



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GEOLOGIA

AIRTON ABREU DOS SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS TRAÇO-
ULTRATRAÇO DO CONGLOMERADO SUPERIOR, FORMAÇÃO
SERRA DO CÓRREGO, ÁREA JOÃO BELO SUL, JACOBINA, BAHIA.**

Salvador – Ba

2020

AIRTON ABREU DOS SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS TRAÇO-
ULTRATRAÇO DO CONGLOMERADO SUPERIOR, FORMAÇÃO
SERRA DO CÓRREGO, ÁREA JOÃO BELO SUL, JACOBINA, BAHIA.**

Monografia apresentada ao Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia

Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Santana Correia de Brito

Coorientadora: Natali da Silva Barbosa

Salvador – BA

2020

TERMO DE APROVAÇÃO

AIRTON ABREU DOS SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS TRAÇO-
ULTRATRAÇO DO CONGLOMERADO SUPERIOR, FM SERRA DO
CÓRREGO, ÁREA JOÃO BELO SUL, JACOBINA, BAHIA.**

Trabalho final de graduação aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em geologia, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

1º Examinador – Prof. Dr. Reinaldo Santana Correia de Brito – Orientador

2º Examinador – Profa. Dra. Natali da Silva Barbosa – Co orientadora

3º Examinador – Geólogo MSc. Daniel Augusto de Miranda - CPRM

4º Examinador – Geólogo Wagner Roberto Hansted Pocay – Yamana Gold Inc.

Salvador, 07 de Julho de 2020

Unstoppable, I'm the champion.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à minha família, em especial ao meu pai Adilson (*in memoriam*) a quem prometi me formar em geologia dias antes do seu falecimento. Agradeço também a Alba minha mãe e a Taisse minha irmã/mãe, que sempre cuidaram, confiaram e acreditaram em mim, muitas vezes mais do que eu mesmo. Não posso esquecer do meu padrasto Ananias, meus primos e tios, os quais mantive menos contato durante a graduação devido a todos os percursos da vida e a minha pequena, Breninha, que foi meu porto seguro, me apoiando neste período difícil e me incentivando sempre a correr atrás dos meus objetivos.

Agradeço aos meus amigos de infância Arthur (Thulaw), Cesinha, Mari e Ronaldo, que me acompanham desde criança fazem parte de todos os eventos importantes da minha vida desde então. Aos amigos do Análise, Rodrigo (Sapucaia) e Luan (Luanelson) mando um salve e digo, formei antes que Rodrigo, bicho enrolado! Aos meus amigos de UFBA, Magno, Aznar, Dadinho, Benito, Denyson, Aldo e todos os outros que não pude citar, me perdoem. Aos misteriosos Alane, Dani, Renan (Jesus), Amâncio, Guido, João e em especial a Gabriel (gordo), que participou de perto de todas as etapas da minha formação, desde as aulas até o estágio em Jacobina, e que apesar de todos os defeitos, me mostrou o quanto é forte (literalmente) naquele São João em 2018.

Agradeço toda equipe da Yamana Gold, principalmente a equipe de Exploração que me acolheram e demonstraram confiança em mim, possibilitando a realização deste trabalho, em especial Juliano, Gabriel, Eldes, Matheus, Artur, Maurício (segundo pai), Cabelo, Nailson, Pocay, Rafaella, Claudinho, Anderson, Seu Antônio, Diegal, Rodolfo e Jedlaf. Agradecimentos também a equipe de Geologia de Mina, em especial a Maria Clara, Danilão, Beleza e Takafuji. Obrigado também aos meus famosos amigos estagiários, Gabriel (de novo), Deco (hoje chefe), Pimentel (bom dia, Pimentel), Rafa (o Boy), Bruno (o herdeiro), Jessica (nossa mãe), Tarcio (maníaco das comidas), Taiane, Rodrigo, Lucas, Suellen, Brunão, Heminy, Clara e Felizardo por todas as nossas resenhas e histórias que com certeza marcaram a minha vida.

Aos meus professores por todo conhecimento e experiências transmitidos em aula e principalmente nos campos. Em especial as professoras Natali, Ângela e Aninha que aturaram toda perturbação neste período de apresentação e ao meu orientador Prof. Dr. Reinaldo Brito, que me guiou durante o desenvolvimento deste trabalho.

Hoje posso dizer: Pai, eu consegui!

RESUMO

A Serra de Jacobina é mundialmente conhecida por suas mineralizações auríferas, localizadas na porção centro-leste do Estado da Bahia. Está inserida no lineamento tectônico Jacobina-Contendas-Mirante, de aproximadamente 600km de extensão com direção NNE-SSW. Suas ocorrências minerais são descritas por diferentes modelos associados principalmente aos metaconglomerados da Formação (Fm) Serra do Córrego, onde as camadas mineralizadas são denominadas como *reef*. Embora existam inúmeros estudos na área, poucos possuem como foco estudos geoquímicos e sua aplicabilidade como ferramenta prospectiva, com o uso de assinaturas geoquímicas como método de exploração mineral. Contudo, para a obtenção destas assinaturas, fez-se necessário reconhecimento geológico, descrição macroscópica de testemunhos, preparação de amostras, descrição de lâminas petrográficas com o intuito de embasar geologicamente os dados geoestatísticos e geoquímicos obtidos através de ICP-MS. Estudos de correlações geoquímicas, quimioestratigrafia e diagramas permitiram a identificação do *trend* geoquímico das amostras do Conglomerado Superior da Fm. Serra do Córrego e as especificidades dos metaconglomerados mineralizados, definindo suas assinaturas geoquímicas e implicações para a prospecção mineral.

Palavras-chave: Caracterização; Geoquímica; Traço e ultratraço; Jacobina;

ABSTRACT

Gold mineralization in Serra de Jacobina is known by many people. Located in the central-eastern part of the State of Bahia, the site is inserted on Jacobina-Contendas-Mirante tectonic line and is approximately 600km long with NNE-SSW Direction. The gold occurrence is associated with different models and lithologies. However, the most important and productive one is correlated to the metaconglomerates of Serra do Córrego Formation, where the mineralized layers are defined as reef. Although there are many research projects in the area, geochemical studies and their applicability as a prospective tool are very rarely used with geochemical signatures. In order to obtain these signatures, it was necessary to conduct field campaigns for geological recognition as well as a macroscopic description of core drill holes and sample preparation. Additionally, it was of absolute importance to describe the petrographic slides in order to have a geological base for the geostatistical and geochemical data obtained through ICP-MS. In the process, the analyses were performed through correlations, chemo-stratigraphic studies and discriminating diagrams, characterizing the trend of samples from the Upper Conglomerate of Serra do Córrego Formation and the specificities of mineralized metaconglomerates, so defining their geochemical signatures.

Keywords: Characterization; Geochemistry; Trace and ultratrace; Jacobina;

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 1: Mapa esquemático com as unidades geotectônicas do Lineamento Contendas-Mirante-Jacobina. Adaptado de Sabaté et al (1990), (Teixeira et al, 2001).....	13
Figura 2: Coluna estratigráfica da Formação Serra do Córrego. Modificado de Molinari e Scarpelli (1988).	15
Figura 3: Classificação e nomenclatura dos seixos da Fm. Serra do Córrego (Minter, 1976) .	16
Figura 4: Seção geológica e furo de sonda da unidade inferior do conglomerado superior.....	17

CAPÍTULO 3

Figura 1: Contexto geotectônico do Lineamento Contendas-Mirante-Jacobina. Adaptado de Teixeira (2001).	26
Figura 2: Coluna estratigráfica da Formação Serra do Córrego. Modificado de Molinari e Scarpelli (1983).	27
Figura 3: Mapa geológico da região de João Belo Sul.	28
Figura 4: Nomenclatura e escala dos seixos dos metaconglomerados da Fm. Serra do Córrego. Minter (1976).	29
Figura 5: Seção geológica 1:500 representando as unidades estratigráficas de João Belo sul e furo de sonda JBS001 demarcando limite dos reefs, principais estruturas e locais selecionados para confecção de lâminas petrográficas.	30
Figura 6: Metodologia aplicada para coleta e confecção de lâminas; 6a) Seção do furo de sondagem JBA01; 6b) Local da amostra retirada para laminação; 6c) Amostra de testemunho quarreada e polida; 6d) Lâminas delgadas polidas.	32
Figura 7: Lâmina digitalizada com interpretação pré-petrográfica.	32
Figura 8: 8a) Rutilo em meio a matriz quartzosa, com hematita e pirita na vizinhança observado em luz plana; 8b) Calcopirita sendo alterada para covelita, bordejada por fratura preenchida por quartzo e hematita.	37
Figura 9: 9a) Ouro detrítico com feições arredondadas em meio a matriz quartzosa envolta por agregado de hematita; 9b) Fuchcita sofrendo processo de oxidação; 9b)	37
Figura 10: Diagramas geoquímicos binários: 10a) Diagrama K x Rb; 10b) Diagrama La x Ce; 10c) Diagrama Ta x Nb; 10d) Diagrama Zr x Hf	39
Figura 11: Gráfico Químio-estratigráfico relacionando Au e Bi no Reef Holandês	40
Figura 12: Gráfico Químio-estratigráfico relacionando Co x Cu no Reef Holandês	41
Figura 13: Gráfico Químio-estratigráfico relacionando Au x Be no Reef LVLPC	41
Figura 14: Gráfico Químio-estratigráfico relacionando Co x U no Reef LVLPC	42
Figura 15: Gráfico Químio-estratigráfico com o comportamento do As no LVLPC.....	42
Figura 16: Gráfico Químio-estratigráfico com o comportamento do As no LMPC	43
Figura 17: Gráfico Químio-estratigráfico com o comportamento do La no MPC	43
Figura 18: Gráfico Químio-estratigráfico com o comportamento do Co no SPC.....	44
Figura 19: Diagramas geoquímicos discriminantes binários: 19a) Diagrama Ag x Cd; 19b) Diagrama As x U; 19c) Diagrama Sc x Ga; 19d) Diagrama V x U.	45
Figura 20: Diagrama Au x Ag x Be.....	46
Figura 21: Diagrama As x Ni x Co.....	47
Figura 22: Diagrama Co x Cu x Zn	48
Figura 23: Diagrama As x Ga x Hf.....	49

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1: Proposições estratigráficas para o empilhamento no Grupo Jacobina. Adaptado de Feitosa (2017).....	14
Tabela 2: Tipos de depósitos auríferos de acordo com rochas hospedeiras. Modificado de Teixeira (2001).	18
Tabela 3: Principais modelos genéticos para a mineralização aurífera da Serra de Jacobina. Adaptado de Feitosa (2017).....	19

CAPÍTULO 3

Tabela 1: Numeração dos testemunhos de sondagem descritos com respectiva profundidade.	31
Tabela 2: Disposição de lâminas e amostras geoquímicas por reef.	33
Tabela 3: Elementos analisados por ICP-MS	33
Tabela 4: Critérios de correlação (R^2)	34
Tabela 5: Reefs e suas respectivas amostras.	34
Tabela 6: Minerais e estruturas exóticos	36
Tabela 7: Descrição petrográfica dos minerais.....	36
Tabela 8: Correlações estatísticas.....	38
Tabela 9: Quadro modal e paragenético de João Belo Sul.	51

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	11
CAPÍTULO II	13
CAPÍTULO III	20
1. INTRODUÇÃO	21
2. CONTEXTO GEOTECTÔNICO	22
3. GEOLOGIA LOCAL	27
4. MATERIAIS E MÉTODOS	31
5. RESULTADOS	34
5.1 Petrografia	34
5.2 Geoquímica	37
6. DISCUSSÕES	50
7. CONCLUSÕES	52
8. REFERÊNCIAS	54
CAPÍTULO IV	56
ANEXOS	60

Este trabalho objetiva o estudo de dados geoquímicos de elementos traço-ultra traço do Conglomerado Superior da Formação Serra do Córrego definida por Molinari e Scarpelli (1988). Os dados foram tratados estatisticamente através de análises quantitativas, estabelecendo metodologia descritiva das assinaturas geoquímicas através de correlações e diagramas discriminantes de acordo com as unidades estratigráficas.

A Serra de Jacobina localiza-se na porção centro-leste do Estado da Bahia, segundo Sabaté *et al.* (1990), está inserida no lineamento Jacobina-Contendas-Mirante, de aproximadamente 600km com direção geral NNE-SSW. As rochas que constituem o Grupo Jacobina, situado no contexto da Serra homônima são, do topo para a base, caracterizados por quartzitos marinhos intercalados com andalusita-xistos e conglomerados subordinados da Formação Serra da Paciência, seguidos por quartzitos transgressivos da Formação Rio do Ouro, e pelos depósitos aluviais da Formação Serra do Córrego (Mascarenhas *et al.*, 1992; Pearson *et al.*, 2005; Teles *et al.*, 2015).

A região de Jacobina está historicamente ligada a extração aurífera devido a contribuição dos bandeirantes em busca de minérios na região desde o século XVII. A primeira empresa a lavrar o ouro foi a Companhia Minas de Jacobina em 1880, com os primeiros relatos de mecanização da produção apenas em 1950 com a Mineração Nothfield, na mina de Canavieiras. O direito de lavra do complexo mineiro de Jacobina já foi objeto de várias empresas como a Mineração Morro Velho, subsidiária da Anglo Gold, Desert Sun Mining e atualmente, desde 2007, Yamana Gold Inc.

A principal mineralização aurífera presente na Serra de Jacobina está relacionada ao Grupo Jacobina, Formação Serra do Córrego, definida por Molinari e Scarpelli (1988), em quartzitos e metaconglomerados que, segundo Teixeira (2001), possuem seixos de natureza oligomítica composta majoritariamente por quartzo e *chert*, e matriz constituída por quartzo, sericita, zircão detrítico e cromita, possuindo como principais sulfetos pirita e calcopirita. O depósito de ouro do tipo paleoplacer de Jacobina possui características semelhantes a Witwatersrand, na África do Sul e Tarkwa em Gana (Pearson, 2005). O controle da mineralização geralmente possui caráter estratigráfico, subordinadamente estrutural e sua gênese, assim como seu empilhamento estratigráfico, é alvo de constantes discussões.

Gross (1958) propôs o modelo de *paleoplacer* modificado, onde a mineralização está associada a um modelo de gênese detrítica clássica (singenético), com evidências de posterior reconcentração devido a remobilização hidrotermal (epigenético). Os argumentos a favor disso são a concentração da mineralização no topo de camadas de metaconglomerados, a ocorrência de ouro em fraturas de seixos e a associação de ouro no contato de ultramáficas em zonas de forte oxidação.

Embora existam inúmeros projetos de exploração e acadêmicos que estudam o ouro dos metaconglomerados da Formação Serra do Córrego, poucos tem como foco estudos geoquímicos e sua aplicabilidade como ferramenta prospectiva, que propiciam maior entendimento sobre o sistema mineralizante através de assinaturas geoquímicas. A análise de elementos traço-ultra traço demonstra grande potencial em estudos associados a mineralização aurífera da Serra de Jacobina, como importante ferramenta prospectiva agregando confiabilidade e acurácia em pesquisas acadêmicas e exploratórias por meio da interpretação de assinaturas geoquímicas obtidas através das análises.

As rochas siliciclásticas do Grupo Jacobina (figura 1) experimentaram metamorfismo e encontram-se em fácies xisto-verde, preservando feições primárias como acamamento e estruturas sedimentares (Teles, 2017). Os padrões estratigráficos indicam deposição em contexto rifte (Mascarenhas *et al.*, 1992; Pearson *et al.*, 2005; Teles *et al.*, 2015), embora alguns autores sugiram que Jacobina representa uma bacia *foreland* (Ledru *et al.*, 1997; Milesi *et al.*, 2002, Leite e Marinho; Barbosa *et al.*, 2012).

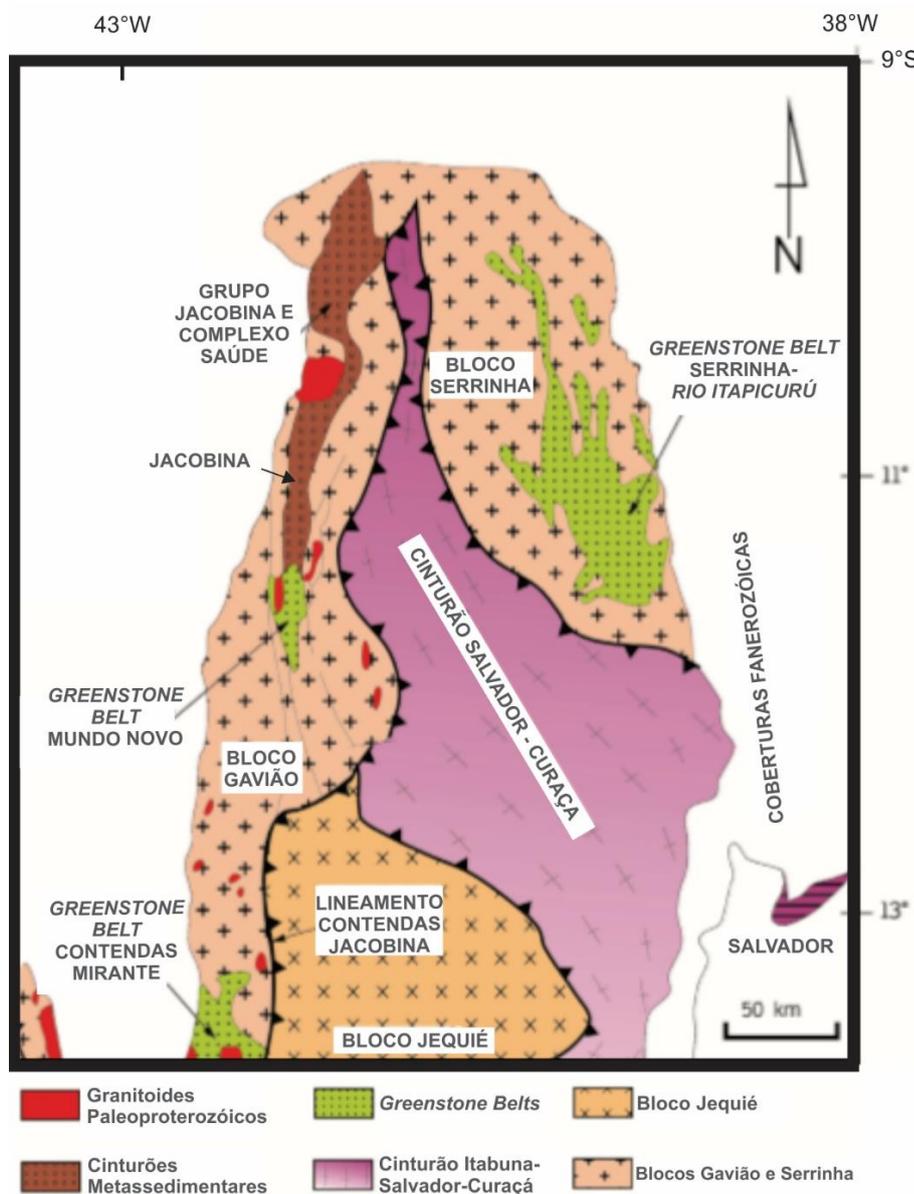


Figura 1: Mapa esquemático com as unidades geotectônicas do Lineamento Contendas-Mirante-Jacobina. Adaptado de Sabaté *et al.* (1990), (Teixeira *et al.*, 2001)

Estudos recentes de Teles *et al.*, (2015) e Magee *et al.*, (2016), ambos baseados em idades U-Pb em isótopos de enxofre (S) mostram que rochas paleoarqueanas (3.3 a 3.6 Ga) foram as únicas fontes de sedimentos à bacia, e sugerem que a deposição deve ter ocorrido ao final do Paleoarqueano (~3.3 Ga) em um ambiente anóxico, pré *Great Oxygen Event* (GOE) (Lyons *et al.* 2014; Teles *et al.*, 2020).

A estratigrafia do Grupo Jacobina é alvo de constantes discussões onde diversos autores sugerem diferentes empilhamentos (Tabela 1). O presente trabalho adotará o empilhamento proposto por Pearson *et al.* (2005), com destaque para a Formação Serra do Córrego.

Conjunto Litológico	Leo <i>et al.</i> (1964)	Couto <i>et al.</i> (1978)	Molinari & Scarpelli (1988)	Mascarenhas <i>et al.</i> (1996)	Ledru <i>et al.</i> (1997)	Pearson <i>et al.</i> (2005)
Águia Branca	Cruz das Almas	Complexo Itapicuru	Cruz das Almas	<i>Greenstone Belt</i> Mundo Novo	Cruz das Almas	<i>Greenstone Belt</i> Mundo Novo
Serra do Meio	Cruz das Almas	Complexo Itapicuru	Cruz das Almas	Serra do Meio	Cruz das Almas	Serra da Paciência
Cruz das Almas	Cruz das Almas	Complexo Itapicuru	Cruz das Almas	Cruz das Almas	Cruz das Almas	<i>Greenstone Belt</i> Mundo Novo
Rio do Ouro	Rio do Ouro	Rio do Ouro	Rio do Ouro	Rio do Ouro	Rio do Ouro	Rio do Ouro
Serra do Córrego	Serra do Córrego	Serra do Córrego	Serra do Córrego	Serra do Córrego	Serra do Córrego	Serra do Córrego
Bananeira	Bananeira	Complexo Itapicuru	Cruz das Almas	<i>Greenstone Belt</i> Mundo Novo	Cruz das Almas	<i>Greenstone Belt</i> Mundo Novo

Tabela 1: Proposições estratigráficas para o empilhamento no Grupo Jacobina. Adaptado de Feitosa (2017).

A área de estudo está geologicamente situada no contexto do Grupo Jacobina. A estratigrafia é composta, do topo para a base, pelos quartzitos marinhos intercalados com andalusita-xistos e conglomerados subordinados da Formação Serra da Paciência, seguidos por quartzitos transgressivos da Formação Rio do Ouro, e pelos depósitos aluviais da Formação Serra do Córrego (Mascarenhas *et al.*, 1992; Pearson *et al.*, 2005; Teles *et al.*, 2015).

A Formação Serra da Paciência encontra-se na margem leste da Serra de Jacobina, consiste de espessos pacotes de quartzitos finos a grossos, quartzitos conglomeráticos, e lentes subordinadas de conglomerados auríferos, as quais podem ser interpretadas como pulsos distais dos canais fluviais da Formação Serra do Córrego. Fácies associadas à lâmina d'água mais profunda são representadas por intercalações de quartzitos com andalusita- grafita- xistos. (Teixeira *et al.*, 2001)

A Formação Rio do Ouro está exposta na região central da Serra de Jacobina, composta por quartzitos, dispostos em camadas tabulares e sigmoidais, exibindo estratificações cruzadas, sigmoidais, espinha de peixe e marcas onduladas, típicas de ambientes marinho dominado por

marés. Xistos aluminosos, associados a quartzitos, com estratificações cruzadas, cruzadas truncadas tipo *hummocky*, além de lentes metaconglomeráticas subordinadas. Representam um ambiente marinho dominado por ondas de tempestade, que compõem a Formação Cruz das Almas (Reis *et al*, 2019)

A Formação Serra do Córrego aflora na porção oeste da Serra de Jacobina em contato tectônico com o embasamento a oeste. É constituída por metaconglomerados e quartzitos divididos por Molinari e Scarpelli (1988) em três unidades representados por dois horizontes conglomeráticos (inferior e superior), separados por um espesso pacote quartzítico (figura 2).

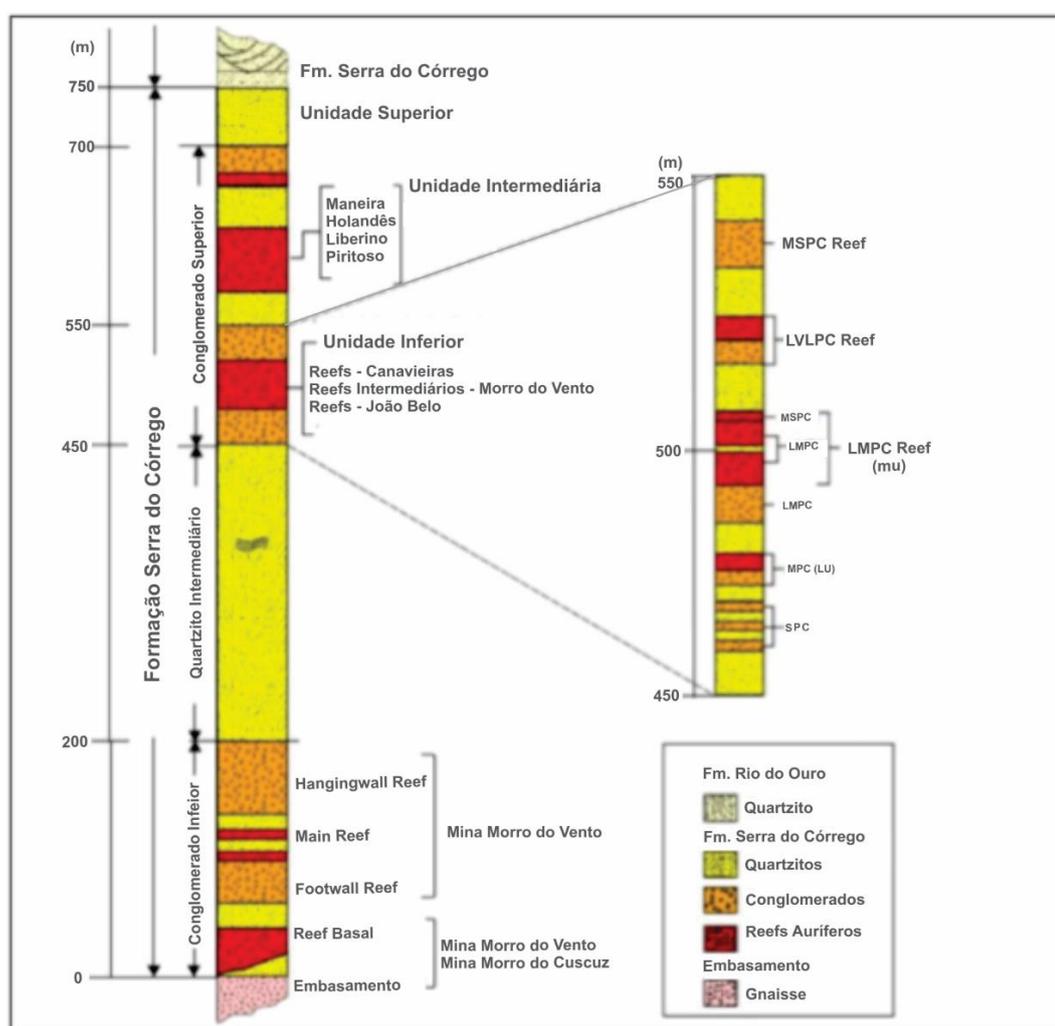


Figura 2: Coluna estratigráfica da Formação Serra do Córrego. Modificado de Molinari e Scarpelli (1988).

A Formação Serra do Córrego compreende metaconglomerados auríferos e uraníferos associados a quartzitos. Os metaconglomerados são polimíticos, de quartzo e chert, com fragmentos bem arredondados e matriz arenosa, composta de quartzo e presença de ouro, zircão, pirita e fuchsite. Estão dispostos em camadas com geometria lenticular e podem apresentar

estratificações cruzadas acanaladas, assim como os quartzitos, que ainda exibem estratificações cruzadas planares. Esta associação de rochas compõe um pacote granodécrescente para o topo, que representa um sistema fluvial distal retrabalhado em ambiente litorâneo por ondas e marés (Reis *et al.*, 2019).

Os conglomerados variam quanto à tamanho, seleção e arredondamento dos seixos (figura 3), empacotamento, sulfetação, oxidação e teores de ouro. Porém, eles são essencialmente oligomíticos, subordinadamente poligomíticos/impuros, com seixos de quartzo, e mais raramente chert. Os quartzitos da unidade são geralmente de granulação grossa; variam entre a coloração branca, esverdeada ou avermelhada, dependendo do teor de fuchsite ou grau de oxidação; e possuem mineralogia semelhante à dos conglomerados, com exceção aos teores de ouro e presença de pirita (Teles, 2017). A deposição dessa unidade é associada a um sistema aluvial, onde leques aluviais evoluíam para canais fluviais entrelaçados, cujos estudos de paleocorrentes indicam transporte principal de leste para oeste (Teles *et al.*, 2015).

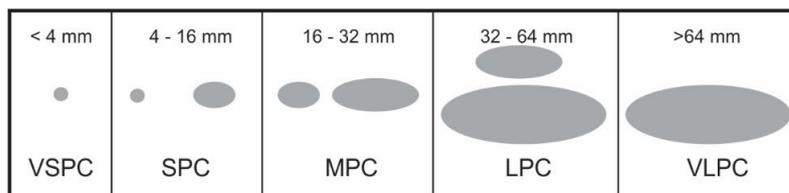


Figura 3: Classificação e nomenclatura dos seixos da Fm. Serra do Córrego (Minter, 1976)

Via de regra, os níveis de metaconglomerados mineralizados da Formação Serra do Córrego são individualizados e denominados como *reef's*, adaptado da metodologia implementada por Minter (1976) em Witwatersrand. A determinação destes *reef's* decorre da interpretação de dados descritivos obtidos em testemunhos de sondagem, em conjunto com elementos litoestratigráficos e estruturais correlativos, através de seções geológicas 2D e modelos 3D.

O Conglomerado Inferior, possui contato discordante com o embasamento, geralmente associado a cisalhamentos e presença de rochas ultramáficas, possuindo espessura média de 40 a 200m, variando de acordo com configurações do paleorelevo e erosão do sistema. A unidade é composta da base para o topo pelos *reef's* Basal, *Footwall*, *Main Reef* e *Hanginwall*.

O Quartzito Intermediário é definido por Molinari e Scarpelli (1988) como um pacote ortoquartzítico de granulação média a grosseira, de coloração branca, por vezes cinza amarronzada, em contato transicional com a Unidade Conglomerado Inferior. Pearson *et al.*

(2005) afirma que a unidade possui pouco ou nenhum conglomerado, e sua espessura varia de 130 a 425m.

O Conglomerado Superior possui contato transicional com o Quartzito Intermediário e tem espessura entre 120 a 440m, é subdividido nas Unidades Inferior, Intermediária e Superior (figura 2) pela maior intensidade na intercalação de metaconglomerados e quartzitos. As Unidades Intermediária e Inferior, foram o foco do trabalho, onde muitas das camadas com os melhores teores auríferos da Formação Serra do Córrego (figura 4) estão.

A Unidade Intermediária é composta do topo para a base pelos *reefs* Maneira, Holandês, Liberino e Piritoso, sendo que na região de João Belo Sul, local onde o estudo se concentrou, ocorrem apenas os *reefs* Maneira e Holandês. A Unidade Inferior é composta pelos *reefs* MSPC, LVLPC, LMPC (correlato ao *reef* MU na região de Canavieiras), MPC (correlato ao *reef* LU na região de Canavieiras) e SPC.

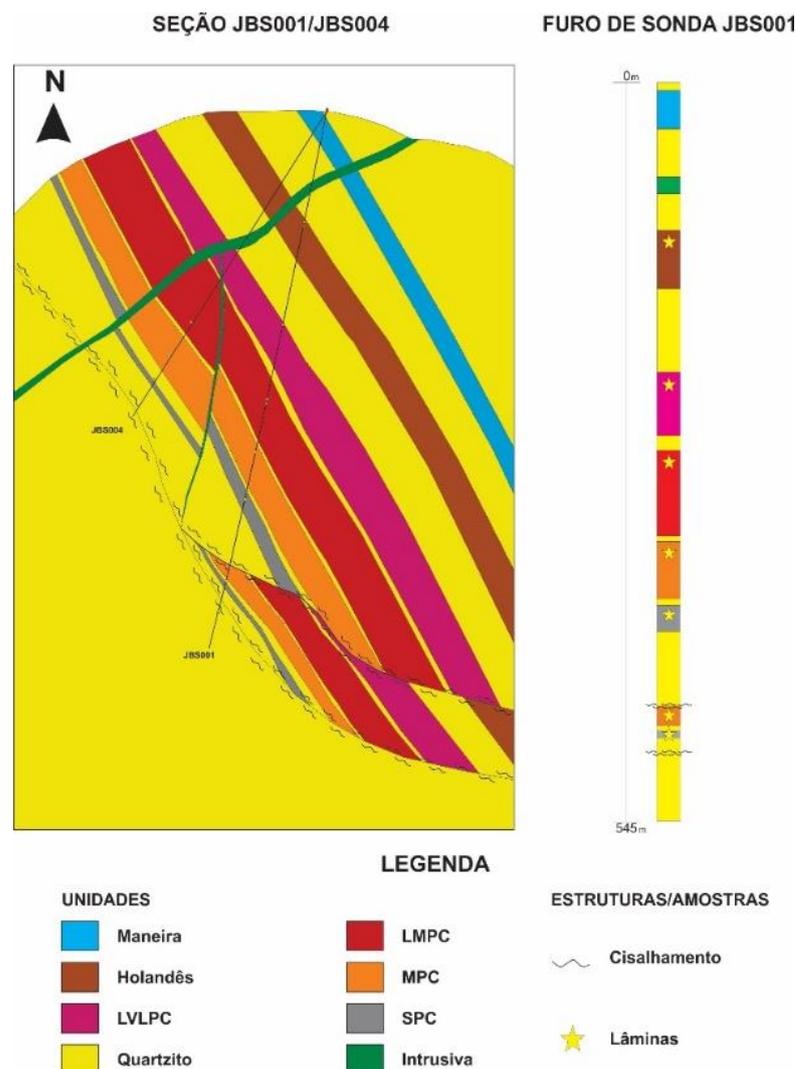


Figura 4: Seção geológica e furo de sonda da unidade inferior do conglomerado superior

Tipos de depósitos de ouro

Regionalmente, a mineralização aurífera foi caracterizada de forma empírica por Teixeira *et al* (2001) conforme a natureza das rochas hospedeiras, divididas em quatro grupos (tabela 2).

Grupo	Rocha Hospedeira	Minerais de Ganga	Sulfetos
I	Metaconglomerado	Quartzo, sericita, fuchcita, rutilo, andalusita, cromita, turmalina e zircão	Pirita e Pirrotita
II	Metagabro e Metadiorito	Biotita, sericita, quartzo, esfeno	Pirita
III	Metaperidotito e Metapiroxenito	-	Pirita e Arsenopirita
IV	Quartzito	Quartzo, sericita, fuchcita, turmalina e zircão	Pirita

Tabela 2: Tipos de depósitos auríferos de acordo com rochas hospedeiras. Modificado de Teixeira (2001).

A área de estudo está inserida no contexto do grupo I, ou seja, depósitos auríferos associados a metaconglomerados, com seixos de natureza oligomítica composta majoritariamente por quartzo e *chert*, e matriz constituída por quartzo, sericita, zircão detrítico e cromita (Molinari e Scarpelli, 1988). Ocorre também hematita, pirita, e traços de clorita, rutilo, esfalerita, calcopirita, arsenopirita, galena, serpentina e minerais de alteração como limonita, goethita e covelita, identificados através de descrição petrográfica.

A mineralização associada a metaconglomerados da Formação Serra do Córrego possui características semelhantes a importantes distritos auríferos, especificamente Witwatersrand, na África do Sul e Tarkwa em Gana., onde as zonas de alto teor geralmente estão relacionadas a seixos de quartzo arredondados, bem selecionados e empacotados, com seixos de tamanho entre 4-32mm, associado a oxidação. Os metaconglomerados mineralizados da Serra de Jacobina exibem alterações hidrotermais, que provoca intensos debates acerca da gênese da mineralização, onde destacam-se quatro hipóteses, listadas na tabela 3.

Dentre os modelos propostos, destacam-se a acumulação singenética do ouro, associada a formação de pirita sedimentar na bacia e atividade microbial (Horscroft *et al.*, 2011; Large *et al.*, 2013; Guy *et al.*, 2014; Agangi *et al.*, 2015; Frimmel & Hennigh, 2015; Heinrich, 2015)

Segundo o modelo mais recente, o ouro seria lixiviado das áreas fontes da bacia pela ação do intenso intemperismo químico (predominante no Arqueano); a atmosfera arqueana, pré *Great Oxygen Event*, anóxica, e rica em enxofre, permitiria uma grande concentração de ouro

dissolvido nas águas superficiais. Este modelo infere que o ouro seria transportado em solução complexado ao enxofre; e em corpos d'água maiores (de menor energia), favoráveis à proliferação de cianobactérias, o ouro se precipitaria graças à produção local de oxigênio por esses organismos. Por fim, os sedimentos formados nesses ambientes - incluindo pirita singenética (rica em ouro) e partículas de ouro - seriam eventualmente erodidos, retrabalhados juntamente com os sedimentos rudáceos, e posteriormente depositados como camadas de conglomerados ricos em ouro (Teles, 2020).

Autor	Bateman (1958)	White (1961)	Gross (1968)	Milesi et al (2002)	Teles et al (2020)
Modelo	Peleoplacer	Hidrotermal	Paleoplacer Modificado	Reservatório hidrotermal de falha	Paleoplacer Modificado
Gênese	Ouro detrítico (singenético)	Ouro de origem hidrotermal (epigenética)	Ouro detrítico reconcentrado por ação hidrotermal (singenético/epigenético)	Ouro de origem hidrotermal (epigenética)	Ouro detrítico reconcentrado por ação hidrotermal (singenético/epigenético)
Argumentos	Presença de minerais detríticos pesados.	Diversidade de rochas com ouro (metaconglomerados, quartzitos, rocha máficas e ultramáficas); alterações hidrotermais com paragênese metamórfica e sulfetos neoformados; fluidos com mesma idade de granitogênese	Ouro remobilizado em fraturas; associação metamórfica de sericita, fuchcita, turmalina e rutilo; sulfetos neoformados (calcopirita, pirrotita, esfarelita, molibdenita e ilmenita)	Alterações hidrotermais estruturalmente controladas, com paragêneses mesotermiais de quartzo, turmalina e fuchcita associada a seixos hidrotermalmente alterados	Ouro lixiviado por ação de intemperismo químico permitindo concentração de ouro dissolvido em áreas superficiais. Precipitação de ouro graças à produção local de oxigênio por cianobactérias

Tabela 3: Principais modelos genéticos para a mineralização aurífera da Serra de Jacobina. Adaptado de Feitosa (2017).

Caracterização geoquímica de elementos traço-ultra traço do Conglomerado Superior, Formação Serra do Córrego, área João Belo Sul, Jacobina, Bahia.

Geochemical characterization of trace-ultra trace elements of the Upper Conglomerate, Serra do Córrego Formation, João Belo Sul area, Jacobina, Bahia.

Airton Abreu dos Santos¹, Reinaldo Santana Correia de Brito¹

Instituto de Geociências - Universidade Federal da Bahia, Rua Barão de Jeremoabo s/n, 40170-290, - Ondina, Salvador - BA (airton.abreu@hotmail.com, reinaldobri@gmail.com)

RESUMO

A Serra de Jacobina é mundialmente conhecida por suas mineralizações auríferas, localizada na porção centro-leste do Estado da Bahia. As ocorrências de ouro foram caracterizadas utilizando diferentes modelos, entretanto o mais importante e produtivo é correlacionado aos metaconglomerados da Formação Serra do Córrego, onde as unidades mineralizadas são denominadas como *reef*. Apesar dos diversos estudos geológicos desenvolvidos, se observa a falta de conhecimentos geoquímicos na região. Para tanto, este trabalho propõe desenvolver a metodologia adequada para a área em questão, através de análise geoquímica de elementos traço-ultra traço, assim consolidando o entendimento do depósito e auxiliando na caracterização dos *reefs*. Esta metodologia compreendeu reconhecimento geológico, descrição macroscópica de aproximadamente 1860m de testemunho, preparação de amostras, descrição de 22 lâminas petrográficas e análises geoestatísticas de 2932 amostras, com o fim de obter assinaturas geoquímicas precisas e confiáveis através de espectrometria de massa por plasma acoplado (ICP-MS) de 48 elementos e *Fire Assay* para análises de ouro. Seguindo esta metodologia foram identificadas e caracterizadas fontes dos minerais presentes na matriz dos metaconglomerados e importantes correlações elementares que ocorrem na extensão do Conglomerado Superior da Formação Serra do Córrego, Grupo Jacobina. Este estudo permitiu discriminar através de correlações e diagramas, padrões elementares de alguns dos *reefs* do Conglomerado Superior na região de João Belo Sul, que podem ser utilizados como ferramenta de exploração mineral.

Palavras-chave: Caracterização; Geoquímica; Traço e ultra traço; Jacobina;

ABSTRACT

Gold mineralization in Serra de Jacobina, located in the central-eastern part of the State of Bahia, is known by many people. The gold occurrence is associated with different models and lithologies, however, the most important and productive one is correlated to the metaconglomerates of Serra do Córrego Formation, where the mineralized units are defined as reef. Although there are many geological research studies performed in the area, a geochemical lack of knowledge about the region was soon noted. That fact motivated the development of an appropriate methodology for geochemical analysis of trace-ultratraces aiming to consolidate more information about the deposit and to analyse the reefs. The methodology included field campaigns for geological recognition, macroscopic description of approximately 1860m core drill holes, sample preparation, description of 22 petrographic thin sections and geostatistical analysis of 2932 samples. The objective was to define the geochemical signatures through plasma mass spectrometry for 48 elements (ICP-MS), and Fire Assay for gold analysis. Following this methodology, sources of minerals present in the metaconglomerate matrix were identified as well as important elementary correlations that occur in the extension of the Upper Conglomerate of the Serra do Córrego Formation, Jacobina Group, and their subunits. That helped in the determining the discriminating geochemical diagrams used for the establishment of patterns of some of the reefs of the Superior Conglomerate in the João Belo Sul region. This study permitted discriminating through correlations and diagrams, elementary patterns of some Superior Conglomerate reefs in the region of João Belo Sul, which can be used as a mineral exploration tool.

Keywords: Characterization; Geochemistry; Trace and ultratraces; Jacobina;

1. INTRODUÇÃO

Localizada na porção centro-leste do Estado da Bahia, a Serra de Jacobina é mundialmente conhecida por suas mineralizações auríferas, sendo denominada de Bahia Gold Belt (Pearson et al, 2005). As principais mineralizações auríferas na Serra de Jacobina ocorrem em maior escala nos metaconglomerados da Formação Serra do Córrego, onde são individualizados e denominados de *reefs*, adaptado da metodologia implementada por Minter (1976) em Witwatersrand. A determinação destes *reef's* decorre da análise de dados descritivos, tais como posição estratigráfica, tamanho e grau de selecionamento de seixos, intercalações com níveis quartzíticos, teores de ouro, espessura, presença de sulfetos e alterações hidrotermais.

Dentre os modelos genéticos propostos, destacam-se a acumulação singenética do ouro, associada a formação de pirita sedimentar na bacia e atividade microbiana (Horscroft *et al.*, 2011;

Large *et al.*, 2013; Guy *et al.*, 2014; Agangi *et al.*, 2015; Frimmel & Hennigh, 2015; Heinrich, 2015, Teles). Segundo o modelo mais recente, o ouro seria lixiviado das áreas fontes da bacia pela ação do intenso intemperismo químico, predominante no Arqueano. A atmosfera arqueana, pré *Great Oxygen Event*, anóxica, e rica em enxofre, permitiu uma grande concentração de ouro dissolvido nas águas superficiais que, dessa forma, foi transportado em solução complexado ao enxofre e em corpos d'água maiores de menor energia, favoráveis à proliferação de cianobactérias. O ouro se precipitaria graças à produção local de oxigênio por esses organismos. Por fim, os sedimentos formados nesses ambientes - incluindo pirita singenética rica em ouro em sua estrutura cristalina e partículas de ouro - seriam eventualmente erodidos, retrabalhados juntamente com os sedimentos rudáceos, e posteriormente depositados como camadas de conglomerados ricos em ouro (Teles, 2020).

A mineralização associada a metaconglomerados da Formação Serra do Córrego possui características semelhantes a importantes depósitos do tipo Paleoplacer como Witwatersrand na África do Sul e Tarkwa em Gana (Pearson *et al*, 2005), onde as zonas de alto teor geralmente estão relacionadas a seixos de quartzo arredondados, bem selecionados e empacotados.

2. CONTEXTO GEOTECTÔNICO

A Serra de Jacobina localiza-se na porção centro-leste do Estado da Bahia, inserida no lineamento Jacobina-Contendas-Mirante, de aproximadamente 600 km com direção geral NNE-SSW. Este lineamento marca a zona de sutura entre os Blocos Gavião, Serrinha, Jequié e Itabuna-Salvador-Curaçá, no Paleoproterozóico, resultado da amalgamação desses quatro blocos crustais (Barbosa e Sabaté, 2004). Observam-se estruturas de cavalgamento, com movimentação de leste para oeste (Figura 1), além de intrusões graníticas sin- a tardi-tectônicas com idades entre 2106 ± 71 Ma a 1975 ± 36 Ma, datadas através de U-Pb (Spreatico *et al*, 2019).

Nesta extensão, os ortognaisses do tipo TTG (tonalito-trondhjemitó-granodiorito), migmatitos, metagranitos e metariolitos do Bloco Gavião, e a sequência metavulcanosedimentar Mundo Novo correspondem aos terrenos Arqueanos (Marinho e Sabaté, 1982, Marinho, 1992, Mascarenhas *et al.*, 1998, Spreatico, 2019). Sobrepostas aos terrenos arqueanos, através de discordâncias e zonas de cisalhamento transpressivas, ocorrem

sequências metassedimentares de idade Arqueana do Complexo Saúde, Grupo Jacobina (Couto *et al.*, 1978, Melo *et al.*, 1995, Leo *et al.*, 1964, Marinho *et al.*, 1978).

Bloco Gavião

Os ortognaisses do tipo TTG, migmatitos, metagranitos e metariolitos do Bloco Gavião correspondem ao embasamento do Grupo Jacobina. Os metagranitos experimentaram pouca deformação tectônica. O metagranito Miguel Calmon possui cor cinza, granulometria média a grossa, com leve magnetismo, já o metagranito Fazenda coqueiro possui cor rosa, com granulometria fina a média, com foliação incipiente e magmatismo moderado. Os metariolitos e metadacitos se colocaram entre as rochas máficas e metassedimentares do *Greenstone Belt* Mundo Novo. Os metariolitos possuem cores acinzentadas, com granulometria fina a média, foliados e magnéticos em alguns pontos. Alguns corpos graníticos estão relacionados espacialmente com estas rochas metavulcânicas, com composição mineralógica semelhantes aos metariolitos. Os metadacitos ocorrem em fatias tectônicas com orientação Norte-Sul em contato com os ortognaisses e migmatitos a oeste e com rochas siliciclásticas do *Greenstone Belt* Mundo Novo a leste (Spreafico *et al.*, 2019).

Greenstone Belt Mundo Novo

Consiste de uma associação metavulcanosedimentar em fácies xisto-verde, limitada a oeste pela a Bacia de Jacobina através da Falha de Pindobaçu e a leste pelos Complexos Saúde e Mairí (Mascarenhas & Silva, 1994). O *Greenstone Belt* Mundo Novo é dividido em três sequências estratigráficas, considerando que os processos de cristalização fracionada controlavam a ordem da formação das sequências ultramáficas (primeira), máficas e félsicas (última). A sequência inferior é composta por metakomatiitos, a sequência intermediária é composta por basaltos, subordinadamente por tremolitos, rochas calcissilicáticas, xistos aluminosos, formações ferríferas bandadas (BIFs), metacherts ferríferos, metandesitos basálticos, metadacitos e metariolitos. A sequência superior é composta por rochas metassedimentares siliciclásticas como metarenitos, quartzitos, metagrauvas, metassilitos, filitos, ritimitos, quartzo-sericita xisto e granada-tremolita-quartzo xisto (Spreafico *et al.*, 2019).

Complexo Saúde

O Complexo Saúde faz parte de uma bacia do Paleoproterozóico, envolvida no estágio final da colisão durante a montagem do Cráton do São Francisco-Congo, contendo grãos de zircão

detríticos datados de 2,05-2,20 a 2,50-2,68 Ga, derivados principalmente do Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá e rochas neoarqueanas do embasamento retrabalhadas, principalmente no arco magmático de Caraíba (Zinccone *et al.*, 2017).

Situado a leste do Grupo Jacobina e do *Greenstone Belt* Mundo Novo, corresponde a uma sequência metassedimentar com tendência N-S, composta predominantemente paragneisses não-granadíferos, e kinzigitos, com ocorrências de rochas calcissilicáticas e quartzitos. Melo *et al.* (1995) sugerem um protólito grauváquico para os paragneisses da unidade, que experimentaram metamorfismo da fácies anfibolito superior. Os kinzigitos delimitam a borda oriental do Complexo Saúde, constituindo grandes afloramentos isolados e circundados por ortogneisses. Os paragneisses não granadíferos estão em contato tectônico com as rochas do *Greenstone Belt* Mundo Novo e Grupo Jacobina, ao longo de suas bordas orientais. Os quartzitos estão em contato com os ortogneisses do Bloco Gavião através de uma zona de cisalhamento de alto ângulo com direção meridional e mergulho para leste, marcados por veios de quartzo, sustentando a topografia local (Leite e Marinho; Barbosa *et al.* 2012).

Diques máficos e ultramáficos

No âmbito de Jacobina, de forma restrita, ocorrem intercalados nas Formações Serra do Córrego e Rio do Ouro. As rochas metaultramáficas compostas por serpentinitos com reclitos de orto, clinopiroxênios e olivina, talco-clorita-xisto e tremolita-xistos com sulfetos e biotita. Estas rochas possuem afinidade toleítica a komatiítica (Topitsch, 1993), dispostas paralelamente à estruturação das rochas metassedimentares, com direção preferencial N-S, e são interpretadas como *sills* (Leo *et al.*, 1964, Teixeira *et al.*, 2001). As rochas metamáficas são compostas por gabro-diabásio, dispostos de modo oblíquo a estruturação regional, com direção preferencial E-W das rochas metassedimentares (Leite e Marinho; Barbosa *et al.* 2012).

Granitóides

Na porção norte do Bloco Gavião ocorrem granitóides de diversas dimensões, todos de idade Paleoproterozóica. A maioria se posiciona seguindo o lineamento Jacobina-Contendas-Mirante (Torquato *et al.*, 1978, Sabaté *et al.*, 1990, Cuney *et al.*, 1990, Marinho, 1991, Leite, 2002), formada por leucogranitos não deformados, de cor rosa clara e são constituídos de quartzo, feldspato, biotita e moscovita, ocorrendo, as vezes, granada e silimanita, esta última quando o granitóide está associado à rochas metassedimentares aluminosas (Leite e Marinho; Barbosa *et al.* 2012).

Grupo Jacobina

As rochas siliciclásticas do Grupo Jacobina experimentaram metamorfismo e encontram-se em fácies xisto-verde, preservando feições primárias como acamamento e estruturas sedimentares (Teles, 2017). Os padrões estratigráficos indicam deposição em contexto rifte (Mascarenhas *et al.*, 1992; Pearson *et al.*, 2005; Teles *et al.*, 2015), embora alguns autores sugiram que Jacobina representa uma bacia *foreland* (Ledru *et al.*, 1997; Milesi *et al.*, 2002, Leite e Marinho; Barbosa *et al.*, 2012). Estudos recentes de Teles *et al.*, (2015) e Magee *et al.*, (2016), ambos baseados em idades U-Pb em isótopos de enxofre (S) mostram que rochas paleoarqueanas (3.3 a 3.6 Ga) foram as únicas fontes de sedimentos à bacia, e sugerem que a deposição deve ter ocorrido ao final do Paleoarqueano (~3.3 Ga) em um ambiente anóxico, pré *Great Oxygen Event* (GOE) (Lyons *et al.* 2014; Teles *et al.*, 2020).

A estratigrafia do Grupo Jacobina é composta, do topo para a base, pelos quartzitos marinhos intercalados com andalusita-xistos e conglomerados subordinados da Formação Serra da Paciência, seguidos por quartzitos transgressivos da Formação Rio do Ouro, e pelos depósitos aluviais da Formação Serra do Córrego (Mascarenhas *et al.*, 1992; Pearson *et al.*, 2005; Teles *et al.*, 2015).

A Formação Rio do Ouro está exposta na região central da Serra de Jacobina, composta por quartzitos, dispostos em camadas tabulares e sigmoidais, exibindo estratificações cruzadas, sigmoidais, espinha de peixe e marcas onduladas, típicas de ambientes marinho dominado por marés. Xistos aluminosos, associados a quartzitos, com estratificações cruzadas, cruzadas truncadas tipo *hummocky*, além de lentes metaconglomeráticas subordinadas. Representam um ambiente marinho dominado por ondas de tempestade, que compõem a Formação Cruz das Almas (Reis *et al.*, 2019)

A Formação Serra da Paciência encontra-se na margem leste da Serra de Jacobina, consiste de espessos pacotes de quartzitos finos a grossos, quartzitos conglomeráticos, e lentes subordinadas de conglomerados auríferos, as quais podem ser interpretadas como pulsos distais dos canais fluviais da Formação Serra do Córrego. Fácies associadas à lâmina d'água mais profunda são representadas por intercalações de quartzitos com andalusita- grafita- xistos. (Teixeira *et al.*, 2001)

A Formação Serra do Córrego, abordada neste trabalho, compreende metaconglomerados auríferos e uraníferos associados a quartzitos. Os metaconglomerados são polimíticos, de quartzo e chert, com fragmentos bem arredondados e matriz arenosa, composta de quartzo e

presença de ouro, zircão, pirita e fuchcita. Estão dispostos em camadas com geometria lenticular e podem apresentar estratificações cruzadas acanaladas, assim como os quartzitos, que ainda exibem estratificações cruzadas planares. Esta associação de rochas compõe um pacote granodrecrescente para o topo, que representa um sistema fluvial distal retrabalhado em ambiente litorâneo por ondas e marés (Reis *et al*, 2019). Esta unidade aflora na porção oeste da Serra de Jacobina em contato tectônico com o embasamento a oeste. É constituída por metaconglomerados e quartzitos divididos por Molinari e Scarpelli (1988) em três unidades representados por dois horizontes conglomeráticos (inferior e superior), separados por um espesso pacote quartzítico (Figura 2).

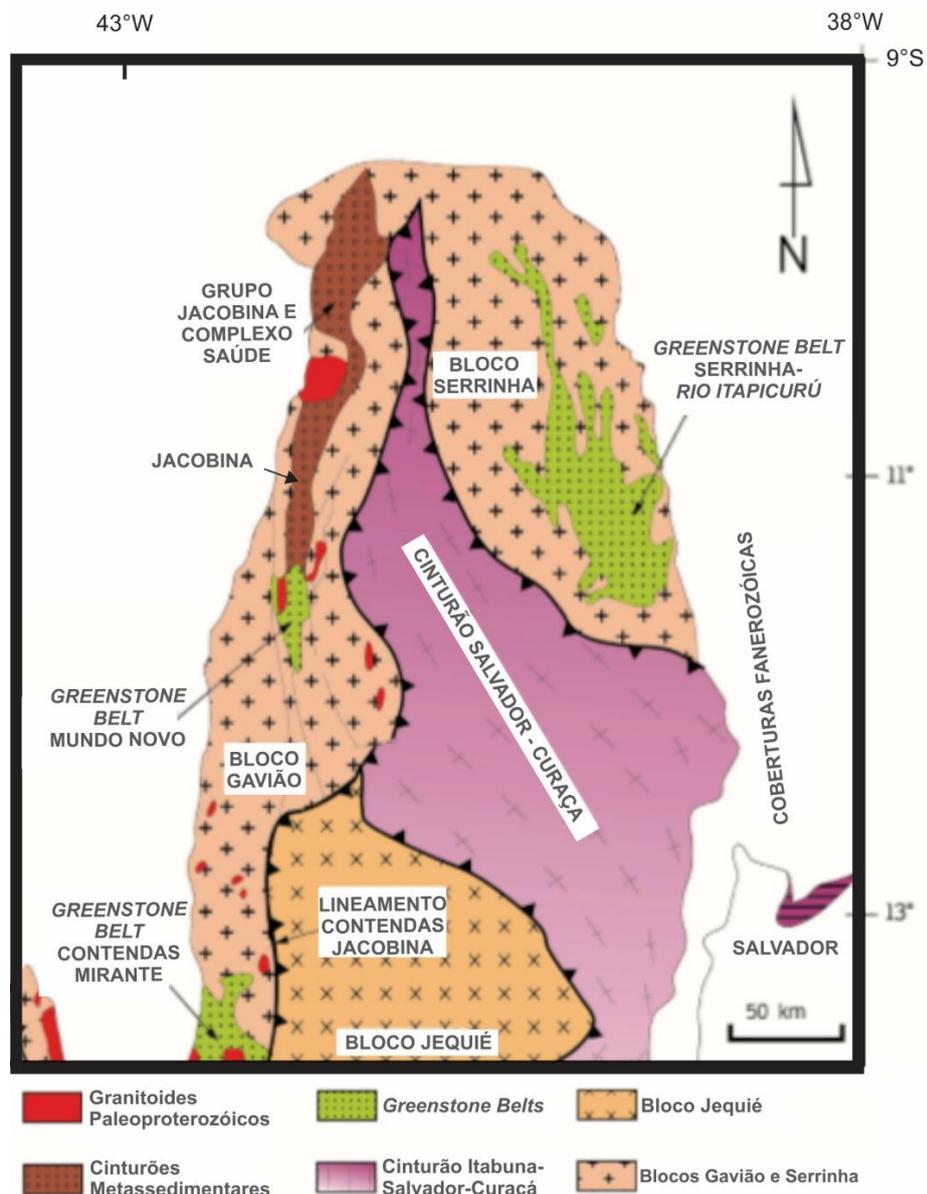


Figura 1: Contexto geotectônico do Lineamento Contendas-Mirante-Jacobina. Adaptado de Teixeira (2001).

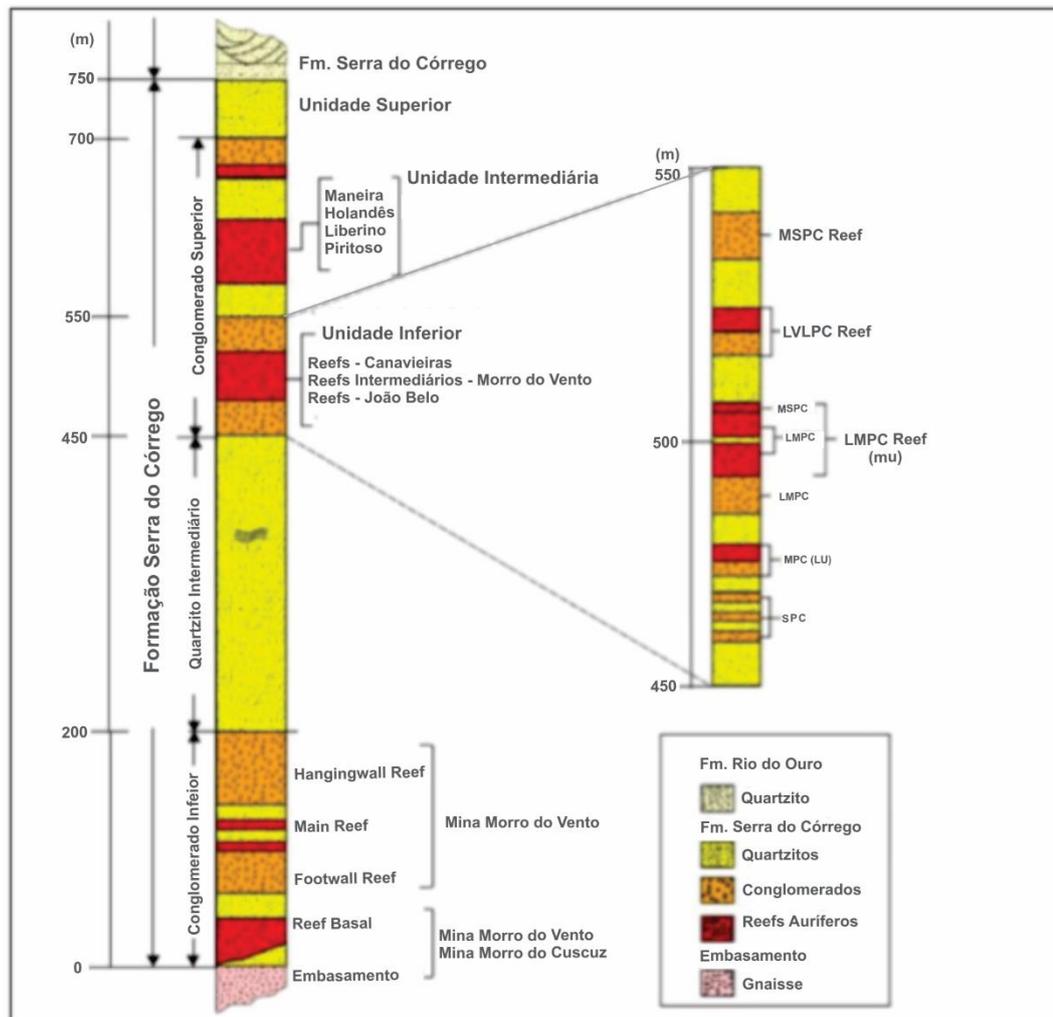


Figura 2: Coluna estratigráfica da Formação Serra do Córrego. Modificado de Molinari e Scarpelli (1983).

3. GEOLOGIA LOCAL

A Formação Serra do Córrego aflora na porção oeste da Serra de Jacobina, onde se encontra o Alvo João Belo Sul (Figura 3). Seguindo a estratigrafia proposta por Molinari e Scarpelli, o Conglomerado Inferior possui contato discordante com o embasamento representado pelos ortognaisses do Bloco Gavião e paragnaisses do Complexo Saúde, geralmente associado a cisalhamentos e presença de *sills* ultramáficos, possuindo espessura média de 40 a 200m, que varia de acordo com configurações do paleorelevo, controles estruturais e erosivos. A unidade é composta da base para o topo pelos *reef's* Basal, *Footwall*, *Main Reef* e *Hangingwall*.

O Quartzito Intermediário é definido como um pacote ortoquartzítico de granulação média a grosseira, de coloração branca, por vezes cinza amarronzada, em contato transicional com a

Unidade Conglomerado Inferior. Pearson *et al.* (2005) afirma que a unidade possui pouco ou nenhum conglomerado, e sua espessura varia de 130 a 425m, contendo uma camada de quartzo-sericita-xisto, denominado xisto guia, normalmente localizado no centro da unidade. A ausência do xisto-guia em algumas porções do Quartzito Intermediário pode ser interpretada como consequência de um empurrão sobre o embasamento, pelo sistema de falhas de Jacobina, e posterior erosão. Alternativamente o xisto-guia não ocorre por se tratar de um derrame de rochas vulcânicas ácidas, pouco espessas, tendo como prováveis protólitos riódacitos, onde os derrames não possuem a mesma extensão de ocorrência da Formação Serra do Córrego (Teles *et al.*, 2015).

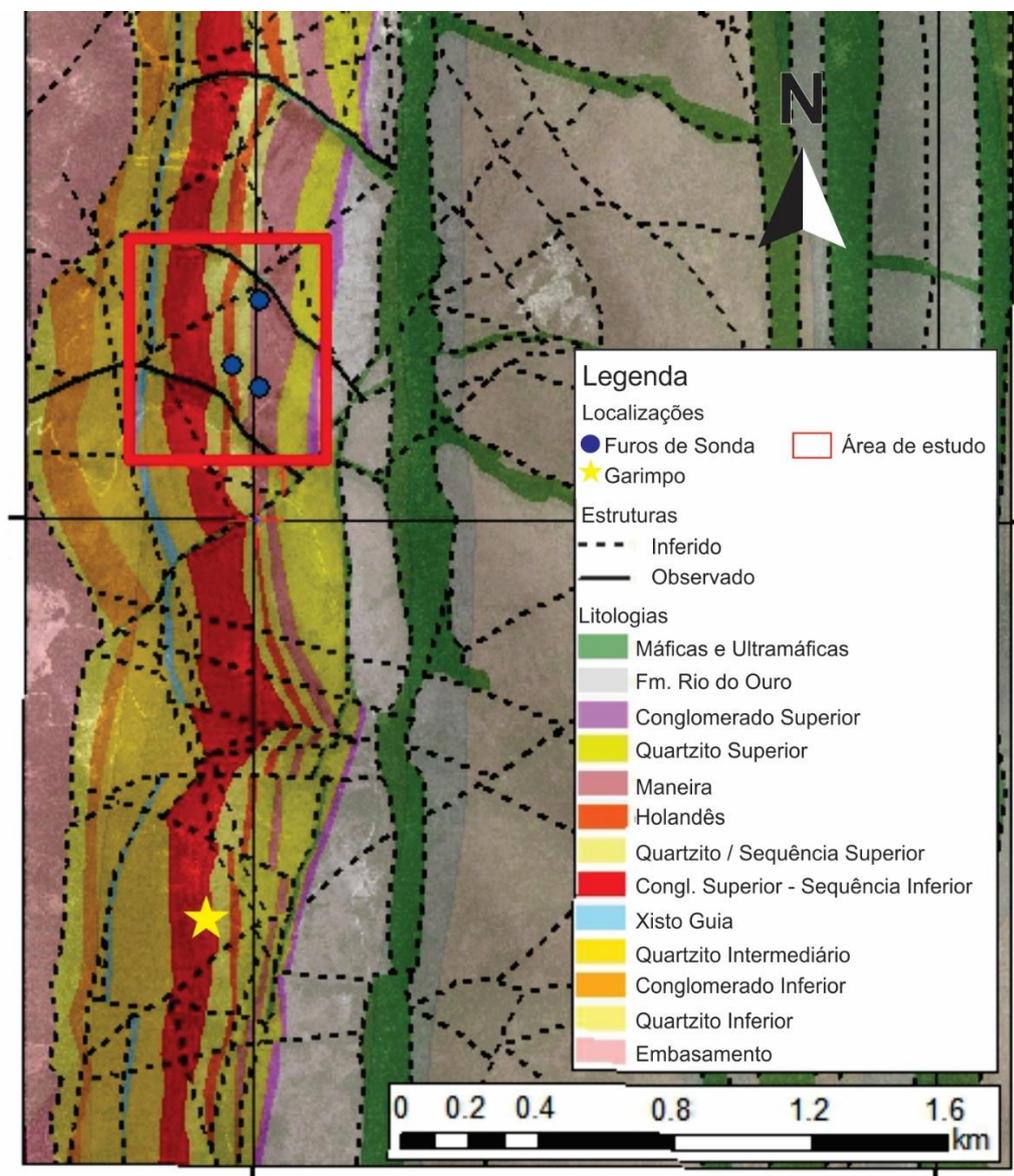


Figura 3: Mapa geológico da região de João Belo Sul.

O Conglomerado Superior possui contato transicional com o Quartzito Intermediário e tem espessura entre 120 a 440m, que varia de acordo com controles estruturais e erosivos. É subdividido nas Unidades Inferior, Intermediária e Superior pela maior intensidade na intercalação de metaconglomerados e quartzitos. As Unidades Intermediária e Inferior, foram o foco do trabalho, onde muitas das camadas com os melhores teores auríferos da Formação Serra do Córrego (figura 4) estão.

A Unidade Intermediária é composta do topo para a base pelos *reefs* Maneira, Holandês, Liberino e Piritoso, sendo que na região de João Belo Sul, local onde o estudo se concentrou, ocorrem apenas os *reefs* Maneira e Holandês. A Unidade Inferior é composta pelos *reefs* MSPC, LVLPC, LMPC (correlato ao *reef* MU na região de Canavieiras), MPC (correlato ao *reef* LU na região de Canavieiras) e SPC.

No Grupamento Mineiro de Jacobina são conhecidos 13 *reefs* da Formação Serra do Córrego, neste trabalho serão objeto de estudo 5 *reefs* das Subunidades Intermediária e Inferior dos Conglomerados Superiores dessa formação. O *reef* Holandês possui espessura que varia entre 30-40m, bem empacotado, com seixos >32mm (Figura 4), compostos por quartzo, subordinadamente por chert, e matriz variante entre porções fuchsíticas e oxidadas. O LVLPC também é marcado por ser um nível espesso, variando de 20-30m, bem empacotado, com seixos >32mm, entretanto possui maior selecionamento dos seixos com grande domínio de seixos quartzosos, matriz altamente fuchsítica e forte presença de sulfetos. O LMPC é um pouco menos espesso, variando entre 15-25m, bem empacotado, com seixos que variam entre 16-64mm, compostos majoritariamente por quartzo, matriz variante entre porções fuchsíticas e oxidadas e leve presença de sulfetos. O *reef* MPC possui espessura que varia de 5-12m e empacotamento relativamente menores às unidades anteriormente citadas, com seixos quartzosos, variando entre 16-32mm e matriz variante entre porções fuchsíticas e oxidadas. O SPC, é pouco espesso, empacotado a mal empacotado, com seixos de quartzo com tamanho normalmente <16mm.

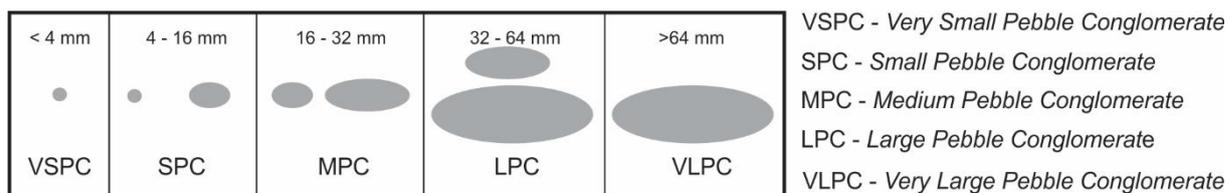


Figura 4: Nomenclatura e escala dos seixos dos metaconglomerados da Fm. Serra do Córrego. Minter (1976).

O reef Maneira não foi objeto de estudo devido à falta representatividade espacial na região, sendo encontrado apenas nos furos JBS001 e JBS004 (Figura 5).

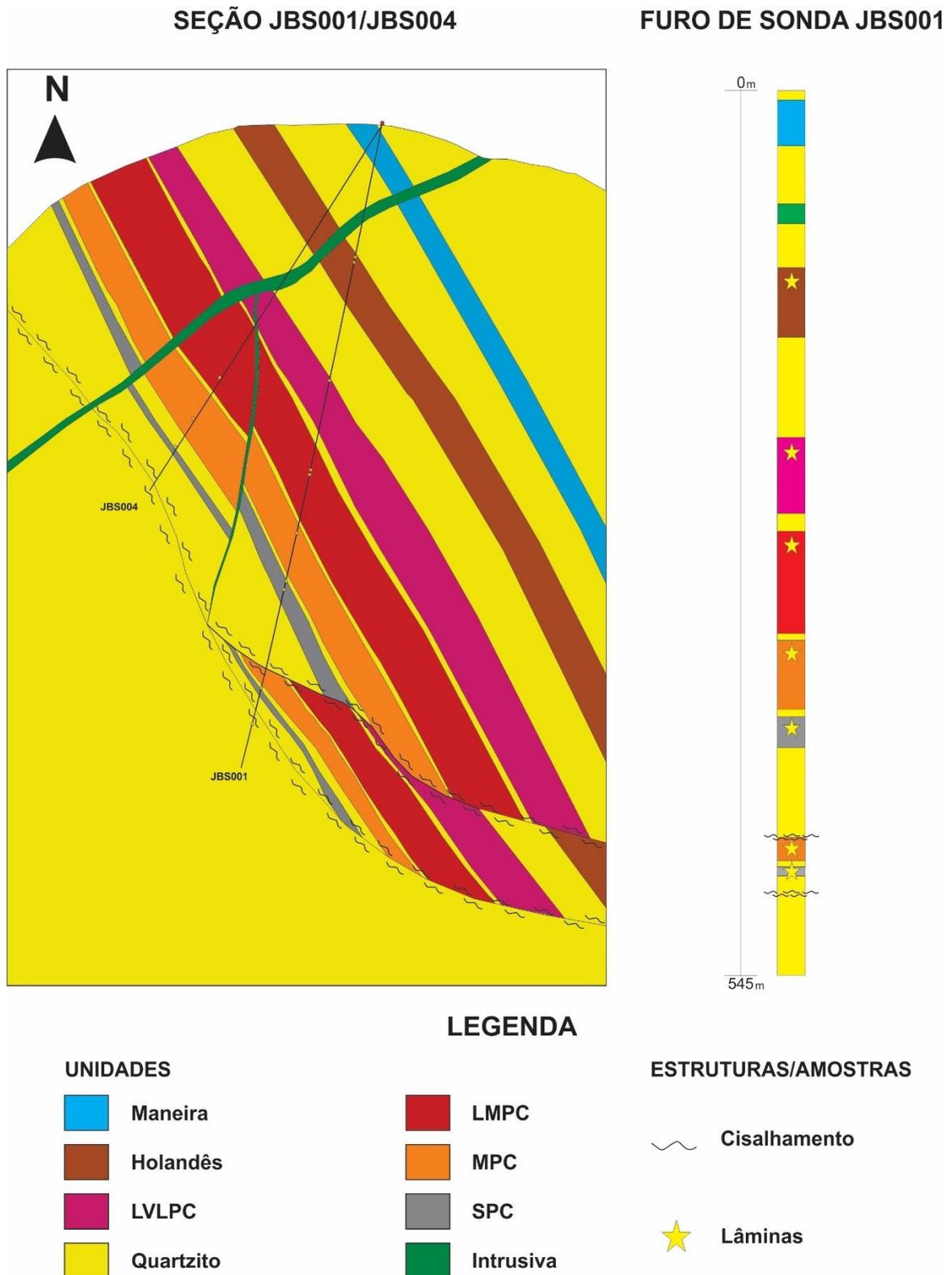


Figura 5: Seção geológica 1:500 representando as unidades estratigráficas de João Belo sul e furo de sonda JBS001 demarcando limite dos reefs, principais estruturas e locais selecionados para confecção de lâminas petrográficas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir os objetivos deste trabalho foram executados trabalhos de geologia de campo no Alvo João Belo Sul, visando reconhecimento espacial da área. Foram selecionados quatro (4) furos de sondagem (Tabela 1), que somados, totalizam 1860m, onde foram realizadas descrições macroscópicas com ênfase na granulometria, empacotamento, seleção, presença de sulfetos ou alterações hidrotermais, que em conjunto com dados laboratoriais como teores de ouro e ensaios de densidade, caracterizam e individualizam unidades de metaconglomerados mineralizados.

Furo	JBS001	JBS020	JBS003	JBS004
Profundidade (m)	545	297	662	356

Tabela 1: Numeração dos testemunhos de sondagem descritos com respectiva profundidade.

A partir das descrições dos testemunhos de sondagem (Figura 6a) e utilizando critérios estratigráficos, foram selecionadas 22 amostras representativas para confecção lâminas delgadas polidas, agrupadas de acordo com seus respectivos *reefs*. A metodologia aplicada para coleta e confecção de lâminas compreendeu, em primeiro lugar a orientação do corte da amostra perpendicular à estratificação (S_0) e com prioridade para zonas com maior quantidade de matriz em detrimento de seixos nos metaconglomerados. As lâminas foram digitalizadas em scanner de bancada e interpretadas macroscopicamente para facilitar a posterior descrição petrográfica, com ênfase na individualização de seixos, matriz, estruturas e zona de potencial interesse na etapa.

Todos os testemunhos foram serrados em 4 partes simétricas, onde apenas 2/4 foram destinadas à obtenção de dados geoquímicos, 1/4 armazenada como arquivo, catalogado de acordo com sua profundidade (Figura 6b) e 1/4 para a confecção das lâminas. Os quartos de testemunhos selecionados para laminação foram polidos e fotografados para documentação e catalogação (Figura 6c). As lâminas foram digitalizadas visando descrição textural e estrutural prévias, com o objetivo de facilitar e maximizar a descrição petrográfica. Foram caracterizados elementos como matriz, dimensão e composição de seixos e estruturas (Figura 6d). A descrição petrográfica foi realizada em microscópio binocular de luz transmitida e refletida no laboratório de petrografia da Universidade Federal da Bahia, onde foram observadas: mineralogia, microestruturas (Figura 7), texturas e alterações hidrotermais.

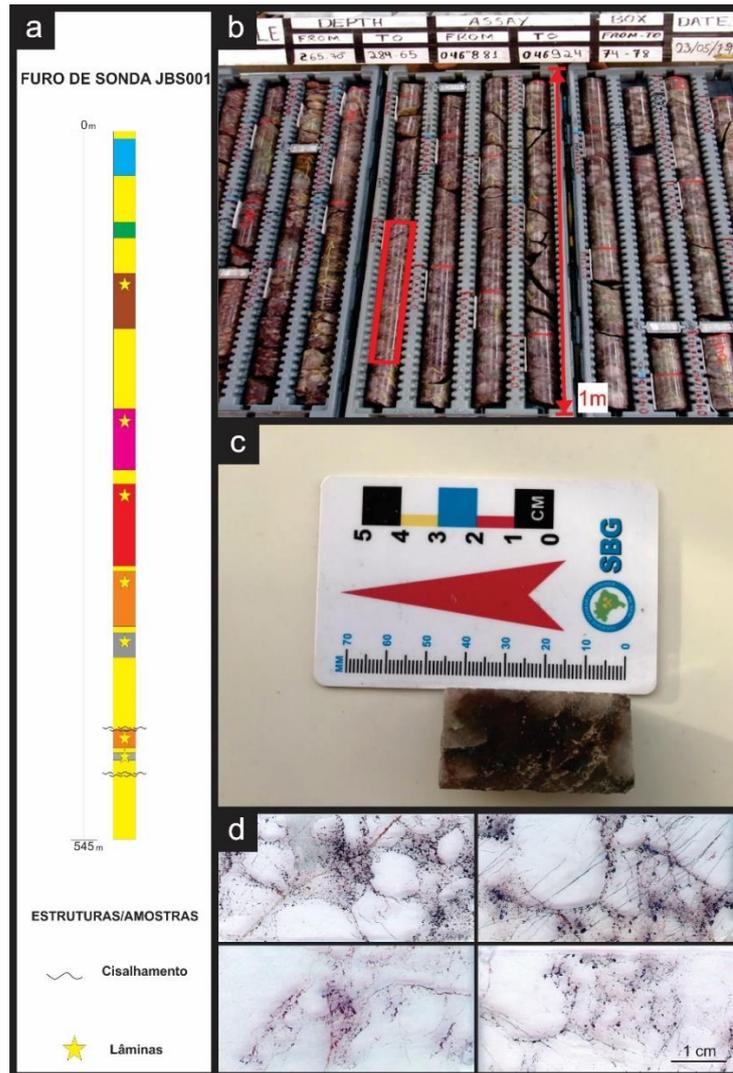


Figura 6: Metodologia aplicada para coleta e confecção de lâminas; 6a) Seção do furo de sondagem JBA01; 6b) Local da amostra retirada para laminação; 6c) Amostra de testemunho quarteada e polida; 6d) Lâminas delgadas polidas.

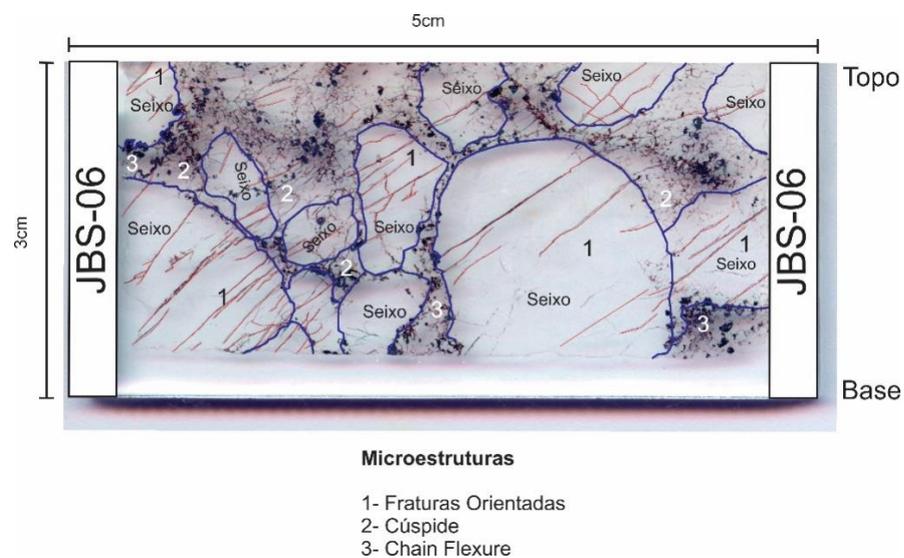


Figura 7: Lâmina digitalizada com interpretação pré-petrográfica.

Nos testemunhos de sondagem foram selecionadas 2932 amostras (Tabela 2). As técnicas empregadas para a obtenção de dados geoquímicos foram *Fire Assay* Au-AA23 e ICP-MS61, analisadas no laboratório *ALS Geochemistry*, responsável pela preparação e obtenção de valores associados às amostras. As amostras para o método ICP-MS foram preparadas através da digestão com 4 ácidos, onde amostras de 0,25g são digeridas com ácido perclórico, nítrico e fluorídrico, o resíduo é lixiviado com ácido clorídrico diluído (HClO₄- HNO₃-HF- digestão ácida, HCl lixiviação). A espectrometria de massa por plasma acoplado proporcionou dados de 48 (Tabela 3) elementos e a técnica *Fire Assay* é referente aos teores de ouro em PPM e PPB.

Utilizou-se os *softwares* Microsoft Excel e Rcmdr para tratamento estatístico dos dados geoquímicos, quando se obtiveram dados de estatística paramétrica como média, desvio padrão, máximo, mínimo e variância para cada elemento, visando a eliminação de *outliers*. Esses *outliers* mascaram possíveis anomalias verdadeiras, dificultando a correlação elementar e impossibilitando a confecção de diagramas discriminantes. Após a eliminação dos *outliers*, foram confeccionadas matrizes de correlação (R) e determinação (R²) elementares para todas as amostras restantes sem classificação, em seguida foram geradas novas matrizes para cada *reef* para identificar marcadores estatísticos que indicadores de padrões singulares a cada unidade. As amostras, classificadas de acordo com seus respectivos *reefs*, em conjunto com as suas características petrográficas, foram compiladas na tabela. Todas as amostras de unidades estratigráficas não caracterizadas como *reef* foram definidas como *Off Reef*.

	Holandês	LVLPC	LMPC	MPC	SPC	Off Reef	Total
Lâminas	3	4	6	4	5	0	22
Amostras Geoquímicas	255	323	343	233	84	1694	2932

Tabela 2: Disposição de lâminas e amostras geoquímicas por reef.

Elementos											
Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs
Cu	Fe	Ga	Ge	Hf	In	K	La	Li	Mg	Mn	Mo
Na	Nb	Ni	P	Pb	Rb	Re	S	Sb	Sc	Se	Sn
Sr	Ta	Te	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr

Tabela 3: Elementos analisados por ICP-MS

As correlações elementares obtidas através do tratamento geoestatístico classificadas (Tabela 4) como fortes ou muito fortes (R² > 0,7) serviram de critério para a seleção de

elementos relevantes para os estudos quimio-estratigráficos e construção de diagramas discriminantes. Os perfis elementais objetivam o estudo dos elementos de forma qualitativa, observando padrões comportamentais e investigação de anomalias dentro de cada unidade e foram produzidos através dos *softwares* Geosoft Target e Microsoft Excel. Os diagramas discriminantes foram confeccionados através do *software* GCDKit. Tratam-se de diagramas binários e ternários que objetivam a análise de padrões similares e contrastantes entre os *reefs* que auxiliam na caracterização das assinaturas geoquímicas dos diferentes *reefs* da Fm. Serra do Córrego.

Correlação	Muito Fraco	Fraco	Moderado	Forte	Muito Forte
Valores	0,0 - 0,19	0,2 - 0,39	0,4 - 0,69	0,7 - 0,89	0,9 - 0,99

Tabela 4: Critérios de correlação (R^2)

A construção dos diagramas elementares ocorreu de forma empírica, tendo como base diagramas propostos por Teles (2020). A partir dos estudos estatísticos e quimio-estratigráficos foram selecionados os elementos que mais se apresentaram dentre as correlações fortes ($R^2 > 0,7$) e possuem importantes variações de teor dentro da extensão dos *reefs*. Os diagramas ternários foram construídos através da análise de diagramas binários que apresentavam boas respostas e possuíam elementos em comum.

5. RESULTADOS

5.1 Petrografia

A descrição petrográfica das 22 lâminas delgadas polidas foram previamente divididas em grupos (tabela 5), tendo como critérios os *reefs* já identificados pela descrição macroscópica de testemunhos. As lâminas em geral apresentaram a mesma mineralogia, entretanto alguns grupos exibiram minerais e estruturas distintas, que auxiliaram na interpretação dos dados geoquímicos.

Grupo	Amostras
Holandês	JBS-04; JBS-19; JBS-20
LVLPC	JBS-01; JBS-05; JBS-21; JBS-22
LMPC	JBS-02; JBS-03; JBS-06; JBS-16; JBS-08; JBS-17
MPC	JBS-07; JBS-14; JBS-14; JBS-15; JBS-18
SPC	JBS-09; JBS-10; JBS-11; JBS-12; JBS-13

Tabela 5: Reefs e suas respectivas amostras.

5.1.1 Descrição petrográfica

As lâminas em geral possuem moda composta de 30-40% de seixos e 60-70% matriz. Ocorrem seixos de quartzo e de chert subordinadamente, que variam de 2 a 50mm, com discreta recristalização e ausência de feições estruturais penetrativas, envolvidos por grãos de quartzo cominuídos e levemente recristalizados. A matriz é arenosa, com grãos variando de 0,01-1,5mm, composta majoritariamente por quartzo, sendo hematita, fuchsitita e pirita os principais minerais subordinados, além de limonita. A textura predominante é granoblástica, associada principalmente aos grãos de quartzo e as vezes lepidoblástica e associada presença de fuchsitita. Ocorre também textura mortor caracterizada por seixos de quartzo envoltos por grãos também de quartzo fragmentados, suturados e recristalizados. Foram observadas venulações de quartzo em microfraturas e estruturas em cúspide associada a zonas com maior quantidade de seixos lobados e interlobados caracterizando feição geopetal com indicativo para o topo da camada, confirmada através da orientação das amostras.

Os minerais e estruturas característicos de cada *reef* serviram como base para interpretação geoquímica e foram caracterizados como exóticos. O Holandês não apresentou minerais ou estruturas exóticas, se comportando como uma unidade mineralogicamente monótona. O LVLPC apresentou grãos de rutilo, calcopirita, esfalerita, galena, arsenopirita, covelita e ouro nativo, possuindo estrutura em corrente marcada por grãos de hematita e pirita na borda dos seixos. O LMPC apresentou grãos de rutilo (Figura 8a), calcopirita, esfalerita, serpentina, covelita (Figura 8b) e ouro nativo (Figura 9a), possuindo assim como a unidade anterior, estrutura em corrente. O MPC apresentou como minerais exóticos apenas rutilo, calcopirita (Figura 9a) e esfalerita, além de estrutura em corrente. O SPC apresentou como mineral exótico apenas esfalerita, possuindo mineralogia relativamente monótona assim como o Holandês e apresentou forte oxidação nas fuchsititas (Figura 9b). A principal estrutura associada ao SPC foi a presença de microveios de quartzo aproveitando fraturas bordejados por hematita.

O conjunto de minerais e estruturas exóticos estão agrupados para melhor visualização (Tabela 6). O resultado da descrição petrográfica dos minerais encontrados nas 22 lâminas também foram agrupados (Tabela 7), com destaque para hematita, pirita e ouro nativo, possibilitando interpretações petrográficas que serviram como base para os estudos geoquímicos.

Grupo	Minerais	Texturas/Estruturas
Holandês	Não possui minerais exóticos	Não possui estruturas exóticas
LVLPC	Rutilo; Calcopirita; Esfalerita; Galena; Arsenopirita; Covelita e Ouro nativo	Estrutura em corrente
LMPC	Rutilo; Calcopirita; Esfalerita; Serpentina; Covelita; Ouro nativo	Estrutura em corrente
MPC	Rutilo; Calcopirita; Esfalerita;	Estrutura em corrente
SPC	Esfalerita	Veio de quartzo bordejado por hematita

Tabela 6: Minerais e estruturas exóticos

Mineral	Descrição Microscópica
Quartzo	Incolor, subidioblástico a xenoblástico, variando de 0,01-1,5mm, extinção ondulante, contato serrilhado a suturado com todos os minerais
Hematita	Ocorre de duas formas: 1) Opaca, vermelha em luz refletida, granular, xenoblástica, variando de 0,01-0,4mm, presente em interstícios nos agregados e preenchendo fraturas, reagindo para limonita nas bordas, contato interlobado entre si e grãos de quartzo, fuchsite, pirita, rutilo, esfalerita, serpentina e ouro; 2) Opaca, cinza em luz refletida, granular, subidioblástico a idioblástico, contato reto a interlobado entre si e grãos de quartzo, fuchsite, goethita e limonita.
Fuchsite	Hábito lamelar, xenoblástica, variando de 0,01-0,5mm, estrutura lepidoblástica, reação para limonita nas bordas, contato suturado a interlobado entre si e grãos de quartzo, hematita, pirita e rutilo.
Pirita	Ocorre de três formas: 1) Opaca, cinza em luz refletida, granular, xenoblástica a subidioblástica, variando de 0,01-0,5mm, presença de sulcos preenchidos majoritariamente por limonita e pequenas inclusões de quartzo, possuindo padrão levemente arredondado; 2) Opaca, cinza em luz refletida, granular, xenoblástica a subidioblástica, variando de 0,01-0,3mm, maciça possuindo padrão levemente arredondado; as formas 1) e 2) possuem contato interlobados entre si e grãos de quartzo, hematita, fuchsite, rutilo e limonita; 3) Opaca, cinza platinada em luz refletida, cúbica, subidioblástica a idioblástica, variando de 0,01-0,1mm, maciça. Possui relação de contato reto a interlobado entre si e grãos de quartzo, hematita, fuchsite e limonita. Todas as formas apresentaram pontos de reação nas bordas associados a limonita.
Clorita	Verde a verde escura, hábito micáceo, xenoblástica, variando de 0,01-0,1mm, preenchendo interstícios na matriz, contato interlobado a serrilhado entre si e grãos de quartzo, calcopirita e serpentina.
Rutilo	Castanho, granular, subidioblástico, variando de 0,001-0,01mm, de maneira isolada na matriz ou em agregados de hematita alterada/limonita. Contato interlobado a reto com quartzo, hematita, pirita e limonita
Calcopirita	Opaco, tons de cinza-amarelados em luz refletida, granular, subidioblástico, com grãos que variam de 0,001-0,01mm, associado a zonas de alta oxidação/argilização de hematitas, próximos a grãos de pirita, esfalerita, galena, arsenopirita e ouro nativo, sem contato direto com estes, com pontos de reação para covelita e limonita. Contato reto a interlobado com quartzo, hematita e covelita.
Esfalerita	Incolor, levemente acastanhado, subidioblástico, variando de 0,001-0,04mm, associado a zonas de alta oxidação/argilização de hematitas, próximo a grãos de pirita, calcopirita, galena, arsenopirita e ouro nativo, sem contato direto com estes. Contato reto a interlobado com grãos de quartzo e hematita.
Galena	Opaco, cinza em luz refletida, granular, xenoblástico, variando de 0,01-0,03mm, associado a zonas de alta oxidação/argilização de hematitas, próximo a grãos de pirita, calcopirita, galena, arsenopirita e ouro nativo, sem contato direto com estes, reagindo para limonita nas bordas. Contato interlobado com grãos de quartzo e hematita.
Arsenopirita	Opaco, prateado em luz refletida, prismático, subidioblástico a xenoblástico, variando de 0,001-0,01mm, associado a zonas de alta oxidação/argilização de hematitas, próximo a grãos de pirita, calcopirita, esfalerita, galena e ouro nativo, sem contato direto com estes. contato interlobado a suturado com grãos de quartzo e hematita.
Covelita	Opaco, xenoblástico, variando de 0,0005-0,002mm, proveniente de reação em grãos de calcopirita. Contato interlobados com grãos de quartzo, hematita e calcopirita.
Serpentina	Verde, fibrosa, variando de 0,001-0,01mm, ocorre de maneira isolada na matriz, próximo a zona fraturada, com reação associada a clorita. Contato interlobado com grãos de quartzo, hematita e clorita.
Ouro	Opaco, amarelo em luz refletida, variando de 0,0005-0,001mm, arredondado, associado a zonas de alta oxidação, associado a zonas de alta oxidação/argilização de hematitas, próximo a grãos de pirita, calcopirita, esfalerita, galena e arsenopirita. Contato interlobado com quartzo e hematita.
Limonita	Castanho-avermelhado, amorfa, xenoblástica, submilimétrica, produto de reação de hematita, fuchsite, pirita, calcopirita e galena.

Tabela 7: Descrição petrográfica dos minerais

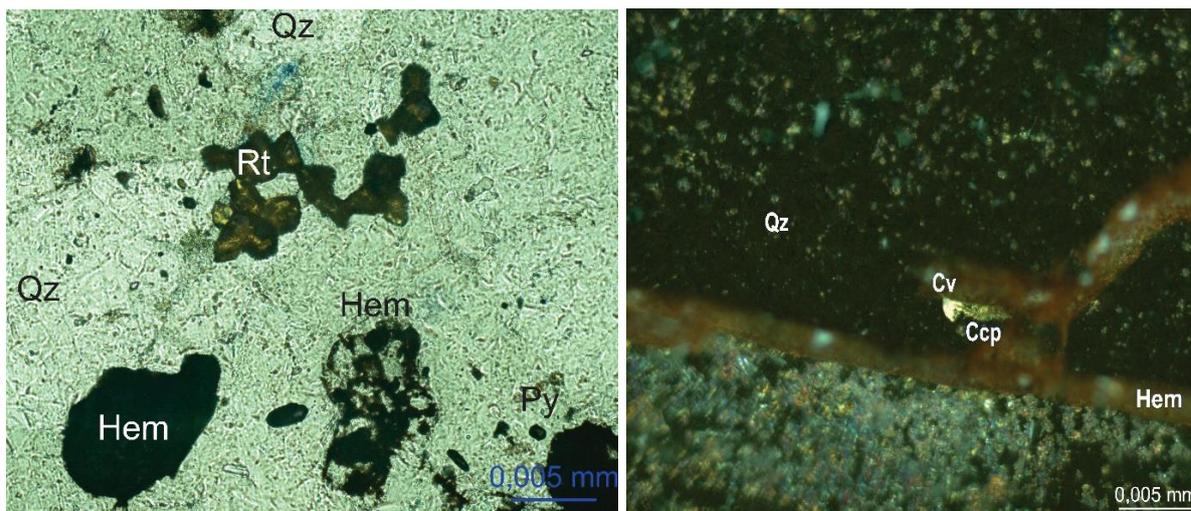


Figura8: 8a) Rutilo em meio a matriz quartzosa, com hematita e pirita na vizinhança observado em luz plana; 8b) Calcopirita sendo alterada para covelita, bordejada por fratura preenchida por quartzo e hematita.

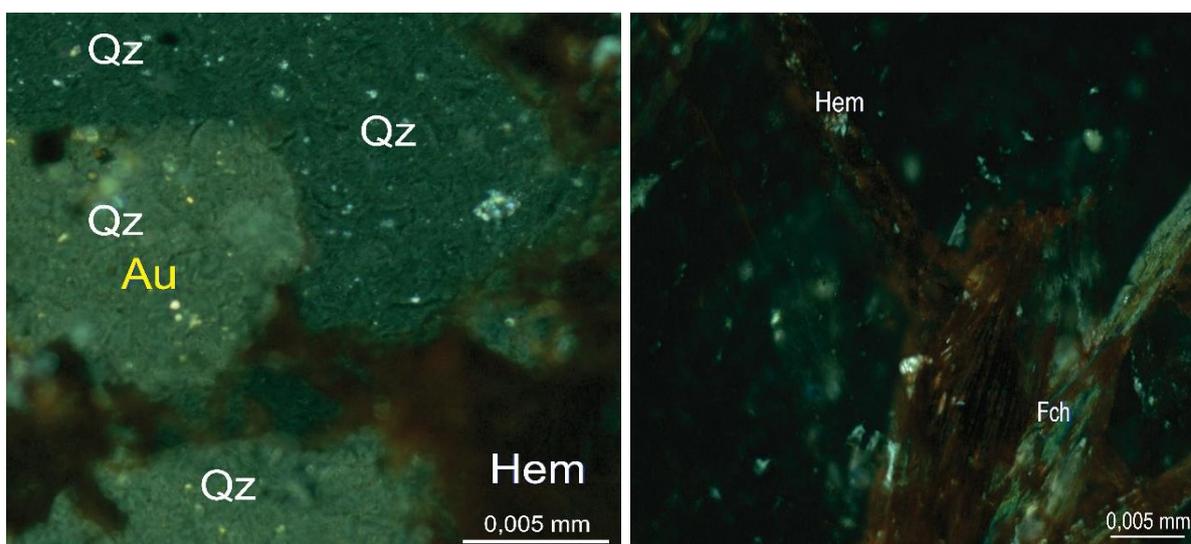


Figura 9: 9a) Ouro detrítico com feições arredondadas em meio a matriz quartzosa envolta por agregado de hematita; 9b) Fuchsite sofrendo processo de oxidação; 9b)

5.2 Geoquímica

5.2.1 Geoestatística

Os dados obtidos através da análise por ICP-MS necessitaram de tratamento estatístico devido a grande quantidade de amostras e principalmente devido a presença de diferentes litologias. Amostras de rochas máficas e ultramáficas, assim às de xistos, apresentavam valores destoantes quando comparados aos metaconglomerados e quartzitos da Formação Serra do

Córrego, com valores 5 a 100 vezes maiores em elementos importantes nos estudos subsequentes como Berílio, Chumbo, Cobalto, Cromo, Cobre, Estrôncio, Escândio, Fósforo, Gálio, Háfênio, Níquel, Rubídio, Urânio, Vanádio e Zinco.

A diferença de escala apresentada entre os valores das amostras da Formação Serra do Córrego e de rochas máficas, ultramáficas e xistos impossibilitava a construção de padrões confiáveis, gerando correlações elementares com baixo grau de correlação estatística. Em virtude disso, as amostras dos três litotipos citados acima foram caracterizados como *outliers* e retiradas do estudo.

Após a retirada dos *outliers*, as respostas estatísticas obtiveram melhor desempenho, evidenciando correlações estatísticas mascaradas pelos valores em diferentes escalas. Foram obtidos valores relevantes ($R^2 > 0,7$) para amostras do Conglomerado Superior englobando todas as unidades estratigráficas. Em seguida foram obtidas correlações para cada *reef* buscando a identificação de marcadores estatísticos (Tabela 8), que serviram como filtro para escolha dos elementos abordados na quimio-estratigrafia.

Grupo	Correlação Muito Forte		Correlação Forte							
Conglomerado Superior	Rb x K		Al x Ga	P x Ce	P x La	Sc x Ga	Ta x Nb	Ag x W	Zr x Hf	
			La x Sc							
Holandês	La x Ce	Zr x Hf	Mg x Ca	Na x La	Na x Li	Pb x As	Pb x Cr	Pb x P	Th x Bi	
			Cr x U	Cr x V	U x P	U x Hf	U x Cr	V x Cr	V x Ca	
			V x P	Y x La	Zr x Th	Zr x U	Ti x Nb	Sc x Ga	Ta x Nb	
			Cr x As	Sr x Pb	U x Sr	P x La	Sr x As	Ag x Cd	Cr x Bi	
			P x La	P x Ce	Pb x Bi	U x Pb	Th x Pb	Sr x P	U x Th	
			V x Sc							
LVLPC	La x Ce	Zr x Hf	P x Be	As x Se	K x Tl	V x P	Sc x Ga	Ta x Nb	Ag x Cd	
			Cr x Bi	P x La	P x Ce	V x Sc	Al x Ga			
LMPC	La x Ce	Ta x Nb	Ti x Nb	Be x Ce	Be x Cs	Be x Ga	Ga x Cs	Be x La	Mg x Ni	
			Be x Sc	Al x Sc	Y x Ga	Be x Y	Sc x Ga	P x Ce	Sr x P	
			U x Th	Al x Cs	Y x Sc	Ti x Ta				
MPC	La x Ce	Zr x Hf	Ti x Nb	K x Al	K x Cs	Rb x Al	Zn x Co	Pb x Bi	U x Pb	
	Rb x Cs	Ag x Cd								
	Se x S	As x U	Th x Pb	Sr x P	U x Th	Al x Ga	Al x Cs	Y x Sc		
	U x Cr									
SPC	La x Ce	Ta x Nb	Ti x Nb	Sc x Ga	Ta x Nb	Fe x Ga	As x Hf	Hf x Cr	La x Ga	
			La x Ge	As x Nb	Nb x Cr	Nb x Hf	Ni x Cs	P x Ga	Nb x P	
			S x Cr	Hf x S	S x Nb	Sb x Bi	Sc x Be	Sc x Fe	Sc x Ga	
			Sc x P	Se x Nb	Se x Hf	Se x Cr	Ta x As	Ta x Cr	Ta x Hf	
			P x Ta	Ta x S	Te x Sr	Te x S	Te x Pb	Te x Cr	Te x As	
			Th x Sr	Ti x Sc	Ti x P	Ti x La	Ti x Ga	Ti x Fe	U x Nb	
			U x S	U x Se	U x Ta	U x Te	V x Bi	Zn x Cu	Cr x As	
			Sr x Pb	U x Sr	P x La	Sr x As	Pb x Bi	U x Pb	Th x Pb	
			V x Sc		Al x Ga		Ti x Ta			

Tabela 8: Correlações estatísticas.

5.3.2 Caracterização geoquímica

A análise geoestatística dos elementos permitiu identificar padrões característicos no Conglomerado Superior, que variam desde parâmetros com ocorrência em todas as unidades a comportamentos singulares a determinados *reefs*. Em geral as amostras apresentam padrões geoquímicos similares, quando analisadas através de diagramas discriminantes, possuindo valores semelhantes e alto grau de correlação entre si. Este comportamento foi interpretado como *trend* geoquímico primário associado ao Conglomerado Superior da Fm. Serra do Córrego, demonstrado pelos diagramas K x Rb (Figura 10a), La x Ce (Figura 10b), Ta x Nb (Figura 10c) e Zr x Hf (figura 10d). As amostras da Formação Serra do Córrego apresentaram forte correlação entre os elementos Ag e W ao serem analisadas sem filtragem por grupos, após a filtragem identificou-se que este comportamento não se repete em nenhum dos 5 *reefs*, indicando que a esta correlação elementar ocorre de forma mais expressiva nas unidades quartzíticas.

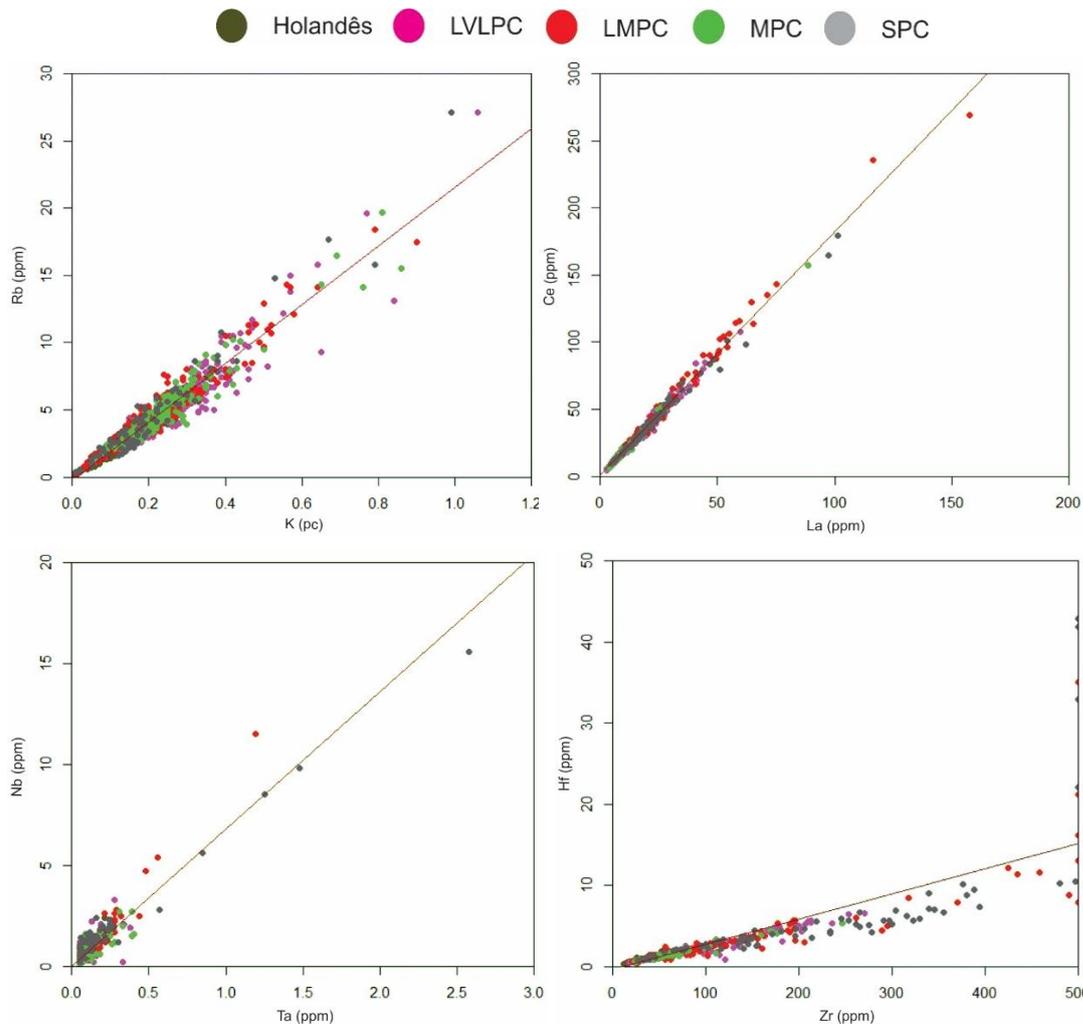


Figura 10: Diagramas geoquímicos binários: 10a) Diagrama K x Rb; 10b) Diagrama La x Ce; 10c) Diagrama Ta x Nb; 10d) Diagrama Zr x Hf

As amostras do Conglomerado Superior apresentam comportamento similar, entretanto cada *reef* possui particularidades associadas, que variam desde correlações estatísticas particulares, comportamento quimioestratigráfico específicos e concentrações elementares discrepantes quando associadas às outras unidades. O enquadramento dos *reefs* segundo o *trend* primário somado às suas especificidades caracterizam suas assinaturas geoquímicas.

5.3.2 Estudos estatísticos elementais dos reefs.

Holandês reef

O Holandês possui muitas correlações fortes (38), compostas principalmente pelos elementos As, Bi, La, P, Pb, Sr, Th, U e V, com ausência de elementos siderófilos e grande contribuição de elementos litófilos.

Quimio-estratigraficamente, o Bi se comporta como possível elemento farejador da mineralização aurífera, com variações de teor concordantes com ouro de acordo com sua posição estratigráfica e profundidade nos testemunhos de sondagem (Figura 11). Os elementos Co, Cr, Cu, Ga, Hf, Mo, Ni, P, Pb, Sr, Th, U e V possuem comportamento similar por toda extensão do Reef Holandês (Figura 12), com forte anomalia positiva no topo do reef.

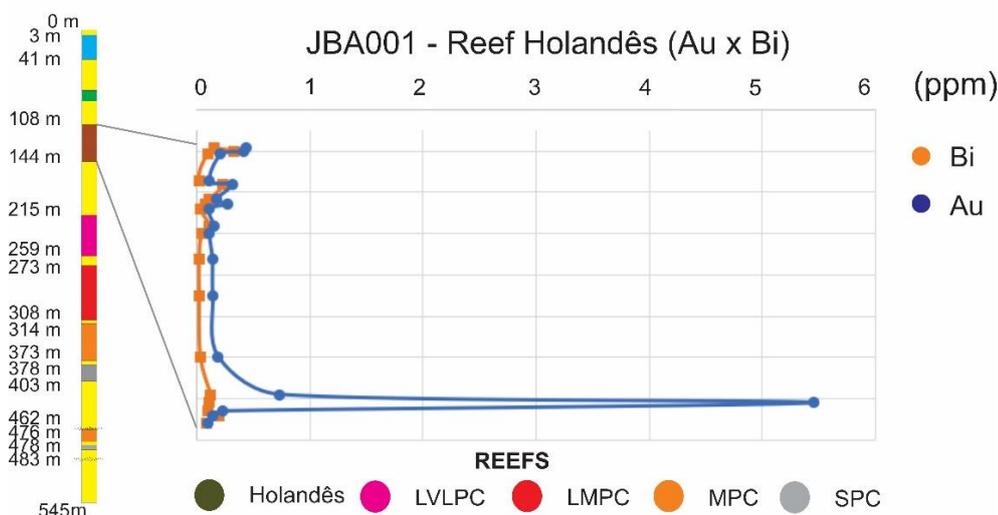


Figura 11: Gráfico Quimio-estratigráfico relacionando Au e Bi no Reef Holandês

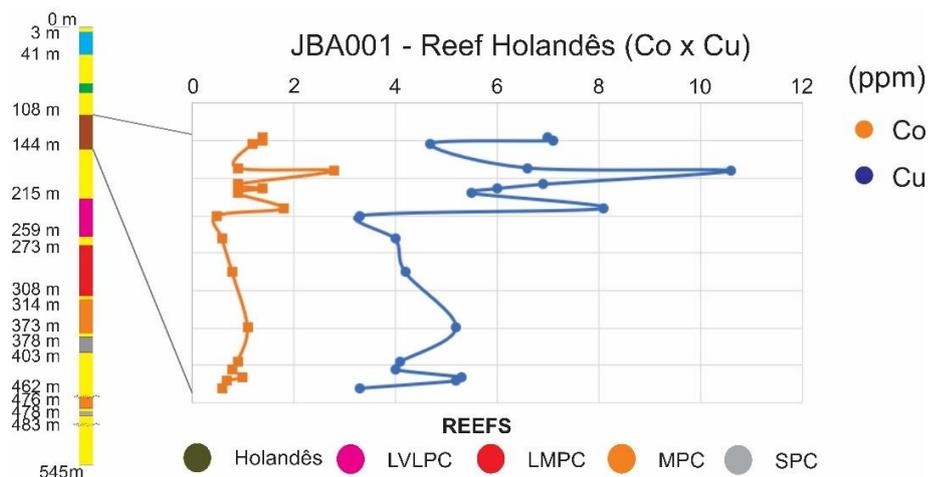


Figura 12: Gráfico Químio-estratigráfico relacionando Co x Cu no Reef Holandês

LVLPC reef

O LVLPC apresenta 14 correlações relevantes, composta principalmente pelos elementos Be, K, P, Se, Tl, e V, com relativo equilíbrio entre elementos litófilos e calcófilos, associada a presença de pirita, calcopirita, arsenopirita e covelita.

Químio-estratigraficamente, o Be se comporta como possível elemento farejador da mineralização aurífera, com variações de teor concordantes com as apresentadas pelo ouro de acordo com sua posição estratigráfica e profundidade nos testemunhos de sondagem (Figura 13). Os elementos Co, Cr, Cu, Hf, K, Ni, P, Te, Th, Tl, U e V (Figura 14) assim como no Holandês, possuem comportamento similar por toda extensão do LVLPC, com forte anomalia positiva no topo do reef, e pequenas anomalias positivas na zona intermediária e na base desta unidade.

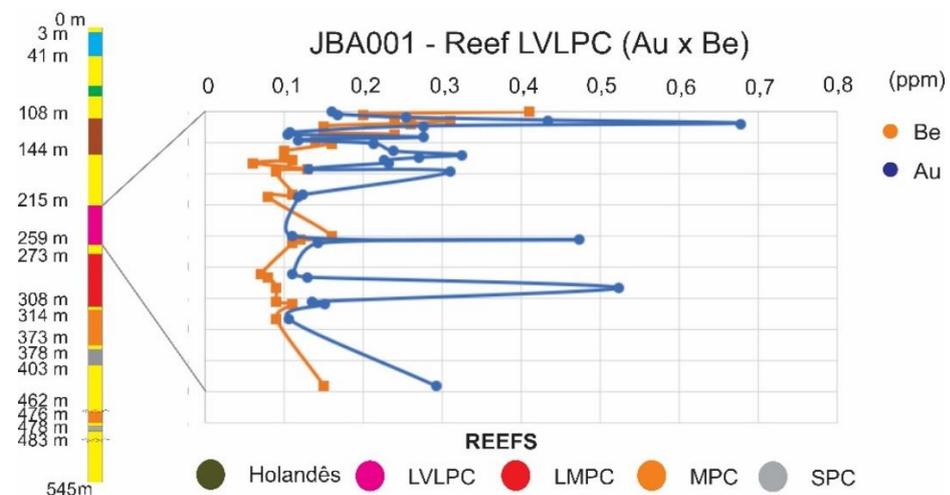


Figura 13: Gráfico Químio-estratigráfico relacionando Au x Be no Reef LVLPC

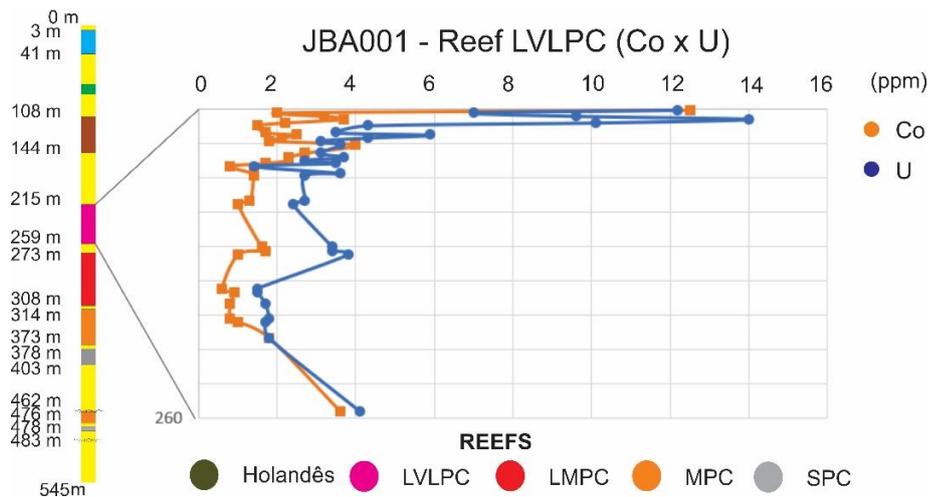


Figura 14: Gráfico Químio-estratigráfico relacionando Co x U no Reef LVLPC

LMPC reef

Foram identificadas 20 correlações estatísticas relevantes no LMPC, compostas principalmente pelos elementos Be, Ce, Ga, La, Ni e Sc com forte contribuição de elementos litófilos tendo Ga e Ni como exceções.

Químio-estratigraficamente, As e Zn possuem comportamento diferenciado quando comparado às outras unidades, onde os maiores teores se concentram no topo dos *reefs* (Figura 15). No LMPC os maiores teores de As e Zn se encontram na zona intermediária e na base (Figura 16) sendo este um importante marcador do LMPC. Assim como no LVLPC, o Be se comporta como elemento farejador, os elementos Ce, Cd, La e Sc possuem anomalias positivas e negativas de forma alternada, principalmente na zona intermediária do *reef*, sendo este outro importante marcador químioestratigráfico da unidade.

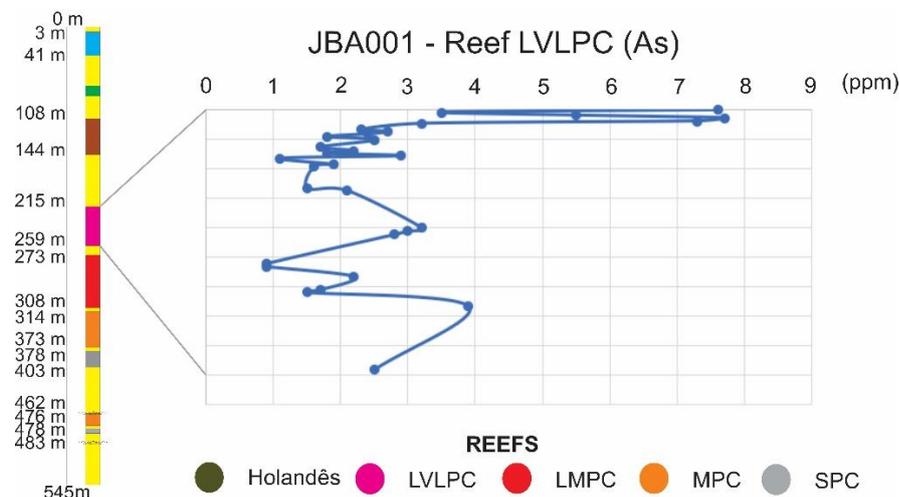


Figura 15: Gráfico Químio-estratigráfico com o comportamento do As no LVLPC

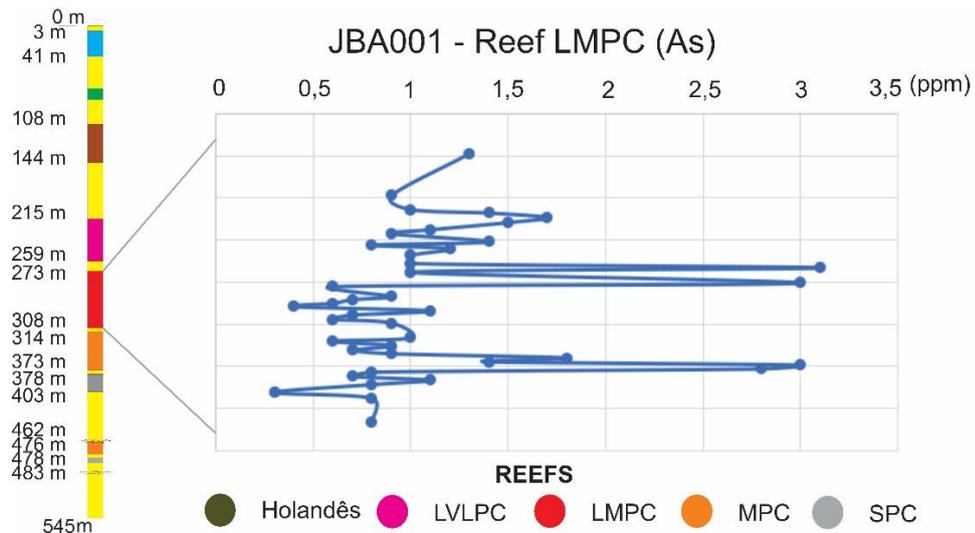


Figura 16: Gráfico Químio-estratigráfico com o comportamento do As no LMPC

MPC reef

O MPC assim como o LMPC possui 20 correlações relevantes, entretanto se destaca estatisticamente por apresentar sete correlações muito forte, o que não ocorre nas demais unidades com relativo equilíbrio entre elementos litófilos e calcófilos associada a presença de calcopirita.

Químio-estratigraficamente Ag, Al, As, Co, Cs, K, La e Rb apresentam anomalia positiva no topo do reef e exibe menores valores na zona intermediária, com novo crescimento na zona de base do MPC (Figura 17). Não foram identificados padrões para os elementos Cd, S, Se e Zn devido a forma errática em que se apresentaram espacialmente.

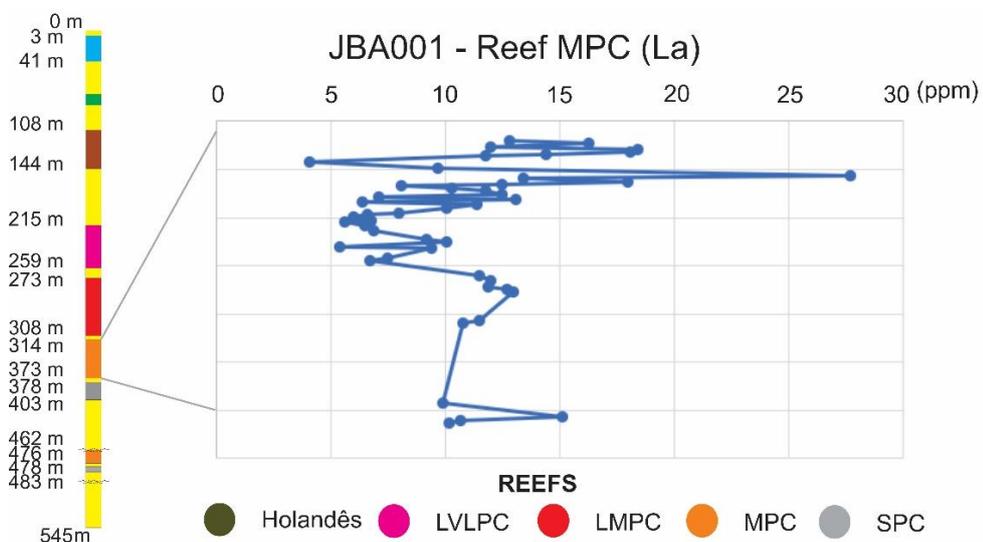


Figura 17: Gráfico Químio-estratigráfico com o comportamento do La no MPC

SPC reef

O SPC é o reef que possui maior quantidade de correlações relevantes ($R^2 > 0,7$) totalizando 61, compostas em sua maioria pelos elementos As, Cr, Ga, Hf, Nb, P, Pb, Sc, Sr, Ta, Te, Ti e U, apresentando o maior número de elementos siderófilos dentre as unidades.

Químio-estratigraficamente os elementos As, Cr, Sc não possuem padrão definido comportando-se de forma errática, diferente dos outros reefs. Be se comporta como possível elemento farejador da mineralização aurífera, com variações concordantes com as apresentadas pelo ouro. Co, Hf, Ni, apresentam anomalia positiva mais pronunciada no topo do reef, seguidas de aumentos menos pronunciados na zona de base, intercalando com pequenas anomalias negativas (Figura 18).

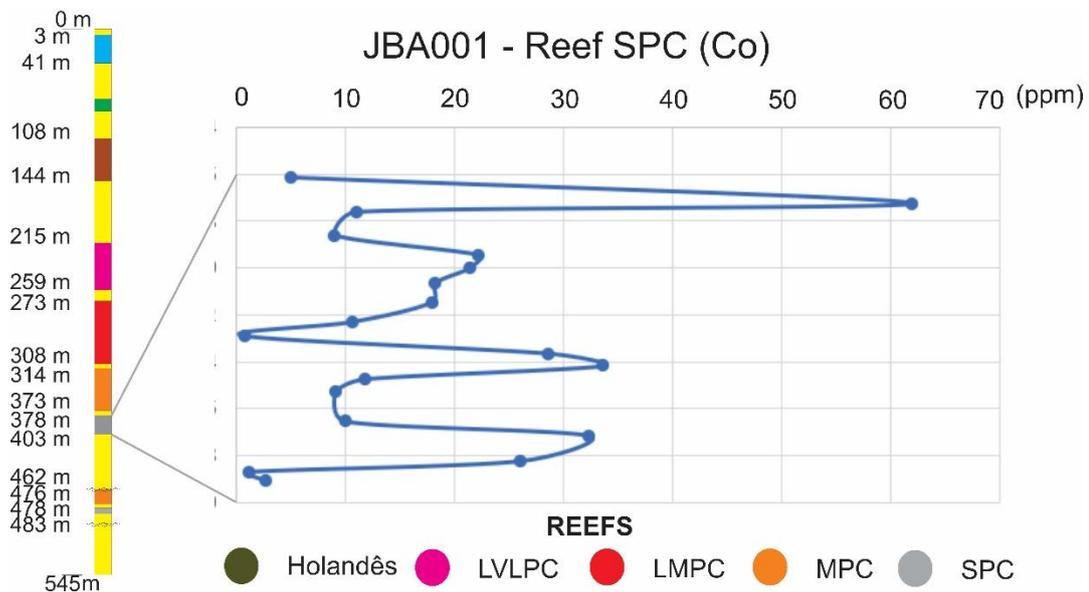


Figura 18: Gráfico Químio-estratigráfico com o comportamento do Co no SPC

5.3.3 Diagramas elementares

A análise de diagramas binários, além do *trend* primário, também apresentou características distintas entre os Reefs. O elemento Ag apresentou os maiores teores no MPC, enquanto altos valores de Cd são associados ao LMPC (Figura 19a). Os elementos As e U apresentaram os altos teores no LVLPC, entretanto as amostras não se correlacionam entre si, indicando diferentes fontes (Figura 19b). O elemento Ga apresentou altos teores nos reefs LMPC e SPC, com destaque para boa correlação e altos teores quando associado ao elemento SC no LMPC

(Figura 19c). Foi verificada dispersão de amostras de U no LVLPC, com teores de extremamente elevados, com valores destoantes dos outros *reefs* (Figura 19d).

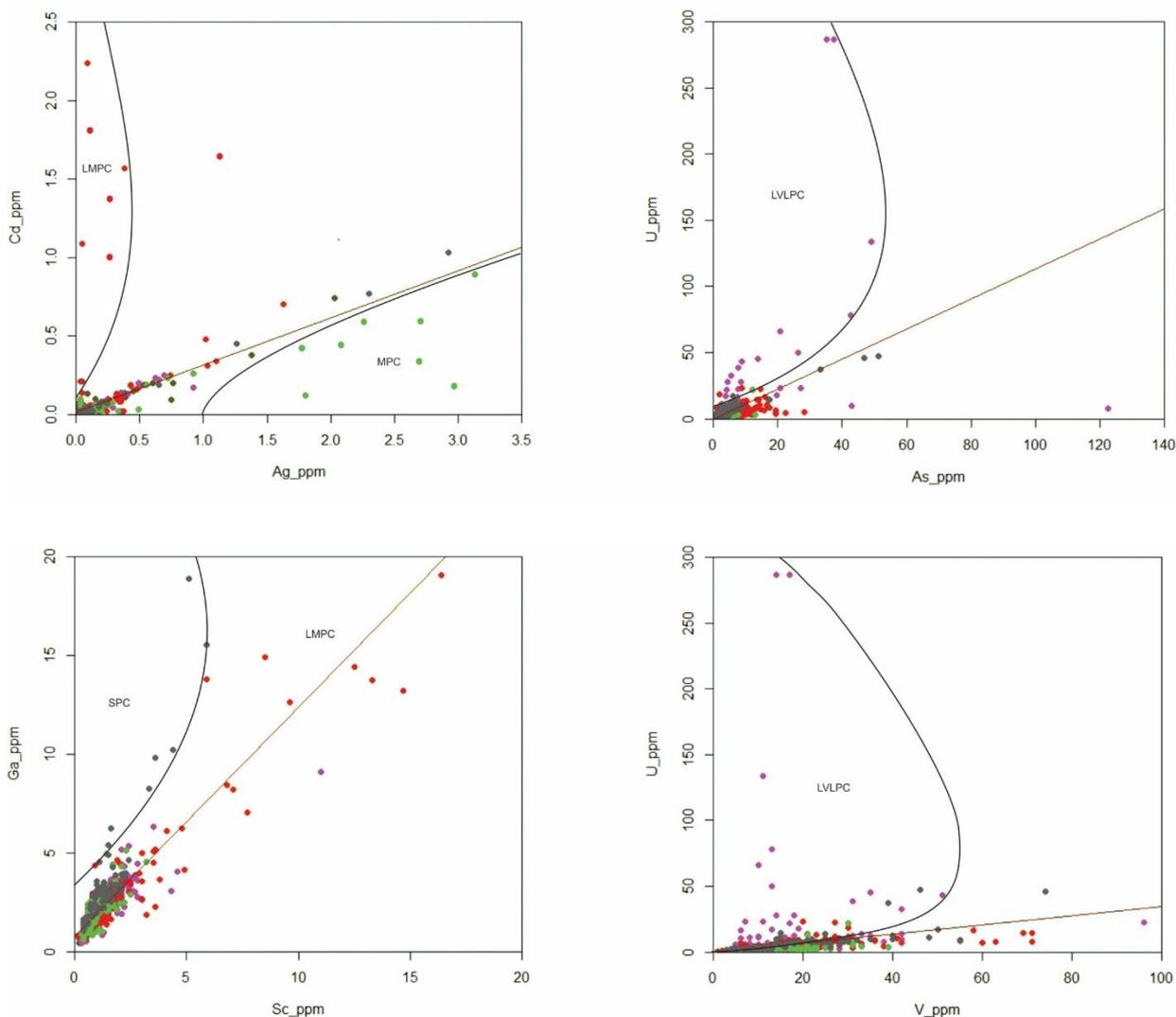


Figura 19: Diagramas geoquímicos discriminantes binários: 19a) Diagrama Ag x Cd; 19b) Diagrama As x U; 19c) Diagrama Sc x Ga; 19d) Diagrama V x U.

A construção dos diagramas ternários teve como base a análise dos diagramas binários que apresentaram respostas estatisticamente satisfatórias e possuíam elementos em comum, tais como Ag, Be, Co, Cu, Ga, Hf, Ni e Zn.

O elemento Au não apresentou boas correlações estatísticas com nenhum elemento analisado. O diagrama Au x Ag x Be foi construído através da conhecida relação Au x Ag e o comportamento do Be como elemento farejador nos *reefs* LVLPC, LMPC e SPC, analisado através da quimio-estratigrafia (Figura 20). Nele podemos observar que os melhores teores de Au estão associados ao LMPC, seguidos do MPC e LVLPC na região de João Belo Sul. As

unidades Holandês e SPC apresentaram os menores teores, onde se destaca o alto teor de Be nas amostras do SPC.

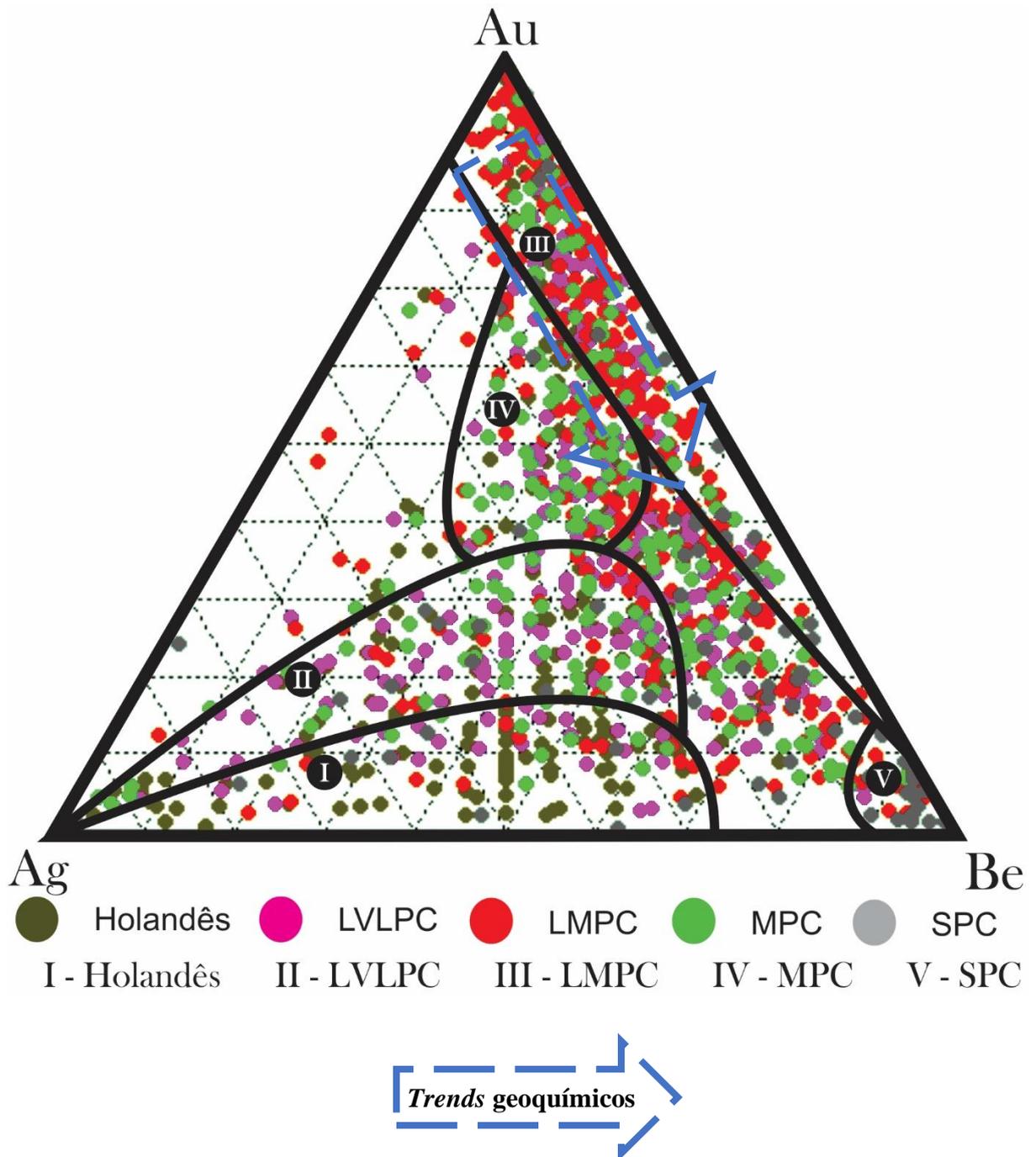


Figura 20: Diagrama Au x Ag x Be

O diagrama As x Bi x Co (Figura 21) estabeleceu campos bem definidos para as amostras em meio a grande dispersão decorrente da grande quantidade de amostras analisadas. Através deste diagrama pode-se observar que o Holandês possui baixa afinidade com elemento Co. O campo do LVLPC demonstra o relativo equilíbrio dentre estes elementos ocupando a porção

central do diagrama, com leve afinidade para Co e Ni, mesmo esta unidade possuindo os maiores teores de As. O LMPC, assim como o Holandês possui baixos teores relativos de Co, com relativo equilíbrio entre os elementos As e Ni. O MPC demonstra maior afinidade com o elemento Ni, com baixos teores de As e Co. A unidade SPC apresentou pouquíssima afinidade com o As, comportamento esperado devido aos baixos teores e ausência de padrão quimioestratigráfico. Em contrapartida diferentes grupos de amostras apresentaram altos teores relativos de Ni junto a amostras do LVLPC e Co junto a amostras do LMPC.

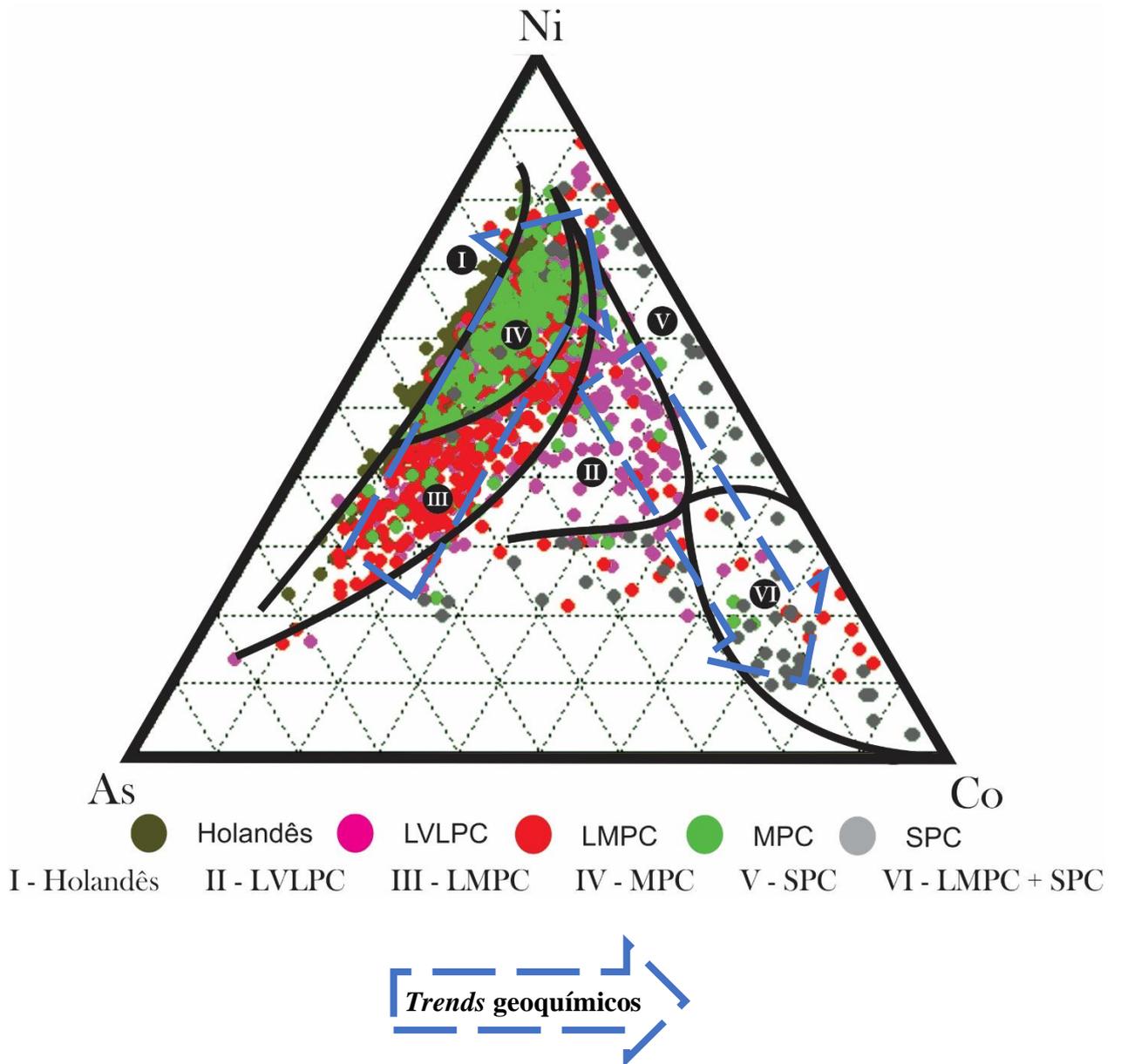


Figura 21: Diagrama As x Ni x Co

O diagrama Cu x Co x Zn (Figura 20c) apresentou maior dispersão que o anterior, entretanto nele é reafirmada a baixa afinidade do Holandês com o elemento Co. Além disso o LVLPC apresenta grande afinidade com os elementos Co e Cu e baixa afinidade com Zn. O LMPC apresenta dois grupos de amostras, um com relativo equilíbrio entre os elementos, apresentando alta dispersão em meio a nuvem de pontos e outro com alta afinidade com o elemento Zn e baixos teores relativos de Co e Cu, reafirmando a tendência observada no diagrama As x Bi x Co. Outra tendência reafirmada por este diagrama é o baixo valor relativo de Co no MPC, com relativo equilíbrio entre Cu e Zn.

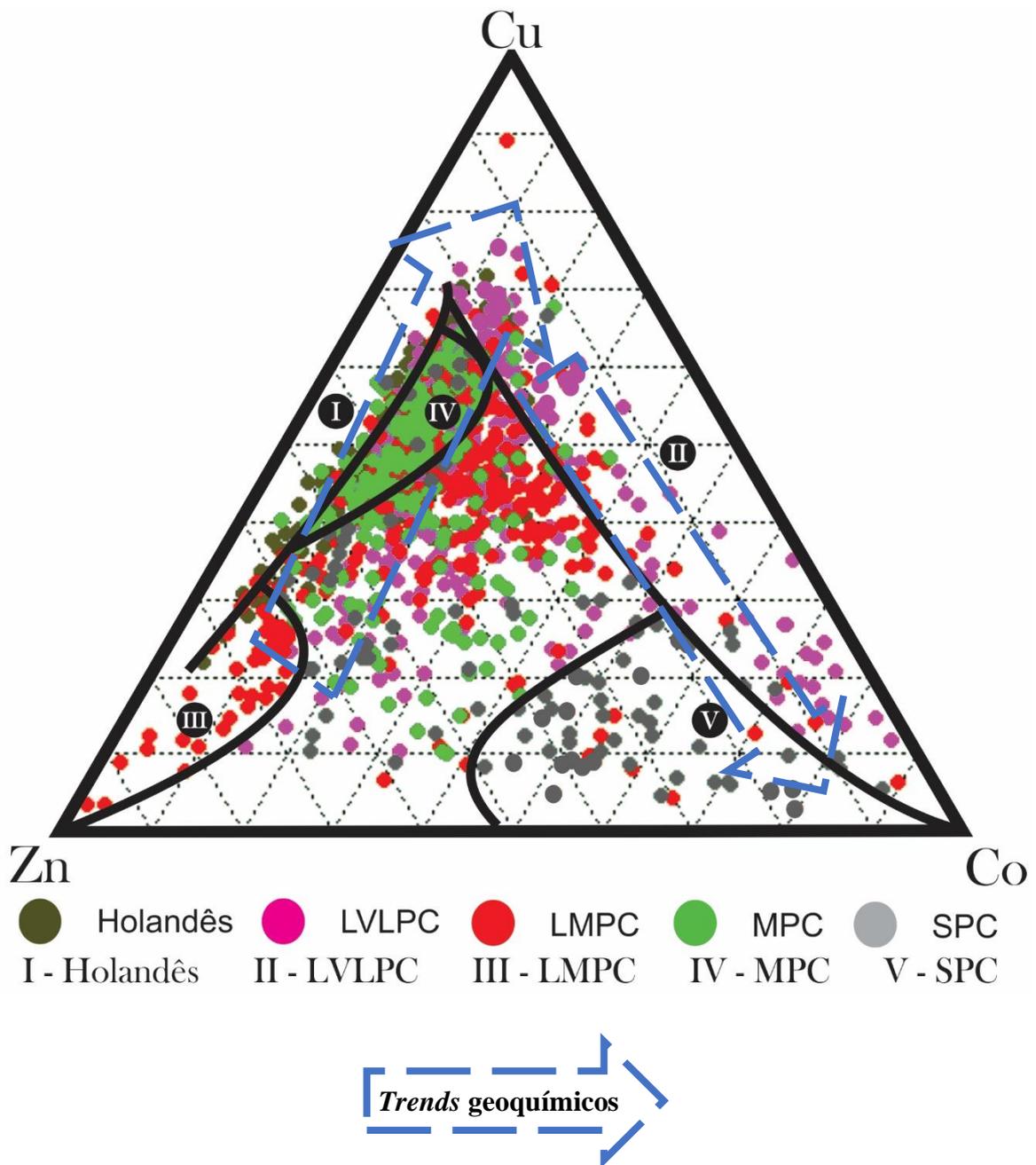


Figura 22: Diagrama Co x Cu x Zn

O diagrama As x Ga x Hf (Figura 20d) apresentou menor dispersão dentre os diagramas ternários com campos de amostras bem definidos. O Holandês apresentou pouca afinidade com o Hf, assim como a tendência indicada para Co. O LVLPC apresentou grande afinidade com As, reforçado pelos altos teores deste elemento nesta unidade, com baixa afinidade para os elementos Ga e Hf. O LVLPC apresentou grande afinidade com As, reforçado pelos altos teores deste elemento nesta unidade, com baixa afinidade para os elementos Ga e Hf. O LMPC também possui alta afinidade com o As, entretanto ocorre de forma menos pronunciada e afinidade relativamente maior com os elementos Ga e Hf quando comparado ao LVLPC. A unidade MPC apresenta equilíbrio entre os três elementos, ocupando a porção central do diagrama, entretanto nota-se uma leve tendência para os elementos As e Ga, similar ao SPC que também apresenta tal equilíbrio, porem este apresenta maior afinidade com o elemento Hf.

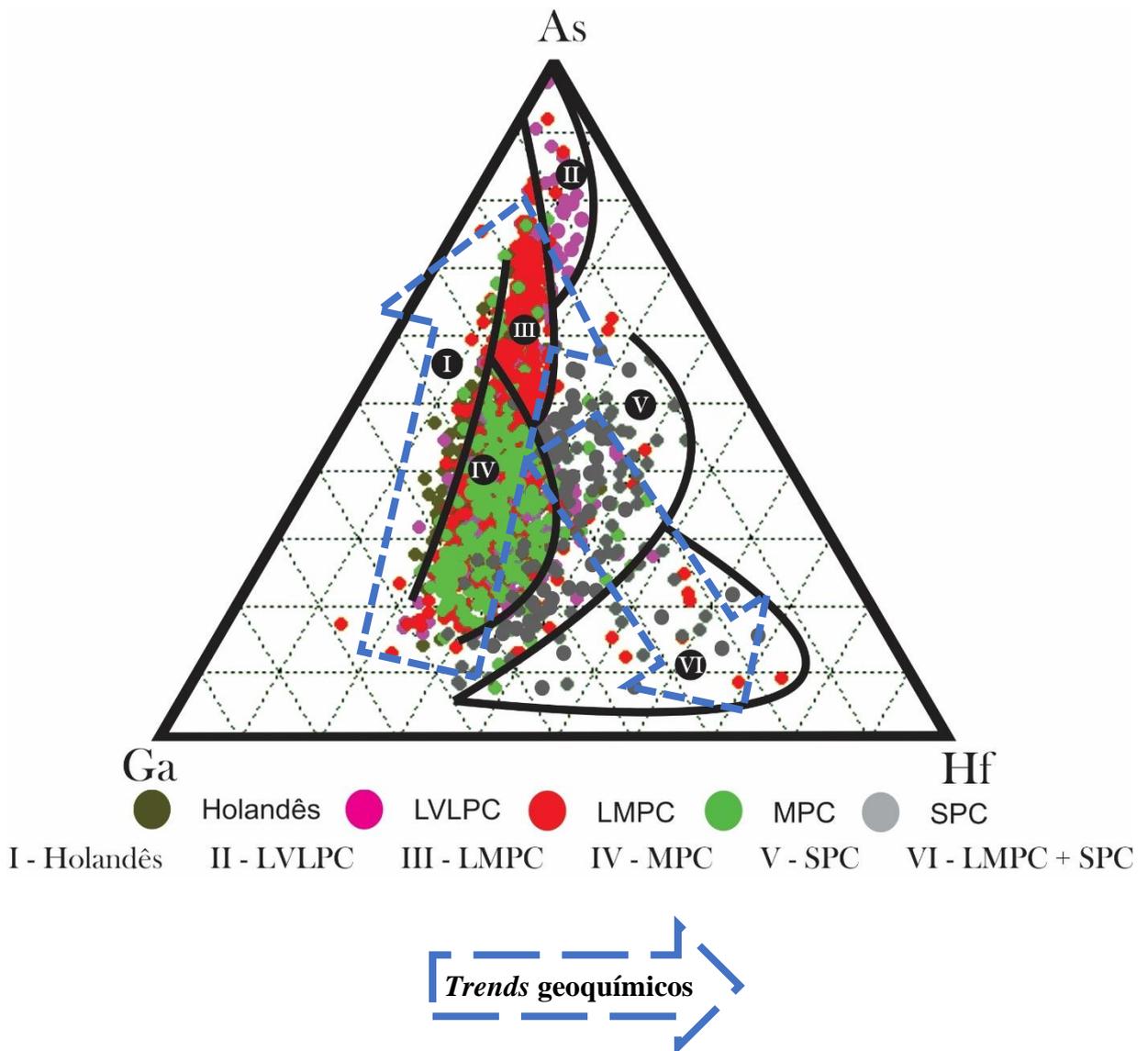


Figura 23: Diagrama As x Ga x Hf

6. DISCUSSÕES

A descrição macroscópica de testemunhos de sondagem garante dados com boa confiabilidade para definição dos *reefs* estudados, servindo como base para todo o estudo petrográfico e geoquímico, entretanto em zonas com menor quantidade de informação proveniente deste método, como em João Belo Sul, a identificação dos *reefs* se torna menos acurada. A utilização de dados geoquímicos proporciona o estudo de novas variáveis associadas a cada unidade, adicionando confiabilidade aos modelos geológicos.

Através da petrografia foi possível definir a mineralogia presente no Conglomerado Superior, de acordo com os *reefs*, com foco na matriz e microestruturas. Foi identificado que os minerais singenéticos são quartzo, pirita, rutilo, esfalerita e ouro, os minerais epigenéticos são serpentina, clorita, fuchcita, calcopirita, arsenopirita, galena, hematita, covelita, pirita e esfalerita, com destaque para pirita e esfalerita que possuem formas de ocorrência em ambos os grupos. Através de relações minerais e estruturas, as alterações hidrotermais foram datadas relativamente, onde a destaca-se a sericitização, seguida da sulfetação. Por fim oxidação sobrepõe todas as alterações hidrotermais.

De acordo com características microscópicas observadas, foi possível identificar e distinguir paragêneses singenéticas e epigenéticas. Os minerais singenéticos, neste caso detríticos, possuem feições arredondadas devido a abrasão durante o transporte em ambiente primário de deposição do placer. Os minerais epigenéticos foram divididos de acordo com suas respectivas alterações hidrotermais, respectivamente sericitização, sulfetação e oxidação dispostas de acordo com as idades relativas e as paragêneses (Tabela 9). Serpentina e clorita são associadas a metamorfismo de contato provenientes das rochas máficas e ultramáficas colocadas em planos de falha presentes na região. A sulfetação é marcada pelos minerais pirita, calcopirita, arsenopirita, esfalerita e galena, associada principalmente aos *reefs* com melhores teores auríferos, indicando relação direta com a mineralização. A fuchcita é proveniente de alteração sericítica, seguida da oxidação, marcada pela hematita, covelita e limonita, que se sobrepõe a todas as alterações anteriores.

Grupo	Disposição na Amostra	Minerais Detríticos					Paragênese Hidrotermal										
							Metassomatismo		Fuchszitização	Sulfetação					Oxidação		
		Quartzo	Pirita	Rutilo	Esfalerita	Ouro	Serpentina	Clorita		Pirita	Calcopirita	Arsenopirita	Esfalerita	Galena	Hematita	Covelita	Limonita
Holandês	Seixo	x															
	Matriz	84%	<1						6%	<1					8%		2%
LVLPC	Seixo	x															
	Matriz	85%	1%	<1%	<1%	<1%		<1%	4%	<1%	<1%	<1%	<1%	<1%	7%	<1%	2%
LMPC	Seixo	x															
	Matriz	85%	<2%	<1%	<1%	<1%	<1%	<1%	3%	<1%	<1%	<1%	<1%		6%	<1%	<2%
MPC	Seixo	x															
	Matriz	86%	1%	<1%	<1%				<3%	<1%					7%		3%
SPC	Seixo	x															
	Matriz	88%	<1%		<1%				<4%	<1%					5%		2%

Tabela 9: Quadro modal e paragenético de João Belo Sul.

As maiores anomalias elementares presentes nos estudos de perfis elementares estão associados aos minerais primários e hidrotermais. Estas anomalias normalmente se concentram no topo dos *reefs*, decrescendo linear ou exponencialmente até a base. Entretanto cada *reef* possui particularidades que variam desde presença de correlações elementares específicas, concentração relativa de elementos e variações quimioestratigráficas. Os maiores valores de ouro também estão associados ao topo dos *reefs*, mesmo este possuindo características identificadas através da petrografia. A localização das zonas de alto teor nos *reefs* está associada a possível remobilização ou reconcentração do ouro através de processos hidrotermais, principalmente sulfetação, visto que os *reefs* LVLPC, LMPC e MPC que apresentaram os maiores teores de ouro, possuem também, maior quantidade de sulfetos como arsenopirita e calcopirita, associadas aos maiores teores de As e Cu encontrados nestas unidades.

Os dados geoestatísticos forneceram importantes correlações elementares para o Conglomerado Superior da Fm. Serra do Córrego na região de João Belo Sul, dentre estas destacam-se as que ocorrem no conjunto de todas as amostras e as que se exibem de maneira específica em cada *reef*. Essas feições auxiliaram na determinação de elementos relevantes em análises quimio-estratigráficas e de diagramas discriminante, que fornecem informações importantes na caracterização das assinaturas geoquímicas das unidades.

As amostras do Conglomerado Superior, ao serem subdivididas de acordo com os *reefs* possuem comportamento similar, com boas correlações geoestatísticas, caracterizadas como *trend* primário, podendo ser utilizado na futura caracterização de amostras exploratórias,

validando interpretações de metaconglomerados associados a Fm. Serra do Córrego. O enquadramento dos *reefs* segundo o *trend* primário e somado às suas especificidades encontradas através das correlações geoestatísticas, quimio-estratigrafia e diagramas discriminantes, caracterizam suas assinaturas geoquímicas.

Os elementos Be e Bi apresentaram boa correlação quimio-estratigráfica com o ouro, entretanto não apresentam boa correlação estatística com a mineralização, fato este possivelmente derivado do limite de detecção do método em relação ao Be e Bi, restringindo o *range* dos mesmos, diminuindo suas correlações matemáticas devido a diferenças de amplitude.

Elementos como Co, Cr, Cu, Hf, K, Ni, Te, Th e V apresentam comportamento similar em todos os *reefs*, indicando afinidade elemental e mineralógica, possivelmente associados a eventos geológicos de fonte hidrotermal, representados pelos minerais pirita, calcopirita, esfalerita, hematita e limonita, previamente associados a remobilização/reconcentração da mineralização.

7. CONCLUSÕES

Através da metodologia desenvolvida foi possível identificar marcadores geoquímicos com suas características qualitativas e quantitativas, determinando padrões geoquímicos dos *reefs* da Formação Serra do Córrego que podem ser utilizados como ferramenta prospectiva em projetos de exploração mineral.

O Holandês possui como marcadores a baixa afinidade com os elementos Co e Hf, associados a menor presença de minerais hidrotermais descritos através da petrografia, fato este que também embasa a ausência de zonas de alto teor no *reef* Holandês.

O LVLPC possui os maiores teores de As e U dentre as unidades estudadas, entretanto estes elementos não apresentam boa correlação entre si, dispostos em dois grupos distintos de amostras, possivelmente associado a diferentes fontes. O U se relaciona a presença de uraninita de origem detrítica, já o As está associado a presença de arsenopirita. O LVLPC também apresenta altos teores de Co, Cu e Ni, correlacionado a alteração hidrotermal de sulfetação, representada por pirita, calcopirita, esfalerita, galena e covelita.

O LMPC é o *reef* que possui os maiores teores de ouro dentre as unidades, possuindo também altos teores de Ce, Cd, La, Sc e Zn, elementos relacionados a minerais hidrotermais como pirita, calcopirita, esfalerita e covelita. O LMPC possui baixos teores de Co e Hf,

contrastando com o Holandês e principalmente o LVLPC, *reef* espacialmente próximo, com feições macroscópicas similares, tornando esta diferença como um fator de diferenciação, auxiliando na caracterização das unidades.

O MPC é marcado pelos teores elementares relativamente equilibrados entre si, com exceção da Ag que apresenta altos valores quando comparado aos outros *reefs*. Co também apresenta baixos teores no MPC, indicando tendência de teores decrescentes segundo a estratigrafia, com maiores teores nas unidades superiores e menores nas unidades inferiores, com exceção do SPC.

O SPC apresenta os maiores teores relativos de Be, Co e Hf, além de possuir altos valores de Ga, Ni e Zr. Isto deve-se ao fato da proximidade do SPC com zonas de cisalhamento que marcam o contato entre o Conglomerado Superior e o Quartzito intermediário que possui contato transicional ou tectônico, associado a presença de xistos e quartzitos cisalhados. Foram observados também baixos teores de As, Cu, Ni e Zn evidenciando a ascendência destes elementos com menores teores nas unidades inferiores e maiores teores em unidades superiores. O SPC, assim como o Holandês, possui os menores teores de ouro e mineralogia menos rica dentre os *reefs* estudados, com presença discreta de minerais hidrotermais, principalmente associados a sulfetação, indicando relação da mineralização com presença de minerais hidrotermais, através de eventos de remobilização e reconcentração.

Visando maior confiabilidade, em estudos futuros faz-se necessário aprofundamento em parâmetros geoestatísticos e mineralógicos, sendo aconselhável utilização de Microscopia Eletrônica de Varredura e estudos de química mineral, acrescentando dados de possíveis associações minerais às anomalias geoquímicas, com dados elementares específicos dos minerais presentes nos conglomerados, tornando os resultados mais robustos e confiáveis.

De acordo com os resultados obtidos pode-se afirmar que a metodologia desenvolvida para a caracterização das unidades do Conglomerado Superior, compilando informações e implicações de dados macroscópicos, microscópicos e geoquímicos se mostrou eficaz, passível de aplicação em estudos futuros e identificação de unidades estratigráficas na região de João Belo Sul e áreas correlatad. A metodologia auxilia na caracterização de *reefs* e marcadores elementares na região de João Belo Sul, através da utilização das correlações geoestatísticas, diagramas geoquímicos e descrição quimio-estratigráfica, adicionando acurácia na determinação dos *reefs*, principalmente os passíveis de deslocamento em virtude da complexa geologia estrutural associada a Serra de Jacobina.

8. REFERÊNCIAS

- Almeida, F.F.M. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7(4):349-364. (1977).
- Agangi, A., Hofman, A., Rollion-Bard, C., Marin-Carbonne, J., Cavalazzi, B., Large, R., Meffre, S. Gold accumulation in the Archaean Witwatersrand Basin, South Africa – Evidence from concentrically laminated pyrite. *Earth-Science Reviews* 140, p. 27-53. (2015)
- Barbosa, J.S.F., Sabaté, P. Archean and paleoproterozoic crust of the São Francisco craton, Bahia, Brazil: geodynamic features. *Precambrian Res.* 133 (1–2), 1–27. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2004.03.001>. (2004).
- Cuney, M. The 2 Ga peraluminous of Jacobina-Contendas Mirante belt (Bahia) (Brasil): Major and trace elements Geochemistry and metallogenic potential. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Amsterdam, v. 44, n. 1-2, -. 123-142. (1990).
- Frimmel, H.E., Hennigh, Q. First whiffs of atmospheric oxygen triggered onset of crustal gold cycle. *Mineralium Deposita* 50, p. 5-23. (2015)
- Guy, B.M., Ono, S., Gutzmer, J., Lin, Y., Beukes, N.J. Sulfur sources of sedimentar “buckshot” pyrite in the Auriferous Conglomerates of the Mesoarchean Witwatersrand and Vetersdorp Supergroups, Kaapvaal Craton, South Africa. *Mineralium Deposita* 49, p. 751-775. (2014).
- Heinrich, C.A., 2015. Witwatersrand gold deposits formed by volcanic rain, anoxic rivers and Archaean life. *Nature Geoscience* 8, p. 206-209 (2015).
- Horscroft, F.D.M., Mossman, D.J., Reimer, T.O. Witwatersrand metallogenesis: the case for (modified) syngensis. *SEPM Special Publications* 101, p. 75-95. (2011).
- Large, R.R., Meffre, S., Burnett, R., Guy, B., Bull, S., Gilbert, S., Goemann, K., Danyushevsky, L. Evidence for an intrabasinal source and multiple concentration processes in the formation of the Carbon Leader Reef, Witwatersrand Supergroup, South Africa. *Economic Geology* 108, p. 1215-1241. (2013).
- Leite, C.M.M. A evolução geodinâmica da orogênese Paleoproterozóica nas regiões de Capim Grosso-Jacobina e Pintadas-Mundo Novo (Bahia, Brasil): metamorfismo, anatexia crustal e tectônica. Tese de Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências – Universidade Federal da Bahia. (2002).
- Leo, G.W.; Cox, D.P.; Carvalho, J.P. Geologia da parte Sul da Serra de Jacobina, Bahia, Brasil. Rio de Janeiro. DNPM/DGM, Boletim 241, 123p. (1964).
- Lyons T. W.; Reinhard C. T.; Planavsky N. J. The rise of oxygen in Earth’s early ocean and atmosphere. *Nature* 506, 307-315. (2014)
- Magee, C.W., Teles, G., Vicenzi, E.P., Taylor, W., Heaney, P., Uranium irradiation history of carbonado diamond; implications for Paleoarchean oxidation in the São Francisco craton. *Geology* 44, p. 527-530. (2016)
- Mascarenhas, J.F., Filho, V.M.C., Griffon, J.C. Contribuição à Geologia do Grupo Jacobina na Região Jacobina/Pindobaçu: 37º Congresso Brasileiro de Geologia, São Paulo, SP, Boletim de Resumos Expandidos, v. 2, p. 141-142 (1992).

- Minter, W. E. L. Detrital gold, uranium, and pyrite concentrations related to sedimentology in the Precambrian Vaal Reef placer, Witwatersrand, South Africa. *Economic Geology*, v. 71, n. 1, p. 157-176. (1976).
- Molinari, L.; Scarpelli, W. Depósito de ouro de Jacobina Bahia, in *Principais Depósitos Minerais do Brasil*. DNPM/CPRM, v. 3, p. 463–478. (1988).
- Pearson, W.; Moura de Macêdo, P.; Rúbio, A.; Lorenzo, C. L.; Karpeta, P. Geology and gold mineralization of the Jacobina Mine and Bahia Gold Belt, Bahia, Brazil and a comparison to Tarkwa and Witwatersrand. In: Rhoden H.N., Steininger R.C., Vikre P.G., (eds.), *GEOLOGICAL SOCIETY OF NEVADA SYMPOSIUM: WINDOW TO THE WORLD*, Reno, Nevada, p. 29. (2005).
- Reis, C.; Oliveira, R. C. L.; Miranda, D. A.; Santos, F. P.; Guimarães, J. T.; Teles, G. Estratigrafia do Grupo Jacobina. *Anais do 49º Congresso Brasileiro de Geologia*. Rio de Janeiro. (2019).
- Sabaté, P.; Marinho, M.M.; Vidal, P.; Vachette, M.C. The 2 Ga peraluminous magmatism of the Jacobina–Contendas Mirante belts (Bahia-Brazil): geologic and isotopic constraints on the sources. *Chemical Geology*. 83, 325-338. (1990).
- Spreafico, R. R. Barbosa, J. S. F., Barbosa, N. S, Moraes, A. M. V. M. Tectonic evolution of the Neoproterozoic Mundo Novo greenstone belt, eastern São Francisco Craton, NE Brazil: Petrology, U-Pb geochronology, and Nd and Sr isotopic constraints. Elsevier. (2019)
- Teixeira, J.B.G.; Souza, J.A.B.; Silva, M.G.; Leite, C.M.M.; Barbosa, J.S.F.; Coelho, C.E.S.; Abram, M.B.; Conceição Filho, V.M.; Iyer, S.S.S. Gold mineralization in the Serra de Jacobina region, Bahia Brazil: tectonic framework and metallogenesis. *Mineralium Deposita* 36, 332-344. (2001)
- Teles, G. S.; Chemale JR, F.; Oliveira, C. G. Paleoproterozoic record of the detrital pyrite-bearing, Jacobina Au-U deposits, Bahia, Brazil. *Precambrian Research*. 289-313 p. (2015).
- Teles, G. S. Geoquímica isotópica do depósito aurífero da Bacia de Jacobina e dos sulfetos de metais base do *Greenstone belt* Mundo Novo, Craton do São Francisco, e suas implicações sobre o Paleoproterozoico. Tese de Doutorado N°141. Universidade de Brasília- UNB. (2017).
- Topitsch, W. M. Geoquímica e petrologia dos ultramafitos e mafitos da Serra de Jacobina: Komatiitos, basaltos de alto Mg e toleitos, numa bacia intracontinental. In: *Simpósio do Cráton do São Francisco*, 2., Salvador, Anais:SBG, p.109-111. (1993)
- Torquato, J. R.; Oliveira, M. A. F. T. de; Bartels, R. L. Idade radiométrica do Granito de Campo Formoso, BA: Uma idade mínima para o Grupo Jacobina. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 8, n. 3, p. 171-179. (1978).
- Zincone, S.A., Barbuena, D., Oliveira, E.P., Baldim, M.R. Detrital zircon U-Pb ages as evidence for deposition of the Saúde Complex in a Paleoproterozoic foreland basin, northern São Francisco Craton, Brazil. *J. South Am. Earth Sci.* 79, 537–548. (2017)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7(4):349-364. (1977)
- AGANGI, A., HOFMAN, A., ROLLION-BARD, C., MARIN-CARBONNE, J., CAVALAZZI, B., LARGE, R., MEFFRE, S. Gold accumulation in the Archaean Witwatersrand Basin, South Africa – Evidence from concentrically laminated pyrite. *Earth-Science Reviews* 140, p. 27-53. (2015)
- BARBOSA, J.S.F., SABATÉ, P. Archean and paleoproterozoic crust of the São Francisco craton, Bahia, Brazil: geodynamic features. *Precambrian Res.* 133 (1–2), 1–27. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2004.03.001>.(2004).
- COUTO, P.A.; DELGADO, I.M.; MASCARENHAS, J.F.; Batista, M.B.; PEDREIRA, A.J.; SIQUEIRA, L.P.; BRUNI, D.C.; GONÇALVES, G.D.; SAMPAIO, A.R.; GIL, C.A.; LOUREIRO, H.S.; AWDZIEJ, J.; ARCANJO, J.B.; FERNANDES FILHO, J.; GUIMARÃES, J.T.; SILVA, L.C.; MELO, R.C.; TOLEDO, L.A.A.; MACHADO, G.J.; MARON, J.E.; OLIVEIRA, J.E.; RODRIGUES, V.; FRANA, F.B.; TEIXEIRA, A.J.; SILVA, H.P.; MARGALHO, R.; BRITO, P. C.; KIPPER, D.; CÂS, M. G.; BANI, R.; CAMPELO, R. Projeto serra de Jacobina– geologia e prospecção geoquímica. Salvador, DNPM/CPRM, Relatório Final, CPRM, 12 v. (1978).
- CUNEY, M. The 2 Ga peraluminous of Jacobina-Contendas Mirante belt (Bahia) (Brasil): Major and trace elements Geochemistry and metallogenic potential. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Amsterdam, v. 44, n. 1-2, -. 123-142. (1990).
- FRIMMEL, H.E., HENNIGH, Q. First whiffs of atmospheric oxygen triggered onset of crustal gold cycle. *Mineralium Deposita* 50, p. 5-23. (2015)
- GUY, B.M., ONO, S., GUTZMER, J., LIN, Y., BEUKES, N.J.. Sulfur sources of sedimentar “buckshot” pyrite in the Auriferous Conglomerates of the Mesoarchean Witwatersrand and Vetersdorp Supergroups, Kaapvaal Craton, South Africa. *Mineralium Deposita* 49, p. 751-775. (2014).
- HEINRICH, C.A., 2015. Witwatersrand gold deposits formed by volcanic rain, anoxic rivers and Archaean life. *Nature Geoscience* 8, p. 206-209 (2015).
- HORSCROFT, F.D.M., MOSSMAN, D.J., REIMER, T.O.,. Witwatersrand metallogenesis: the case for (modified) syngeneses. *SEPM Special Publications* 101, p. 75-95. (2011).
- LARGE, R.R., MEFFRE, S., BURNETT, R., GUY, B., BULL, S., GILBERT, S., GOEMANN, K., DANYUSHEVSKY, L. Evidence for an intrabasinal source and multiple concentration processes in the formation of the Carbon Leader Reef, Witwatersrand Supergroup, South Africa. *Economic Geology* 108, p. 1215-1241 (2013).

- LEDRU, P.; MILÉSI, J.P.; JOHAN, V.; SABATÉ, P.; MALUSKI, H. Foreland basins and gold-bearing conglomerates: a new model for the Jacobina Basin (São Francisco province, Brasil). *Precambrian Research* 86, 155-176. (1997).
- LEITE, C.M.M. A evolução geodinâmica da orogênese Paleoproterozóica nas regiões de Capim Grosso-Jacobina e Pintadas-Mundo Novo (Bahia, Brasil): metamorfismo, anatexia crustal e tectônica. Tese de Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências – Universidade Federal da Bahia. (2002)
- LEITE, C.M.M.; MARINHO, M.M. Serra de Jacobina e Contendas-Mirante. Cap VI. p397-438 In: Barbosa *et al.* Geologia da Bahia: Pesquisa e Atualização.CBPM. (2012)
- LEO, G.W.; COX, D.P.; CARVALHO, J.P. Geologia da parte Sul da Serra de Jacobina, Bahia, Brasil. Rio de Janeiro. DNPM/DGM, Boletim 241, 123p. (1964).
- LYONS T. W.; REINHARD C. T.; PLANAVSKY N. J. The rise of oxygen in Earth's early ocean and atmosphere. *Nature* 506, 307-315.(2014)
- MAGEE, C.W., TELES, G., VICENZI, E.P., TAYLOR, W., HEANEY, P., Uranium irradiation history of carbonado diamond; implications for Paleoproterozoic oxidation in the São Francisco craton. *Geology* 44, p. 527-530.(2016)
- MARINHO, M. M.; COSTA, P. H.; SILVA, E. F. A.; TORQUATO J. R. F. A sequência metavulcanossedimentar Contendas-Mirante, uma estrutura do tipo greenstone Belt? In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, 1978, Recife. Boletim...Recife: SBG, 1978. V.1, p. 291. (1978).
- MARINHO, M. M.; SABATÉ, P. The Contendas-Mirante Volcano – sedimentar sequence and its granitic- magmatic basement. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ARCHEAN AND EARLY PROTEROZOIC GEOLOGIC EVOLUTION AND METALLOGENESIS, 1982, Salvador. Abstracts excursions...Salvador:SME, 1982. P. 139 -145 (1982).
- MARINHO, M. M. et al. Geochronology of the Jequié-Itabuna granulitic belt and Contendas Mirante volcano sedimentar belt. In: PEDREIRA, A. J. (Ed.). Petrologic and geochronologic evolution of the São Francisco Craton, Brazil. Salvador:CBPM. P. 57-75. (International Geological Correlation Programme – IGCP Project 280). (1992).
- MASCARENHAS, J.F., FILHO, V.M.C., GRIFFON, J.C. Contribuição à Geologia do Grupo Jacobina na Região Jacobina/Pindobaçu: 37º Congresso Brasileiro de Geologia, São Paulo, SP, Boletim de Resumos Expandidos, v. 2, p. 141-142 (1992).
- MASCARENHAS, J.F.; SILVA, E.F.A. Greenstone Belt de Mundo Novo: caracterização e implicações metalogenéticas e geotectônicas no Cráton do São Francisco. Companhia Baiana de Pesquisa Mineral, Salvador. Série Arquivos Abertos 5, 32 pp. (1994).
- MASCARENHAS, J.F.; LEDRU, P.; SOUZA, S.L.; CONCEIÇÃO FILHO, V.M.; MELO, L. F.A.; LORENZO, C.L., MILESI, J.P. Geologia e recursos minerais do Grupo Jacobina e da parte Sul do Greenstone Belt de Mundo Novo. Salvador, CBPM, Série Arquivos Abertos, 13, 58 p. (1998).
- MELO, R. C. LOUREIRO, H. S.; PEREIRA, L.H.M. Serrinha, folha SC.24-Y-D: Estado da Bahia escala 1:250.00. Brasília, DF: CPRM, Programa de Levantamentos Geológicos do Brasil. (1995).

- MILESI, J.P.; LEDRU, P.; MARCOUX, E.; MOUGEOT, R.; JOHAN, V.; LEROUGE, C.; SABATÉ, P.; BAILLY, L.; RESPAUT J.P.; SKIPWITH, P. The Jacobina Paleoproterozoic gold-bearing conglomerates, Bahia, Brazil: a “hydrothermal shear-reservoir” model. *Ore Geology Reviews* 19, 95-136. (2002).
- MINTER, W. E. L. Detrital gold, uranium, and pyrite concentrations related to sedimentology in the Precambrian Vaal Reef placer, Witwatersrand, South Africa. *Economic Geology*, v. 71, n. 1, p. 157-176. (1976).
- MOLINARI, L.; SCARPELLI, W. Depósito de ouro de Jacobina Bahia, in *Principais Depósitos Minerais do Brasil*. DNPM/CPRM, v. 3, p. 463–478. (1988).
- PEARSON, W.; MOURA DE MACÊDO, P.; RÚBIO, A.; LORENZO, C. L.; KARPETA, P. Geology and gold mineralization of the Jacobina Mine and Bahia Gold Belt, Bahia, Brazil and a comparison to Tarkwa and Witwatersrand. In: RHODEN H.N., STEININGER R.C., VIKRE P.G., (eds.), *GEOLOGICAL SOCIETY OF NEVADA SYMPOSIUM: WINDOW TO THE WORLD*, Reno, Nevada, p. 29. (2005).
- PIMENTA, V. M. Caracterização Mineralógica, Petrológica e Química da Sulfetação nos Reef's da Mina Canavieiras, Jacobina, Bahia. Universidade Estadual Paulista “Julio De Mesquita Filho”- UNESP. Trabalho Final de Graduação. (2013)
- REIS, C.; OLIVEIRA, R. C. L.; MIRANDA, D. A.; SANTOS, F. P.; GUIMARÃES, J. T.; TELES, G. Estratigrafia do Grupo Jacobina. *Anais do 49º Congresso Brasileiro de Geologia*. Rio de Janeiro. (2019).
- SPREAFICO, R. R. BARBOSA, J. S. F., BARBOSA, N. S, MORAES, A. M. V. M. Tectonic evolution of the Neoproterozoic Mundo Novo greenstone belt, eastern São Francisco Craton, NE Brazil: Petrology, U-Pb geochronology, and Nd and Sr isotopic constraints. Elsevier. (2019)
- SABATÉ, P.; MARINHO, M.M.; VIDAL, P.; VACHETTE, M.C. The 2 Ga peraluminous magmatism of the Jacobina–Contendas Mirante belts (Bahia-Brazil): geologic and isotopic constraints on the sources. *Chemical Geology*. 83, 325-338. (1990).
- TEIXEIRA, J.B.G.; SOUZA, J.A.B.; SILVA, M.G.; LEITE, C.M.M.; BARBOSA, J.S.F.; COELHO, C.E.S.; ABRAM, M.B.; CONCEIÇÃO FILHO, V.M.; IYER, S.S.S. Gold mineralization in the Serra de Jacobina region, Bahia Brazil: tectonic framework and metallogenesis. *Mineralium Deposita* 36, 332-344. (2001)
- TELES, G. S. Proveniência e Idades de Deposição dos Sedimentos Auríferos da Bacia de Jacobina: Implicações Sobre a Evolução da Bacia Durante O Paleoproterozoico e a Gênese da Mineralização. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília- UNB. (2013)
- TELES, G. S.; CHEMALE JR, F.; OLIVEIRA, C. G. Paleoproterozoic record of the detrital pyrite-bearing, Jacobina Au-U deposits, Bahia, Brazil. *Precambrian Research*. 289-313 p. (2015).
- TELES, G. S. Geoquímica isotópica do depósito aurífero da Bacia de Jacobina e dos sulfetos de metais base do *Greenstone belt* Mundo Novo, Craton do São Francisco, e suas implicações sobre o Paleoproterozoico. Tese de Doutorado N°141. Universidade de Brasília- UNB. (2017).
- TELES, G. S.; CHEMALE JR, F.; ÁVILA, J. N.; IRELAND, T. R.; DIAS, A. N. C.; CRUZ, D. C. F.; CONSTANTINO, C. J. L. Textural and Geochemical Investigation of Pyrite in Jacobina Basin, São Francisco Craton, Brazil: Implications for Paleoenvironmental Conditions

and Formation of pre-GOE Metaconglomerate-Hosted Au-(U) Deposits, *Geochimica et Cosmochimica Acta* (2020), doi: <https://doi.org/10.1016/j.gca.2020.01.035>

TOPITSCH, W. M. Geoquímica e petrologia dos ultramafitos e mafitos da Serra de Jacobina: Komatiitos, basaltos de alto Mg e toleitos, numa bacia intracontinental. In: Simpósio do Cráton do São Francisco, 2., Salvador, Anais:SBG, p.109-111. (1993)

TORQUATO, J. R.; OLIVEIRA, M. A. F. T. de; BARTELS, R. L. Idade radiométrica do Granito de Campo Formoso, BA: Uma idade mínima para o Grupo Jacobina. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 8, n. 3, p. 171-179. (1978).

YAMANA GOLD Inc. *TECHNICAL REPORT ON THE JACOBINA MINE COMPLEX, BAHIA STATE, BRAZIL*. NI 43-101 Report (2019).

ZINCONE, S.A., BARBUENA, D., OLIVEIRA, E.P., BALDIM, M.R. Detrital zircon U-Pb ages as evidence for deposition of the Saúde Complex in a Paleoproterozoic foreland basin, northern São Francisco Craton, Brazil. *J. South Am. Earth Sci.* 79, 537–548. (2017)

ANEXOS

ANEXO A - REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA GEOLOGIA USP

1. PÁGINA DE ROSTO – deverá conter: três títulos, em português, em inglês e título curto no idioma principal do manuscrito com no máximo 50 caracteres, contando os espaços; nome completo e instituição de origem dos autores; endereço completo somente do autor principal (logradouro, CEP, cidade, estado, país, caixa postal e telefone para contato - pode ser o endereço da Universidade), e-mail de todos os autores; número de palavras; total de figuras e de tabelas.

2. RESUMO E ABSTRACT – em um único parágrafo, devem ser concisos, com no máximo 270 palavras. Textos mais longos devem vir acompanhados de justificativa circunstanciada.

3. PALAVRAS-CHAVE E KEYWORDS – máximo seis, separadas por ponto e vírgula, com a primeira letra em maiúscula. Ex.: Bacia do Araripe; Quaternário; Fácies; Depósitos magmáticos.

Os descritores em inglês devem acompanhar os termos em português.

4. TEXTO PRINCIPAL – poderá ser redigido em português ou inglês. Elaborar em Word, fonte Times New Roman, tamanho 12, espaço simples. O tamanho máximo aceito para publicação é de 25 páginas, incluindo: texto, resumo, abstract, tabelas, figuras e referências bibliográficas. (Trabalhos mais longos podem ser aceitos desde que argumentos científicos que os justifiquem sejam apresentados e aceitos).

a) Na fase de submissão, inserir numeração de páginas, bem como as figuras, tabelas, legendas e referências.

b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as figuras, tabelas e legendas devem ser retiradas do texto. Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das figuras e tabelas.

5. TÍTULOS

a) Título do artigo:

Título principal – Negrito, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais.

Título em inglês – Itálico, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito)

Título curto - Caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito /sem itálico).

b) Títulos e subtítulos no interior do artigo:

NÍVEL 1- NEGRITO, CAIXA ALTA.

Nível 2 – Negrito, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais.
Nível 3 – Itálico, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais
Nível 4 – Caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais

6. TABELAS E QUADROS – considerar quadro como tabela. Elaborar em Word, no modo “tabela”, com formato aberto, fonte Arial, tamanho 8. Obedecer as medidas: 8,2 cm (uma coluna) ou 17 cm (duas colunas), comprimento máximo de 22 cm, incluindo a legenda. Tabelas muito extensas deverão ser divididas.

a) Na fase de submissão, inserir as tabelas no texto, juntamente com a legenda, com a devida numeração sequencial.

b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as tabelas devem ser retiradas do texto. Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das tabelas.

c) Legendas: fonte Times New Roman, tamanho 12. (sem itálico)

7. ILUSTRAÇÕES – mapas, fotos, figuras, gráficos, pranchas, fotomicrografias etc., considerar como figuras. Utilizar fonte Arial, tamanho 9. Obedecer as medidas: 8,2 cm (uma coluna) ou 17 cm (duas colunas), comprimento máximo de 22 cm, incluindo a legenda.

8. CITAÇÕES NO TEXTO – exemplos de citação direta / citação indireta:

a) Um autor

Santos (1980) / (Santos, 1980)

b) Dois autores

Norton e Long (1995) / (Norton e Long, 1980)

c) Mais de dois autores

Moorbath et al. (1992) / (Moorbath et al., 1992)

d) Congressos, conferências, seminários etc.

... no Congresso Brasileiro de Geologia (1984) / (Congresso Brasileiro de Geologia, 1984)

e) Vários trabalhos de diferentes autores

Smith (1985), Rose e Turner (1986) e Johnson et al. (1990) / (Smith, 1985; Rose e Turner, 1986; Johnson et al., 1990)

f) Citação de vários trabalhos de um mesmo autor

Smith (1979a, 1979b, 1981) / (Smith, 1979a, 1979b, 1981)

9. REFERÊNCIAS – listar no final do texto, em ordem alfabética de autores e, dentro dessa sequência, em ordem cronológica.

DOI: inseri-lo em todas as referências que já o tiverem.

