



**UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA  
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO**

**UTILIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO AUXILIAR  
NA ESTIMAÇÃO E SIMULAÇÃO DE  
VARIÁVEIS REGIONALIZADAS**

**António Alberto Gabriel Luís**

(Mestre)

DISSERTAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ENGENHARIA DE MINAS

ORIENTADOR CIENTÍFICO  
Doutor António Jorge Gonçalves de Sousa

JÚRI

Presidente: Reitor da Universidade Técnica de Lisboa  
Vogais: Doutor Miguel Marques de Magalhães Ramalho  
Doutor Henrique José de Figueiredo Garcia Pereira  
Doutor António Jorge Gonçalves de Sousa  
Doutor José António de Almeida

LISBOA, JUNHO DE 2004



*À minha família e amigos*



## RESUMO

A metodologia apresentada neste trabalho recorre a uma abordagem holística para caracterizar a distribuição espacial de uma variável quantitativa principal, através da respectiva combinação com informação auxiliar, quantitativa e qualitativa.

Numa primeira fase calculam-se índices de síntese da informação auxiliar, que viabilizam a estimação da variável principal em duas etapas: i) utilização dos índices de síntese para estimar classes da variável principal; ii) utilização destas classes, para condicionar a estimação da própria variável principal.

Sabendo que as variáveis que descrevem um Georrecurso não são totalmente caracterizadas pela amostragem, recorreu-se, numa segunda fase, à prática ancestral de procurar reproduzir o desconhecido por cenários mais plausíveis e equiprováveis. Assim, procedeu-se à simulação de imagens através de processos estocásticos de simulação geoestatística, capazes de incorporar a informação auxiliar seleccionada como a morfologia do jazigo em estudo. Estas acções permitiram complementar a imagem estimada representante das características médias da variável principal, obtida pela estimação, com valores extremos e funções de distribuição locais e globais.

A integração de toda a informação disponível na metodologia proposta, é testada na caracterização do jazigo aurífero de Castromil, que em face de oferecer algumas expectativas de exploração, está significativamente amostrado, quer na variável principal (teor de ouro) quer em variáveis auxiliares quantitativas e qualitativas (teor de prata e classificações litológicas e colorimétricas).

**Palavras-chave:** Geoestatística multivariada, variável indicatriz, informação auxiliar, índice de síntese, simulação geoestatística, jazigo aurífero.



## ABSTRACT

The methodology presented in this work makes use of an holistic approach to characterise the spatial distribution of one principal quantitative variable, through the combination of the information itself together with qualitative and quantitative supplementary information.

In an initial phase, auxiliary information synthesis indices are calculated, which allows an estimation of the principal variable in two steps: i) use of the synthesis indices to estimate classes of the principal variable and ii) followed by the utilization of these classes to restrict the estimation of the principal variable itself. Secondly, taking into consideration that sampling a natural system is performed by variables, which are not totally characterised by the sampling itself, we decided to resort to an ancient practice of substituting the unknown by the most plausible scenarios. Thus, we have employed geostatistical simulation capable of incorporating auxiliary information such as morphology of the ore body under study. This methodology allows consideration of the selected estimation process as well as the natural system shape. Moreover, with this procedure it is possible to complement the most probable conditioned image of the principal variable average characteristics, obtained by estimation, with possible extreme values and distribution functions of the main principal variable in each defined system partition.

The integration of all available information in the proposed methodology is applied to characterise the stoping blocks constituting the gold deposit of Castromil, which is a viable, well sampled, exploitation target characterised in the principal variable (gold grades) as well as in the auxiliary variables (silver grades and lithological and colour classifications).

**Key-words:** Multivariate geostatistics, indicator variables, secondary information, auxiliary information synthesis, geostatistical simulation, gold deposit.



## AGRADECIMENTOS

A realização dos trabalhos de investigação, que permitiram concluir esta dissertação de doutoramento, só foi possível com o contributo de um vasto número de pessoas pertencentes a diferentes entidades, mas comungantes do mesmo espírito de entreajuda, a quem quero deixar aqui expresso o meu sincero reconhecimento.

Ao Professor António Jorge de Sousa, a quem devo a continuada orientação científica, caracterizada pelo rigor que lhe é reconhecido, sempre acompanhada com ideias e sugestões, e por uma amizade iniciada à mais de uma dezena de anos, quando começámos os trabalhos que conduziram à realização da minha tese de mestrado, na área da caracterização da blocometria de rochas ornamentais.

Ao Professor Miguel Magalhães Ramalho, Vice-Presidente do IGM, quero expressar o reconhecimento pelo interesse, disponibilidade e abertura de espírito que sempre manifestou nas conversas que mantivemos.

Ao Professor Henrique Garcia Pereira, pela disponibilidade e à-vontade que emprestou à sua inestimável colaboração sob a forma de leituras, sugestões e revisões críticas, que em muito contribuíram para valorizar este trabalho.

Ao João Luís, amigo e colega de percurso no IST, companheiro de trabalhos em diversas áreas, crítico aceso, com quem mantive discussões sobre alguns assuntos aqui versados, particularmente referentes à simulação.

Aos Drs. Sean Byrne (infelizmente já falecido), Carlos Nascimento e Eng<sup>o</sup> Gordon Riddler, da Connary Minerals – Sucursal Portuguesa, pelo acolhimento e franca permissão à

consulta e cedência da informação referente ao jazigo aurífero de Covas de Castromil.

Aos colegas Judite Matias, Ruben Dias, António Gouveia, Giuseppe Manuppela, Jorge Lopes, Ana Buchó, Rui Figueira, Daniel Oliveira, José António, Mário Escudeiro e Pedro Ferreira que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho, quer ajudando à instalação e/ou primeira abordagem de um *software* para mim ainda desconhecido, quer corrigindo gralhas, apresentando sugestões, criticando figuras e legendas, etc., etc..

Além das numerosas colaborações pessoais, para o presente trabalho contribuíram também diversas entidades, a quem também quero agradecer:

- ao Instituto Geológico e Mineiro, instituição onde estou integrado como Assistente de Investigação e que me proporcionou os contactos e meios para realizar este trabalho;

- ao Instituto Superior Técnico que através do Centro de Valorização de Recursos Minerais, me disponibilizou quer instalações quer meios informáticos para poder concretizar as ideias que iam surgindo;

- à Connary Minerals – Sucursal Portuguesa pela cedência da informação;

Finalmente, quero expressar aqui as minhas desculpas e a minha gratidão a todos que de algum modo contribuíram para a elaboração deste trabalho, e que não tenham sido citados, e deixar uma última palavra de especial reconhecimento à São ao David e ao Pedro, pelos incómodos e ausências, que este trabalho provocou.

## ÍNDICE

	Pág.
<i>RESUMO</i> .....	<i>V</i>
<i>ABSTRACT</i> .....	<i>VII</i>
<i>AGRADECIMENTOS</i> .....	<i>IX</i>
<i>ÍNDICE</i> .....	<i>XI</i>
<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i> .....	<i>XV</i>
<i>ÍNDICE TABELAS</i> .....	<i>XXV</i>

### 1. INTRODUÇÃO

1.1. OBJECTIVOS .....	1
1.2. ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO GENÉRICO .....	3
1.3. ARTICULAÇÃO ENTRE OS CAPÍTULOS .....	6

### 2. METODOLOGIA PROPOSTA E SEUS FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. ESPECIFICAÇÃO DA METODOLOGIA.....	7
2.2. CONSTRUÇÃO DE ÍNDICES DE SÍNTESE COM BASE NA ANÁLISE FACTORIAL DAS CORRESPONDÊNCIAS.....	10
2.2.1. Análise Factorial das Correspondências.....	11
2.2.2. Construção de Índices de Síntese.....	12
2.3. ESTIMAÇÃO GEOESTATÍSTICA .....	13
2.3.1. Krigagem Ordinária .....	15
2.3.2. Utilização de Variáveis Auxiliares .....	18
2.3.2.1. Análise variográfica multivariada .....	18
2.3.2.2. Cokrigagem ordinária .....	19
2.3.2.3. Krigagem com deriva externa .....	22
2.3.2.4. Cokrigagem ordinária com deriva externa .....	25
2.3.3. Formalismo da Indicatriz.....	25
2.3.3.1. Classificação de estruturas multifásicas e identificação de zonas de incerteza .....	27

2.3.4. Testes de Validação Cruzada .....	28
2.4. SIMULAÇÃO GEOESTATÍSTICA.....	30
2.4.1. Introdução.....	30
2.4.2. Simulação Sequencial.....	31
2.4.3. Simulação Sequencial Gaussiana .....	32
<b>3. PRÉ-PROCESSAMENTO DA AMOSTRAGEM DE CASTROMIL E ESTIMAÇÃO DOS TEORES DE OURO POR KRIGAGEM ORDINÁRIA</b>	
3.1. ENQUADRAMENTO GENÉRICO.....	39
3.1.1. Contexto Geológico e Histórico .....	40
3.2. PRÉ-PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO DE PARTIDA E SUA ANÁLISE ESTRUTURAL.....	45
3.2.1. Pré-processamento da Informação Disponível.....	45
3.2.2. Estatísticos Básicos dos Dados Amostrais e Sua Codificação .....	47
3.2.3. Análise dos Troços da Amostragem Carotada .....	49
3.2.3.1. Análise do efeito de suporte nos troços da amostragem carotada .....	53
3.2.3.2. Regularização dos troços da amostragem carotada.....	62
3.2.3.3. Análise estrutural da amostragem dos troços regularizados .....	75
3.2.4. Análise da Amostragem Destrutiva.....	79
3.2.4.1. Análise estrutural da amostragem destrutiva .....	81
3.2.5. Análise Conjunta da Amostragem Carotada e Destrutiva.....	90
3.2.5.1. Análise estrutural da amostragem total.....	92
3.3. ESTIMAÇÃO DOS TEORES DE OURO POR KRIGAGEM ORDINÁRIA .....	95
<b>4. ESTIMAÇÃO E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DAS CLASSES DOS TEORES DE OURO</b>	
4.1. CONSTRUÇÃO DE ÍNDICES DE SÍNTESE PARA A INFORMAÇÃO AUXILIAR .....	101
4.1.1. Codificação da Informação Quantitativa.....	101
4.1.2. Análise das Relações Entre as Classes e Construção de Índices de Síntese.....	102
4.2. ESTIMAÇÃO DAS CLASSES DO TEOR EM OURO .....	110
4.2.1. Análise Multivariada das Classes dos Teores de Ouro Com a Informação Auxiliar .....	119
4.2.2. Validação das Estimções das Classes dos Teores de Ouro.....	120
4.2.3. Análise das Co-ocorrências Entre as Classes dos Teores de Ouro Amostrais e Estimadas.....	122

<b>5. ESTIMAÇÃO MULTIVARIADA DOS TEORES DE OURO E ANÁLISES DE SENSIBILIDADE</b>	
5.1. INTRODUÇÃO .....	129
5.2. PRIMEIRA APRECIÇÃO SOBRE A ESTIMAÇÃO DA VR OURO COM O AUXÍLIO DE VARIÁVEIS AUXILIARES.....	130
5.3. ANÁLISE DAS ESTIMAÇÕES DOS TEORES DE OURO .....	136
5.3.1. Codificação dos Teores de Ouro Estimados em Classes.....	143
5.4. ANÁLISE DAS ESTIMAÇÕES DOS TEORES DE OURO E RESPECTIVAS CLASSES EM SUPORTES RETIRADOS DA AMOSTRAGEM .....	146
5.5. ESTIMAÇÃO DOS TEORES DE OURO .....	150
<b>6. SIMULAÇÃO DOS TEORES DE OURO</b>	
6.1. INTRODUÇÃO.....	161
6.2. ALTERAÇÕES DO MÓDULO “SGSIM”.....	162
6.3. SIMULAÇÃO SEQUENCIAL GAUSSIANA DOS TEORES DE OURO .....	165
6.3.1. Funções de Distribuição dos Dados.....	166
6.3.2. Análise Estrutural dos Teores de Ouro Normalizados.....	169
6.3.3. SSG dos Teores de Ouro, nos Nós Contidos no jazigo, com Utilização de Duas Variáveis Externas no Sistema de KDE .....	171
6.3.4. SSG dos Teores de Ouro, Com Intervenção da Totalidade dos Nós da Malha Paralelepípedica Envolvente do Jazigo.....	180
6.3.5. SSG dos Teores de Ouro, nos Nós Contidos no jazigo, com Utilização de Uma Variável Externa no Sistema de KDE .....	183
6.3.6. SSG dos Teores de Ouro, nos Blocos de Desmonte do Jazigo, com Utilização de Duas Variáveis Externas no Sistema de KDE.....	185
6.4. PARAMETRIZAÇÃO DE RESERVAS .....	199
<b>7. CONCLUSÕES</b>	
CONCLUSÕES .....	203
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	207



## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	
Fig. 1.1 – Mapa de Portugal e localização do jazigo de Castromil.....	5
<b>2. METODOLOGIA PROPOSTA E SEUS FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b>	
Fig. 2.1 – Fluxograma da metodologia.....	8
<b>3. PRÉ-PROCESSAMENTO DA AMOSTRAGEM DE CASTROMIL E ESTIMAÇÃO DOS TEORES DE OURO POR KRIGAGEM ORDINÁRIA</b>	
Fig. 3.1 – Mapa com a localização do jazigo aurífero de Castromil.....	41
Fig. 3.2 – Perspectiva dos pisos de desmonte do jazigo de Castromil.....	44
Fig. 3.3 – Projecção em planta dos troços das sondagens carotadas e destrutivas.....	48
Fig. 3.4 – Histograma dos comprimentos das 1659 carotes amostradas.....	51
Fig. 3.5 – Histograma dos teores de Au presentes nas 1659 carotes amostradas.....	51
Fig. 3.6 – Histograma dos teores de Ag presentes nas 1659 carotes amostradas.....	51
Fig. 3.7 – Diagrama de extremos-e-quartis dos comprimentos das 1659 carotes amostradas .....	52
Fig. 3.8 – Diagrama de extremos-e-quartis dos teores de Au presentes nas 1659 carotes amostradas.....	52
Fig. 3.9 – Diagrama de extremos-e-quartis dos teores de Ag presentes nas 1659 carotes amostradas.....	52
Fig. 3.10 – Histograma das litologias presentes nas 1659 carotes amostradas .....	52
Fig. 3.11 – Diagrama de dispersão dos pares de pontos de Au e Ag presentes nas 1659 carotes amostradas .....	52
Fig. 3.12 – Histogramas dos teores de Au presentes nos troços dos conjuntos de carotes amostradas com comprimentos compreendidos em torno das bitolas: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 m ( $\pm 20\%$ ).....	56

Fig. 3.13 – Diagramas de extremos-e-quartis dos teores de Au presentes nos troços dos conjuntos de carotes amostradas com comprimentos compreendidos em torno das bitolas: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 m ( $\pm 20\%$ ).....	57
Fig. 3.14 – Histogramas dos teores de Ag presentes nos troços dos conjuntos de carotes amostradas com comprimentos compreendidos em torno das bitolas: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 m ( $\pm 20\%$ ). .....	58
Fig. 3.15 – Diagramas de extremos-e-quartis dos teores de Ag presentes nos troços dos conjuntos de carotes amostrais com comprimentos compreendidos em torno das bitolas: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 m ( $\pm 20\%$ ).....	59
Fig. 3.16 – Histogramas das litologias presentes nos troços dos conjuntos de carotes amostradas com comprimentos compreendidos em torno das bitolas: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 m ( $\pm 20\%$ ). .....	60
Fig. 3.17 – Fluxograma do processo de regularização dos comprimentos das carotes amostrais.....	63
Fig. 3.18 – Histogramas dos teores de Au presentes nos conjuntos de troços regularizados regularizados. ....	67
Fig. 3.19 – Diagramas de extremos-e-quartis dos teores de Au presentes nos conjuntos de troços regularizados regularizados. ....	68
Fig. 3.20 – Histogramas dos teores de Ag presentes nos conjuntos de troços regularizados regularizados. ....	69
Fig. 3.21 – Diagramas de extremos-e-quartis dos teores de Ag presentes nos conjuntos de troços regularizados regularizados. ....	70
Fig. 3.22 – Histogramas das litologias presentes nos conjuntos de troços regularizados regularizados. ....	71
Fig. 3.23 – Diagramas de dispersão entre os teores de Au e Ag presentes nos conjuntos de troços regularizados regularizados. ....	72
Fig. 3.24 – Mapas das distribuições dos troços regularizados com a bitola de 0,5 m <i>versus</i> os regularizados com as bitolas: 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 m. ....	74
Fig. 3.25 – Variogramas dos teores de Au presentes nos 2138 troços regularizados com 1m de comprimento. ....	76
Fig. 3.26 – Variogramas dos teores de Ag presentes nos 2138 troços regularizados com 1m de comprimento. ....	77
Fig. 3.27 – Variogramas do Gr presente nos 2138 troços regularizados com 1 m de comprimento. ....	77
Fig. 3.28 – Variogramas do Gs presente nos 2138 troços regularizados com 1 m de comprimento. ....	78
Fig. 3.29 – Variogramas do Gc presente nos 2138 troços regularizados com 1 m de comprimento. ....	78

Fig. 3.30 – Variogramas dos Xt presentes nos 2138 troços regularizados com 1 m de comprimento. ....	79
Fig. 3.31 – Histograma dos teores em Au presentes nos 1806 troços com 1 m de comprimento, das sondagens destrutivas.....	80
Fig. 3.32 – Diagrama de extremos-e-quartis dos teores de Au presentes nos 1806 troços com 1 m de comprimento, das sondagens destrutivas. ....	81
Fig. 3.33 – Histograma das litologias presentes nos 1806 troços com 1 m de comprimento, das sondagens destrutivas.....	81
Fig. 3.34 – Histograma da cor presente nos 1806 troços com 1 m de comprimento, das sondagens destrutivas. ....	81
Fig. 3.35 – Variogramas dos teores de Au presentes nos 1806 troços com 1 m de comprimento, das sondagens destrutivas.....	83
Fig. 3.36 – Variogramas do Gr presente nos 1806 troços com 1 m de comprimento, das sondagens destrutivas. ....	83
Fig. 3.37 – Variogramas do Gs presente nos 1806 troços com 1 m de comprimento, das sondagens destrutivas. ....	84
Fig. 3.38 – Variogramas do Gc presente nos 1806 troços com 1 m de comprimento, das sondagens destrutivas. ....	84
Fig. 3.39 – Variogramas dos Xt presentes nos 1806 troços com 1 m de comprimento, das sondagens destrutivas.....	85
Fig. 3.40 – Variogramas da cor Am presente nos 1806 troços com 1 m de comprimento, das sondagens destrutivas.....	85
Fig. 3.41 – Variogramas da cor Be presente nos 1806 troços com 1 m de comprimento, das sondagens destrutivas.....	86
Fig. 3.42 – Variogramas da cor Ca presente nos 1806 troços com 1 m de comprimento, das sondagens destrutivas.....	86
Fig. 3.43 – Variogramas da cor Cr presente nos 1806 troços com 1m de comprimento, das sondagens destrutivas com 1 m.....	87
Fig. 3.44 – Variogramas da cor Pr presente nos 1806 troços com 1 m de comprimento, das sondagens destrutivas.....	87
Fig. 3.45 – Variogramas da cor Cz presente nos 1806 troços com 1 m de comprimento, das sondagens destrutivas.....	88
Fig. 3.46 – Variogramas da cor Ve presente nos 1806 troços com 1 m de comprimento, das sondagens destrutivas.....	88
Fig. 3.47 – Histograma dos teores de Au presentes nos 3944 troços de 1 m de comprimento, do conjunto de amostragem total.....	91
Fig. 3.48 – Diagrama de extremos-e-quartis dos teores de Au presentes nos 3944 troços de 1 m de comprimento, do conjunto de amostragem total. ....	92

Fig. 3.49 – Histograma das litologias presentes nos 3944 troços de 1 m de comprimento, do conjunto de amostragem total.....	92
Fig. 3.50 – Variogramas dos teores de Au presentes nos 3944 troços de 1 m de comprimento, do conjunto de amostragem total.....	93
Fig. 3.51 – Variogramas do Gr presente nos 3944 troços de 1 m de comprimento, do conjunto de amostragem total.....	93
Fig. 3.52 – Variogramas do Gs presente nos 3944 troços de 1 m de comprimento, do conjunto de amostragem total.....	94
Fig. 3.53 – Variogramas do Gc presente nos 3944 troços de 1 m de comprimento, do conjunto de amostragem total.....	94
Fig. 3.54 – Variogramas dos Xt presentes nos 3944 troços de 1 m de comprimento, do conjunto de amostragem total.....	95
Fig. 3.55 – Mapas dos teores de Au estimados por KO, nos pisos às cotas 108, 132 e 164 m. ....	98
Fig. 3.56 – Função de distribuição da frequência cumulativa dos teores de Au amostrais e estimados para intervalos até 9,0 g/ton. (a seta no gráfico separa duas escalas para o eixo dos teores de Au).....	99
Fig. 3.57 – Função de distribuição dos teores médios de Au para os intervalos com teores de corte compreendidos entre 0,5 e 9,0 g/ton. (a seta no gráfico separa duas escalas para o eixo dos teores de Au).....	99

#### **4. ESTIMAÇÃO E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DAS CLASSES DOS TEORES DE OURO**

Fig. 4.1 – Projecções das classes Ag1, Ag2, Gr, Gs, Gc e Xt presentes nos troços da amostragem carotada, nos planos definidos pelos eixos (1, 2), (1, 3) e (2, 3), com as classes Au1, Au2, Au3 projectadas em suplementar.....	107
Fig. 4.2 – Projecções das classes Gr, Gs, Gc, Xt, Am, Be, Ca, Ve, Pr, Cz e Cr, presentes nos troços da amostragem destrutiva, nos planos definidos pelos eixos (1, 2), (1, 3) e (2, 3), com as classes Au1, Au2, Au3 projectadas em suplementar.....	107
Fig. 4.3 – Projecções das classes Gr, Gs, Gc e Xt presentes nos troços da amostragem total, nos planos definidos pelos eixos (1, 2), (1, 3) e (2, 3), com as classes Au1, Au2, Au3 projectadas em suplementar.....	108
Fig. 4.4 – Projecções das classes GrGs e GcXt presentes nos troços da amostragem carotada, nos planos definidos pelos eixos (1, 2), (1, 3) e (2, 3), com as classes Au1, Au2, Au3 projectadas em suplementar.....	108
Fig. 4.5 – Projecções das classes AmBeCa, VePrCzCr, GrGs e GcXt presentes nos troços da amostragem destrutiva, nos planos definidos pelos eixos (1, 2), (1, 3) e (2, 3), com as classes Au1, Au2, Au3 projectadas em suplementar.....	109

Fig. 4.6 – Projecções das classes GrGs e GcXt presentes nos troços da amostragem total, nos planos definidos pelos eixos (1, 2), (1, 3) e (2, 3), com as classes Au1, Au2, Au3 projectadas em suplementar.....	109
Fig. 4.7 – Variogramas de indicatriz da classe Au1 presente nos 3944 troços da amostragem total.....	112
Fig. 4.8 – Variogramas de indicatriz da classe Au3 presente nos 3944 troços da amostragem total.....	112
Fig. 4.9 – Variogramas de indicatriz da associação litológica GrGs presente nos 3944 troços da amostragem total.....	113
Fig. 4.10 – Variogramas de indicatriz da classe Ag1 resultante da classificação da Ag em duas classes presente nos 2138 troços regularizados da amostragem carotada.....	113
Fig. 4.11 – Variogramas de indicatriz da associação de cores AmBeCa presente nos 1806 troços da amostragem destrutiva.....	114
Fig. 4.12 – Variogramas do índice de síntese $F1_{(GrGs, GcXt, AmBeCa, VePrCzCr)}$ presente nos 1806 troços da amostragem destrutiva.....	114
Fig. 4.13 – Variogramas do índice de síntese $F2_{(GrGs, GcXt, AmBeCa, VePrCzCr)}$ presente nos 1806 troços da amostragem destrutiva.....	115
Fig. 4.14 – Variogramas do índice de síntese $F3_{(GrGs, GcXt, AmBeCa, VePrCzCr)}$ presente nos 1806 troços da amostragem destrutiva.....	115
Fig. 4.15 – Variogramas do índice de síntese $F1_{(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)}$ presente nos 2138 troços da amostragem carotada.....	116
Fig. 4.16 – Variogramas do índice de síntese $F2_{(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)}$ presente nos 2138 troços da amostragem carotada.....	116
Fig. 4.17 – Variogramas do índice de síntese $F3_{(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)}$ presente nos 2138 troços da amostragem carotada.....	117
Fig. 4.18 – Variogramas cruzados entre as classes Au1 e Au3 e o índice de síntese $([F1]_{(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)}2138 + [F1]_{(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)}*1806)$ nos 3944 troços da amostragem total.....	120
Fig. 4.19 – Funções de distribuição cumulativa da classe Au1 para os valores amostrais e estimados pontualmente sobre a amostragem por KO e CKO_DE [Au1, Au3]_[F1]_{(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)}.....	125
Fig. 4.20 – Mapas das classes de Au estimadas por KO e CKO_DE[Au1, Au3]_[F1]_{(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)}.....	127/128

## 5. ESTIMAÇÃO MULTIVARIADA DOS TEORES DE OURO E ANÁLISES DE SENSIBILIDADE

Fig. 5.1 – Variogramas cruzados dos teores de Au com os índices de síntese $[F1, F2, F3]_{(GcXt, GrGs, Ag1, Ag2)}$ presentes nos 3944 troços da totalidade da
---

amostragem, para as direcções horizontais $N_1 0^\circ E_1$ , $N_1 90^\circ E_1$ e vertical.....	135
Fig. 5.2 – Comportamento dos testes DQM, ERM e $ERM/Au_{médio}$ , calculados para os teores de Au, estimados pelos TPF dos processos de KO, CKO e KDE no conjunto de amostragem total, com base em informação presente nas sondagens carotadas e destrutivas.....	140
Fig. 5.3 – Comportamento dos testes DQM, ERM e $ERM/Au_{médio}$ , calculados para os teores de Au, estimados pelos TPF dos processos de KO, CKO e KDE no conjunto de amostragem carotada, com base em informação presente nas sondagens carotadas e destrutivas.....	140
Fig. 5.4 – Comportamento dos testes DQM, ERM e $ERM/Au_{médio}$ , calculados para os teores de Au, estimados pelos TPF dos processos de KO, CKO e KDE no conjunto de amostragem carotada, com base em informação presente apenas nas sondagens carotadas.....	141
Fig. 5.5 – Comportamento dos testes DQM, ERM e $ERM/Au_{médio}$ , calculados para os teores de Au, estimados pelos TPF dos processos de KO, CKO e KDE no conjunto de amostragem destrutiva, com base em informação presente nas sondagens carotadas e destrutivas.....	141
Fig. 5.6 – Comportamento dos testes DQM, ERM e $ERM/Au_{médio}$ , calculados para os teores de Au, estimados pelos TPF dos processos de KO, CKO e KDE no conjunto de amostragem destrutiva, com base em informação presente apenas nas sondagens destrutivas.....	142
Fig. 5.7 – Diagramas de dispersão e coeficientes de correlação entre os teores de Au amostrais e estimados por KO e Au KDE ( $Au1^*$ , $Au3^*$ ) <sup>sem classificação multifásica</sup> .....	143
Fig. 5.8 – Funções de distribuição cumulativa das frequências dos teores de Au amostrais e estimados para intervalos até 9,0 g/ton.....	151
Fig. 5.9 – Funções de distribuição dos teores médios de Au para os intervalos com teores de corte compreendidos entre 0,5 e 9,0 g/ton.....	152
Fig. 5.10 – Função de recuperação quantidade de metal para os suportes de desmonte.....	152
Fig. 5.11 – Perspectiva dos teores de Au estimados nos volumes de desmonte dos pisos, com as respectivas cotas.....	154
Fig. 5.12 – Mapas dos intervalos de teores de Au estimados pelo processo Au KDE ( $Au1^*$ , $Au3^*$ ) <sup>sem classificação multifásica</sup> ..	155/6/7/8/9/60

## 6. SIMULAÇÃO DOS TEORES DE OURO

Fig. 6.1 – Histogramas dos 3944 teores de Au amostrais normalizados pelos módulos “sgsim” e “geoTRDATA”.....	167
Fig. 6.2 – Histogramas das probabilidades dos teores de Au pertencerem às classes Au1 e Au3 presentes nas 3944 amostras.....	168

Fig. 6.3 – Histogramas das probabilidades estimadas para os teores de Au pertencerem à classe Au1, nos 20 487 nós da malha contidos no jazigo.....	168
Fig. 6.4 – Histogramas das probabilidades estimadas para os teores de Au pertencerem à classe Au3, nos 20 487 nós da malha contidos no jazigo.....	168
Fig. 6.5 – Histogramas das probabilidades estimadas para os teores de Au pertencerem à classe Au1, nos 172 725 nós que constituem a totalidade da malha.....	169
Fig. 6.6 – Histogramas das probabilidades estimadas para os teores de Au pertencerem à classe Au3, nos 172 725 nós que constituem a totalidade da malha.....	169
Fig. 6.7 – Variogramas dos 3944 teores de Au da transformação directa realizada pelo módulo “sgsim”.....	170
Fig. 6.8 – Variogramas dos 3944 teores de Au da transformação directa realizada pelo módulo geoTRDATA.....	171
Fig. 6.9 – Histogramas dos teores de Au, antes das transformações inversas dos resultados de dois processos de SSG, realizados com os dados das transformações directas efectuadas pelos módulos “sgsim” e “geoTRDATA” com a mesma semente, nos 20 487 nós da malha coincidente com os centros dos blocos de desmonte.....	175
Fig. 6.10 – Histograma dos teores de Au, após a transformação inversa dos resultados de um processo de SSG, realizado nos 20 487 nós da malha coincidente com os centros dos blocos de desmonte, com os dados da transformação directa realizada pelo “sgsim”.....	175
Fig. 6.11 – Histograma dos teores de Au, após a transformação inversa dos resultados de um processo de SSG, realizado nos 20 487 nós da malha coincidente com os centros dos blocos de desmonte, com os dados da transformação directa realizada pelo “geoTRDATA”.....	175
Fig. 6.12 – Variogramas dos teores de Au, antes da transformação inversa dos resultados de um processo de SSG, realizado nos 20 487 nós da malha coincidente com os centros dos blocos de desmonte, com os dados da transformação directa realizada pelo “sgsim”.....	176
Fig. 6.13 – Variogramas dos teores de Au, antes da transformação inversa dos resultados de um processo de SSG, realizado nos 20 487 nós da malha coincidente com os centros dos blocos de desmonte, com os dados da transformação directa realizada pelo “geoTRDATA”.....	176
Fig. 6.14 – Variogramas dos teores de Au, após a transformação inversa dos resultados de um processo de SSG, realizado nos 20 487 nós da malha coincidente com os centros dos blocos de desmonte, com os dados da transformação directa realizada pelo “sgsim”.....	177

Fig. 6.15 – Variogramas dos teores de Au, após a transformação inversa dos resultados de um processo de SSG, realizado nos 20 487 nós da malha coincidente com os centros dos blocos de desmonte, com os dados da transformação directa realizada pelo “geoTRDATA”.....	177
Fig. 6.16 – Variogramas dos teores de Au, após a transformação inversa dos resultados de 25 processos de SSG, realizados nos 20 487 nós da malha coincidente com os centros dos blocos de desmonte, com os dados da transformação directa realizada pelo “sgsim”.....	178
Fig. 6.17 – Variogramas dos teores de Au, após a transformação inversa dos resultados de 25 processos de SSG, realizados nos 20 487 nós da malha coincidente com os centros dos blocos de desmonte, com os dados da transformação directa realizada pelo “geoTRDATA”.....	178
Fig. 6.18 – Funções de distribuição cumulativas das frequências dos teores de Au amostral e obtidos nos 20 487 nós da malha coincidente com os centros dos blocos de desmonte, pelos seguintes processos: estimacão Au KDE (Au1*, Au3*) <sup>sem classificacão multifásica</sup> , 120 processos de SSG e respectiva média; média pontual dos 120 processos de SSG.....	179
Fig. 6.19 – Funções de distribuição dos teores médios de Au amostral e obtidos nos 20 487 nós da malha coincidente com os centros dos blocos de desmonte, pelos seguintes processos: estimacão Au KDE [(Au1*, Au3*) <sup>sem classificacão multifásica</sup> ]; 120 processos de SSG e respectiva média; média pontual dos 120 processos de SSG.....	179
Fig. 6.20 – Funções de distribuição cumulativas dos teores de Au amostrais, e obtidos após a transformação inversa dos resultados dos 120 processos de SSG, realizados nos 20 487 nós da malha coincidente com os centros dos blocos de desmonte.....	180
Fig. 6.21 – Histograma dos 20 487 teores de Au, seleccionados antes da transformação inversa, dos teores resultantes de um processo de SSG realizado nos 172 725 nós que constituem a totalidade da malha paralelepipedica que envolve o jazigo.....	181
Fig. 6.22 – Histograma dos 172 725 teores de Au, antes da transformação inversa dos resultados de um processo de SSG.....	181
Fig. 6.23 – Funções de distribuição cumulativas dos 3944 teores de Au amostrais, e dos 120 conjuntos de 20 487 teores de Au obtidos após a transformação inversa e selecção dos teores de Au resultantes de 120 processos de SSG realizados nos 172 725 nós que constituem a totalidade da malha paralelepipedica que envolve o jazigo.....	182
Fig. 6.24 – Variogramas de 25 conjuntos de 20 487 teores de Au, obtidos após a transformação inversa e selecção dos teores resultantes de 25 processos de SSG realizados nos 172 725 nós que constituem a totalidade da malha paralelepipedica que envolve o jazigo.....	183
Fig. 6.25 – Histograma dos teores de Au, antes da transformação inversa dos resultados de um processo de SSG, que utiliza apenas a classe Au3* <sup>sem</sup>	

classificação multifásica como variável de deriva externa na estimação realizada nos 20 487 nós coincidentes com os centros dos blocos de desmonte.....	184
Fig. 6.26 – Funções de distribuição cumulativas dos 3944 teores de Au amostrais e dos 120 conjuntos de 20 487 teores de Au, obtidos após a transformação inversa dos resultados dos 120 processos de SSG, que utiliza apenas a classe Au3* <sup>sem classificação multifásica</sup> como variável de deriva externa na estimação realizada nos 20 487 nós coincidentes com os centros dos blocos de desmonte.....	184
Fig. 6.27 – Variogramas de 25 conjuntos de 20 487 teores de Au, obtidos após a transformação inversa dos resultados de 25 processos de SSG que utilizam apenas a classe Au3* <sup>sem classificação multifásica</sup> como variável de deriva externa na estimação realizada nos 20 487 nós coincidentes com os centros dos blocos de desmonte.....	185
Fig. 6.28 – Variogramas dos teores de Au, após a transformação inversa dos resultados de 25 processos de SSG, realizados nos 20 487 blocos de desmonte.....	188
Fig. 6.29 – Funções de recuperação da quantidade de metal dos teores de Au simulados, nos suportes de desmonte.....	188
Fig. 6.30 – Mapas dos intervalos de teores de Au obtidos nos blocos do piso à cota 108 m, pelos processos de SSG escolhidos aleatoriamente (#8, #19, #48 e #61).....	189
Fig. 6.31 – Mapas dos intervalos de teores de Au obtidos nos blocos do piso à cota 132 m, pelos processos de SSG escolhidos aleatoriamente (#8, #19, #48 e #61).....	190
Fig. 6.32 – Mapas dos intervalos de teores de Au obtidos nos blocos do piso à cota 164 m, pelos processos de SSG escolhidos aleatoriamente (#8, #19, #48 e #61).....	191
Fig. 6.33 – Representação do conjunto de 120 teores simulados em 7 suportes com teores médios pertencentes aos [0,2; 0,3[, [0,3; 0,4[, [0,4; 0,5[, [0,5; 0,6[, [0,6; 0,7[, [0,7; 0,8[ e [0,8; 0,9[, aleatoriamente escolhidos.....	192
Fig. 6.34 – Representação do conjunto de 120 teores simulados em 7 suportes com teores médios pertencentes aos [0,9; 1,0[, [1,0; 2,0[, [2,0; 3,0[, [3,0; 4,0[, [4,0; 5,0[, [5,0; 6,0[ e [6,0; 7,0[, aleatoriamente escolhidos.....	192
Fig. 6.35 – Mapas das classes do teor médio e variância dos 120 teores de Au simulados em cada bloco no piso à cota 108 m, e funções de distribuição e histogramas dos 120 teores de Au simulados em dois desses blocos.....	193
Fig. 6.36 – Mapas das classes do teor médio e variância dos 120 teores de Au simulados em cada bloco no piso à cota 132 m, e funções de distribuição e histogramas dos 120 teores de Au simulados em dois desses blocos.....	194

Fig. 6.37 – Mapas das classes do teor médio e variância dos 120 teores de Au simulados em cada bloco no piso à cota 164 m, e funções de distribuição e histogramas dos 120 teores de Au simulados em dois desses blocos.....	195
Fig. 6.38 – Representação das classes a que pertencem os limites inferior e superior do intervalo que contém 95 % dos valores de Au simulados em cada suporte de desmonte do piso à cota 108 m.....	196
Fig. 6.39 – Representação das classes a que pertencem os limites inferior e superior do intervalo que contém 95 % dos valores de Au simulados em cada suporte de desmonte do piso à cota 132 m.....	197
Fig. 6.40 – Representação das classes a que pertencem os limites inferior e superior do intervalo que contém 95 % dos valores de Au simulados em cada suporte de desmonte do piso à cota 164 m.....	198
Fig. 6.41 – Funções de recuperação quantidade de metal dos teores de Au estimados e simulados, nos suportes de desmonte.....	200
Fig. 6.42 – Funções de recuperação tonelagem dos teores de Au estimados e simulados, nos suportes de desmonte... ..	201
Fig. 6.43 – Funções de recuperação teor médio dos teores de Au estimados e simulados, nos suportes de desmonte... ..	201

## ÍNDICE DE TABELAS

	Pág.
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	
Tab. 1.1 – Tipo de informação recolhida nos troços de amostragem .....	5
<b>3. PRÉ-PROCESSAMENTO DA AMOSTRAGEM DE CASTROMIL E ESTIMAÇÃO DOS TEORES DE OURO POR KRIGAGEM ORDINÁRIA</b>	
Tab. 3.1 – Estatísticos básicos dos comprimentos das 1659 carotes amostradas e dos respectivos teores em Au e Ag e classificações litológicas atravessadas .....	50
Tab. 3.2 – Principais estatísticos básicos dos teores em Au e Ag e das classificações litológicas atravessadas pelos troços dos conjuntos de carotes amostradas com comprimentos compreendidos em torno das bitolas 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 m ( $\pm 20\%$ ) .....	54/55
Tab. 3.3 – Principais estatísticos básicos dos teores de Au e Ag e das classificações litológicas atravessadas pelos vários comprimentos de regularização .....	65/66
Tab. 3.4 – Principais estatísticos básicos das variáveis presentes nos 1806 troços com 1 m de comprimento, das sondagens destrutivas .....	80
Tab. 3.5 – Principais parâmetros dos variogramas encontrados para as VR presentes nos 1806 troços com 1 m de comprimento, das sondagens destrutivas .....	89
Tab. 3.6 – Tipos de informação recolhida nos 3944 troços de 1 m de comprimento, do conjunto de amostragem total .....	90
Tab. 3.7 – Principais estatísticos básicos dos teores de Au e das classes das litologias Gc, Gr, Gs e Xt presentes nos 3944 troços de 1 m de comprimento, do conjunto de amostragem total .....	91
Tab. 3.8 – Desvios quadráticos médios, erros relativos médios e erros relativos médios com os teores de Au médios, calculados para os teores de Au estimados pelo TPF da KO .....	96

Tab. 3.9 – Percentagem do número de blocos e $Q_m$ obtidos para os teores de Au estimados por KO, para diferentes teores de corte .....	97
<b>4. ESTIMAÇÃO E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DAS CLASSES DOS TEORES DE OURO</b>	
Tab. 4.1 – Quantificação e limites das classes dos teores de Au presentes nos troços com 1 m de comprimento, da amostragem total.....	102
Tab. 4.2 – Percentagens de explicação dos eixos principais de inércia construídos com as classes Gr, Gs, Gc, Xt, [Ag1, Ag2], [Ag1, Ag2, Ag3], [Ag1, Ag2, Ag3, Ag4] e [Ag1, Ag2, Ag3, Ag4, Ag5], e respectivas correlações com os teores de Au .....	105
Tab. 4.3 – Percentagens de explicação dos eixos principais de inércia construídos com as associações litológicas GrGs, GcXt, classes [Ag1, Ag2], [Ag1, Ag2, Ag3], [Ag1, Ag2, Ag3, Ag4] e [Ag1, Ag2, Ag3, Ag4, Ag5], e respectivas correlações com a os teores de Au.....	106
Tab. 4.4 – Percentagens de explicação dos eixos principais de inércia construídos com as classes Gr, Gs, Gc, Xt, Am, Be, Ca, Ve, Pr, Cz, Cr e associações GrGs, GcXt, AmBeCa e VePrCzCr, e respectivas correlações com os teores de Au .....	106
Tab. 4.5 – Principais estatísticos dos teores de Ag e respectivas classes amostrais e estimadas nos diferentes conjuntos de pontos.....	117
Tab. 4.6 – Principais estatísticos dos valores das associações de cores AmBeCa e VePrCzCr amostrais e estimados nos diferentes conjuntos de pontos.....	118
Tab. 4.7 – Principais estatísticos dos valores das associações litológicas GrGs e GcXt amostrais e estimados nos diferentes conjuntos de pontos .....	118
Tab. 4.8 – Principais estatísticos dos valores dos índices de síntese [F1, F2, F3] <sub>(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)</sub> amostrais e estimados nos diferentes conjuntos de pontos.....	118
Tab. 4.9 – Principais estatísticos dos valores índices de síntese [F1, F2, F3] <sub>(GrGs, GcXt, AmBeCa, VePrCzCr)</sub> amostrais e estimados nos diferentes conjuntos de pontos.....	118
Tab. 4.10 – Principais estatístico dos valores estimados para as classes Au1 e Au3, nos 3944 pontos coincidentes com a amostragem total, pelos TPF da KO e CKO [Au1, Au3, GrGs] .....	122
Tab. 4.11 – Co-ocorrências entre as classes dos teores de Au presentes na amostragem e estimadas pelo TPF de diferentes processos.....	124
Tab. 4.12 – Co-ocorrências entre as classes dos teores de Au presentes nos 3944 troços da amostragem total e estimadas pelos TPF dos processos de CKO_DE [Au1, Au3]_com variáveis auxiliares .....	126

## 5. ESTIMAÇÃO MULTIVARIADA DOS TEORES DE OURO E ANÁLISES DE SENSIBILIDADE

Tab. 5.1 – Número de variogramas simples e cruzados realizados .....	134
Tab. 5.2 – Desvios quadráticos médios, erros relativos médios e erros relativos médios para os valores de Au médios, calculados para os valores de Au estimados pelos TPF da KO, CKO e KDE no conjunto de amostragem total, com base na respectiva amostragem .....	137
Tab. 5.3 – Desvios quadráticos médios, erros relativos médios e erros relativos médios para os valores de Au médios, calculados para os valores de Au estimados pelos TPF da KO, CKO e KDE no conjunto de amostragem carotada, com base na informação presente na totalidade das sondagens e apenas nas sondagens carotadas.....	138
Tab. 5.4 – Desvios quadráticos médios, erros relativos médios e erros relativos médios para os valores de Au médios, calculados para os valores de Au estimados pelos TPF da KO, CKO e KDE no conjunto de amostragem destrutiva, com base na informação presente na totalidade das sondagens e apenas nas sondagens destrutivas .....	139
Tab. 5.5 – Quantificação e estabelecimento dos limites das classes dos teores de Au, resultantes da classificação pelo processo da indicatriz da amostragem e teores estimados pelos TPF de diferentes processos de estimação .....	144
Tab. 5.6 – Erros relativos entre as frequências das classes de Au amostrais e resultantes da classificação pelo processo da indicatriz, com manutenção dos limites, de teores de Au estimados pelos TPF de diferentes estimações .....	145
Tab. 5.7 – Co-ocorrências entre as classes de Au amostrais e resultantes da classificação dos valores de Au estimados por diferentes processos .....	146
Tab. 5.8 – Desvios quadráticos médios e erros relativos médios, dos teores de Au estimados com a informação presente em diferentes malhas de partida, nos troços das 12 sondagens retiradas da amostragem .....	149
Tab. 5.9 – Desvios quadráticos médios, erros relativos médios e erros relativos médios para os teores de Au médios, calculados para os teores de Au estimados por KO e KDE (Au1*, Au3*) <sup>sem classificação multifásica</sup> .....	151
Tab. 5.10 – Número de blocos e quantidades de metal estimados por KO e Au KDE (Au1*, Au3*) <sup>sem classificação multifásica</sup> para diferentes teores de corte.....	153

## 6. SIMULAÇÃO DOS TEORES DE OURO

Tab. 6.1 – Estatísticos dos teores de Au normalizados pelos módulos “sgsim” e “geoTRDATA”, das classes Au1 e Au3 da amostragem e (Au1*, Au3*) <sup>sem classificação multifásica</sup> nos 20 487 nós contidos no jazigo e nos 172 725 nós que constituem a totalidade da malha paralelepípedica .....	167
Tab. 6.2 – Estatísticos dos teores de Au, antes e após a transformação inversa dos resultados de dois processos de SSG, realizados com a mesma semente	

	nos 20 487 nós da malha coincidente com os centros dos blocos de desmonte do jazigo, com os dados transformados de modo directo pelos módulos “sgsim” e “geotrdta”.....	174
Tab. 6.3 –	Estatísticos dos 20 487 teores de Au, seleccionados dos teores resultantes de um processo de SSG realizado nos 172 725 nós que constituem a totalidade da malha paralelepipedica que envolve o jazigo.....	182