



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**REINTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA DE CORPOS AURÍFEROS DO GREENSTONE
BELT CRIXÁS UTILIZANDO MODELAGEM IMPLÍCITA**

Bárbara Rios de Faria Araújo

MONOGRAFIA nº 463

Ouro Preto, novembro de 2022

**REINTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA DE CORPOS
AURÍFEROS DO GREENSTONE BELT CRIXÁS
UTILIZANDO MODELAGEM IMPLÍCITA**



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Prof.^a Dr.^a Cláudia Aparecida Marlière de Lima

Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitora de Graduação

Prof.^a Dr.^a Tânia Rossi Garbin

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. José Alberto Naves Cocota Júnior

Vice-Diretor

Prof. Dr. Cláudio Eduardo Lana

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Prof. Dr. Geraldo Magela Santos Sampaio

MONOGRAFIA

Nº 463

REINTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA DE CORPOS AURÍFEROS DO GREENSTONE BELT CRIXÁS UTILIZANDO MODELAGEM IMPLÍCITA

Bárbara Rios de Faria Araújo

Orientador

Prof. MSc. Edison Tazava

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2022/1.

OURO PRETO

2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

A663r Araújo, Bárbara Rios de Faria.
Reinterpretação geológica de corpos auríferos do Greenstone Belt
Crixás utilizando modelagem implícita. [manuscrito] / Bárbara Rios de
Faria Araújo. - 2023.
46 f.: il.: color., tab..

Orientador: Prof. Me. Edison Tazava.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola
de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Depósitos minerais. 2. Ouro. 3. Modelo geológico. 4. Software -
Leapfrog. I. Tazava, Edison. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III.
Título.

CDU 553.411

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Bárbara Rios de Faria Araújo

Reinterpretação Geológica de Corpos Auríferos do *Greenstone Belt* Crixás Utilizando Modelagem Implícita

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de engenheiro geólogo

Aprovada em 10 de janeiro de 2023

Membros da banca

MSc. Edison Tazava - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto
Dr. Gustavo Henrique Coelho de Melo - Universidade Federal de Ouro Preto
MSc. Marcos Vieira Neri - Vale S.A.

Edison Tazava, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 16/01/2023



Documento assinado eletronicamente por **Edison Tazava**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/01/2023, às 08:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0456827** e o código CRC **F8680C69**.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABELAS	xiii
RESUMO	xv
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO	1
1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	1
1.3 JUSTIFICATIVA	2
1.4 OBJETIVOS E METAS.....	2
1.5 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E VIAS DE ACESSO	2
2 GEOLOGIA REGIONAL	5
2.1 PROVÍNCIA TOCANTINS.....	5
2.2 FAIXA BRASÍLIA	6
2.3 MACIÇO DE GOIÁS	6
2.4 <i>GREENSTONE BELTS</i> DE GOIÁS	8
3 GEOLOGIA LOCAL	11
3.1 <i>GREENSTONE BELT</i> CRIXÁS	11
3.2 ARCABOUÇO GEOTECTÔNICO DO <i>GREENSTONE BELT</i> DE CRIXÁS.....	12
3.3 METAMORFISMO DO <i>GREENSTONE BELT</i> DE CRIXÁS	13
3.4 MODELO METALOGENÉTICO E TIPOS DE MINERALIZAÇÃO DO <i>GREENSTONE BELT</i> DE CRIXÁS.....	13
3.5 LITOLOGIAS MINAIII.....	14
3.6 CORPOS MINERALIZADOS.....	16
3.7 ESTRUTURA III – ZONA INFERIOR.....	16
3.8 MINA III ZONA INFERIOR.....	18
4 MODELAGEM GEOLÓGICA	21
4.1 MODELAGEM IMPLÍCITA USANDO <i>SOFTWARE LEAPFROG</i>	22
5 METODOLOGIA PARA MODELAGEM GEOLÓGICA	23
5.1 ETAPA DE PLANEJAMENTO	23
5.2 ETAPA DE INVESTIGAÇÃO	24
5.2.1 Mapeamento Geológico	24
5.2.2 Amostragem de canal.....	25
5.2.3 Programação de sondagem diamantada	27

5.2.4	Descrição de testemunhos de sondagem	27
5.3	ETAPA DE MODELAGEM	28
5.3.1	Integração de dados	28
5.3.2	Confecção da coluna litoestratigráfica	28
5.3.3	Geração da geometria de minério	28
6	RESULTADOS	29
6.1	MAPEAMENTO GEOLÓGICO	29
6.2	SONDAGEM.....	30
6.3	COLUNA LITOESTRATIGRÁFICA.....	Erro! Indicador não definido.
6.4	MODELAGEM GEOLÓGICA DOS CORPOS MINERALIZADOS	32
7	ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	35
7.1	MODELO LITOLÓGICO	35
7.2	MODELO DE ENVOLTÓRIA DE MINÉRIO	36
8	CONCLUSÕES	43
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapa de localização do município de Crixás (GO). Fonte: Modificado de images.google.com.br/crixás , 2007.....	3
Figura 1.2: Imagem do Google Maps, mostrando a localização do município de Crixás e da AngloGold Ashanti, unidade Serra Grande.....	3
Figura 2.1: Mapa Geológico simplificado da porção centro-leste da Província Tocantins (Pimentel <i>et al.</i> 2004).....	6
Figura 2.2: Representação esquemática dos <i>greenstone belts</i> de Goiás localizados no Maciço de Goiás (Jost <i>et al.</i> 2014).....	7
Figura 2.3: Ilustra a semelhança das colunas estratigráficas dos Greenstone Belts de Goiás (Jost <i>et al.</i> 2014).....	9
Figura 3.1: a) Mapa geológico simplificado do GBC; b) Coluna estratigráfica simplificado do GBC, Castoldi (2015) modificado de Jost & Fortes (2001).....	11
Figura 3.2: a) Veio de quartzo mineralizado da Mina III – Zona Inferior (Jost <i>et al.</i> 2014); b) Amostra de veio de quartzo com ouro livre da Mina III – Zona Inferior (Jost <i>et al.</i> 2014).....	14
Figura 3.3: Seção longitudinal da Mina III evidenciando as estruturas mineralizadas da MSG no GBC.....	16
Figura 3.4: Corpo Mineralizados da Estrutura III - Zona Inferior e Estrutura III – Zona Superior.	17
Figura 3.5: Base do VQZ da Estrutura III - Zona Inferior mineralizado com ouro livre.....	17
Figura 3.6: Contato entre o topo do VQZ e o xisto carbonoso mineralizado, o ouro ocorre disseminado na arsenopirita.	18
Figura 3.7: VQZ remobilizado encaixado na foliação plano axial, o minério ocorre no xisto carbonoso nos contatos de base e topo do VQZ, na forma de sulfeto disseminado na arsenopirita.	18
Figura 3.8: Em azul e vermelho pode-se observar a representação das escavações do nível 50 ao nível 800 da Mina III – Zona Inferior.	19
Figura 3.9: As linhas em vermelho indicam a geometria das escavações subterrâneas por corte e enchimento e câmaras e pilares.	20
Figura 5.1: Foto de um mapeamento de campo – medida da distância do <i>footwall</i> do VQZ até o chão da galeria.	25
Figura 5.2: Amostras de canais realizadas ao longo do Internível 252 da Mina III.....	26
Figura 5.3: Foto de um internível em desenvolvimento onde pode-se observar as marcações feitas pelos amostradores, os números representam o local de coleta de cada amostra.	26
Figura 5.4: Exemplo de testemunhos de sondagem obtido na campanha de investigação da nova geometria mineralizada proposta.....	27

Figura 6.1: Estereograma representando os polos das 18 medidas estruturais obtidas para foliação e a representação do plano dessas medidas.....	30
Figura 6.2: Exemplo de seção planejada de sondagem para validação das novas lentes com geometria sub-horizontal.	31
Figura 6.3 Exemplo de seção de sondagem. As linhas em vermelho são as lentes já com a nova geometria modelada com seus resultados de análise química de teor.	31
Figura 6.4: Padrão de descrição identificando as lentes mineralizadas da Zona Inferior de acordo com seu estrato.....	32
Figura 6.5: Lentes reinterpretadas ao longo de 1833 metros na direção de mergulho do minério (291°) coloridas com base no mergulho dos corpos mineralizados (<i>Face dip</i>).....	33
Figura 6.6: Comparação em uma mesma visada entre o modelo antigo e o modelo reinterpretado.	33
Figura 7.1: Uma mesma seção mostrando os furos de sondagem com informações de litologia (a) e com informações de teores (b). A região demarcada em vermelho mostra o VQZ principal estéril com ramificações na direção SW mineralizando a encaixante (GXN).	36
Figura 7.2: Seção mostrando o modelo antigo de minério com informações litológicas e químicas de teor.	37
Figura 7.3: Realce programado para lavra do internível 202 GN4 baseado no modelo de minério antigo, seguindo a orientação SW no hangwall do veio de quartzo principal.	38
Figura 7.4: A) Travessa do internível 202 mostrando veios de quartzo sub-horizontalizados com direção NW nas paredes laterais da escavação. B) Foto mostrando o veio de quartzo centimétrico envolto pelo xisto carbonoso com arsenopirita disseminada.....	39
Figura 7.5: A foto evidencia em microescala, a geometria proposta em macroescala.	40
Figura 7.6: A imagem ilustra a lente mineralizada da base do veio de quartzo em verde, em vermelho a envoltória do veio de quartzo e a delimitação em preto mostra a região do internível 202 onde a informação de sondagem é incompleta já os veios de quartzo não tinham a medida mínima para se considerar intervalo amostral.....	41
Figura 7.7: Amostras de teor evidenciando a existência persistente de mineralizações na direção NW.	41
Figura 7.8: Seção feita ao longo do <i>strike</i> do modelo mostrando a nova geometria dos corpos de minério da Mina III Zona Inferior juntamente com as informações de litologia (A) e informações de teores (B) dos furos de sondagem utilizados (as cores das envoltórias de minério são aleatórias para melhor distinção entre elas).....	42

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1: Litologias presentes na Mina III - Zona Inferior área alvo deste estudo e sua descrição petrográfica simplificada.....	15
Tabela 6.1: Pontos de mapeamento realizados na galeria 202_GN4.	29
Tabela 7.1 - Comparativo de reservas antes e depois da reinterpretação classificado conforme o tipo de recurso.....	42

Resumo

Com o aumento crescente do preço do ouro nos últimos anos e a escassez de depósitos economicamente viáveis para lavra, tem sido necessária a reavaliação de áreas já exploradas. A Mina III, depósito aurífero hospedado em terreno do tipo *greenstone belt* localizado em Crixás, Goiás, abriga uma das minas mais antigas em atividade da empresa AngloGold Ashanti e o presente trabalho teve como objetivo reinterpretar e remodelar as envoltórias de minério, adequando-as a nova geometria identificada em campo e ao padrão estratigráfico proposto. Esta reinterpretação se fez necessária, após a abertura de uma galeria de desenvolvimento, localizada na Zona Inferior da Mina III, que visava o espesso veio de quartzo de direção SW que foi por muitos anos a principal lavra desta mina. Diferente disso, a galeria expôs veios de quartzos centimétricos de baixo ângulo com direção preferencial NW, sendo o veio de quartzo não mineralizado e a encaixante mineralizada: xisto carbonoso sulfetado em arsenopirita e pirrotita ocorrendo na base e topo destes veios. Estes veios de quartzo centimétricos, são ramificações do veio de quartzo principal e suas direções coincidem com a direção de foliação do plano axial deste veio, foi possível observar esta geometria em microestruturas na mina. O modelo existente até então, não contemplava a ocorrência destes minérios de baixo ângulo. Havia também, problemas de respeito a estratigrafia e os corpos modelados não respeitavam a individualização de seus estratos, contrariando a premissa do depósito do tipo *stratabound*, fazendo com que algumas lentes de minério fossem superestimadas em alguns pontos e subestimadas em outros. Foi realizada uma validação do banco de dados e através de furos de sondagem e amostragem de canal foi possível confirmar esta nova geometria. A reinterpretação geológica destes corpos baseou-se na construção de um modelo litoestrutural e de uma coluna litoestratigráfica local, que individualizou os corpos de acordo com seus estratos. Por fim, gerou-se um novo modelo de envoltória de minério, por meio de modelagem implícita utilizando-se o *software Leapfrog*, o que resultou em um modelo mais aderente as observações de campo, com maior aproveitamento do conteúdo metálico do depósito, no aumento de reservas economicamente viáveis e aumento do tempo de vida da mina, totalizando uma adição de 299.607 oz em sua reserva.

Palavras-chave: Crixás, *greenstone belt*, reinterpretação, modelo geológico, *Leapfrog*.

1.1 APRESENTAÇÃO

O presente trabalho foi desenvolvido no depósito aurífero hospedado em terreno do tipo *Greenstone Belt* localizado em Crixás (GBC) no estado de Goiás, porção centro-sul da Província Tocantins (Jost *et al.* 2001). A região é conhecida pelo seu potencial aurífero desde o século XVIII com a chegada dos bandeirantes e foi explorada por garimpeiros até a década de 80 quando se consolidou o empreendimento Mineração Serra Grande (mineração subterrânea mecanizada) (Jost *et al.* 2014). O depósito de classe mundial é a sexta maior reserva de ouro do Brasil (Jost *et al.* 2010) e é explorado atualmente pela AngloGold Ashanti – Mineração Serra Grande (MSG).

A demanda mundial crescente por ouro, o aumento do preço da *commoditie* e a escassez de áreas economicamente viáveis, fez com que a percepção de áreas já exploradas fosse revista. Este trabalho buscou a reinterpretação dos corpos de minério da mina III, a mina mais antiga da MSG e seu principal depósito. A reserva desta mina, foi estimada em 5,2 milhões de toneladas com teor médio de ouro de 12,7 g/ton. (Yamaoka & Araújo 1988).

1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

À medida que as reservas vão se exaurindo, esforça-se para manter o nível de produção. A Mina III cada vez aprofunda-se mais, sua lavra mais lucrativa hoje se encontra no nível 1270 de profundidade e sua viabilidade econômica se dá pelo alto teor do corpo, porém há um custo muito elevado para extração. Portanto a investigação de corpos em posições mais rasas é algo extremamente relevante para a continuidade das operações em Crixás.

O fato da mina ser muito antiga, possibilitou durante os anos, várias interpretações de acordo com as informações e objetivos na ocasião. Quando a mina III foi aberta, não havia interesse em teores abaixo de 3 g/t, o que hoje é uma raridade de se encontrar em porções mais rasas neste depósito. As envoltórias de minério, desenhadas de acordo com o interesse econômico e informações da época, já não correspondem a geometria real do depósito existente, e sim um modelo que leva em conta apenas a viabilidade econômica. Então, as envoltórias antigas tiveram que ser revisadas.

A abertura de uma galeria de desenvolvimento evidenciou um problema com o modelo de minério existente. A galeria expôs veios de quartzo centimétricos, com direção preferencial NW que não eram contemplados pelo modelo, fazendo com que fosse necessária a compreensão desta nova geometria e o modelamento destas novas lentes mineralizadas. O fato destas lentes serem pouco espessas

e com teores mais baixos, fez com que elas não fossem contempladas no modelo de minério, além de ser de difícil compreensão o seu modelamento, já que os veios de quartzo são centimétricos, não possuem intervalo amostral suficiente para serem descritos nos testemunhos de sondagem, e por isso a visualização desta orientação fica prejudicada.

Ao analisar os furos de sondagem, litologias e análises química de teor, juntamente com o formato das escavações antigas e partindo-se da premissa de que o minério se encontra em estratos individualizados por suas litologias encaixantes de forma contínua, característico de um depósito *stratabound* (Yamaoka & Araújo 1988), chegou-se ao entendimento de que existia mais problemas com o modelo geológico, onde as lentes fluuavam entre os estratos, o que ocasionava em porções do depósito superestimadas e outras subestimadas, além da necessidade de adequação do *cutoff*.

1.3 JUSTIFICATIVA

A reinterpretação destes corpos foi de grande relevância. Além da parte econômica, a evidência de novas geometrias é um importante avanço para o conhecimento do depósito. A metodologia usada para reinterpretação de corpos de minério na Mina III também é um fator a ser considerado, já que foi aplicada a outras minas do *greenstone* e houve ganhos significativos. A geração de modelos com maior embasamento geológico, que visam não só as envoltórias químicas de teor, mas sim a real geometria do depósito, permite com que o modelador interprete o caminho do fluido mineralizado, gerando modelos fidedignos, assertivos e aderentes, diminuindo erros no desenvolvimento de frentes produtivas, garantindo a maior recuperação dos realces de lavra e uma melhor reconciliação de teores.

1.4 OBJETIVOS E METAS

O principal objetivo deste trabalho de conclusão de curso, é registrar as etapas envolvidas na reinterpretação geométrica dos corpos de minério da Mina III utilizando modelagem implícita e apresentar os resultados obtidos.

1.5 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E VIAS DE ACESSO

A MSG fica localizada no município de Crixás, na porção noroeste do estado de Goiás na região centro-oeste do Brasil (Figura 1.1). Para acessar a cidade as rotas principais partem dos municípios de Goiânia ou Brasília a partir de rodovias estaduais e federais. Ao chegar em Crixás, a rota para a mineradora é feita através da rodovia estadual GO-336 (Figura 1.2).

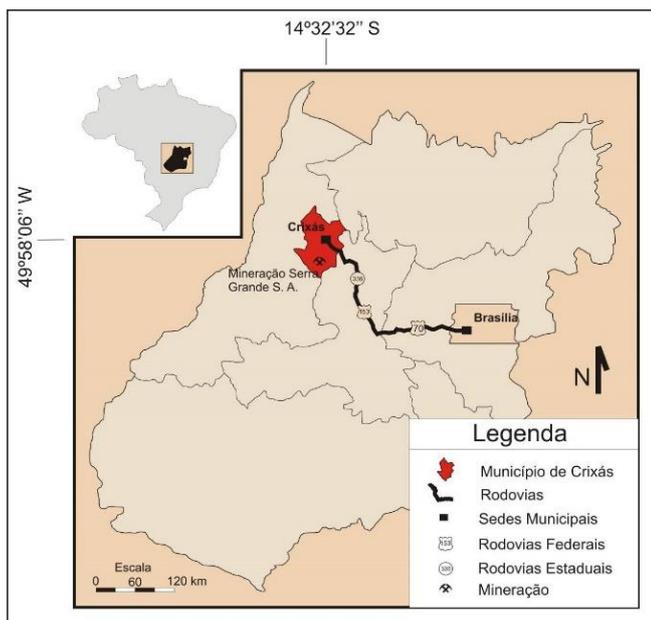


Figura 1.1: Mapa de localização do município de Crixás (GO). Fonte: Modificado de images.google.com.br/crixas, 2007.

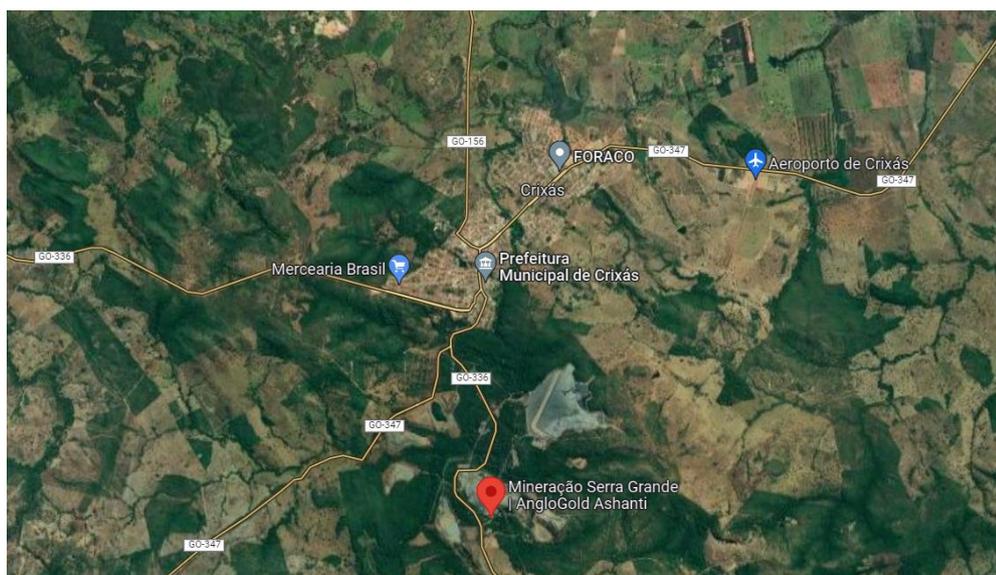


Figura 1.2: Imagem do Google Maps, mostrando a localização do município de Crixás e da AngloGold Ashanti, unidade Serra Grande.

CAPÍTULO 2

GEOLOGIA REGIONAL

O presente trabalho situa-se na porção centro-leste da província Tocantins, na região central da Faixa Brasília, no domínio do Maciço de Goiás (Almeida *et al.* 1981).

2.1 PROVÍNCIA TOCANTINS

A Província Tocantins (Almeida *et al.* 1968) engloba a Faixa Brasília, Faixa Araguaia, Faixa Paraguai, Maciço de Goiás e Arco Magmático de Goiás (Almeida *et al.* 1968; Pimentel 2016). Trata-se de uma entidade orogênica composta por rochas de idades Arqueanas a Neoproterozoicas (Almeida *et al.* 1968) que integra o sistema Brasileiro/Pan-Africano e é resultado do fechamento do oceano Goiás-Farusiano e posteriormente pela colisão continente-continente (Araujo 2014; Jost *et al.* 2019). A província Tocantins é limitada a oeste pelo Cráton Amazônico e a leste pelo Cráton São Francisco e latitudinalmente limitada por depósitos Fanerozoicos, a norte pela Bacia do Parnaíba e a sul pela Bacia do Paraná (Almeida 1977).

É representada por espessas camadas de rochas supracrustais dobradas metamorfizadas durante o ciclo Brasileiro, fragmentos arqueanos de composição essencialmente granítico-gnáissica, onde estão inclusas sequências Vulcano-sedimentares do tipo *greenstone belts*, e por terrenos antigos granulitizados no Brasileiro. É subdividido em cinco diferentes unidades: Zona Cratônica, Faixa Brasília, Maciço de Goiás, Arco Magmático do Oeste de Goiás e Faixa Paraguai-Araguaia (Lacerda Filho *et al.* 1999). Esta divisão está representada pela Figura 2.1.

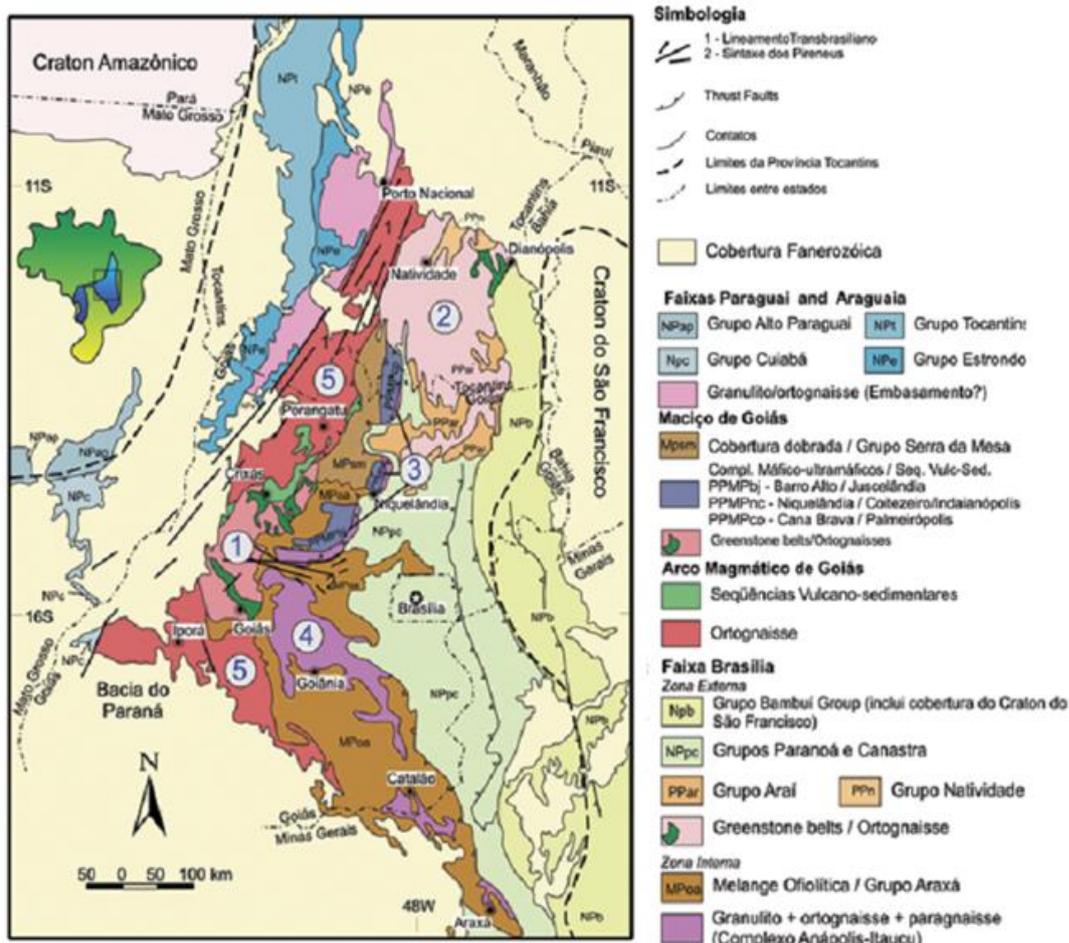


Figura 2.1: Mapa Geológico simplificado da porção centro-leste da Província Tocantins (Pimentel *et al.* 2004).

2.2 FAIXA BRASÍLIA

Como observado na Figura, a Faixa Brasília possui geometria alongada na direção N-S com cerca de 1200 km de comprimento e 300 km de largura (Uhlein *et al.* 2013) sendo composta por uma faixa de dobramentos (Fuck *et al.* 1993; Fuck 1994). Pimentel (2016) classificou a Faixa Brasília como um dos orógenos mais complexos do neoproterozoico na porção oeste do Gondwana. Com gênese localizada na região oeste do Cráton São Francisco, a Faixa Brasília também recebe influência do Cráton Amazônico e Paranapanema, de terreno alóctones, seqüência sedimentares e arcos magmáticos (Queiroz *et al.* 2008).

2.3 MACIÇO DE GOIÁS

Compondo parte da Província Tocantins, localizado na porção central, o Maciço de Goiás foi identificado pela primeira vez por Almeida (1967) o qual classificou tal região como um segmento

2.4 GREENSTONE BELTS DE GOIÁS

Segundo Jost *et al.* (2014) os cinco *greenstone belts* do Maciço de Goiás possuem geometria estreita e alongada, onde, três deles (Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás) ficam localizados na porção norte com orientação N-S e os outros dois (Faina e Serra de Santa Rita) localizados na porção sul com orientação N60W. Ainda, segundo Jost (2014), o contato dos *greenstone belts* com os complexos adjacentes é classificado como tectônico com indícios de que as rochas supracrustais estão alóctones. A estratigrafia das seções inferiores dos *greenstone belts* (Figura 2.3) apresentados é composta por komatiitos sobrepostos por basaltos toleíticos seguidos de sequências sedimentares, onde, tais rochas estão metamorizadas em fácies xisto-verde à anfibolito inferior (Jost *et al.* 2014). A princípio, Danni & Ribeiro (1978), propuseram que os três *greenstone belts* do Norte possuíam a mesma sequência estratigráfica devido à similaridade entre seus litotipos, denominando as formações da seção tipo do *greenstone belt* Crixás, da base para o topo, como: Córrego Alagadinho (komatiitos), Rio Vermelho (basaltos) e Ribeirão das Antas (rochas sedimentares).

Estudos posteriores realizados por Jost & Oliveira (1991), propuseram individualizar os três *greenstone belts*, devido as diferenças interpretadas acerca do ambiente deposicional, ritmos de vulcanismo, características petrográficas e contrastes litológicos criando, portanto, os Grupos: Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás. Para os *greenstone belts* do Sul a proposta inicial foi apresentada por Danni et al. (1981) individualizando dois pacotes onde a porção inferior seria composta por rochas vulcânicas e sedimentares arqueanas denominadas Serra de Santa Rita sobreposta em discordância por rochas metassedimentares de idade mais jovens denominadas Serra do Cantagalo. Após tal publicação, mas ainda no mesmo ano, Teixeira (1981) sugeriu que apesar das rochas crustais (komatiitos e basaltos) serem semelhantes, era possível observar diferenças entre a sequência supracrustal propondo, portanto, a individualização dos *greenstone belts* do Faina e de Serra de Santa Rita a partir de uma falha direcional.

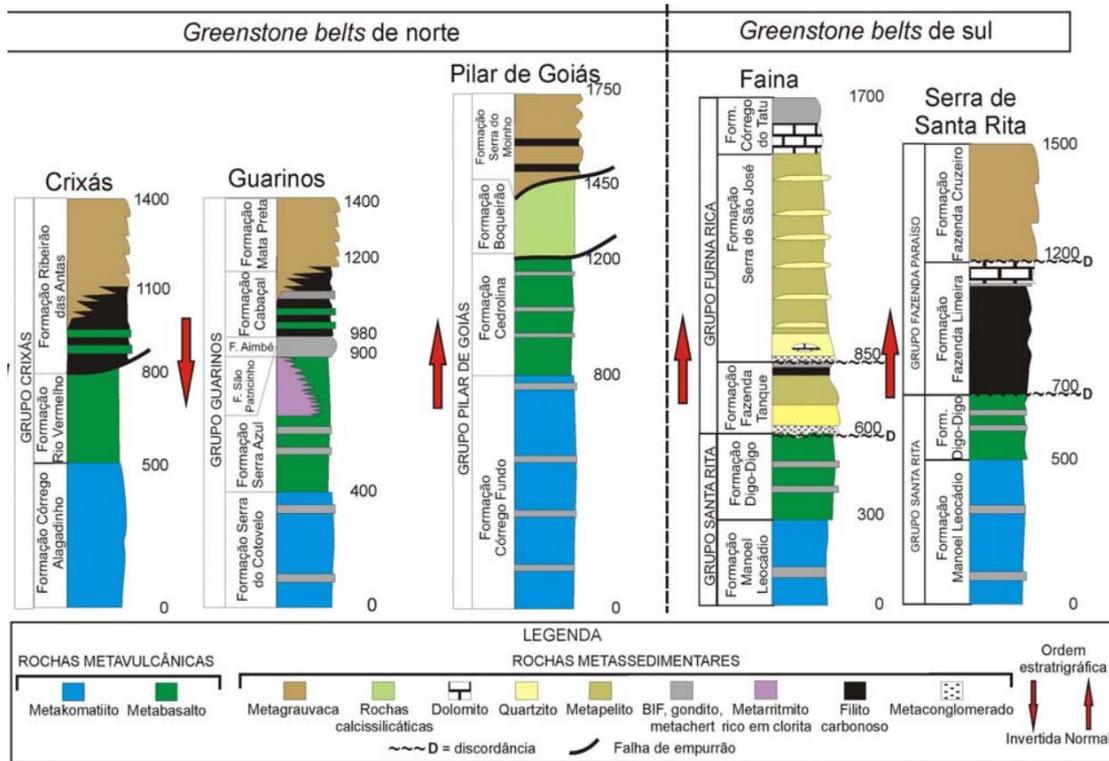


Figura 2.3: Ilustra a semelhança das colunas estratigráficas dos Greenstone Belts de Goiás (Jost *et al.* 2014).

3.1 GREENSTONE BELT CRIXÁS

O *greenstone belt* Crixás (GBC) é um terreno arqueano caracterizado segundo Jost & Oliveira em 1991, como uma sequência vulcano-sedimentar denominada Grupo Crixás, que faz parte da porção central do Maciço de Goiás e é representado por complexos granito-gnáissicos estruturados em domos e quilhas e uma sequência supracrustal do tipo *greenstone belt*, que possui orientação geral NNW-SSE (Queiroz *et al.* 1995). Seus limites longitudinais se dão a oeste pelo Complexo Anta e a leste pelo Complexo Caiamar. Os limites latitudinais são o Complexo Caiamar a sul e a norte pelo Arco Magmático de Mara Rosa que foi sobreposto tectonicamente por metassedimentos neoproterozóicos (Jost *et al.* 2019; Jost & Fortes 2001).

O GBC é dividido litoestratigraficamente, segundo propôs Jost *et al.* (2019), da base para o topo pelas seguintes Formações: Córrego Alagadinho, Rio Vermelho, e Ribeirão das Antas (Figura 3.1).

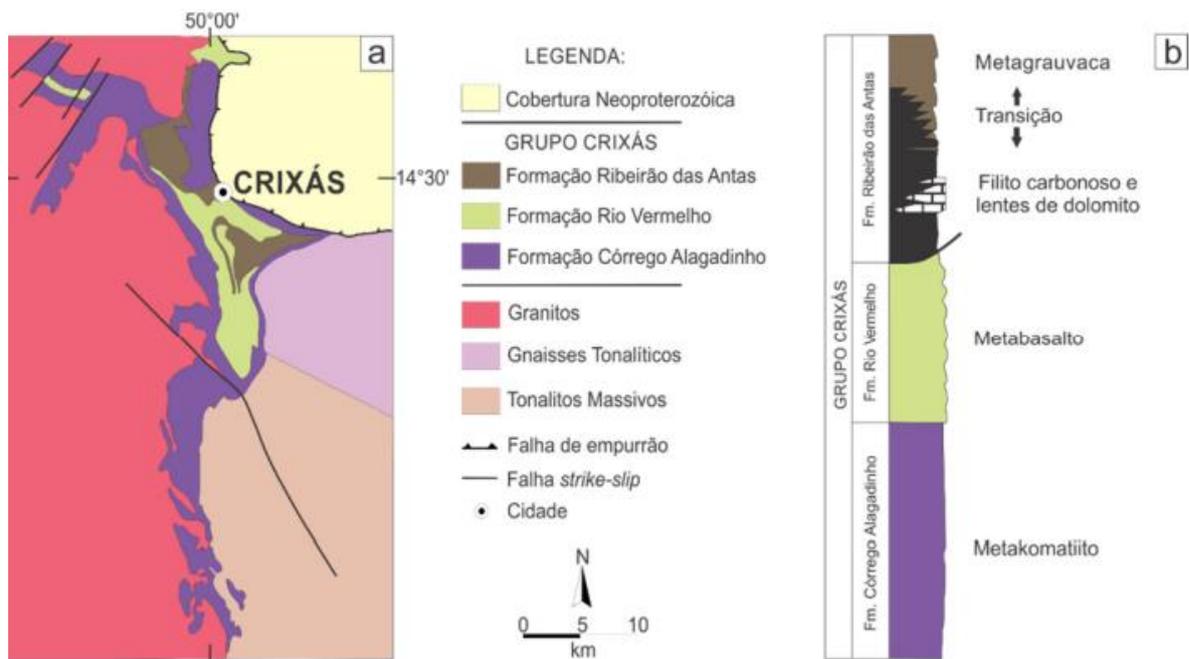


Figura 3.1: a) Mapa geológico simplificado do GBC; b) Coluna estratigráfica simplificado do GBC, Castoldi (2015) modificado de Jost & Fortes (2001).

Formação Córrego Alagadinho:

Caracterizada por rochas predominantemente ultramáficas a Formação Córrego Alagadinho possui em média 500 metros de espessura e pode-se observar feições primárias preservadas, tais como

textura spinifex. São identificadas ocorrências de formações ferríferas bandadas intercaladas com os komatiitos, juntamente com os komatiitos ocorrem diques e sills ultramáficos. Os litotipos ultramáficos desta formação se apresentam na forma de serpentinitos, talco-xistos, clorita-xistos e tremolita filitos (Jost *et al.* 2014).

Formação Rio Vermelho:

Jost *et al.* (2014) classifica os basaltos da Formação Rio Vermelho como derrames toleíticos com a preservação de estruturas primárias almofadadas, ocorrem localmente diques e sills de dolerito e gabro. Também aponta que o pacote está majoritariamente transformado em xistos verdes e que há a presença de intercalações com rochas de protólito sedimentar (formações ferríferas, Cherts e gonditos). Tal intercalação aponta para ritmos distintos de vulcanismo ou estado de preservação.

Formação Ribeirão das Antas:

A Formação Ribeirão das Antas é responsável por hospedar os depósitos estudados neste trabalho. Theodoro (1995) particionou a Formação em 3 grupos: Vulcanosedimentar, Carbonático e Siliciclástico, onde, o primeiro grupo é composto por uma camada de pelitos carbonosos provenientes de ambiente euxênico, com intercalações de basaltos, o segundo grupo é representado por dolomitos e o terceiro grupo por metarenitos, metasiltitos e metafolhelhos rítmicos. Pesquisas realizadas por Jost *et al.* (1996) para determinação da área fonte destes sedimentos apontaram para uma similaridade na área fonte dos três grupos, sendo estes provenientes de rochas félsicas e máficas. As rochas Siliciclásticas passam a predominar na porção superior da coluna.

3.2 ARCABOUÇO GEOTECTÔNICO DO *GREENSTONE BELT* DE CRIXÁS

Pesquisas realizadas no GBC por Magalhães (1991), Queiroz (1995) e Massucato (2004) apontam a existência de quatro eventos deformacionais tectônico orogênicos para o terreno após a abertura da bacia sendo todos compressivos, segundo Massucato (2004) de elevada complexidade e de forte importância para as mineralizações auríferas do terreno.

O primeiro evento deformacional contribuiu para a formação da foliação metamórfica paralela ao acamamento original e aponta para a transposição de S0, a nova foliação gerada S1. Tal evento desenvolveu falhas de empurrão epidérmicas de caráter regional com baixo ângulo e que resultaram na inversão estratigráfica da bacia, posicionando os komatiitos sobre os basaltos e os basaltos sobre o

pacote sedimentar, Massucato (2004) também aponta para este evento como o responsável pela gênese hidrotermal do veio de quartzo da Zona Inferior.

O segundo evento, como mencionado anteriormente, é um evento compressional com vergência de norte para sul que acarretou o cavalgamento do pacote litológico do arco magmático de Mara Rosa sobre a região norte do GBC, tal evento resultou em dobras recumbentes a semi-recumbentes com importante influência nas mineralizações auríferas visto que o eixo dos dobramentos é concordante com o *plunge* assumido das mineralizações do GBC (20°/295°).

O terceiro evento deformacional se caracteriza como uma compressão E-W gerando grande dobramento no GBC com eixo próximo de N-S, segundo Magalhães (1991) foi a partir deste evento que ocorreu a elevação do GBC e a formação da antiforme Rio Vermelho de dimensão regional.

O quarto e último evento tem vergência de leste para oeste e gerou a clivagem crenulação a partir da ondulação do GBC.

3.3 METAMORFISMO DO *GREENSTONE BELT* DE CRIXÁS

Jost *et al.* (2001) classifica o grau metamórfico do GBC com base na paragênese mineral dos metakomatiitos, metabasaltos e rochas metassedimentares como de baixo grau. Tal paragênese aponta para a presença de ferro-actinolita e albita, ora ferro-tschermakita e oligoclásio a andesina, subordinadamente clorita, clinzoisita e quartzo, a presença de tais minerais, aponta, respectivamente, para um metamorfismo de fácies xisto verde superior a anfibolito inferior. Para filitos carbonosos, pacote metassedimentar, a paragênese mineral indica a presença de quartzo + fengita + biotita ± clorita, com a zona da granada bem marcada próxima a zonas de cisalhamento, tal paragênese aponta para um metamorfismo de fácies xisto verde. Como os metakomatiitos possuem ampla variação na composição mineralógica não são um bom indicador para o grau metamórfico regional, segundo Jost *et al.* (2001) tais rochas assinalam para uma intensidade múltipla de alteração após derrames.

3.4 MODELO METALOGENÉTICO E TIPOS DE MINERALIZAÇÃO DO *GREENSTONE BELT* DE CRIXÁS

Segundo Jost *et al.* (2014) os depósitos minerais nos terrenos arqueanos paleoproterozoicos de Goiás ocorrem apenas nos *Greenstone Belts*, sendo os depósitos auríferos, classificados como epigenéticos. O depósito aurífero GBC ocorre na forma de sulfetos maciços, veios de quartzo ou minério disseminado (Jost *et al.* 2014).

Os sulfetos maciços do GBC estão localizados na região do contato entre o metabasalto e o xisto carbonoso, se estendendo por cerca de 400 metros ao longo do *plunge*, partindo do início da superfície de rocha sã do depósito (Jost *et al.* 2014). O halo de alteração hidrotermal que envolve os sulfetos maciços foi detalhado por Jost (2004) e Oliver *et al.* (2005) sendo composto por halo interno de sericita xisto, seguido por clorita xisto e na porção exterior envolvido por um dolomito com venulações de quartzo leitoso.

Os veios de quartzo do GBC correspondem à principal mineralização do depósito com geometria que varia de 0,5 a 5m de espessura com cerca de 500 metros de comprimento se estendendo por 1500 metros ao longo do *plunge* partindo da superfície até aproximadamente 700 metros de profundidade (Jost *et al.* 2014). O veio de quartzo (Figura 3.2) encontra-se encaixado no xisto carbonoso em uma região de alta deformação que aponta o contato entre o xisto carbonoso sobreposto ao pacote de metagrauvaca, o ouro livre no veio de quartzo ocorre com dimensões variando de 0,1 até 2mm (Jost *et al.* 2014).



Figura 3.2: a) Veio de quartzo mineralizado da Mina III – Zona Inferior (Jost *et al.* 2014); b) Amostra de veio de quartzo com ouro livre da Mina III – Zona Inferior (Jost *et al.* 2014).

O minério disseminado ocorre no GBC associado a regiões de alta deformação dentro do pacote de xisto carbonoso envolvido por metabasaltos. Tal mineralização possui venulações centimétricas a decimétricas comumente mineralizando a rocha hospedeira com sulfetos disseminados de arsenopirita, pirita e pirrotita. A exemplo deste tipo de depósito, o Corpo Mineralizado da Mina Nova, localizado no *Greenstone Belt* Crixás, possui cerca de 1,5m de espessura, 200m de comprimento e mais de 1000m ao longo da direção de mergulho da mineralização.

3.5 LITOLOGIAS MINA III

Conforme nomenclatura utilizada internamente na MSG, a coluna estratigráfica da área alvo deste estudo, a Mina III, é composta de 8 litologias, as quais estão dispostas na Tabela 3.1 conforme

nome, protólito, descrição macroscópica, código e fácies metamórfica conforme Castoldi (2015) e Souza (2018).

Tabela 3.1: Litologias presentes na Mina III - Zona Inferior área alvo deste estudo e sua descrição petrográfica simplificada.

Protólito	Litologia	Descrição petrográfica simplificada	Código	Fácies metamórfica
Máficas	Metabasalto	Rocha de coloração verde escura, levemente foliada composta por hornblenda e plagioclásio.	MBA	Anfibolito Inferior
Máficas	Clorita-biotita-carbonato Xisto	Rocha de coloração verde clara, com foliação bem-marcada composta por níveis milimétricos a centimétricos de biotita e clorita intercalados com níveis de carbonato e quartzo.	CBCX	Xisto Verde
Máficas ou hidrotermal	Clorita Xisto-Verde	Rocha de coloração verde clara a verde escura a depender da composição mineralógica modal. Possui a foliação bem-marcada e sua composição mineralógica varia de acordo com os níveis de quartzo, clorita, carbonato, biotita, granada, tremolita, hornblenda e moscovita.	CXV	Xisto Verde
Hidrotermal	Dolomito	Rocha com granulação variando de fina a média constituída majoritariamente por carbonatos recristalizados anaedrais a subeudrais em textura granoblástica	DOL	Xisto Verde
Sedimentar	Quartzo-Biotita-Moscovita-Granada Xistos	Rocha foliada composta por porfiroblastos de granada milimétricos a centimétricos inseridos em uma matriz fina composta por quartzo, biotita e moscovita.	GNCX	Xisto Verde
Sedimentar	Filito Carbonoso	Rocha branda de coloração preta composta por material carbonoso, quartzo, moscovita, clorita e biotita, todos de granulação fina.	GXN	Xisto Verde
Sedimentar	Metagrauvaca	Rocha foliada com laminações bem marcadas que intercalam entre estratos milimétricos amarronzados e cinzas escuro (decorrente de matéria orgânica). A mineralogia é composta por quartzo, feldspato, moscovita e biotita.	MG	Xisto Verde
Hidrotermal	Veio de quartzo	Veio de quartzo maciço leitoso com porções cristalinas.	VQZ	-

3.6 CORPOS MINERALIZADOS

A MSG divide as estruturas mineralizadas do GBC segundo a sua posição na estratigrafia em quatro estruturas principais: Palmeiras, Estrutura IV, Estrutura III Zona Superior e Estrutura III Zona Inferior conforme Figura 3.3. A estrutura mineralizada Palmeiras, situada no topo do pacote estratigráfico, ocorre em veios de quartzo que preenchem uma zona de cisalhamento de baixo ângulo na forma de ouro livre encaixado no pacote de rochas metavulcânicas. As Estruturas IV e III Zona Inferior ocorrem encaixadas no Pacote Metassedimentar no filito carbonoso, associado a veios de quartzo na forma de ouro livre, sulfetos maciços ou minério disseminado, assim como a Estrutura Palmeiras, também ocorrem associados a zonas de cisalhamento de baixo ângulo. A Estrutura III – Zona Superior ocorre no contato no pacote de dolomitos próximo ao contato com o pacote de filito carbonoso na forma de sulfetos maciços e em alguns casos como ouro livre (Campos 2019).

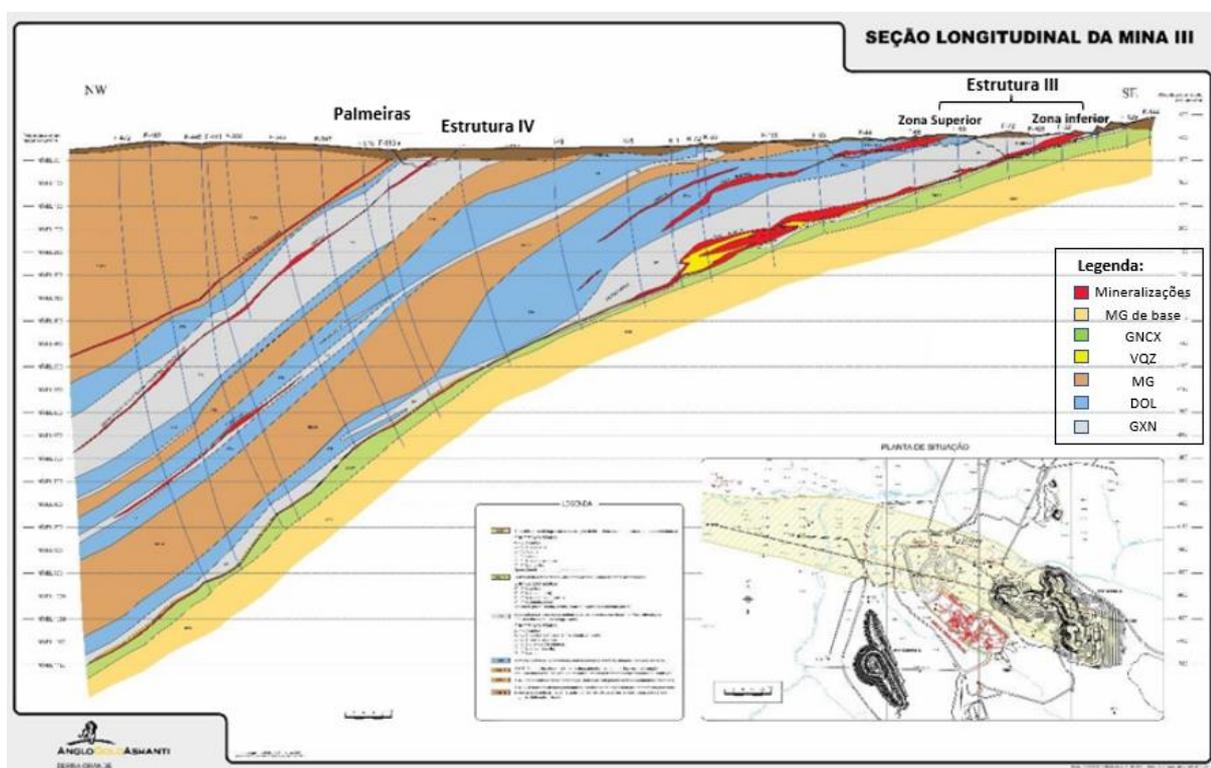


Figura 3.3: Seção longitudinal da Mina III evidenciando as estruturas mineralizadas da MSG no GBC.

3.7 ESTRUTURA III – ZONA INFERIOR

A mineralização principal da estrutura III está relacionada a um Veio de Quartzo (VQZ) hidrotermal, localizado em uma zona de intensa deformação presente em grande parte do GBC, os corpos mineralizados (Figura 3.4) associados a este VQZ que garantem o título de depósito classe mundial para a Mina III. O VQZ ora ocorre como corpo de minério com ouro livre, na base do veio

(Figura 3.5) e ora ocorre como estéril e sua encaixante mineralizada, o filito carbonoso no topo e base do veio (Figura 3.6). O minério nessa estrutura ocorre na forma de ouro livre, sulfetos maciços e minério disseminado, os principais sulfetos hospedeiros são a arsenopirita e a pirrotita. Como mencionado em capítulos anteriores, os corpos mineralizados ocorrem encaixados na foliação principal na forma *stratabound* e remobilizado segundo plano axial (Figura 3.7).

Minas da estrutura III

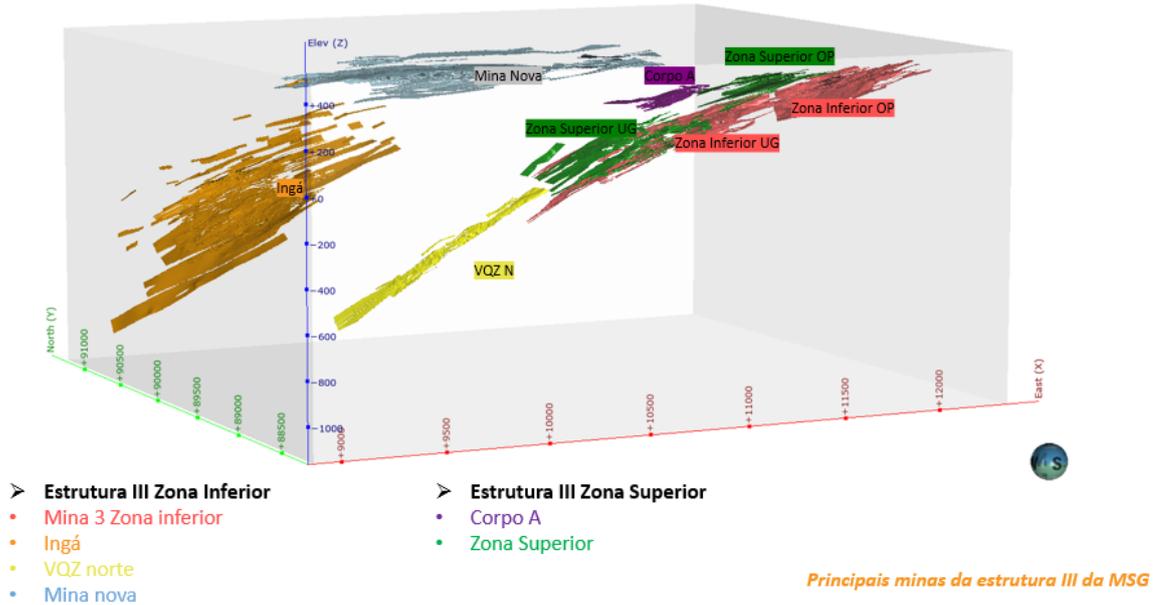


Figura 3.4: Corpo Mineralizados da Estrutura III - Zona Inferior e Estrutura III – Zona Superior.



Figura 3.5: Base do VQZ da Estrutura III - Zona Inferior mineralizado com ouro livre.

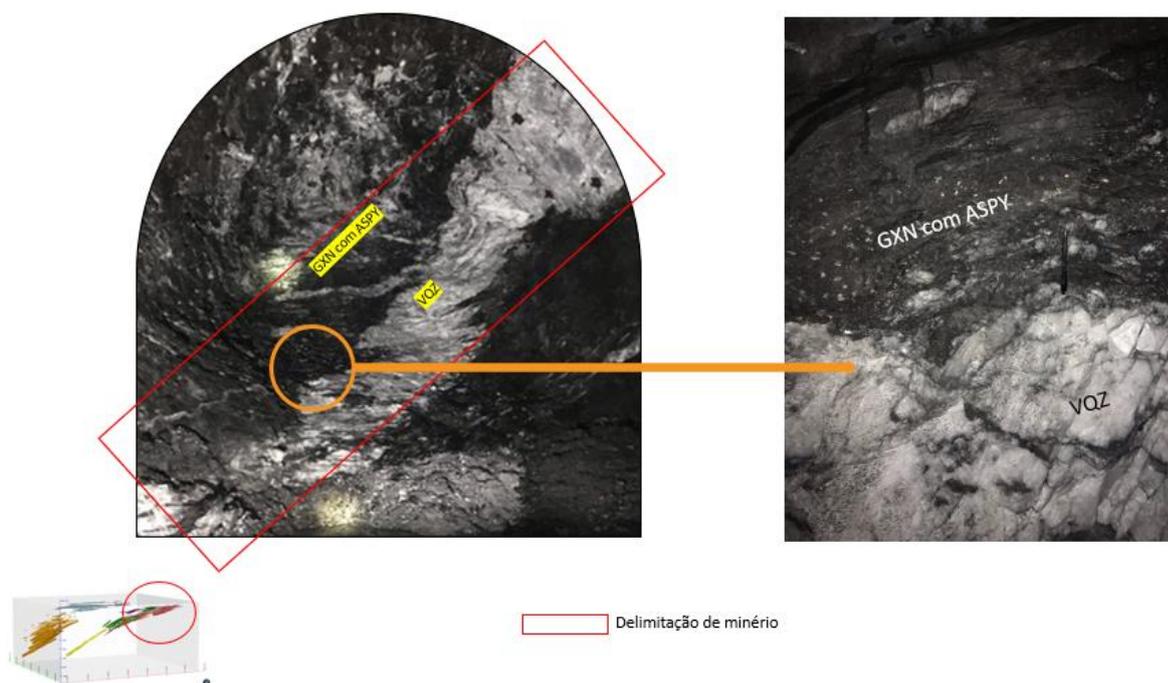


Figura 3.6: Contato entre o topo do VQZ e o xisto carbonoso mineralizado, o ouro ocorre disseminado na arsenopirita.

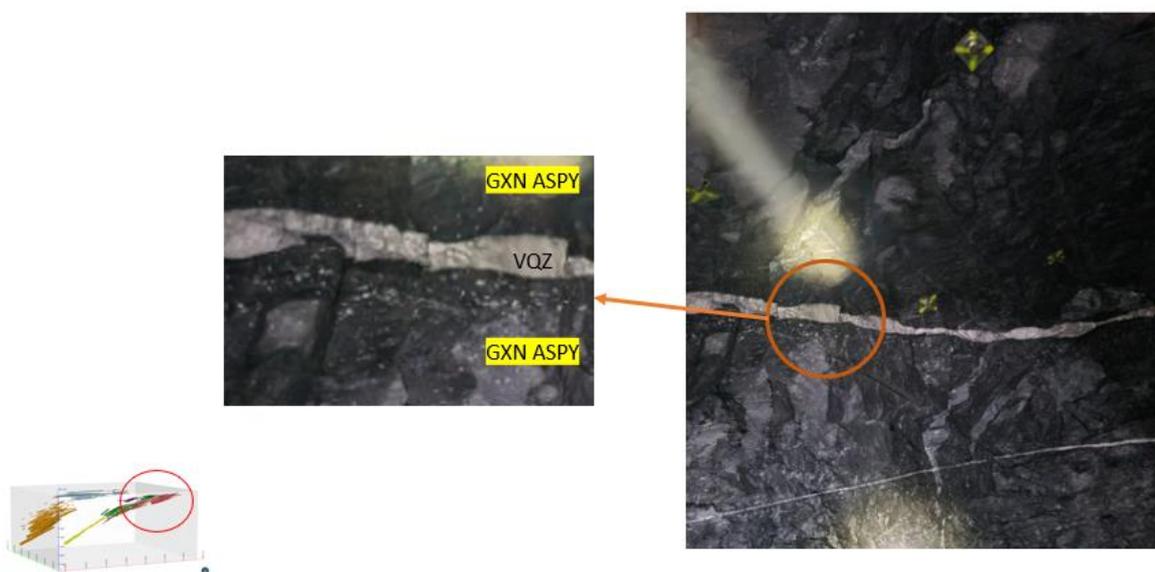


Figura 3.7: VQZ remobilizado encaixado na foliação plano axial, o minério ocorre no xisto carbonoso nos contatos de base e topo do VQZ, na forma de sulfeto disseminado na arsenopirita.

3.8 MINA III ZONA INFERIOR

As escavações na Mina III tiveram início na década de 80 e ainda está em operação, ultrapassando 1000 metros de profundidade (Figura 3.8). Atualmente com método de lavra mecanizado,

majoritariamente, por lavras em realce, método que consiste no desenvolvimento de uma galeria paralela as horizontais do plano do corpo mineralizado, que garante um ângulo propício para o escoamento do material. A Mina III dá acesso aos principais corpos em produção da Mineração Serra Grande, sendo estes: Corpo Ingá, VQZ Norte, Corpo IV, Mangaba e Mina III – Zona Inferior.

A Mina III – Zona Inferior, objeto de estudo deste trabalho, foi o motivador inicial da abertura da mina e onde ocorreu o início da produção. Apesar de atualmente o método de lavra ser mecanizado por lavras em realce, isso não ocorria até meados de 2008, quando o método de lavra era feito por corte e enchimento e por câmaras e pilares com escavações menores sendo realizadas manualmente com perfuração por martelo hidráulico.

Por ter sido escavada principalmente por métodos manuais, extremamente seletivos, a topografia da Mina III – Zona Inferior representa de forma bem assertiva a geometria mineralizada (Figura 3.9), no início, como não havia modelos geológicos, desenvolviam-se escavações nos níveis de base e posteriormente a escavações eram desenvolvidas apenas dentro do minério. Sendo assim, a geometria das escavações se mostra um importante guia para o entendimento de dobramentos e falhas, e como ferramenta para controle de qualidade e entendimento de posições de furos e canais antigos que podem estar com erro de perfilagem.

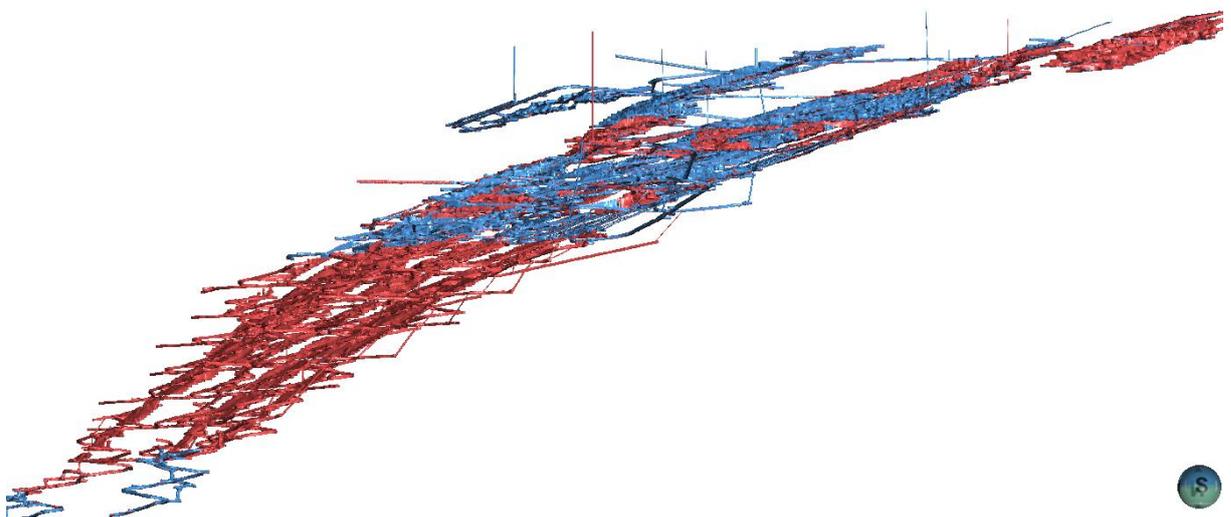


Figura 3.8: Em azul e vermelho pode-se observar a representação das escavações do nível 50 ao nível 800 da Mina III – Zona Inferior.

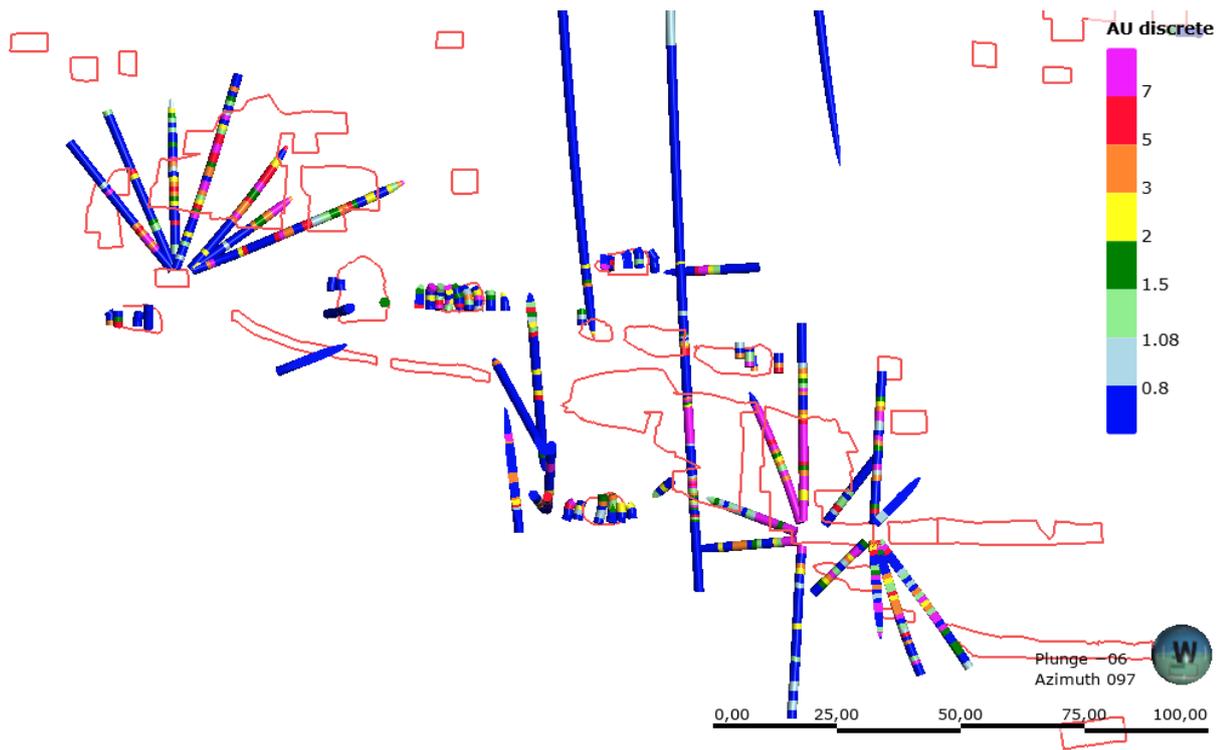


Figura 3.9: As linhas em vermelho indicam a geometria das escavações subterrâneas por corte e enchimento e câmaras e pilares.

CAPÍTULO 4

MODELAGEM GEOLÓGICA

A modelagem geológica é a representação computadorizada de partes da crosta terrestre com base em observações geológicas feitas na superfície e abaixo dela (Fallara *et al.* 2006). Para mineração, um modelo geológico aderente, minimiza riscos e diminui incertezas, garante uma maior previsibilidade do recurso mineral a ser explorado e impacta diretamente na execução de um planejamento de lavra assertivo. O modelamento geológico é uma etapa extremamente importante para se ter a visualização e compreensão espacial da zona mineralizada. Quanto maior a confiança nos resultados da modelagem geológica, maior a confiança nas estimativas dos recursos indicados e medidos, que permitirão a obtenção das reservas minerais. Portanto, quanto maior o conhecimento geológico, mais segurança se terá na lavra e no controle do minério, que irá para planta de beneficiamento. Compreender as características do depósito buscando a geometria mais próxima do real possibilita uma boa avaliação dos recursos garantindo a assertividade de suas dimensões e teores e propicia a viabilidade econômica do empreendimento mineral (Sides 1997).

Os modelos tridimensionais das envoltórias de minério possibilitam a visualização e entendimento espacial das jazidas em subsuperfície (Sides 1997). Utilizou-se por muito tempo a modelagem explícita que se baseia no desenho manual do que se quer representar através da construção de polígonos feito através de seções, esses polígonos são conectados por linhas e interpolados por triangulação, gerando sólidos que representam envoltórias geológicas (Cowan *et al.* 2003).

Cowan *et al.* (2003) faz uma abordagem sobre o modelo explícito como sendo uma modelagem subjetiva, já que cada geomodelador produzirá um modelo diferente a partir do mesmo banco de dados, o que torna a sua repetibilidade difícil e sua auditoria uma tarefa complexa. O modelo é inflexível, já que sua atualização é demorada e laboriosa. Em muitos empreendimentos minerários um único modelo geológico é mantido, dada a limitação de tempo ligada ao curto prazo e a demora dos métodos explícitos. Portanto a interpretação alternativa dos corpos e a comparação entre as estimativas de recursos baseadas em diferentes modelos fica inviável. Desta forma não há oportunidade de avaliar as incertezas dentro de um modelamento geológico.

Isto ocorreu durante anos na MSG, a Mina III por ser uma mina antiga e os corpos terem sido modelados de forma explícita, impossibilitou por muito tempo uma nova interpretação de suas envoltórias mineralizadas.

Com o desenvolvimento de tecnologias e avanços dos hardwares e softwares tem se alcançado cada vez mais a automatização de etapas morosas do processo de modelagem geológica, esta nova

técnica é chamada de modelagem implícita (Tavani *et al.* 2016; Cawood *et al.* 2017). O modelo geológico resultante deste trabalho foi feito através da integração de dados estruturais, litológicos e dados de análises químicas de teor, modelado de forma implícita no *software Leapfrog*.

4.1 MODELAGEM IMPLÍCITA USANDO SOFTWARE LEAPFROG

A modelagem implícita é gerada por algoritmos através de uma combinação de dados selecionados, de acordo com a interpretação do usuário. Essa abordagem é mais rápida, mais flexível e fundamentalmente mais adequada para modelar. Diferentemente da modelagem explícita, em que as seções são criadas independentemente e ajustadas para tentar criar um modelo 3D, gasta-se mais tempo desenhando sólidos do que propriamente analisando e criticando o sólido gerado (Cowan *et al.* 2003).

A tecnologia da modelagem implícita se baseia nas funções de base radial (RBFs) como algoritmos de interpolação e extrapolação para dados contínuos (numéricos) e categóricos (geológicos). A interpolação RBF produz uma função que modela os dados conhecidos e pode fornecer uma estimativa para qualquer ponto desconhecido. O RBF utiliza uma vizinhança global e isso o torna ideal para produzir modelos contínuos a partir de dados esparsos (Horowitz *et al.* 1996).

O passo a passo para geração do modelo compreendeu 4 etapas principais:

1. Input de informações do banco de dados no software de modelagem:

Collar: Coordenadas do furo (x, y, z)

Survey: Orientação do furo no espaço

Assay: Dados químicos de cada parte do furo

Major: Dados geológicos correlacionados a sua metragem

2. Na segunda parte é possível se ter a visualização dos furos de sondagem em 3D fazendo a compilação dos dados para criação de seções, é possível filtrar as informações de modo que fique mais fácil visualizar e trabalhar com os dados de interesse.

3. Nesta terceira etapa se dá início ao processo de modelagem através de seleção das amostras de interesse. A edição das envoltórias seguirá critérios específicos de acordo com cada finalidade. Seja modelagem de litologias, estrutural ou de teores.

4. Na última etapa são gerados sólidos através de triangulação (volume). O sólido gerado é uma representação da interpretação geológica com base em todas as informações e estudos realizados.

CAPÍTULO 5

METODOLOGIA PARA MODELAGEM GEOLÓGICA

O desenvolvimento deste trabalho envolveu as etapas de: planejamento, investigação e modelagem. Na etapa de planejamento foi realizada a revisão bibliográfica sobre as mineralizações de ouro em *greenstone belts*, compilação das principais características dos depósitos de ouro do GBC, identificação dos problemas existentes no modelo e o planejamento dos passos da etapa de investigação. Em seguida a etapa de investigação envolve a conferência do banco de dados de sondagem, análise dos mapeamentos litológicos, dados estruturais e geometria das escavações, mapeamento de detalhe das escavações subterrâneas em desenvolvimento, nova campanha de sondagem diamantada e rotativa circular, descrição dos furos e delimitação visual das envoltórias de minério. A última etapa de modelagem envolveu a integração dos dados das etapas de planejamento e investigação: adição ao projeto das linhas de mapeamentos antigos e escavações em desenvolvimento e dados estruturais ao modelo geológico, confecção de uma coluna litoestratigráfica local, geração de um modelo litoestrutural e pôr fim a geração de um novo modelo de geometria do minério, utilizando o *software Leapfrog* como ferramenta para modelagem implícita.

5.1 ETAPA DE PLANEJAMENTO

A etapa pré-campo consistiu no levantamento bibliográfico do *greenstone belt* de Crixás com enfoque na evolução tectônica e nos processos metalogenéticos do local. Foi realizada a revisão bibliográfica sobre a estratigrafia local, depósitos orogênicos e mineralizações epigenéticas de ouro.

Através da visualização tridimensional possibilitada pelo *LeapFrog* foram identificados os principais problemas que existiam no modelo.

1. Existência de lentes que desrespeitavam a premissa do depósito *stratabound* em que os estratos são individualizados por suas litologias encaixantes e se comportam de forma contínua.
2. Necessidade de adequação do *cutoff* de acordo com a nova realidade da mina.
3. Grande quantidade de teores não modelados.
4. Existência de uma nova direção de minério que não era contemplada pelo modelo.
5. Necessidade de adequação das lentes levando em consideração o posicionamento das escavações antigas.
6. Lentes descontínuas.

Pôr fim, foi feito o planejamento das etapas de investigação, visando a construção da nova geometria dos minérios: locais que seriam feitos os mapeamentos, amostragens de canal e programação de sondagem.

5.2 ETAPA DE INVESTIGAÇÃO

5.2.1 Mapeamento Geológico

O mapeamento foi feito em escala de detalhe 1:100 ao longo dos interníveis produtivos, com intuito de delimitar os novos corpos de minério de direção NW, mapeando os veios de quartzos centimétricos e sua envoltória sulfetada (Figura 5.1), os pontos de contato foram levantados por meio de marcadores topográficos, que foram colocados previamente nas galerias de desenvolvimento e georreferenciados a partir de estação total. Foram feitos croquis e linhas de contato entre as litologias e a mineralização, que posteriormente são incorporados aos modelos, as medidas estruturais foram incluídas em um banco de dados de estruturas e incorporados aos modelos como planos. As litologias são coletadas conforme códigos internos descritos anteriormente e as medidas estruturais conforme nomenclatura *Dip/DipDir* que representa o mergulho e a direção de mergulho dos planos medidos.

Para auxiliar na coleta dos dados de mapeamento foram utilizados: caderneta de campo, mapas topográficos das escavações, bussola *Brunton Geo Pocket Transit* modelo F-5010, martelo geológico *estwing*, caneta, pincéis de diferentes cores, lupa de aumento (10x), caneta com ponteira de tungstênio e imã. Para auxiliar no mapeamento de envoltórias mineralizadas, comumente, são utilizados em campo, os valores obtidos nas amostragens de canal.



Figura 5.1: Foto de um mapeamento de campo – medida da distância do *footwall* do VQZ até o chão da galeria.

5.2.2 Amostragem de canal

Para garantir as especificações de controle de malha de amostragem propostos pelo código JORC (2009) e auxiliar na orientação do desenvolvimento das escavações subterrâneas, foi realizado, de forma sistêmica, o processo de amostragem ao longo da seção da escavação, excluindo o teto (Figura 5.2). As amostras devem representar um intervalo em 0,8 m a 1,2 m e tem como prioridade buscar individualizar as porções mineralizadas em amostras únicas, delimitando o topo e a base da envoltória mineralizada. As amostras são obtidas com martelo rompedor eletropneumático e são armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados para posteriormente serem analisados. O método utilizado para análises de amostras é o *fire assay*, realizado no laboratório interno da MSG. Os resultados das análises de teores são apresentados em ppm. O intervalo mínimo de detecção no laboratório para este tipo de análise é de 0,03 ppm (limite de detecção).

Assim como no mapeamento, os pontos de base e topo das amostras são obtidos tendo como referência marcadores topográficos de coordenadas já conhecidas, neste caso, com a utilização de estação total, a parede da internível também é devidamente marcada (Figura 5.3).

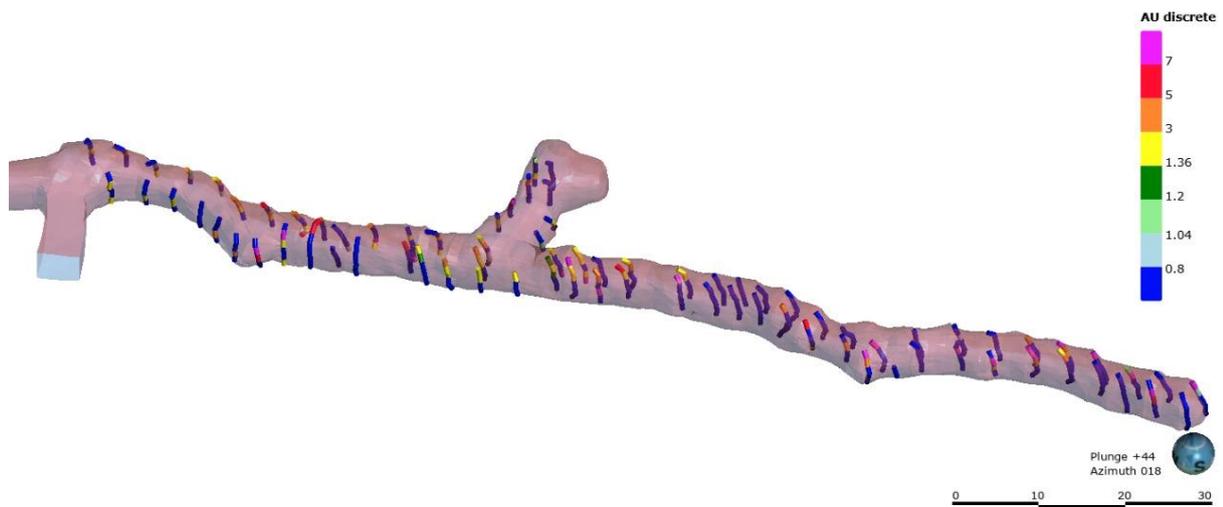


Figura 5.2: Amostras de canais realizadas ao longo do Internível 252 da Mina III.



Figura 5.3: Foto de um internível em desenvolvimento onde pode-se observar as marcações feitas pelos amostradores, os números representam o local de coleta de cada amostra.

5.2.3 Programação de sondagem diamantada

Com intuito de validar as novas geometrias modeladas propostas e garantir a malha de sondagem especificada pelo código JORC (20m x 10m, medido), foi planejada uma campanha de sondagem diamantada com orientação, visando interceptar as novas envoltórias. A campanha de sondagem para a área alvo contou com investigações por sondas posicionadas na superfície e em escavações subterrâneas a depender da profundidade e posição do alvo. Tal condição leva em consideração além do fator econômico a priorização para interceptar as envoltórias mineralizadas de forma perpendicular a foliação.

5.2.4 Descrição de testemunhos de sondagem

A descrição dos testemunhos de sondagem foi realizada em todos os furos executados. O intuito principal da descrição é realizar a classificação litológica dos testemunhos identificando as estruturas mineralizadas conhecidas, em alguns casos são obtidos dados estruturais quando o furo possui orientação. Para realizar a classificação litológica é utilizado: lupa de aumento (10x), caneta de tungstênio, imã, pincel marcador permanente para identificação dos contatos litológicos e de estruturas mineralizadas e trena para medir os intervalos (Figura 5.4). São considerados contatos de possíveis estruturas mineralizadas, as porções sulfetadas, com ouro visível e/ou veios de quartzo cristalinos. Assim como na amostragem de canal, busca-se individualizar as porções mineralizadas em amostras únicas. O intervalo amostral para análise química dos testemunhos de sondagem varia de 0,8 a 1,2m.



Figura 5.4: Exemplo de testemunhos de sondagem obtido na campanha de investigação da nova geometria mineralizada proposta.

5.3 ETAPA DE MODELAGEM

5.3.1 Integração de dados

A integração dos dados de topografia, mapeamento, amostragem de canal e sondagem foi realizada no *software Leapfrog*, onde, é possível ter uma visualização tridimensional de todo o banco de dados georreferenciado. A ferramenta permite a visualização dos teores obtidos nas amostragens químicas, litologias classificadas anteriormente nos intervalos de testemunho de sondagem, medidas estruturais coletadas em campo na forma de discos orientados e linhas de mapeamento. Todas essas informações foram carregadas no visualizador do *software*, juntamente com os sólidos tridimensionais de levantamento topográfico, que como mencionado anteriormente, tem grande importância para interpretação da geometria do depósito visto que, no passado o método de lavra era realizado por corte e enchimento ou câmaras e pilares com perfuração por martelo, se tratando, portanto, de dois métodos seletivos. Todos os dados foram carregados no software, o que permitiu a análise de padrões do depósito permitindo a confecção de uma coluna litoestratigráfica local e posteriormente a nova geometria das lentes mineralizadas.

5.3.2 Confecção do padrão litoestratigráfico

A partir dos dados apresentados no tópico anterior, foi proposto um padrão litoestratigráfico, condizente com os dados apresentados na revisão bibliográfica do modelo metalogenético da Mina III, respeitando-se as condições de envoltórias mineralizadas, que foram definidas levando em conta os as amostragens químicas de teor e a litologia em que estão inseridas. Esta coluna evidencia as lentes de minério com classificação estratiforme, *stratabound* com gênese hidrotermal associada a zonas de cisalhamento com remobilização por dobramentos. considerando a litologia em que estão inseridas.

5.3.3 Geração da geometria de minério

O novo modelo de envoltória de minério foi construído no *software Leapfrog*, sem considerar o modelo anterior, já que o modelo existente foi feito de forma explícita no *software Datamine*. A etapa inicial consistiu na inserção dos dados já existentes juntamente com os novos dados adquiridos. Visando a melhoria da geometria e maior similaridade com a geometria real, foram feitos filtros com as informações de sondagem e de teor para marcação das amostras de cada estrato separadamente, cada estrato é individualizado por diferentes envoltórias e diferentes nomes. À medida que os interníveis foram sendo desenvolvidos, foram acrescentadas informações de mapeamentos e dados estruturais.

CAPÍTULO 6

RESULTADOS

6.1 MAPEAMENTO GEOLÓGICO

Como a maior parte das escavações antigas da Mina III, a Zona Inferior não possui acesso devido ao método de lavra executado, os dados de mapeamento expostos neste trabalho são restritos a escavação desenvolvida para investigação da nova geometria mineralizada. Ao todo foram realizados 18 pontos de mapeamento nessa escavação, onde foram classificados os tipos de minério e obtidas as suas orientações espaciais (Tabela 6.1).

Tabela 6.1: Pontos de mapeamento realizados na galeria 202_GN4.

PONTO	Escavação	Litologia	Tipo de Minério	DIP (Sn)	DIP DIR (Sn)
1	202_GN4	GXN	Minério disseminado (arsenopirita)	20	265
2	202_GN4	GXN	Minério disseminado (arsenopirita)	18	290
3	202_GN4	GXN	Minério disseminado (arsenopirita)	24	320
4	202_GN4	GXN	Minério disseminado (arsenopirita)	20	322
5	202_GN4	GXN	Minério disseminado (arsenopirita)	33	300
6	202_GN4	GXN	Minério disseminado (arsenopirita)	18	290
7	202_GN4	GXN	Minério disseminado (arsenopirita)	23	293
8	202_GN4	GXN	Minério disseminado (arsenopirita)	23	250
9	202_GN4	GXN	Minério disseminado (arsenopirita)	21	305
10	202_GN4	GXN	Minério disseminado (arsenopirita)	20	230
11	202_GN4	GXN	Minério disseminado (arsenopirita)	20	225
12	202_GN4	GXN	Minério disseminado (arsenopirita)	20	265
13	202_GN4	GXN	Minério disseminado (arsenopirita)	30	240
14	202_GN4	GXN	Minério disseminado (arsenopirita)	18	260
15	202_GN4	GXN	Minério disseminado (arsenopirita)	20	310
16	202_GN4	GXN	Minério disseminado (arsenopirita)	24	305
17	202_GN4	GXN	Minério disseminado (arsenopirita)	19	320
18	202_GN4	GXN	Minério disseminado (arsenopirita)	22	315

Também foi confeccionado um estereograma para representar o polo médio das 18 medidas de foliação coletadas: 22/284.

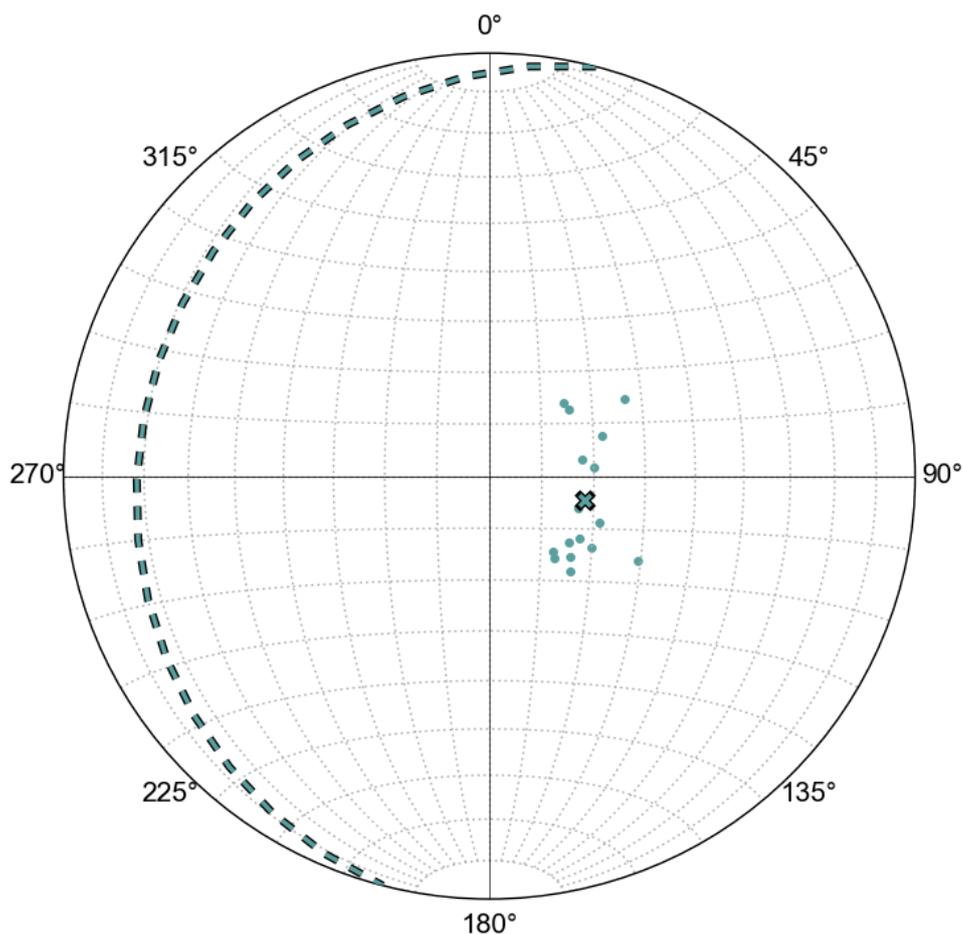


Figura 6.1: Estereograma representando os polos das 18 medidas estruturais obtidas para foliação e a representação do plano dessas medidas.

6.2 SONDAGEM

A fim de suportar e confirmar a nova geometria visualizada em campo durante o mapeamento litológico/estrutural, foi realizada uma campanha de sondagem visando interceptar estas novas lentes em outros locais da mina (Figura 6.2 e Figura 6.3). Ao todo foram realizados cerca de 80 furos de sondagem, totalizando aproximadamente 12000 metros, durante campanhas de sondagem realizadas nos anos de 2021 e 2022. Todos os furos contam com descrição litológica e análise química. Para confecção do modelo, foram utilizados um total de 960 furos de sondagem contemplando a nova campanha em conjunto com o banco de dados já existente.

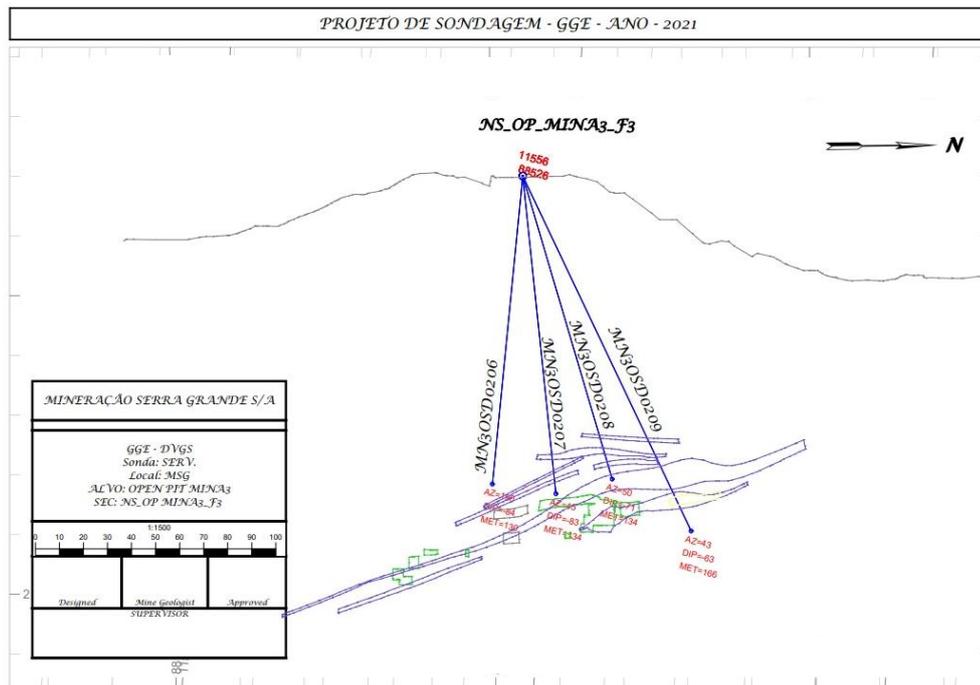


Figura 6.2: Exemplo de seção planejada de sondagem para validação das novas lentes com geometria sub-horizontal.

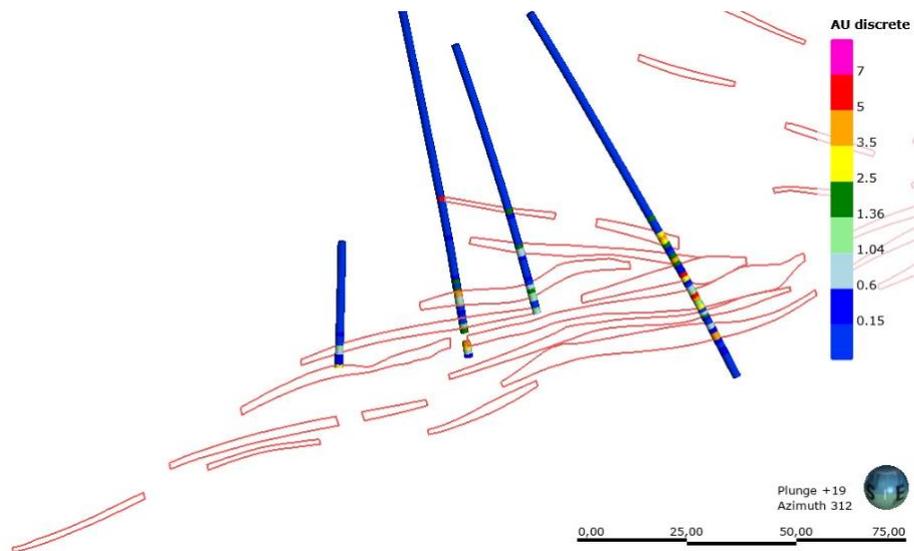


Figura 6.3 Exemplo de seção de sondagem. As linhas em vermelho são as lentes já com a nova geometria modelada com seus resultados de análise química de teor.

6.3 PADRÃO LITOESTRATIGRÁFICO

Através da observação de padrões de mineralização, criou-se um padrão litoestratigráfico da mineralização da Zona inferior, como podemos ver na Figura 6.4. Há mineralização no topo do GNCX em contato com o GXN. No topo do GXN em contato com o VQZ principal e na base do GXN em

contato com o VQZ principal. As outras mineralizações estão no GXN em contato com venulações de quartzo centimétricos que não são descritas nos furos de sondagem pela impossibilidade de se colocar no banco de dados intervalos menores do que 80 centímetros. Por fim no contato entre o GXN e DOL em que a mineralização é no GXN.

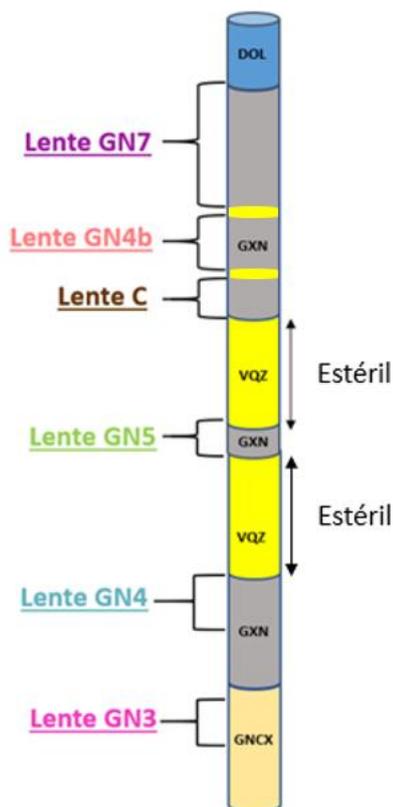


Figura 6.4: Padrão de descrição identificando as lentes mineralizadas da Zona Inferior de acordo com seu estrato.

6.4 MODELAGEM GEOLÓGICA DOS CORPOS MINERALIZADOS

Tendo por base o banco de dados da Mina III – Zona Inferior (furos de sondagem antigos, amostras de canal e linhas de mapeamento) em conjunto com os novos dados de sondagem e mapeamento adicionados. Seguiu-se com o modelo geológico das lentes mineralizadas, considerando, a partir deste momento, lentes sub-horizontais com mergulho para NW, a lente principal da mina como um veio contínuo e novas envoltórias mineralizadas com direção preferencial SW. Ao total foram utilizadas 18473 amostras com teor médio de 26,43 g/ton de ouro e *cutoff* de 1.08 g/ton para as lentes abaixo no nível 200 de profundidade e 0.6 g/ton para as lentes acima do nível 200. Resultando na modelagem de 46 lentes mineralizadas (Figura 6.4) e uma coluna estratigráfica esquemática que representa as mineralizações (Figura 6.5). A Figura 6.6 mostra a comparação entre o modelo antigo e o modelo reinterpretado.

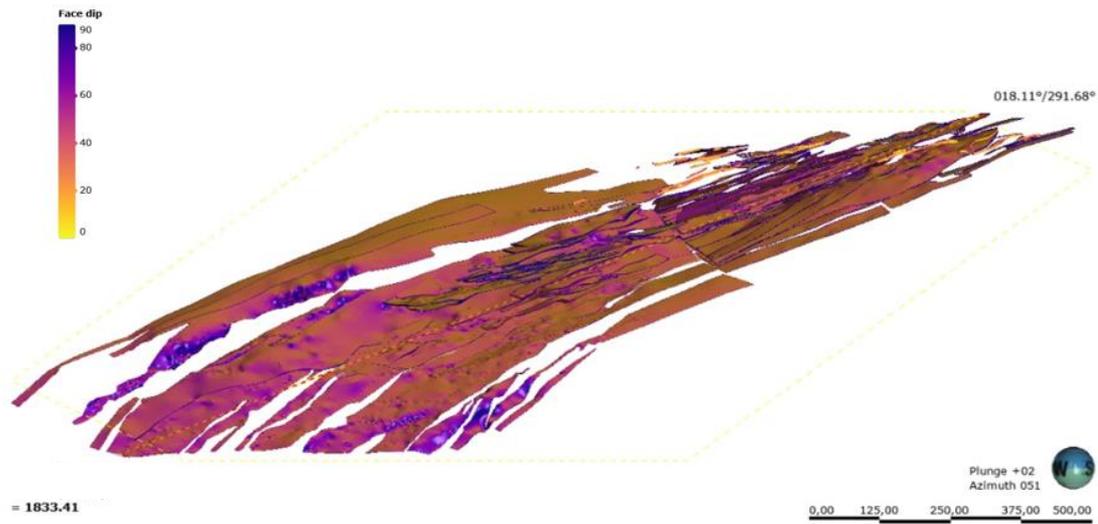


Figura 6.5: Lentes reinterpretadas ao longo de 1833 metros na direção de mergulho do minério (291°) coloridas com base no mergulho dos corpos mineralizados (*Face dip*).

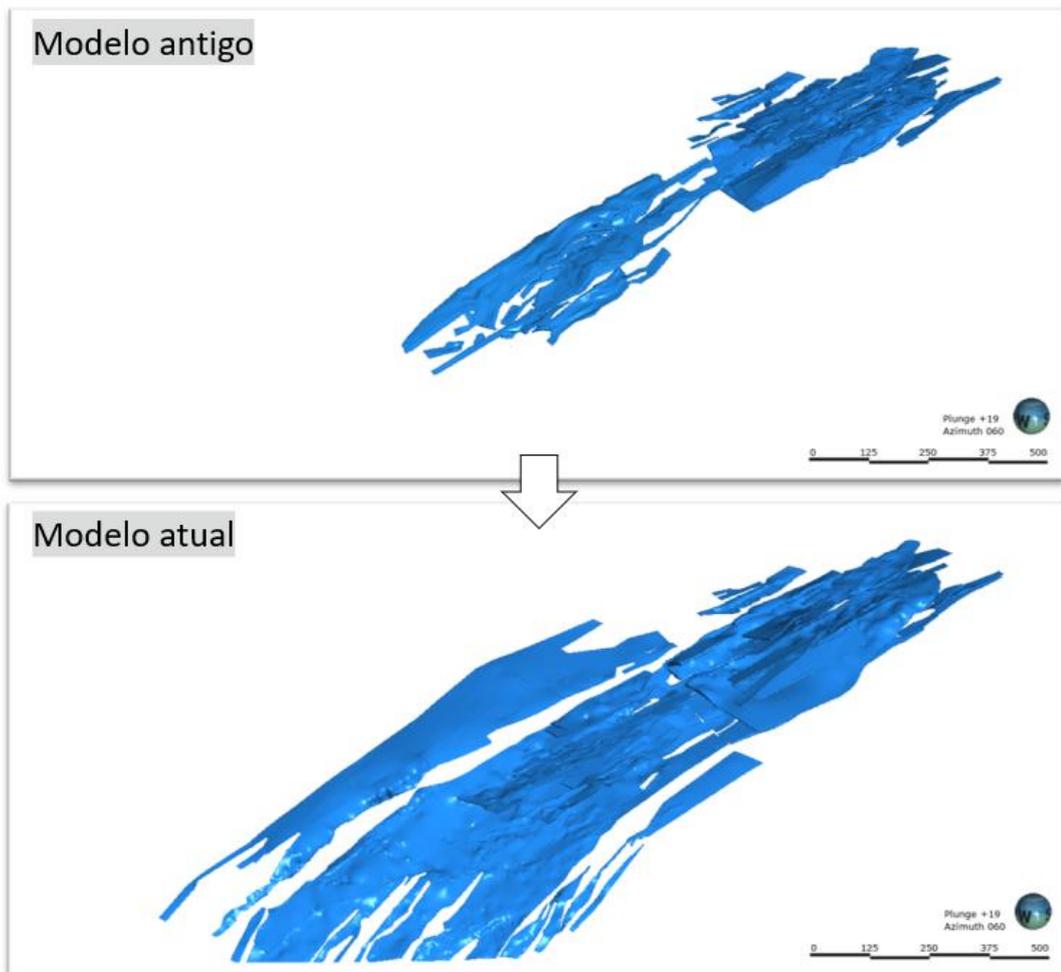


Figura 6.6: Comparação em uma mesma visada entre o modelo antigo e o modelo reinterpretado.

7.1 MODELO LITOLÓGICO

Devido à complexidade da área alvo do estudo, não foram modeladas todas as litologias dando enfoque apenas no VQZ e no GNCX. Como a revisão bibliográfica, as observações de campo e as informações de testemunhos de sondagem apontam para envoltórias mineralizadas associadas ao VQZ houve detalhamento na modelagem desta litologia. Além do VQZ foi modelado o GNCX que marca, de forma contínua, o limite inferior das principais envoltórias mineralizadas afim de servir como camada guia.

Durante a modelagem do veio de quartzo, percebeu-se padrões, até então, não modelados que indicam uma variação na direção de mergulho da camada. Tal variação não havia sido modelada anteriormente e, já que o VQZ possuía direção de mergulho para SW. Como é possível observar na Figura 7.1, há porções identificadas em vermelho, na imagem superior, que mostram pontualmente essa variação na orientação da camada, tal condição não fica evidente ao longo de toda seção, pois, como esses VQZs sub-horizontais possuem espessuras centimétricas, muitas das vezes não possuem o intervalo amostral suficiente para que seja identificado e descrito, visto que, o padrão de amostragem da MSG permite amostras com dimensões entre 0,8 e 1,2 metros. Os dados de mapeamento apontam que esses VQZs possuem orientação média de $22^{\circ}/284^{\circ}$, com isso, buscou-se respeitar essa orientação durante a interpolação dos dados de sondagem. Pela imagem também fica evidente que VQZ é estéril e a encaixante mineralizada.

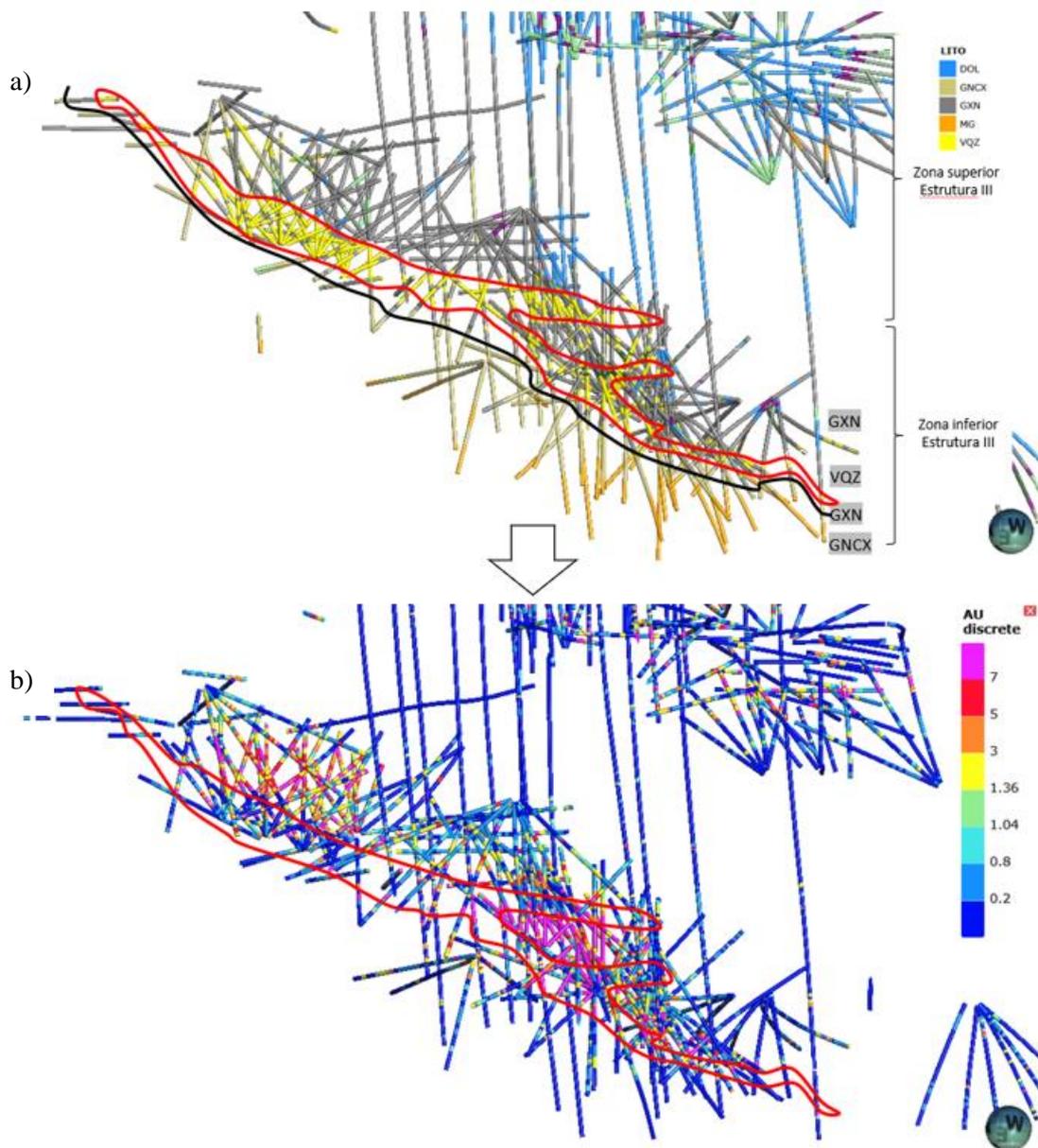


Figura 7.1: Uma mesma seção mostrando os furos de sondagem com informações de litologia (a) e com informações de teores (b). A região demarcada em vermelho mostra o VQZ principal estéril com ramificações na direção SW mineralizando a encaixante (GXN).

7.2 MODELO DE ENVOLTÓRIA DE MINÉRIO

Ao observar o modelo de minério antigo é perceptível a descontinuidade das lentes modeladas, a inconsistência das lentes com relação a estratigrafia e a premissa do minério *stratabound*. É possível observar também a existência de teores não modelados. A mineralização é contínua em seu estrato e a geometria deve ser desenhada respeitando-se o contato litológico em que ela está encaixada.

Quando o modelo é feito apenas em função do teor, perde-se a geometria real do minério. Ao observar as informações litológicas juntamente com as informações de teor, sem considerar o *cutoff* da mina, é possível compreender a geometria da superfície de alteração hidrotermal e quando balizada pelo teor percebe-se que esta superfície é contínua, mesmo que em alguns pontos o teor não seja economicamente viável. É possível observar que o fluido que mineraliza um estrato não cessa, ele pode ser interrompido por controles estruturais ou ter sua potência diminuída em algumas porções, porém a mineralização é contínua em seu estrato. Na Figura 7.2 é possível ver uma mesma seção do modelo antigo, com informações de litologia e teores dos furos de sondagem sucessivamente.

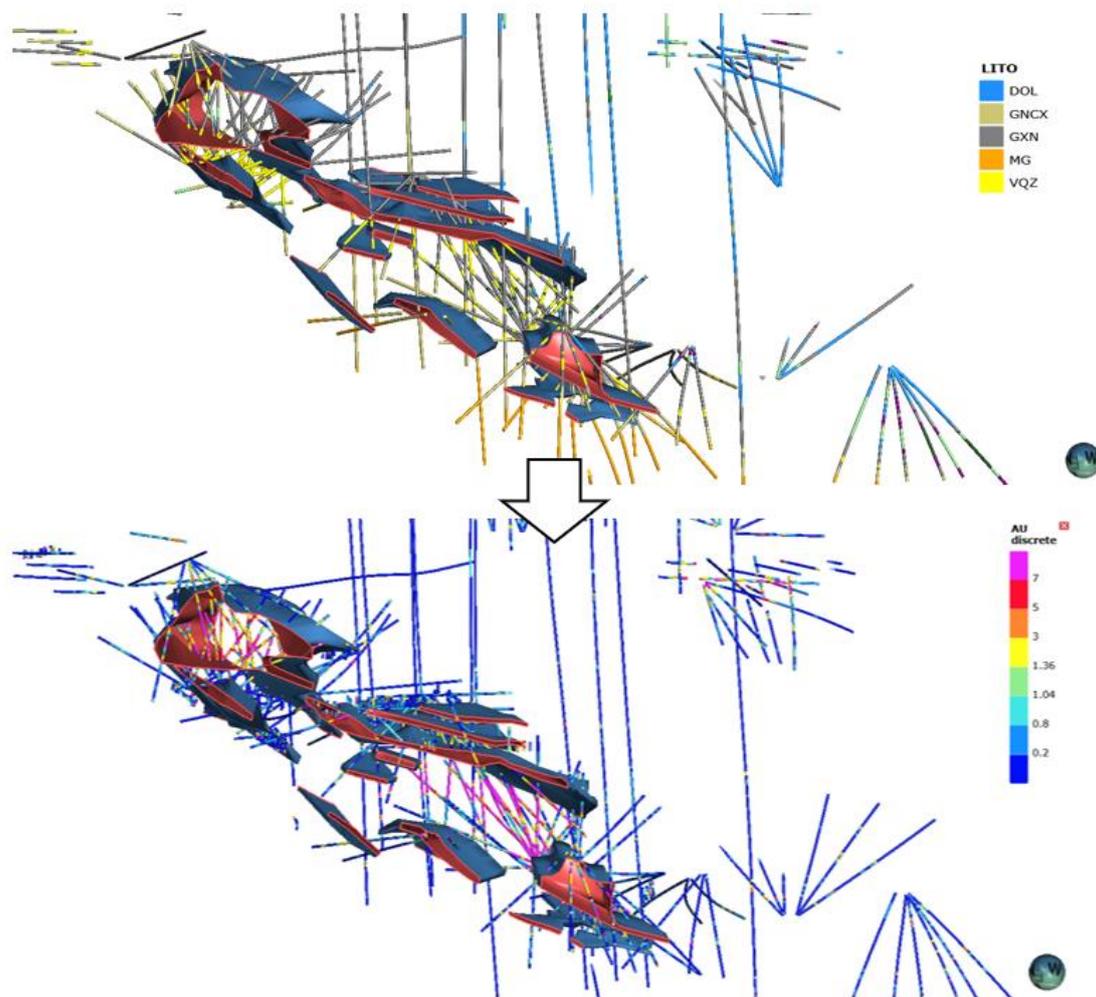


Figura 7.2: Seção mostrando o modelo antigo de minério com informações litológicas e químicas de teor.

A inconsistência do modelo foi confirmada quando se iniciou o desenvolvimento da travessa de internível 202. O realce programado para lavra estava encaixado no topo do veio de quartzo como mostra a Figura 7.3.

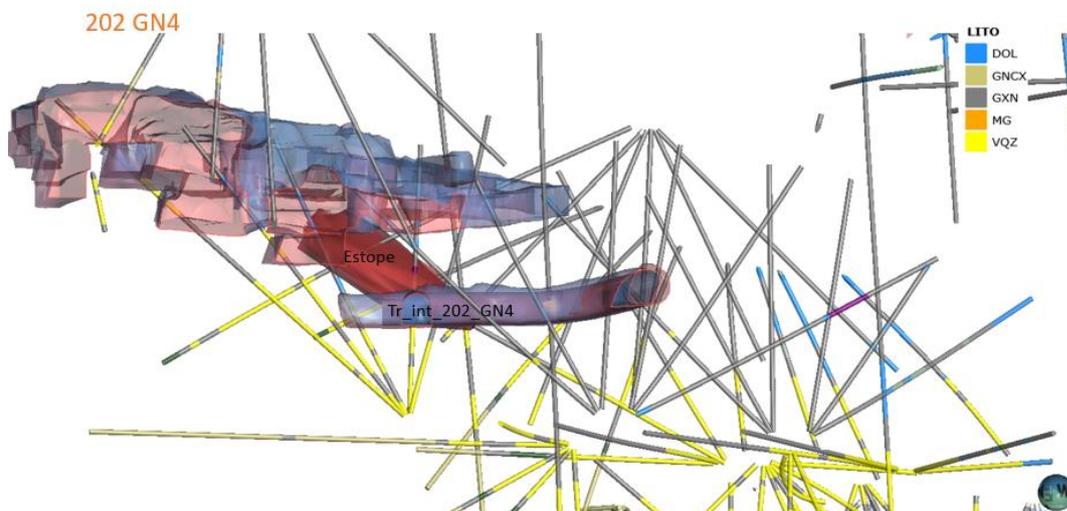


Figura 7.3: Realce programado para lavra do internível 202 GN4 baseado no modelo de minério antigo, seguindo a orientação SW no hangwall do veio de quartzo principal.

Porém, ao desenvolver a travessa foram identificados veios de quartzo em uma direção diferente do esperado, eles possuíam mergulho de baixo ângulo, sub-horizontalizados com direção de foliação NW como pode ser observado nas Figura 7.4. O minério do topo do veio de quartzo não existia e no lugar dele estavam os veios centimétricos sub-horizontalizados com direção NW encaixados na foliação plano-axial.

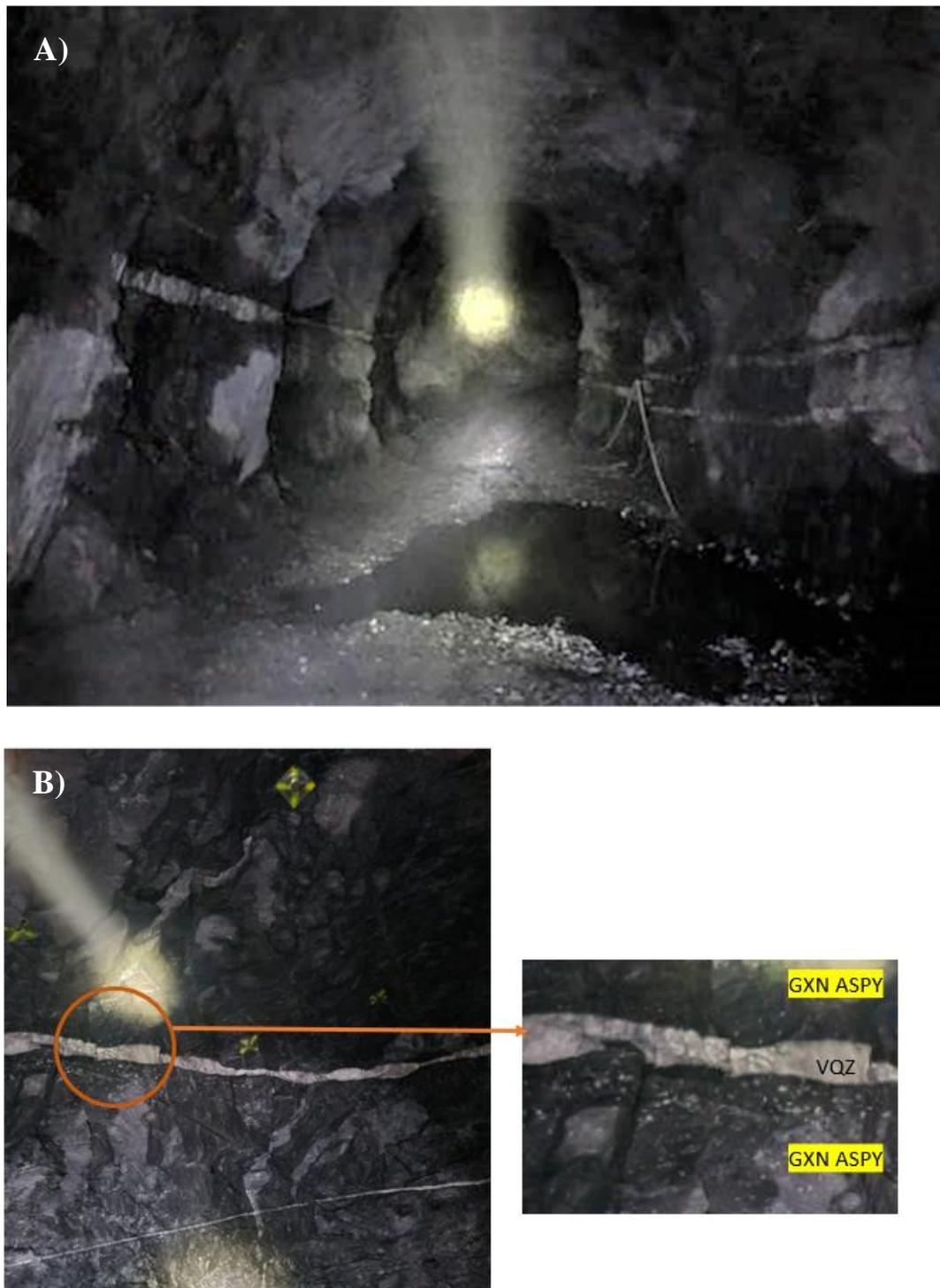


Figura 7.4: A) Travessa do internível 202 mostrando veios de quartzo sub-horizontais com direção NW nas paredes laterais da escavação. B) Foto mostrando o veio de quartzo centimétrico envolto pelo xisto carbonoso com arsenopirita disseminada.

A Figura 7.5 é bastante representativa para o entendimento da nova geometria proposta, a foto foi tirada no internível 462 da Mina III - Zona Inferior e foi interpretada como uma microestrutura representativa da macroestrutura observada anteriormente. É possível ver a base do veio de quartzo principal contínua, enquanto o topo é dobrado e deformado. A direção dos veios de quartzo sub-horizontais na direção NW é correlacionável com uma segunda deformação.

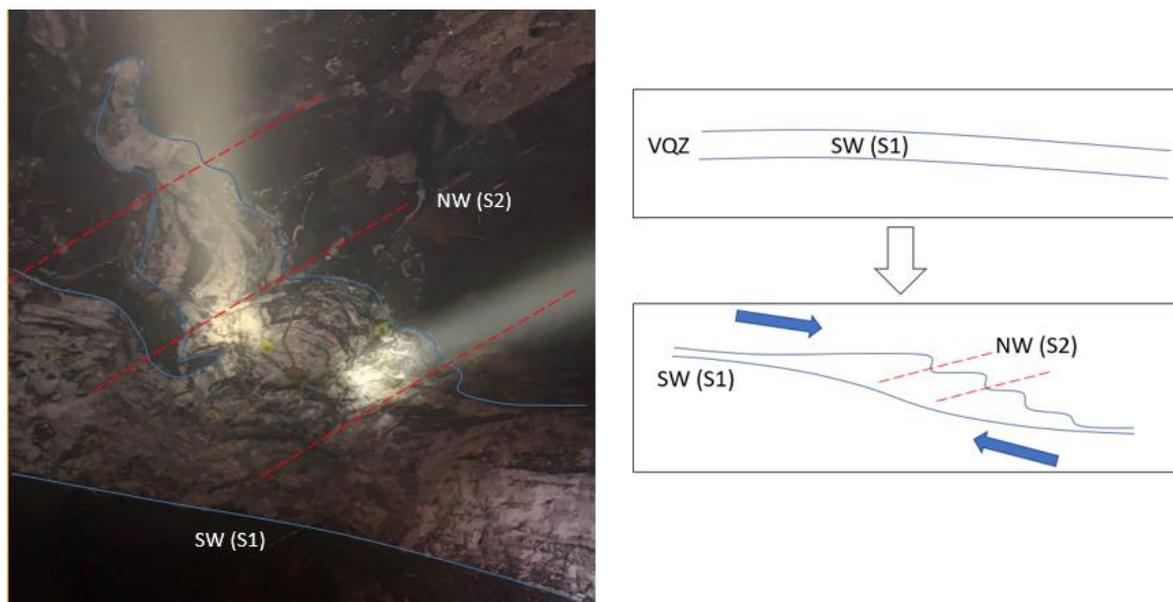


Figura 7.5: A foto evidencia em microescala, a geometria proposta em macroescala.

A nova geometria segue o padrão proposto no esquema representado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**6 em vermelho. Um veio de quartzo espesso na direção de sua foliação principal SW e veios centimétricos na direção da foliação plano-axial NW, que possuem em seu *hangwall* e *footwall*, xistos carbonosos abrigando o minério na arsenopirita disseminada.

Após a abertura do internível 202 e análise dos resultados das amostragens de canal foi possível confirmar esta nova geometria, visto que as descrições dos furos de sondagem não contemplavam estes veio sub-horizontais devido a sua espessura centimétrica. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**6 é possível perceber que na região delimitada pelo círculo não há nenhum intervalo descrito como veio de quartzo.

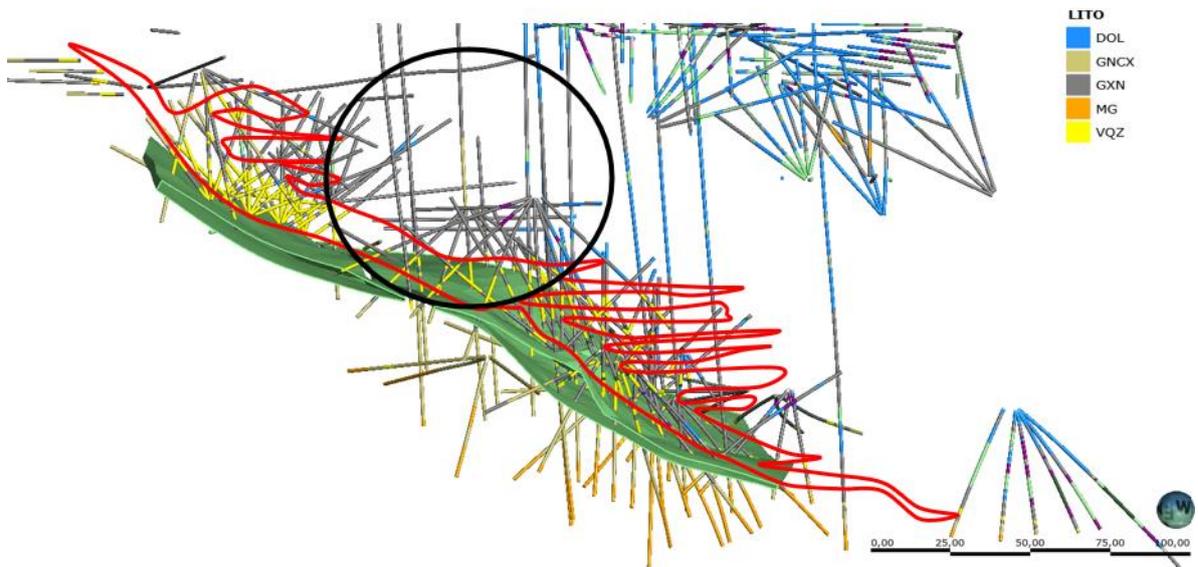


Figura 7.6: A imagem ilustra a lente mineralizada da base do veio de quartzo em verde, em vermelho a envoltória do veio de quartzo e a delimitação em preto mostra a região do internível 202 onde a informação de sondagem é incompleta já os veios de quartzo não tinham a medida mínima para se considerar intervalo amostral.

Com os novos resultados de amostragem de canal e linhas de mapeamento do internível 202 foi possível criar a geometria dessas lentes sub-horizontais, foram usados planos rebatidos do internível 202 para criar as lentes subjacentes como pode-se observar na **Erro! Fonte de referência não encontrada.7.**

Figura 7.7: Amostras de teor evidenciando a existência persistente de mineralizações na direção NW.

Seguindo esse novo raciocínio o modelo da nova geometria proposta, possibilitou abranger zonas mineralizadas não contempladas pelo modelo antigo. A adequação das lentes aos seus estratos fez com que o modelo (Figura 7.8) se tornasse mais contínuo lateral e longitudinalmente, seguindo o padrão estratigráfico identificado. Tais resultados possibilitaram uma adição de 299.607 oz de reserva segundo

avaliação de recursos da AngloGold Ashanti, o que corresponde a 103% de aumento em comparativo ao modelo anterior, conforme especificado na Tabela 7.1.

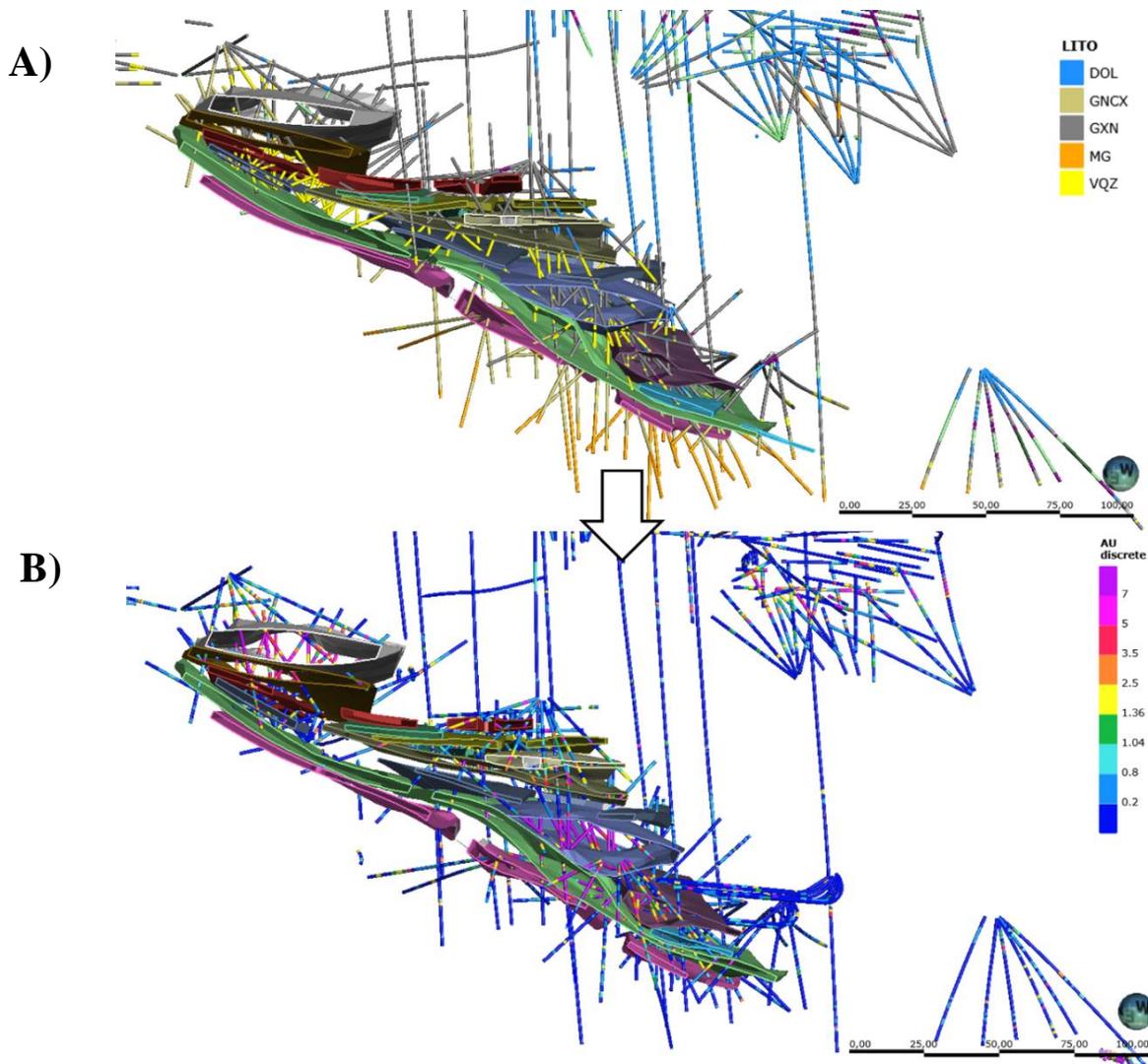


Figura 7.8: Seção feita ao longo do *strike* do modelo mostrando a nova geometria dos corpos de minério da Mina III Zona Inferior juntamente com as informações de litologia (A) e informações de teores (B) dos furos de sondagem utilizados (as cores das envoltórias de minério são aleatórias para melhor distinção entre elas).

Tabela 7.1 - Comparativo de reservas antes e depois da reinterpretção classificado conforme o tipo de recurso.

Reserva - Mina III - Zona Inferior			
Recurso	Antes (Oz)	Depois (Oz)	Diferença (Oz)
Medido	85873	203044	117171
Inferido	108515	169697	61182
Indicado	41902	163156	121254
Total	236290	535897	299607
Total adicionado (Oz)	299607		
Aumento de 103% na reserva			

CAPÍTULO 8

CONCLUSÕES

A reinterpretação geológica de uma porção do depósito da Mina III – Zona Inferior se mostrou desafiadora e com resultados importantes, visto a complexidade geométrica das lentes modeladas e o ganho de reserva para a mina, impactando o modelo de forma quali-quantitativa. A utilização da ferramenta de modelagem implícita do *software Leapfrog*, permitiu otimizar o tempo de desenho das envoltórias e visualizar o banco de dados geológico por completo, auxiliando na identificação de padrões geológicos.

Ao utilizar dados obtidos na revisão bibliográfica, mapeamento de campo, testemunhos de sondagem e amostragem de canal de forma integrada no modelamento geológico, percebeu-se a aderência do novo modelo com as geometrias reais e o máximo aproveitamento do conteúdo metálico do depósito, visto que, neste caso a maior parte das amostras mineralizadas é contemplada pelo modelo e as lentes por serem mais contínuas e respeitarem sua posição estratigráfica possuem menos chance de serem superestimadas, resultando em uma reconciliação aderente. Sob uma abordagem quantitativa destaca-se de forma positiva a adição de 299.607 oz nas reservas da MSG, que corresponde a um aumento de 103% em comparação ao modelo anterior.

Foi dado um passo significativo com relação a evolução da geometria dos corpos de minério do GBC, possibilitando uma visão mais crítica com relação a análise de outras foliações para novas oportunidades em minas já existente e para novos alvos. Este trabalho de reinterpretação tem sido aplicado em outros projetos, utilizando-se desta mesma metodologia, como por exemplo, na mina Pequizão, que após sua reinterpretação também foi possível aumentar suas reservas e aderência do modelo e possibilitou a abertura de novos desenvolvimentos produtivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida F. F. M. 1968. Evolução tectônica do centro-oeste brasileiro. *In: Academia Brasileira de Ciências, Anais*, **40**:280-296.
- Almeida, F. F. M., Hasui, Y., Brito Neves, B. B., Fuck, R. A. 1977. Províncias Estruturais Brasileiras. *In: VIII Simpósio de Geologia do Nordeste, Campina Grande – PE. SBG, Anais*, p. 363-391.
- Almeida, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO-NEVES, B. B.; FUCK, R. A. 1981. Brazilian Structural Provinces: An Introduction. *Earth-Science reviews*, **17**:1-29.
- Almeida, B. S., Jost, H., Benel, M. R., Frantz, J. C. 2005. Alteração hidrotermal e mineralização aurífera do corpo Palmeiras, greenstone belt de Crixás-GO. *In: I Simpósio Brasileiro de Metalogenia, Gramado-RS Anais*, Vol. **1**.
- Borges, C. C. A., Campos, L. M. 2019. Caracterização Petrográfica dos Litotipos do Greenstone Belt Crixás. *In: Relatório Interno AngloGold Ashanti –Unidade Serra Grande*, 31 p.
- Castoldi M. A. S., Frantz J. C., Marques J. C. 2015. *O distrito aurífero de Crixás-GO: caracterização do novo corpo de minério Ingá*. Trabalho de conclusão de curso, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 147 p.
- Cowan, N., Baddeley, A., Elliott, E. M., & Norris, J. 2003. List composition and the word-length effect in immediate serial recall: A comparison of localist and globalist assumptions. *Psychonomic Bulletin & Review*, **10**:74-79.
- Cawood, A., Bond, C.E., Howell, J.A., Butler, R.W.H., Totake, Y. 2017. LiDAR, UAV or compass-clinometer? Accuracy, coverage and the effects on structural models. *Journal of Structural Geology*, **98**:67-82.
- Danni, J. C. M., and Ribeiro, C. C. 1978. Caracterização estratigráfica da sequência volcano-sedimentar de Pilar de Goiás e de Guarinos, Goiás. *In: Anais, XXX Congresso Brasileiro de Geologia, Recife*, p. 582-596.
- Danni, J. C. M., Dardene, R. A., Fuck, R. A. 1981. Geologia da Serra de Santa Rita e Sequência Serra do Cantagalo. *In: I Simpósio de Geologia do CentroOeste, Goiânia. Atas*, p. 265-280.
- Fallara F., Legault M., Rabeau O. 2006. 3-D Integrated Geological Modeling in the Abitibi Subprovince (Québec, Canada): Techniques and Applications. *Exploration and Mining Geology*, **15**:27-41.
- Fuck, R.A., Jardim, E.F., Pimentel, M.M., Dardenne, M.A., Pedrosa-Soares, A.C. 1993. As faixas de dobramentos marginais do Cráton do São Francisco: síntese dos conhecimentos. *In: J.M.L. Dominguez, A. Misi (Eds.) O Cráton do São Francisco, Salvador. SBG/SGMCNPq*, p. 161-185.
- Fuck, R.A. 1994. A Faixa Brasília e a compartimentação tectônica da Província Tocantins. *In: SBG, Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, IV, Anais*, p. 184187.
- Horowitz F G, Hornby P, Bone D and Craig M. 1996. Fast Multidimensional Interpolations, Proceedings of the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry (APCOM 26), Ramani R V (ed). Society Mining Metallurgy and Exploration (SME): Littleton, Colorado, 583 p.
- Jost, H., Oliveira, A. M., 1991. Stratigraphy of the greenstone belts, Crixás region, Goiás, central Brasil. *Journal of South American Earth Sciences*, **4**:201-214.
- Jost, H. *et al.* 2001. Geologia de terrenos Arqueanos e Proterozóicos da região de Crixás–Cedrolina, Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, **31(3)**:315-328.
- Jost, H., Fortes, P. T. F. O., 2001. Gold deposits and occurrences of the Crixás goldfield, central Brazil. *Mineralium Deposita*, **36**:358-376.
- Jost, H., Carvalho, M. J., Rodrigues, V. G., Martins, R. 2014. Metalogênese dos greenstone belts de Goiás. *In: Silva, M.G. (eds) Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras, CPRM, Belo Horizonte*, **6**:141-168.

- Jost, H., Scandolaro, J.E. 2010. Características estruturais, petrográficas e geoquímicas de enxame de diques máficos intrusivo em rochas metassedimentares do greenstone belt de Crixás, Goiás. *Geologia USP. Série Científica*, **10(3)**:118-134.
- Jost, H., Chemale Júnior, F., Dussin, I.A., Tassinari, C.C.G., Martins, R. 2010. AU–Pb zircon Paleoproterozoic age for the metasedimentary host rocks and gold mineralization of the Crixás greenstone belt, Goiás, Central Brazil. *Ore Geology Reviews*, **37(2)**:127-139.
- Jost, H., Apollo, J. F. H., Weber, W., Salles, R. R., Marques, J. C., Massucatto, A. J., Costa, D. A., Santos, B. A. 2019. Stratigraphic update, paleotectonic, paleogeographic, and depositional environments of the Crixás Greenstone Belt, Central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **96**, 22 p.
- Pimentel, M.M., Whitehouse, M.J., Viana, M.G., Fuck, R.A., Machado, N. 1997. The Mara Rosa Arc in the Tocantins Province: further evidence for Neoproterozoic crustal accretion in Central Brazil. *Precambrian Research*, **81**:299-310.
- Pimentel, M. M., Jost, H., Fuck, R. A., Armstrong, R. A., Dantas, E. L., & Potrel, A. (2003). Neoproterozoic anatexis of 2.9 Ga old granitoids in the Goiás-Crixás archean block, Central Brazil: evidence from new SHRIMP U-Pb data and Sm-Nd isotopes. *Geologia USP. Série Científica*, **3**:1-12.
- Pimentel, M. M., Fuck, R. A., Jost, H., Filho, C. F. F., Araújo, S. M. 2000. The basement of the Brasília fold belt and the Goiás magmatic arc. *In: Tectonic Evolution of South America*, p. 195-229.
- Pimentel, M. M. 2016. The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil: a geochronological and isotopic approach. *Brazilian Journal of Geology*, **46**:67-82.
- Queiroz, C. L., Alkmim, F. F., Kuyumjian, R. M. 1995. Estudo dos lineamentos de relevo da região do greenstone belt de Crixás, GO, através de imagens de sensores remotos. Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo CentroOeste, Goiânia. *Boletim de Geociências do Centro-Oeste*, **18**:57-65.
- Queiroz, C. L., Jost, H., Silva, L. C., McNaughton, N. J. 2008. U-Pb SHRIMP and Sm-Nd geochronology of granite-gneiss complexes and implications for the evolution of the central Brazil Archean terrain. *Journal of South American Earth Sciences*, **26**:100-124.
- Sides, E. 1997. Geological modelling of mineral deposits for prediction in mining. *Geol Rundsch*, **86**:342-353.
- Souza, R. G. 2018. *Caracterização do corpo aurífero Mangaba, estrutura IV, greenstone belt de Crixás, GO*. Trabalho de conclusão de curso, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 76 p.
- Tavani, S., Corradetti, A., Billi, A. 2016. High precision analysis of an embryonic extensional fault-related fold using 3D orthorectified virtual outcrops: The viewpoint importance in structural geology. *Journal of Structural Geology*, **86**:200-210.
- Theodoro, S. C. H. 1995. *Ambiente de Sedimentação da Formação Ribeirão das Antas, Grupo Crixás, Goiás*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília, 82 p.
- Yamaoka, W.N., Araújo, E.M. 1988. Depósitos de Ouro Mina III, Crixás, Goiás. *In: C. Schobbenhaus & C.E.S. Coelho (Eds.) Principais Depósitos Mineraiis do Brasil*. Brasília, NPM/CVRD, **3(34)**:491-498.