

UTILIZAÇÃO DE GEOESTATÍSTICA NA ESTIMATIVA DA ESPESSURA DE CARVÃO NA MINA 08 EM FIGUEIRA, PR

Jorge Luís Gineites Daronco Filho¹

Luis Eduardo De Souza²

Resumo:

O objetivo primordial desse trabalho é, por meio do emprego de técnicas geoestatísticas, estabelecer um modelo de continuidade e anisotropia para a variável em estudo, neste caso a espessura da camada de carvão, correlacionando-o com o conhecimento geológico da bacia carbonífera. A área de estudo localiza-se no município de Figueira, situado na região centro norte do estado do Paraná, e está a aproximadamente 300 km ao noroeste da capital do estado, Curitiba. Composto o banco de dados utilizado para a realização deste trabalho estão 99 amostras, provenientes de campanhas de sondagem realizadas pela empresa Carbonífera do Cambuí Ltda., em diferentes estágios da pesquisa mineral e, atualmente, em fase de produção. Este depósito de carvão está inserido na Bacia do Paraná e é encontrado na Formação Rio Bonito, tendo sido depositado durante o período Permiano. A geoestatística utiliza-se de ferramentas e procedimentos, destacando-se a variografia, para descrever e quantificar a distribuição espacial da variável de interesse, estabelecendo um modelo matemático que descreve a interdependência espacial dos dados, mas de acordo com os processos formacionais que originaram o depósito. O método de estimativa empregado neste trabalho foi a Krigagem Ordinária, uma das técnicas de estimativas mais empregadas devido ao seu caráter robusto, realizando-se estimativas por combinação linear ponderada, mas levando em consideração na estimativa a proximidade das amostras, a redundância de dados amostrais, as relações de anisotropia e a magnitude da continuidade espacial da variável de interesse. Pode-se constatar que com a metodologia empregada foi possível: (i) consolidar um banco de dados de informações quantitativas (ii) estabelecer um modelo de continuidade e anisotropia para a camada de carvão (iii) quantificar os recursos minerais da jazida. Este estudo colabora com a compreensão da distribuição espacial da espessura da camada do depósito de carvão que vem sendo lavrado desde 2013 e, pelo fato de adotar um modelo de estimativa que utiliza técnicas diferentes das que vêm sendo utilizadas até então na avaliação deste depósito, este trabalho poderá ser útil possibilitando uma comparação entre os resultados obtidos com diferentes métodos.

Palavras-chave: GEOESTATÍSTICA; ESTIMATIVA; KRIGAGEM ORDINÁRIA.

Modalidade de Participação: Iniciação Científica

**UTILIZAÇÃO DE GEOESTATÍSTICA NA ESTIMATIVA DA ESPESSURA DE CARVÃO NA
MINA 08 EM FIGUEIRA, PR**

¹ Aluno de graduação. jorgedaroncofilho@gmail.com. Autor principal

² Docente. luissoouza@unipampa.edu.br. Orientador

Anais do 10º SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO - SIEPE
Universidade Federal do Pampa | Santana do Livramento, 6 a 8 de novembro de 2018

UTILIZAÇÃO DE GEOESTATÍSTICA NA ESTIMATIVA DA ESPESSURA DE CARVÃO NA MINA 08 EM FIGUEIRA, PR

1 INTRODUÇÃO

O objetivo primordial desse trabalho é, por meio do emprego de técnicas geoestatísticas, estabelecer um modelo de continuidade e anisotropia para a variável em estudo, neste caso a espessura da camada de carvão, correlacionando-o com o conhecimento geológico da bacia carbonífera. A área de estudo localiza-se no município de Figueira, situado na região centro norte do estado do Paraná, e está a aproximadamente 300 km ao noroeste da capital do estado, Curitiba. Composto o banco de dados utilizado para a realização deste trabalho estão 99 amostras, provenientes de campanhas de sondagem realizadas pela empresa Carbonífera do Cambuí Ltda., em diferentes estágios da pesquisa mineral e, atualmente, em fase de produção. Este depósito de carvão está inserido na Bacia do Paraná e é encontrado na Formação Rio Bonito, tendo sido depositado durante o período Permiano. A geoestatística utiliza-se de ferramentas e procedimentos, destacando-se a variografia, para descrever e quantificar a distribuição espacial da variável de interesse, estabelecendo um modelo matemático que descreve a interdependência espacial dos dados, mas de acordo com os processos formacionais que originaram o depósito. O método de estimativa empregado neste trabalho foi a Krigagem Ordinária, uma das técnicas de estimativas mais empregadas devido ao seu caráter robusto, realizando-se estimativas por combinação linear ponderada, mas levando em consideração na estimativa a proximidade das amostras, a redundância de dados amostrais, as relações de anisotropia e a magnitude da continuidade espacial da variável de interesse. Pode-se constatar que com a metodologia empregada foi possível: (i) consolidar um banco de dados de informações quantitativas (ii) estabelecer um modelo de continuidade e anisotropia para a camada de carvão (iii) quantificar os recursos minerais da jazida. Este estudo colabora com a compreensão da distribuição espacial da espessura da camada do depósito de carvão que vem sendo lavrado desde 2013 e, pelo fato de adotar um modelo de estimativa que utiliza técnicas diferentes das que vêm sendo utilizadas até então na avaliação deste depósito, este trabalho poderá ser útil possibilitando uma comparação entre os resultados obtidos com diferentes métodos.

2 METODOLOGIA

O principal material que possibilitou o desenvolvimento deste estudo trata-se do banco de dados físicos de produção de sondagem rotativa a diamante oriundos de campanhas de sondagem executada pela Companhia Carbonífera do Cambuí Ltda. O banco de dados utilizado é constituído por 99 amostras, isto é, 99 furos de sondagem irregularmente espaçados.

Além do banco de dados fornecido pela Carbonífera do Cambuí Ltda., foram utilizados diferentes *softwares* para o desenvolvimento do trabalho em cada uma das etapas. Dentre os *softwares* utilizados, tem-se o Excel®, GsLib®, SGeMS®, Surfer®.

O *software* Excel® foi utilizado para organização dos dados e elaboração do sumário estatístico. O GsLib®, que é um acrônimo para *Geostatistics Software Library*, é um pacote de programas desenvolvido na Universidade de Stanford com utilidade prática no campo da modelação em geociências, particularmente com geoestatística. O SGeMS® é um *software* de modelação em geoestatística e foi utilizado tanto para a construção dos variogramas, quanto para elaboração de modelos bidimensionais, já o Surfer® foi utilizado para gerar mapas de isópacas por diferentes métodos.

Todas as informações de sondagem disponíveis foram organizadas em um banco de dados de modo a permitir facilmente a migração dos dados nos formatos adequados, para os softwares de geoestatística e avaliação de depósitos utilizados.

Esta tabela pôde ser aberta no Excel, onde foi dado o formato final para a importação pelos *softwares* GsLib® e SGeMS®, onde foi realizada toda a análise Geoestatística dos dados.

A Geoestatística trata-se de uma ferramenta de grande utilidade para a quantificação e qualificação das características da distribuição espacial de fenômenos naturais (ISAACS & SRIVASTAVA, 1989).

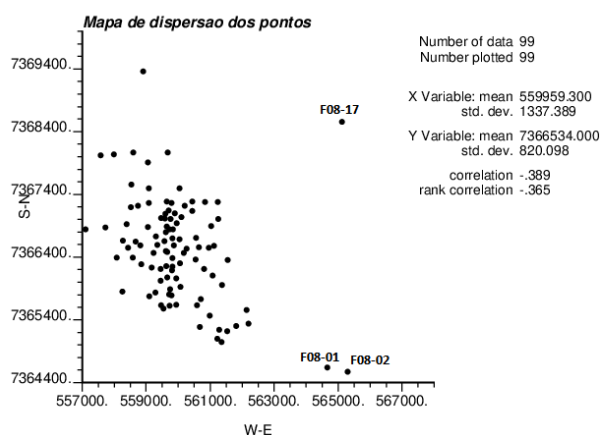
A análise geoestatística consiste na aplicação da metodologia que pode ser organizada na seguinte ordem: análise exploratória dos dados, análise estrutural dos dados, elaboração de estimativas e, por fim, a validação dos métodos aplicados para a obtenção dos resultados.

A análise exploratória utiliza funções estatísticas uni e bivariada para compreender e descrever a natureza espacial da variável. Já a análise estrutural trata-se do estudo da correlação espacial ou continuidade dos dados. A etapa de análise estrutural é uma importante ferramenta para a elaboração de estimativas através do emprego da krigagem. Por fim, realiza-se o estudo de validação dos parâmetros utilizados e dos resultados obtidos.

3 RESULTADOS e DISCUSSÃO

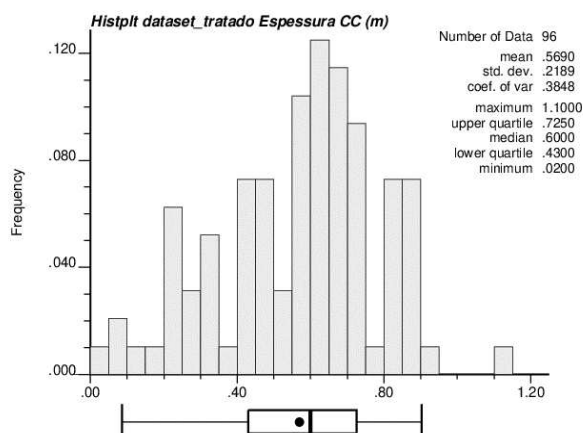
O banco de dados é a base sobre a qual serão feitas todas as inferências sobre o depósito estudado. O mapa de dispersão dos pontos na área amostrada (Figura 1) é uma ferramenta que permite a verificação da consistência do banco de dados. Este mapa indicou que não há valores discrepantes para as coordenadas. Portanto, trata-se de um banco de dados consistente neste quesito.

FIGURA 1 - Mapa de dispersão das amostras. Estão indicadas as três amostras removidas do banco de dados (F08-01, F08-02 e F08-17).



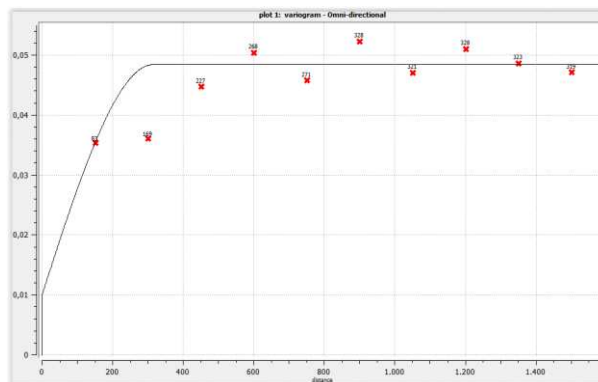
Após a checagem do banco de dados, a etapa de análise exploratória teve continuidade com a utilização da estatística clássica para organizar e sumarizar os dados através da produção de gráficos, tabelas e medidas descritivas. O histograma da variável espessura de camada (Figura 2) revela uma distribuição com leve assimetria negativa (para a esquerda). Isto deve-se ao fato de a média ser inferior ao valor da mediana, respectivamente, 0,56m e 0,60 m.

FIGURA 2 - Histograma contendo a estatística básica do banco de dados tratado. O boxplot indica a média, representada pelo ponto, e a mediana, representada pela barra central da caixa.



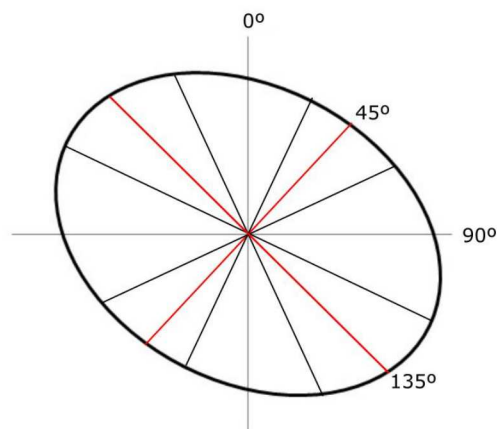
A etapa de análise estrutural tem por objetivo discriminar as principais características do modelo de variabilidade para o fenômeno regionalizado. A partir da construção de variogramas em direções diversas, procurou-se compreender o arranjo espacial dos dados e, desta forma, verificar a continuidade espacial das variáveis considerando as análises de anisotropia e o ajuste global das mesmas. O *software* utilizado para a geração dos variogramas experimentais, e posteriormente, dos modelos variográficos (curva de ajuste aos pontos experimentais), trata-se do SGeMS®. O variograma omnidirecional de melhor estruturação está ilustrado na Figura 3.

FIGURA 3 - Modelo do variograma omnidirecional.



Os alcances encontrados para os variogramas direcionais de cada variável foram empregados na elaboração da elipse de anisotropia (Figura 4). O modelo do variograma utilizado para representar a continuidade espacial da variável analisada foi ajustado pelo método esférico.

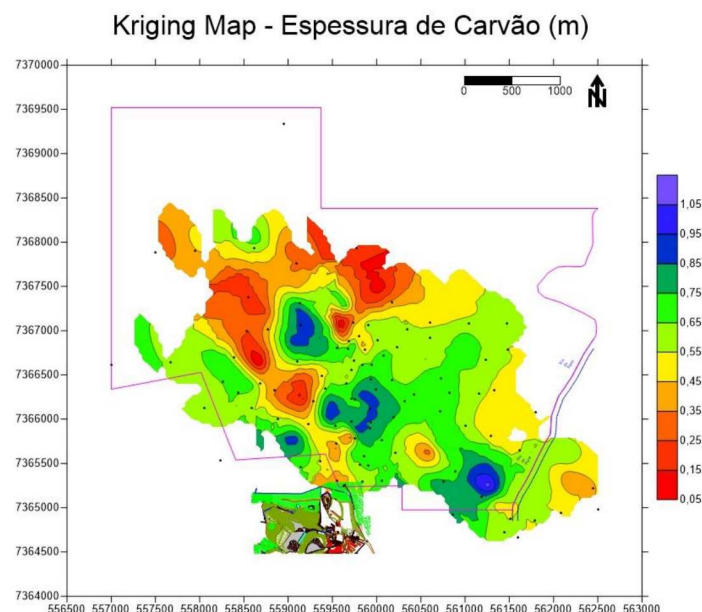
FIGURA 4 - Elipse de anisotropia ilustrando as direções de maior (135°) e menor correlação (45°) entre as amostras.



O processo de validação cruzada e de estimativa foram realizados no executável kt3d do *software* GsLib®. O processo de validação cruzada tem como finalidade estabelecer quais os parâmetros gerariam o menor erro na krigagem ordinária. Para isso foram gerados histogramas dos erros, gráficos de correlação entre valor real e valor estimado e mapa da localização do erro.

A partir da análise de validação cruzada foi realizado o modelo de blocos para a jazida (Figura 5), utilizando os parâmetros de estimativa otimizados durante a etapa de validação cruzada.

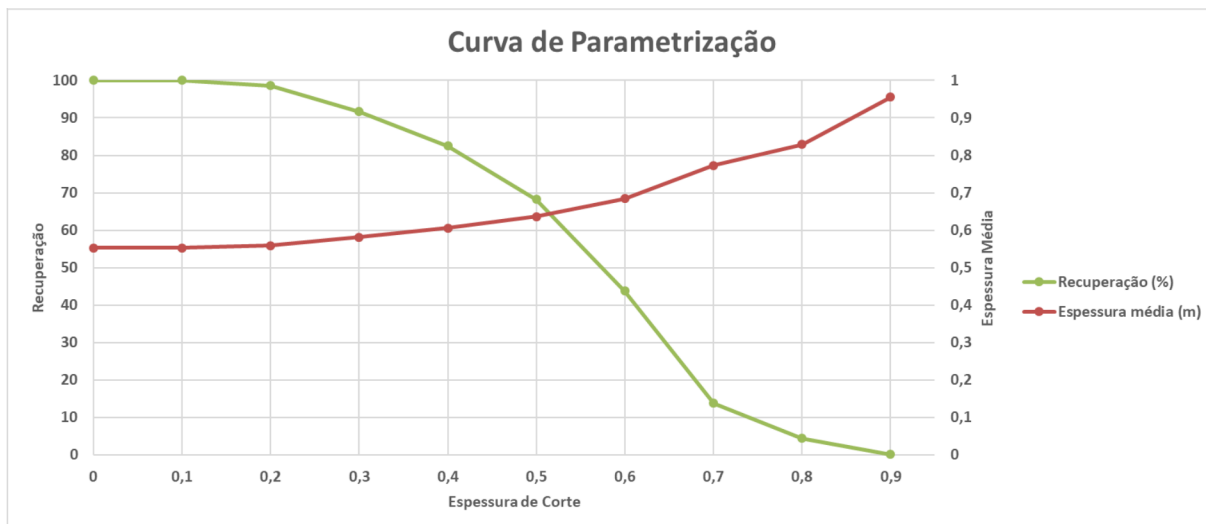
FIGURA 5 - Mapa da variável espessura interpolado a partir da Krigagem Ordinária, a partir dos parâmetros otimizados durante a validação cruzada.



Foi feita uma parametrização das informações do modelo de blocos (Figura 6). A parametrização dos recursos é uma ferramenta que permite classificar a informação geológica em faixas de teor, informando-se também a massa de material naquela faixa, bem como os seus teores médios.

Levou-se em conta para os cálculos de cubagem da jazida uma espessura mínima de 0,50 m de camada de carvão. Para tal, utilizou-se a isópaca de 0,5 m para delimitar a área de lavra do carvão. Para o cálculo da tonelagem do carvão apto a ser lavrado, utilizou-se a espessura média da camada de carvão igual a 0,64 m para a área considerada economicamente lavrável. A densidade do carvão considera nos cálculos é de 1,50 t/m³.

FIGURA 6 - Curvas de Parametrização dos recursos de carvão *in situ*.



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da análise exploratória foi possível identificar a espessura média da camada de carvão, bem como determinar as medidas estatísticas de espalhamento. Através da análise estrutural, realizada com aplicação da rotina geoestatística nos softwares, seguiu-se o estudo variográfico da espessura, onde foi possível estabelecer os parâmetros do e utilizá-los na elaboração das elipses de anisotropia. A partir das informações dos variogramas e dos alcances das elipses, foi realizado o processo de validação cruzada, que antecede a estimativa por krigagem ordinária e visa determinar parâmetros otimizados que produzam o menor erro na estimativa. Após os testes realizados durante esta etapa, os parâmetros considerados como mais adequados foram utilizados para gerar os modelos de bloco do depósito através da aplicação da krigagem ordinária.

Para finalizar o estudo, realizou-se a parametrização do depósito levando-se em consideração cenários distintos, variando-se a espessura de corte. Através da curva de parametrização foi possível classificar a ocorrência de carvão *in situ* em faixas de espessura, informando também os seus teores médios. Por fim, realizou-se os cálculos de cubagem da jazida chegando a medida de 5.833.406 t de carvão para uma espessura de corte igual a 0,50 m.

REFERÊNCIAS

ISAAKS, E.H. & SRIVASTAVA, M.R. 1989. **An Introduction to Applied Geostatistics**. Oxford University Press, New York, 561 p.