

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 05/03/2017.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

MARIA FERNANDA PARISE TOMAZELLA DA SILVA

APLICAÇÃO DE TÉCNICAS ESTATÍSTICAS E GEOESTATÍSTICAS PARA
ESTIMATIVA DE TEORES DE OURO E MODELAMENTO DE UM DEPÓSITO
MINERAL - ESTUDO DE CASO EM PILAR DE GOIÁS (GO)

Rio Claro – SP
2016

MARIA FERNANDA PARISE TOMAZELLA DA SILVA

APLICAÇÃO DE TÉCNICAS ESTATÍSTICAS E GEOESTATÍSTICAS PARA
ESTIMATIVA DE TEORES DE OURO E MODELAMENTO DE UM DEPÓSITO
MINERAL - ESTUDO DE CASO EM PILAR DE GOIÁS (GO)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: José Ricardo Sturaro

Rio Claro - SP

2016

550.028 Silva, Maria Fernanda Parise Tomazella da
S586a Aplicação de técnicas estatísticas e geoestatísticas para
estimativa de teores de ouro e modelamento de um depósito
mineral - estudo de caso de Pilar de Goiás (GO) / Maria
Fernanda Parise Tomazella da Silva. - Rio Claro, 2016
81 f. : il., figs., tabs., fots., mapas + mapa

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: José Ricardo Sturaro

1. Geologia – Métodos estatísticos. 2. Ouro. 3.
Greenstone Belt. 4. Krigagem ordinária. 5. Simulação
sequencial Gaussiana. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

MARIA FERNANDA PARISE TOMAZELLA DA SILVA

APLICAÇÃO DE TÉCNICAS ESTATÍSTICAS E GEOESTATÍSTICAS PARA
ESTIMATIVA DE TEORES DE OURO E MODELAMENTO DE UM DEPÓSITO
MINERAL - ESTUDO DE CASO EM PILAR DE GOIÁS (GO)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Comissão Examinadora

Profa. Dra. Gilda Carneiro Ferreira

Prof. Dr. César Augusto Moreira

Dr. Sérgio Antonio Cáceres Contreras

Rio Claro, SP 05 de setembro de 2016.

À minha família, gratidão ao amor incondicional e por acreditar e apoiar meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me fortalecer nos momentos de fraqueza.

A minha família, por todo suporte emocional e financeiro, e por entender minhas ausências.

Agradeço aos meus amigos que me ajudaram, tanto com discussões e dicas sobre o trabalho, tanto nos momentos de descontração. Um agradecimento especial para Marry, por todo apoio nas madrugadas escrevendo e ajuda com a edição de figuras.

À UNESP – Rio Claro, ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente e ao meu orientador Prof. Dr. José Ricardo Sturaro, pela estrutura, suporte e orientação.

Ao Dr. Sérgio Cáceres, pela ajuda e discussão nos momentos finais do trabalho.

A Capes, pela concessão da bolsa de estudos.

À Yamana Gold pelo fornecimento do banco de dados.

À Aranz Geo pelo fornecimento da licença temporária do programa Leapfrog Geo.

Ao Laboratório de Geomodelagem, do Unespetro, por permitir o uso do Surfer.

Meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que me ajudaram na realização deste trabalho.

“Não se entristeça quando as coisas não estiverem do jeito que você gostaria de vê-las. É onde não há luz que se vê melhor as estrelas.”

Lucão

RESUMO

A viabilidade econômica da exploração de um depósito mineral envolve diversas variáveis, como teor e volume do minério, método de lavra, infraestrutura e mão de obra próxima à localização do depósito. Desta forma, se faz necessário quantificar os recursos minerais para reduzir o risco financeiro do empreendimento. A área de estudo está inserida na porção sudoeste do *Greenstone Belt* de Pilar de Goiás, constituída por uma sequência de metassedimentos químicos, metassedimentos clásticos, pequenos corpos intrusivos e rochas gnáissicas. As ocorrências de ouro estão associadas às camadas de clorita e grafita xistos. O objetivo deste trabalho consiste em caracterizar a distribuição espacial dos teores de ouro da mina Pilar de Goiás-GO, utilizando as técnicas de Krigagem Ordinária e Simulação Sequencial Gaussiana. O trabalho teve início com a validação do banco de dados dos furos de sondagens e a regularização das amostras para o comprimento de um metro. Com base nas descrições dos furos de sondagens, obteve-se a atitude das camadas dos litotipos, constituindo o modelo geológico que foi elaborado no programa Leapfrog Geo®. As amostras conferidas foram então submetidas às análises estatísticas e geoestatísticas. Em ambas as técnicas, realizou-se a modelagem dos variogramas e do elipsoide de busca dos dados. Para a krigagem ordinária, a filtragem restringiu os dados ao intervalo de 0 a 4,38 ppm, sendo que os *outliers* foram substituídos pelo valor máximo de teor. Verificou-se que os resultados obtidos pela krigagem são válidos, pois respeitam a distribuição de frequência dos dados originais. A análise da superfície do comportamento dos teores regionais permitiu concluir que não há uma direção preferencial de crescimento de teores de ouro, porém esta superfície acompanha a foliação regional das rochas hospedeiras. A estimativa por Simulação Sequencial Gaussiana se mostrou eficaz para modelar a camada de interesse, na qual estão os maiores teores de ouro.

Palavras-chave: Ouro. *Greenstone Belt*. Krigagem Ordinária. Simulação Sequencial Gaussiana.

ABSTRACT

The economic viability of a mineral deposit exploration involves many variables, such as content and ore volume, mining method, infrastructure and workers next to the location of the deposit. It is necessary to quantify the mineral resources to reduce the financial risk of the project. The study area is located in the southwest portion of the greenstone belt of Pilar de Goiás, which is composed of a sequence of chemical and clastic metasediments, small intrusive bodies and gneissic rocks. The gold occurrences are associated with layers of chlorite schist and graphite. The objective of this study is characterize the spatial distribution of gold grades in the Pilar de Goiás mine (GO) by the Ordinary Kriging and Simulation Sequential Gaussian methods. The study started with the database validation of boreholes and the regularization of samples for the length of one meter. Based on the descriptions of the boreholes, it was obtained the attitude of the layers of rock types and, therefore, the geological model, developed in the Leapfrog Geo® program. The checked samples were then used for the statistical and geostatistical analyses. In both methods, the variograms were modeled and the search ellipsoid was defined. For Ordinary Kriging, the data filter restricted to the range 0 to 4.38 ppm and the outliers were replaced by the maximum content value. The results of kriging are valid because the frequency distribution is consistent with the original data. The analysis of the surface containing the higher levels implied that there is no preferential direction of growth of gold content, but this surface follows the regional foliation of the host rocks. The estimation by Simulation Sequential Gaussian were effective to model the layer of interest, which are the highest gold grades.

Keywords: Gold. Greenstone Belt. Ordinary Kriging. Sequential Gaussian Simulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Padrões de histogramas. (a) distribuição normal (simétrica); (b) distribuição lognormal. Modificado de Ribeiro Junior (2011).....	16
Figura 2 - <i>Box-plot</i> , onde LI indica o limite inferior, Q1 o primeiro quartil, Q2 a mediana, Q3 o terceiro quartil e LS o limite superior (PORTAL ACTION, 2016)	20
Figura 3 - Propriedades do variograma (Yamamoto, 2001).....	24
Figura 4 - Anisotropias (a) geométrica; (b) zonal; (c) mista (YAMAMOTO, 2001)	25
Figura 5 - Esquema mostrando a direção do variograma, os passos, a tolerância angular, a largura máxima e a tolerância do passo (YAMAMOTO, 2001)	26
Figura 6 - Modelos Teóricos de Variograma. (a) Modelo Esférico; (b) Modelo Exponencial; (c) Modelo Parabólico; (d) Modelo Linear; (e) Modelo Logarítmico. Modificado de Yamamoto (2001).....	28
Figura 7 - Localização da área de estudos.....	34
Figura 8 - (a) Localização da Província Tocantins no Brasil. (b) Geologia simplificada da porção sudeste da Província Tocantins. (c) Subdivisões do Terreno Arqueano de Goiás. Área de estudo indicada pelo número 3. Extraída de Jost e Fortes (2001).	35
Figura 9 – Mapa Geológico do <i>Greenstone Belt</i> de Pilar de Goiás (SOUSA, 2011).....	37
Figura 10 - Coluna Estratigráfica do <i>Greenstone Belt</i> de Pilar de Goiás (JOST & OLIVEIRA, 1991).....	38
Figura 11 – Afloramentos do Bloco Moquém, gnaisse com porfiroclastos de feldspato (TEIXEIRA, 2012).	40
Figura 12 – Mineralização associada com veios de quartzo e com sulfetos.	41
Figura 13 – Galpão com testemunhos de sondagens para descrição e amostragem.....	43
Figura 14 - Modelo de formulário para descrição dos testemunhos de sondagem.....	44
Figura 15 - Mapa de distribuição das sondagens realizadas, com destaque para a localização da área selecionada	47
Figura 16 - Distribuição da malha de amostragem na área selecionada.....	48
Figura 17 - Exemplificação do método de composição das amostras.	49
Figura 18 - Histograma do comprimento das amostras originais.....	51
Figura 19 - Histograma do comprimento das amostras compositadas.	51
Figura 20 - Histograma dos teores de ouro da área selecionada	53
Figura 21 - Histograma dos teores de ouro compositados.	54
Figura 22 - Histograma dos teores de ouro no intervalo de ± 2 desvio padrão.	55

Figura 23 - Superfície topográfica da área de estudos.....	57
Figura 24 - Furos de sondagem.	57
Figura 25 - Furos de sondagem ajustados à topografia	58
Figura 26 - Superfícies de base e topo das litologias.....	58
Figura 27 - Sólidos das litologias.	58
Figura 28 – Vista em planta da topografia e de cortes do modelo geológico, nas alturas 733, 5; 693,5 e 647,5 metros.	59
Figura 29 - Furos de sondagem com teores das amostras ao longo dos furos.....	60
Figura 30 - Modelo de blocos com as sondagens.....	60
Figura 31 - Variogramas experimentais e modelos teóricos ajustados.	62
Figura 32 - Elipsoide de busca com correção de anisotropia (REMY; BOUCHER; WU, 2009).	63
Figura 33 - Resultado da krigagem.....	64
Figura 34 - Histograma dos teores de ouro estimados por krigagem ordinária.....	65
Figura 35 - Furos de sondagem ajustados ao modelo estimado por krigagem.....	66
Figura 36 - Furos de sondagem ajustados ao modelo estimado por krigagem, com seleção dos dados entre 0,5 e 1 ppm de ouro.....	66
Figura 37 - Seções do modelo estimado por krigagem, com seleção dos dados entre 0,5 e 1 ppm de ouro.....	67
Figura 38 - Histograma dos teores de ouro, com seleção de valores de teores de ouro entre 0,5 e 1 ppm.	68
Figura 39 - Mapa do comportamento dos teores regionais na superfície com teores entre 0,5 e 1 ppm de ouro.....	69
Figura 40 - Variograma experimental e modelo teórico de variograma da variável ouro transformada em uma Gaussiana Normal [0,1].....	71
Figura 41 – Histograma do <i>e-type</i> dos teores de ouro nos blocos simulados pela Simulação Sequencial Gaussiana	72
Figura 42 – Seção do modelo estimado por simulação sequencial gaussina, com seleção dos dados entre 0,5 e 1 ppm de ouro.....	73
Figura 43 - Histograma da frequência de blocos estimados por Simulação Sequencial Gaussiana entre 0,5 e 1 ppm.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Campos da planilha Collar	45
Tabela 2 - Campos da planilha Assay	45
Tabela 3 - Campos da planilha Lithology	45
Tabela 4 - Campos da planilha Survey	46
Tabela 5 - Litotipos classificados em códigos, quantidades de amostras, teor (ppm) mínimo, máximo e médio por litologia.....	48
Tabela 6 - Análise estatística dos teores de ouro da área selecionada.....	52
Tabela 7 - Análise estatística dos teores de ouro compostados.....	53
Tabela 8 - Análise estatística dos teores de ouro no intervalo de ± 2 desvio padrão.	55
Tabela 9 - Comprimento de amostras por litologias.....	57
Tabela 10 - Modelo Teórico de variograma da variável ouro.	61
Tabela 11 - Estatística Descritiva dos dados krigados.	64
Tabela 12 - Parâmetros do modelo teórico de variograma do ouro transformado em uma gaussiana norma [0,1].....	70
Tabela 13 - Estatística descritiva do <i>e-type</i> dos blocos simulados para os teores de ouro.....	72

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVO.....	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1	Métodos Estatísticos	16
1.1.1.	Estatística Paramétrica.....	16
1.1.2.	Estatística Não Paramétrica	19
3.2	Outliers.....	20
3.3	Métodos Geoestatísticos	21
1.1.3.	Análise da Variabilidade Espacial	21
1.1.4.	Métodos de Krigagem	28
1.1.5.	Métodos de Simulação.....	31
4	ÁREA DE ESTUDO	34
4.1	Localização da área de estudos	34
4.2	Geologia Regional	34
1.1.6.	Greenstone Belt de Pilar de Goiás	36
1.1.7.	Bloco Moquém	39
4.3	Geologia Local.....	40
1.1.8.	Mineralização	40
5	DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA – APLICAÇÃO NOS DADOS DE PILAR DE GOIÁS	42
5.1	Materiais e Métodos.....	42
5.1.1.	Coleta de dados de sondagens	42
5.1.2.	Banco de Dados	44
5.2	Resultados e Discussões	46
5.1.3.	Validação do banco de dados	46
5.1.4.	Seleção da área de estudos.....	46

5.1.5.	Regularização das amostras.....	49
5.1.6.	Análise Estatística.....	52
5.1.7.	Modelo Geológico	56
5.1.8.	Modelo de Blocos	60
5.1.9.	Krigagem Ordinária.....	61
5.1.10.	Simulação Sequencial Gaussiana	69
6	CONCLUSÕES.....	74
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
	ANEXO A – MAPA GEOLÓGICO	80

1 INTRODUÇÃO

A quantificação e a modelagem de recursos minerais têm sido um desafio e uma necessidade crescente especialmente quando relacionados à atividade econômica, visto que os recursos estão cada vez mais escassos e mais difíceis de serem encontrados. Desta forma, se faz cada vez mais necessário o uso de ferramentas sofisticadas para minimizar os riscos financeiros inerentes às atividades de mineração.

Os trabalhos desta pesquisa foram desenvolvidos na mina de Pilar de Goiás – GO, que está localizada no *Greenstone Belt* de Pilar de Goiás, de idade Paleoproterozoica. As primeiras descobertas de ouro na região foram na primeira metade do século 18, por escravos foragidos. Nesta época, a região se tornou a maior produtora de ouro primário e ouro aluvionar do Estado de Goiás. Atualmente, a lavra é feita em mina subterrânea e os direitos minerários pertencem à empresa Yamana Gold.

As ocorrências de ouro estão associadas às camadas de clorita e grafita xistos, dentro de uma sequência de metassedimentos químicos, metassedimentos clásticos, pequenos corpos intrusivos e rochas gnáissicas, que formam a porção sudoeste do *Greenstone Belt* de Pilar de Goiás.

O Brasil possui uma reserva de ouro de 2400 toneladas, que corresponde a 4,5% do total mundial. Os maiores detentores são Austrália, África do Sul e Rússia, com 9900 toneladas, 6000 toneladas e 5000 toneladas, respectivamente, conforme o Sumário Mineral (BRASIL, 2014). A produção de ouro brasileira corresponde a 2,9% do total, ficando em 11º maior produtor mundial. Os maiores produtores são China, Austrália e Estados Unidos da América. O estado brasileiro que mais se destaca na produção de ouro é Minas Gerais, seguido por Goiás, Mato Grosso, Pará, Amapá, Bahia e Maranhão (BRASIL, 2014). Observando-se a evolução histórica da média dos preços do ouro, desde 1978 a 2014, verifica-se que nos últimos 10 anos houve uma ascensão do preço do ouro, com seu auge entre os anos de 2011 e 2012 (1669US\$/Oz). Desde então, o preço do metal está decaindo para valores próximos da cotação média do ano de 2010 (1224US\$/Oz) (GOLD PRICE, 2015).

A viabilidade econômica da exploração de um depósito mineral envolve diversas variáveis, como teor e volume encontrado para o minério, método de lavra, infraestrutura e mão de obra próxima à localização do depósito, entre outros fatores. Desta forma, se faz

necessário quantificar os recursos minerais e a incerteza associada à estimativa para diminuir o risco financeiro do empreendimento.

A geoestatística tem tido grande aplicação para efetuar estimativas e /ou simulações de variáveis em locais não amostrados, extraíndo de uma aparente aleatoriedade dos dados coletados, as características estruturais probabilísticas do fenômeno regionalizado, ou seja, correlaciona valores situados numa determinada vizinhança e direção no espaço amostrado (LANDIM E STURARO, 2002).

6 CONCLUSÕES

Antes de se iniciar o estudo de um empreendimento mineiro, é necessário fazer a validação do banco de dados que será utilizado, a fim de corrigir possíveis erros que estão associados à geração do banco de dados, como exemplo erros de digitação.

O banco de dados original está orientado por conhecimentos geológicos prévios, seguindo o *trend* regional NW-SE. Diante da limitação do software utilizado para modelagem numérica, foi necessário recortar uma área piloto, buscando uma malha de amostragem mais próxima de regular, que é mais indicada para as estimativas, por não estar enviesada, o que leva a uma amostragem mais equilibrada, e não cria tendências geradas pelo distanciamento dos dados. É necessário um rigoroso controle de qualidade para a amostragem e análises químicas das rochas para obter-se um modelo representativo.

A composição do conjunto de amostras permitiu regularizar quase que em totalidade os comprimentos das amostras, aumentando a confiança da estimativa. As amostras devem ter um tamanho constante em profundidade, para não influenciar de forma errônea a estimativa de teores de ouro.

A seleção de amostras dentro do intervalo de ± 2 vezes o desvio padrão, excluindo os *outliers*, facilitou modelagem do variograma teórico. Antes da remoção destes valores, não foi possível a estruturação dos variogramas.

A análise exploratória estrutural para a estimativa da direção das anisotropias deu como resultados modelos teóricos de variograma. A verificação de parâmetros, como o efeito pepita, através do variograma omnidirecional foi de fundamental importância para obtenção de um modelo representativo.

A realização de uma análise consistente é de suma importância para que o variograma do depósito seja representativo da variabilidade espacial. A avaliação da reserva, por meio da krigagem ordinária, depende desta análise para que seja significativa. Qualquer que seja o modelo de variograma introduzido, sempre haverá uma resposta, cuja consistência e validade dependem da representatividade do estudo variográfico.

A validação visual da krigagem, através da comparação entre as seções do modelo de blocos e furos de sondagem, teve relação local considerada aceitável entre os teores reais das amostras e os teores estimados. A validação global da krigagem foi positiva, pois os resultados de teores médios das amostras têm variação de apenas 10% quando comparados aos dados originais.

A análise da superfície do comportamento dos teores regionais permitiu concluir que não há uma direção preferencial de crescimento, mas essa superfície acompanha a foliação regional das rochas hospedeiras. Para esta análise, foram usados apenas os dados da camada interesse, com maiores teores, visto que os dados de rochas estéreis não são representativos da mineralização, e acabam por reduzir o potencial do depósito com a dissolução dos teores.

A Simulação Sequencial Gaussiana forneceu uma estimativa representativa para a região em estudo, quando considerada a camada de interesse, possível hospedeira de altos teores de ouro. O histograma dos teores estimados, considerando todos os blocos do modelo numérico, não honrou a distribuição dos dados originais. A média estimada teve aumento 23% em relação à média dos dados originais. Os dados filtrados, pertencentes à camada preferencial de maiores teores, reproduzem a distribuição dos dados originais. Assim sendo, a estimativa por Simulação Sequencial Gaussiana se mostrou eficaz para modelar os teores de interesse. A diminuição de frequências dos teores baixos não superestima o modelo, visto que esses teores não são o alvo de interesse quando se busca a mineralização.

O histograma de frequências, do intervalo entre 0,5 a 1 ppm de ouro, da Simulação Sequencial Gaussiana acompanha o modelo matemático, pois ele não apresenta as variações que aparecem na distribuição do histograma da Krigagem Ordinária. A Simulação Sequencial Gaussiana suaviza a tendência dos dados, dando uma distribuição com comportamento sem variações notáveis.

O conhecimento geológico é fundamental para a modelagem numérica de um depósito, pois com o modelo metalogenético é possível balizar as análises de forma mais assertiva. É importante realizar detalhamento na descrição dos furos de sondagem, a fim de identificar possíveis condicionantes estruturais (falhas, dobras, lineações, etc.), possibilitando encontrar regiões de maiores teores de ouro. Isto permitirá controlar a influência destes elementos no modelo, e se obter resultados mais precisos e confiáveis, além de facilitar a interpretação do modelo numérico ajustado ao modelo geológico da mineralização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. F. M. Evolução tectônica do centro-oeste brasileiro. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 40, n. 2, p. 280-296, 1968.

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R.R. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., 1997, Campina Grande. **Atas...** Campina Grande: SBG, 1977. p. 363-391.

ALMEIDA, T. R. **Estudo petrográfico da zona mineralizada em ouro dos alvos Jordino, Ogó e Três Buracos, no Greenstone Belt de Pilar de Goiás**. 2011. 64 f. Trabalho de conclusão de curso (Geologia), Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2011.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário mineral**. Brasília: DNPM, 2014. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2014>>. Acesso em: 12 nov 2015.

CAERS, J. **Modeling uncertainty in the Earth Science**, Wiley-Blackwell, p. 104-106.

CLARK, I. **Practical geostatistics**. London: Applied Science Publishers LTD., 129 p. 1979.

DANNI J. C. M. Os *Greenstone Belts* da Província Tocantins no Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 18, n. 4, p. 381-390, 1988.

DANNI, J. C. M.; RIBEIRO, C. C. Caracterização estratigráfica da sequência vulcanossedimentar de Pilar de Goiás e de Guarinos, Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978, Recife. **Anais...** Recife: SBG, 1978. p. 582-596.

DANNI, J. C. M.; DARDENNE, M. A.; FUCK, R. A. Geologia da região da Serra da Santa Rita e Sequência Serra de Cantagalo. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 1., 1981, Goiânia. **Atas...** Goiânia: SBG, 1981. p.265-280.

DANNI, J. C. M. 1988. Os Greenstone Belts da Província Tocantins no Estado de Goiás, Brasil. **Rev. Bras. Geoc.**, 18 (4): 381-390.

DEUTSCH, C. V.; JOURNEL, A. G. **GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide**. 2 ed. New York: Oxford University Press, 1998.

DIXON, W. J.; MASSEY, F. J. **Introduction to statistical analysis**. New York: McGraw-Hill, 1957.

GOLD PRICE. **Gold price history**. 2015. Acesso em: <<http://goldprice.org/gold-price-history.html>>. Acesso em: 12 nov 2015.

GUERRA, P. A. G. **Geoestatística operacional**. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, 1988.

HUIJBREGTS, C. J. Regionalized variables and quantitative analysis of spatial data. In: DAVIS, J. C.; MCCULLAGH, M. J. (Ed.). **Display and analysis of spatial data**. New York: John Wiley, 1975. p. 38-53.

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

JOST H.; OLIVEIRA A. M. 1991. Stratigraphy of the *greenstone belts* of the Crixás region, Goiás. **Journal of South American Earth Sciences**, Oxford, v. 4, n. 3, p. 201-214, 1991.

JOST, H.; FORTES P. T. F. O. Gold Deposits and occurrences of the Crixás Goldfield, central Brasil. **Mineralium Deposita**, New York, v. 36, p. 358-376, 2001.

JOST, H.; VARGAS, M. C.; FUCK, R. A.; KUYUMJIAN, R. M.; PIRES, A. C. B. Relações de contato, litologias, geologia estrutural e geofísica do Bloco Arqueano do Moqué, Crixás, Goiás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 4., Brasília. **Resumos Expandidos**. Brasília: SBG, 1994. p. 21.

JOST, H.; KUYUMJIAN, R. M.; FREITAS, A. L. S.; COSTA, A. L. L.; NASCIMENTO, C. T. C.; VASCONCELOS, F. M.; GALLOTI NETO, L.; MARTINS, M. C.; CARVALHO, M. N.; CONDÉ, V. C. Geologia da Porção Norte do *Greenstone Belt* de Guarinos, Goiás. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 51-60, 1995.

JOST H.; FUCK, R. A.; BROD, J. A.; DANTAS, E. L.; MENESES, P. R.; ASSAD, M. L. L.; PIMENTEL, M. M.; BLUM, M. L. B.; SILVA, A. M. Geologia de Terrenos Arqueanos e Proterozóicos da região de Crixás-Cedrolina, Goiás. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 315-328, 2001.

JOST, H.; DUSSIN, I. A.; CHEMALE J. R. F.; TASSINARI, C. C. G.; JUNGES, S. U-Pb and Sm-Nd constraints for the paleoproterozoic age of the metasedimentary sequences of the Goiás archaic *greenstone belts*. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 6., San Carlos de Bariloche, 2008. **Proceedings...** San Carlos de Bariloche: INGEIS, 2008.

JOURNEL, A. G. Non-parametric estimation of spatial distribution. **Mathematical Geology**, Heidelberg, v. 15, p. 445-468, 1983.

JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, J. C. H. **Mining geostatistics**. New York: Academic Press, 1978.

KOCH, G. S.; LINK, R. F. **Statistical analysis of geological data**. New York: Dover Publications, 1971.

LANDIM, P.M.B.; STURARO, J.R. **Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de risco**. DGA, IGCE, UNESP – Rio Claro. Laboratório de Geomatématica, Texto Didático 06, 2002, 19p.

LANDIM, P. M.B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Editora Unesp, 2003

MAGALHÃES, M. N.; LIMA, A. C. P. **Noções de probabilidade e estatística**. São Paulo: Edusp, 2010.

MARINI, O. J.; FUCK, R. A.; DANNI, J. C. M.; DARDENNE, M. A. A evolução geotectônica da Faixa Brasília e do seu embasamento. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS, 1., Salvador, 1981. **Anais...** Salvador: SBG, 1981. p. 100-105.

MATHERON, G. F. **Traité de géostatistique appliquée**. Paris: Editions Technip, 334 p. 1962.

MATHERON, G. F. **La théorie des variables régionalisées et ses applications**, Les Cahiers du Center de Morphologie Mathématique de Fontainebleau, Fascicule 5, École Supérieure des Mines de Paris, 1970.

OLEA, R.A. **Geostatistical glossary and multilingual dictionary**. New York: Oxford University Press, 1991.

PIERCEY, S. J. Modern Analytical Facilities 2. A Review of Quality Assurance and Quality Control (QA/QC) Procedures for Lithochemical Data. **Geoscience Canada**, [S.l.], p. 75-88, mar. 2014. ISSN 1911-4850. Disponível em: <<https://journals.lib.unb.ca/index.php/GC/article/view/20475/24873>>. Acessado em: 24 out. 2016.

PORTAL ACTION. **Boxplot**. 2016. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/estatistica-basica/31-boxplot>>. Acesso em: 01 fev 2016.

PULZ, G. M. **Modelos prospectivos para ouro em greenstone belts: exemplo dos depósitos Maria Lázara e Ogó, na região de Guarinos e Pilar de Goiás, Goiás**. 1995. 189 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1995.

REMY, N.; BOUCHER, A.; WU, J. **Applied Geostatistics with SGeMS: A user's guide**. New York: Cambridge University Press, 2009.

RESENDE, L. **Estratigrafia, petrografia e geoquímica da sequência sedimentar do Greenstone Belt de Pilar de Goiás, GO**. 1995. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1995.

RIBEIRO FILHO, W. Geologia e alguns aspectos das mineralizações auríferas das faixas Pilar e Guarinos. In: ENCONTRO REGIONAL DO OURO DE GOIÁS, 1., Goiânia, 1984. **Ata...** Goiânia: SBG, 1984. p. 6-24.

RIBEIRO JUNIOR, P. J. **Introdução ao ambiente estatístico R**, 2011. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~paulojus/embrapa/Rembrapa/>>. Acesso em: 01 fev 2016.

ROSSI, M. E.; DEUTSCH, C. V. **Mineral resource estimation**. New York: Springer, 2014.

SABÓIA, L. A. Os *greenstone belts* de Crixás e Goiás, GO. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Geologia**, São Paulo, n. 9, p. 44-72, 1979.

SOUSA, V. H. V. **Estratigrafia Isotópica do *Greenstone Belt* de Pilar de Goiás e Correlações**. 2011. 90 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília.

TEIXEIRA, A. C. **Análise estrutural e microtectônica da inflexão do Jordino e depósitos de ouro associados no *Greenstone Belt* de Pilar de Goiás**. 2012. 56 f. Trabalho de conclusão de curso (Geologia), Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2012.

YAMAMOTO, J. K. **Avaliação e Classificação de Reservas Minerais**. São Paulo: Edusp, 2001.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística Conceitos e Aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.