

5.

ESTIMAÇÃO MULTIVARIADA DOS TEORES DE OURO E ANÁLISES DE SENSIBILIDADE

5.1. INTRODUÇÃO

A estimação de uma VR num domínio, é geralmente efectuada por processos da geoestatística univariada, que recorre apenas à informação amostral da própria VR. Embora pouco comum, a utilização de processos da geoestatística multivariada, capazes de levar em consideração a informação secundária fornecida por outras VR presentes nesse domínio, pode, em “alguns” casos, introduzir maior rigor nos resultados. Esta utilização acarreta, no entanto, um incremento de trabalho e complexidade do processo de amostragem e estimação, que obriga a efectuar balanços entre o acréscimo de despesas e trabalho, e a “maior” precisão conseguida. Torna-se assim clara, a necessidade de aferir os méritos dos diferentes processos de estimação passíveis de utilização, para ajudar à escolha do mais

adequado, o que é usualmente feito à custa da hierarquização dos resultados dos TPF de cada processo.

No caso dos teores de Au em estudo, a sua distribuição é caracterizada por uma forte assimetria positiva, como pode ser observado na Figura 3.47, estando, como é habitual na caracterização de recursos naturais, o posicionamento da fracção de valores com importância económica, do lado do seu extremo superior. Isto coloca a fracção de valores superiores ao teor de 0,5 g/ton. (valor teórico do teor de corte, avançado por especialistas da *Connary*, em função, quer dos resultados dos testes metalúrgicos por si efectuados sobre amostras de minério quer das características morfológicas, litológicas, geotécnicas e localizacionais do jazigo) acima do percentil 64,75, relativamente ao número de amostras.

Esta distribuição de teores e o distanciamento da fracção económica da mediana levam de imediato a questão: que método de estimação utilizar? E porquê? Uma vez que as metodologias de estimação são óptimas para estimar as características médias de VR, mas funcionam como filtros atenuadores dos seus valores extremos.

É a intenção de obter esta resposta que motiva a abordagem seguida neste capítulo, que recorre à utilização das possíveis influências carreadas pela informação suplementar, recolhida simultaneamente com a variável principal, para tentar encontrar o processo de caracterização mais preciso.

5.2. PRIMEIRA APRECIÇÃO SOBRE A ESTIMAÇÃO DA VR OURO COM O AUXÍLIO DE VARIÁVEIS AUXILIARES

Como já foi referido, pretende introduzir-se neste trabalho uma metodologia geoestatística de avaliação de recursos naturais, que procura integrar no processo de estimação da variável útil toda a informação auxiliar disponível, nomeadamente outras variáveis ou índices que as sintetizem. No caso da aplicação ao jazigo aurífero de Castromil, entendeu-se realizar testes de estimação dos teores de Au, por processos de CKO e KDE, com utilização do máximo de informação auxiliar presente em cada conjunto amostral, para aquilatar quanto às vantagens advindas da utilização da informação presente em cada um ou nos dois conjuntos amostrais. Para isso, e na linha do já referido aquando da realização das

co-estimações das classes dos teores de Au, é necessário efectuar as seguintes análises variográficas multivariadas, para cada conjunto amostral:

- Sondagens carotadas - a utilização conjunta dos 2138 teores de Au com:

- * as litologias Gr, Gs, Gc e Xt;
- * as associações litológicas GrGs e GcXt;
- * os teores de Ag;
- * as classes Ag1 e Ag2;
- * os 3 índices de síntese $[F1, F2, F3]_{(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)}$;
- * coordenadas do primeiro destes índices $[F1]_{(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)}$, dada a fraca correlação detectada entre os teores de Au e os índices de síntese $[F2, F3]_{(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)}$;
- * as classes Au1* e Au3* estimadas pelo TPF do processo seleccionado no capítulo 4. (Au1*, Au3*)^{sem classificação multifásica};
- * as classes Au1* e Au3* estimadas também no capítulo 4., mas pelo TPF do processo (Au1*, Au3*)^{com classificação multifásica};

permite os seguintes arranjos da VR, e respectivas exigências de cálculo e modelação variográfica, devido à utilização dos teores de Au com:

- i. três classes litológicas, o que exige calcular e modelar quatro variogramas simples e seis cruzados, em cada direcção principal;
- ii. uma associação litológica, o que exige calcular e modelar dois variogramas simples e um cruzado, em cada direcção principal;
- iii. os teores de Ag, o que exige calcular e modelar dois variogramas simples e um cruzado, em cada direcção principal;
- iv. uma classe de Ag, o que exige calcular e modelar dois variogramas simples e um cruzado, em cada direcção principal;
- v. os teores de Ag e uma das associações litológicas, o que exige calcular e modelar três variogramas simples e três cruzados, em cada direcção principal;
- vi. uma classe de Ag e uma das associações litológicas, o que exige calcular e modelar três variogramas simples e três cruzados, em cada direcção principal;

- vii. os índices de síntese $[F1, F2, F3]_{(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)}$, o que exige calcular e modelar quatro variogramas simples e seis cruzados, em cada direcção principal;
- viii. o índice de síntese $[F1]_{(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)}$, o que exige calcular e modelar dois variogramas simples e um cruzado, em cada direcção principal;
- ix. as classes $(Au1^*, Au3^*)^{sem\ classificação\ multifásica}$, o que exige calcular e modelar três variogramas simples e três cruzados, em cada direcção principal;
- x. as classes $(Au1^*, Au3^*)^{com\ classificação\ multifásica}$, o que exige calcular e modelar três variogramas simples e três cruzados, em cada direcção principal.

- Sondagens destrutivas - a utilização conjunta dos 1806 teores de Au com:

- * as litologias Gr, Gs, Gc e Xt;
- * as associações litológicas GrGs e GcXt;
- * as associações de cores AmBeCa e VePrCzCr;
- * os índices de síntese $[F1, F2, F3]_{(GrGs, GcXt, Ambeca, VePrCzCr)}$;
- * as classes $Au1^*$ e $Au3^*$ estimadas pelo TPF do processo seleccionado no capítulo 4. $(Au1^*, Au3^*)^{sem\ classificação\ multifásica}$,
- * as classes $Au1^*$ e $Au3^*$ estimadas também no capítulo 4., pelo TPF do processo $(Au1^*, Au3^*)^{com\ classificação\ multifásica}$.

permite os seguintes arranjos da VR, e respectivas exigências de cálculo e modelação variográfica, devido à utilização dos teores de Au com:

- i. três classes litológicas, o que exige calcular e modelar quatro variogramas simples e seis cruzados, em cada direcção principal;
- ii. uma das associações litológicas, o que exige calcular e modelar dois variogramas simples e um cruzado, em cada direcção principal;
- iii. uma das associações de cores, o que exige calcular e modelar dois variogramas simples e um cruzado, em cada direcção principal;
- iv. uma das associações litológicas e uma das cores, o que exige calcular e modelar três variogramas simples e três cruzados, em cada direcção principal;
- v. os índices de síntese $[F1, F2, F3]_{(GrGs, GcXt, Ambeca, VePrCzCr)}$, o que exige calcular e modelar quatro variogramas simples e seis cruzados, em cada direcção principal;

- vi. as classes (Au1*, Au3*)^{sem classificação multifásica}, o que exige calcular e modelar três variogramas simples e três cruzados, em cada direcção principal;
- vii. as classes (Au1*, Au3*)^{com classificação multifásica}, o que exige calcular e modelar três variogramas simples e três cruzados, em cada direcção principal.

- Sondagens carotadas e destrutivas - a utilização conjunta dos 3944 teores de Au com:

- * as associações litológicas GrGs e GcXt;
- * as classes (Au1*, Au3*)^{sem classificação multifásica},
- * as classes (Au1*, Au3*)^{com classificação multifásica},

permitem os seguintes arranjos da VR, e respectivas exigências de cálculo e modelação variográfica, devido à utilização dos teores de Au com:

- i. uma das associações litológicas, o que exige calcular e modelar dois variogramas simples e um cruzado, em cada direcção principal;
- ii. as classes (Au1*, Au3*)^{sem classificação multifásica}, o que exige calcular e modelar três variogramas simples e três cruzados, em cada direcção principal;
- iii. as classes (Au1*, Au3*)^{com classificação multifásica}, o que exige calcular e modelar três variogramas simples e três cruzados, em cada direcção principal.

Existe no entanto, como já foi referido, a possibilidade de “estender” através de valores estimados, as VR auxiliares presentes apenas em parte da amostragem, o que viabiliza a utilização conjunta da totalidade dos 3944 teores de Au amostrados com:

- i. uma das associações litológicas e os teores (Ag₂₁₃₈ + Ag*₁₈₀₆), o que exige calcular e modelar três variogramas simples e três cruzados, em cada direcção principal;
- ii. uma das associações litológicas e os valores de uma das classes (Ag₁₂₁₃₈ + Ag₁₁₈₀₆) ou (Ag₂₂₁₃₈ + Ag₂₁₈₀₆), o que exige calcular e modelar três variogramas simples e três cruzados, em cada direcção principal;
- iii. uma das associações litológicas e os valores de uma das classes (AmBeCa₁₈₀₆ + AmBeCa₂₁₃₈*) ou (VePrCzCr₁₈₀₆ + VePrCzCr₂₁₃₈*), o que exige calcular e modelar três variogramas simples e três cruzados, em cada direcção principal;

- iv. os índices de síntese ($[F1]_{(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)2138} + [F1]_{(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)^*1806}$), o que exige calcular e modelar dois variogramas simples e um cruzado, em cada direco principal;
- v. os índices de síntese ($[F1, F2, F3]_{(GrGs, GcXt, AmBeCa, VePrCzCr)1806} + [F1, F2, F3]_{(GrGs, GcXt, AmBeCa, VePrCzCr)^*2138}$), o que exige calcular e modelar quatro variogramas simples e seis cruzados, em cada direco principal.

Isto facilmente eleva o número de variogramas simples e cruzados a realizar, para a ordem das centenas. Na Tabela 5.1 encontram-se sintetizadas as respectivas quantidades.

Tab. 5.1 – Número de variogramas simples e cruzados realizados

	Sondagens carotadas		Sondagens destrutivas		Sondagens carotadas + destrutivas	
	n de variogramas simples	n de variogramas cruzados	n de variogramas simples	n de variogramas cruzados	n de variogramas simples	n de variogramas cruzados
i.	12	18	12	18	6 + 9	3 + 9
ii.	6	3	6	3	9 + 9	9 + 9
iii.	6	3	6	3	9 + 9	9 + 9
iv.	6	3	9	9	-- + 6	-- + 3
v.	9	9	12	18	-- + 12	-- + 18
vi.	9	9	9	9	-- + --	-- + --
vii.	12	18	9	9	-- + --	-- + --
viii.	6	3	--	--	-- + --	-- + --
ix.	9	9	--	--	-- + --	-- + --
x.	9	9	--	--	-- + --	-- + --
Σ =	84	84	63	69	24 + 45	21 + 48

Atendendo ao elevado número de variogramas simples (216) e cruzados (222) necessários, opta-se por se apresentar somente como exemplos, na Figura 5.1, os variogramas cruzados dos teores de Au com as variáveis de síntese ($[F1, F2, F3]_{(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)2138} + [F1, F2, F3]_{(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)^*1806}$) presentes na totalidade da amostragem.

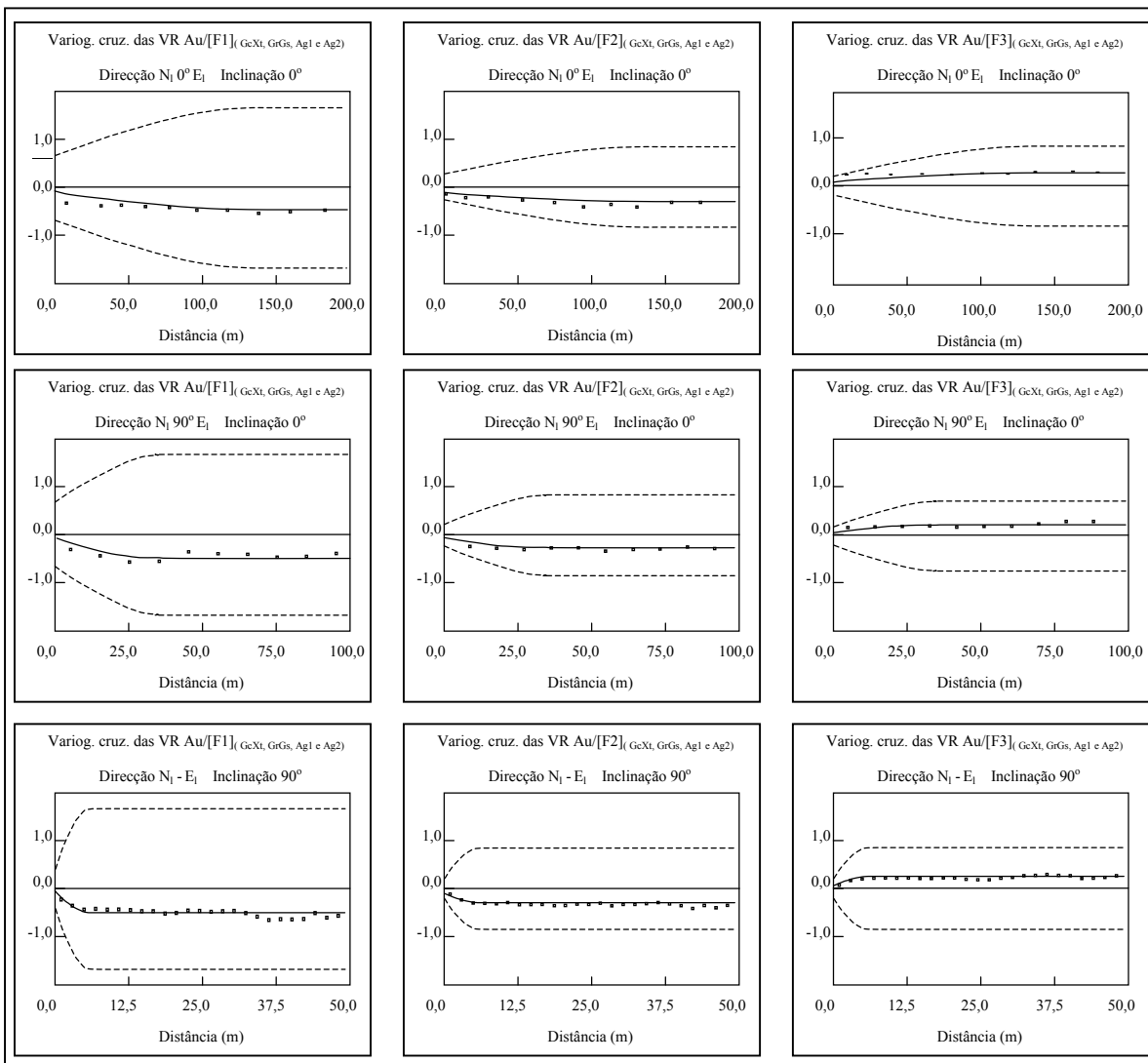


Fig. 5.1 – Variogramas cruzados dos teores de Au com os índices de síntese [F1, F2, F3]_(GeXt, GrGs, Ag1 e Ag2) presentes nos 3944 troços da totalidade da amostragem, para as direcções horizontais N₁ 0° E₁, N₁ 90° E₁ e vertical.

5.3. ANÁLISE DAS ESTIMAÇÕES DOS TEORES DE OURO

Como já foi referido o número de variogramas e estimacões possíveis é enorme. Nas Tabelas 5.2 a 5.4, encontram-se representadas as medidas DQM , ERM e $ERM/Au_{médio}$, relativamente aos TPF dos diferentes tipos de estimacão, podendo constatar-se que:

- i) os valores obtidos para os testes DQM e ERM são muito afastados dos valores óptimos, devido, como já foi referido aquando da estimacão do teores de Au por KO, à proximidade e enorme desproporção entre os valores das fracções com os teores mais baixos e mais altos;
- ii) embora não existam diferenças significativas que permitam formar conclusões peremptórias em qualquer dos conjuntos amostrais, pode observar-se, na Tabela 5.2, que para o conjunto de amostragem total, os melhores testes foram encontrados para o processo de estimacão dos teores de Au por KDE com as próprias classes, estimadas pelo processo seleccionado (Au1*, Au3*)^{sem classificacão multifásica}, que consegue melhores valores que a utilizacão do índice de síntese $([F1]_{(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)2138} + [F1]_{(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)^*1806})$;
- iii) a utilizacão de informacão auxiliar no conjunto da amostragem carotada, contribui para melhorar os valores de teste da estimacão dos teores de Au, com se pode observar na Tabela 5.3, onde estão expressos os testes realizados apenas com a utilizacão da informacão auxiliar nele presente, para estimar os respectivos TPF (2138 amostras para estimar 2138 pontos). Verificando-se, que o melhor desempenho é obtido pela KDE dos teores de Au com as respectivas classes estimadas pelo processo seleccionado (Au1*, Au3*)^{sem classificacão multifásica}, que possui uma ligeira vantagem, sobre a estimacão dos teores de Au por KDE com os índices de síntese $[F1, F2, F3]_{(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)}$;
- iv) no conjunto de amostragem destrutiva, a situacão é análoga, uma vez que, também neste caso, quando é utilizada apenas a informacão da amostragem destrutiva para calcular os respectivos TPF (1806 amostras para estimar 1806 pontos), se observa, nas linhas da Tabela 5.4, que os melhores valores de teste são obtidos com a utilizacão do processo de estimacão dos teores de Au por KDE

com as próprias classes estimadas pelo processo seleccionado ($Au1^*$, $Au3^*$)^{sem classificação multifásica}.

- v) os testes efectuados à utilização de informação presente em diferentes malhas de partida, permitiram verificar que as melhores estimações dos teores Au são obtidas quando se utiliza o máximo de informação. Isto pode constatar-se na observação das Tabelas 5.3 e 5.4, onde existem melhores valores de teste, quando é utilizada a informação presente na amostragem total para estimar apenas os TPF da amostragem carotada e destrutiva (3944 amostras para estimar 2138 e 1806 pontos), o que clarifica e confirma a vantagem conseguida, quer pela utilização conjunta da informação dos dois conjuntos amostrais quer o recurso à informação auxiliar, com destaque para as classes ($Au1^*$, $Au3^*$)^{sem classificação multifásica}.

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

Informação originária do	Estimação efectuada no	TPF das estimações realizadas pelos processos	DQM	ERM	ERM com o $Au_{\text{médio}}$
conjunto de amostragem carotada e destrutiva (3944 amostras)	conjunto de pontos coincidentes com a amostragem carotada e destrutiva (3944 amostras)	Au* por KO	2,911	5,179	0,042
		Au* por KDE GrGs	2,691	4,844	0,039
		Au* por KDE [F1] _(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2) *	2,589	4,543	0,036
		Au* por KDE [F1,F2,F3] _(GrGs, GcXt, AmBeCa, VePrCzCr) *	2,638	4,660	0,037
		Au* por KDE ($Au1^*$, $Au3^*$)^{sem classificação multifásica}	2,503	4,135	0,034
		Au* por KDE ($Au1^*$, $Au3^*$) ^{com classificação multifásica}	2,672	4,344	0,035
		Au* por CKO GrGs	2,851	4,850	0,039
		Au* por CKO [F1] _(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2) *	2,774	4,935	0,039
		Au* por CKO [F1, F2, F3] _(GrGs, GcXt, AmBeCa, VePrCzCr) *	2,814	4,969	0,040
		Au* por CKO ($Au1^*$, $Au3^*$) ^{sem classificação multifásica}	2,723	4,849	0,039
Au* por CKO ($Au1^*$, $Au3^*$) ^{com classificação multifásica}	2,893	4,874	0,039		

5. Estimacão Multivariada dos Teores de Ouro e Análises de Sensibilidade

5.3. Análise das estimacões dos teores de ouro

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 informao presente na totalidade das sondagens e apenas nas sondagens carotadas

Informao originária do	Estimao efectuada no	TPF das estimacões realizadas pelos processos	DQM	ERM	ERM com o Au _{médio}
conjunto de amostragem total (3944 amostras)	conjunto de pontos coincidentes com a amostragem carotada (2138 amostras)	Au* por KO	1,839	5,244	0,043
		Au* por KDE GrGs	1,703	4,852	0,040
		Au* por KDE [F1] _(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2) *	1,577	4,658	0,038
		Au* por KDE [F1, F2, F3] _(GrGs, GcXt, AmBeCa, VePrCzCr) *	1,763	4,883	0,040
		Au* por KDE (Au1*, Au3*)^{sem classificao multifásica}	1,522	4,283	0,036
		Au* por KDE (Au1*, Au3*) ^{com classificao multifásica}	1,745	4,418	0,037
		Au* por CKO GrGs	1,771	4,899	0,040
		Au* por CKO [F1] _(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2) *	1,621	4,836	0,039
		Au* por CKO [F1, F2, F3] _(GrGs, GcXt, AmBeCa, VePrCzCr) *	1,733	5,047	0,041
		Au* por CKO (Au1*, Au3*) ^{sem classificao multifásica}	1,611	4,890	0,039
		Au* por CKO (Au1*, Au3*) ^{com classificao multifásica}	1,761	4,907	0,039
		conjunto de amostragem carotada (2138 amostras)	conjunto de pontos coincidentes com a amostragem carotada (2138 amostras)	Au* por KO	1,998
Au* por KDE Gc, Gr, Gs	1,958			5,194	0,045
Au* por KDE GrGs	1,942			5,169	0,045
Au* por KDE Ag	1,930			5,362	0,047
Au* por KDE Ag1	1,939			5,318	0,047
Au* por KDE Ag, GrGs	1,902			5,208	0,046
Au* por KDE Ag1, GrGs	1,923			5,234	0,046
Au* por KDE [F1, F2, F3] _(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)	1,896			5,124	0,045
Au* por KDE [F1] _(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)	1,909			5,126	0,045
Au* por KDE (Au1*, Au3*)^{sem classificao multifásica}	1,767			4,871	0,040
Au* por KDE (Au1*, Au3*) ^{com classificao multifásica}	1,887			5,027	0,042
Au* por CKO Gc, Gr, Gs	1,956			5,234	0,046
Au* por CKO GrGs	1,950			5,207	0,046
Au* por CKO Ag	1,978			5,388	0,048
Au* por CKO Ag1	1,961			5,351	0,048
Au* por CKO Ag, GrGs	1,953			5,150	0,046
Au* por CKO Ag1, GrGs	1,944			5,148	0,046
Au* por CKO [F1, F2, F3] _(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)	1,939			5,140	0,046
Au* por CKO [F1] _(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)	1,938			5,145	0,046
Au* por CKO (Au1*, Au3*) ^{sem classificao multifásica}	1,831			5,016	0,043
Au* por CKO (Au1*, Au3*) ^{com classificao multifásica}	1,910	5,193	0,044		

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

Informação originária do	Estimação efectuada no	TPF das estimacões realizadas pelos processos	DQM	ERM	ERM com o $Au_{\text{médio}}$
conjunto de amostragem total (3944 amostras)	conjunto de pontos coincidentes com a amostragem destrutiva (1806 amostras)	Au* por KO	4,179	5,102	0,040
		Au* por KDE GrGs	3,860	4,834	0,038
		Au* por KDE [F1, F2, F3] _(GrGs, GcXt, AmBeCa, VePrCzCr) *	3,674	4,395	0,034
		Au* por KDE [F1] _(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2) *	3,787	4,407	0,034
		Au* por KDE (Au1*, Au3*)^{sem classificação multifásica}	3,664	3,960	0,032
		Au* por KDE (Au1*, Au3*) ^{com classificação multifásica}	3,769	4,257	0,033
		Au* por CKO GrGs	4,129	4,791	0,037
		Au* por CKO [F1, F2, F3] _(GrGs, GcXt, AmBeCa, VePrCzCr) *	4,094	4,876	0,038
		Au* por CKO [F1] _(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2) *	4,138	5,053	0,039
		Au* por CKO (Au1*, Au3*) ^{sem classificação multifásica}	4,039	4,801	0,039
		Au* por CKO (Au1*, Au3*) ^{com classificação multifásica}	4,133	4,835	0,039
conjunto de amostragem destrutiva (1806 amostras)	conjunto de pontos coincidentes com a amostragem destrutiva (1806 amostras)	Au* por KO	4,382	5,496	0,044
		Au* por KDE Gc, Gr, Gs	4,166	4,879	0,039
		Au* por KDE GrGs	4,093	4,821	0,039
		Au* por KDE AmBeCa	4,161	5,062	0,041
		Au* por KDE GrGs e AmBeCa	4,076	4,818	0,039
		Au* por KDE [F1, F2, F3] _(GrGs, GcXt, AmBeCa, VePrCzCr)	4,065	4,802	0,039
		Au* por KDE (Au1*, Au3*)^{sem classificação multifásica}	3,992	4,519	0,037
		Au* por KDE (Au1*, Au3*) ^{com classificação multifásica}	4,091	4,711	0,038
		Au* por CKO Gc, Gr, Gs	4,258	5,371	0,044
		Au* por CKO GrGs	4,237	5,320	0,044
		Au* por CKO AmBeCa	4,255	5,333	0,044
		Au* por CKO GrGs e AmBeCa	4,247	5,262	0,043
		Au* por CKO [F1, F2, F3] _(GrGs, GcXt, AmBeCa, VePrCzCr)	4,234	5,211	0,044
		Au* por CKO (Au1*, Au3*) ^{sem classificação multifásica}	4,181	5,270	0,042
Au* por CKO (Au1*, Au3*) ^{com classificação multifásica}	4,241	5,293	0,043		

Para melhor visualização dos valores dos testes obtidos, procedeu-se à respectiva representação através dos gráficos das Figuras 5.2 a 5.6.

5. Estimativa Multivariada dos Teores de Ouro e Análises de Sensibilidade

5.3. Análise das estimações dos teores de ouro

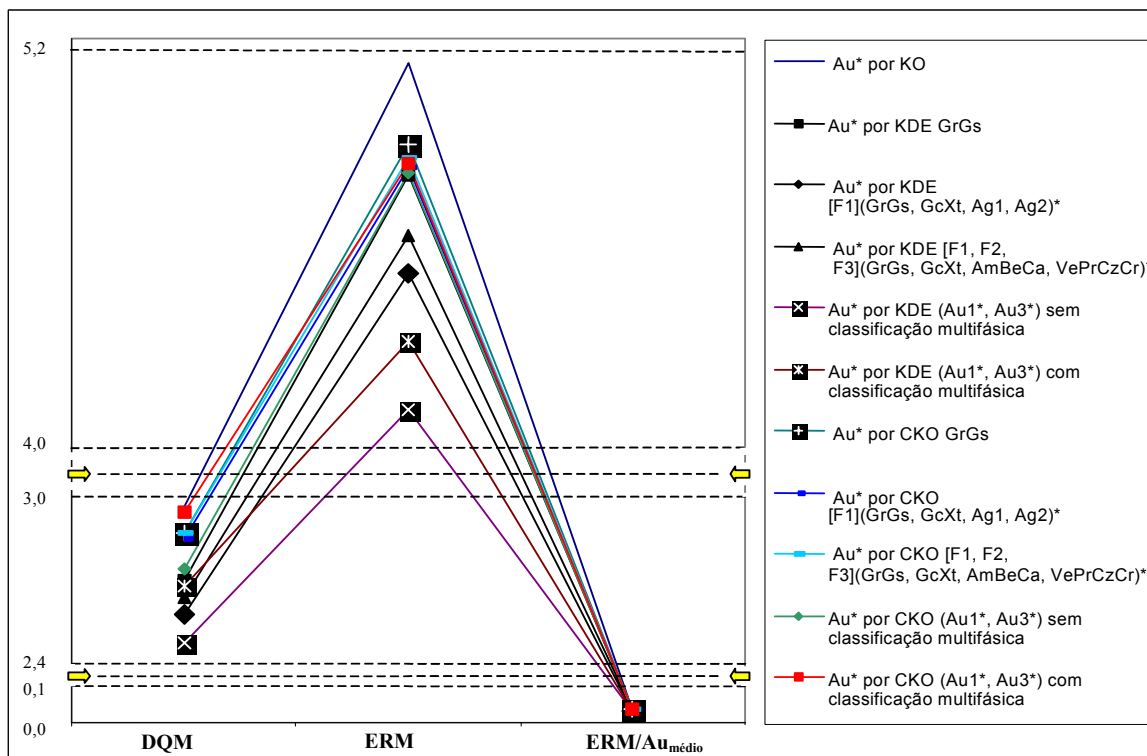


Fig. 5.2 – Comportamento dos testes DQM, ERM e ERM/Au_{médio}, calculados para os teores de Au, estimados pelos TPF dos processos de KO, CKO e KDE no conjunto de amostragem total, com base em informação presente nas sondagens carotadas e destrutivas (as setas correspondem a mudanças de escala).

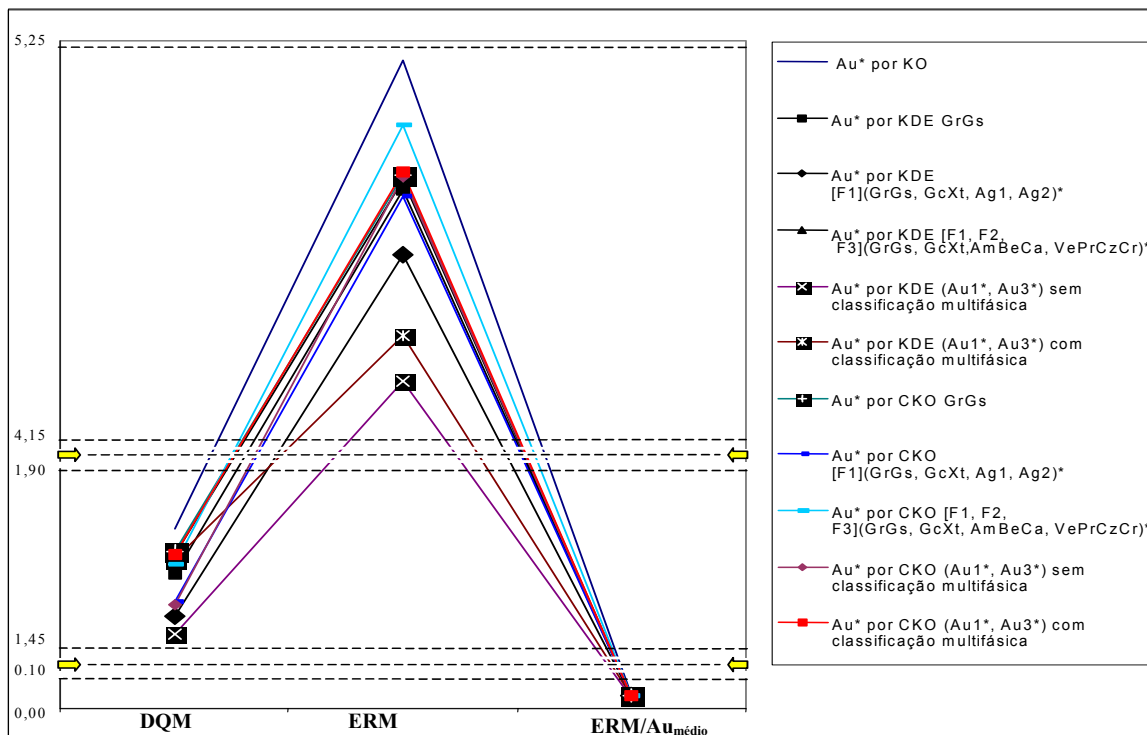
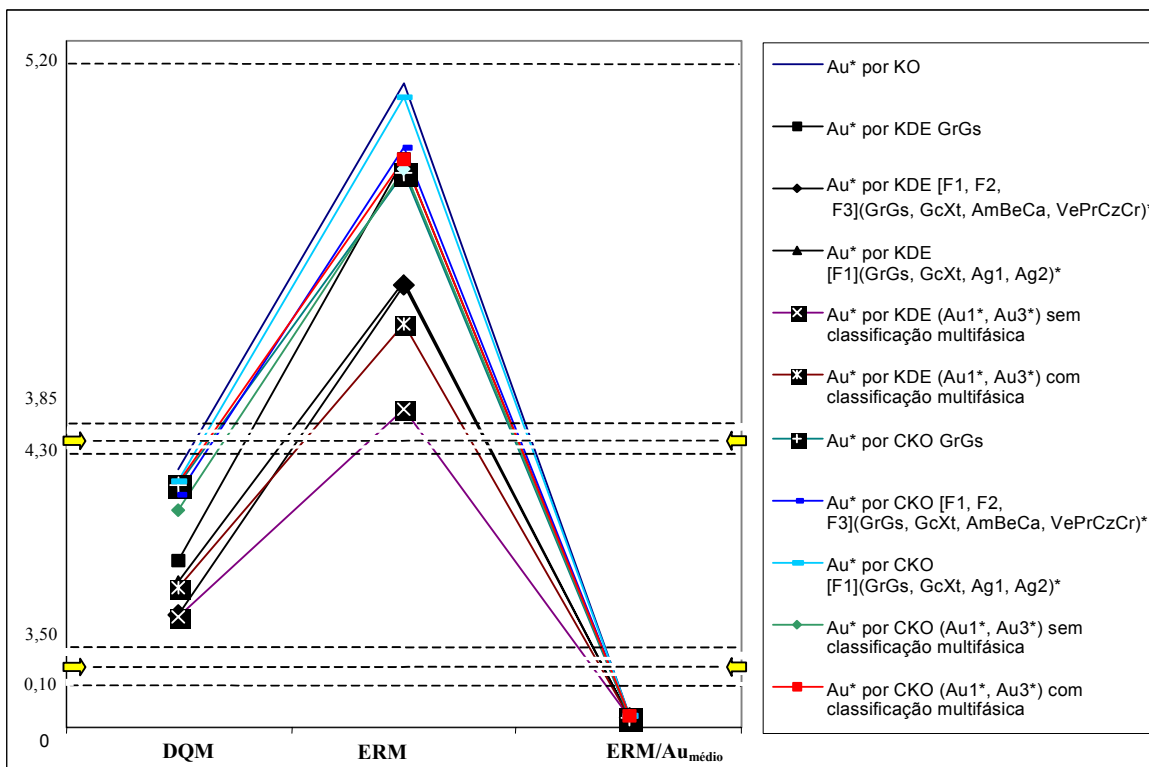
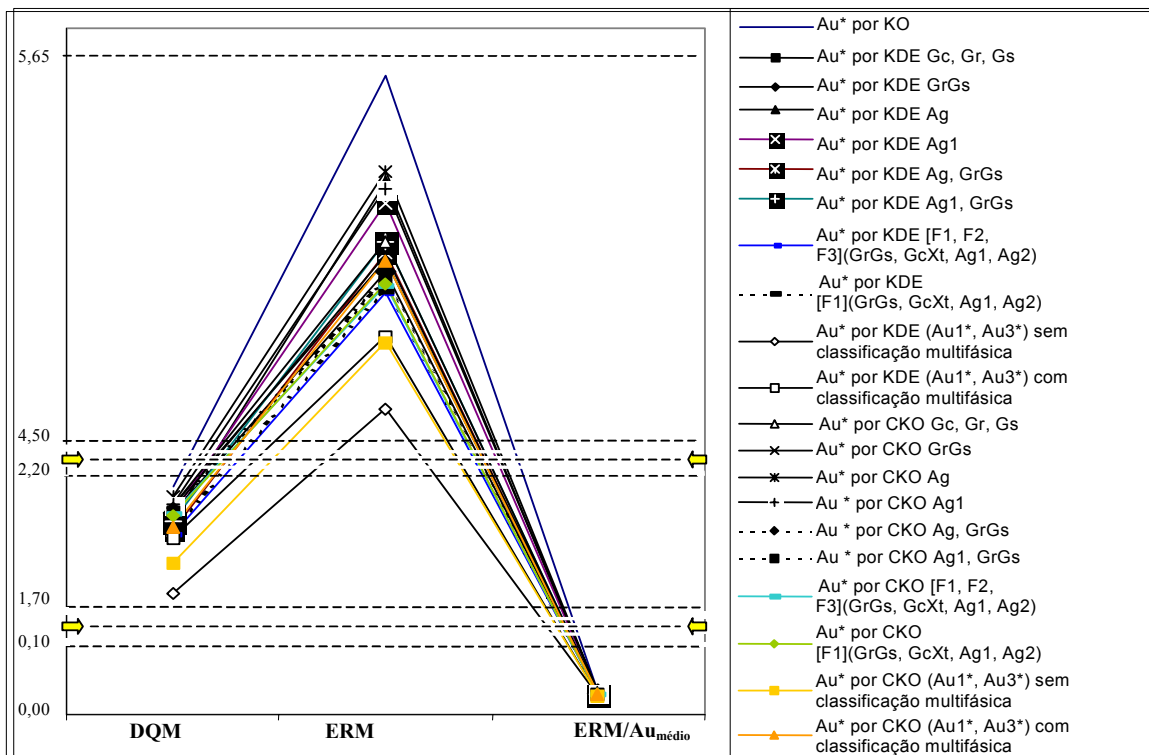


Fig. 5.3 – Comportamento dos testes DQM, ERM e ERM/Au_{médio}, calculados para os teores de Au, estimados pelos TPF dos processos de KO, CKO e KDE no conjunto de amostragem carotada, com base em informação presente nas sondagens carotadas e destrutivas (as setas correspondem a mudanças de escala).



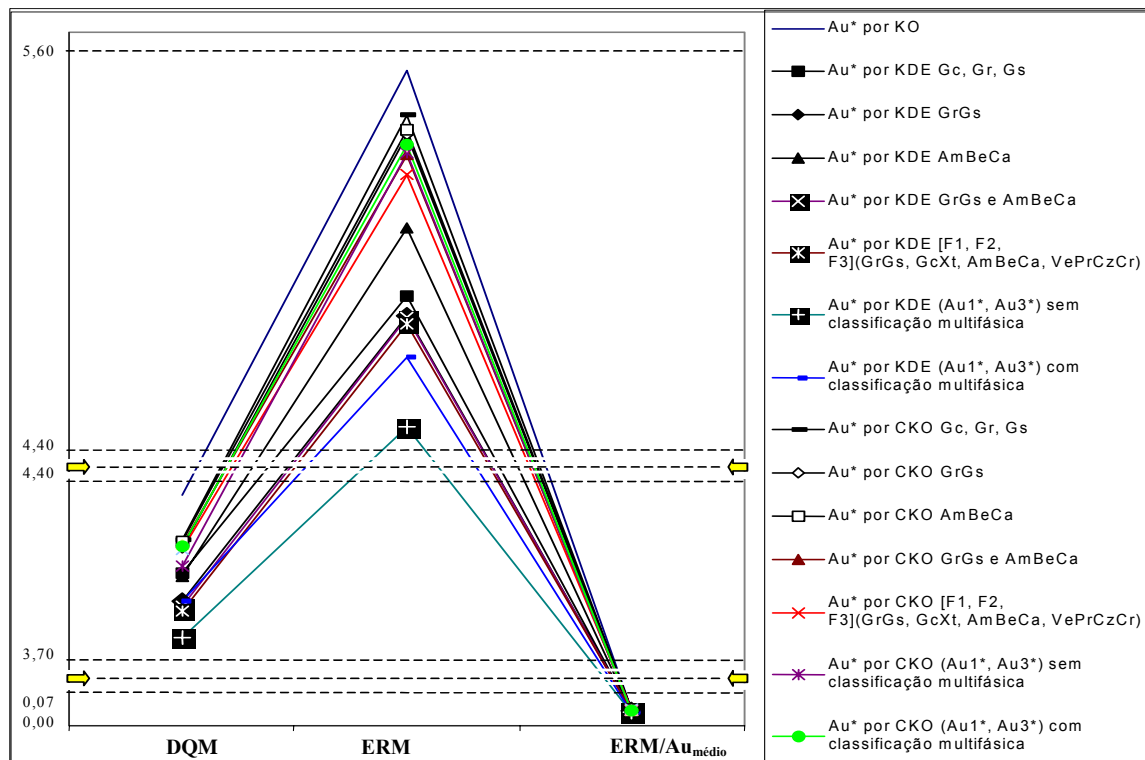


Fig. 5.6 – Comportamento dos testes DQM, ERM e ERM/Au_{médio}, calculados para os teores de Au, estimados pelos TPF dos processos de KO, CKO e KDE no conjunto de amostragem destrutiva, com base em informação presente apenas nas sondagens destrutivas (as setas correspondem a mudanças de escala).

Para melhor visualização das diferenças existentes entre os teores de Au estimados pelos processos com piores e melhores resultados (Au* por KO e Au* por Au KDE Au1*, Au3*)^{sem classificação multifásica}, apresentam-se na Figura 5.7 os diagramas de dispersão entre os teores de Au amostrais e estimados por estes dois processos. Pode observar-se que o processo de estimação por KDE possui um coeficiente de correlação mais próximo de 1, entre os valores amostrais e estimados, e os pontos mais afastados estão mais próximos da recta a 45°.

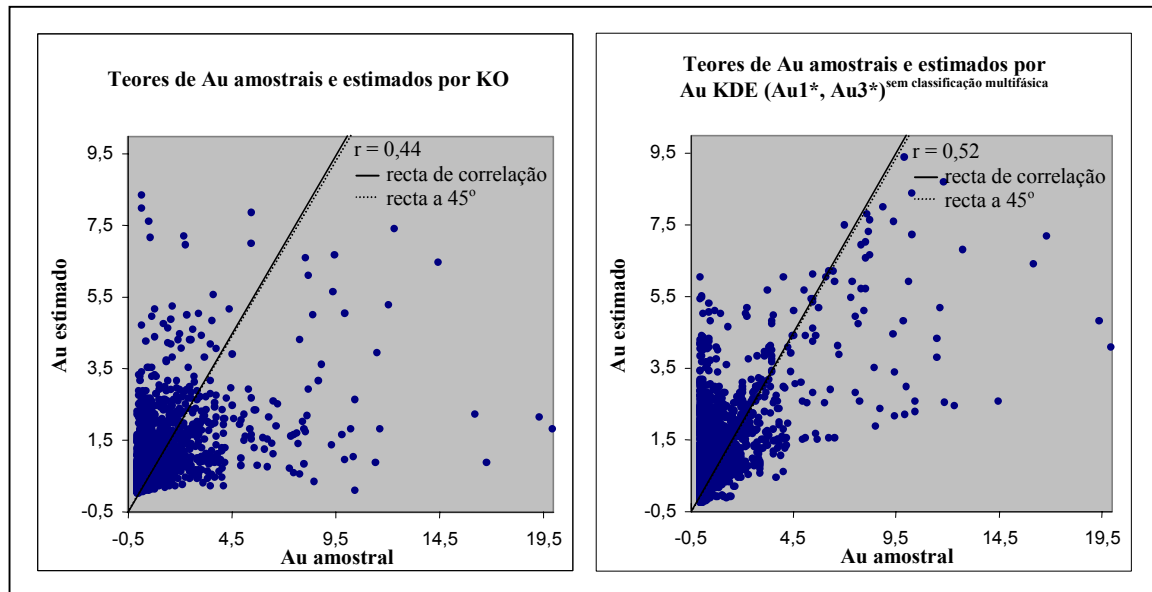


Fig. 5.7 – Diagramas de dispersão e coeficientes de correlação entre os teores de Au amostrais e estimados por KO e Au KDE ($Au1^*$, $Au3^*$)^{sem classificação multifásica}.

5.3.1. CODIFICAÇÃO DOS TEORES DE OURO ESTIMADOS EM CLASSES

No sentido de obter testes mais explícitos, que corroborem ou desmintam estes resultados, e/ou permitam encontrar outras formas de hierarquização dos diversos processos de estimação, submeteram-se os teores de Au estimados a uma análise de precisão, semelhante às realizadas para as estimações das classes dos teores de Au, através da sua classificação pelo processo da indicatriz, e contabilização das co-ocorrências das classes obtidas, com as dos troços amostrais. Convém, no entanto, lembrar que o conjunto de valores estimados sofre, normalmente, atenuações nos valores extremos, face aos dados amostrais. Por este motivo, a sua classificação pelo processo da indicatriz conduzirá forçosamente a resultados díspares, caso seja efectuada por manutenção dos limites das classes de classificação do conjunto dos dados amostrais ou por manutenção das respectivas frequências. Esta disparidade, pode ser observada na Tabela 5.5., onde estão representadas as frequências encontradas pelos dois modos de classificação dos teores valores de Au estimados pelos TPF de alguns processos.

Tab. 5.5 – Quantificaco e estabelecimento dos limites das classes dos teores de Au, resultantes da classificacão pelo processo da indicatriz da amostragem e teores estimados pelos TPF de diferentes processos de estimacão

		Classificacão por indicatriz dos valores de Au estimados pelos TPF dos processos									
		Valores de Au amostrados		KO		Au KDE (Au1, Au3) ^{amostral}		Au KDE (Au1*, Au3*) ^{SCM}		Au KDE (Au1*, Au3*) ^{CCM}	
		N ^o de elementos nas classes amostrais	Limites do teor	N ^o de elementos nas classes estimadas	Limites do teor	N ^o de elementos nas classes estimadas	Limites do teor	N ^o de elementos nas classes estimadas	Limites do teor	N ^o de elementos nas classes estimadas	Limites do teor
Manuteno do teor dos limites de Au	Au1	1356	[0,01; 0,09]	291	[0,01; 0,09]	1375	[0,01;0,09]	1049	[0,01; 0,09]	1137	[0,01; 0,09]
	Au2	1309	[0,09; 0,57]	1702	[0,09; 0,57]	1089	[0,09;0,57]	1174	[0,09; 0,57]	925	[0,09; 0,57]
	Au3	1279	[0,57; 43,0]	1951	[0,57; 43,0]	1480	[0,57;43,0]	1721	[0,57; 43,0]	1882	[0,57; 43,0]
Manuteno do nmero de ocorrências	Au1	1356	[0,01; 0,09]	1356	[0,01; 0,36]	1356	[0,01;0,08]	1356	[0,01; 0,17]	1356	[0,01; 0,18]
	Au2	1309	[0,09; 0,57]	1309	[0,36; 0,91]	1309	[0,08;0,83]	1309	[0,17; 0,89]	1309	[0,18; 1,03]
	Au3	1279	[0,57; 43,0]	1279	[0,91; 8,33]	1279	[0,83;9,18]	1279	[0,89; 9,16]	1279	[1,03; 8,67]

(Au1, Au3)^{amostral} → classes de Au da amostragem.

(Au1*, Au3*)^{SCM} → classes de (Au1*, Au3*)^{sem classificacão multifásica}

(Au1*, Au3*)^{CCM} → classes de (Au1*, Au3*)^{com classificacão multifásica}

A observaco do número de elementos das classes resultantes da classificacão pelo método de manuteno do teor dos limites de Au, coloca em evidência a pior prestaco da KO, uma vez que  o processo que mais subestima o número de elementos da classe Au1 (apenas 291 em 1356) e sobrestima os elementos das restantes (1702 em 1309 para o Au2, e 1951 em 1279 no Au3). Para melhor esclarecimento desta classificacão, calcularam-se os erros relativos entre o número de elementos das classes da estimacão e amostrais, através da equaco

$$\varepsilon(N_i; N_i^*) = \left[\frac{N_i - N_i^*}{N_i} \right]^2$$

onde N_i representa o número de ocorrências nas classes da amostragem, e N_i^* o número de ocorrências das classes resultantes da classificacão dos teores de Au estimado. Os resultados representados na Tabela 5.6, permitem uma classificacão mais fácil dos processos de estimacão. Assim, a KO  confirmada como o processo de estimacão que pior reproduz o número de elementos de cada classe, a que se segue por ordem crescente de melhores resultados, os processos de estimacão Au KDE (Au1*, Au3*)^{CCM}, Au KDE (Au1*, Au3*)^{SCM} e Au KDE (Au1, Au3)^{amostral}, o que está em sintonia com os testes já efectuados. A diferência relativamente pequena, encontrada entre os erros de relativos dos processos Au KDE

$(Au1^*, Au3^*)^{SCM}$ e Au KDE $(Au1, Au3)^{amostral}$ indicia também uma boa prestação do processo de estimação das classes dos teores de Au.

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

		Erros relativos das frequências das classes dos teores de Au estimados pelos processos			
		KO	Au KDE $(Au1, Au3)^{amostral}$	Au KDE $(Au1^*, Au3^*)^{SCM}$	Au KDE $(Au1^*, Au3^*)^{CCM}$
Classificação por manutenção dos limites dos teores Au	Au1	836,45	0,27	69,51	35,37
	Au2	88,29	52,57	24,43	136,99
	Au3	261,08	11,34	98,25	204,04
	$\Sigma =$	1185,82	64,18	192,18	376,40

Relativamente aos valores dos limites dos intervalos obtidos pela classificação de manutenção do número, confirma-se o referido para a classificação pela manutenção do teor. Uma vez que à excepção do limite superior da classes Au2, onde a KO obtém um limite mais favorável do que o processo Au KDE $(Au1^*, Au3^*)^{CCM}$, todos os restantes limites estão mais próximos dos limites das classes amostrais, numa ordem semelhante à referida na classificação pela manutenção do número de ocorrências.

No entanto, para permitir uma hierarquização mais robusta, baseada na melhor reprodutibilidade dos valores baixos, médios e altos (uma vez que esta classificação por manutenção das frequências das classes amostrais possibilita a comparação entre as co-ocorrências das classes amostrais e as encontradas com os teores de Au estimados pelos diferentes processos), foram calculadas também as co-ocorrências das classes de cada uma destas estimações. Encontra-se a sua representação na Tabela 5.7, que conduz à confirmação do já exposto.

Tab. 5.7 – Co-ocorrências entre as classes de Au amostrais e resultantes da classificação dos valores de Au estimados por diferentes processos

	Classes da amostragem (Au _i) versus classes da classificação dos teores de Au estimados pelos processos com melhor desempenho	Co-ocorrências entre as classes amostrais e estimadas
Classificação por manutenção dos limites das classes dos teores de Au	Au1 e Au1 resultante da classificação do Au* por KO	940
	Au2 e Au2 resultante da classificação do Au* por KO	600
	Au3 e Au3 resultante da classificação do Au* por KO	809
	Σ =	2349
	Au1 e Au1 resultante da classificação do Au* por Au KDE (Au1, Au3) amostral	1103
	Au2 e Au2 resultante da classificação do Au* por Au KDE (Au1, Au3) amostral	1016
	Au3 e Au3 resultante da classificação do Au* por Au KDE (Au1, Au3) amostral	1133
	Σ =	3252
	Au1 e Au1 resultante da classificação do Au* por Au KDE (Au1*, Au3*) SCM	1032
	Au2 e Au2 resultante da classificação do Au* por Au KDE (Au1*, Au3*) SCM	962
	Au3 e Au3 resultante da classificação do Au* por Au KDE (Au1*, Au3*) SCM	957
	Σ =	2951
	Au1 e Au1 resultante da classificação do Au* por Au KDE (Au1*, Au3*) CCM	1018
	Au2 e Au2 resultante da classificação do Au* por Au KDE (Au1*, Au3*) CCM	817
	Au3 e Au3 resultante da classificação do Au* por Au KDE (Au1*, Au3*) CCM	951
Σ =	2786	

5.4. ANÁLISE DAS ESTIMAÇÕES DOS TEORES DE OURO E RESPECTIVAS CLASSES EM SUPORTES RETIRADOS DA AMOSTRAGEM

O teor de uma variável, presente num qualquer suporte, só pode ser efectivamente avaliado através da respectiva amostragem. Assim, o conhecimento da diferença entre o valor real e estimado num suporte, por quaisquer processos, só pode ser conhecido através da tarefa impraticável de amostragem desse suporte. Como tem sido referido, uma forma de conhecer esta diferença nos pontos amostrais consiste na realização do chamado TPF, que, na amostragem por troços de sondagem, possui a desvantagem de atribuir pesos muito elevados aos troços contíguos, o que pode remeter para comportamentos desfasados dos possíveis de ocorrer nas estimações dos suportes discretizadores do jazigo, uma vez que estes, na sua grande maioria, não possuem amostragem tão próxima.

Para contornar esta particularidade, procedeu-se à retirada integral de algumas sondagens da amostragem, e realizaram-se estimacões em suportes pontuais coincidentes com os seus troços, que assim, passam a possuir valores reais e estimados. Para aplicar esta abordagem de validacão, escolheram-se 12 sondagens, distribuídas de forma homogénea por todo o domínio, com um total de 351 troços, que representam cerca de 9 % da informacão total. Esta escolha foi condicionada apenas às sondagens carotadas, uma vez que é nestas que está efectivamente presente o índice de síntese $[F1]_{(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)}$, seleccionado para representar a informacão auxiliar na estimacão das classes dos teores de Au. A aplicacão destas accões é efectuada através dos seguintes passos:

- i. retirar dos dados amostrais os valores assumidos por todas as variáveis presentes nos troços das 12 sondagens seleccionadas, e estimar nos suportes pontuais coincidentes com seus troços:
 - a) os teores de Au por KO;
 - b) o índice de síntese $[F1]_{(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)}$ por KO;
 - c) as probabilidades dos teores de Au pertencerem a cada uma das respectivas classes, pelo processo CKO (Au1, Au3) KDE $[F1]_{(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)}$, onde o índice de síntese provém da estimacão referida na alínea anterior;
 - d) os teores de Au, pelos processos Au CKO e Au KDE com as classes Au1* e Au3* referidas na alínea c). Para confirmar os méritos da utilizacão de classes estimadas sem classificacão multifásica, realizam-se duas estimacões para cada um dos processos, onde apenas difere o facto das classes estimadas serem classificadas por este método ou não. Estas formas de estimacão dos teores de Au permitem, como já foi referido, efectuar testes em condições semelhantes, ou até piores, às que serão encontradas na estimacão em qualquer ponto do jazigo;
- ii. retirar dos dados amostrais, apenas os teores de Au e respectivas classes presentes nos troços das 12 sondagens, deixando ficar a informacão relativa ao índice de síntese $[F1]_{(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)}$. Neste caso, para estimar os teores de Au pelos processos de CKO ou KDE com as classes Au1* e Au3*, torna-se apenas necessário estimar as respectivas classes, pelo processo CKO (Au1, Au3) KDE $[F1]_{(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)}$. A realizacão deste passo permite verificar por comparacão com os resultados da

alínea i.d) o erro devido à estimacão do índice de síntese $[F1]_{(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)}$, e consequentemente as prováveis vantagens da sua amostragem mais exaustiva;

- iii. retirar dos dados amostrais apenas os teores de Au presentes nos troços das 12 sondagens, deixando ficar a informacão relativa às respectivas classes. Isto possibilita, por comparacão com os processos referidos em i. e ii., formar uma ideia da grandeza do erro cometido na estimacão das classes (Au1*, Au3*)^{sem classificacão multifásica}.

Efectuadas as operaçoes referidas em i., ii. e iii., calcularam-se as medidas *DQM* e *ERM*, representados na Tabela 5.8, que permitem verificar o seguinte, nesta situacão desfavorável de estimacão dos teores de Au em pontos fora da amostragem por processos que utilizam informacão oriunda de diferentes malhas de partida:

- * existe uma melhoria significativa da estimacão dos teores de Au, sempre que é realizada com recurso a informacão auxiliar, quer esta possua densidades de amostragem iguais à variável principal quer, principalmente, quando a densidade amostral é superior, como se apercebe através do decrescente valor dos testes obtidos para as alíneas: i.a); i.d); ii. e iii.;
- * obtêm-se sempre melhores testes, quando as classes de Au estimadas não são submetidas à classificacão multifásica;
- * os processos de estimacão dos teores de Au por KDE com a informacão auxiliar obtêm sempre melhores testes que os processos de CKO;
- * as melhorias da estimacão aumentam proporcionalmente ao conhecimento das variáveis auxiliares, como é demonstrado pela melhoria dos testes conseguidos sucessivamente em d), ii. e iii.;
- * embora não sejam apresentados, os testes das estimacões das classes dos teores de Au confirmaram o processo CKO (Au1, Au3) KDE $[F1]_{(GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)}$, como o mais eficiente nas respectivas estimacões.

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

Processos utilizados na estimação dos teores de Au nos suportes pontuais coincidentes com os troços das 12 sondagens seleccionadas	<i>DQM</i>	<i>ERM</i>
Au* – por KO referido na alínea i.a)	4,22	11,72
Au* – Au KDE (au1*, au3*) ^{com classificação multifásica} referido na alínea i.d)	3,77	7,61
Au* – Au KDE (au1*, au3*) ^{sem classificação multifásica} referido na alínea i.d)	3,71	7,32
Au* – Au CKO (au1*, au3*) ^{com classificação multifásica} referido na alínea i.d)	3,84	8,12
Au* – Au CKO (au1*, au3*) ^{sem classificação multifásica} referido na alínea i.d)	3,80	7,94
Au* – Au KDE (au1*, au3*) ^{com classificação multifásica} referido na alínea ii.	3,61	6,93
Au* – Au KDE (au1*, au3*) ^{sem classificação multifásica} referido na alínea ii.	3,57	6,61
Au* – Au CKO (au1*, au3*) ^{com classificação multifásica} referido na alínea ii.	3,68	7,28
Au* – Au CKO (au1*, au3*) ^{sem classificação multifásica} referido na alínea ii.	3,64	7,06
Au* – Au KDE (au1, au3) ^{amostral} referido na alínea iii.	3,22	5,61
Au* – Au CKO (au1, au3) ^{amostral} referido na alínea iii.	3,28	5,78

Esta análise de precisão é semelhante às realizadas para as estimações das classes dos teores de Au, e é efectuada pela aplicação do processo da indicatriz, mantendo as frequências de cada classe presente nos troços das 12 sondagens. Encontraram-se assim: 195, 225, 236 e 258 co-ocorrências entre as classes dos 351 troços de amostragem, e resultantes das estimações pelos processos de KO e KDE descritos nas alíneas: i.d)^{sem classificação multifásica}, ii.^{sem classificação multifásica} e iii., o que confirma o benefício (já referido) introduzido pela utilização da informação auxiliar.

5.5. ESTIMACIÓN DOS TEORES DE OURO

A incorporación da información auxiliar na estimación dos teores de Au será efectuada de forma indirecta, ou seja, através da utilización das classes de Au estimadas pelo proceso seleccionado anteriormente (Au1* e Au3*)^{sem clasificación multifásica}, como variábeis de deriva externa num proceso de KDE com os 3944 teores de Au amostrais. Este proceso é completamente caracterizado através da descrición “Au estimado por KDE com [(Au1*, Au3*)^{estimadas por CKO_DE [Au1, Au3]_[F1] (GrGs, GcXt, Ag1, Ag2)}^{sem clasificación multifásica}]”, que, no entanto, por ser demasiado extensa poderá ser representada apenas por “Au KDE (Au1*, Au3*)^{sem clasificación multifásica}”. A exemplo do efectuado aquando da estimación por KO, também neste caso a estimación dos teores de Au será efectuada, quer pontualmente sobre a amostragem pelo TPF quer nos blocos de desmonte.

Para melhor visualización das tendéncias nos teores mais baixos, procede-se à representación do andamento das funcións de distribución cumulativa das frecuéncias dos teores de Au:

- amostrais;
- estimados pelo TPF da KO nos 3944 puntos coincidentes com a amostragem;
- estimados pelo TPF do Au KDE (Au1*, Au3*)^{sem clasificación multifásica} nos 3944 puntos coincidentes com a amostragem;
- estimados por KO nos centros dos 20 487 blocos de desmonte
- estimados por Au KDE (Au1*, Au3*)^{sem clasificación multifásica} nos centros dos 20 487 blocos de desmonte;

na Figura 5.8. Para permitir ainda uma melhor avaliación do comportamento das fracções mais importantes do punto de vista económico, procede-se também, na Figura 5.9, à representación das funcións de distribución dos teores médios de Au, encontrados para os teores de corte comprendidos entre 0,5 e 9,0 g/ton. espaçados de 0,5 em 0,5 g/ton., nesses conjuntos.

Na Tabela 5.10 encontram-se representadas, em percentagem, as tonelagens e as Qm calculadas com os teores de Au estimados em blocos de 5 x 5 x 4 m³ por este proceso e por KO (o valor máximo de 84 % encontrado para a Qm cumulativa dos teores de Au estimados por Au KDE (Au1*, Au3*)^{sem clasificación multifásica}), reportam aos 100 % encontrados para os

teores estimados por KO). A representação conjunta das respectivas funções na Figura 5.10 permite constatar a existência de uma diminuição da Q_m em cerca de 16 %, com a utilização da informação auxiliar e no aumento de precisão, que é observável nos resultados da Tabela 5.9.

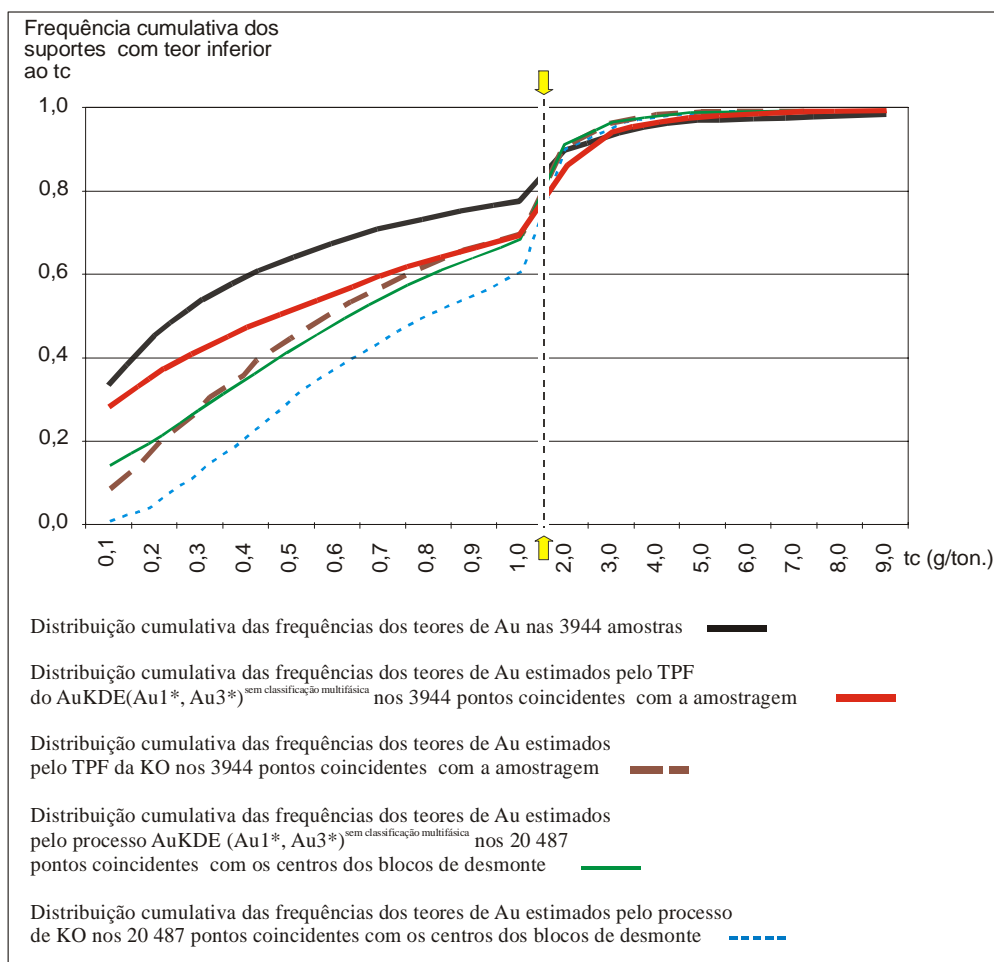


Fig.5.8 – Funções de distribuição cumulativa das frequências dos teores de Au amostrais e estimados para intervalos até 9,0 g/ton. (a seta no gráfico separa duas escalas para dos teores de Au).

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*)^{sem classificação multifásica}

	DQM	ERM	ERM com o $Au_{médio}$
TPF das estimação dos teores de Au por KO	2,911	5,179	0,042
TPF das estimação dos teores de Au por KDE (Au1*, Au3*) ^{sem classificação multifásica}	2,503	4,135	0,034

5. Estimação Multivariada dos Teores de Ouro e Análises de Sensibilidade

5.5. Estimação dos teores de ouro

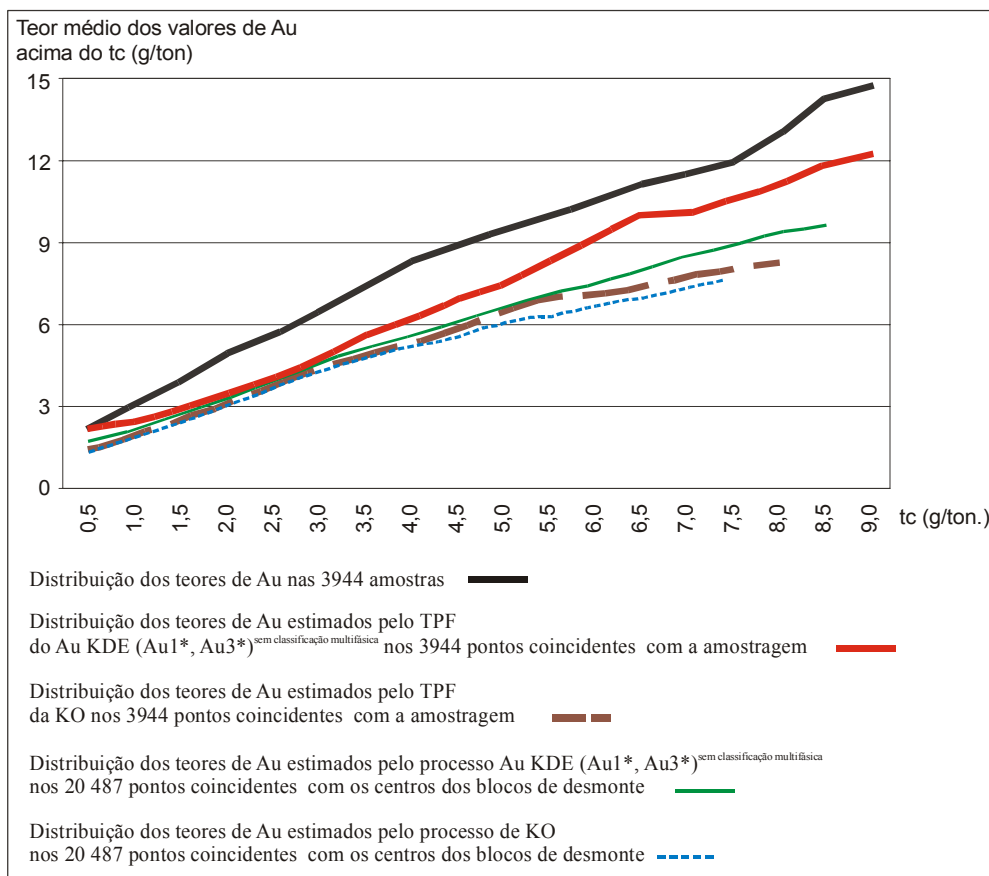


Fig. 5.9 – Funções de distribuição dos teores médios de Au para os intervalos com teores de corte compreendidos entre 0,5 e 9,0 g/ton..

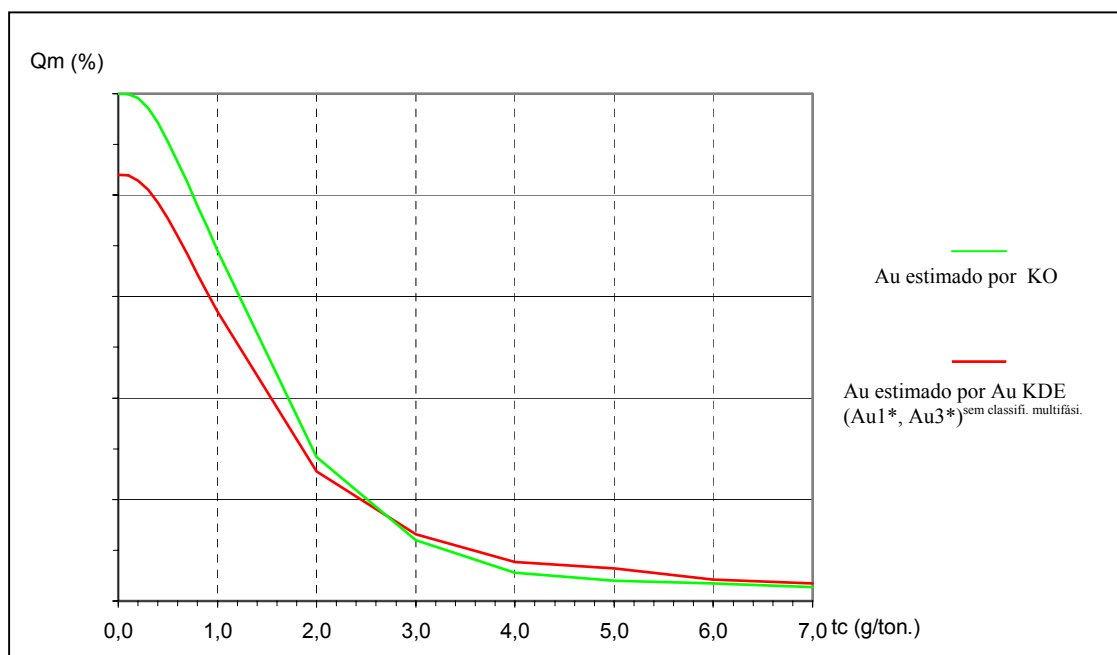


Fig. 5.10 – Função de recuperação quantidade de metal para os suportes de desmonte.

Tab. 5.10 – Número de blocos e Qm estimados por KO e Au KDE (Au1*, Au3*)^{sem classificação multifásica} para diferentes teores de corte

Teor de corte	Teores de Au estimados nos 20 487 blocos de desmonte			
	Teores de Au estimados por Au KDE (Au1*, Au3*) ^{sem classificação multifásica}		Teores de Au estimados por KO	
	Tonelagem, em %	Qm acumulada, em %	Tonelagem em %	Qm acumulada, em %
0,0	100,0	84,0	100,0	100,0
0,1	85,3	83,9	99,0	99,9
0,2	79,1	82,9	94,5	99,2
0,3	71,8	81,1	86,3	97,2
0,4	64,3	78,6	78,0	94,3
0,5	57,2	75,4	69,2	90,5
0,6	50,7	71,9	61,8	86,5
0,7	45,0	68,2	55,4	82,4
0,8	39,9	64,5	49,3	77,9
0,9	35,3	60,7	44,2	73,6
1,0	31,4	57,0	39,2	69,0
2,0	8,4	25,6	9,9	28,4
3,0	3,4	13,1	3,3	12,0
4,0	1,5	7,7	1,2	5,6
5,0	1,0	6,4	0,7	4,0
6,0	0,5	4,2	0,5	3,5
7,0	0,3	3,5	0,3	2,7

Para melhor entendimento da posição relativa e representação das distribuições espaciais do Au, nas plantas dos 23 pisos de desmonte, apresenta-se na Figura 5.11 uma sequência de níveis que mostra a evolução dos teores em profundidade (para mais fácil representação retiram-se os pisos intercalares), estando indicadas nas plantas da Figura 5.12 as distribuições espaciais dos teores de Au estimados em cada piso, pelo processo Au KDE (Au1*, Au3*)^{sem classificação multifásica}.

5. Estimación Multivariada dos Teores de Ouro e Análises de Sensibilidade

5.5. Estimación dos teores de ouro

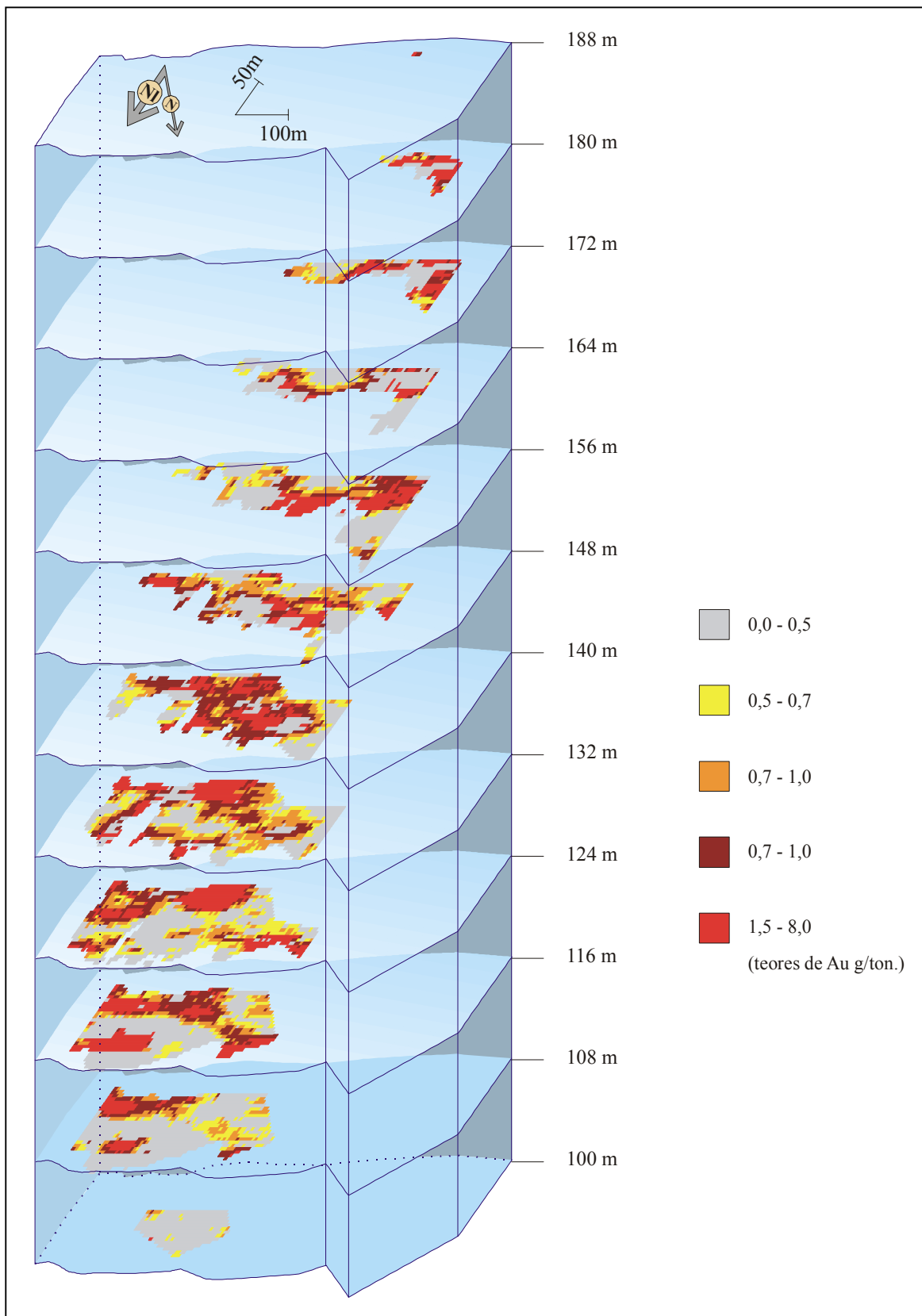


Fig. 5.11 – Perspectiva dos teores de Au estimados nos volumes de desmonte dos pisos, com as respectivas cotas.

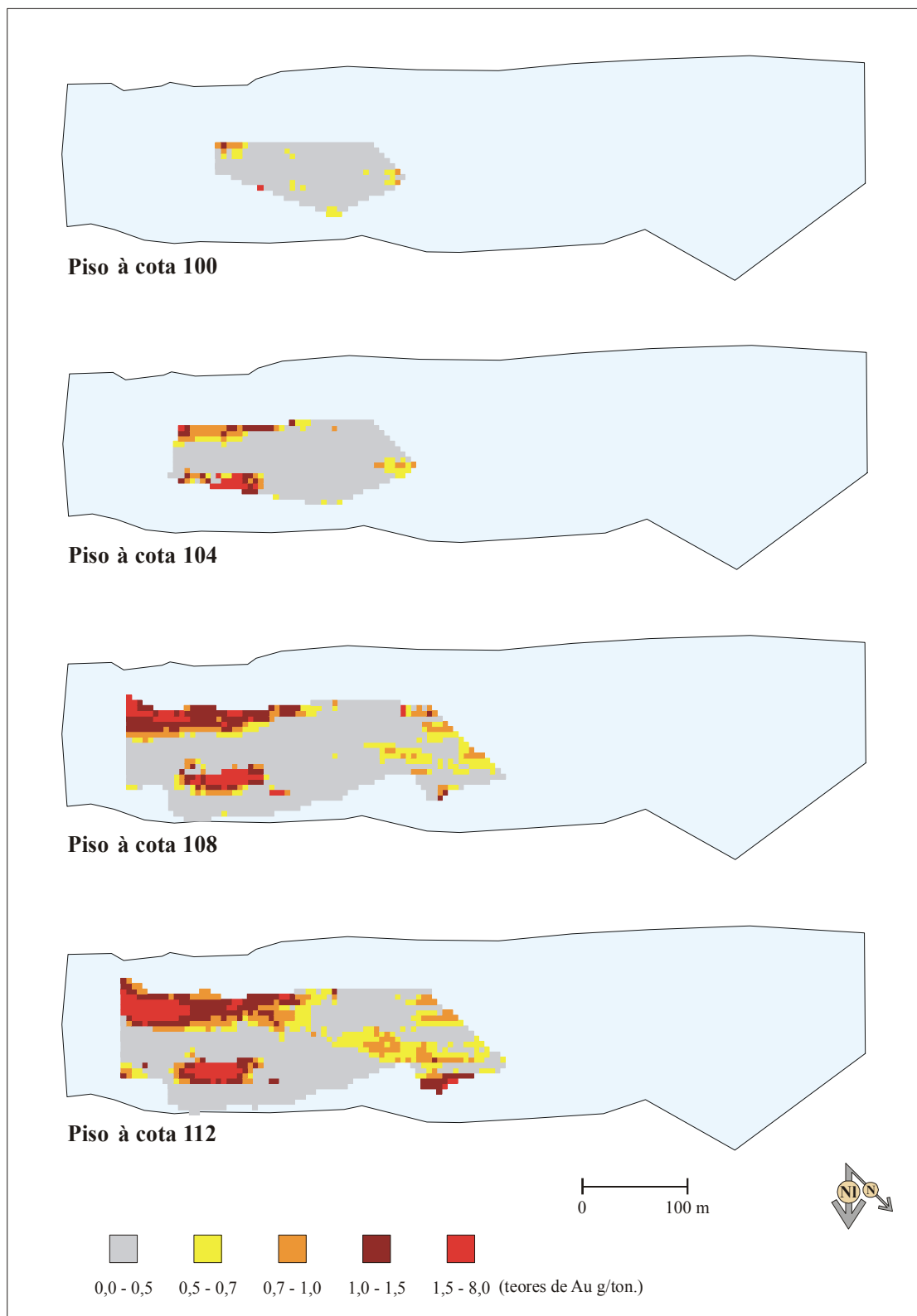


Fig. 5.12 – Mapas dos intervalos de teores de Au estimados pelo processo Au KDE (Au1*, Au3*)^{sem classificação multifásica “continua”}.

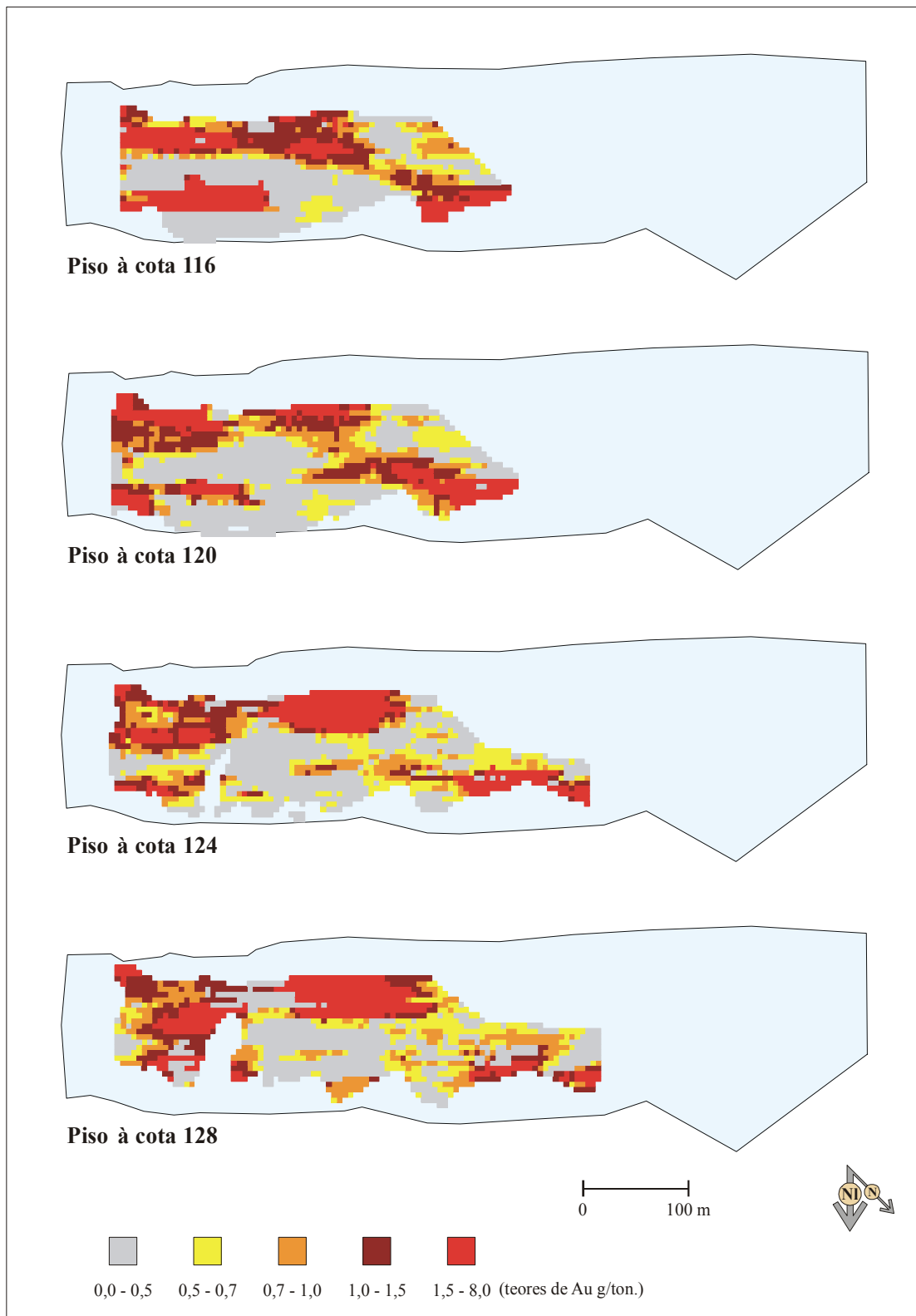


Fig. 5.12 – “Continuação” Mapas dos intervalos de teores de Au estimados pelo processo Au KDE (Au1*, Au3*)^{sem classificação multifásica} “continua”.

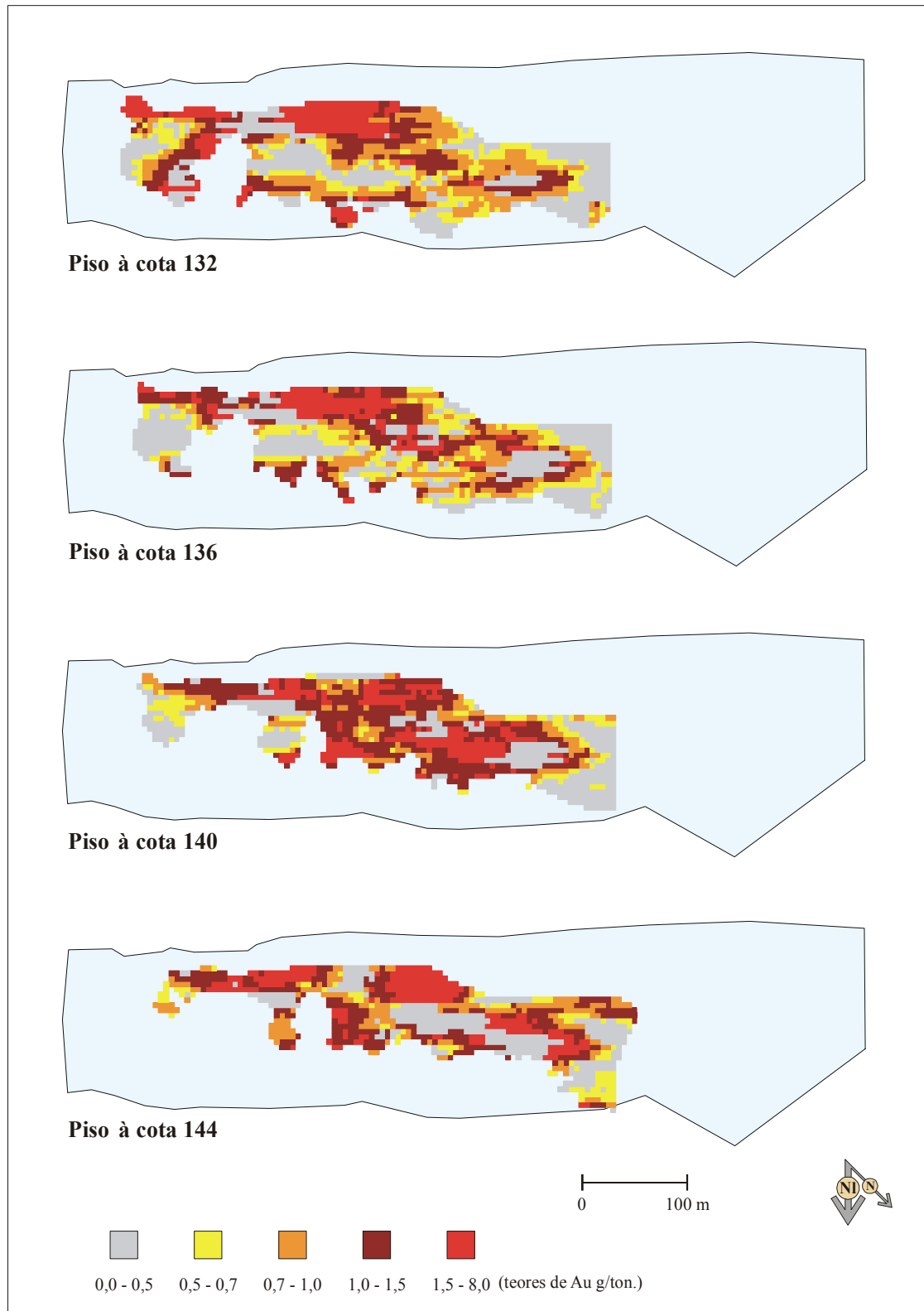


Fig. 5.12 – “Continuação” Mapas dos intervalos de teores de Au estimados pelo processo Au KDE (Au1*, Au3*)^{sem classificação multifásica “continua”}.

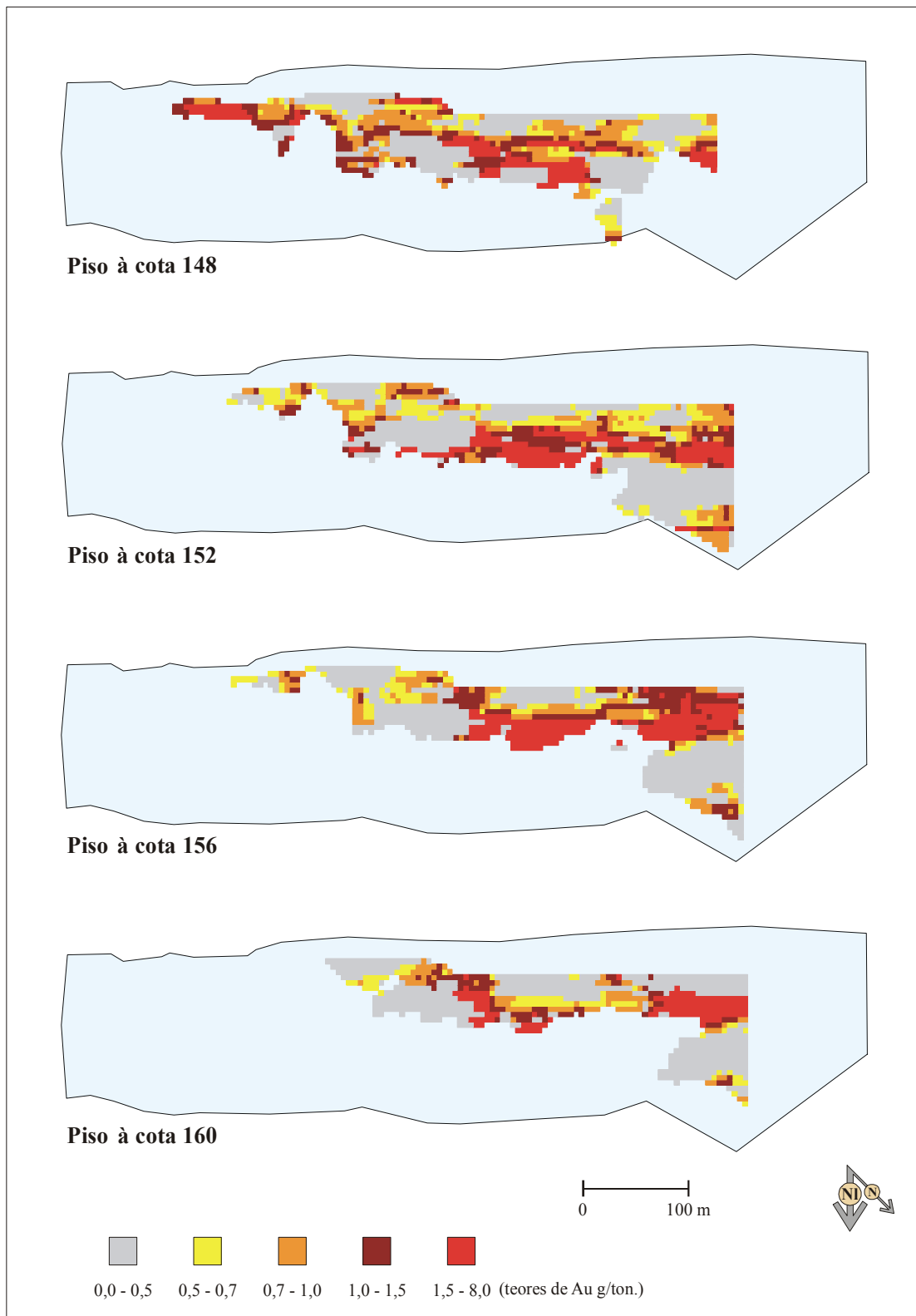


Fig. 5.12 – “Continuação” Mapas dos intervalos de teores de Au estimados pelo processo Au KDE (Au1*, Au3*)^{sem classificação multifásica} “continua”.

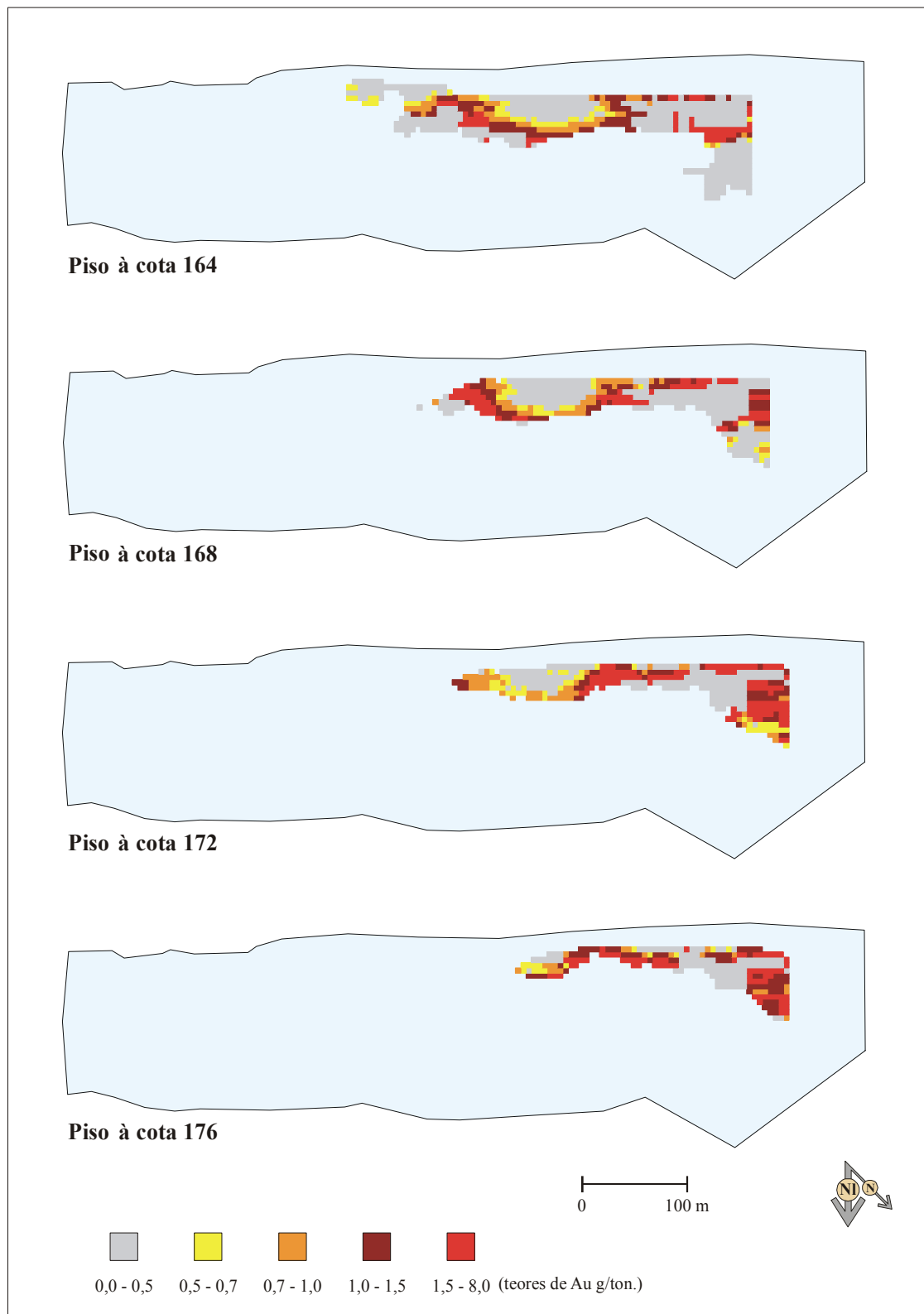


Fig. 5.12 – “Continuação” Mapas dos intervalos de teores de Au estimados pelo processo Au KDE (Au1*, Au3*) sem classificação multifásica “continua”.

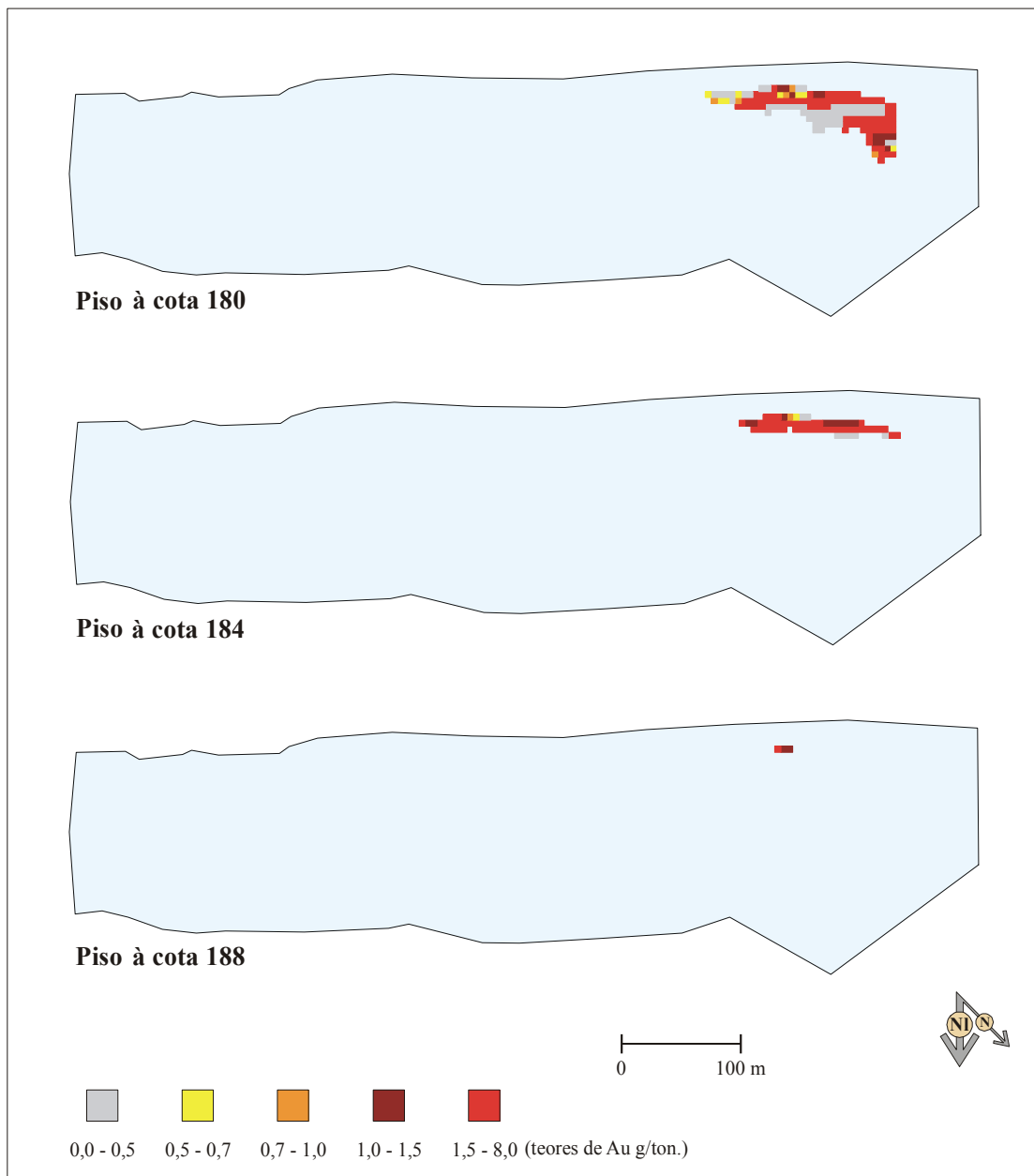


Fig. 5.12 – “Continuação” Mapas dos intervalos de teores de Au estimados pelo processo Au KDE (Au1*, Au3*)^{sem classificação multivariada}