

Universidade de São Paulo
Instituto de Geociências

Avaliação dos Recursos Minerais do Depósito Paraíba

Trabalho de Formatura

Monografia

18/28

Aluno: Luís Felipe Batelochi

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Monteiro Rocha

São Paulo

2018

Universidade de São Paulo
Instituto de Geociências

Avaliação dos Recursos Minerais do Depósito Paraíba

Trabalho de Formatura

Monografia

18/28

Aluno: Luís Felipe Batelochi

Luís Felipe Batelochi

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Monteiro Rocha

De acordo


São Paulo

2018

AGRADECIMENTOS

Nossa essa é a parte mais difícil, são tantas pessoas que estiveram juntas de mim que me ajudaram. Bom tenho que começa por alguém, agradeço demais à minha família por toda estrutura, pela academia, por estar ali pra me apoiar e tirar dúvidas quando necessário.

Claro tenho que falar da pessoa mais insuportável de todas, a minha namorada Valeska, que não saiu do meu lado também, me ajudou quando pedi e me escuto muito quando precisei, é a pessoa que sabe tudo que me deixou nervoso e algumas vezes utiliza isso contra mim.

Agradeço à turma 57, no início tive meus altos e baixos com a turma, mas nos últimos 3 anos não gostaria de ser de outra turma. Os campos realizados com essa turma não seriam os mesmos.

Dentro dessa turma tem os agradecimentos especiais, como ao Carioca e ao Loló que estiveram presentes em quase todos os trabalhos e grupo realizados na graduação, foram muitos dias de campo de mapeamento geológico juntos. Agradeço demais ao Bilbo um cara que não existem palavras para descrever, muitas conversas no saguão e quase todas as viagens de campo e à Júlia que se tornou uma pessoa muito importante na minha vivência também outra pessoa que não sei dizer tudo que fez por mim, foram tantas coisas. Simplificando vocês 4 são importantes demais pra mim e não sei como agradecer por esses 5 anos de graduação.

Agradeço muito ao meu orientador, o Prof. Dr. Marcelo, por todas as matérias que fiz durante a graduação, por ter me ensinado e claro por ter me orientado, são aprendizados que seguirão para a vida.

A todos os professores que tive aula durante a graduação também sou muito grato, se não fossem vocês não teria essa formação qualificada que a USP oferece.

Agradeço à *Datamine Latin America* e *Geosoft Latin America* pelas licenças dos programas utilizados para a realização do trabalho de formatura.

RESUMO

O Filão Paraíba, localizado no município de Peixoto de Azevedo (no norte do estado do Mato Grosso), faz parte da Província Aurífera Alta Floresta. É estruturalmente controlado e encaixado em rochas miloníticas preenchendo um plano de falha. É conhecida a ocorrência de ouro desde os anos 80.

Esse trabalho consiste na avaliação do Filão Paraíba, usando os métodos de Krigagem Ordinária, Krigagem de variáveis indicadoras e realizado o modelo geológico 3D do corpo mineralizado para a cubagem do veio e mapear o domínio de alto teor (high grade) e baixo teor (low grade). Etapas anteriores são realizadas para aplicar esses métodos, como a composição dos dados, análise estatística, análise geoestatística, modelo teórico de variograma, validação cruzada e, por fim, a estimativa. No caso o coeficiente de correlação da krigagem de variáveis indicadoras, calculado pela validação cruzada, não é possível concluir algo.

Através desses métodos foi estimado que o veio apresenta 400 mil Oz de Au quando realizado a Krigagem Ordinária no modelo geológico e 290 mil Oz de Au quando estimado sobre a Krigagem de Variáveis Indicadoras realizado para litologias.

ABSTRACT

The Filão Paraíba, located in the municipality of Peixoto de Azevedo (northern state of Mato Grosso), is part of the Província Aurífera Alta Floresta. It is a structurally controlled mineralization hosted in milonitic rocks that fill a fault plane. This gold occurrence has been known since the 1980s.

This work consists in the evaluation of the Filão Paraíba, using methods of Ordinary Kriging, Indicator Kriging and 3D geological modelling of the mineralized body to cube the vein and map the high-grade and low-grade domains. Previous steps were made in order to apply these methods, such as the composite of the data, statistical analysis, geostatistical analysis, theoretical model of variogram, cross validation and, finally, the estimation. In case, the correlation coefficient of kriging of indicator variables, that cross-validation calculates, can not conclude anything.

After these methods were used, it was estimated that the vein presents 400 thousand Oz of Au when realized the Ordinary Kriging in the geological model and 290 thousand Oz of Au when estimated on the Kriging of Indicator Variables of lithologies.

Sumário

1 - INTRODUÇÃO	5
1.1 - Localização	6
2 - OBJETIVO.....	7
3 - TRABALHOS PRÉVIOS	7
3.1 - Província Aurífera Alta Floresta (PAAF)	7
3.1.1 - Setor Leste da PAAF	8
3.2 - Histórico de Exploração de Au	8
3.3 – Depósito Paraíba	9
4 - Materiais e métodos	13
4.1 - Materiais	13
4.2 - Métodos.....	13
4.2.1 - Krigagem Ordinária (KO)	15
4.2.2 - Krigagem de Variáveis Indicadoras (KI)	16
5 - RESULTADOS OBTIDOS	17
5.1 - Cubagem Pelo Modelo 3D	25
5.2 - Cubagem pela Krigagem de Variáveis Indicadoras	27
5.3 - Krigagem de Variáveis Indicadoras de valores altos.....	32
6 - INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS DADOS.....	35
6.1 - Dados de estimativa de Au	35
6.2 - Estimativa de Au contido utilizando KI de litologias	36
6.3 - <i>Gradeshell</i> dos teores	36
7 - CONCLUSÕES	37
8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1 - INTRODUÇÃO

Como em qualquer investimento é necessário obter lucro, como a indústria da mineração é um investimento de alto risco as estimativas de teores e volume de minérios ajudam a reduzir esses riscos. Normalmente a estimativa de teores é realizada pela Krigagem Ordinária, que é um BLUE (*Best Linear Undefined Estimator*). Para a estimativa de volumes pode ser utilizada a modelagem explícita, utilizando informações pontuais em que é feita a interpretação do comportamento do corpo ou utiliza-se a técnica matemática de modelagem por indicadores que é menos subjetiva e mais restritiva (não permite interpretações que aumentem o volume).

Foi realizada a estimativa de recursos utilizando os dois modos apresentados de estimativa de volumes, um em que as estimativas de teores se encontravam dentro do modelo geológico interpretado e outro em que as estimativas estavam contidas no modelo realizado através da krigagem de variáveis indicadoras.

A área de estudo está localizada na região leste da Província Aurífera Alta Floresta (PAAF). Essa região entre as décadas de 1970 a 1990 foi responsável pela produção de 200 a 300t de Au, fato que a transformou em uma das principais províncias auríferas (Dardenne & Schobbenhaus, 2003). Essa produção começou em depósitos aluvionares e posteriormente com a exaustão desses depósitos, iniciou a atividade garimpeira em veios mineralizados segundo o lineamento Peru-Trairão NW – SE (Barros, 2007)

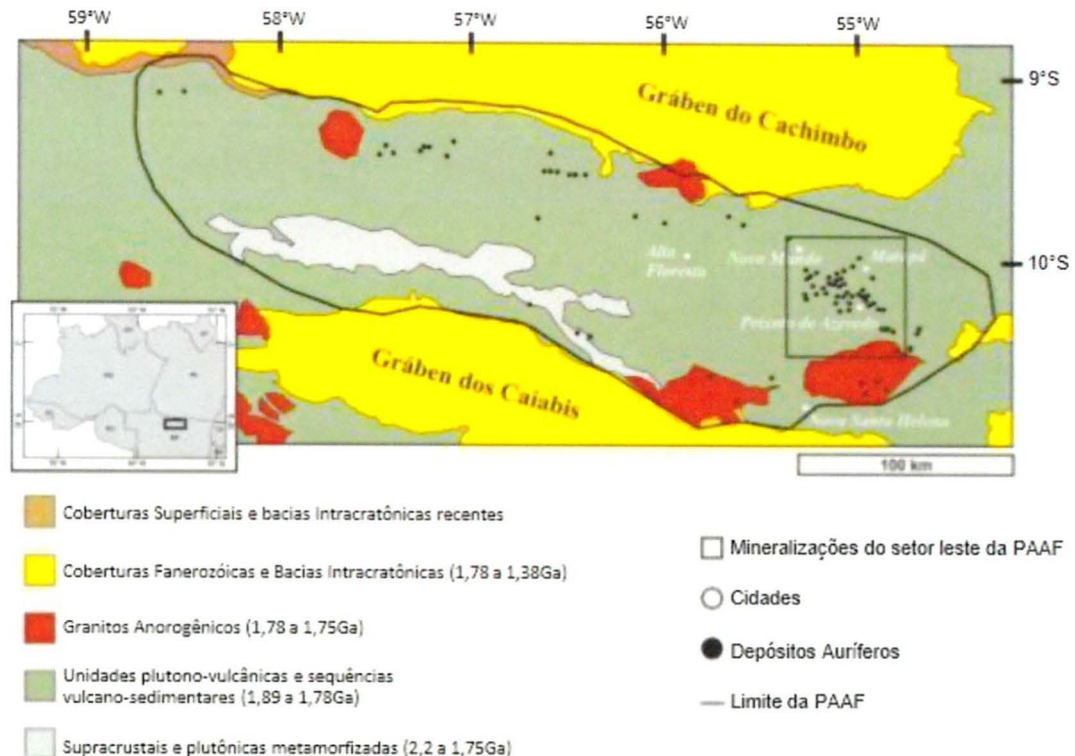
Os depósitos desse lineamento ocorrem em forma de veios, stockworks ou disseminados, apresenta-se na Figura 1 o mapa geológico da PAAF com os depósitos auríferos marcados como pontos cheios.

O Filão Paraíba começou a ser explotado por garimpeiros em 1988, em que eles chegaram à profundidades de até 70 metros em alguns locais. Posteriormente a Cooperativa Mista de Garimpeiros do Vale do Peixoto (Coogavepe) explotou a área de maneira manual através de shafts para exploração subterrânea do filão. A Coogavepe teve que encerrar as operações no local por problemas trabalhistas. Em 2012, a PA Gold iniciou o processo exploração no local.

A mineralização já foi classificada como sendo do tipo orogênico por estar encaixada em uma zona de falha, porém a associação mineral e rocha encaixante não condizem com esse modelo de mineralização. O mais aceito no momento é que a mineralização ocorreu devido a eventos magmáticos durante o processo acrecionário do Cráton Amazônico, em

ambiente de arcos magmáticos, isso explica a concentração das mineralizações da PAAF na região leste.

Figura 1: Mapa geológico da PAAF, mostrando os depósitos de ouro.



Fonte: Trevisan (2015)

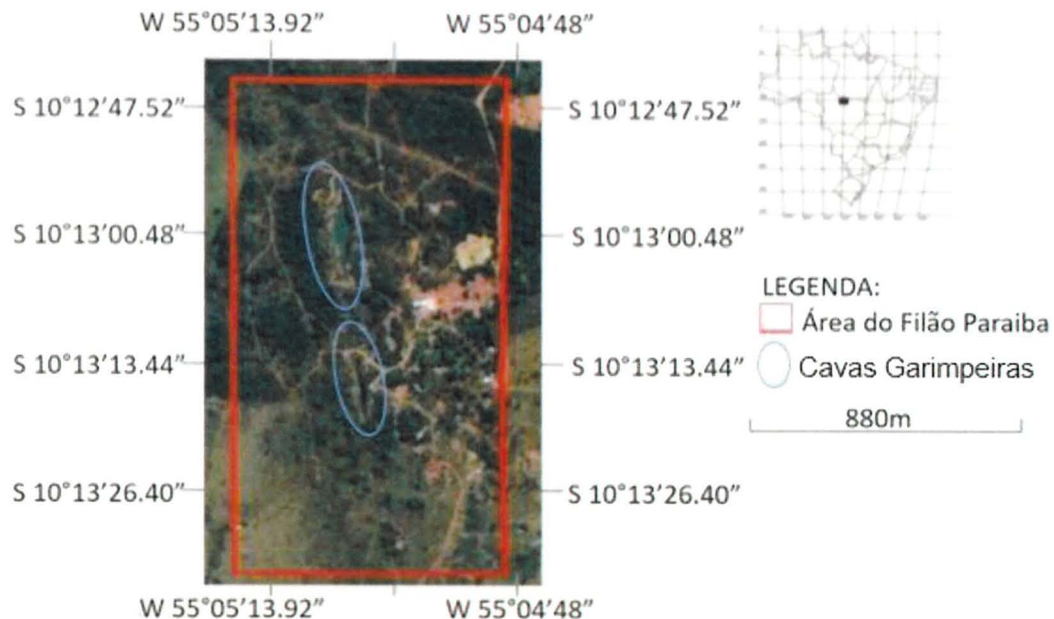
Pretende-se neste Trabalho de Formatura avaliar os recursos minerais do Filão Paraíba, que preenche uma falha transformante dextral com direção N05W. Sua paragénese mineral é composta por calcopirita, pirita, molibdenita e ouro. O ouro é frequentemente encontrado com hábito acicular dentro de cristais de pirita e calcopirita.

1.1 - Localização

O Filão Paraíba localiza-se na região centro-norte do estado de Mato Grosso no município de Peixoto de Azevedo a aproximadamente 680 km da capital do estado, Cuiabá. A BR-163 (Cuiabá – Santarém) é a estrada que conecta a capital à Peixoto.

O acesso à área é feito a partir do centro, pela Av. Brasil e por estrada de terra. Apresenta-se na Figura 2 a localização da área.

Figura 2: Localização da área estudada em coordenadas geográficas.



2 - OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é quantificar os recursos minerais Filão Paraíba, para isso foi delimitado o corpo mineralizado via modelagem explícita 3D e por Krigagem de Variáveis Indicadoras. A partir dos modelos foi calculado os volume e quantificado os teores e tonelagem total para cada modelagem do corpo mineralizado. A quantificação será feita por Krigagem Ordinária e o cálculo da tonelagem por $R = Vdt$, em que a densidade utilizada será constante e será considerada, aproximadamente, como a do quartzo.

3 - TRABALHOS PRÉVIOS

3.1 - Província Aurífera Alta Floresta (PAAF)

A PAAF está localizada na região norte do estado de Mato Grosso, porção centro-sul do cráton amazônico. Encontra-se entre o Gráben do Cachimbo (a norte da província) e o Gráben do Caiabis (sul da província) com comprimento de 500 km na direção E – W (Souza et. al., 2005).

A província é constituída por sequências de rochas plutono-vulcânicas do Paleoproterozóico que foram fontes de fluidos para as mineralizações primárias, formando filões e zonas de stockwork, enquanto que as mineralizações secundárias apresentaram maior importância no passado (Trevisan, 2015), décadas de 70 – 90. Souza et. al. (2005), catalogou 48 depósitos auríferos primários.

A região apresenta três tipos de associação mineral para os depósitos de ouro (1) Au $\pm$ Cu, (2) Au + Zn + Pb $\pm$ Cu e (3) Cu + Mo $\pm$ Au. Os modelos genéticos para a formação desses depósitos são magmático – hidrotermais, pela associação espacial e mineralógica. Sendo os depósitos de Au $\pm$ Cu possuem características de depósitos do tipo cobre-pórfiro, de acordo com (Assis, 2015), mesmo sendo estruturalmente controlado o Filão Paraíba se encaixa nesse sistema. Depósitos de Au + Zn + Pb $\pm$ Cu são interpretados como sistemas epitermais de sulfuração intermediária (Assis, 2011), estando numa porção mais rasa da crosta e os depósitos de Cu + Mo $\pm$ Au, que segundo as referências mais atualizadas ainda não são plenamente definidos como sendo do sistema do tipo pórfiro (Trevisan, 2015). Esses depósitos estão relacionados aos eventos acrecionários do Cráton Amazônico no Paleoproterozóico.

3.1.1 - Setor Leste da PAAF

A maioria dos depósitos auríferos da PAAF apresentam os veios e mineralizados com direção principal (*trend*) NW – SE e encontram-se nos municípios de Guarantã do Norte, Novo Mundo, Peixoto de Azevedo, Nova Santa Helena, Matupá (Trevisan, 2015).

Segundo Assis (2015) o magmatismo do setor leste da PAAF foi gerado por subducção de crosta oceânica formando arcos magmáticos. Cada tipo de mineralização está espacialmente e temporalmente associado, são apontados três eventos principais, o primeiro sendo o Arco Magmático Cuiú-Cuiú (2,1 – 1,9 G.a.), o segundo o Arco Magmático Juruena (1,9 – 1,8 G.a.) e o terceiro a fase colisional do Arco Magmático Juruena (1,78 – 1,75 G.a.). Esses magmas interagiram com a crosta Arqueana e Paleoproterozóica e a colocação deles foi essencial para as mineralizações.

3.2 - Histórico de Exploração de Au

No final dos anos 70, durante as obras da Rodovia Cuiabá – Santarém, foi descoberto ouro onde atualmente localiza-se o município de Peixoto de Azevedo (MT). As

descobertas foram de acumulações secundárias de ouro às margens dos córregos: Baixão Novo, Baixão Velho, Grota Rica, Jaó, Simão, Peixotinho e entre outros (Barros, 1994).

Posteriormente no início da década de 80 o Rio Peixoto de Azevedo começou a ser dragado também por garimpeiros. Em 1983, foi descoberto o primeiro depósito de ouro primário na região, localizado atualmente no município de Garantã do Norte, cerca de 40km a norte de Peixoto de Azevedo (Barros, 1994). Devido aos conflitos entre empresas e garimpeiros, em 1983 foi criada a reserva garimpeira de Peixoto de Azevedo.

Em 1988 o Filão Paraíba foi descoberto e os garimpeiros começaram a extrair o ouro do local, explotaram até 70 metros a céu aberto e até a 300 metros quando extraído por poços (shaft). A extração de Au garimpeira seguiu até 2003, quando a justiça do trabalho interditou o local pelas condições de trabalho precárias que a Cooperativa Mista de Garimpeiros do Vale do Peixoto (Coogavepe) mantinha.

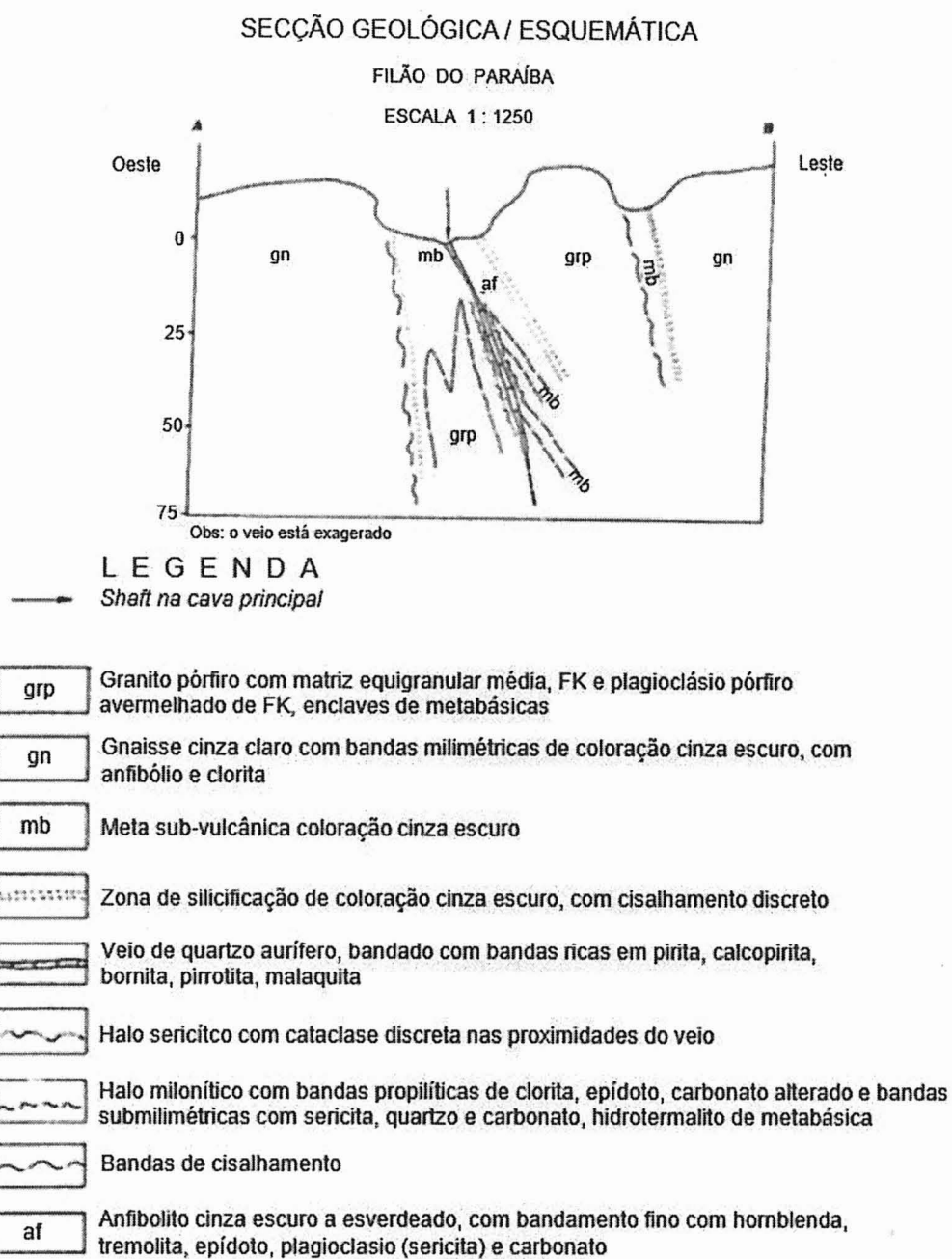
3.3 – Depósito Paraíba

O Filão Paraíba é um dos principais depósitos da região leste da PAAF e importante exemplo de depósito filoneano de $Au \pm Cu$. Este depósito corresponde a um conjunto de filões, com pelo menos três veios de quartzo sinuosos de forma lenticular anastomosados e ramificados e com extensão de 1500m (Paes de Barros, 1994; Trevisan, 2015).

O depósito hospeda-se em anfibolitos atribuído à Suíte Intrusiva Flor da Serra, monzogranitos pertencentes à Suíte Intrusiva Matupá e gnaisses do embasamento associado ao Complexo Cuiú-Cuiú (Trevisan, 2015). Testemunhos de sondagem e mapeamento de galerias restringem o veio mineralizado Paraíba e os outros veios próximos às regiões miloníticas ou próximo ao contato do milonito com o tonalito-granodiorito menos deformado.

A mineralização principal do depósito é representada por veios de quartzo bandado e sulfetado que ocorrem encaixados de maneira concordante com o cisalhamento transcorrente destal com atitudes N05W/65-85E (Figura 3), apresenta espessura variável de 0,2 a 1,5 m (Barros, 1994). Durante a perfuração é observado em regiões mais distantes da mineralização alterações hidrotermais representadas por silicificação, sericitização e potassificação (microclinização e biotitização), enquanto que as regiões próximas à mineralização são representadas por propilitização e sericitização (Trevisan, 2015). A como paragénese mineral é composta por pirita, calcopirita, magnetita, por vezes molibdenita, esfalerita e galena.

Figura 3: Seção esquemática do Filão Paraíba, com exagero na espessura do veio



Fonte: Barros, 1994

Conforme cita Barros (1994) na contribuição a geologia e controle das mineralizações auríferas de Peixoto de Azevedo MT "o ouro ocorre na forma de gotas subarredondadas incluídas principalmente na pirita e, mais subordinadamente, na calcopirita." Pode-se intercorrer como micro partículas na ganga quartzosa embora haja ocorrência de sulfetos de forma dissipada em maior pluralidade nas rochas encaixantes (Barros, 1994; Trevisan 2012). Representados por veios bandados com leitos de 1 a 3 cm enriquecidos em pirita e calcopirita,

ao longo dos setores enriquecidos um maior acúmulo ocorre no quartzo, além de veios sacaroidais a brechados, menos constante (Paes de Barros, 1994; Siqueira, 1997; Silva & Abram, 2008).

Dados de inclusões fluidas petrográficas e microtermométricas obtidas por Assis (2006) viabilizaram diferir os seguintes tipos de fluidos: (1) aquoso bifásico de salinidade moderada (10% peso eq. NaCl) e Th = 78,7 a 234,3°C; (2) aquoso trifásico (L+V+S), com halita, essencialmente e carbonato em alguns casos, com salinidade alta (40,34% peso eq. NaCl) e Th = 285,5 a 362,1°C; e (3) aquo-carbônico com salinidade baixa a moderada (8,7% peso eq. NaCl) e Th = 159,3 a 315,8°C. Conforme cita o autor *“os fluidos ricos em CO₂ em coexistência com fluidos aquosos de salinidade alta podem refletir um sistema em imiscibilidade que progressivamente interagiu com fluidos aquosos mais diluídos. As condições de pressão e temperatura estimadas para o aprisionamento das inclusões do fluido de tipo 3 são 236 a 368°C e 1,0 a 3,6 kbar, respectivamente”*. Estimou-se a partir desses valores de pressão, que o sistema magmático-hidrotermal que originou o depósito Paraíba esteja em profundidades entre 3,0 e 10,8 km.

Adicionalmente, ensaios de inclusões fluida realizados por Silva & Abram (2008) em veio de quartzo com pirita + calcopirita do corpo filoneano principal conceituou basicamente os mesmos tipos de fluidos que Assis (2006), como pode ser observado: (1) carbônico com temperatura de homogeneização (ThCO₂) entre 12° e 31,1°C; (2) aquocarbônico de salinidade baixa a alta (4,6 a 25% peso eq. NaCl) e Th = 270 a 320°C; (3) aquoso (LH₂O + VH₂O) de salinidade baixa (1 a 4% peso eq. NaCl) e Th entre 200 e 340°C, contemporâneo ao fluido do tipo 2; e (4) aquoso bifásico, às vezes com presença de sólido aprisionado (subtipo 4a: LH₂O + VH₂O ± S), e trifásico com fase sólida representada por halita (subtipo 4b: LH₂O + VH₂O + S), sendo a salinidade moderada a alta (13 a 24% peso eq. NaCl) e alta (27,4 a 28,2% peso eq. NaCl) e as temperaturas de homogeneização de 103 a 207°C e 153 a 200°C, respectivamente, para os subtipos 4a e 4b. (Trevisan, 2015)

De acordo com essas conjunturas, e seguindo o raciocínio destes autores, o causador da precipitação do minério, seria uma mistura entre fluidos magmáticos de mais alta temperatura e fluidos aquosos com salinidade moderada a alta e mais frios. Complementarmente, Silva & Abram (2008) indicam valores de temperatura entre 290 e 340°C para o veio de quartzo aurífero, com base no geotermômetro independente da clorita (variedade clinocloro), sendo este intervalo coincidente com as temperaturas obtidas pelo estudo de inclusões fluidas realizados pelos mesmos, sem como por Assis (2006).

Entretanto, Paes de Barros (1994), Siqueira (1997), Moreton & Martins (2005) e Silva & Abram (2008), propõem que o depósito Paraíba apresenta características similares as do modelo de depósito do tipo ouro orogênico/mesothermal (orogenic gold deposits; Groves et al.,

1998). Santos et al. (2001), propõem que os depósitos de Au ± Cu estruturalmente controlados da PAAF apresentam características que correspondem tanto a esta última classe de depósitos como também a depósitos do tipo intrusion-centered (Sillitoe, 1991) ou intrusion-related (Sillitoe and Thompson, 1999).

Os tipos e distribuição dos estágios de alteração hidrotermal apontam uma evolução dos fluidos mineralizantes dos depósitos Paraíba, Luiz e Pezão para um regime de declínio de temperatura e aumento nas condições de fO_2 e pH. Nas condições físicoquímicas essas alterações do sistema devem ter ocorrido na precipitação de grande volume de sílica e sulfetos ao longo da zona de cisalhamento (e.g. depósito Paraíba) e falhas (e.g. depósitos Luiz e Pezão). No depósito Paraíba a precipitação do minério deve estar correlatada com a combinação dos processos de imiscibilidade e interações fluido-rocha, ao passo que nos depósitos Luiz e Pezão o decréscimo na temperatura e pressão devido a expansão adiabática seguida pelo processo de *boiling* provavelmente são os responsáveis pela diminuição na solubilidade do ouro e metais associados. Nos três depósitos a incorporação e a comparação dos atributos geológicos nos apontam para sistemas mineralizados estruturalmente controlados presumivelmente posicionados em diferentes partes da crosta superior (Trevisan, 2015).

O depósito Paraíba deve ter se formado em um nível crustal mais profundo e, conseqüentemente, mais próximo da fonte magmática inferida, ao passo que para os depósitos Luiz e Pezão há a possibilidade de terem se desenvolvido em níveis crustais mais rasos. A estreita relação espacial com plútons de composição granítica sugere que os depósitos Paraíba, Luiz e Pezão possam estar geneticamente relacionados ao desenvolvimento de sistemas magmáticos-hidrotermais que devem ter se desenvolvido aproveitando às estruturas hospedeiras da mineralização (e.g. zona de cisalhamento ou falha) para propiciar uma maior circulação de fluidos originário do magma em cristalização (e.g. rochas subvulcânicas com textura porfírica) (Trevisan, 2015).

As informações geológicas mostradas indicam que os granitóides hospedeiros (e.g. biotita tonalito Paraíba, biotita granodiorito Luiz e sienogranito Pezão) foram afetados pelas estruturas portadoras do minério, mas não tiveram participação na gênese dos depósitos, tendo em vista que, o metassomatismo e formação das zonas mineralizadas como contemporâneos a colocação das estruturas e cristalização das rochas sub-vulcânicas (e.g. feldspato-pórfito Luiz e quartzo-pórfito Pezão). Apesar da idade de mineralização ser desconhecida para os três depósitos filonares, as correspondências geológicas entre as rochas hospedeiras, os plútons mais jovens e as zonas de minério estruturalmente controladas, determinadas com os novos dados geocronológicos, permitem inferir que a metalogênese do ouro no setor leste da província não esteja restrita a apenas um evento

intrusivo paleoproterozóico de aproximadamente 10 Ma no período Estateriano (1.787 ± 3.2 Ma a 1.786 ± 1 Ma), mas apresentem a existência de no mínimo de dois eventos mineralizantes no Paleoproterozóico (~ 1.78 Ga e ~ 1.97 Ga).

Em conclusão as informações geocronológicas U-Pb SHRIMP em zircão alcançadas para as rochas hospedeiras e feldspato-pórfiro Luiz propõem a semelhança desses litotipos com o primeiro evento magmático (1.98 a 1.97 Ga) do setor leste da província, ou mesmo a amplificação desse intervalo de idades.

4 - Materiais e métodos

4.1 - Materiais

Serão utilizados para a realização do trabalho os programas Datamine, Isatis e o Excel para a conferência e o processamento da base de dados fornecida pela P.A. Gold, empresa que detém a autorização de exploração do Filão Paraíba.

A base de dados consiste em 114 furos de sonda com mais de 20 mil análises químicas realizadas para a quantificação de Au (ppm), Cu (%), Ag (ppm). Porém, nesse trabalho serão utilizados apenas os teores de Au.

4.2 - Métodos

Os métodos utilizados para a avaliação do filão Paraíba serão a Krigagem Ordinária e a Krigagem de Variáveis Indicadoras. Isso implica vários outros processos para então chegar nesses métodos. Inicialmente é necessário validar a base de dados, observar se não há duplicatas ou erros na transcrição dos dados entre outros. Seguido pela regularização das amostras para garantir o mesmo suporte amostral (Equação 1), sendo que essa etapa foi realizada de maneira diferente na Krigagem Ordinária (Equação 2), já que foi realizado esse método com pontos.

Foi observado se existem *outliers* (valores acima de 2s sobre o valor da média, em que s é o valor do desvio padrão) havendo outliers é necessário aplicar algum tipo de transformação para minimizá-los. A análise estatística levou em consideração a elaboração do histograma e o cálculo das estatísticas descritivas.

$$T_C = \frac{\sum_{i=1}^n t_{Ri} \cdot e_i}{e} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: :- Tc é o teor composto

- t_{Ri} é o teor real da amostra i
- e_i é a espessura da amostra i
- e é o comprimento desejado para todas as amostras

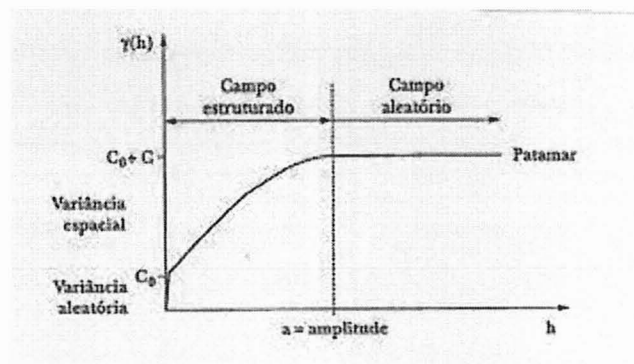
$$T_C = \frac{\sum t_{Ri} \cdot e_i}{\sum e_i} \quad (\text{equação 2})$$

Em que:- Tc é o teor composto

- t_{Ri} é o teor real da amostra i
- e_i é a espessura da amostra i

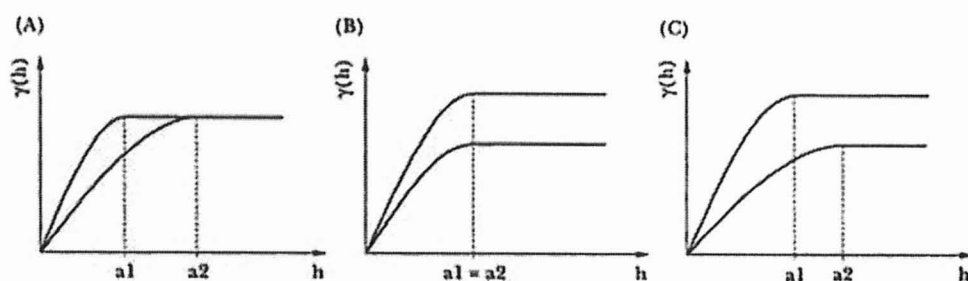
Depois de realizada a análise estatística, fez-se a análise geoestatística onde um variograma experimental é calculado para verificar-se os dados são anisotrópicos e se os variogramas são estruturados (Figura 4). Caso não seja observada estruturação no variograma não é possível aplicar os métodos geoestatísticos de estimativa. A anisotropia consiste em diferentes comportamentos em diferentes direções (Figura5).

Figura 4: Características apresentadas por um variograma estruturado, não sendo obrigatório a presença de C_0 (efeito pepita ou variância aleatória), porém é muito comum.



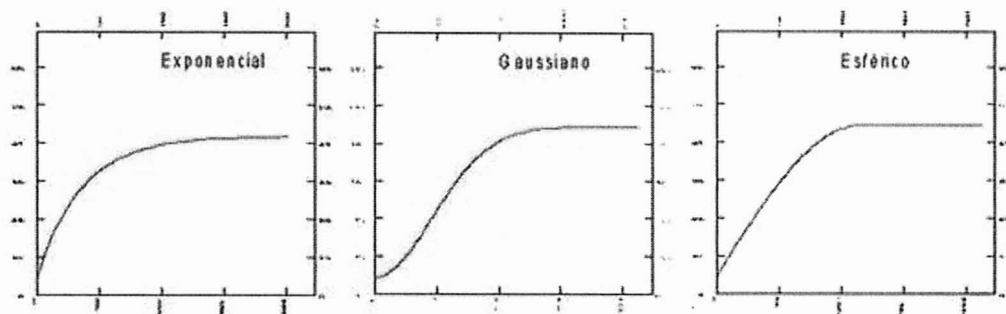
Observado se há estruturação do variograma e se há anisotropia é necessário ajustar o modelo teórico de variograma, que consiste em uma representação matemática da variância espacial. Apresentam-se na Figura 6 os tipos de modelos teóricos de variograma mais comuns.

Figura 5: Tipos possíveis de anisotropia, (A) representa anisotropia geométrica, variograma (B) representa anisotropia zonal e o variograma (C) representa anisotropia mista



Fonte: Yamamoto, 2001

Figura 6: Os 3 tipos de estrutura do variograma mais comuns.



Fonte: Rocha, 1999 (modificado)

Como serão realizadas duas Krigagem de Variáveis Indicadoras e uma Krigagem Ordinária, é necessário calcular 3 variogramas experimentais e ajustar o modelo teórico a eles.

Para ambas as krigagens, é necessário criar um modelo de blocos em que a melhor subdivisão foi igual a um quarto da distância média entre furos de sondagem, para a superfície dos blocos no plano XY, utilizando no caso estudado duas espessuras uma de 0,5m e outra de 0,2 (espessura mínima), sendo a segunda utilizada para a realização da Krigagem de variáveis indicadoras de litologia.

4.2.1 - Krigagem Ordinária (KO)

A Krigagem Ordinária não necessita do conhecimento prévio da média populacional, como na Krigagem Simples, pois assume-se que as medias são localmente constantes, como consequência deve-se garantir que os ponderadores obrigatoriamente somem 1. A Equação 3, como apresentada em Deutsch & Journel (1998), é o estimador da Krigagem ordinária:

$$Z_{ok}^*(u) = \sum_{i=1}^n \lambda_i^{(ok)}(u) \cdot Z(u_i) \quad (\text{Equação 3})$$

Onde: $Z_{ok}^*(u)$ é o resultado da estimativa

$\lambda_i^{(ok)}(u)$ é o valor do ponderador da variável i

- $Z(u_i)$ é o valor Z da amostra i

Os valores da Krigagem ordinária são estimados para cada novo bloco. Esse método de avaliação é mais comumente aplicado movendo-se os parâmetros de vizinhança e usando diferentes conjuntos de dados para diferentes localizações.

Antes de realizar o procedimento de Krigagem propriamente dito é necessário validar o modelo teórico de variograma ajustado, ou seja, observar se o modelo permite uma boa estimativa. Esta validação é denominada validação cruzada, etapa que além de validar o modelo teórico de variograma também define os parâmetros de vizinhança que geram melhores estimativas.

Fazendo essa estimativa dos pontos já amostrados, obtém-se a correlação entre o amostrado e o estimado, que pode ser de -1 a 1, sendo -1 uma correlação indesejável. Quanto mais próximo de 1 melhor será a estimativa, já que os valores estimados e amostrados seriam iguais.

4.2.2 - Krigagem de Variáveis Indicadoras (KI)

Essa Krigagem será usada para a criação do gradeshell do depósito, delimitando-se blocos mineralizados e blocos não mineralizados, além da separação de blocos com teores muito elevados.

A Krigagem por indicadores apresenta como resultado a probabilidade do bloco apresentar uma dada condição, diferente da Krigagem ordinária que define qual é o teor do bloco. Sendo uma probabilidade, blocos que apresentem mais de 50% de chance de apresentar valor acima do corte serão considerados como blocos mineralizados.

Para isso, a base de dados será transformada em uma variável booleana, ou binária.

4.2.3 - Cálculo de recursos

O cálculo de recursos consiste na utilização da fórmula $R=Vdt$. Nessa fórmula há 3 incógnitas que podem ser estimados.

No caso o minério está contido no veio de quartzo, desse modo a densidade média será utilizada como sendo a densidade do quartzo, utilizado 2,7t/m³. Haverá dois volumes estimados um via KI de litologias outro via modelo geológico, para o volume da KI será realizado a soma do volume dos blocos estimados como o veio. A estimativa de teores médios utilizará duas equações diferentes.

O cálculo de teor médio via modelo geológico é realizado através da média ponderada apresentada na Equação 4.

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n V_{\beta} * t_{\beta}}{\sum_{i=1}^n V_{\beta}} \quad (\text{Equação 4})$$

Em que: - V_{β} é o volume do bloco

- t_{β} é o teor médio do bloco

Enquanto que o cálculo de teor médio via KI é feita pela média aritmética apresentada na Equação 5.

$$t = \frac{\sum t_{\beta}}{\sum N} \quad (\text{Equação 5})$$

Em que: - t_{β} é o teor do bloco

-N é o número de blocos

5 - RESULTADOS OBTIDOS

Seguindo a ideia inicial de realizar a análise estatística e conferência da base de dados para a realização das estimativas foi gerado o histograma abaixo (figura 7).

Para transformar cada amostragem em um ponto para depois ser possível krigar esses pontos foi realizada a composição de teores utilizando a equação 3.

Após a aplicação dessa equação foi realizado um novo histograma, o que também implicou com uma redução dos outliers presentes. A figura 8 apresenta assimetria positiva como esperado para depósitos de ouro e metais raros.

Para a eliminação desses outliers foi realizado um *capping* para a observação do histograma dentro do domínio. O valor de *capping* utilizado foi de 100ppm, já que outliers são valores acima de 120ppm, com isso o histograma aumenta a escala em x (melhorando a visualização da distribuição) e reduz a variância. O problema observado foi que há mais de

um domínio de teores, há um de teores elevados e outro de teores mais baixos. A figura 9 abaixo apresenta esse problema.

Figura 7: histograma da base de dados original, sem os outros corpos mineralizados e litologias.

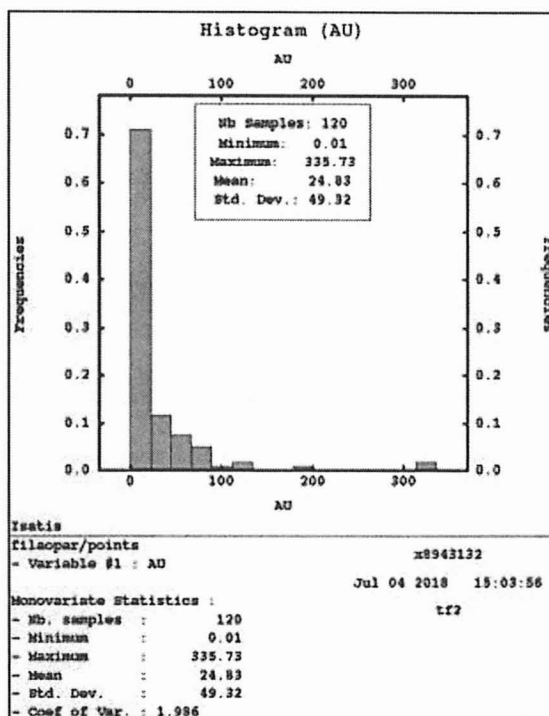


Figura 8: Histograma da base de dados após a regularização das amostras, houve redução mas não ausentou outliers.

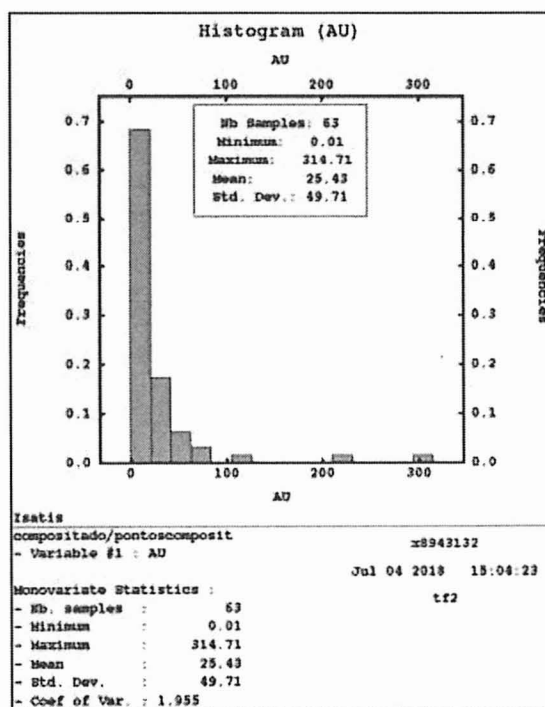
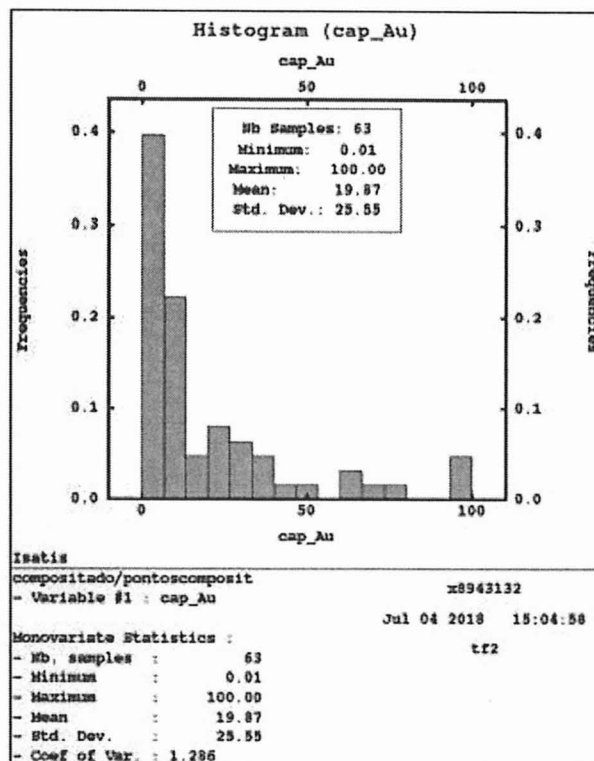


Figura 9: histograma da base de dados com *capping* de 100ppm, apresentando em mais ou menos 19ppm o segundo domínio.

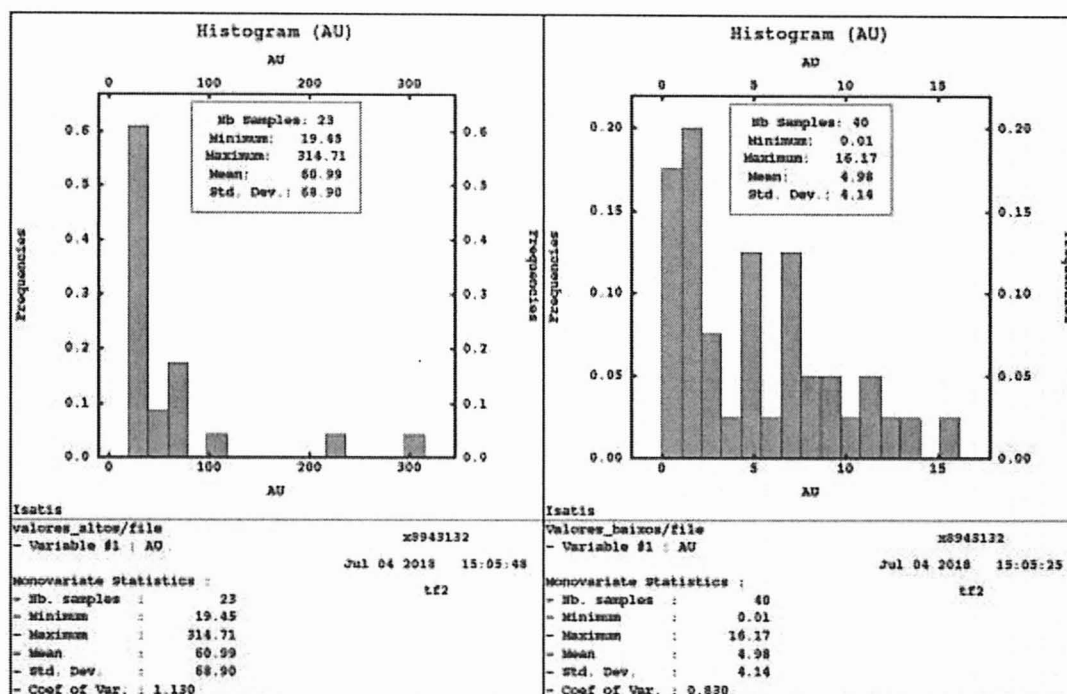


O segundo domínio é caracterizado pela elevação na frequência de amostras, com teores maiores de aproximadamente em 19ppm. Houve a separação entre os dois domínios, sendo o baixo número de amostras, um possível problema no momento de gerar osvariogramas, já que o baixo número de amostras apresentará baixo número de pares.

Dessas 63 amostras foi separado em high grade os valores de teores acima de 19ppm e low grade abaixo de 19ppm. O valor foi escolhido pois, a um gap de teores de 16ppm para 19ppm. A separação fez com que ficassem 23 amostras na tabela de highgrade e 40 amostras na tabela de lowgrade. Figura 10 apresenta os histogramas de cada tabela.

Mesmo sabendo que há dois domínios, o trabalho foi realizado com todos os dados juntos. Isso foi feito, porque o domínio de highgrades não apresenta população suficiente para se gerar um variograma experimental representativo. Isso foi constatado, após ter sido feito o modelo teórico de variograma e a validação cruzada, cuja correlação, apresentou valor negativo, ou seja, o modelo não é válido.

Figura 10: a direita o histograma do segundo domínio (highgrades) e a esquerda o histograma do primeiro domínio (lowgrades).



Foi realizado então o variograma experimental com todos os dados. O que apresenta como obrigatoriedade a variável ser regionalizada, apresentar uma posição no espaço (Abzalov, 2016). Para observar se os outliers interferem na presença de estrutura no variograma, foi gerado o variograma para a análise exploratória. Pela presença dos outliers, gera-se uma grande variância, como observado na figura 11 o variograma não apresentou estruturação.

Foi feito, portanto, uma transformação para suavizar o problema dos outliers. Há 3 opções para a transformação dos dados no Isatis, duas opções em log (log10 ou ln) e outra em gaussiana. A em ln, é reversível e por isso foi escolhida, e pela gaussiana não ter apresentado estrutura. Essa transformação resulta na redução da variância devido aos 10 valores muito altos serem reduzidos desse modo, não há outliers. Abaixo, na figura 12, encontra-se o histograma após a transformação.

O variograma foi gerado em 2D, sendo rotacionado para N355° e dip 85°. Por se tratar de um furo - e furos apresentam desvios durante a perfuração - não há uma malha regular em profundidade, desse modo, há um intervalo de valor de passo possível feito através de tentativas para definir qual seria o valor que apresentaria melhor estrutura.

Figura 11: análise exploratória realizado em 2 direções, sem a normal ao plano, já que o veio é estreito. O plano está rotacionado para N355°/85°

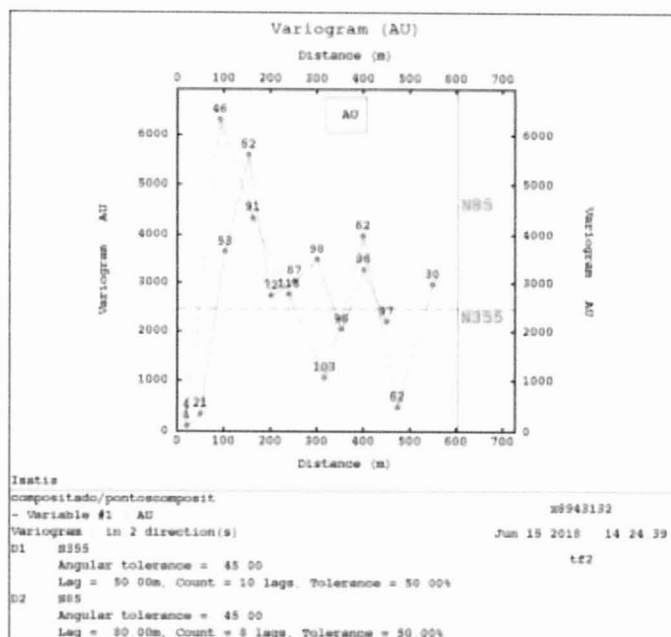
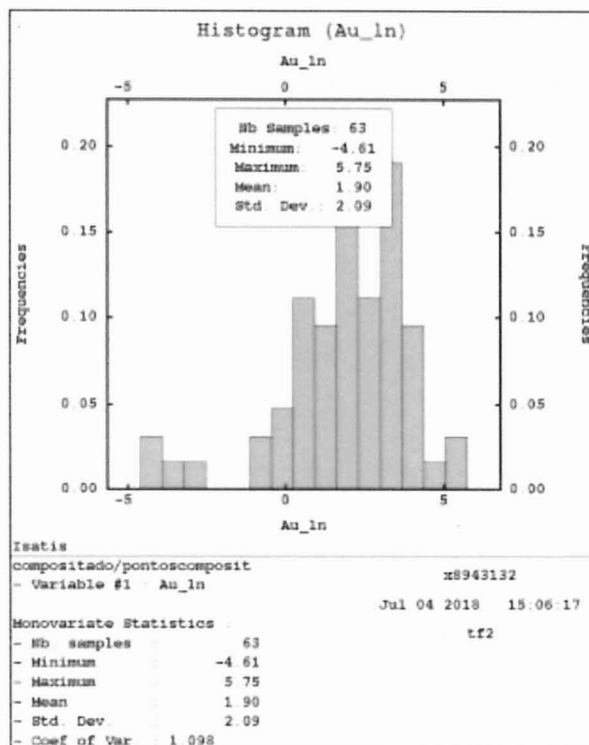


Figura 12: Histograma da base de dados transformada em $\ln(\text{Au})$.



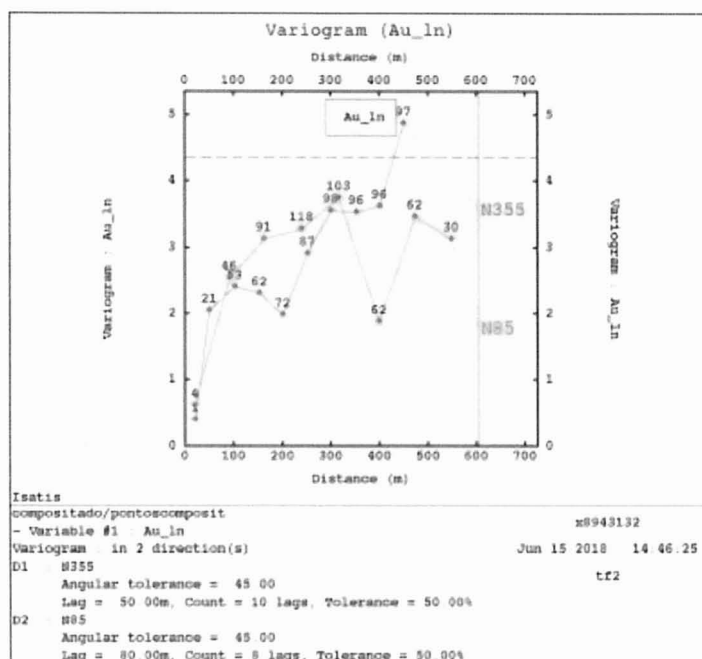
Para a análise exploratória, foi feito diretamente com as direções do controle estrutural, já que a anisotropia do depósito aparece nas direções do controle. Os parâmetros utilizados para calcular o variograma, encontram-se na tabela abaixo: (tabela 1)

Tabela 1: Valores utilizados para os respectivos parâmetros, sendo que os outros parâmetros que aparecem no Isatis ficaram em branco.

	N355	N85
Tolerância angular (plano)	45°	45°
Tolerância angular (vertical)	90°	90°
Valor do passo	50 m	80 m
Número de passos	10	8
Tolerância na distância	0.5	0.5

Abaixo encontra-se o variograma gerado por tais parâmetros (figura 13). Observa-se que distancias maiores que o campo geométrico apresentam padrão errático, assim 11 distancias maiores que 320 m na direção N85, estão fora do campo geométrico e na direção N355 estão acima de 450 m.

Figura 13: Melhor variograma gerado na análise exploratória, foi ignorado o valor de variância na primeira distancia, já que apresenta quantidade de pares muito pequena.



Gerado o variograma experimental é necessário fazer o modelo teórico de variograma. Para tal, é importante observar que a anisotropia é mista e que a direção N355 é a principal por apresentar menor variação da variância com acréscimo de distância. Sendo assim, o modelo teórico será rotacionado para essa direção, ou seja, é o valor colocado em (u) no Isatis. Há vários tipos de estrutura, sendo a gaussiana, exponencial e esférica as mais comuns. Foi utilizada o esférico por representar melhor o depósito.

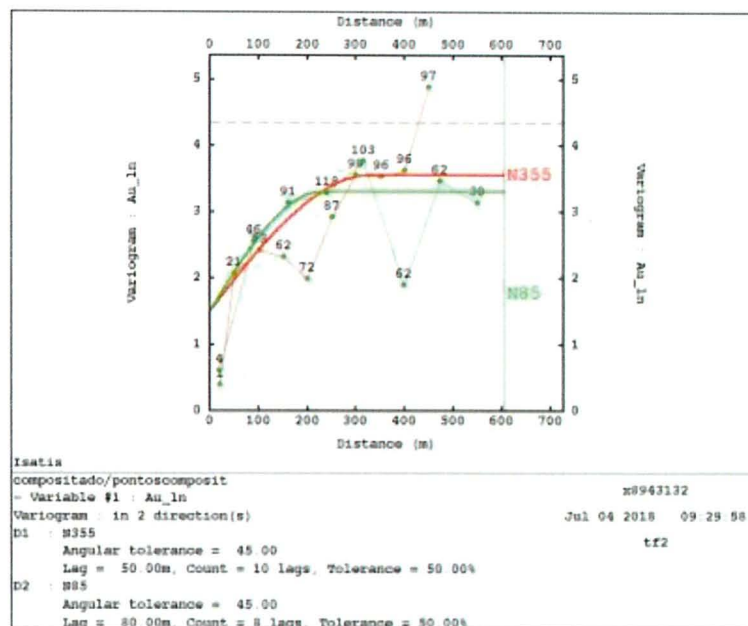
A tabela 2 apresenta os parâmetros utilizados para o modelo teórico de variograma.

Tabela 2: Parâmetros do modelo teórico de variograma ajustado.

Estruturas	Modelo	Au	Av	Var. esp.	Pepita	Rotação
Estrutura 1	Esférico	330	230	1.8	1.5	355
Estrutura 2	Esférico	330	-	0.25		

No Isatis, diferentemente de outros programas, para gerar patamares diferentes é necessário deixar o campo da amplitude da direção já modelada em branco. A figura 14 mostra como ficou o ajuste do modelo.

Figura 14: Variograma modelado segundo os valores apresentado na figura anterior.



Depois de o variograma ter sido modelado é necessário validá-lo e criar parâmetros de vizinhança. Para tal é realizado a validação cruzada, que consiste em estimar pontos amostrados. Foi definido como melhor parâmetro de vizinhança, os valores que apresentaram maior coeficiente de correlação e que teve maior estimativa de pontos (menor perda).

Algumas validações cruzadas, foram feitas variando os parâmetros de vizinhança e a divisão entre quadrante e octante. Lembrando que, o modelo do variograma é em 2D, porém o corpo é em 3D, portanto é necessário a existência de um valor para W, caso contrario, não haverá estimativa. Além disso, os parâmetros de vizinhança também precisam ser rotacionados do mesmo modo que o modelo teórico de variograma.

Os valores máximos de U, V e W para o elipsoide de varredura estão na tabela 3. Já o número de amostras mínima possível de se fazer estimativa, quantas divisões serão feitas na busca (quadrante, octante...) e quantas amostras por divisão seriam o ideal para a estimativa, estão na tabela abaixo. (tabela 4)

Tabela 3: Tabela com os respectivos valores de distância para a busca de amostras vizinhas em U, V e W.

U (m)	V (m)	W (m)
300	190	80

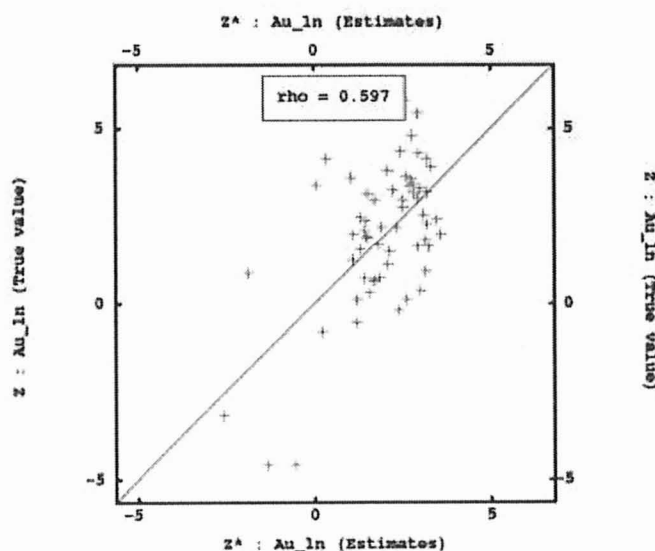
Tabela 4: Número mínimo e o ideal para realizar a estimativa, assim como devem estar a distribuídas as amostras.

Nº min. Amostras	Nº de set. angulares	Nº ideal de amostras por setor
3	4	2

Com tais parâmetros de vizinhança, obteve-se um coeficiente de correlação de 0.597 sendo assim, o modelo teórico de variograma é valido

Com valores de 180 m na direção V, obtém-se um coeficiente de correlação de 0.686, porém, mesmo com maior coeficiente de correlação não foi utilizado esse valor, pois quando estimado os valores, apenas 58 pontos são estimados em um total de 63 enquanto que, com 190 m são estimados os valores de 60 pontos. Pela quantidade de amostras ter dois pontos não estimados apresenta-se uma perda de 3%, ficando com uma perda total de aproximadamente 8%. A figura 15 abaixo apresenta a dispersão entre medido e estimado, além do coeficiente de correlação.

Figura 15: Relação entre estimado e real, sendo que no eixo das abscissas encontram-se os valores estimados e no eixo das ordenadas os valores reais.

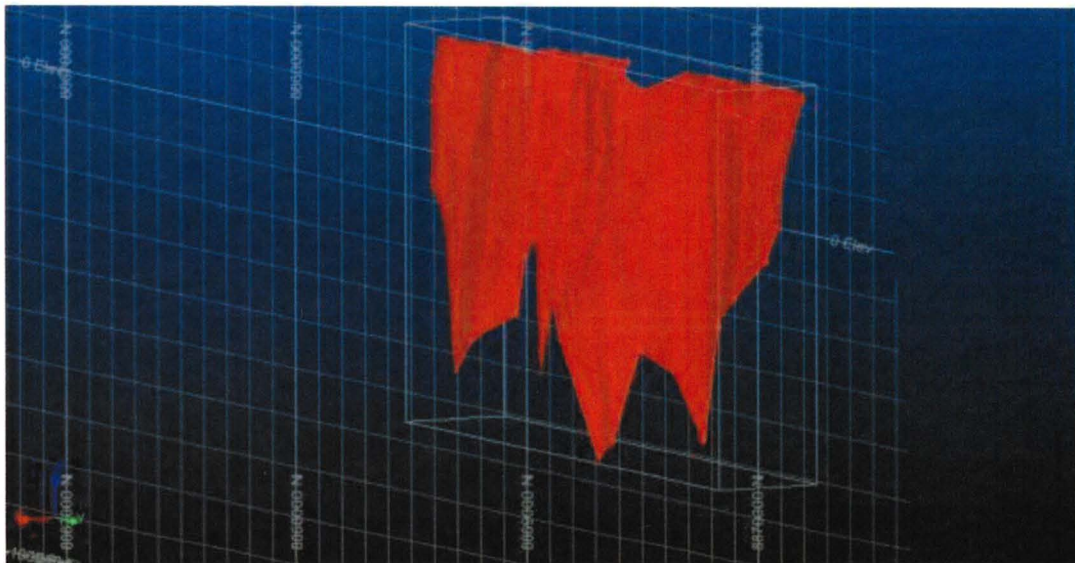


5.1 - Cubagem Pelo Modelo 3D

Para a realização da KO do veio não é possível realizar a estimativa em um modelo de blocos simples, pois superestimaria de maneira volumétrica e quantitativa de ouro presente, além de possivelmente subestimar o valor do teor médio. Então foi utilizado o *Datamine* para criar o modelo de blocos recortado.

Para recortar o modelo de blocos é necessário criar um modelo geológico, o qual também será utilizado para o cálculo de volume do corpo mineralizado. O modelo 3D foi realizado pelo método de triangulação de Delaunay, que visa formar triângulos o mais equilátero possível. O resultado da triangulação pode ser observado na figura 16.

Figura 16: Modelo geológico gerado no *Datamine* contendo as coordenadas x (vermelha), y (verde) e z (azul) no canto inferior esquerdo além o modelo de blocos contendo o modelo geológico inteiramente.



Depois do modelo geológico gerado, é realizado o modelo de blocos protótipo, que é possível observar na figura 16 sendo as linhas brancas envolvendo o modelo geológico. O modelo de blocos protótipo apresenta as dimensões apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5: Dimensões dos blocos em metros (m) e rotação dos blocos (rot) em graus.

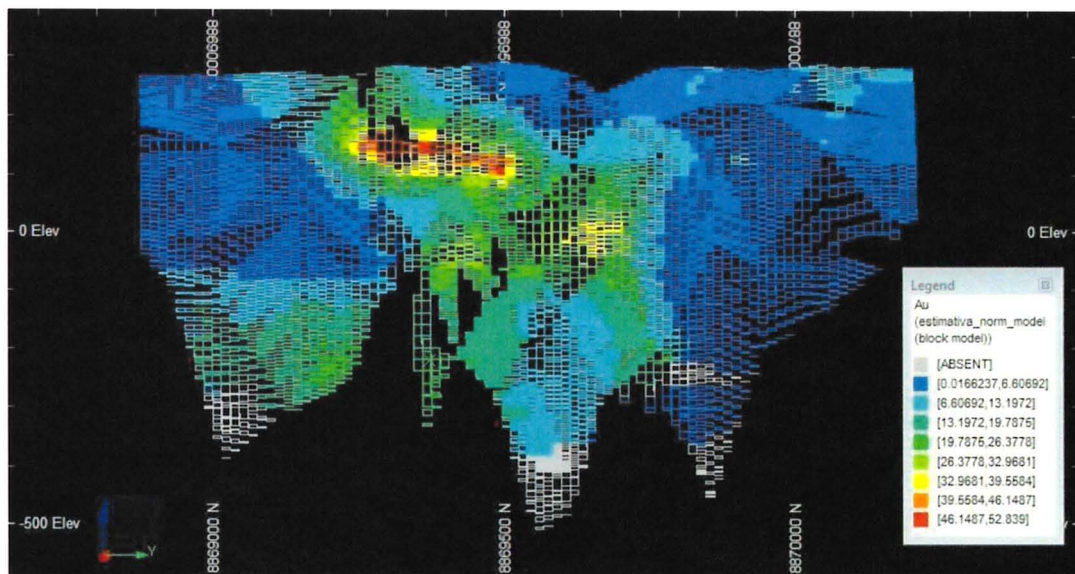
x (m)	y (m)	z (m)	z (rot)	y (rot)	x (rot)
0,5	15	20	6,43	3,21	0

Com os dados da tabela anterior são gerados 811800 blocos, desses 11115 estão contidos dentro da *wireframe*. Porém, muitos dos blocos recortados do modelo de blocos

protótipo apresentam sub-blocos no eixo z, sendo assim o Isatis não lê o arquivo. Logo, a estimativa foi realizada no *Datamine*.

Para tal procedimento é necessário realizar uma pequena mudança no modelo teórico de variograma, esse procedimento consiste em alterar o espaço em vazio na segunda estrutura na direção N85 por um número muito elevado de amplitude, porém não muito elevado que nem 10^{30} . Sendo assim o valor de amplitude na segunda estrutura utilizado foi de 10^7 , que é um valor de amplitude que o *Datamine* aceita. O resultado da KO pode ser observado na figura 17 abaixo.

Figura 17: Imagem do modelo de blocos apresentando valores de Au estimado para cada bloco, podendo ser observado os diferentes tamanhos dos blocos no eixo z.



Para finalmente estimar a quantidade de ouro total é necessário aplicar a formula $R=vdt$, em que R é o recurso, v é o volume, d é a densidade e t é o teor médio. O volume é obtido diretamente pela *wireframe* do depósito, a densidade é admitida como sendo aproximadamente a densidade do quartzo, e o teor médio é o valor da média dos teores dos blocos.

Como já dito, há sub-blocos no eixo z, desse modo não é possível obter o valor de teor médio apenas com uma média aritmética simples. Então foi utilizado a média ponderada calculada com a equação 4.

Desse modo os valores utilizados para a cubagem encontram-se na Tabela 6 abaixo.

Tabela 6: Apresenta os valores de volume, teor médio e densidade utilizados

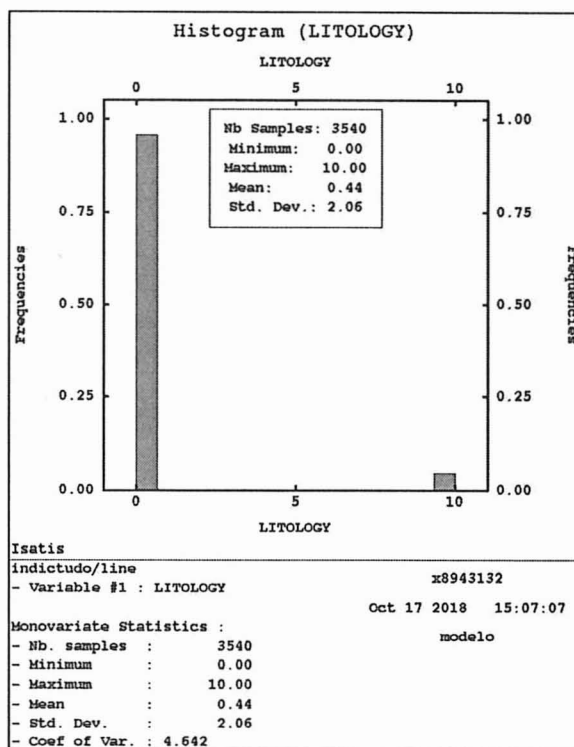
V	t	d
329138.177	12.52	2.7

Com isso, foi estimado que o Filão Paraíba apresenta 11126181.0 g de Au, valor que corresponde a 392457.9 Oz de Au.

5.2 - Cubagem pela Krigagem de Variáveis Indicadoras

A variável a ser krigada será a litologia, que foi separada em é veio (10) e não é veio (0) (Figura 18). A distribuição apresenta uma grande importância de amostras com pequeno suporte, por isso a porcentagem aparentemente importante de veio.

Figura 18: Histograma das amostras com diferentes suportes.

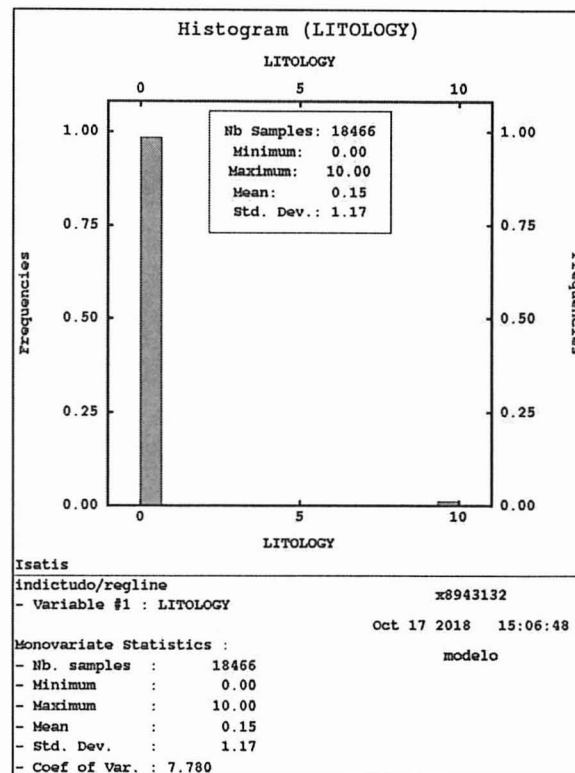


Os métodos geoestatísticos não consideram os diferentes suportes, com isso o primeiro passo necessário é a regularização das amostras, que garante o mesmo suporte às amostras e foi realizado pelo comprimento do furo, sendo regularizado a cada 20 cm de furo. Esse valor foi escolhido simplesmente por ser o valor mínimo de espessura do veio, já que na regularização de amostras é realizado um valor composto, e o comprimento composto do furo não poderia ser mais elevado, pois "diluiria" a litologia. A Figura 19 apresenta a distribuição dos valores com relação a frequência.

Como relatado anteriormente, a regularização das amostras é uma média ponderada, desse modo ocorre que as amostras regularizadas não são categóricas. Como a KI é realizada com variáveis categóricas foi feito a seguinte categorização, se 60% da

amostra for de veio será considerada como veio se isso não ocorrer não é veio. Nessa transformação foi alterado os valores de veio e não veio, o que é veio agora apresenta o valor 1, e o que não é veio apresenta o valor 0. A distribuição de frequências de 0 e 1 pode ser observado na Figura 20.

Figura 19: Histograma após a regularização, possível de ser observado a menor importância da litologia 10 em relação a figura anterior.



Pelo valor de média e de desvio padrão é esperado que as amostras também apresentem baixo valor de variância espacial. Para a realização do método geoestatístico é necessário realizar a análise exploratória que consiste na realização do variograma experimental, desse modo obtendo informações do campo estruturado (até qual distância há correlação entre amostras) e do campo aleatório (valor de variância espacial fixa). O variograma foi gerado com os parâmetros da Tabela 7.

O variograma experimental não ficou estruturado na tentativa de ser realizado como direcional, por isso foi realizado de maneira omnidirecional. Além do variograma experimental ter apresentado flutuação no patamar, parecendo estabilizar em um valor mais elevado de variância espacial e abruptamente reduzindo e realmente estabilizando em valor de patamar mais baixo.

Figura 20: Histograma das variáveis indicadoras, apresentando média muito próxima a 0.

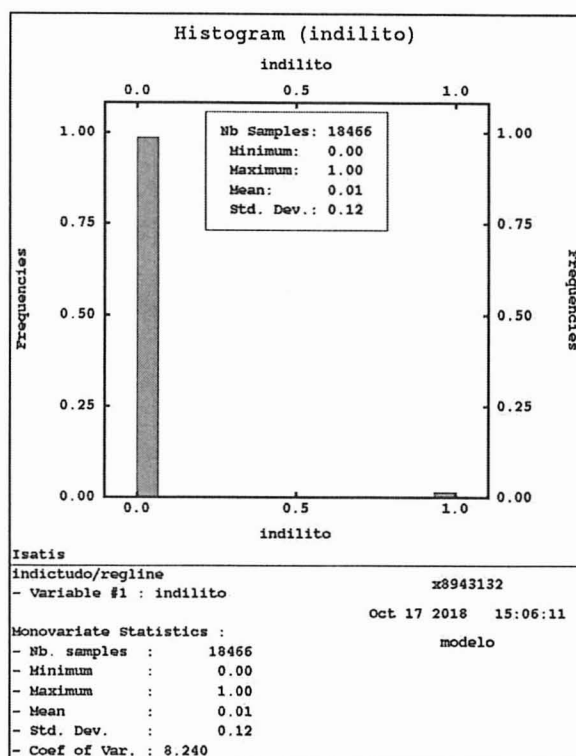


Tabela 7: Parâmetros de tamanho do passo, quantidade de passos, tolerância do passo, para a realização do variograma experimental.

Parâmetros	Omnidirecional
Tamanho do passo	82.00
Nº de passos	10
Tolerância	0.50

Figura 21 apresenta o variograma experimental gerado pelos parâmetros da tabela anterior.

Desse modo no modelo teórico de variograma foi utilizado um valor médio aparente para o valor de patamar, aparecendo com maior peso a estabilização mais continua sem desconsiderar os valores altos de variância espacial. Na tabela 8 apresenta os parâmetros utilizados na modelagem do variograma e apresentando o resultado do modelo na figura 22.

Os parâmetros de vizinhança não serão gerados via validação cruzada, simplesmente por esse processo comparar uma variável categórica com uma variável continua. Não há comparação entre essas duas variáveis e não pode concluir se o modelo teórico de variograma é valido ou não ou se há um parâmetro é melhor do que o outro.

Figura 21: Variograma experimental do variograma de litologia.

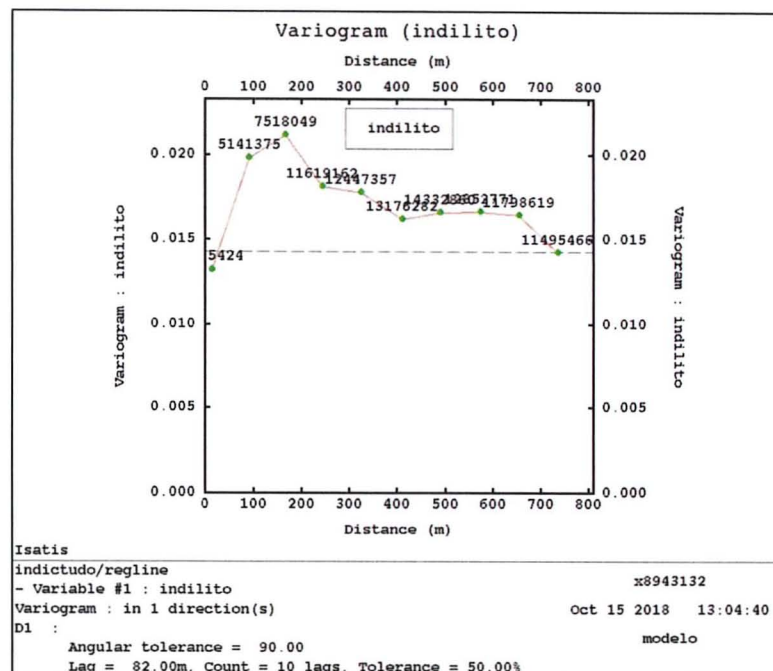
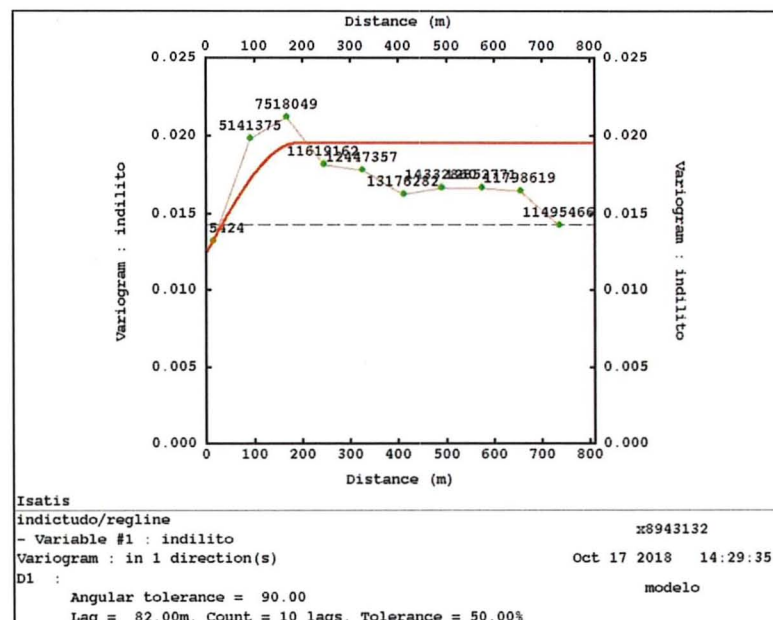


Tabela 8: Parâmetros básicos do modelo teórico de variograma gerado.

Estruturas	Modelo	Au	Var. esp.	Pepita
Estrutura 1	esférico	190	0.007	0.125

Figura 22: Modelo teórico de variograma gerado com os dados das tabelas 8 e 9.



Sendo assim foi utilizado separação em octantes com 1 amostra em cada quadrante sendo o número ótimo para a estimativa e 3 amostras no total como número mínimo de amostras para a realização da estimativa. A vizinhança foi rotacionada com o mesmo sentido

que a vizinhança da KO com diferença nos valores de distância máxima para o raio de busca do elipsoide. Os valores dos parâmetros de vizinhança são apresentados nas tabelas 9 e 10.

Tabela 11: Tamanho do raio de busca em torno de um bloco para a estimativa

U (m)	V (m)	W (m)
190	190	20

Tabela 12: Número mínimo e o ideal para realizar a estimativa, assim como devem estar a distribuídas as amostras.

Nº min de amostras	Nº de setores angulares	Nº de amostras por setor
3	8	1

Foi utilizado 20 em W por que o tamanho das amostras era de 0,2 metros tornando em algo desnecessário deixar um tamanho maior nesse sentido, que depois da rotação ficou paralelo à continuidade do furo.

Para a realização dessa KI foi gerado o modelo de blocos regular, com as dimensões apresentadas na tabela 11 abaixo.

Tabela 11: Apresenta as dimensões em x, y e z de cada bloco e a rotação em x, y e z dos blocos.

x (m)	y (m)	z (m)	z (rot)	y (rot)	x (rot)
0,2	15	20	6,43	3,21	0

Com tais dimensões foram gerados mais de 2 milhões de blocos. Não foi gerado sub-blocos nessa krigagem e para realizar a cubagem foi realizado novamente a KO nesse modelo de blocos.

Desse modo foi separado os blocos estimados como sendo veio junto com os valores de estimativa de Au deles. No total foi estimado 3714 blocos com essas estimativas. Novamente para a estimativa de recurso é realizado o cálculo do mesmo modo do modelo 3D com uma leve mudança a média de teores é via média aritmética como apresentado na equação 5.

Desse modo os valores utilizados para a cubagem encontram-se na tabela 12 abaixo.

Com isso, foi estimado que o Filão Paraíba apresenta 7629150.2 g de Au, valor que corresponde a 269105.8 Oz de Au.

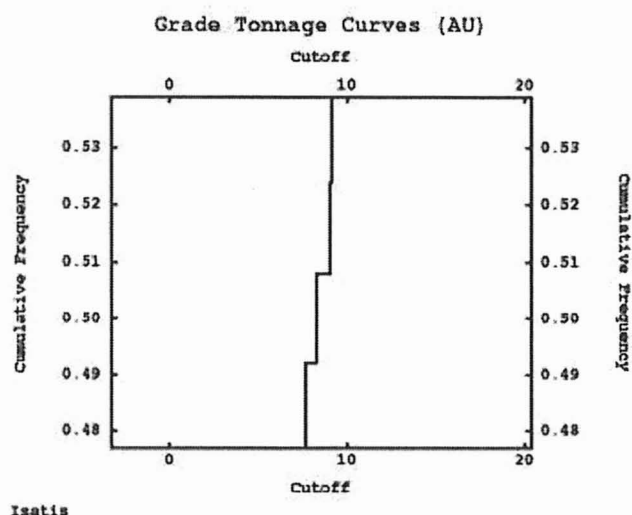
Tabela 12: Apresenta os valores de volume, teor médio e densidade utilizados

V	t	d
222840	12.68	2.7

5.3 - Krigagem de Variáveis Indicadoras de valores altos

Esse processo foi realizado pensando na diluição do minério, então foi gerada uma variável indicadora que apresentasse teor acima de um teor elevado, no caso foi escolhido o valor de 8ppm. Com esse valor de teor seria necessário um valor de 8 vezes mais rocha do que de minério para reduzir o teor do bloco para 1ppm, além de ser o valor aproximado da mediana dos dados. (Figura 23)

Figura 23: Frequência acumulada da base de dados, na altura de aproximadamente 50% o valor correspondente é aproximadamente 8.



Para a análise exploratória as direções escolhidas foram as mesmas da análise exploratória da krigagem ordinária, N355 e N85 (lembrando que a N85, também apresenta mergulho de 85°). Porém, os valores do tamanho do passo não foram os mesmos do outro variograma. Tabela 13 apresenta os valores dos parâmetros utilizados para gerar o variograma. A Figura 24 é o variograma gerado com tais parâmetros

Apresenta-se patamares próximos ao valor de 0,25, valor esse tratado como sendo o máximo que um variograma de variáveis indicadoras pode alcançar, já que 0,25 é o valor máximo de variância possível.

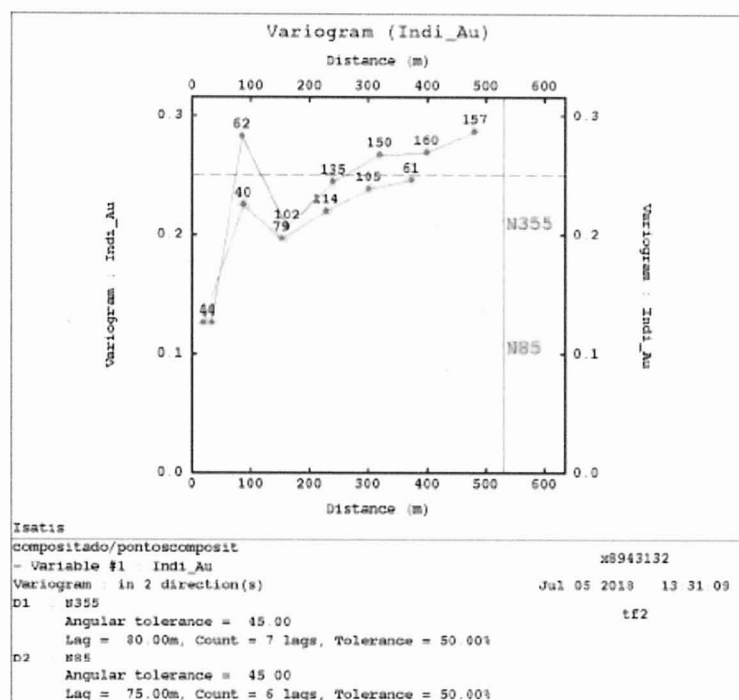
As amplitudes estão próximas do valor do Campo Geométrico (domínio do variograma), que é a metade do domínio amostrado. Novamente é necessário realizar o

modelo teórico de variograma, o qual transforma o gráfico que é definido apenas nos pontos em um gráfico que é definido no domínio.

Tabela 13: Valores dos parâmetros utilizados para a análise exploratória das variáveis indicadoras

	N355	N85
Tolerância angular (plano)	45°	45°
Tolerância angular (vertical)	90°	90°
Valor do passo	80 m	75 m
Número de passos	7	6
Tolerância na distância	0.5	0.5

Figura 24: Variograma gerado pelos valores da Tabela xxxx.



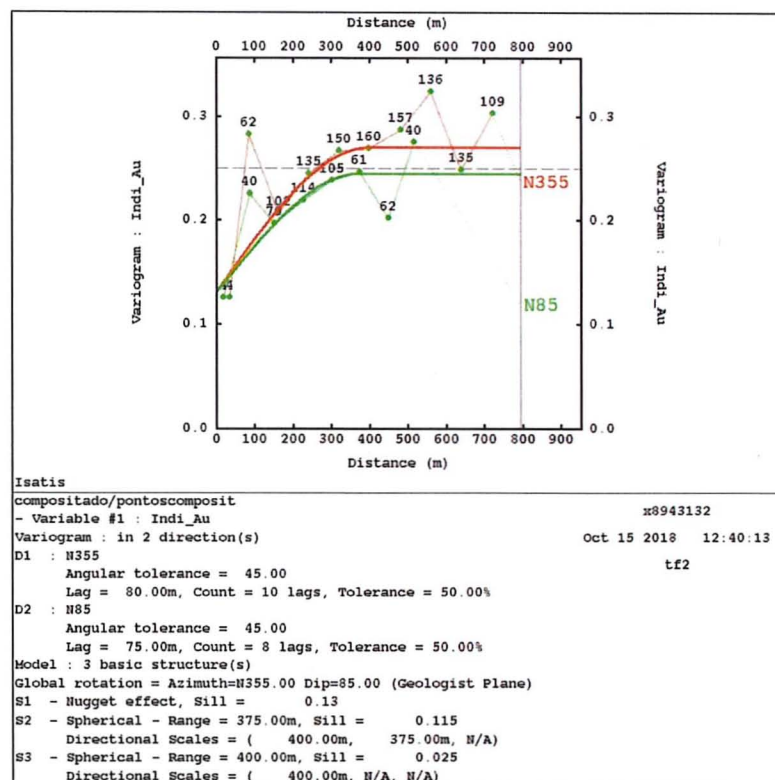
O modelo foi realizado utilizando os parâmetros apresentados nas tabelas 16 e 17. A tabela 14 apresenta os parâmetros utilizados e a tabela 17 as distâncias de amplitude e patamar para cada estrutura, tendo como direção de rotação do eixo 355°.

Tabela 14: Parâmetros básicos do modelo teórico de variograma gerado.

Estruturas	Modelo	Au	Av	Var. esp.	Pepita	Rotação
Estrutura 1	esférico	400	375	0.115	0.13	355
Estrutura 2	esférico	400	-	0.025		

O resultado do modelo é apresentado na figura 25 abaixo.

Figura 25: Variograma modelado representativo do domínio.

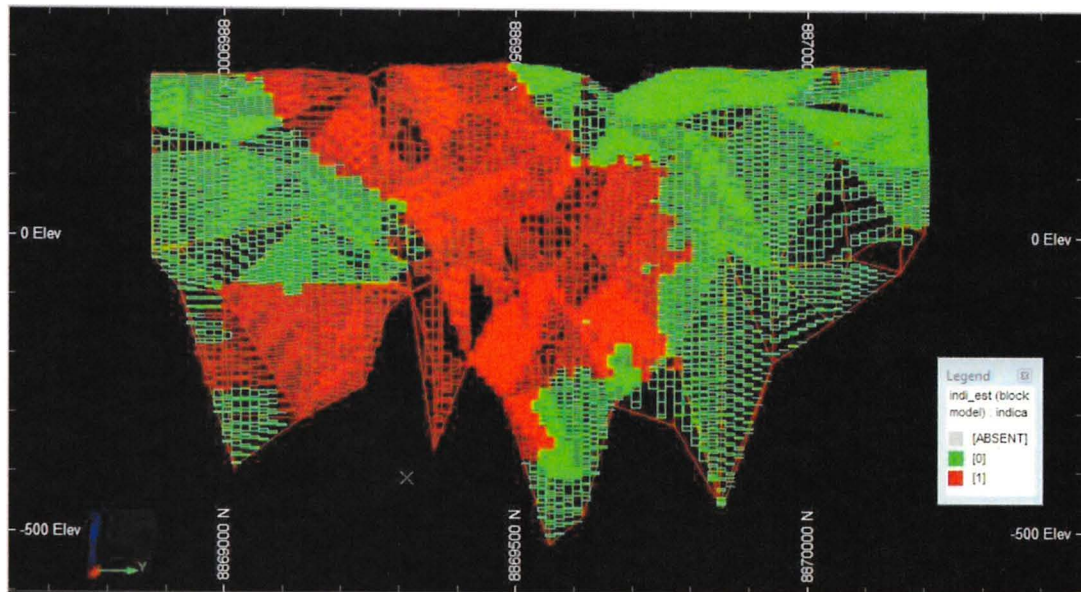


Para os parâmetros de vizinhança foi utilizado os valores da KO, já que não é possível realizar a validação cruzada. Isso ocorre porque a validação cruzada é realizada através da KO, desse modo gera uma variável continua e as variáveis indicadoras são binárias (categóricas). Um fator importante para a utilização dos parâmetros de vizinhança da KO é o fato das amplitudes serem maiores do que os valores de distância dos parâmetros.

É possível observar que na região central do corpo é o local onde se concentra os valores mais elevados, local onde encontra o segundo domínio observado no processo para a KO. Desse modo foi possível mapear esse domínio e as regiões de teores altos no domínio de teores baixos, como pode ser observado na figura 26.

Com essa estimativa observa-se que aproximadamente 1/3 dos blocos apresentam 50% ou mais de chance de apresentar mais de 8 g/t.

Figura 26: Resultado da KI, apresentando um mapa das regiões ricas do Filão Paraíba.



6 - INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS DADOS

6.1 - Dados de estimativa de Au

Observa-se na Figura 8 que o histograma é assimétrico positivo. Esses dados apresentam amostras com teor elevado (*outlier*), que comprometem o cálculo do variograma e diminuem a escala do histograma. A Figura 9 apresenta o histograma com *capping* e apresentando a real estruturação do histograma, que foi observado por o histograma estar na escala ideal.

Após a transformação o histograma (Figura 12) representa a distribuição aproximadamente simétrica e a ausência de simetria foi interpretado como resultado das duas populações que o depósito apresenta. Com a transformação em logaritmo neperiano a variância estatística e consequentemente espacial é reduzida desse modo possibilitando a estruturação do variograma.

O variograma experimental apresentado na Figura 13 apresentou um comportamento atípico na variância espacial no meio do campo estruturado, o qual também foi interpretado como responsável desse comportamento a presença de dois domínios amostrais. Porém, após o modelo teórico de variograma a validação apresentou uma correlação considerada boa para a continuação do trabalho.

O modelo 3D (Figura 16) foi realizado apresentando a continuidade do veio preenchendo a zona de cisalhamento, sem que apresente estruturas deformacionais relacionada ao cisalhamento.

Durante o cálculo da KO a região mais profundado veio não foi estimada, porque o elipsoide de busca não permite encontrar quantidade mínima de amostras para a estimativa ser realizada. Porém, como a quantidade de blocos não estimados é pequena considera-se o teor médio do depósito não apresente variação significativa. Desse modo, para a aplicação do $R=Vdt$, o volume considerado foi o volume do modelo geológico interpretado e o teor médio foi calculado apenas com base nos blocos estimados.

6.2 - Estimativa de Au contido utilizando KI de litologias

O histograma (Figura 20) da variável indicadora já regularizada apresenta uma proporção de 1 para 100 de amostras que são caracterizados como parte do Depósito Paraíba. Com tal proporção tão pequena o valor da variância estatística e variância espacial são baixos. Desse modo, o variograma experimental não apresentou comportamento muito contínuo e efeito pepita elevado proporcionalmente ao patamar.

O modelo de blocos foi gerado com a rotação para que ficasse paralelo às informações geológicas do veio e como em W (direção seguindo o furo não apresenta grande relevância, já que as amostras apresentam suporte de 0,2m) não apresenta grande importância, já que nunca estará nos parâmetros de vizinhança valores acima de 10 metros nessa direção foi utilizado o valor de 20 metros, com o objetivo de não deixar muito grande o elipsoide.

A KI de litologias colocou o corpo formando lentes de alguns metros, que por vezes se dividia no meio apresentando estéril entre minérios. Tal interpretação gerada pela KI não é condizente com a provável realidade justamente pelo modelo genético do ouro.

6.3 - *Gradeshell* dos teores

Criada a variável indicadora em 8g/t foi observado uma proporção de 51% dos valores amostrais acima desse corte e o desvio padrão em 0,5, sendo esse o valor máximo de desvio padrão para uma variável indicadora.

Com o corte realizado utilizando valor próximo a mediana o variograma era esperado apresentar boa estruturação. Foi observado anisotropia mista na base de dados com a direção N355 sendo a mais contínua por apresenta maior amplitude, conforme apresentado na Figura 24. A estruturação do variograma ocorreu próximo ao valor de campo geométrico e apresentando como valor de patamar próximo a 0,25, não variando muito, ocorrendo porque esse valor é o valor máximo de variância que uma variável indicadora pode apresentar e o valor de variância espacial não destoa muito da variância estatística.

Realizado a KI, apresentada na Figura 26, se observa que a região aproximadamente central do corpo possivelmente apresentará esses teores mais elevados. Possível de se interpretar que a percolação de fluidos foi mais intensa nessa região, que possivelmente apresentou maior abertura e facilidade para tal acontecimento e após esse *input* inicial o fluido foi preenchendo o restante da zona de cisalhamento

7 - CONCLUSÕES

O ouro do Filão Paraíba é caracterizado como ouro epitermal do sistema cobre pórfiro, onde o fluido mineralizante encontra uma região que apresenta descontinuidade, no caso um cisalhamento, percola-a de maneira a ocupar esse espaço e como não está associado a grandes eventos de deformação tendem a ser contínuos.

A krigagem de variáveis indicadoras (KI) de teores foi para criar uma envoltória de altos teores, sem levar em consideração a espessura do veio. Como o valor utilizado para definir a variável indicadora foi elevado assume-se que é alta a probabilidade dos blocos realmente serem de minérios, independento da espessura do veio, já que segundo informações de sondagem o veio apresenta espessura mínima de 20 cm. De qualquer modo não se deve excluir os blocos estimados como 0, pois na relação estéril/minério eles podem, aplicada a diluição ser considerados favoráveis. Uma conclusão prática obtida por esse método de estimativa é que a porção sul do depósito apresenta teores mais elevados.

A KI de litologia não leva em consideração as informações estruturais do local. O modelo geológico gerado pela KI sugere que o depósito poderia estar deformado, o que seria uma característica de ouro orogenético, porém este resultado carece de mais informação para ser confirmado.

O cálculo de reserva delimitado pelo modelo 3D, que leva em consideração as informações geológicas adquiridas, permitiu inferir que o veio pode ser contínuo e, desse modo, a massa de material contido foi quantificada em aproximadamente 400 mil Oz de Au,

significativamente maior do que a quantificada por KI, que foi de aproximadamente 260 mil Oz de Au.

Por fim, o cálculo de reserva via modelo 3D foi considerado mais aceitável, por incorporar as informações geológico-estruturais e suas interpretações.

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABZALOV, M. (2016). *Applied Mining Geology*. Switzerland: Springer, 448 p.

ASSIS, R.R. (2006). Estudo de inclusões fluidas nos depósitos auríferos de Novo Mundo e Santa Helena na região Teles Pires – Peixoto de Azevedo (Mato Grosso), Província de Alta Floresta. Campinas: Instituto de Geociências, UNICAMP.

BARROS, A.J.P. (1994). Contribuição a geologia e controle das mineralizações auríferas da região de Peixoto de Azevedo - MT. Tese (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências USP.

BARTOLOMEU, J.O. (2016). Sistemas A Au- (Cu) associados a intrusões de pórfiros na Província Aurífera de Alta Floresta, sul do Cráton Amazônico: O caso do Depósito Paraíba. Trabalho de Conclusão de Curso. Campinas: Instituto de Geociências UNICAMP.

CORDANI, U.G.; TASSARINI, C.G.; TEIXEIRA, W.; BASEI, M.A.S. & KAWASHITA, K. (1979). Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos. In CONGR. GEOL. CHIL., Arica, 1979.

DEUTCH, C.V. & JOURNEL, A. G. (1998). *GSLIB: Geostatistical Software Library and Users Guide*. New York: Oxford University Press.

HANDLEY, G.A.; LEWIS, R.W.; WILSON, I. (1987). The collection and management of ore reserve estimation data. In: Resources and Reserves Symposium, Sydney, 1987. Proceedings: Sydney, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy.

ISAAKS, E.H. & SRIVASTAVA, R.M. (1989). *An introduction to applied geostatistics*. New York: Oxford University Press.

MORETON, L.C. & MARTINS, E.G. (2005). *Geologia e Recursos Minerais de Alta Floresta*. Vila Guarita. Escala 1:250.000. Brasília, Serviço Geológico do Brasil, CPRM, 68 p.

ROCHA, M.M. (1999). Estudo comparativo entre os métodos computacionais de avaliação de reservas e controle de teores da mina de Capanema, Santa Bárbara, MG. Tese (mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências USP.

SILLITOE, R.H. (1991). Intrusion-related gold deposits. In: Foster R.P. (ed.) *Metalogeny and exploration of gold*. Ed. Blakie, London, pp. 164 – 209.

THOMPSON, J.F.H.; SILLITOE, R.H.; BAKER, T.; LANG, J.R.; MORTENSEN, J.K. (1999). Intrusion-related gold deposits associated with tungsten-tin provinces: *Mineralium Deposits*, 34:323-334.

SILVA, M.G. & ABRAM, M.B. (2008). Projeto metalogenia da Província Aurífera Juruena-Teles Pires, Mato Grosso. Goiânia, Serviço Geológico Brasileiro, CPRM, 212p.

TREVISAN, V.G. (2012). Metalogênese do ouro no Granito Novo Mundo, setor leste da Província Aurífera de Alta Floresta (MT), Cráton Amazônico: Alteração hidrotermal e petrografia do minério. Trabalho de Conclusão de Curso. Campinas: Instituto de Geociências UNICAMP.

TREVISAN, V.G. (2015). Estudo comparativo entre mineralizações filonares de Au ± Cu e Au + metais de base do setor leste da Província Aurífera de Alta Floresta (MT), Cráton Amazônico. Tese (Mestrado). Campinas: Instituto de Geociências UNICAMP.

YAMAMOTO, J. K. (2001). Avaliação e classificação de reservas minerais. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.