

# 6.

## SIMULAÇÃO DOS TEORES DE OURO

### 6.1. INTRODUÇÃO

O conhecimento dos valores de uma VR em suportes não amostrados só fica completo se, para além dos valores mais prováveis, também forem conhecidas as respectivas incertezas. Do ponto de vista da estimação geoestatística, a maior precisão atribuída a um estimador é quantificada pela variância de estimação, definida como a variância dos desvios entre os valores estimados e os reais. No entanto, a variância de estimação não quantifica a incerteza resultante da variabilidade local do atributo em análise, mas depende só das relações geométricas existentes entre as próprias amostras e entre as amostras e o suporte a estimar. A covariância entre duas variáveis aleatórias é assumida como estacionária em todo o domínio e, como tal, depende apenas da “distância estrutural”, o que conduz a variâncias de estimação iguais, para configurações amostrais iguais (SOARES, 2000).

Esta ou outras soluções de simplificação da realidade são características de todos os modelos que procuram reproduzi-la por parâmetros e variáveis, mas tende a possuir maior significado quando as abordagens são determinísticas, e apenas pretendem traduzir as

relações existentes entre uma variável dependente e os valores amostrais de variáveis independentes, deixando de parte algumas das complexidades detectadas na amostragem, como a reprodução da variabilidade espacial e da função de distribuição marginal (*f<sub>dcm</sub>*).

Estando-se num tempo, que cada vez mais perspectiva a representação do máximo de comportamentos (sociais, biológicos, ambientais, geossistemáticos, etc.), através de modelos sintéticos gerados por algoritmos computacionais, capazes de manter as coerências físicas e a simplicidade e eficiência necessárias à (re)execução em períodos reduzidos, facilmente se entende que o carácter aleatório das VR conduza também à utilização e desenvolvimento de processos de simulação estocástica, capazes de reproduzir as respectivas características estatísticas e de continuidade espacial, para permitir quantificar a incerteza associada a cada valor simulado. No entanto, o desconhecimento que persiste e persistirá, sobre a génese e comportamento aleatório, tão característicos da complexidade dos fenómenos naturais, constitui (conjuntamente com as limitações do *hardware* e principalmente do *software*, que ainda se sentem) o principal entrave na implementação destes processos estocásticos (caracterizados por gerarem, pelo menos, um dos diversos factores que utilizam, durante o seu decurso). É a tentativa de colmatar algumas das falhas ainda existentes, que conduz à integração do processo de estimação seleccionado no capítulo anterior Au KDE [(Au1\*, Au3\*)<sup>sem classificação multifásica</sup>] no algoritmo de Simulação Sequencial Gaussiana (SSG).

## 6.2. ALTERAÇÕES DO MÓDULO “SGSIM”

De acordo com o já referido em 1.3., foram efectuadas alterações no algoritmo de SSG do módulo “sgsim”, de forma a implementar o processo de estimação seleccionado. No entanto, o facto da simulação ser efectuada nos nós de uma malha regular paralelepípedica, que envolve os contornos irregulares do jazigo, levanta a questão: até que ponto a simulação de um atributo nos nós pertencentes a essa malha, mas exteriores ao corpo do jazigo, irá influenciar a posterior simulação de nós efectivamente contidos no jazigo? Para responder a esta questão, foram também introduzidas alterações de forma a excluir os nós exteriores ao jazigo, do processo de simulação sequencial.

A implementação destas alterações inicia-se na leitura dos dados de entrada, já que o processo de estimação dos teores de Au (Au KDE (Au1\*, Au3\*)<sup>sem classificação multifásica</sup>) a implementar utiliza mais uma VR do que o processo originalmente proposto no “sgsim”. Efectuada a alteração de “input” dos dados, impõe-se a alteração do número de variáveis externas ( $P$ ), de 1 para 2, no sistema de  $(N + I + P)$  equações, necessárias ao cálculo dos ponderadores de KDE. Este sistema foi alterado de modo a que as matrizes

- **[K]** que é simétrica  $C(x_i, x_j) = C(x_j, x_i)$  e representa as covariâncias entre as amostras, ou seja, as variâncias ( $\sigma^2(x_i, x_i)$ ) e as covariâncias ( $C(x_i, x_j)$ ) entre todos os pontos amostrais contidos no raio de procura em torno de  $x_0$ ;
- **[M]** que é o vector representante das covariâncias entre as amostras  $x_i$  e o ponto a estimar  $x_0$ ;
- **[λ]** que é o vector representante dos ponderadores multiplicativos de cada amostra e os parâmetros de Lagrange (introduzidos para compensar o desconhecimento da média da VR);

$$[K] = \left[ \begin{array}{cccccc|cc} \sigma^2(x_1, x_1) & C(x_1, x_2) & \dots & C(x_1, x_N) & 1 & Y_1(x_1) & Y_2(x_1) \\ C(x_2, x_1) & \sigma^2(x_2, x_2) & \dots & C(x_2, x_N) & 1 & Y_1(x_2) & Y_2(x_2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \cdot & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \cdot & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \cdot & \dots & \dots \\ C(x_N, x_1) & C(x_N, x_2) & \dots & \sigma^2(x_N, x_N) & 1 & Y_1(x_N) & Y_2(x_N) \\ \hline 1 & 1 & \dots & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \hline Y_1(x_1) & Y_1(x_2) & \dots & Y_1(x_N) & 0 & 0 & 0 \\ Y_2(x_1) & Y_2(x_2) & \dots & Y_2(x_N) & 0 & 0 & 0 \end{array} \right]$$

$$[M] = \begin{bmatrix} C(x_1, x_0) \\ C(x_2, x_0) \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ C(x_N, x_0) \\ 1 \\ \hline Y_1(x_0) \\ Y_2(x_0) \end{bmatrix} \quad [\lambda] = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \lambda_N \\ \mu_1 \\ \hline \mu_2 \\ \mu_3 \end{bmatrix}$$

possam satisfazer o cálculo dos respectivos ponderadores através da equação

$$[K] \cdot [\lambda] = [M] \Rightarrow [\lambda] = [K]^{-1} \cdot [M]$$

o sistema de equações de krigagem conduz à concentração da informação referente à desagregação e proximidade da amostragem, nos ponderadores, uma vez que é produto de dois termos que traduzem respectivamente (SOARES, 2000)

- a atribuição de menores pesos às amostras cuja concentração conduza a maiores correlações;
- a distância estrutural, através da atribuição de maiores pesos às amostras mais próximas do ponto a estimar.

A representação dos valores  $[Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_N)]$  por  $[Z]$  conduz ao seguinte estimador da VR localizada em  $x_0$ :

$$[Z(x_0)]^* = [\lambda]^T \cdot [Z] = [M]^T \cdot [K]^{-1} \cdot [Z]$$

Efectuadas as alterações do sistema de KDE, segue-se a introdução das modificações necessárias à viabilização de simulações que incluam ou excluam, no respectivo percurso aleatório, os nós da malha envolvente não pertencentes ao jazigo. Para um controlo mais fácil destes nós, optou-se por utilizar um ficheiro que contém todas as coordenadas dos nós da malha paralelepédica de simulação e uma variável dicotómica que classifica essas

coordenadas, como pertencentes ou não ao jazigo (LUÍS, 1994), permitindo, assim, a escolha entre uma das seguintes opções:

- i. ignorar a classificação de cada nó estar ou não contido nos limites do jazigo, ou seja simular todo o paralelepípedo e fazer a selecção *a posteriori*;
- ii. simular o valor de um nó, apenas no caso de estar classificado como pertencente ao jazigo, conduzindo a uma situação em que, por falta de simulação dos respectivos atributos, os nós não pertencentes ao jazigo nunca influenciarão quaisquer passos futuros.

### 6.3. SIMULAÇÃO SEQUENCIAL GAUSSIANA DOS TEORES DE OURO

De acordo com as modificações referidas anteriormente, a aplicação prática do processo de SSG será efectuada através do módulo “sgsim” da seguinte forma:

- i. modificado, para permitir a utilização das classes (Au1\*, Au3\*)<sup>sem classificação multifásica</sup>, como variáveis de deriva externa na simulação dos teores de Au, apenas nos nós da malha, contidos nos limites do jazigo e coincidentes com os centros dos suportes de desmonte do jazigo (iguais aos já utilizados na estimação, 5 x 5 x 4 m<sup>3</sup>);
- ii. modificado, da forma descrita no ponto anterior, mas com simulação dos teores de Au, em todos os (172 725) nós da malha paralelepipedica que envolve o jazigo;
- iii. realizar SSG com o módulo “sgsim” original, que utiliza apenas uma variável externa (Au3\*)<sup>sem classificação multifásica</sup>;
- iv. efectuar as comparações e seleccionar o processo que mostrar os melhores resultados;
- v. realizar SSG, com utilização do processo que obtiver melhores resultados, nos blocos de desmonte, através do recurso à descritização e simulação de um número de pontos “suficiente” para caracterizar e homogeneizar a continuidade espacial dos teores de Au.

### 6.3.1. FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DOS DADOS

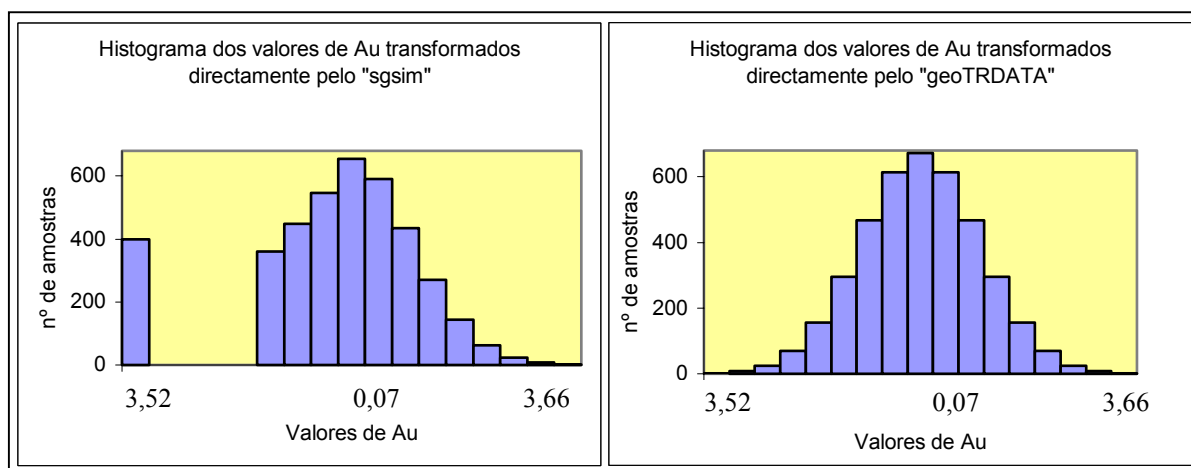
A SSG é um processo que, como já foi referido, exige que a *fdcm* da variável principal a simular tenha uma distribuição gaussiana e, portanto, o seu primeiro passo consiste na transformação gaussiana ou directa da distribuição marginal dos teores de Au amostrais. Para permitir estudar a sensibilidade do processo de SSG à forma particular de transformação gaussiana do “sgsim”, que a efectua sem fragmentar qualquer classe de valores experimentais, realizaram-se SSG com a utilização de teores de Au transformados internamente por este módulo de simulação, e externamente por outro.

A transformação gaussiana externa foi efectuada através do módulo “geoTRDATA” do sistema de programas geoMS, desenvolvido por R. ALEXANDRE e J. ALMEIDA no CMRP – Centro de Modelização de Reservatórios Petrolíferos, do Instituto Superior Técnico, que utiliza um processo “gráfico” para transformar as *fdcm* dos dados em funções normais e criar uma tabela para efectuar a transformação inversa (transformação dos valores gaussianos obtidos pela SSG, em valores com a *fdcm* dos dados).

Todas as transformações foram efectuadas dentro de limites iguais aos valores mínimos e máximos da amostragem. A perda do significado de classe retira qualquer sentido à transformação directa das variáveis auxiliares amostrais (Au1 e Au3), classificadas dicotomicamente e estimadas (quer nos nós contidos nos limites do jazigo quer na sua totalidade). Na Figura 6.1 observam-se as diferenças existentes entre os histogramas dos teores de Au transformados pelos dois módulos, estando os principais estatísticos e histogramas das variáveis utilizadas, representados na Tabela 6.1 e Figuras 6.2 a 6.6.

**Tab. 6.1 – Estatísticos dos teores de Au transformados de modo directo 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 paralelepipedica**

Teores ou valores		Nº de amostras	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	1º quartil	3º quartil	Variância	Coef. de Skewness
Amostras	de Au transformados directamente pelo "sgsim"	3944	-3,52	3,66	-0,20	-0,20	-0,75	0,67	1,91	-1,00
	de Au transformados directamente pelo "geoTRDATA"		-3,66	3,66	0,00	0,00	-0,67	0,67	1,00	0,00
	da classe Au1		0,00	1,00	0,34	0,00	0,00	1,00	0,23	0,66
	da classe Au3		0,00	1,00	0,32	0,00	0,00	1,00	0,22	0,75
Nós contidos nos limites do jazigo	da classe Au1 estimada	20 487	0,00	1,00	0,25	0,20	0,10	0,40	0,06	0,89
	da classe Au3 estimada		0,00	1,00	0,38	0,40	0,20	0,60	0,06	0,33
Nós da totalidade da malha	da classe Au1 estimada	172 725	0,00	1,00	0,34	0,28	0,07	0,57	0,10	0,65
	da classe Au3		0,00	1,00	0,34	0,28	0,06	0,56	0,10	0,66



**Fig. 6.1 – Histogramas dos 3944 valores de Au, após submissão às transformações directas pelos módulos “sgsim” e “geoTRDATA”.**

## 6. Simulação dos Teores de Au

### 6.3. Simulação sequencial gaussiana dos teores de ouro

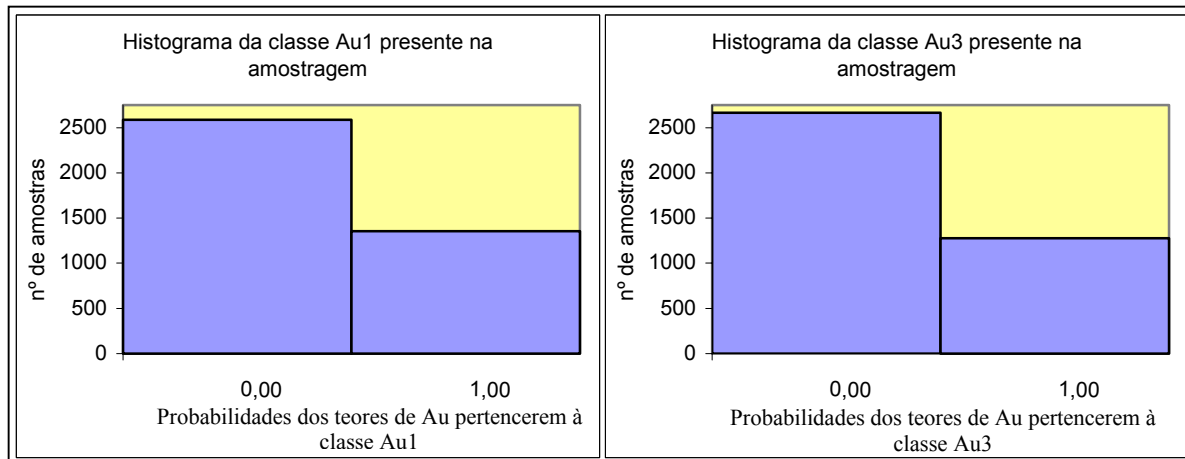


Fig. 6.2 – Histogramas das probabilidades dos teores de Au pertencerem às classes Au1 e Au3 presentes nas 3944 amostras.

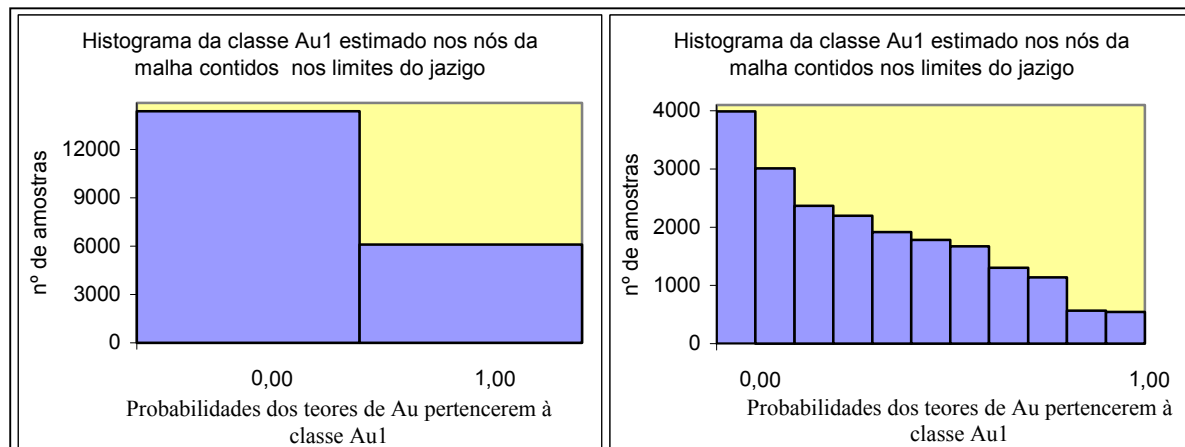


Fig. 6.3 – Histogramas das probabilidades estimadas para os teores de Au pertencerem à classe Au1, nos 20 487 nós da malha contidos no jazigo.

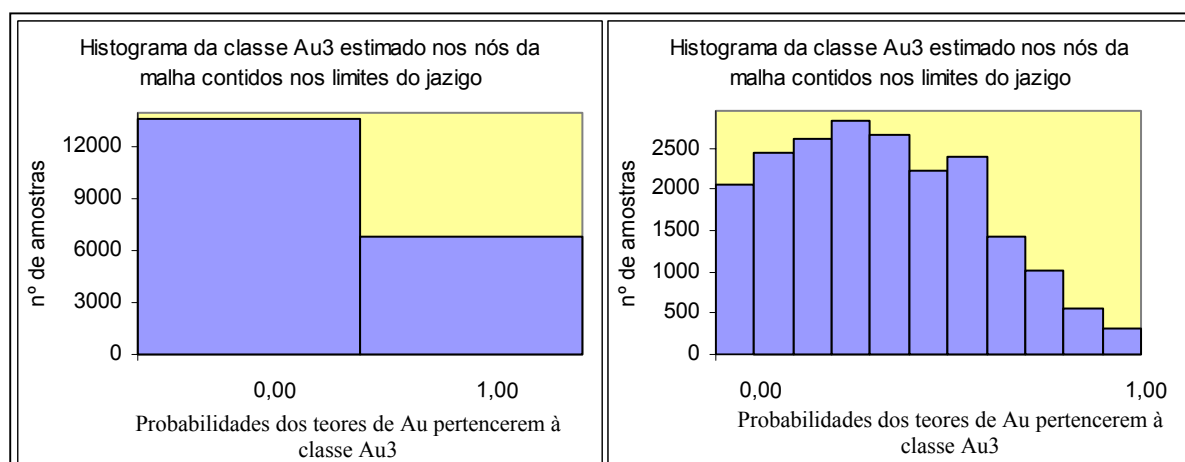


Fig. 6.4 – Histogramas das probabilidades estimadas para os teores de Au pertencerem à classe Au3, nos 20 487 nós da malha contidos no jazigo.

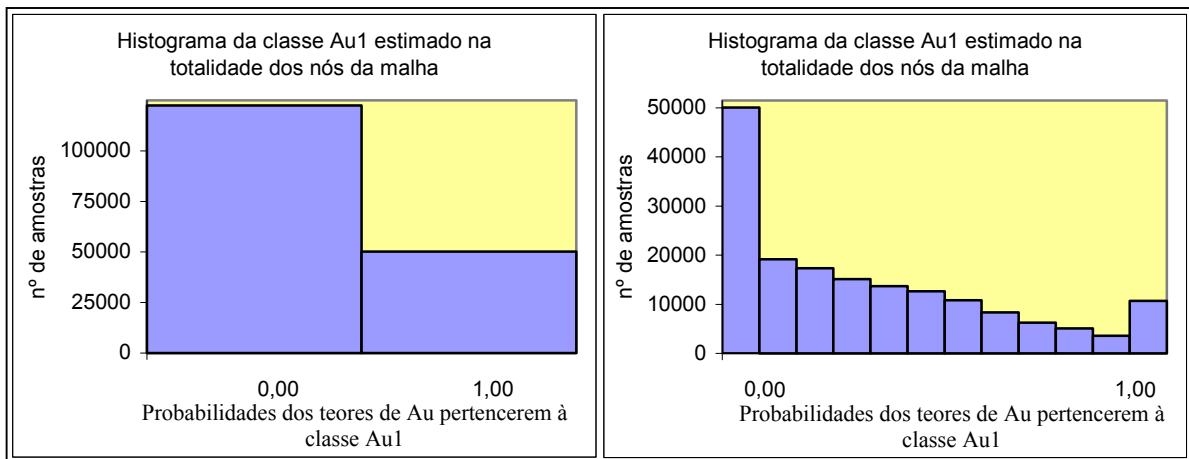


Fig. 6.5 – Histogramas das probabilidades estimadas para os teores de Au pertencerem à classe Au1, nos 172 725 nós que constituem a totalidade da malha.

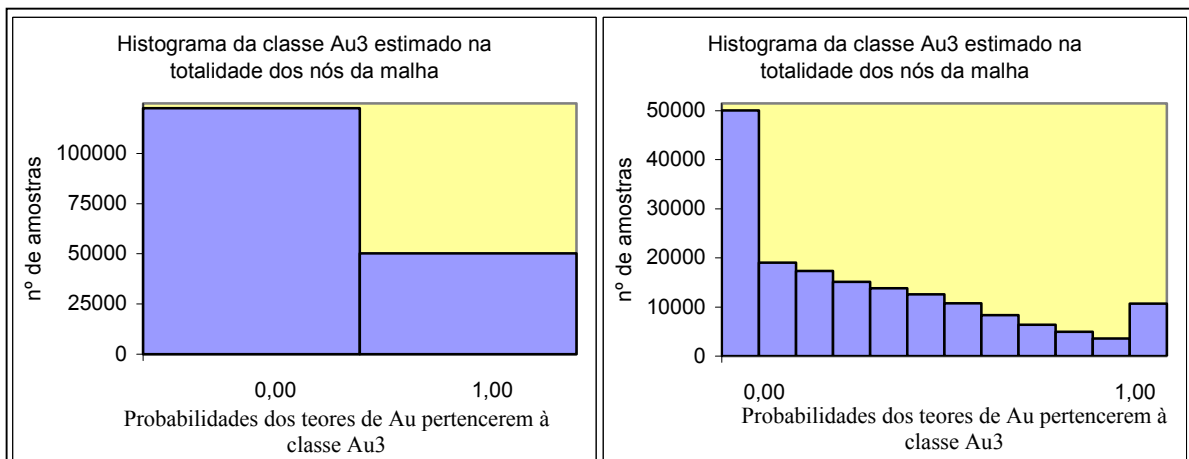


Fig. 6.6 – Histogramas das probabilidades estimadas para os teores de Au pertencerem à classe Au3, nos 172 725 nós que constituem a totalidade da malha.

### 6.3.2. ANÁLISE ESTRUTURAL DOS TEORES DE OURO NORMALIZADOS

A transformação directa da função de distribuição marginal dos teores de Au, pelo módulo "sgsim", originou uma nova VR com média próxima de zero e variância próxima de dois. Este facto obriga à realização de uma nova análise estrutural, em tudo semelhante às já efectuadas, da qual resultaram os variogramas representados na Figura 6.7. A comparação entre estes variogramas e os encontrados para os teores da amostragem sem normalização, representados na Figura 3.50, permite salientar:

- a existência de diferenças significativas nas distâncias de correlação entre amostras

## 6. Simulação dos Teores de Au

### 6.3. Simulação sequencial gaussiana dos teores de ouro

que sofreram um ligeiro decréscimo de cerca de 15 % na direcção  $N_1 0^\circ E_1$ , e um substancial aumento de cerca de 320 % na direcção  $N_1 90^\circ E_1$ , que ocasionaram a isotroposição da distância estrutural no plano horizontal, e um incremento da ordem dos 250 % no plano vertical;

- a proporção entre a variância e o efeito de pepita diminuiu cerca de 10 % (de 41,7 % para 31,4 %).

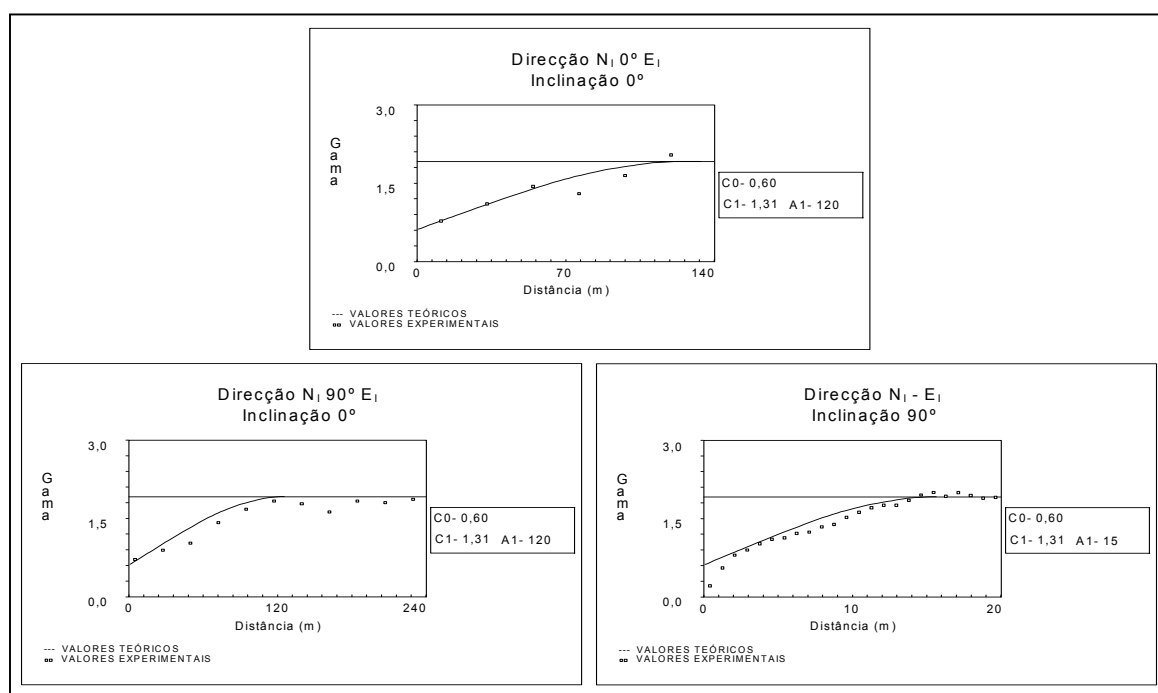


Fig. 6.7 – Variogramas dos 3944 teores de Au da transformação directa realizada pelo módulo “sgsim”.

Por sua vez, a análise estrutural dos teores de Au, da transformação directa realizada pelo módulo “geoTRDATA”, teve como resultado o cálculo dos variogramas representados na Figura 6.8, que têm comportamentos muito semelhantes aos encontrados para os dados obtidos pela transformação directa do “sgsim”, diferindo apenas no aumento da proporção do efeito de pepita de cerca de 31,4 % para 40,0 %, e das amplitudes horizontais que sofreram incrementos de 120 para 130 m, mas mantêm o comportamento isótropo e verticais de 15 para 20 m.

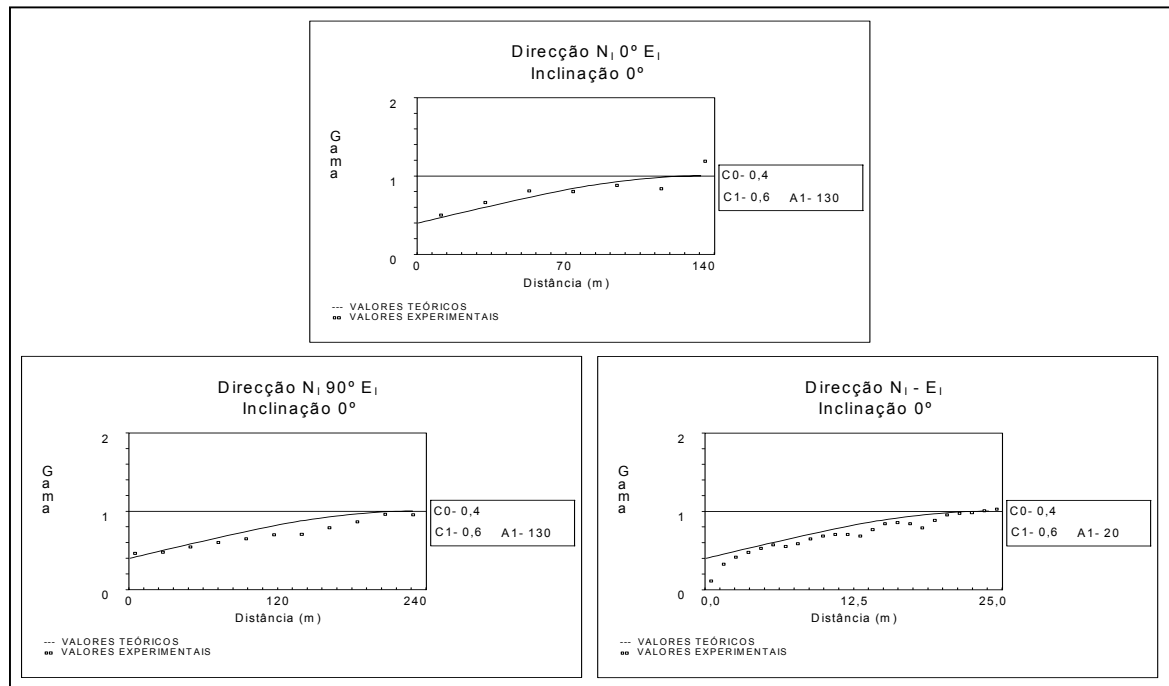


Fig. 6.8 – Variogramas dos 3944 teores de Au da transformação directa realizada pelo módulo geoTRDATA.

### 6.3.3. SSG DOS TEORES DE OURO, NOS NÓS CONTIDOS NO JAZIGO, COM UTILIZAÇÃO DE DUAS VARIÁVEIS EXTERNAS NO SISTEMA DE KDE

A primeira aplicação do modelo de SSG é direccionada na percepção do efeito da transformação directa dos dados amostrais pelos módulos “sgsim” e “geoTRDATA”, no comportamento das probabilidades de teores de Au. Nesse sentido, utilizaram-se as mesmas 120 sementes, na realização de dois conjuntos de 120 simulações, nos 20 487 nós da malha contidos no jazigo, tendo a única distinção consistido na utilização para cada semente, de dois conjuntos de 3944 teores de Au, resultantes, respectivamente, da transformação directa pelos módulos “sgsim” e “geoTRDATA”. Isto obrigou à utilização do modelo de continuidade espacial de cada conjunto, representados nas Figuras 6.7 e 6.8.

Como consequência destas realizações, obtiveram-se, com se esperava, dois conjuntos de cenários equiprováveis, com as mesmas médias, variâncias, histogramas e variabilidades espaciais dos valores amostrais. Para melhorar a percepção dos resultados obtidos, apresentam-se na Tabela 6.2 e Figuras 6.9 a 6.15 os principais estatísticos, histogramas e variogramas dos valores obtidos em duas SSG, que utilizam a mesma semente

(aleatoriamente escolhida), nos dois modos de transformação directa dos teores de Au. A utilização de valores simulados, antes da aplicação da transformação inversa e após, permite verificar que os teores de Au simulados,

- e ainda não submetidos à transformação inversa, possuem:
  - distribuições normais, quer no caso dos teores da transformação directa realizada pelo “sgsim” quer pelo “geoTRDATA”, como pode ser observado na Figura 6.9, e estatísticos semelhantes, quer entre si quer com os dados da transformação directa, como pode ser visto nas Tabelas 6.1 e 6.2;
  - os variogramas dos teores simulados com recurso à transformação directa realizada pelo “sgsim”, representados na Figura 6.12, reproduzem perfeitamente o andamento dos variogramas utilizados na respectiva simulação, representados na Figura 6.7;
  - os variogramas dos teores simulados com recurso à transformação directa realizada pelo “geoTRDATA”, representados na Figura 6.13, reproduzem mais aproximadamente o andamento dos variogramas dos teores de Au da transformação directa realizada pelo “sgsim”, representados na Figura 6.7, do que os utilizados na respectiva simulação, representados na Figura 6.8, uma vez que diferem de -10 m nas amplitudes das direcções  $N_1 0^\circ E_1$  e  $N_1 90^\circ E_1$  e -5 m na amplitude segundo a vertical;
- após a transformação inversa, observa-se que:
  - existem grandes semelhanças entre as distribuições dos teores simulados, com recurso aos dois processos de transformação directa, e a distribuição dos teores de Au da amostragem, como pode ser observado na comparação das Figuras 3.47, 6.10 e 6.11;
  - os variogramas dos teores simulados com recurso à transformação directa realizada pelo “sgsim”, representados na Figura 6.14, reproduzem mais aproximadamente o andamento dos variogramas da amostragem, representados na Figura 3.50, uma vez que as diferenças apenas se resumem a menos 30,0 m (-21,43 %), na direcção  $N_1 0^\circ E_1$ , a mais 2,5 m (+6,67 %), segundo a direcção  $N_1 90^\circ E_1$ , e a mais 4,0 m (+66,67 %), na vertical;

- quanto aos variogramas dos teores simulados, com recurso à transformação directa pelo “geoTRDATA”, representados na Figura 6.15, reproduzem menos bem os variogramas da amostragem, representados na Fig. 3.50, uma vez que as diferenças encontradas de menos 40,0 m (-29,57 %) na direcção  $N_1 0^\circ E_1$ , mais 5,0 m (+13,33 %) segundo a direcção  $N_1 90^\circ E_1$ , e mais 6,0 m (+100,00 %) na vertical, são mais significativas que as encontradas para os teores simulados com recurso à transformação directa realizada pelo “sgsim”.

Estas comparações entre os resultados destas duas simulações possibilitaram uma primeira ilação sobre o comportamento dos teores de Au simulados. No entanto, impõe-se uma verificação mais pormenorizada do comportamento de cada conjunto de simulações. Para isso, calcularam-se 25 variogramas e histogramas, a partir dos resultados finais de 25 simulações aleatoriamente escolhidas no conjunto de 120, realizadas com os teores de Au transformados de modo directo pelo módulo “sgsim”. Cálculos que foram repetidos para as 25 simulações, possuidoras das mesmas sementes, mas realizadas com os teores de Au transformados de modo directo pelo módulo “geoTRDATA”. Estas realizações permitem verificar que todas as distribuições dos teores de Au, pertencentes às (25 + 25) simulações testadas (realizadas mas não apresentadas), possuem andamentos muito similares aos indicados nas Figuras 6.10 e 6.11, que permitem verificar

- as funções teóricas dos variogramas das 25 simulações, realizadas com os dados da transformação directa pelo “sgsim”, representadas na Figura 6.16, são possuidoras de ergodicidade em todas as direcções;
- à semelhança do referido no ponto anterior, o comportamento das funções teóricas dos variogramas das 25 simulações, realizadas com os valores da transformação directa pelo “geoTRDATA” e representadas na Figura 6.17, também é ergódico, salientando-se apenas as maiores diferenças encontradas para os variogramas da amostragem, patentes, quer nos efeitos de pepita proporcionalmente mais elevados quer nas amplitudes mais afastadas.

Em face do observado, efectua-se uma opção pelo processo de SSG, que utiliza a transformação directa realizada pelo “sgsim”, estando o comportamento das respectivas 120 funções de distribuição, representado na Figura 6.20, onde também se pode observar a fraca

## 6. Simulação dos Teores de Au

### 6.3. Simulação sequencial gaussiana dos teores de ouro

ergocidade existente. Para melhor compreensão do comportamento destas distribuições, procedeu-se ao cálculo e representação, na Figura 6.18, das distribuições cumulativas da frequência dos teores de Au dos seguintes conjuntos:

- i. dos 3944 teores amostrais;
- ii. dos 20 487 teores estimados nos nós da malha coincidente com os centros dos blocos de desmonte do jazigo, pelo processo seleccionado (Au KDE (Au1\*, Au3\*)<sup>sem classificação multifásica</sup>);
- iii. dos 20 487 teores simulados por cada uma das 120 SSG, nos nós da malha coincidente com os centros dos blocos de desmonte do jazigo, e que utilizam o processo de estimação do Au por KDE (Au1\*, Au3\*)<sup>sem classificação multifásica</sup>;
- iv. da média das 120 distribuições referidas no ponto anterior;
- v. dos 20 487 teores de Au médio simulado em cada nó (conseguidos pelas médias dos 120 valores simulados em cada nó);

até ao limite de 9,0 g/ton., o que possibilita uma melhor visualização da ergocidade existente nos teores mais baixos. Com este mesmo propósito, mas para permitir visualizar melhor o comportamento dos teores pertencentes à fracção de maior importância económica, efectuou-se igualmente a representação na Figura 6.19, da evolução das funções de distribuição dos teores médios, dos mesmos conjuntos, mas para teores de corte até 18,0 g/ton.

**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 “geoTRDATA”**

Valores de Au simulados por SSG nos nós contidos no jazigo, com os dados da transformação directa pelo módulo	Número de nós simulados	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	1º quartil	3º quartil	Variância	Coef. de Skewness
“sgsim”, antes da respectiva transformação inversa	20 487	-4,66	4,31	0,08	0,11	-0,63	0,83	1,21	-0,15
“geoTRDATA”, antes da respectiva transformação inversa		-3,63	4,31	0,19	0,19	-0,05	0,88	1,03	-0,03
“sgsim”, após a respectiva transformação inversa		0,01	34,22	0,83	0,23	0,04	0,84	3,60	7,58
“geoTRDATA”, após a respectiva transformação inversa		0,01	34,46		0,22	0,02	0,86		7,41

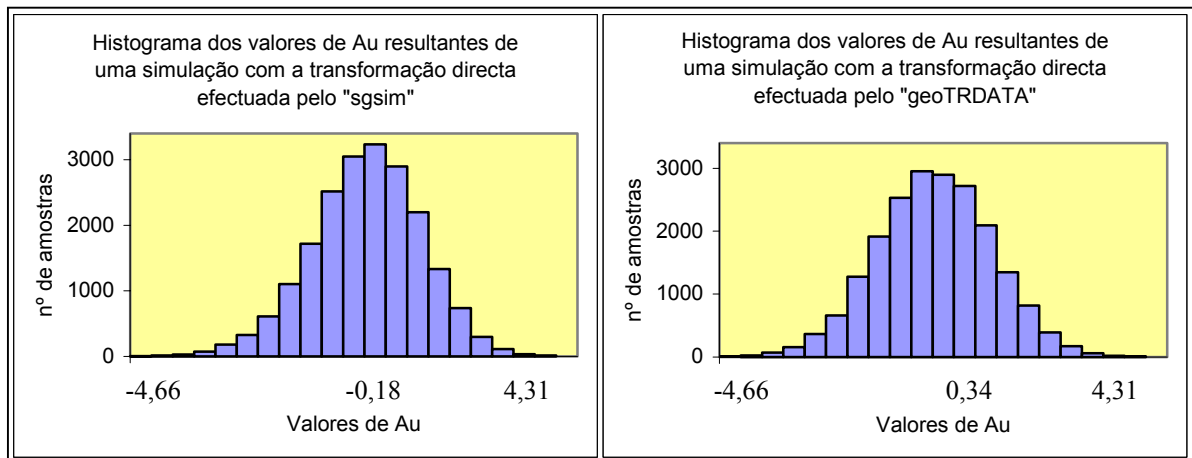


Fig. 6.9 – Histogramas dos teores de Au, antes das transformações inversas dos resultados de dois processos de SSG, realizados com os dados das transformações directas efectuadas pelos módulos “sgsim” e “geoTRDATA” com a mesma semente, nos 20 487 nós da malha coincidente com os centros dos blocos de desmonte.

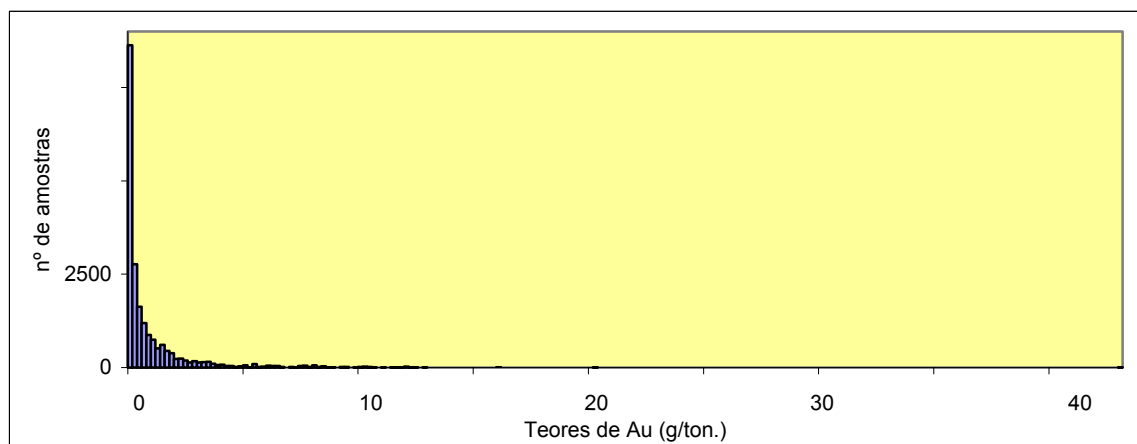


Fig. 6.10 – Histograma dos teores de Au, após a transformação inversa dos resultados de um processo de SSG, realizado nos 20 487 nós da malha coincidente com os centros dos blocos de desmonte, com os dados da transformação directa realizada pelo “sgsim”.

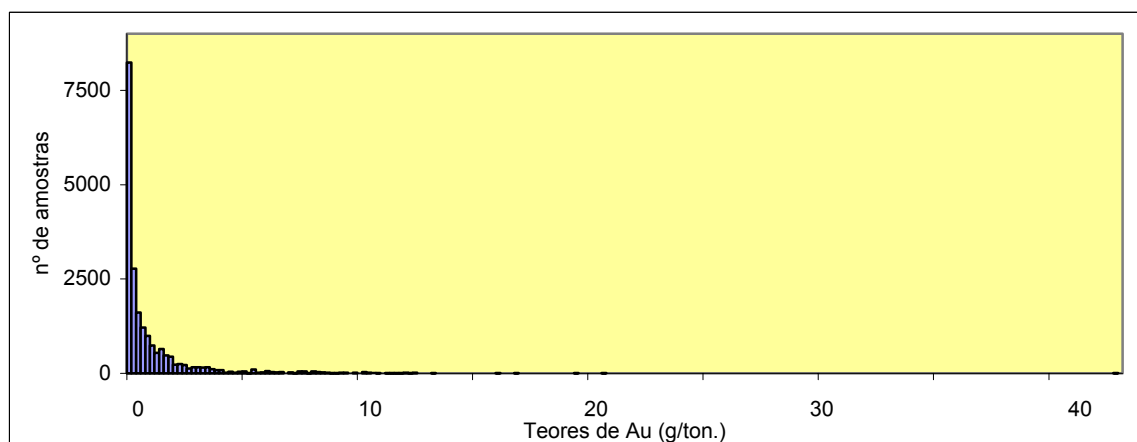


Fig. 6.11 – Histograma dos teores de Au, após a transformação inversa dos resultados de um processo de SSG, realizado nos 20 487 nós da malha coincidente com os centros dos blocos de desmonte, com os dados da transformação directa realizada pelo “geoTRDATA”.

## 6. Simulação dos Teores de Au

### 6.3. Simulação sequencial gaussiana dos teores de ouro

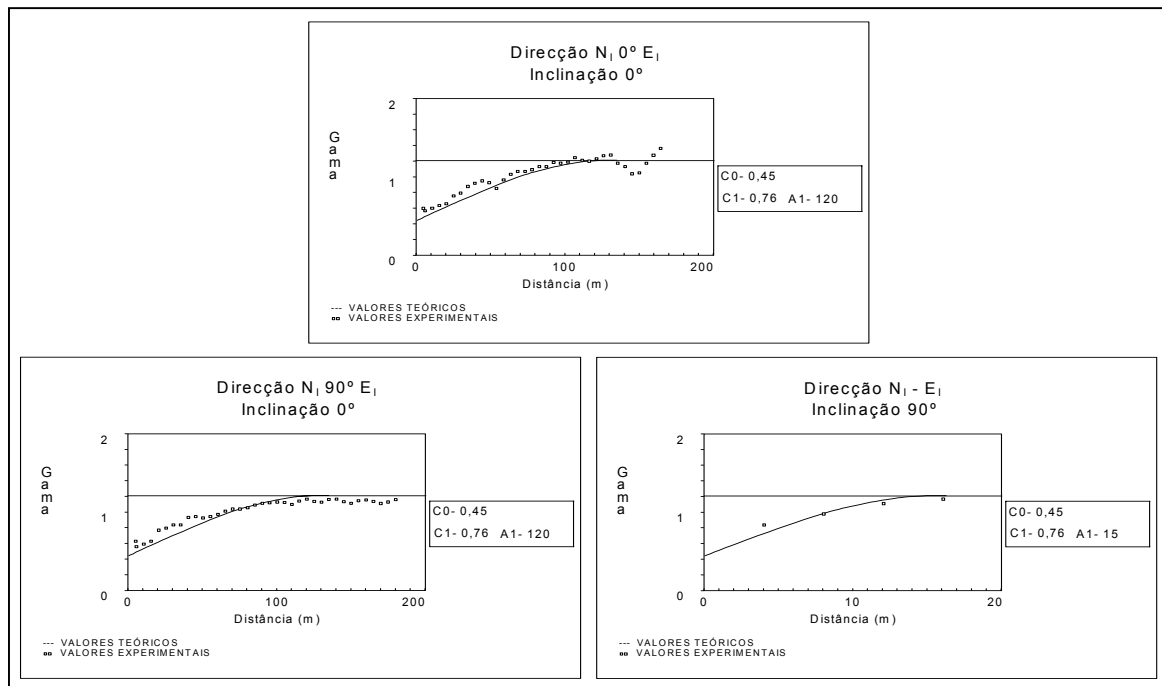


Fig. 6.12 – Variogramas dos teores de Au, antes da transformação inversa dos resultados de um processo de SSG, realizado nos 20 487 nós da malha coincidente com os centros dos blocos de desmonte, com os dados da transformação directa realizada pelo “sgsim”.

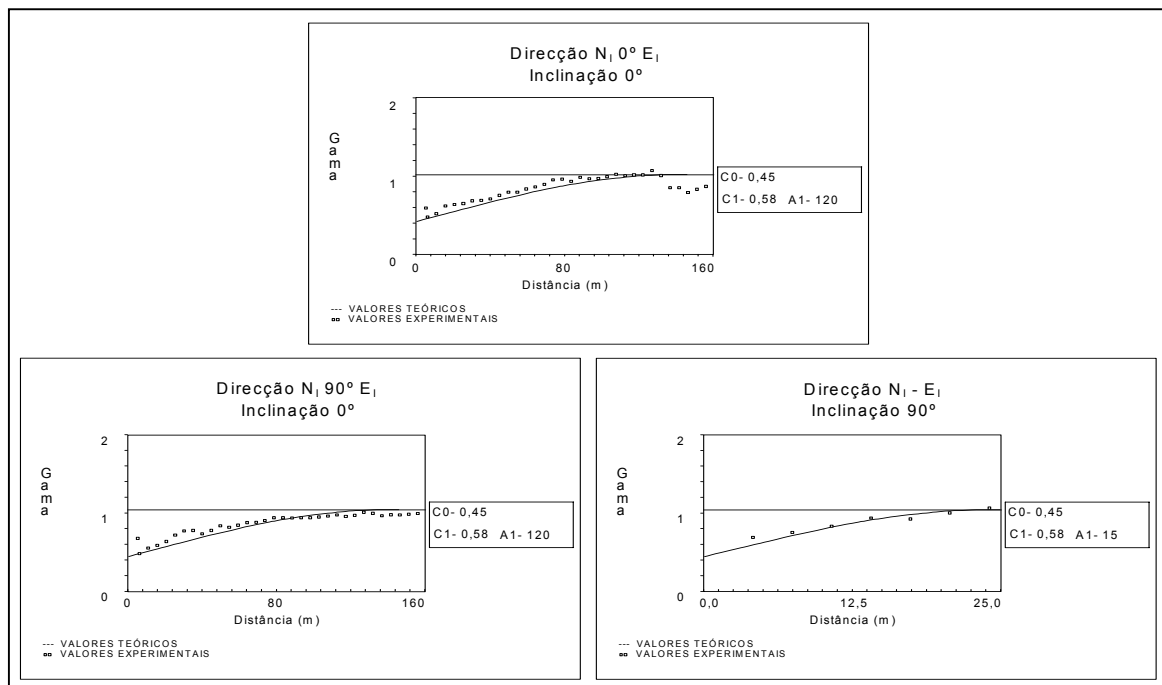


Fig. 6.13 – Variogramas dos teores de Au, antes da transformação inversa dos resultados de um processo de SSG, realizado nos 20 487 nós da malha coincidente com os centros dos blocos de desmonte, com os dados da transformação directa realizada pelo “geoTRDATA”.

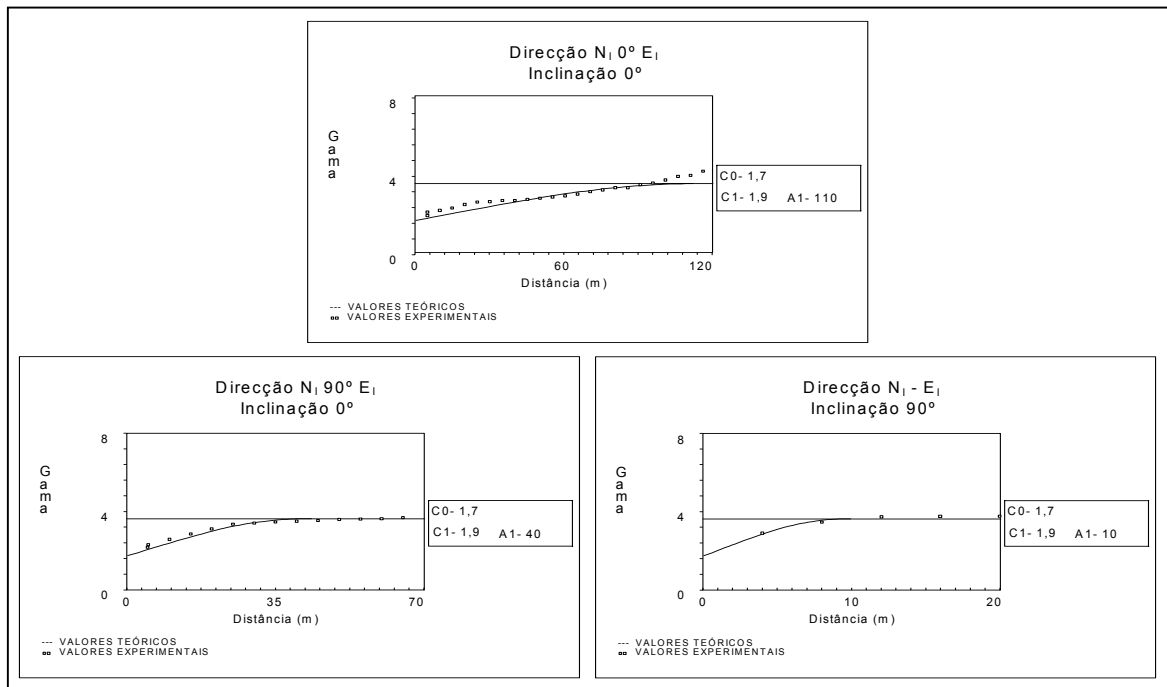


Fig. 6.14 – Variogramas dos teores de Au, após a transformação inversa dos resultados de um processo de SSG, realizado nos 20 487 nós da malha coincidente com os centros dos blocos de desmonte, com os dados da transformação directa realizada pelo “sgsim”.

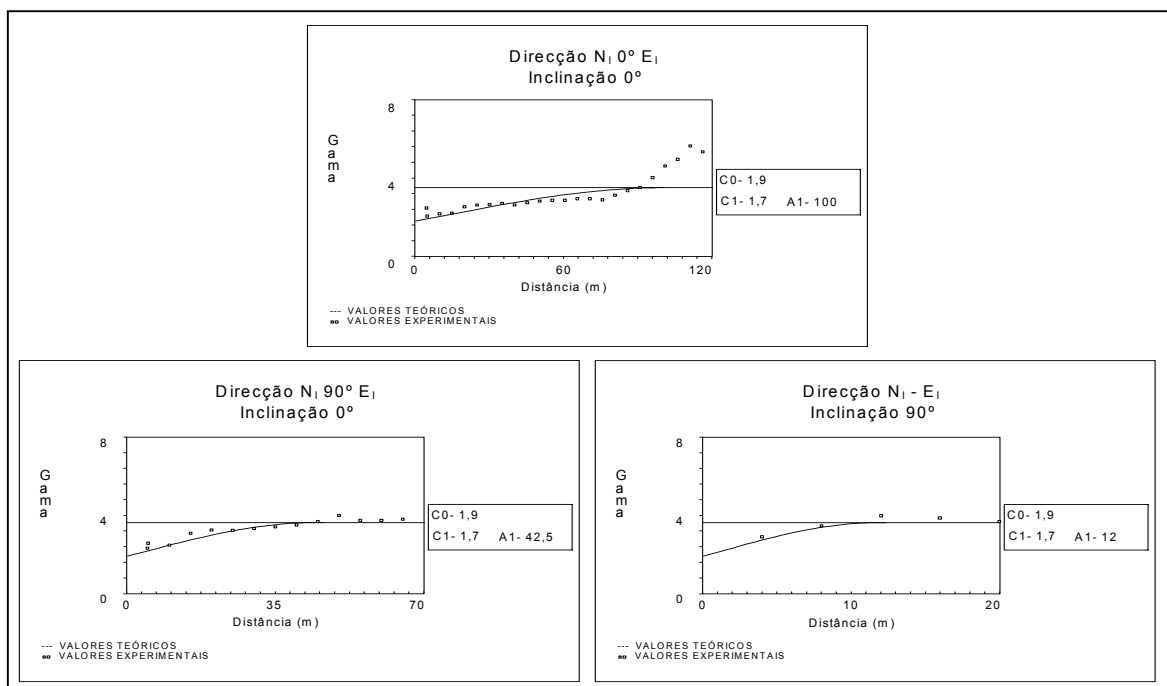


Fig. 6.15 – Variogramas dos teores de Au, após a transformação inversa dos resultados de um processo de SSG, realizado nos 20 487 nós da malha coincidente com os centros dos blocos de desmonte, com os dados da transformação directa realizada pelo “geoTRDATA”.

6. Simulação dos Teores de Au

6.3. Simulação sequencial gaussiana dos teores de ouro

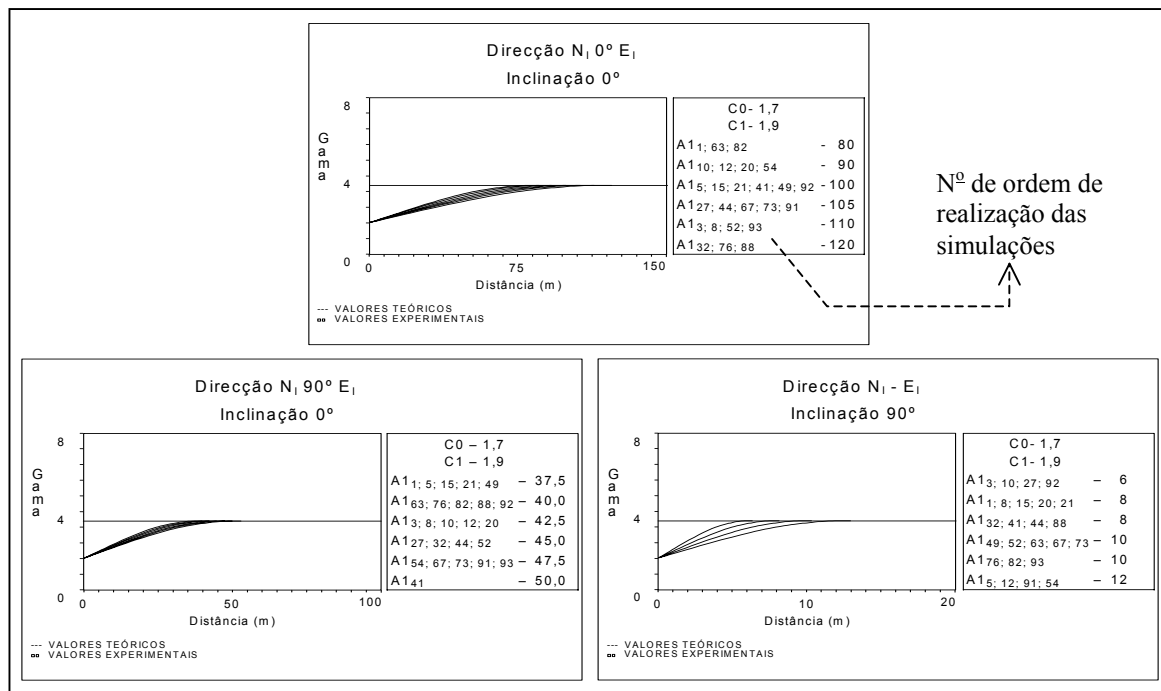


Fig. 6.16 – Variogramas dos teores de Au, após a transformação inversa dos resultados de 25 processos de SSG, realizados nos 20 487 nós da malha coincidente com os centros dos blocos de desmonte, com os dados da transformação directa realizada pelo “sgsim”.

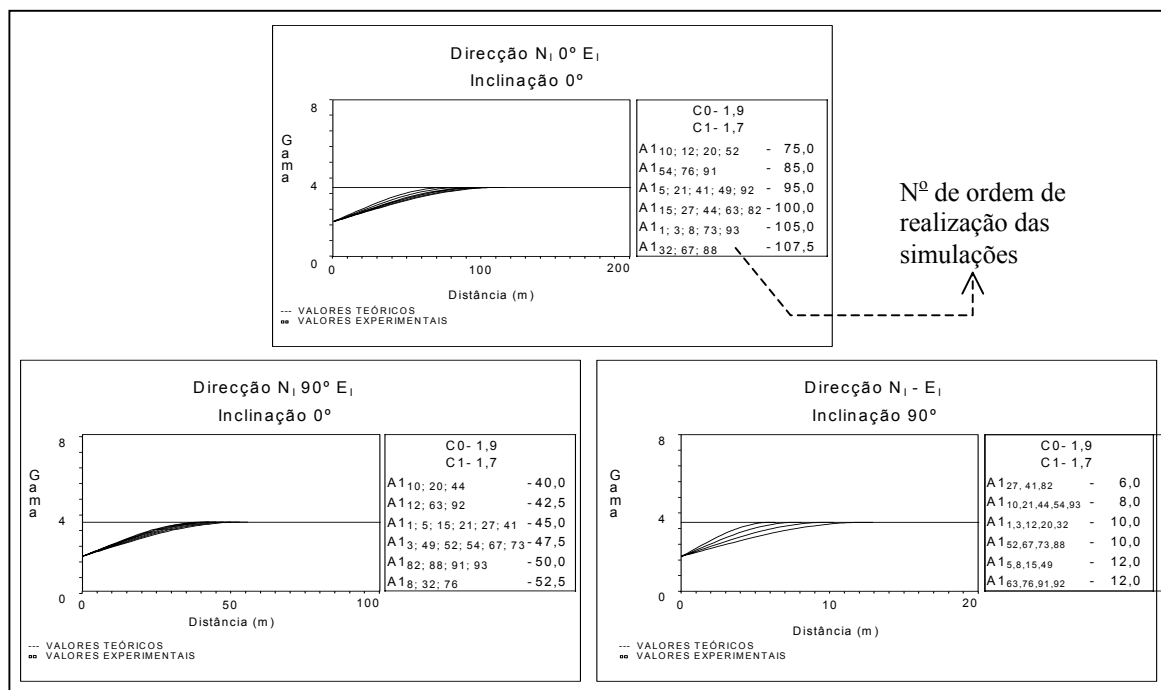
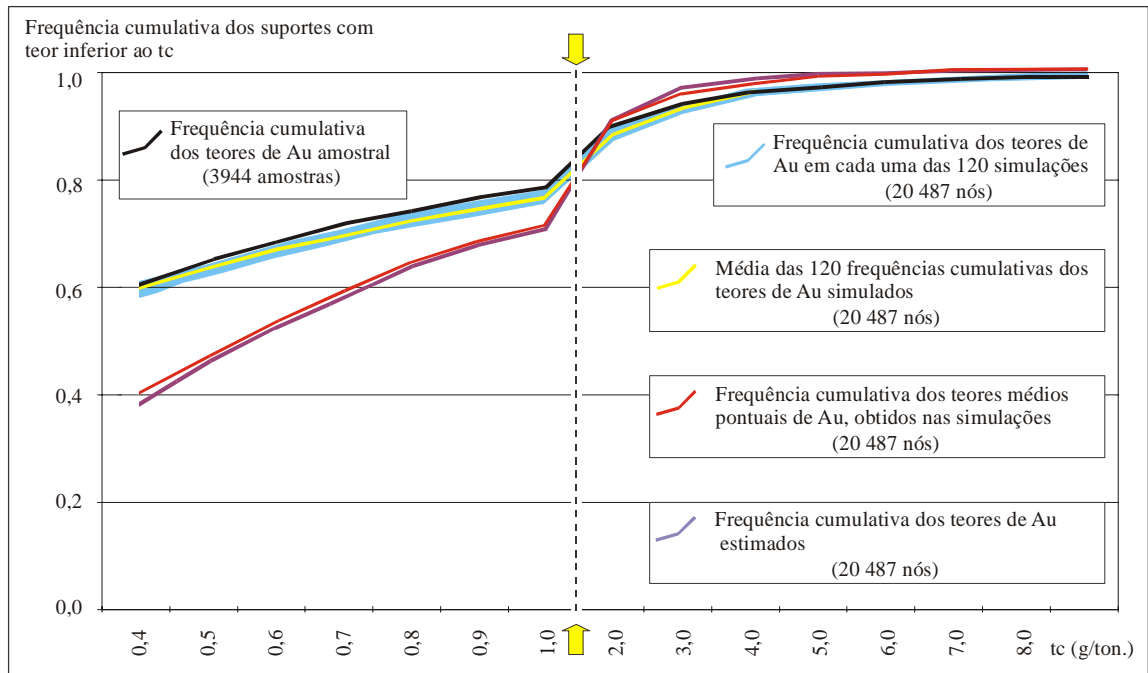
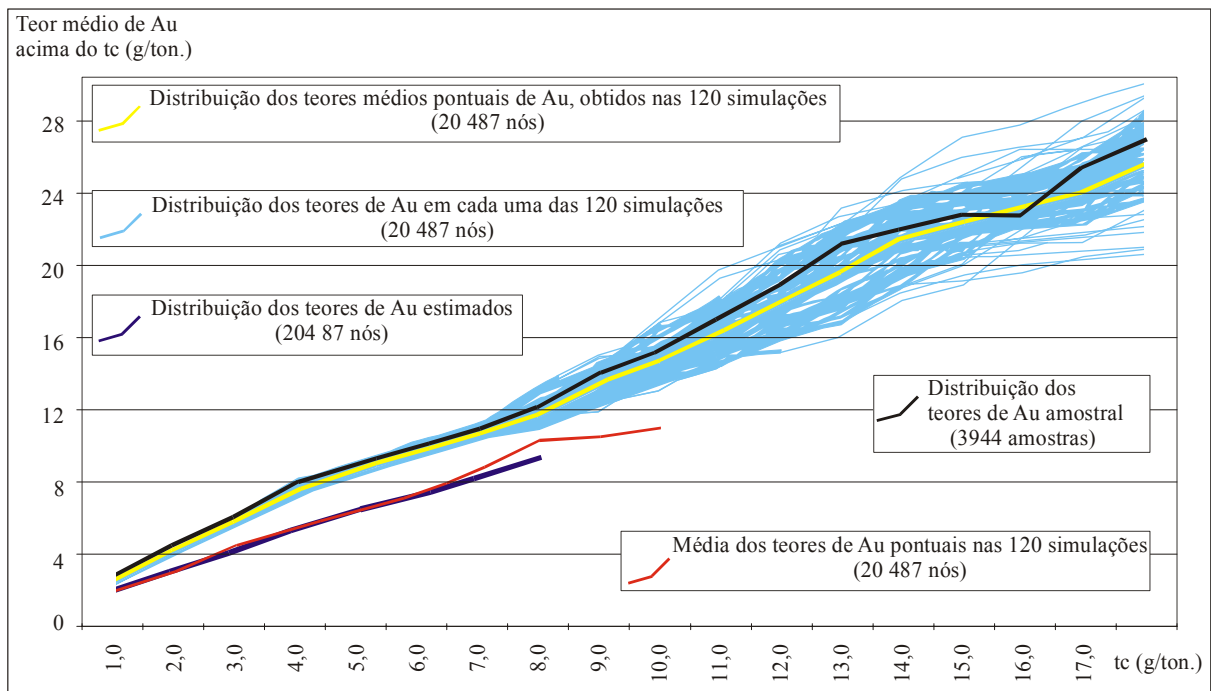


Fig. 6.17 – Variogramas dos teores de Au, após a transformação inversa dos resultados de 25 processos de SSG, realizados nos 20 487 nós da malha coincidente com os centros dos blocos de desmonte, com os dados da transformação directa realizada pelo “geoTRDATA”.



**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: estimação Au KDE ( $Au1^*$ ,  $Au3^*$ )<sup>sem classificação multifásica</sup>; 120 processos de SSG e respectiva média; média pontual dos 120 processos de SSG (a seta no gráfico separa duas escalas para o eixo dos teores de Au).



**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: estimação Au KDE ( $Au1^*$ ,  $Au3^*$ )<sup>sem classificação multifásica</sup>; 120 processos de SSG e respectiva média; média pontual dos 120 processos de SSG.

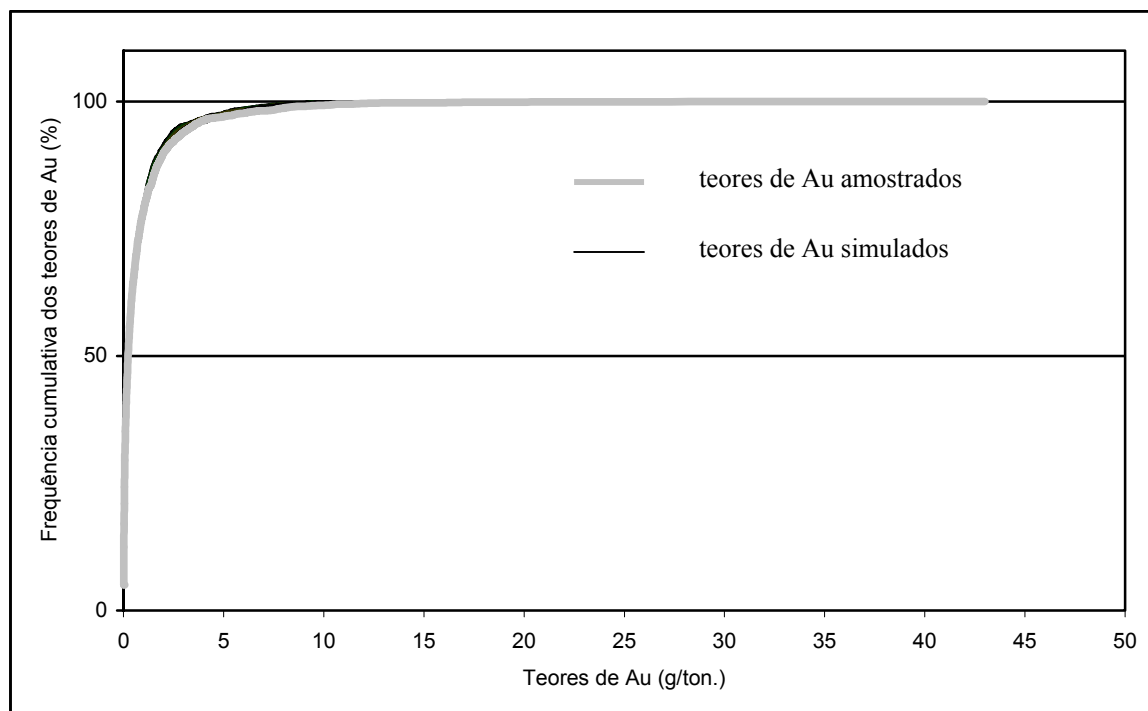


Fig. 6.20 – Funções de distribuição cumulativa dos teores de Au amostrais, e obtidos após a transformação inversa dos resultados dos 120 processos de SSG, realizados nos 20 487 nós da malha coincidente com os centros dos blocos de desmonte.

#### 6.3.4. SSG DOS TEORES DE OURO, COM INTERVENÇÃO DA TOTALIDADE DOS NÓS DA MALHA PARALELEPIPÉDICA ENVOLVENTE DO JAZIGO

Afim de mostrar as consequências na simulação da inclusão dos nós da malha paralelepipedica não pertencentes ao jazigo, efectuou-se também um conjunto de 120 simulações na totalidade dos 172 725 nós da malha paralelepipedica, com utilização do processo de transformação directa realizada pelo “sgsim”, e com as mesmas sementes utilizadas nas SSG do ponto anterior. Segue-se o isolamento dos 20 487 teores de Au, simulados nos nós da malha coincidente com os centros dos blocos de desmonte, antes e após a realização das transformações inversas. Estas operações viabilizaram, de modo semelhante ao referido no ponto anterior, o cálculo de histogramas dos valores de Au simulados antes da transformação inversa; o cálculo de funções de distribuição cumulativas dos teores de Au após a respectiva transformação inversa; o cálculo de estatísticos e variogramas. Isto permitiu comparar e verificar que:

- os 20487 valores de Au isolados apresentam, antes da transformação inversa, histogramas e estatísticos mais afastados de uma distribuição normal, como pode ser comprovado a título exemplificativo no cotejo das Figuras 6.9 e 6.21 e Tabelas 6.2 e 6.3. Este afastamento deve-se ao facto dos 20 487 nós isolados constituírem apenas uma fracção do conjunto de 172 725 nós da malha total, e como tal, não estarem como estes condicionados à função de distribuição (gaussiana) dos dados. Na Figura 6.22 pode observar-se o histograma dos 172 725 nós simulados que permitiram a selecção dos 20 487 representados na Figura 6.21;
- em consequência do não condicionamento referido no ponto anterior, a transformação inversa de teores Au obteve valores fora dos limites amostrais, como pode ser observado na Figura 6.23 (a translação necessária para evitar esta situação conduziria a uma média negativa);
- encontraram-se ainda alterações da continuidade espacial (para pior), como pode ser atestado pelo confronto dos variogramas representados nas Figuras 3.50, 6.16 e 6.24, que coloca em evidência a obtenção de efeitos de pepita proporcionalmente superiores e amplitudes mais afastadas das encontradas para a amostragem, por parte deste processo de simulação.

Em função do referido, optou-se por não se levar em consideração os teores obtidos por estas simulações na totalidade da malha paralelepédica.

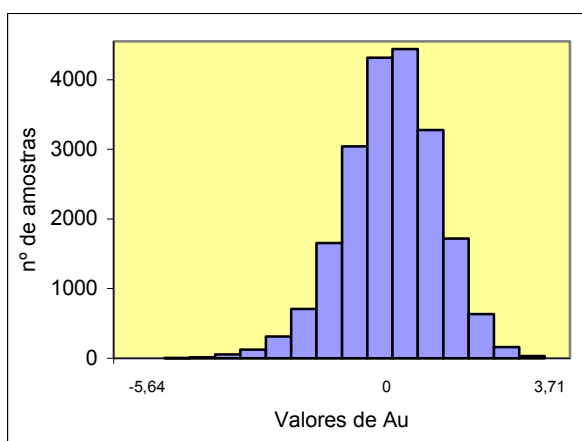


Fig. 6.21 – Histograma dos 20 487 valores de Au, seleccionados antes da transformação inversa, dos resultados de um processo de SSG realizado nos 172 725 nós que constituem a totalidade da malha paralelepédica que envolve o jazigo.

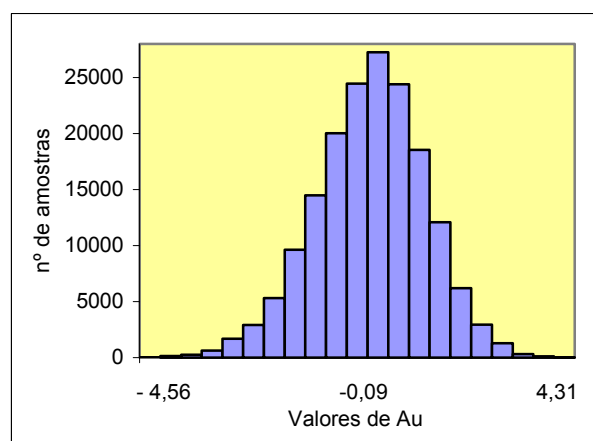


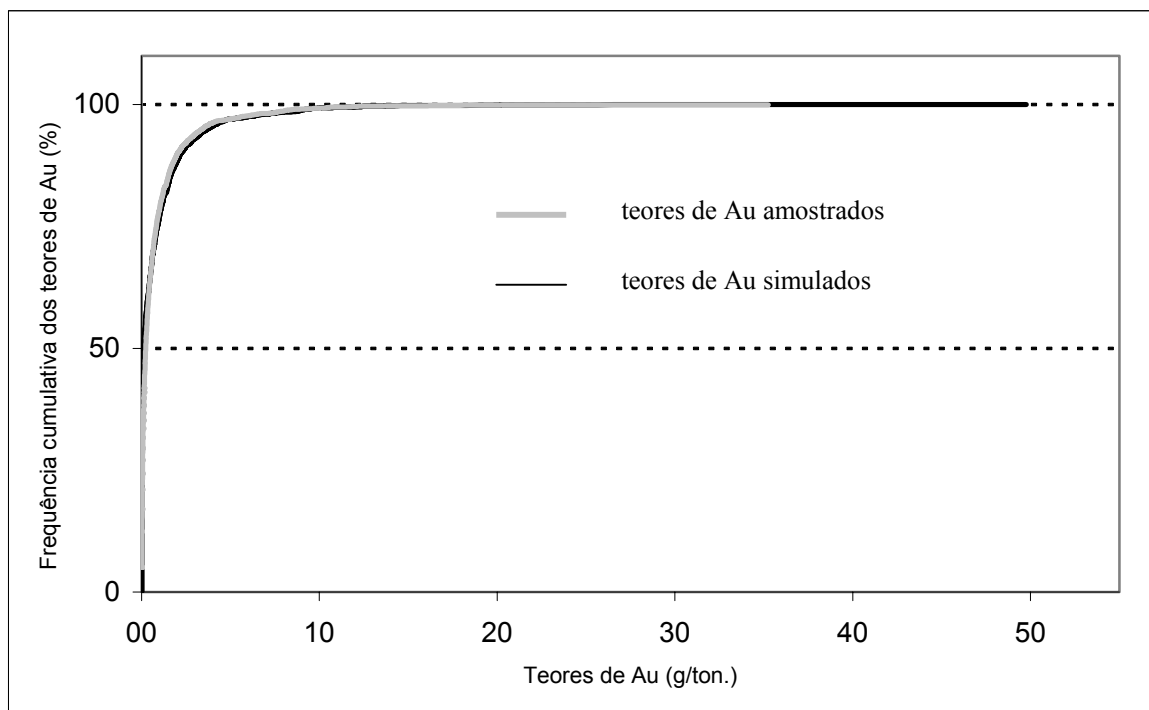
Fig. 6.22 – Histograma dos 172 725 valores de Au, antes da transformação inversa dos resultados de um processo de SSG.

6. Simulação dos Teores de Au

6.3. Simulação sequencial gaussiana dos teores de ouro

**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**

Teores de Au nos 20 487 nós do jazigo, isolados da malha de 172 726 nós, em que foram efectuadas SSG	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	1º quartil	3º quartil	Variância	Coef. de Skewness
Antes da transformação inversa	-5,64	3,71	0,10	0,14	-0,53	0,78	1,03	-0,32
Após a transformação inversa	0,00	49,76	0,83	0,11	0,01	0,89	3,60	5,80



**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.**

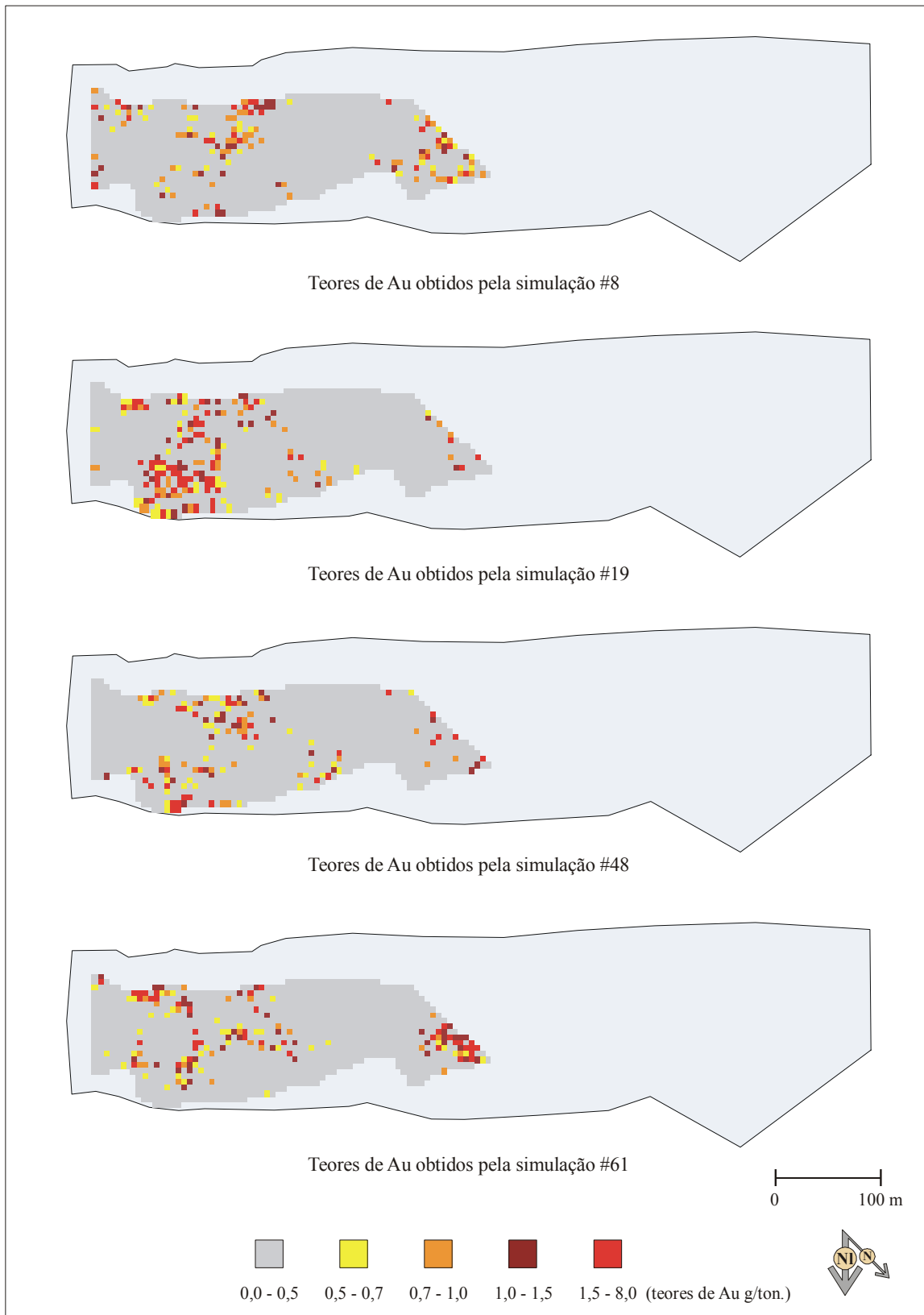


Fig. 6.30 – Mapas dos intervalos de teores de Au obtidos nos blocos do piso à cota 108 m, pelos processos de SSG escolhidos aleatoriamente (#8, #19, #48 e #61).

## 6. Simulação dos Teores de Au

### 6.3. Simulação sequencial gaussiana dos teores de ouro

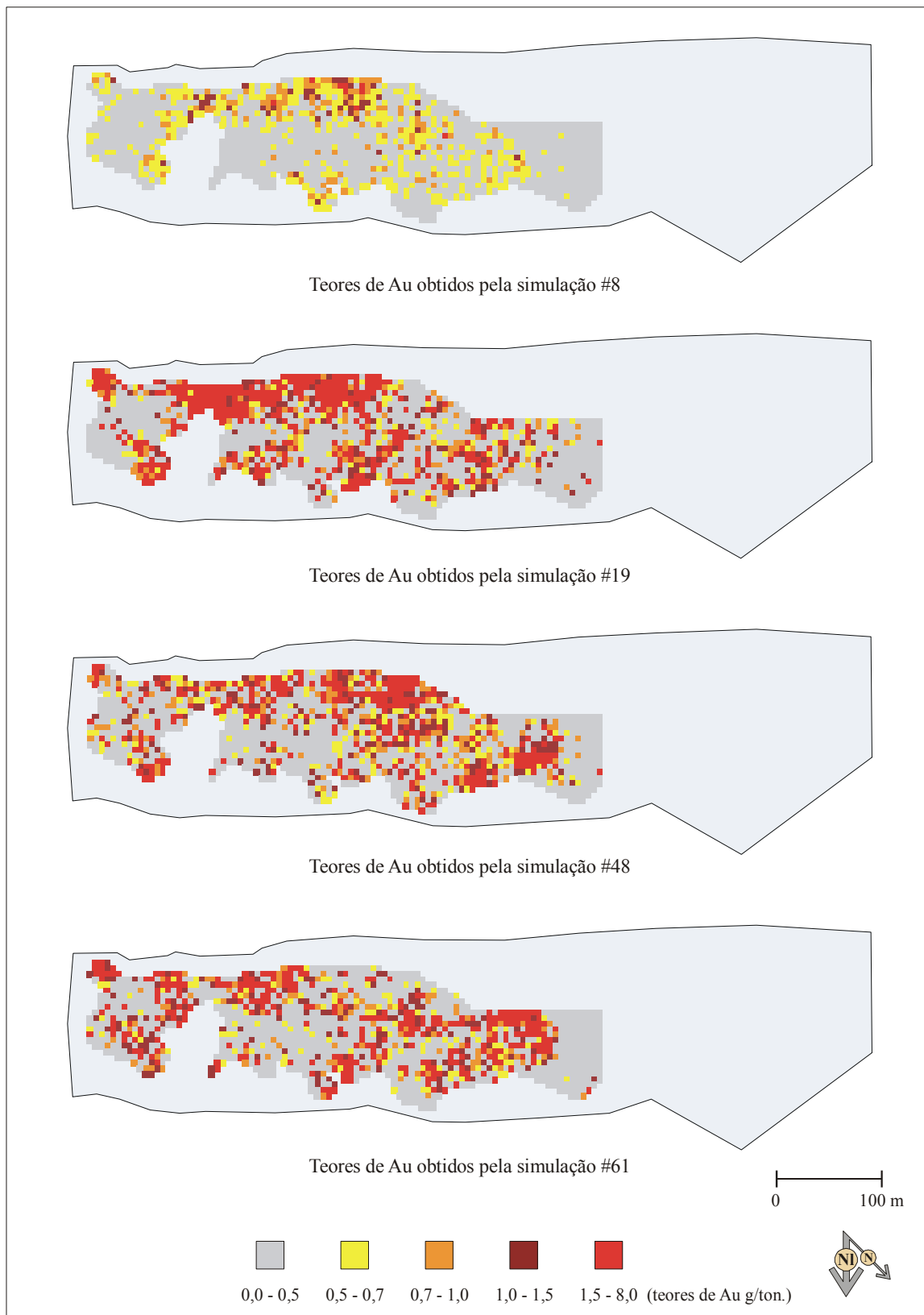


Fig. 6.31 – Mapas dos intervalos de teores de Au obtidos nos blocos do piso à cota 132 m, pelos processos de SSG escolhidos aleatoriamente (#8, #19, #48 e #61).

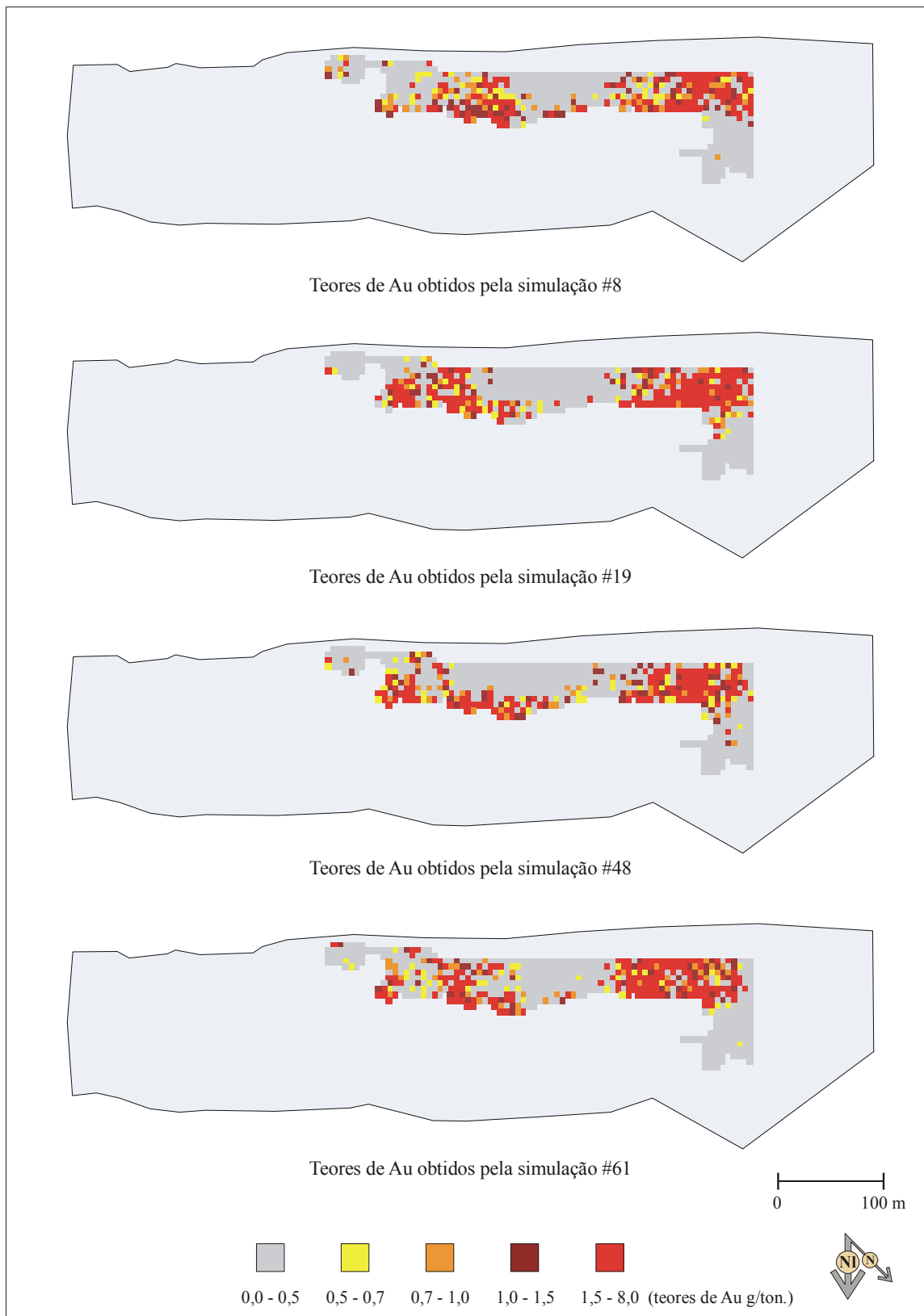


Fig. 6.32 – Mapas dos intervalos de teores de Au obtidos nos blocos do piso à cota 164 m, pelos processos de SSG escolhidos aleatoriamente (#8, #19, #48 e #61).

6. Simulação dos Teores de Au

6.3. Simulação sequencial gaussiana dos teores de ouro

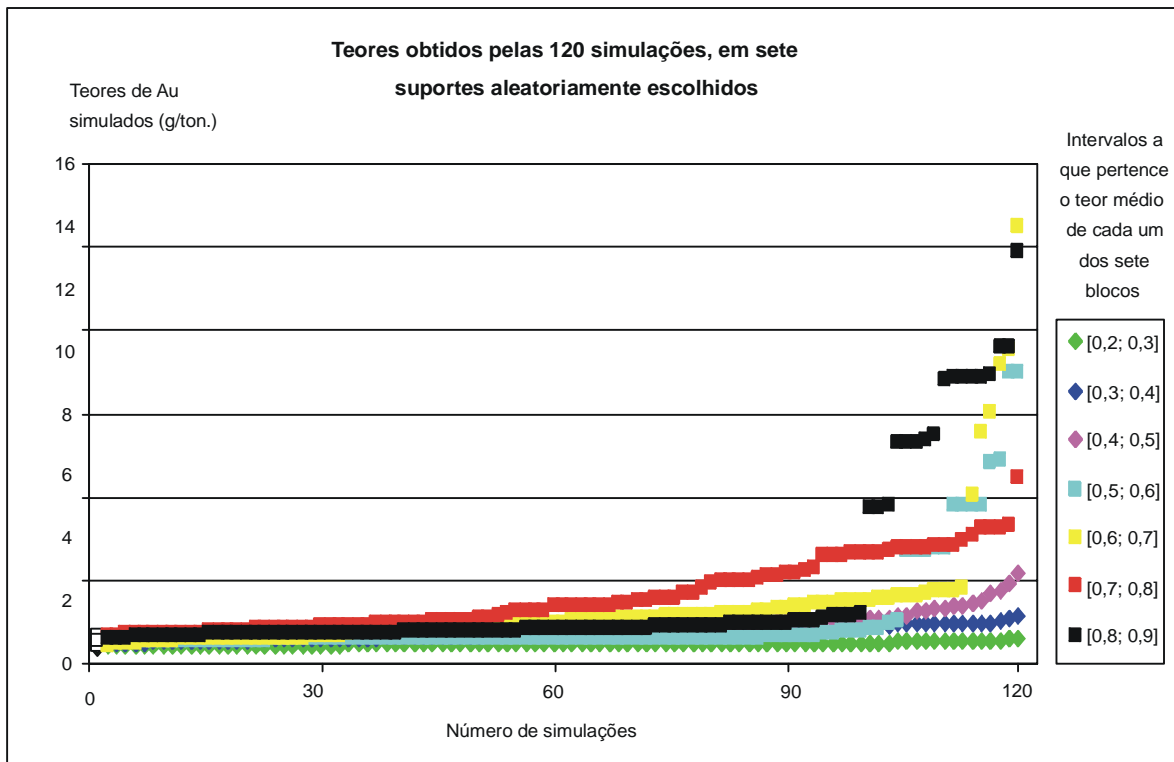


Fig. 6.33 – Representação do conjunto de 120 teores simulados em 7 suportes com teores médios pertencentes aos [0,2; 0,3], [0,3; 0,4], [0,4; 0,5], [0,5; 0,6], [0,6; 0,7], [0,7; 0,8] e [0,8; 0,9], aleatoriamente escolhidos.

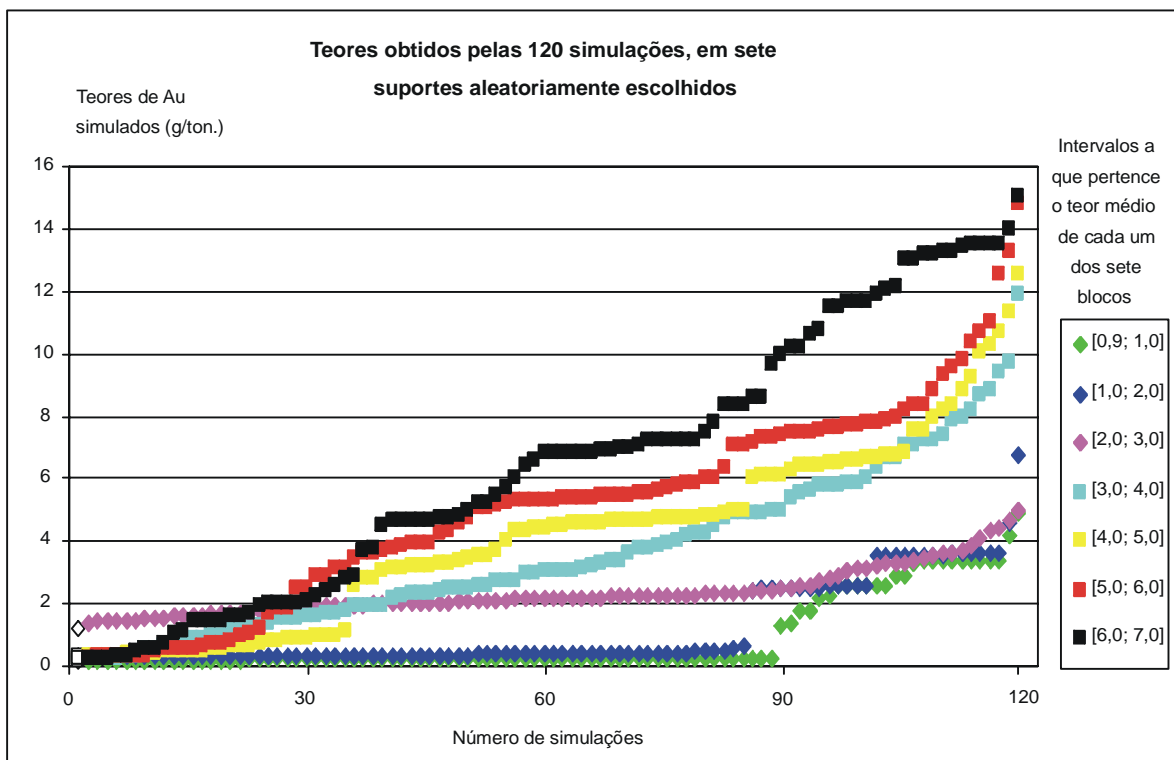


Fig. 6.34 – Representação do conjunto de 120 teores simulados em 7 suportes com teores médios pertencentes aos [0,9; 1,0], [1,0; 2,0], [2,0; 3,0], [3,0; 4,0], [4,0; 5,0], [5,0; 6,0] e [6,0; 7,0], aleatoriamente escolhidos.

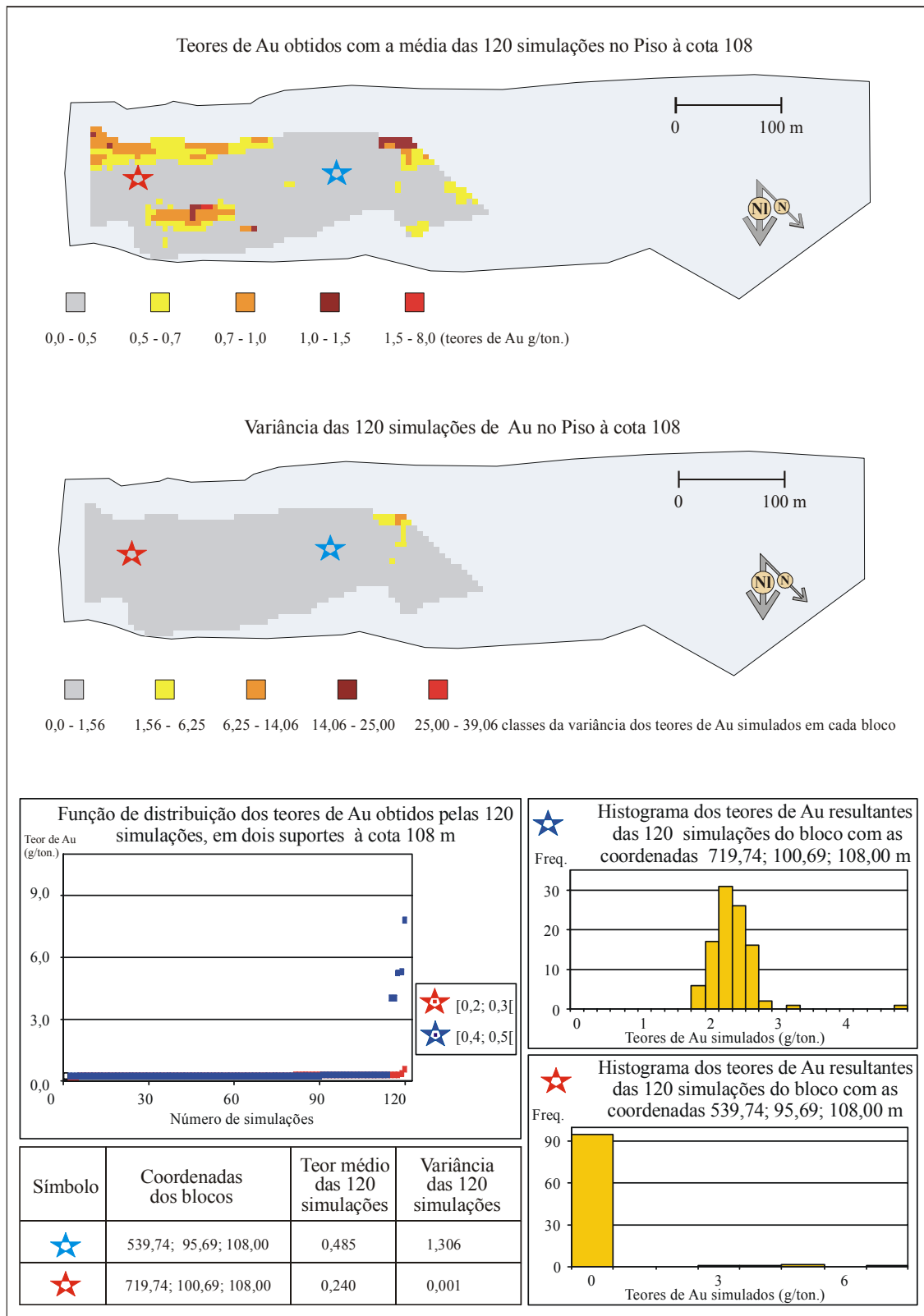


Fig. 6.35 – Mapas das classes do teor médio e variância dos 120 teores de Au simulados em cada bloco no piso à cota 108 m, e funções de distribuição e histogramas dos 120 teores de Au simulados em dois desses blocos (identificados pelas estrelas).

6. Simulação dos Teores de Au

6.3. Simulação sequencial gaussiana dos teores de ouro

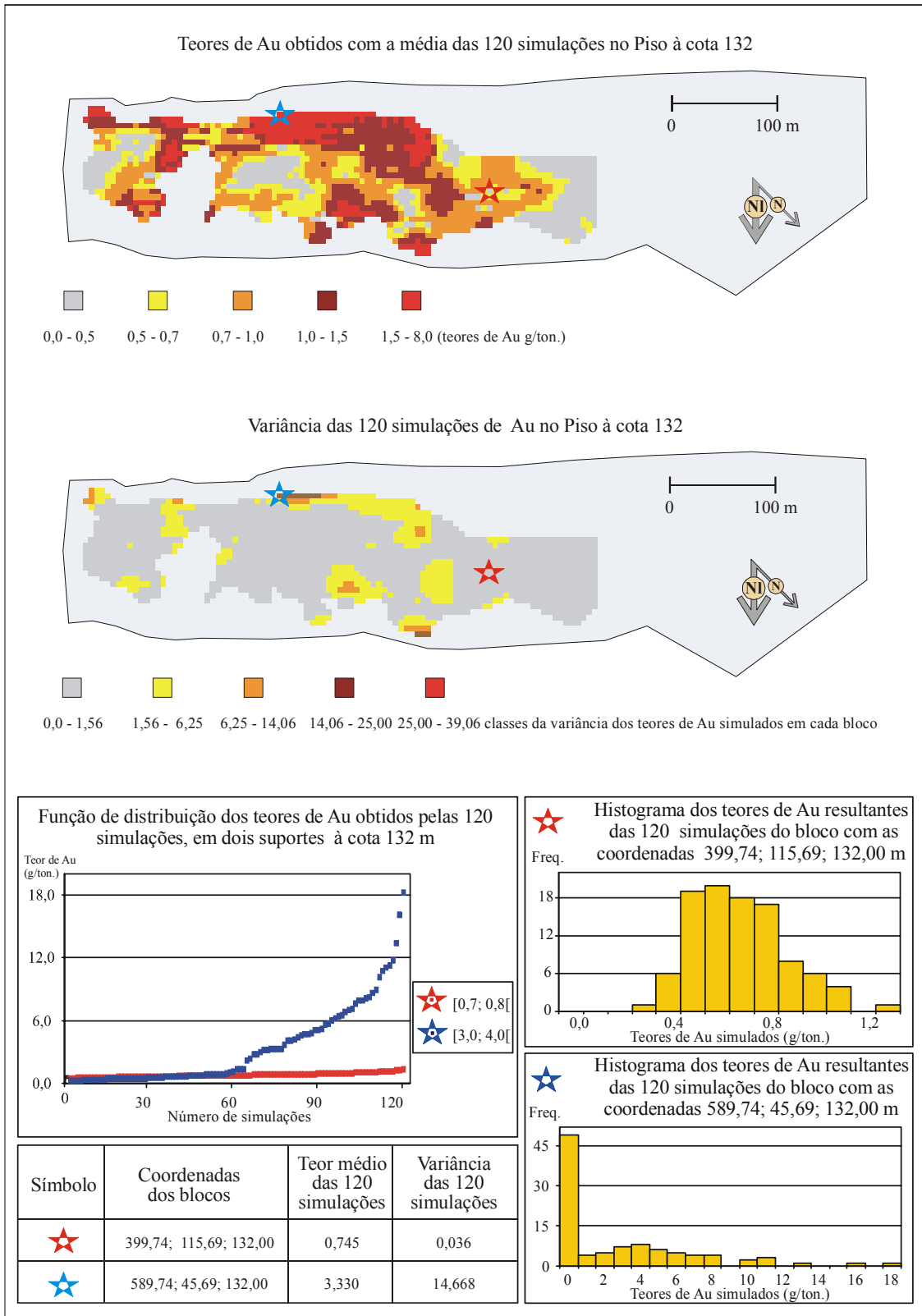


Fig. 6.36 – Mapas das classes do teor médio e variância dos 120 teores de Au simulados em cada bloco no piso à cota 132 m, e funções de distribuição e histogramas dos 120 teores de Au simulados em dois desses blocos (identificados pelas estrelas).

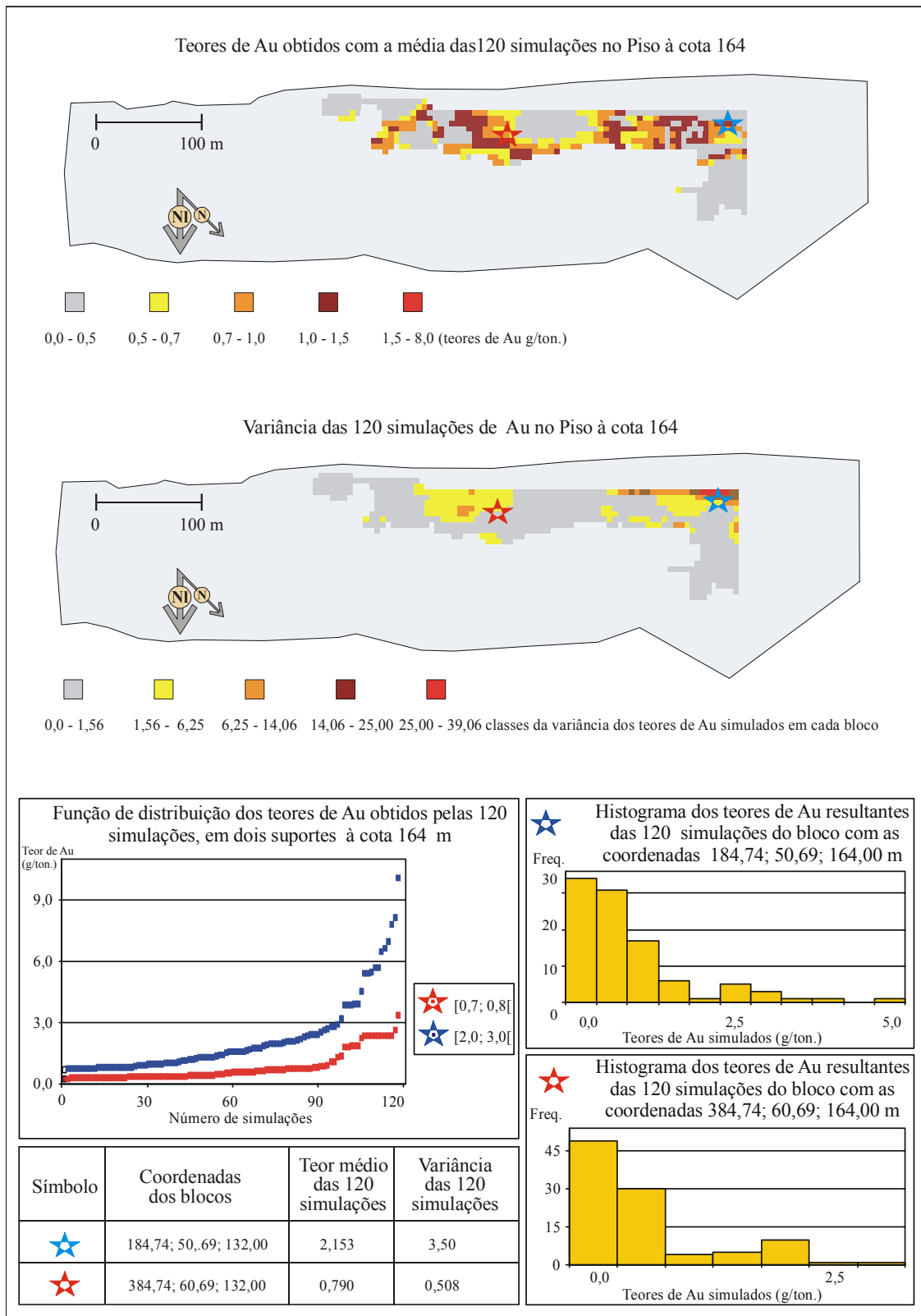
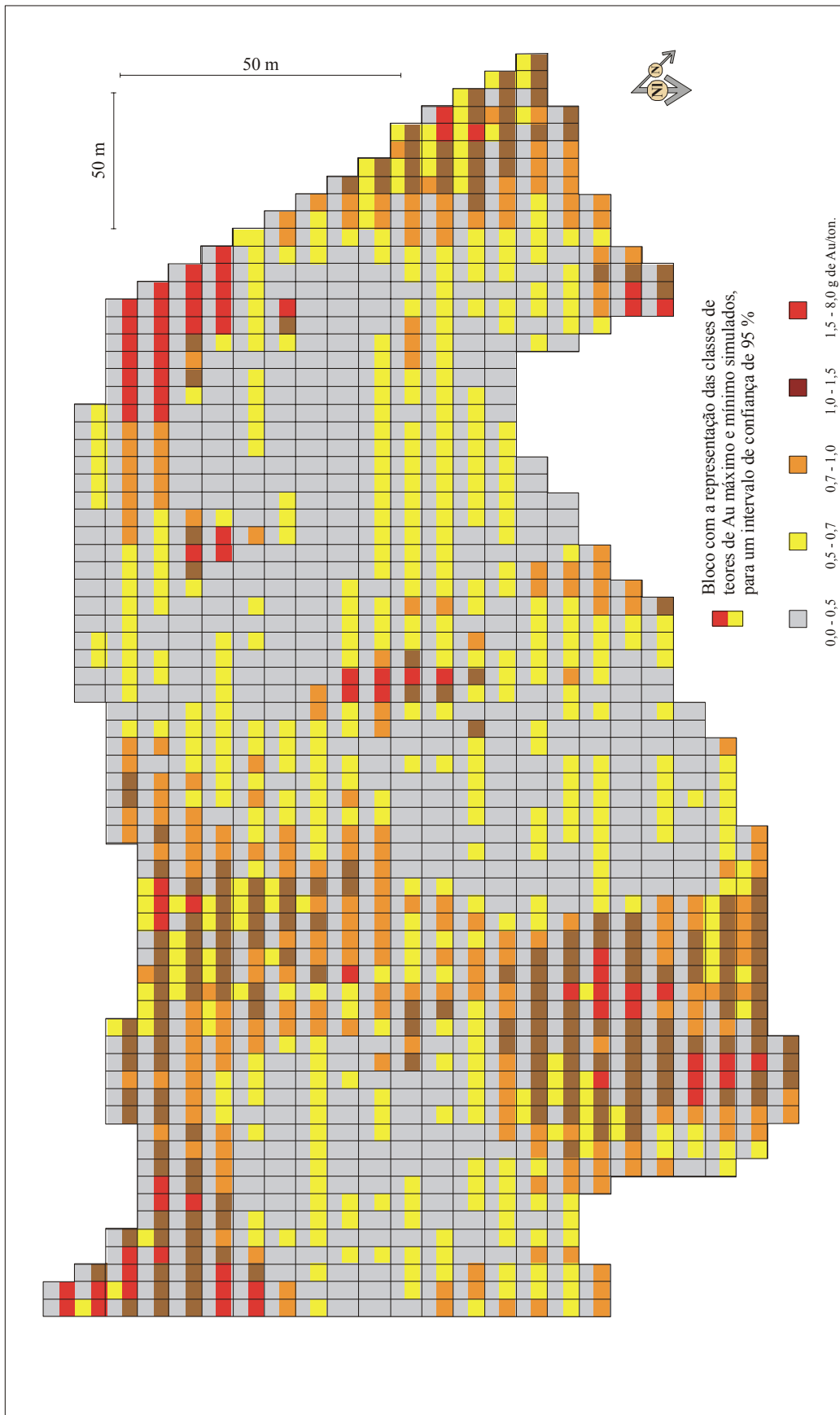


Fig. 6.37 – Mapas das classes do teor médio e variância dos 120 teores de Au simulados em cada bloco no piso à cota 164 m, e funções de distribuição e histogramas dos 120 teores de Au simulados em dois desses blocos (identificados pelas estrelas).

## 6. Simulação dos Teores de Au

### 6.3. Simulação sequencial gaussiana dos teores de ouro



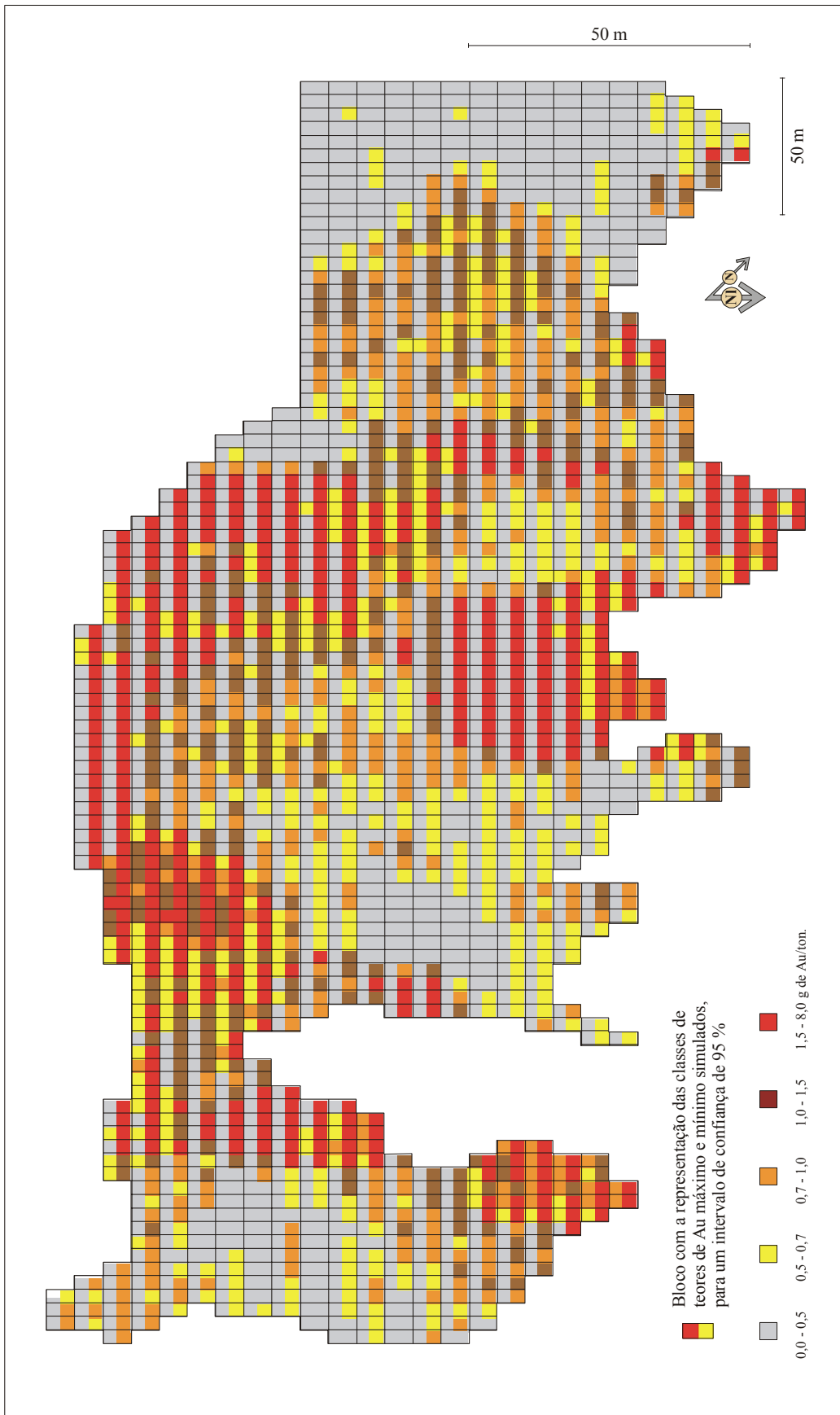


Fig. 6.39 – Representação das classes a que pertencem os limites inferior e superior do intervalo que contém 95 % dos valores de Au simulados em cada suporte de desmonte do piso à cota 132 m.

## 6. Simulação dos Teores de Au

### 6.3. Simulação sequencial gaussiana dos teores de ouro

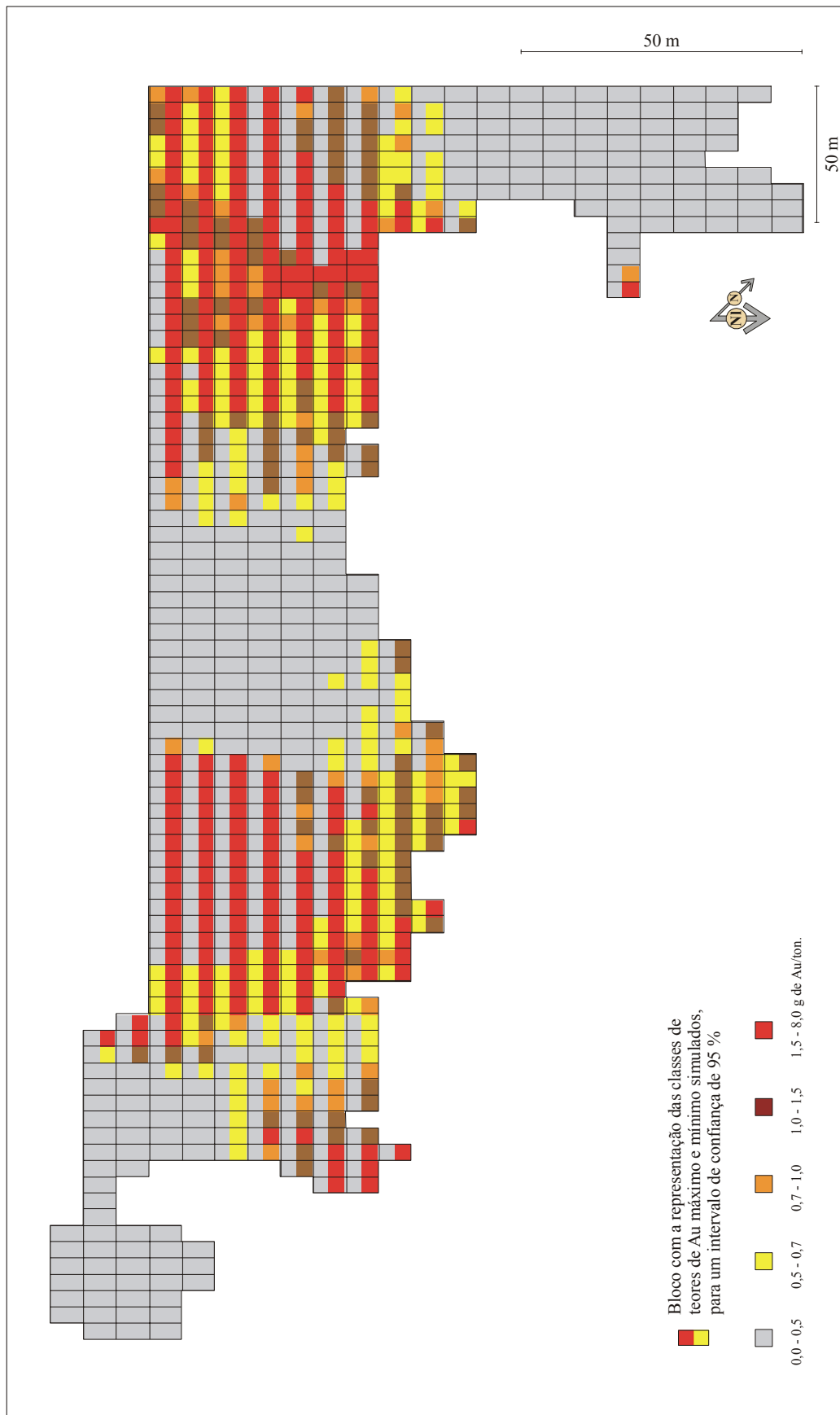


Fig. 6.40 – Representação das classes a que pertencem os limites inferior e superior do intervalo que contém 95 % dos valores de Au simulados em cada suporte de desmonte do piso à cota 164 m.

## 6.4. PARAMETRIZAÇÃO DE RESERVAS

A parametrização aqui efectuada tem por objectivo mostrar a influência dos processos utilizados na caracterização dos teores de Au: estimação por KO; estimação por KDE com as classes (Au1\*, Au3\*)<sup>sem classificação multifásica</sup>; simulação com utilização de duas variáveis de deriva externa, nas funções de recuperação, calculadas para suportes iguais ( $5 \times 5 \times 4 \text{ m}^3$ ), no jazigo de Castromil.

A partir dos 120 cenários simulados podem construir-se 120 curvas  $Qm/tc$  e a respectiva curva média, representadas na Fig. 6.29. A largura do canal formado pelas várias simulações, que neste caso é relativamente largo, ilustra a incerteza associada à quantidade de metal, cujo andamento mais provável é dado pela curva média. Assim, na Fig. 6.41, apresentam-se em percentagem, relativamente à  $Qm$  máxima, obtida pela estimação por KO, as funções de recuperação  $Qm$ :

- da média das 120 simulações dos teores de Au;
- os limites inferior e superior do canal formado pelas 120 simulações dos teores de Au.
- da estimação dos teores de Au por KO;
- da estimação dos teores de Au por KDE com as classes (Au1\*, Au3\*)<sup>sem classificação multifásica</sup>,

Da análise destas curvas verifica-se que os resultados das estimacões apresentam comportamentos típicos, ou seja os respectivos valores tendem para uma concentração em torno da média, mais precisamente no intervalo [0,5; 2,0], onde as respectivas curvas possuem maior declive. Ainda assim, a comparação entre os dois processos de estimação permite observar que é a KO que possui a maior  $Qm$  neste intervalo, e que este processo é também o que mais penaliza a  $Qm$  dos teores mais elevados.

A observação conjugada destas curvas com as da  $T$  e  $tm$ , representadas nas Figuras 6.42 e 6.43, permite verificar a existência de uma maior independência dos teores simulados face ao teor médio da amostragem, e uma melhor reprodução dos valores extremos, dado que:

- no [0,0; 0,5] que representa a fracção mais baixa (e conseqüentemente sofrer dos teores médios da amostragem, uma significativa influência negativa na  $T$  e  $Qm$ , e positiva nos  $tm$ ), é a simulação que obtém a maior  $T$  (ou seja o maior número de teores de Au), o

- que associado a  $tm$  sensivelmente iguais ou até superiores, conduz à obtenção de uma maior  $Qm$ ;
- no  $]0,5; 1,0]$  que representa a fracção dos teores estimados ou simulados, que contém a média dos teores da amostragem, se verifica, que as curvas  $T$ ,  $Qm$  e  $tm$  das simulações e das estimações possuem comportamentos muito semelhantes;
  - no  $]1,0; 4,0]$  que representa a fracção imediatamente superior à média da amostragem (e consequentemente sofrer dos teores médios da amostragem, uma significativa influência positiva na  $T$  e  $Qm$ , e negativa nos  $tm$ ), se verifica, que a  $T$  e  $Qm$  das simulações estão bastante menos concentradas nesta fracção, para  $tm$  que mantêm comportamentos muito semelhantes até  $tc$  da ordem das 2 g/ton., para a partir daí os  $tm$  das simulações passarem a ser mais elevados;
  - no  $]4,0; 7,0]$  que representa a fracção do extremo superior (e consequentemente sofrer dos teores médios da amostragem, uma significativa influência negativa na  $T$ ,  $Qm$  e  $tm$ ) se verifica, que os teores simulados possuem  $T$ ,  $Qm$  e  $tm$  mais elevados.

Saliente-se ainda que para  $tc$  superiores a 3,0 g/ton., as curvas obtidas pelas estimações apenas conseguem acompanhar o limite inferior do canal obtido pelas simulações.

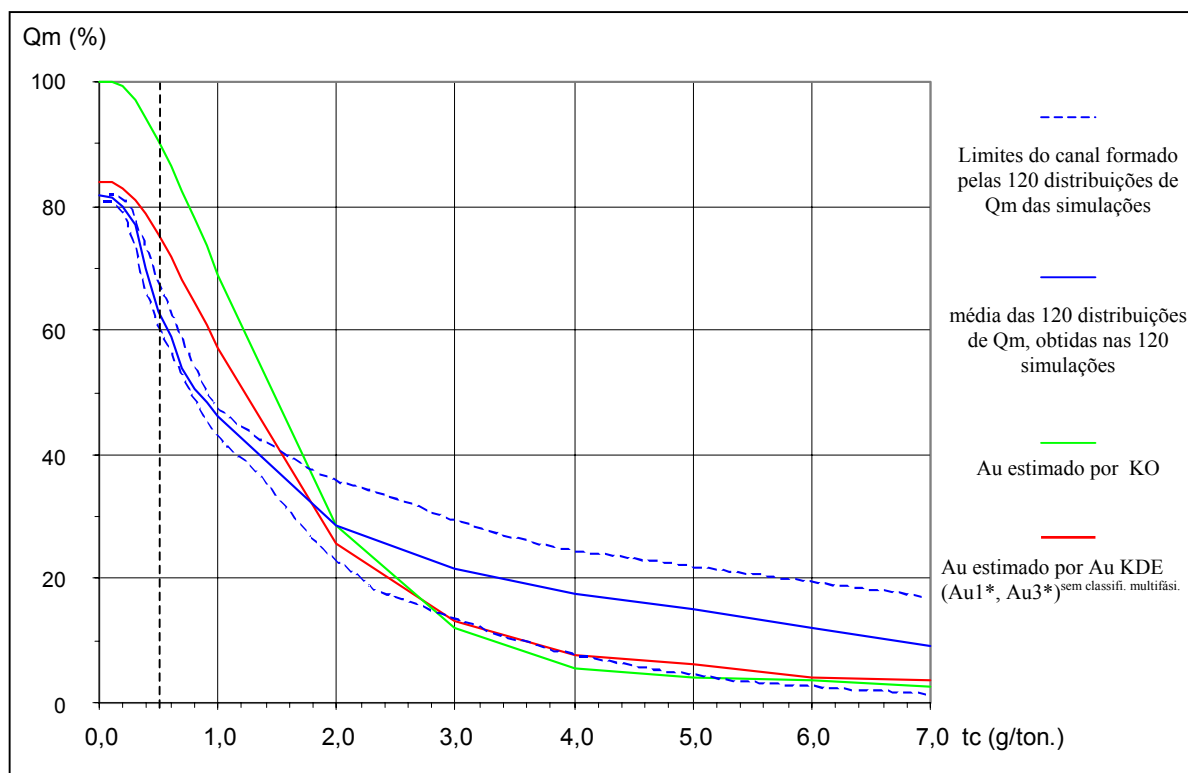


Fig. 6.41 – Funções de recuperação quantidade de metal dos teores de Au estimados e simulados, nos suportes de desmonte.

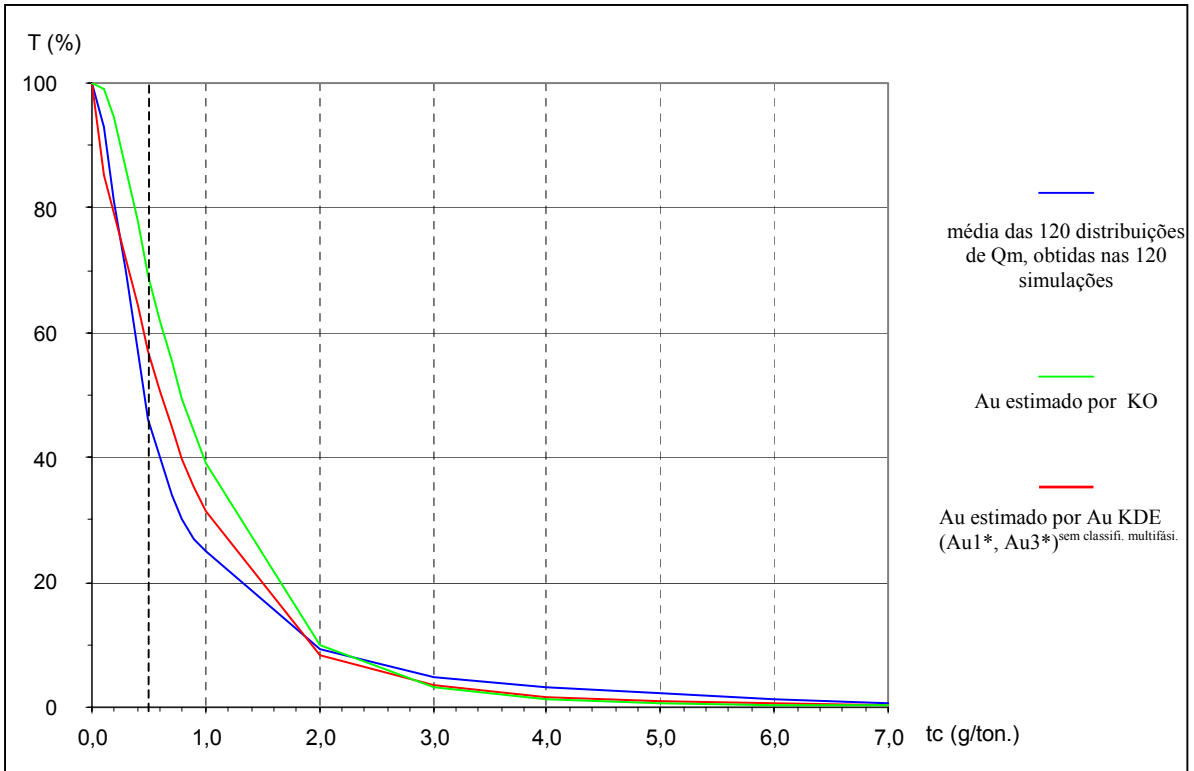


Fig. 6.42 – Funções de recuperação tonelagem dos teores de Au estimados e simulados, nos suportes de desmonte.

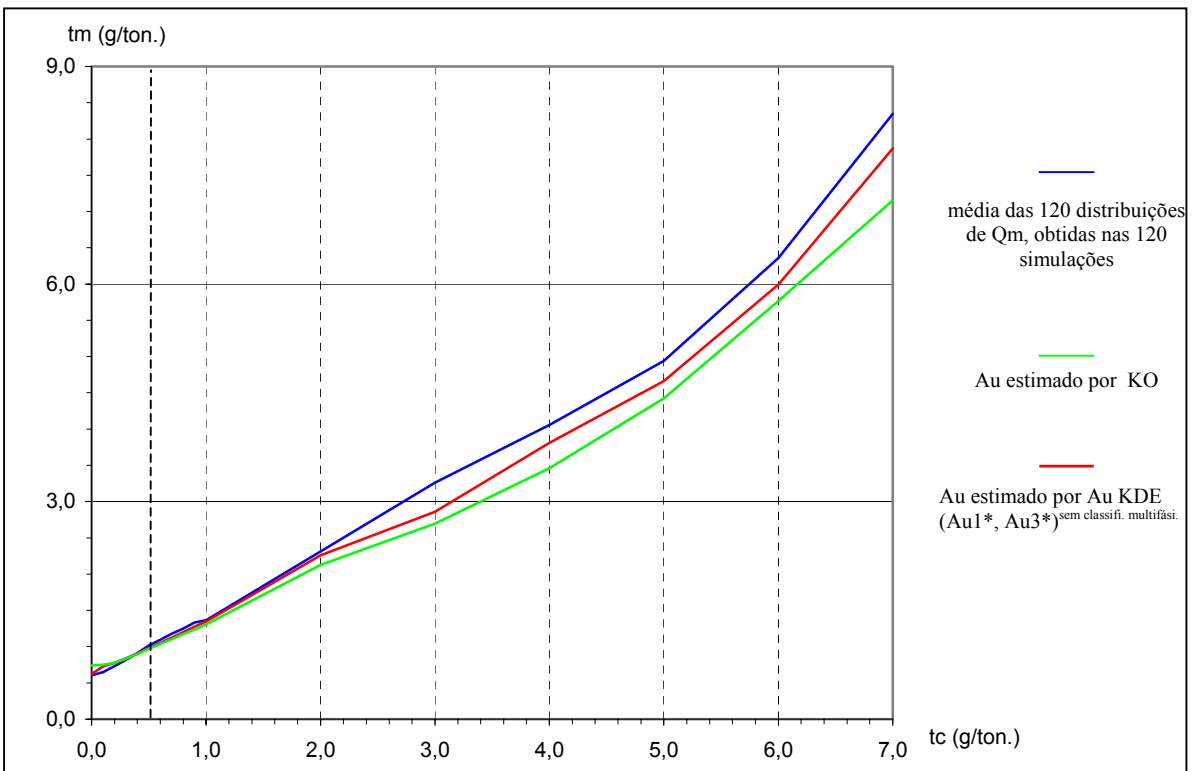


Fig. 6.43 – Funções de recuperação teor médio dos teores de Au estimados e simulados, nos suportes de desmonte.

