sedimentos químicos do Grupo Itabira, unidades clásticas e químicas do Grupo Piracicaba e sedimentos do tipo *flysch* do Grupo Sabará (Almeida et. al, 2005). Considerando a estratigrafia de Dorr (1969), a Tabela 1 mostra as subdivisões do Supergrupo Minas, com suas formações e litotipos, proposta pelo convênio DNPM-USGS com algumas modificações.



Tabela 1 - Sequência estratigráfica simplificada do Supergrupo Minas

Supergrupo	Grupo	Formação	Litotipos
Minas	Sabará	Indiviso	Mica e clorita xistos com intercalações de metagrauvaca, quartzito, quartzitos feldspático e ferruginoso, formação ferrífera bandada e metaconglomerado
	Piracicaba	Barreiro	Filitos róseos e filitos grafitosos
		Taboões	Ortoquartzitos finos
		Fecho do Funil	Filitos, filito dolomítico e dolomito argiloso e silicoso
		Cercadinho	Quartzito ferruginoso, quartzitos, filitos ferruginosos
	Itabira	Gandarela	Dolomitos, filito dolomítico e calcário
		Cauê	Itabirito, itabirito dolomítico hematítico, lentes de xistos e filitos
	Caraça	Batatal	Filitos
		Moeda	Quartzitos e filitos

Fonte: mod. de Dorr 1969, Ladeira 1980, Renger et al. 1994 in: Almeida et. al. 2005

4.1.1.4 Grupo Itacolomi

Segundo Dorr (1969), o grupo Itacolomi consiste em duas fácies, uma de quartzito (denominada tipo-Itacolomi) e uma contendo muito filito (denominada fácies Santo Antônio). O quartzito tipo-Itacolomi contém quantidades variadas de sericita, é conglomerático, além de possuir lentes de conglomerado e intercamadas finas e lenticulares de filito em algumas áreas. Já a fácies Santo Antônio é constituída de quartzito sericítico, com camadas espessas e lentes de conglomerado e filito, variando no conteúdo de mica.

De acordo com o autor, a principal diferença entre a fácies Santo Antônio e o tipo-Itacolomi é maior quantidade de argila dos sedimentos originais da fácies Santo Antônio, resultando em rochas mais facilmente intemperizadas do que o quartzito de granulação grossa do tipo-Itacolomi.

4.2. Mineralizações Auríferas no Quadrilátero Ferrífero

Considerada uma das províncias minerais mais importantes do Brasil, o Quadrilátero Ferrífero tem contribuição significativa para a produção de ouro no país (Baltazar e Lobato, 2020). Esses depósitos minerais são hospedados nas rochas proterozóicas do Supergrupo Minas e nas rochas arqueanas do Supergrupo Rio das Velhas.



4.2.1. Depósitos Auríferos do Supergrupo Rio das Velhas

A mineralização de ouro orogênica da sequência do Grupo Nova Lima - Supergrupo Rio das Velhas é estruturalmente controlada; os corpos de minério, contidos em diferentes litotipos, são distribuídos nas zonas de cisalhamento arqueanas (Baltazar e Lobato, 2020).

Os depósitos de ouro são epigenéticos e as principais rochas hospedeiras são:

- (i) as formações ferríferas bandadas ricas em carbonato e óxido, responsáveis por cerca de 49% do ouro existente (i.e. depósito Cuiabá, Lamego, São Bento e Raposos);
- (ii) rochas hidrotermais conhecidas como lapa seca, constituída de rochas hidrotermais quartzo-carbonáticas com minerais sulfetados, mica e albita, responsáveis por cerca de 47% do ouro existente (i.e. depósito Morro Velho).

Secundariamente, também são hospedados por metabasalto e rochas sedimentares clásticas (i.e. depósito Córrego do Sítio), responsáveis pelos restantes 4% do ouro existente (Lobato, 2001).

Segundo Silva (2007 apud. Vieira, 1988), existem dois tipos de mineralizações sulfetadas no grupo Nova Lima: tipo 1, predominante nas minas do QF, ocorre em zonas de cisalhamento dúcteis-rúpteis ou em zonas de charneira, com pirrotita, pirita e arsenopirita subordinada; e tipo 2, constituído de piritas e arsenopiritas em substituição dos minerais de ferro nas formações ferríferas bandadas ou do carbonato de ferro na lapa seca. Essas mineralizações ocorrem tanto no estilo *stratabound*, disseminado nas zonas de cisalhamento, quanto em veios quartzo-carbonáticos sulfetados em zonas de cisalhamento, podendo ocorrer de forma simultânea em um mesmo depósito.

4.2.2. Depósitos Auríferos do Supergrupo Minas

Segundo Lobato (2001; 2020), depósitos de ouro hospedados em rochas proterozóicas metassedimentares são diferentes daquelas hospedadas em sequências arqueanas. No Supergrupo Minas, estes depósitos ocorrem em três grupos de jazidas auríferas:

- (i) Ouro paladiado - jacutinga: de origem hidrotermal, ocorre em sistemas de fraturas extensionais e de cisalhamento associadas a falhas transcorrentes em rochas do Grupo Itabira - formação Cauê (i.e. mina Gongo Soco);



(ii) Orogênicas: ocorre em veios de quartzo ao longo do contato de rochas do grupo Caraça com o Supergrupo Rio das Velhas (i.e. mina Passagem de Mariana);

(iii) Paleoplacers: metaconglomerados piritosos do tipo-Witwatersrand na formação Moeda (i.e. mina Palmital e Ouro Fino).

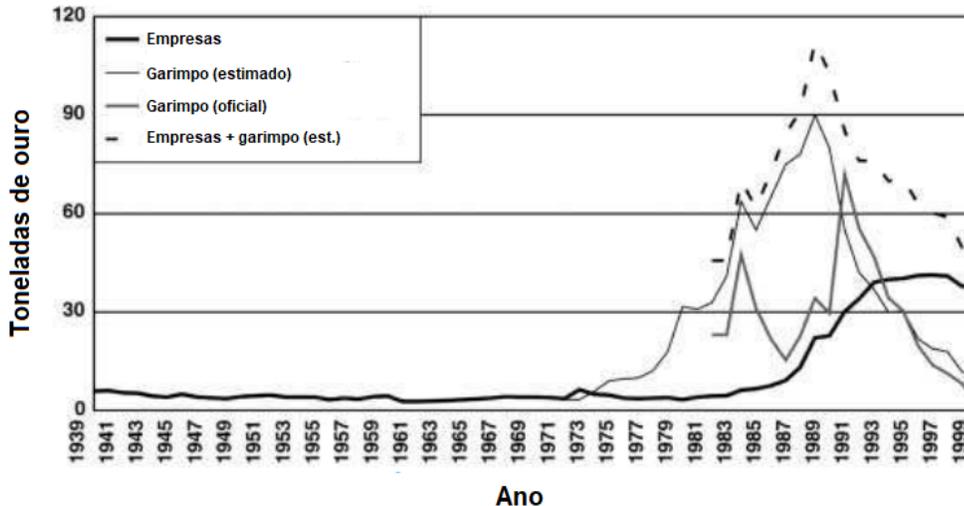
4.3 Histórico de Exploração de Ouro no Brasil

Há vários séculos o Brasil ocupa um local de destaque como um grande produtor de ouro. Segundo Lobato et. al (2016), diversas expedições bandeirantes buscavam metais e gemas preciosas no interior do país desde a chegada dos portugueses em 1500. Ao longo do século XVI, apenas pequenas quantidades de ouro foram encontradas, com melhoria desses resultados no final do século XVII.

No entanto, as expedições do século XVIII tiveram inúmeras descobertas, principalmente no estado de Minas Gerais, mas também na Bahia, Goiás e Mato Grosso, colocando o Brasil como o maior produtor de ouro do mundo. O país ocupou essa posição até a metade do século XIX, quando a produção de ouro decaiu com o esgotamento do ouro de aluvião. Somente no final do século XX o país retomou o papel majoritário na produção de ouro do mundo, quando o garimpo (majoritariamente na Amazônia), combinado com a produção de empresas de mineração aumentou mais de dez vezes, superando 100 toneladas/ano no final dos anos 80 (Thorman, 2001). A Figura 3 mostra um gráfico com o histórico de produção de ouro de garimpo e empresas de mineração de 1939 até 1999.



Figura 3 - Produção de ouro de empresas e garimpos no Brasil de 1939 a 1999



Fonte: Thorman, 2001.

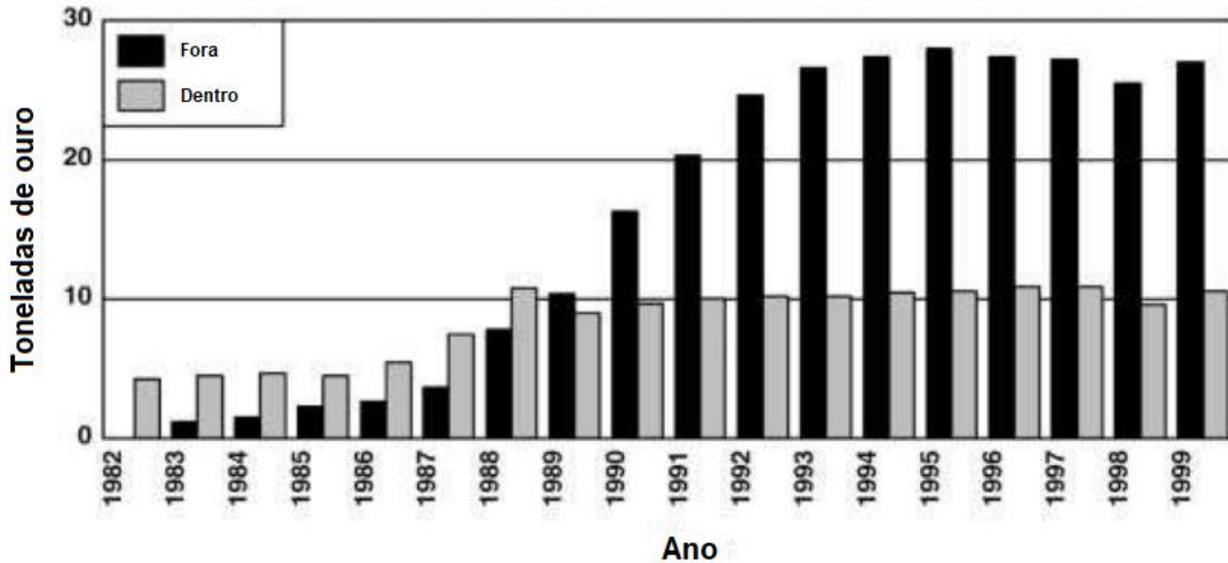
Segundo Thorman (2001), a maioria da produção de ouro do Brasil de 1834 a 1983 veio de dois tipos de depósitos:

- (i) depósitos de aluvião quaternário e depósitos rochosos profundamente intemperizados, explorados pelos garimpeiros;
- (ii) depósitos arqueanos hospedados por formações ferríferas carbonáticas no Quadrilátero Ferrífero.

No Quadrilátero Ferrífero, o ouro foi inicialmente descoberto em 1680, nas margens do Rio das Velhas e foi explorado pelos Bandeirantes até o final do século XVII. No século XVIII, foi produzido em *placers* até sua exaustão no século XIX, quando os garimpeiros começaram a extração de ouro dos veios de quartzo (Silva, 2007). O QF foi a maior fonte de produção de ouro até 1983, considerando as 17 maiores minas de ouro do Brasil. Porém, desde 1989 a produção de ouro de outras regiões superou a produção do Quadrilátero Ferrífero, conforme ilustra a Figura 4.



Figura 4 - Produção de ouro de 17 minas dentro e fora do Quadrilátero Ferrífero de 1982 a 1999

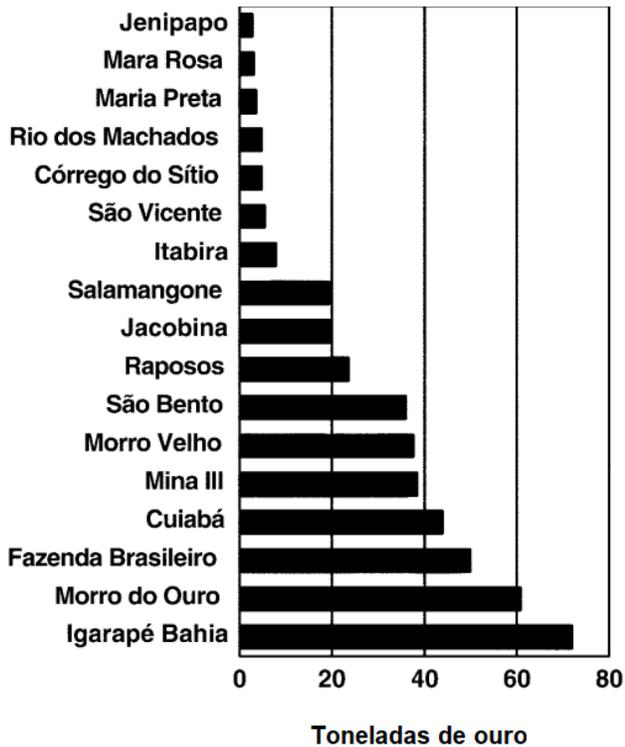


Fonte: Thorman, 2001.

Das 17 grandes minas de ouro do Brasil de 1982 até 1990, período considerado como o primeiro *boom* brasileiro de ouro dos tempos modernos (Lobato, 2016), 4 maiores (Morro Velho, Raposos, Cuiabá e São Bento) e 1 menor (Córrego do Sítio) pertenciam à região norte do Quadrilátero Ferrífero, hospedadas no Supergrupo Rio das Velhas, grupo Nova Lima. A Figura 5 ilustra a produção dessas minas no período.



Figura 5 - Produção total de ouro em toneladas para as 17 maiores minas no Brasil de 1982 a 1999



Fonte: Thorman, 2001.

Segundo Lobato (2016), no primeiro semestre dos anos 2000 deu-se início ao segundo *boom* do ouro no Brasil, com um novo aumento da produção de ouro parcialmente devido à abertura de novas minas, como Cuiabá, Lamego e Turmalina em Minas Gerais. Desde então, outros depósitos começaram suas produções, como o Complexo Caeté (MG), formado pelas minas de Roça Grande e Pilar, da Jaguar Mining. A Tabela 2 mostra os principais depósitos de ouro no Quadrilátero Ferrífero com seus respectivos períodos de exploração, estilo de mineralização, minerais de minério e teor médio.



Tabela 2 - Principais depósitos de ouro no Quadrilátero Ferrífero e suas características

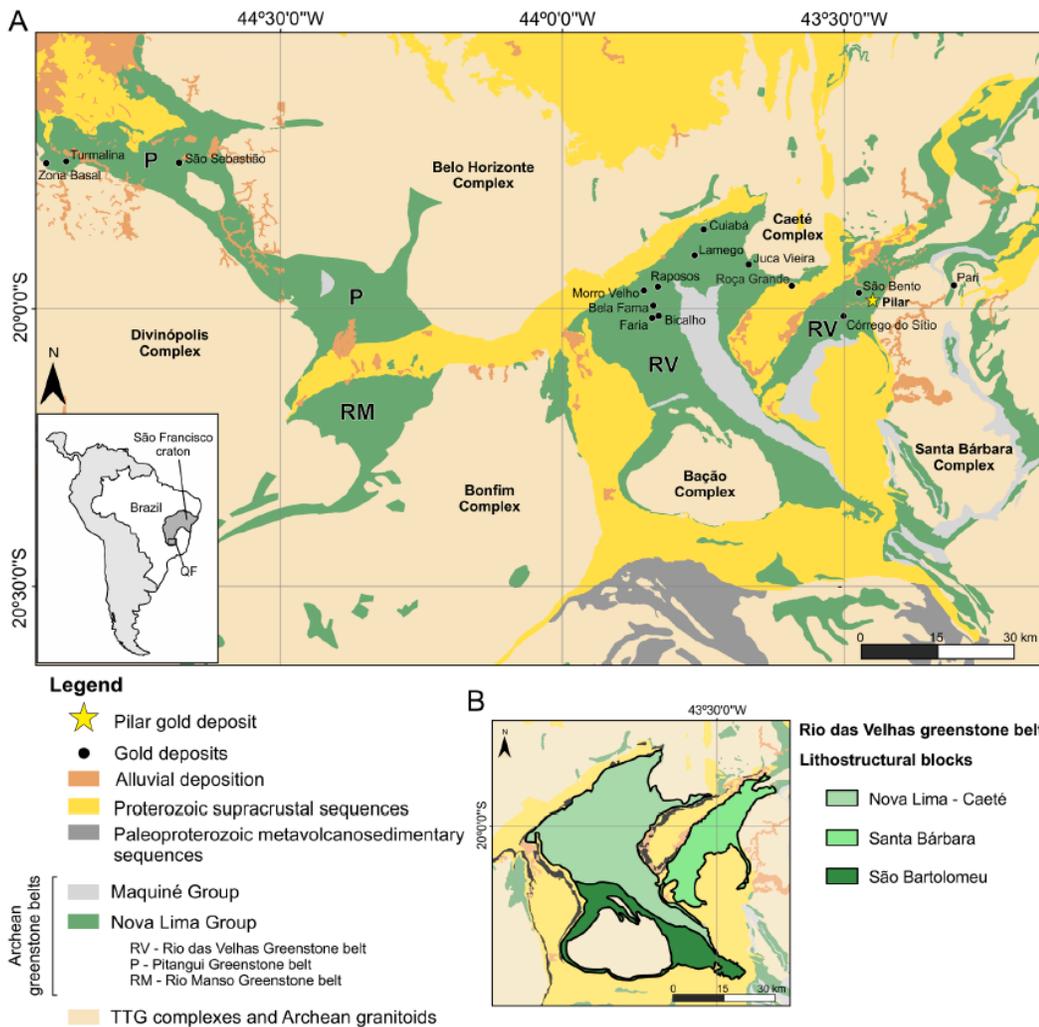
Depósito	Período de Exploração	Estilo de Mineralização*	Minerais de Minério**	Teor Médio (g/t) ***
Caeté (Roça Grande e Pilar)	1996-2001; 2008 -	Associados a formação ferrífera bandada	Pirrotita, pirita, arsenopirita, esfalerita, galena, calcopirita, magnetita e	4,20
Cuiabá	1934-1939; 1985-	Associados a formação ferrífera bandada	Pirita, pirita arsenical e arsenopirita	9,62
Faria	1934-1995	Associados a formação ferrífera bandada	Pirita, pirrotita, arsenopirita, esfalerita, cubanita, galena, calcopirita e te	7,44
Lamego	2004-	Associados a formação ferrífera bandada	Pirita	4,45
Raposos	1982-1999	Associados a formação ferrífera bandada	Pirita e arsenopirita	9,50
São Bento (Córrego do Sítio II)	1987-2007; 2014-	Associados a formação ferrífera bandada	Pirita e pirrotita	9,28
Córrego do Sítio I	1990-1998; 2002-	Associados a pirita disseminada e veios de quartzo	Arsenopirita, pirita e pirrotita	5,06
Passagem de Mariana	1864-1974	Associados a turmalina e arsenopirita	Arsenopirita, pirita e pirrotita	8,33
Bicalho	1964-1996	Lapa-seca	Pirita, pirrotita, arsenopirita, esfalerita, galena, calcopirita, tetrahedrita	7,25
Morro Velho	1834-2003	Lapa-seca	Arsenopirita, calcopirita, cubanita, pirita, pirrotita	7,19

Fonte: *Vial et al. 2007; **Lobato, 2016; ***Lobato et al., 2020.

4.3 Mina de Pilar (Santa Bárbara - MG)

Localizado no distrito de Brumal, município de Santa Bárbara - MG, na região nordeste do Quadrilátero Ferrífero, o depósito Pilar é parte integrante do grupo Nova Lima, *Greenstone Belt* Rio das Velhas. Está situado no contexto constituído de rochas arqueanas e proterozóicas tectonizadas por eventos de dobramento, cisalhamento e falhamento e também rochas metabásicas intrusivas e coberturas cenozóicas (Silva, 2007). A região também conta com os depósitos de Córrego do Sítio e antiga São Bento, de propriedade da *Anglogold Ashanti*. A Figura 6 ilustra a localização do depósito no contexto geológico do QF.

Figura 6 - Localização do depósito de Pilar no contexto geológico do Quadrilátero Ferrífero



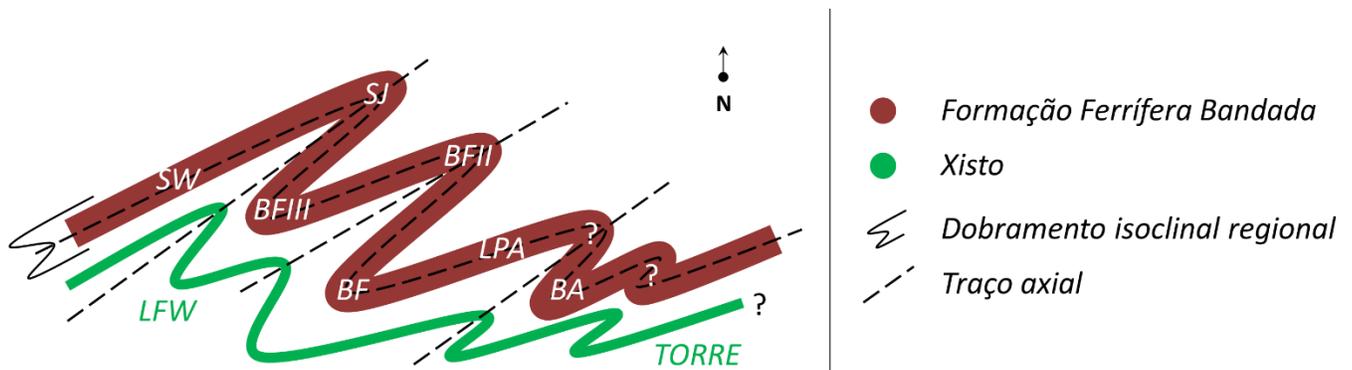
Fonte: Silva et. al, 2022.

De propriedade da *Jaguar Mining Inc.*, a mina Pilar faz parte do complexo Caeté e é instalada em uma área do alvará de pesquisa de 961,66 hectares. Pilar corresponde a um dos depósitos de tamanho médio do QF, com recursos medidos e indicados totalizando 561 koz @ 4,34 g/t Au (Silva et al., 2022).

A litologia do depósito Pilar é composta por rochas metavulcânicas, rochas metassedimentares clásticas, formações ferríferas bandadas, filitos carbonosos e metacherts, com presença de metakomatiitos do grupo Quebra Ossos e migmatitos e gnaisses do Complexo Santa Bárbara à leste. O depósito possui dez principais zonas mineralizadas subterrâneas, tendo

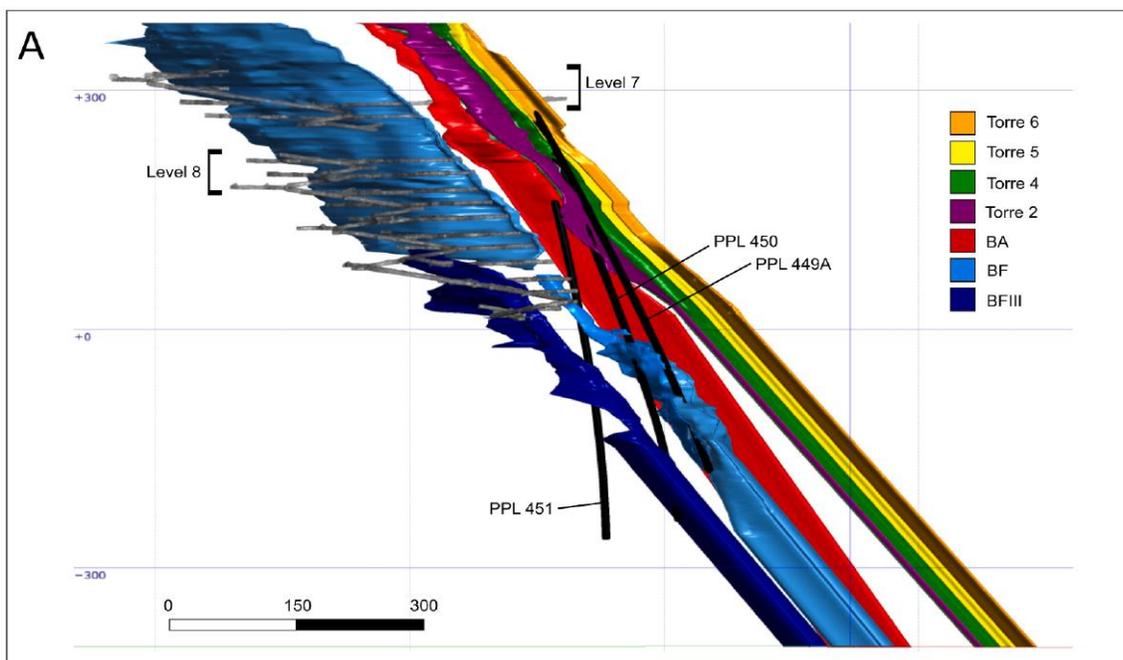
as formações ferríferas bandadas e xistos como rochas hospedeiras principais (Silva et al., 2022). A Figura 7 ilustra o arranjo estrutural esquemático dos corpos de minério de Pilar em planta e a Figura 8 ilustra os corpos de minério BA, BF, BFIII e Torre, os furos de sondagem utilizados na construção do mapa e os acessos da mina na direção do azimute 68°.

Figura 7 - Arranjo estrutural esquemático dos corpos de minério da Mina Pilar



Fonte: Modificado de Féres et al. 2023

Figura 8 - Vista em perspectiva (na direção do azimute 68°) do modelo tridimensional da mina Pilar, mostrando os corpos minerais BA, BF, BFIII e Torre



Fonte: Silva et al., 2022.



Segundo Silva (2007), o depósito de Pilar é do tipo de ouro orogênico, mesotermal, em ambiente de tectônica compressional encaixado em rochas hidrotermais estruturalmente controladas. O principal estilo de mineralização do depósito é do tipo *stratabound* na formação ferrífera bandada, relacionado à presença de veios de quartzo-carbonáticos e bandas de sulfetos maciços, preferencialmente nos contatos entre bandas e nas zonas de charneiras (i.e. corpos BA, BF e BFIII). Também estão presentes outros dois estilos de mineralização: o primeiro, representado por sulfetação em veios de quartzo-carbonáticos nos xistos máficos cisalhados, que ocorre principalmente nos contatos dos xistos com a formação ferrífera (i.e. corpo Torre); e o segundo, caracterizado por zonas de sulfetos disseminados, de ocorrência predominante em rochas máficas e em níveis de rocha vulcanoclástica. O ouro ocorre invariavelmente nas zonas de alteração hidrotermal, associado principalmente a arsenopirita e a outros sulfetos, tais como pirrotita e pirita.

O método de lavra utilizado na mina de Pilar é principalmente o *sublevel stoping* com perfuração radial, porém também são utilizados os métodos frontal e *retreat*. Após o desmonte, o minério é carregado por carregadeiras do tipo *Load Haul Dump* (LHD) em caminhões que transportam o minério até a superfície através de uma rampa principal. Em seguida, o minério de Pilar é levado por aproximadamente 38 km até a unidade de Roça Grande, em Caeté - MG, onde passa pelo processo de beneficiamento que conta as etapas principais de: britagem, moagem, flotação, lixiviação *carbon in pulp* (CIP) e eletrólise.



5. CONCLUSÕES

O Quadrilátero Ferrífero destaca-se por sua grande riqueza mineral composta por grandes jazidas de ouro e ferro e é alvo de estudos e exploração desde o século XVII. Os estudos de sua estratigrafia começaram em 1808, após a chegada da família real no Brasil, com incursões de naturalistas estrangeiros. Nos últimos anos do século XIX, deu-se início uma segunda fase de estudos com alto nível de detalhes, realizado por brasileiros e estrangeiros. Desde então a região é estudada exaustivamente, com extensas discussões sobre sua formação, arcabouço estrutural, proposições de novos modelos, caracterizações de suas jazidas, entre outros temas.

Neste trabalho, 29 artigos e publicações foram analisados datados de 1960 a 2022, comprovando o vasto período de tempo em que o tema é discutido, além de demonstrar as inúmeras possibilidades de estudo referentes a esse tema.

Os autores com maior número de publicações sobre o tema durante o período estudado citados neste trabalho foram LOBATO (5 trabalhos), BALTAZAR (3 trabalhos), DORR (2 trabalhos), ALKMIM (2 trabalhos) e TEIXEIRA (2 trabalhos).

Com este trabalho foi possível traçar um cenário resumido dos extensos estudos a respeito do Quadrilátero Ferrífero e seus depósitos de ouro, entregando uma síntese do desenvolvimento científico durante o período de 1960 a 2022, visando contribuir com pesquisadores que buscam trabalhar com este tema.



REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Luciene Gonçalves et al. Grupo Sabará no sinclinal Dom Bosco, Quadrilátero Ferrífero: uma revisão estratigráfica. 2005.
- ALKMIM, F. F. Histórico das investigações estratigráficas, estruturais e geotectônicas do Quadrilátero Ferrífero. **Castro, PTA, Endo, I., Gandini, AL Quadrilátero Ferrífero: avanços do conhecimento nos últimos**, v. 50, p. 18-69, 2020
- ALKMIM, Fernando F.; MARSHAK, Stephen. Transamazonian orogeny in the Southern Sao Francisco craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. **Precambrian Research**, v. 90, n. 1-2, p. 29-58, 1998.
- ARAÚJO, Joanna Chaves Souto et al. Modelo deposicional das formações ferríferas bandadas hospedeiras de ouro no greenstone belt arqueano Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, com base em geoquímica e análises in situ de magnetita por ablação a laser via ICP-MS. 2018.
- BALTAZAR, Orivaldo Ferreira; LOBATO, Lydia Maria. Structural evolution of the Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: influence of proterozoic orogenies on its western Archean gold deposits. **Minerals**, v. 10, n. 11, p. 983, 2020.
- BALTAZAR, O. F.; SILVA, S. L. Projeto Rio das Velhas: Mapa Geológico Integrado do Supergrupo Rio das Velhas, escala 1: 100.000. **Departamento Nacional de Produção Mineral/CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte**, 1996.
- BALTAZAR, O. F.; ZUCCHETTI, Márcia. 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**, v. 32, n. 3-4, p. 471-499, 2007.
- CONDIE, Kent C. Archean greenstone belts Amsterdam. **Elsevier**, v. 1986, p. 261-278, 1981.
- DA SILVA, Luis Carlos Ferreira. Depósito Pilar: Contexto geológico, alteração hidrotermal e mineralização aurífera. 2007.



DORR, Van. **Esboço Geológico do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, Brasil**. Ministerio de Agricultura, 1960.

DORR, John Van Nostrand. **Physiographic, stratigraphic, and structural development of the Quadrilatero Ferrifero, Minas Gerais, Brazil**. US Government Printing Office, 1969.

ENDO, I. et al. Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Escala 1: 150.000: Uma celebração do cinquentenário da obra de Dorr (1969). **Ouro Preto, Departamento de Geologia da Escola de Minas–UFOP-Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero**, 2019.

FÉRES, W. M. L.; Lima, L. C.; Soares, M. B.; Silveira, V. D. GEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE SW OREBODIES, PILAR GOLD MINE, QUADRILÁTERO FERRÍFERO, BRAZIL. Anais do V Simpósio Brasileiro de Metalogenia. Gramado, Rio Grande do Sul. 2023.

LADEIRA, E. A. Metallogenesis of gold at the Morro Velho, mine and in the Nova Lima district. **Quadrilátero Ferrifero, MG, Brazil. 272p**, 1980.

LOBATO, Lydia Maria et al. Ouro no Brasil: principais depósitos, produção e perspectivas. **Recursos Minerais no Brasil: problemas e desafios. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro**, p. 46-59, 2016.

LOBATO, Lydia Maria; RIBEIRO-RODRIGUES, Luiz Cláudio; VIEIRA, Frederico Wallace Reis. 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**, v. 36, p. 249-277, 2001.

LOBATO, Lydia Maria et al. Depósito de ouro Cuiabá, quadrilátero ferrífero, Minas Gerais. **Caracterização de depósitos auríferos em distritos mineiros brasileiros: Mina de Cuiabá-Quadrilátero Ferrífero/MG,...**, p. ca I-77, 2001.

LOBATO, Lydia Maria et al. Brazil's premier gold province. Part I: The tectonic, magmatic, and structural setting of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero. **Mineralium Deposita**, v. 36, p. 228-248, 2001.



LOBATO, L. M.; FIGUEIREDO E SILVA, R. C.; COSTA, M. A. Ouro no Quadrilátero Ferrífero. **Quadrilátero Ferrífero: Avanços do Conhecimento nos últimos**, v. 50, 2020.

MACHADO, N. e CARNEIRO, M. U-Pb evidence of late Archean tectono-thermal activity in the southern São Francisco shield, Brazil. **Canadian Journal of Earth Sciences**, v. 29, n. 11, p. 2341–2346, Nov 1992.

RENGER, Friedrich E. et al. Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma. de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. **Geonomos**, 1994.

ROESER, Hubert Mathias Peter; ROESER, Patricia Angelika. O Quadrilátero Ferrífero-MG, Brasil: aspectos sobre sua história, seus recursos minerais e problemas ambientais relacionados. 2010.

SICHEL, Susana Eleonora. Geologia das rochas pré-cambrianas da região de Barão de Cocais e geoquímica preliminar dos komatiitos do supergrupo Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero-MG. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 16, p. 63-64, 1983.

SILVA, Gabriela Pereira et al. A multi-methodological approach for mineral exploration and predictive metallurgy: the case of the Pilar gold deposit at the Quadrilátero Ferrífero, Brazil. **Ore Geology Reviews**, p. 105113, 2022.

TEIXEIRA, Wilson et al. Pb, Sr and Nd isotope constraints on the Archaean evolution of gneissic-granitoid complexes in the southern São Francisco Craton, Brazil. **Precambrian Research**, v. 78, n. 1–3, p. 151–164, 1996.

TEIXEIRA, Wilson et al. 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**, v. 256, p. 148-169, 2015.

THORMAN, Charles H. et al. Major Brazilian gold deposits—1982 to 1999. **Mineralium Deposita**, v. 36, p. 218-227, 2001.



VIAL, D.S., Abreu, G.C., Schubert, G., Ribeiro-Rodrigues, L.C., 2007. Smaller gold deposits in the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Ore Geol. Rev.* 32, 651–673. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2005.01.004>

VIEIRA, F. W. R. Processos epigenéticos de formação dos depósitos auríferos e zonas de alteração hidrotermal do Grupo Nova Lima, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: **SBG, Congresso Brasileiro de Geologia**. 1988. p. 76-87.