

Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

Estimativa de Recursos de Carvão Utilizando Métodos Geoestatísticos

Jorge Luiz Barbosa da Silva, Ricardo Norberto Ayup Zouain
Pesquisas em Geociências, 28 (1): 99-106, maio/ago., 2001.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/20170>

Publicado por

Instituto de Geociências



Portal de Periódicos

UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - maio/ago., 2001.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Estimativa de Recursos de Carvão Utilizando Métodos Geoestatísticos

JORGE LUIZ BARBOSA DA SILVA¹ & RICARDO NORBERTO AYUP ZOUAIN²

¹ Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15044, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. jbls@if.ufrgs.br;

² Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15052, CEP 91501-970 Porto Alegre, RS, Brasil. ayup@if.ufrgs.br

(Recebido em 10/99. Aceito para publicação em 07/01)

Abstract - This paper presents a geostatistical method for resources estimation of a coal seam. The coal seam is referred to as "I" and belongs to Leão-Butiá coal deposit, located at central east region of Rio Grande do Sul State, southernmost Brazil. Data set are composed by 182 measures of coal seam thickness obtained by drill holes. To evaluate seam thickness, initially in this work, was approached the basic descriptive statistic about the sampled data set. To continue, spatial continuity analysis was performed and to conclude was carried out an ordinary kriging estimation process. Considering the tree previous process was accomplished a block kriging that allowed estimate mean and variance of seam thickness and extension of sampled total area. With this data it was possible to calculate the coal seam volume. Knowing coal local density and multiplying it by the volume determines coal seam quantities (ton) for which a confidence interval was estimated. To compare estimate and true values a cross validation was made, using the model of kriging and the sampled data set. A histogram is presented to show the average error for the model that should be null to confirm the process.

Key words - Geostatistics, seam and coal.

INTRODUÇÃO

Geralmente as informações quantitativas que dispomos sobre os dados espacialmente distribuídos são reduzidas face a diversos fatores como por exemplo o alto custo das amostragens. A avaliação dos locais não amostrados se torna crítica na medida que desconhecemos muitos processos naturais geradores das condições existentes, bem como outros fatores condicionantes.

A Geoestatística vem se desenvolvendo nas últimas décadas e apresenta-se como uma ferramenta confiável para a estimativas de dados para a grande maioria dos fenômenos naturais, uma vez que se distingue por capturar o padrão de continuidade dos dados geoposicionados. Já os métodos estatísticos tradicionais não levam em conta a influência da localização espacial das amostras, considerando-as independentes espacialmente.

Os métodos geoestatísticos levam em conta a correlação espacial entre as amostras, a aleatoriedade do corpo mineralizado em estudo e permitem avaliar o erro cometido na avaliação (Andriotti, 1988). O seu embasamento matemático garante a confiabilidade do método e sua utilização racional aliada com o entendimento físico do problema possibilitam bons resultados (Beal *et al.*, 1994).

Este trabalho utiliza a metodologia referida para estimar a cubagem da camada de carvão conhecida como camada I da jazida carbonífera Leão-Butiá através de 182 medidas da espessura da camada carbonífera coletadas por furos de sondagem. Nas diferentes etapas do presente trabalho os dados foram tratados pelo software GSLIB: Geostatistical Software Library, que apresenta uma coletânea de programas da área de Geoestatística.

O objetivo deste estudo é aplicar este conhecimento como um ferramenta para avaliação criteriosa da cubagem da camada carbonífera a partir da malha de amostragem existente.

A ÁREA ESTUDADA

O local de estudo situa-se a norte do município de Butiá, Rio Grande do Sul, (Fig. 1), na bacia carbonífera Leão-Butiá ou simplesmente Butiá, distando aproximadamente 100 Km de Porto Alegre, por acesso rodoviário.

CONFIGURAÇÃO GEOLÓGICA

Ao final do Ciclo Brasileiro (700-450 M. a.), em condições tardi-a-pós orogênicas, diversas unidades sedimentares foram acumuladas sobre a então recém-estabilizada Plataforma Sul-Americana, cujos

restrita às reativações de falhamentos do embasamento. Localmente fraturas das rochas do embasamento foram reativadas e as falhas se propagaram em direção às rochas sedimentares mais jovens ou ainda, novas falhas se formaram. Sob estas condições de relativa tensão, a principal característica da deformação ocorrida foi por movimentação vertical.

AMOSTRAGEM

Os furos de sondagens em número de 182 situam-se em uma malha aproximadamente regular, distando de aproximadamente 500 metros uns dos outros (Fig. 2).

METODOLOGIA

Os dados do presente estudo foram tratados em três diferentes etapas assim denominadas: estatística descritiva, análise da continuidade espacial e estimativas.

Estatística Descritiva

É útil para se verificar os parâmetros estatísticos básicos, como: média, mediana, quartis, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, assimetria e curtose. Por meio do histograma (Fig. 3) identifica-se a presença de valores erráticos, se há homogeneidade, se há mais de uma população e também qual o tipo de distribuição de freqüência.

Teste de Normalidade do conjunto de dados da espessura da camada I.

Podemos medir o coeficiente de correlação r dos quantis da amostra e os quantis que se esperaria

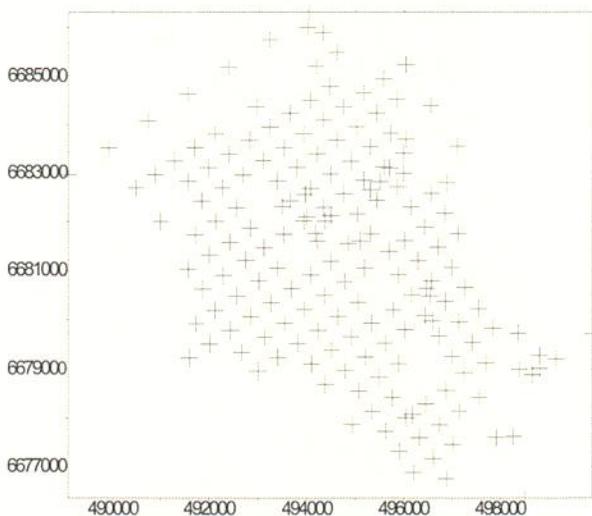


Figura 2 - Mapa de pontos da amostragem.

observar se a observação fosse distribuída normalmente e comparar o resultado com valores tabelados, (Jonhson & Wichern, 1982). Para os dados amostrais o valor calculado de r foi = **0,993**. Verificando o valor tabelado para 182 dados amostrais que são: 0,98934 para 1% de significância e 0,99256 para 5% de significância, observa-se que o valor r calculado é maior que os valores tabelados tanto para 1% e 5% de significância, e que r não cai na região crítica. Portanto, não temos evidência contra a hipótese de normalidade na distribuição dos dados.

Análise da Continuidade Espacial

Intencionado ser diferente de outras estatística, as quais usam covariância e correlação para caracterizar a continuidade, a Geostatística usa o momento de inércia ou simplesmente o variograma ($\gamma(h)$) para aquela finalidade.

$$\gamma(h) = 1/2Nh \sum_{i=1}^{Nh} [X(x_i) - X(x_i+h)]^2$$

Onde $X(x_i)$ é o valor da variável X na posição (x_i) , $X(x_i+h)$ é o valor da variável X na posição (x_i+h) e Nh é o número de pares de valores separados entre si por uma magnitude h na direção do vetor.

Para Journel & Huijbregts (1975) o estudo da análise variográfica é detectar a principal característica estrutural do fenômeno regional em observação, pela análise dos variogramas experimentais. A informação estrutural obtida deve ser continuamente comparada com o conhecimento das características do fenômeno (geológico, tectônico ou mineral).

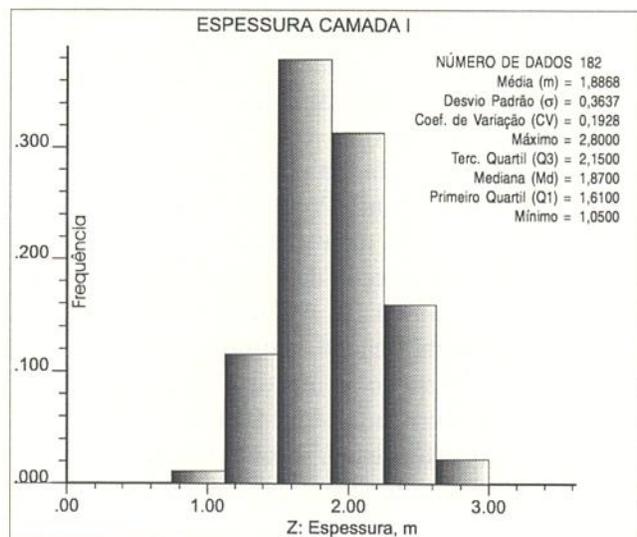


Figura 3 - Histograma dos dados amostrados da espessura da camada I.

A Escolha dos Parâmetros do Variograma

É necessário escolher a distância h de separação entre os pares (passo), o número de passos, a tolerância do passo e o ângulo azimutal da direção do passo. Para a distância de separação entre os pares da amostras é observado, geralmente, o padrão da campanha de amostragem e costuma-se adotar um tolerância superior a metade o passo. O número de passos deve ser suficiente para cobrir a área amostrada na direção do variograma. As direções dos variogramas devem cobrir de toda área amostrada por medidas regularmente espaçadas, salvo o conhecimento prévio de outras informações. O software que calcula os variogramas chama-se *gamv* e pertence ao GSLIB (Deutsch & Journel, 1996).

Para os variogramas da camada de carvão I os parâmetros foram os seguintes:

Número de passos: 20, separação dos passos: 500 metros, tolerância: 300 metros, número de direções: 14, tolerância angular: 40 graus e banda do ângulo de direção: 1000 metros.

As direções escolhidas foram a cada 15°, assim a primeira foi com azimute de 0° a segunda com 15°, a terceira com 30° e assim por diante até 180°.

Beal *et al.* (1994) afirmam que é difícil encontrar-se um depósito mineral ou qualquer outro fenômeno natural cuja continuidade seja igual em todas as direções (isotropia). Quando as variáveis geoposicionadas variam de forma diferente de acordo com uma direção definida, diz-se haver anisotropia.

As observações dos semivariogramas direcionais permite identificar a existência ou não de direções diferenciadas na continuidade espacial do conjunto de dados amostrados.

A análise dos resultados dos variogramas direcionais obtidos mostram claramente a evidência de anisotropia na continuidade da distribuição espacial da espessura da camada I. Apontam uma anisotropia com máxima continuidade na direção 135° de azimute e mínima continuidade espacial na direção 45° de azimute. Pode-se ainda afirmar que na direção 45° existe uma variação rápida de continuidade e que na direção de 135° existe uma variação lenta na continuidade. A figura 4 mostra a elipse dos alcances, identificando as direções de 45° e 135° correspondendo ao eixos menor e maior da elipse.

A anisotropia identificada classifica-se como do tipo geométrico, já que, os semivariogramas nas diversas direções apresentam os mesmos patamares e efeitos pepita, mas diferentes alcances.

O modelo escolhido para especificar matematicamente a variabilidade espacial dos conjuntos de dados camada I foi o modelo esférico, cuja fórmula é:

$$Y(h) = C_0 + C_1 \{ [3/2 * h/a] - [1/2 * (h/a)^2] \}$$

Sendo C_0 = efeito pepita, $C_1 = (Sill - C_0)$, a = alcance e $h = 2/3 a$.

Estimativas

Os processos de estimativas geralmente envolvem uma combinação linear (Issaks & Srivastava, 1996), sendo o valor estimado calculado pela seguinte fórmula:

$$\hat{v} = \sum_{i=1}^n w(i) * v(i)$$

Onde v_1, v_2, \dots, v_n são os valores dos dados amostrais disponíveis e $w(i)$ são os n pesos consignados aos valores de $v(i)$.

Desta forma nos podemos estimar qualquer ponto onde não temos amostras usando uma combinação linear ponderada. A relação das amostras disponíveis com o restante dos desconhecidos será dada por um tipo de modelo: geológico, probabilístico ou determinístico.

Existe uma grande incerteza sobre o que acontece nos locais não amostrados. Por esta razão os processos geoestatísticos de estimativas são baseados em modelos probabilísticos que reconhecem esta inevitável incerteza. O modelo probabilístico permite incorporar a incerteza por considerar as amostras como resultado de um processo aleatório.

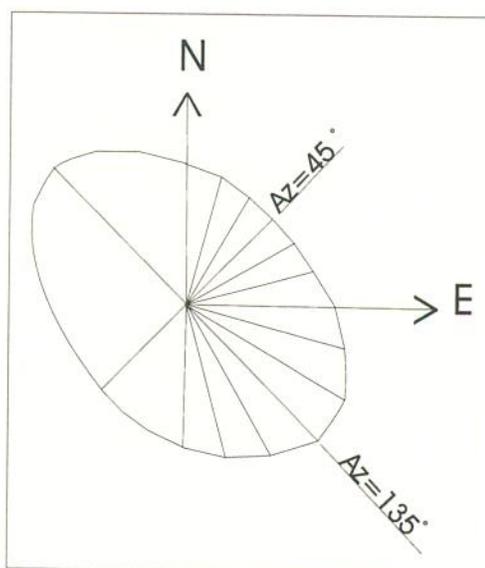


Figura 4 - Elipse dos alcances com eixos de maior e menor continuidades.

O Conceito de Função e Variável Aleatórias

Variável aleatória (VA) é uma variável que assume certos números ou valores numéricos de acordo com uma certa distribuição de probabilidade. Considerando, por exemplo, o teor de cobre = 1,5% como $z(x_1)$ em um local particular de um depósito de cobre. Este teor pode ser considerado como uma realização de uma certa VA $Z(x_i)$ definida no ponto x_1 . Então o conjunto de teores em todos os outros pontos x do depósito, i. é, a Variável Regionalizada (VR) de $z(x)$ pode ser considerada como uma realização de um conjunto de $R V\{Z(x), x \text{ e ao depósito de cobre}\}$. Este conjunto de VR é chamado de função aleatória (FA), e escrita como $Z(x)$, (Journel & Huijbregts, 1975).

Podemos afirmar então de outra forma que FA é um conjunto de VA com alguma localização espacial e com uma distribuição específica associada. Uma FA tem muitas realizações e cada uma das quais passa pelos valores das amostras disponíveis e tem um padrão de continuidade espacial especificado pelo modelo. Para qualquer ponto que tentamos estimar um valor desconhecido, nosso modelo de função aleatória é assumido como estacionário, pois terá uma mesma lei de probabilidade. O valor esperado do erro de estimativa em qualquer local é geralmente referido como tendencioso (bias). Estabelecendo-se que o valor esperado do erro seja zero, para garantir o não tendenciosidade, necessariamente teremos que restringir que a soma dos pesos da combinação linear ponderada somem 1.

Método de Estimação por Krigagem Ordinária

É um método de interpolação conhecido pelo acrônimo B.L.U.E., que representa "best linear unbiased estimator". É linear porque suas estimativas são uma combinação linear ponderada, é 'unbiased' (não tendencioso) pois tenta manter média do erro residual igual a zero, e é 'best' porque almeja minimizar a variância do erro residual.

Na prática o erro médio e a variância do erro médio são sempre desconhecidos. Então é construído um modelo de probabilidade no qual o tendenciosidade (bias) e a variância do erro podem ser ambos calculados. Escolhe-se os pesos para pontos amostrais próximos que asseguram que o erro médio do modelo seja exatamente zero e que a variância do erro do modelo seja minimizada. A krigagem ordinária pode ser resumida por um siste-

ma de matrizes: $C * W = D$, onde C é uma matriz quadrada com diagonal principal positiva, que representa a função covariância da distância h entre os pontos amostrais, W é o vetor com os pesos de ponderação e o termo lagrangeano e D é um vetor que representa a função covariância da distância h que separa os pontos amostrais e o ponto estimado. Então conhecendo-se todos os n pesos poderemos calcular o valor do ponto estimado e a variância minimizada do erro.

Uma vez que tenham sido realizados os processos de estimativas por krigagem ordinária, é necessário fazer a validação do processo. A primeira etapa da validação é verificada pela plotagem dos valores do erro de estimativa. A média do erro de estimativa do modelo deve ser zero. A figura 5 mostra o histograma da distribuição do erro de estimativa.

A segunda maneira de validarmos o processo é através da rotina de validação cruzada existente no programa kt3d da GSLIB. Esta rotina executa o seguinte procedimento: um ponto amostral é retirado do conjunto e usando as demais amostras estima-se este mesmo ponto por krigagem ordinária usando o mesmo modelo. O procedimento é executado para todos os demais pontos amostrais. O valor esperado deverá ser o mais próximo possível do valor verdadeiro. Uma maneira de se visualizar a comparação entre o valor estimado e o valor verdadeiro é através de escaterograma, figura 6. A disposição próxima a linha de 45° indica que o modelo variográfico reproduz adequadamente a continuidade espacial.

Para se obter a estimativa do volume e posteriormente a cubagem do carvão *in situ* da camada

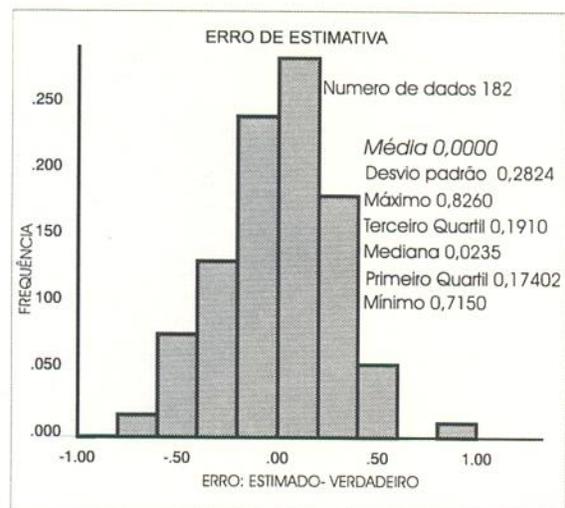


Figura 5 - Histograma do erro médio de estimativa da krigagem ordinária.

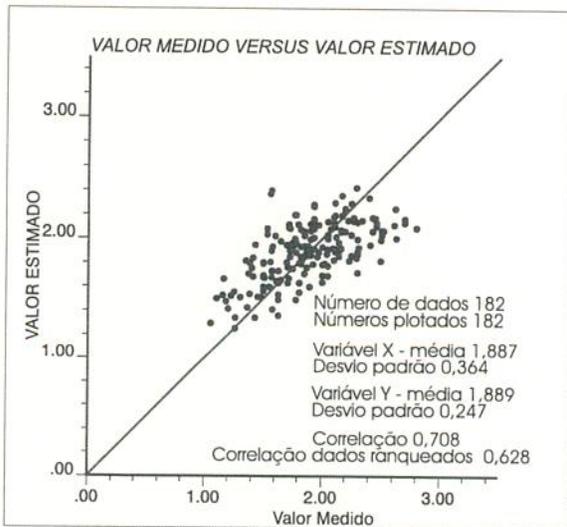


Figura 6 - Validação cruzada da krigagem ordinária.

I na área de estudo, inicialmente é necessário, a determinação da extensão da superfície pesquisada. Borba & Correa, (1994) salientam que para a estatística a área pode ser considerada rigorosamente aquela circunscrita à poligonal convexa delimitada pelos furos de sondagem.

Desta forma para o cálculo da área da camada de carvão I no local pesquisado, utilizamos o modelo de variograma anterior realizamos uma krigagem ordinária com por blocos, medindo 250 por 250 metros com 16 pontos por bloco (Fig. 7). Assim foram criados 1710 blocos com área individual de 62500 metros quadrados, resultando numa área total de 106.875.000,00 metros quadrados. A imagem do erro de estimativa está mostrada na figura 8.

Esta mesma krigagem efetuada acusou os seguintes resultados:

Média: 1,88

Variância: 0,0583

Desvio Padrão: 0,2414

O volume total de carvão pode ser estimado simplesmente pela multiplicação da média de todos os valores de espessura ao longo da malha pelo somatório das áreas das unidades que o compõem. E o volume de carvão pode ser convertido de uma medida cúbica para tonelagem usando para tal a densidade do minério (Costa, 1991).

Ao se multiplicar a área por a média da espessura, cerca de 50% do volume está sendo superestimado e 50% do restante estará sendo subestimado, ocorrendo uma perfeita compensação (Borba & Correa, 1994).

A média da espessura se refere a camada total de carvão (C T). Segundo DNPM 1996) o carvão contido na camada (C C) para o estado do RS corresponde a 80% do camada total (C T). Então, $106.875.000,00 \text{ m}^2 * 1,50 \text{ m} = 160.312.500 \text{ m}^3$ que é o volume total estimado de carvão na camada.

Para no cálculo de uma reserva mineral o que se faz é uma estimativa por meio de tratamento estatístico dos valores amostrados de uma ocorrência mineral. E seria, portanto, mais correto adotar a terminologia de estimativa de reserva em vez de cálculo de reserva (Freitas 1985).

Ao se considerar o peso específico de **1,75 ton/m³** conforme DNPM (1996) para o carvão

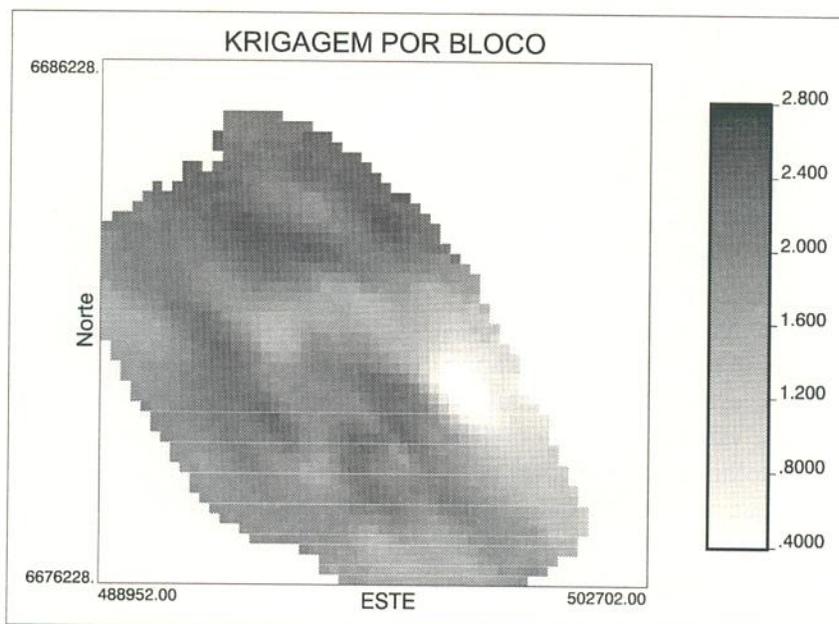


Figura 7 - Imagem da estimativa por krigagem ordinária por blocos.

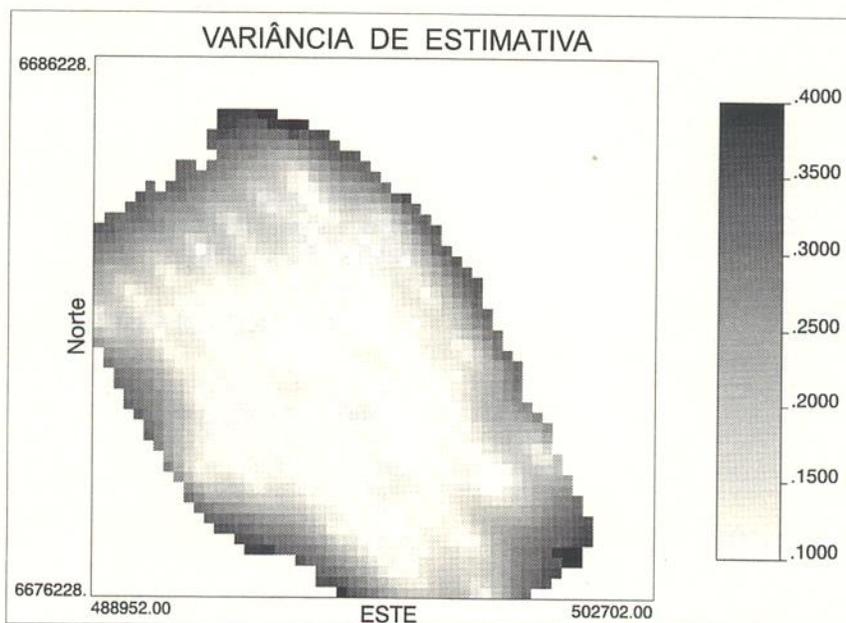


Figura 8 - Imagem da variância de estimativa do processo de krigagem por blocos.

existente na camada I, na área amostrada, chega-se ao resultado de **280.546.875 toneladas**, ou seja, **280,5 milhões de toneladas** como sendo a reserva total de carvão *in situ* estimada da camada I na área medida.

Ao realizar estimativa devemos indicar a margem de erro associado a nossas estimativas.

Há dois tipos de estimativas de parâmetros de uso comum na estatística. Um é chamado estimativa por ponto e o outro, estimativa por intervalo. Uma estimativa por ponto é a espécie familiar de estimativa, i. é., um número obtido por operações sobre os valores da amostra, que serve como uma aproximação do parâmetro estimado. Por exemplo a média da amostra é uma estimativa por ponto da média da população (Hoel, 1977).

Uma estimativa por intervalo para um parâmetro é um intervalo determinado por dois números obtidos de operações sobre os valores amostrais que se espera contenha o valor do parâmetro, no seu interior. A estimativa por intervalo é usualmente construída da tal maneira que a probabilidade do intervalo conter o parâmetro possa ser especificada. A vantagem da estimativa por intervalo é que ela mostra quão precisamente o parâmetro está sendo estimado. Se a extensão do intervalo é muito pequena, uma alta precisão foi atingida. Tais estimativas por intervalo são chamadas de intervalos de confiança.

Fonseca & Martins (1996) destacam que a partir de intervalos de confiança, construídos a partir dos elementos amostrais, pode-se inferir sobre um parâmetro populacional. O cálculo do intervalo

de confiança quando conhecida a variância amostral é efetuada pela seguinte fórmula:

$$P[x - z(\alpha/2)(\sigma/\sqrt{N}) \leq \mu \leq x + z(\alpha/2)(\sigma/\sqrt{N})] = 1 - \alpha$$

P = probabilidade

x = média amostral

z = variável reduzida normal

α = nível de significância

σ = desvio padrão amostral

μ = média da população

N = tamanho da amostra

Aplicando a fórmula acima para a média da krigagem por blocos com um nível de significância de 95%.

$$P[1,50 - 1,96 * (0,2414/\sqrt{182}), \mu, 1,50 + 1,96 * (0,2414/\sqrt{182})] = 95\%$$

$$P[1,50 - 0,0351, \mu, 1,50 + 0,0351] = 95\%$$

[1,46 ; 1,53] é o intervalo que contém a média da população com 95% de confiança.

Para um nível de confiança de 68,26% o cálculo é o seguinte:

$$P[1,50 - 1 * (0,2414/\sqrt{182}), \mu, 1,50 + 1 * (0,2414/\sqrt{182})] = 68,26\%$$

$$P[1,50 - 0,0179, \mu, 1,50 + 0,0179] = 68,26\%$$

[1,48 ; 1,52] será o intervalo que conterá a média verdadeira com 68,26% de confiança.

Desta forma, a partir dos intervalos de confiança da média da espessura da camada I de carvão podemos estender os intervalos de confiança para as variáveis volume e tonelagem da reserva. Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Cálculo da tonelagem para a espessura mínima e máxima com intervalo de confiança de 95%.

| INTERVALO DE CONFIANÇA – 95% | | |
|------------------------------|-------------|-----------------|
| Espessura (m) | Volume (m³) | Tonelagem (ton) |
| 1,46 | 156.037.500 | 273.065.625 |
| 1,53 | 163.518.750 | 286.157.813 |

Tabela 2 - Cálculo da tonelagem para a espessura mínima e máxima com intervalo de confiança de 68,26%.

| INTERVALO DE CONFIANÇA – 68,26% | | |
|---------------------------------|-------------|-----------------|
| Espessura (m) | Volume (m³) | Tonelagem (ton) |
| 1,48 | 158.175.000 | 276.806.250 |
| 1,52 | 162.450.000 | 284.287.500 |

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de krigagem por blocos acusou para a espessura da camada total de carvão a média de 1,88 metros. Considerando o carvão contido na camada como sendo de 80% da camada total de carvão, estimamos a tonelagem de carvão *in situ* para a camada I, na área amostrada, dentro do intervalo de 273.065.625 a 286.157.813 toneladas com nível de confiança de 95%.

A seqüência da metodologia descrita neste trabalho, para estimar a camada de carvão, pode ser utilizada para estimar outras variáveis geoposicionadas a partir de um conjunto de amostragens.

Uma vez tendo sido feita a amostragem dos dados, o passo seguinte é a estimativa do conjunto que aliado a outras informações serão usados para tomadas de decisões. A Geoestatística se insere na etapa de estimação como uma eficiente ferramenta de apoio pela sua capacidade de capturar com precisão a forma da continuidade espacial do objeto estudado. Por ser um critério mensurável e objetivo é fator importante para a tomada de decisão no planejamento sobre muitos dados das ciências da terra. Embora seja um suporte eficiente, de forma alguma dispensa o profundo conhecimento específico das geociências.

Os resultados obtidos neste trabalho estimam a tonelagem da camada "I" através da técnica

de krigagem ordinária que é a única dentre os diferentes processos de interpolação, que minimiza a variância do erro e torna a média do erro igual a zero para o modelo adotado.

Agradecimentos - Ao Eng. de Minas PhD. João Felipe C. L. Costa emérito professor da disciplina Geoestatística, do DEMIN/PPGEM/UFRGS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andriotti, J. L. S. 1988. Introdução à geoestatística. **Estudos Tecnológicos. Ata Geológica Leopoldensia 27**, Universidade do Vale do Rio do Sinos. São Leopoldo, 51 p.
- Beal, C. R.; Filho, J. C.; Costa, J. F. C. L.; Koppe, J. C. 1994. Estimativa de recursos de carvão por análise geoestatística. **Egatea**. Escola de Engenharia da UFRGS. Porto Alegre, **22 (1)**: 46-56.
- Borba R. F.; Correa, T. 1994. Uso da estatística na avaliação preliminar de uma área carbonífera – exemplo de Leão-Norte/RS. **Egatea**. Escola de Engenharia. Porto Alegre, **22 (1)**: 39-45.
- CONCARBO. Conselho Estadual do Carvão Mineral - 1983. [Porto Alegre: Corag]. 51p.
- Corrêa da Silva, Z. C. 1987. Jazidas de carvão no Rio Grande do Sul, Brasil. In: III SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA. **Anais...** Curitiba, 2: 677-687.
- Costa, J. F. C. L. 1991. **Análise do erro de modelos gráficos gerados em computador e sua influência no cálculo de reservas minerais**. Escola de Engenharia da UFRGS, Porto Alegre. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e dos Materiais. Dissertação de Mestrado. 95 p.
- Deutsh, C. V.; Journel, A. G. 1996. **GSLIB: geostatistical software library and user's guide**. Oxford University Press. New York, 340 p.
- Journel, A. G.; Huijbregts, CH. J. 1988. **Mining geostatistics**. Academic Press Inc. New York, 600 p.
- DNPM. 1996. Informativo anual da indústria carbonífera. Ministério das Minas e Energia. Brasília, 260 p.
- Freitas, J. C. F. 1985. **Métodos e técnicas de pesquisa mineral**. DNPM.
- Hoel, Paul G. 1977. **Estatística elementar**. Editora Atlas S. A. São Paulo, 430 p.
- Isaaks, E.; Srivastava, R. 1989. **Introduction to applied geostatistics**. Oxford University Press. New York, 600 p.
- Johnson, R. A.; Wichern, D. W. 1982. **Applied multivariate statistical analysis**. Prentice-Hall. Englewood Cliffs. New Jersey. 300p.
- Junior, A. G.; Costa, J. F. C. L.; Gravonski, J. D. 1994. Avaliação de recursos da malha IV da mina de candiota por métodos geoestatísticos. **Egatea**. Escola de Engenharia da UFRGS. Porto Alegre, **22 (2)**: 41-49.
- Milani, E. J.; França, A. B.; Schneider, R. L. 1994. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**. Rio de Janeiro, **8 (1)**: 69-82, jan/mar.
- Zalan, P. V.; Wolf, S. Astofoli, M. A. M.; Vieira, I. S.; Appi, V. T.; Zanutto, O. A. 1987. Tectônica e sedimentação da bacia do paraná. In: III SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA. **Atas...** Curitiba, 1: 441-477.