

# AVALIAÇÃO DO DEPÓSITO DE CARVÃO DO PROJETO IRUÍ-BUTIÁ

*Kaio Araujo Andretta Silva*

*Orientador: Ítalo Gomes Gonçalves*

## RESUMO

Diferentes métodos para avaliação de depósitos minerais são empregados para estimar e quantificar os recursos/reservas. Para este trabalho foram escolhidos 9 “blocos” pertencentes a uma área da CPRM, que utilizou na década de 70 o método de áreas de influências, método que se baseia na criação de raios para definir áreas que serão configuradas como reservas medidas indicadas e inferidas. No presente trabalho, utilizando-se dos furos de sondagem e das restrições impostas pela companhia para reavaliar e classificar os recursos do depósito mineral com outros cinco métodos: funções de base radial, krigagem, mínima curvatura, triangulação e inverso ponderado da distância; utilizando para comparação do volume encontrado e o volume utilizado pela CPRM. Como resultados podemos observar que o método mínima curvatura é o método mais interessante para se classificar os recursos, visto que apresentou o menor desvio padrão do erro dentre os métodos testados.

*Palavras-chave:* avaliação de depósitos, interpolação, carvão.

## 1 Introdução

O carvão mineral foi uma das primeiras fontes de energia utilizadas em larga escala pelo homem, sendo que sua aplicação para gerar vapor e movimentar as máquinas foi uma das bases da Primeira Revolução Industrial no século XVIII e no fim do século XIX o vapor foi usado para a produção de energia elétrica. De acordo com a Agência de Energia Internacional (IEA), o carvão é a fonte mais utilizada para geração de energia elétrica no mundo, correspondendo 41% da produção total atual (ANEEL, 2008).

No Brasil as reservas de carvão são compostas pelos tipos linhito e sub-betuminoso, sendo que as maiores jazidas se situam nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina além de jazidas menores localizadas no Paraná e em São Paulo (GOMES et al., 1998).

A CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), em meados da década de 70 iniciou uma grande campanha de pesquisa envolvendo os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e São Paulo, para o incentivo da exploração de carvão. As áreas próximas aos municípios de Rio Pardo, Cachoeira do Sul, Butiá e arredores, receberam o nome de “Projeto Iruí- Butiá” a área de pesquisa foi dividida em 9 “blocos”(definidos pela CPRM), sendo que os furos de sondagem dessa campanha foram realizados em 1977 (CPRM, 1978).

Desde então, os dados não receberam atenção significativa, e hoje, com o surgimento de técnicas mais apuradas, observa-se que podem haver resultados diferentes até mesmo mais precisos do que os obtidos na época. Na Figura 1 pode-se observar a área de estudo do presente trabalho.

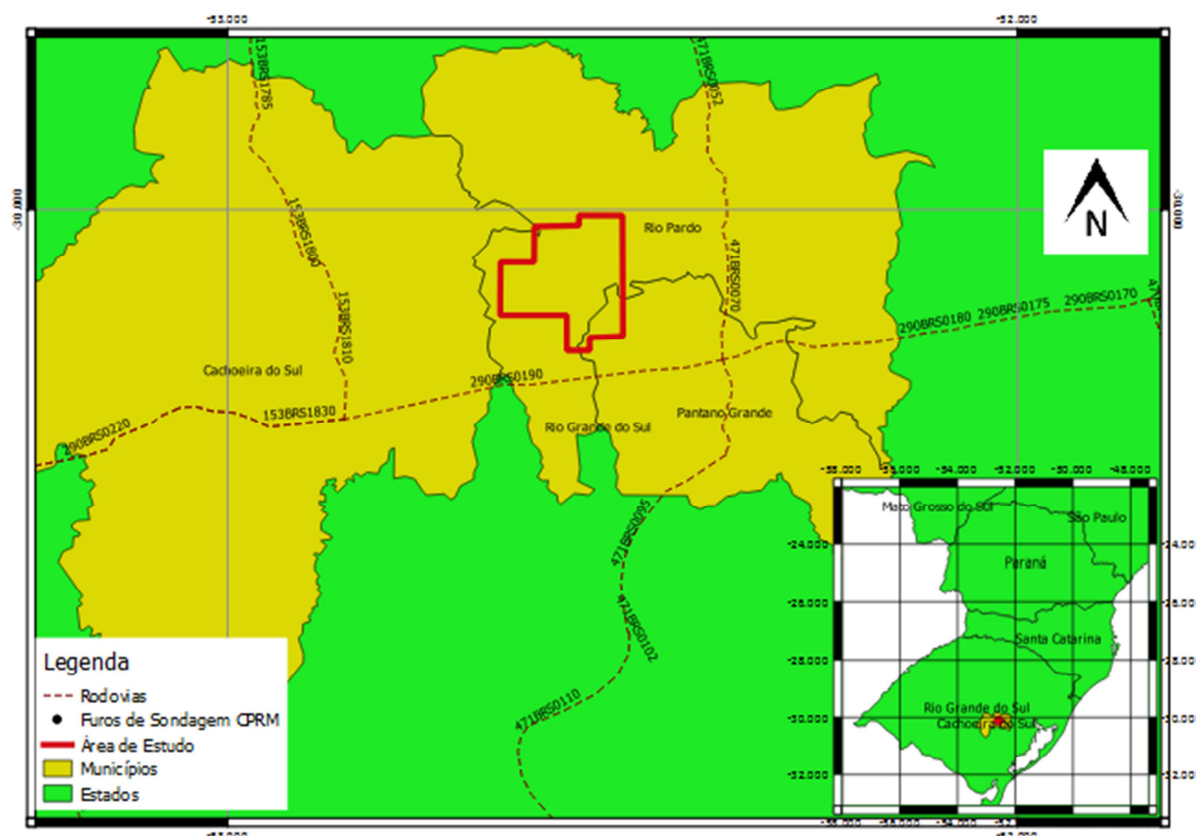


Figura 1: Mapa de Localização da Área de Estudo

### 1.1 Objetivo Geral

O trabalho proposto visa reavaliar a área de estudo com outros métodos de interpolação diferentes dos usados pela CPRM, comparando os resultados obtidos dos métodos: funções de bases radiais, inverso ponderado da distância, triangulação linear, krigagem, mínima curvatura.

### 1.2 Objetivos específicos

- Obter um banco de dados confiável a partir dos relatórios da CPRM;
- fazer análise exploratória do banco de dados;
- aplicar diferentes interpoladores na área e definir qual o que se adequa melhor;
- estimar o volume e a massa do carvão na área definida.

## 2 Revisão Bibliográfica

### 2.1 Geologia

As áreas de estudo estão situadas na borda sul da Bacia Sedimentar do Paraná, e são cortadas por intrusões de diabásio, nos cursos de águas mais significativos são recobertas por sedimentos quaternários não consolidados (CPRM, 1978).

Nas áreas pesquisadas afloram rochas das formações Palermo, Irati, Estrada Nova e Rio do Rastro, também eventualmente observam-se diques e soleiras de diabásio que pertencem a Formação Serra Geral, além de depósitos aluviais quaternários (Figura 2). Em

sondagens a presença das formações Rio Bonito e Itararé, sendo que, a formação Itararé encontra-se discordante sobre o embasamento cristalino, quando essa não se faz presente o contato com as rochas cristalinas mais antigas dá-se pela Formação Rio Bonito (CPRM, 1978).

A formação de maior importância no estudo é a Formação Rio Bonito, pois nela se encontram as camadas de carvão da Bacia do Paraná. Sua espessura média é de 57m e a litologia desta formação é de arenitos finos a médios, esbranquiçados com algumas intercalações de arenitos grosseiros, siltitos cinza e preto, com camadas de carvão, em geral, com estratificação plano-paralela. Junto ao topo, frequentemente, mostra bioturbação e estrutura flaser, acentuando sua gradação para a formação Palermo, que lhe sobrepõe.

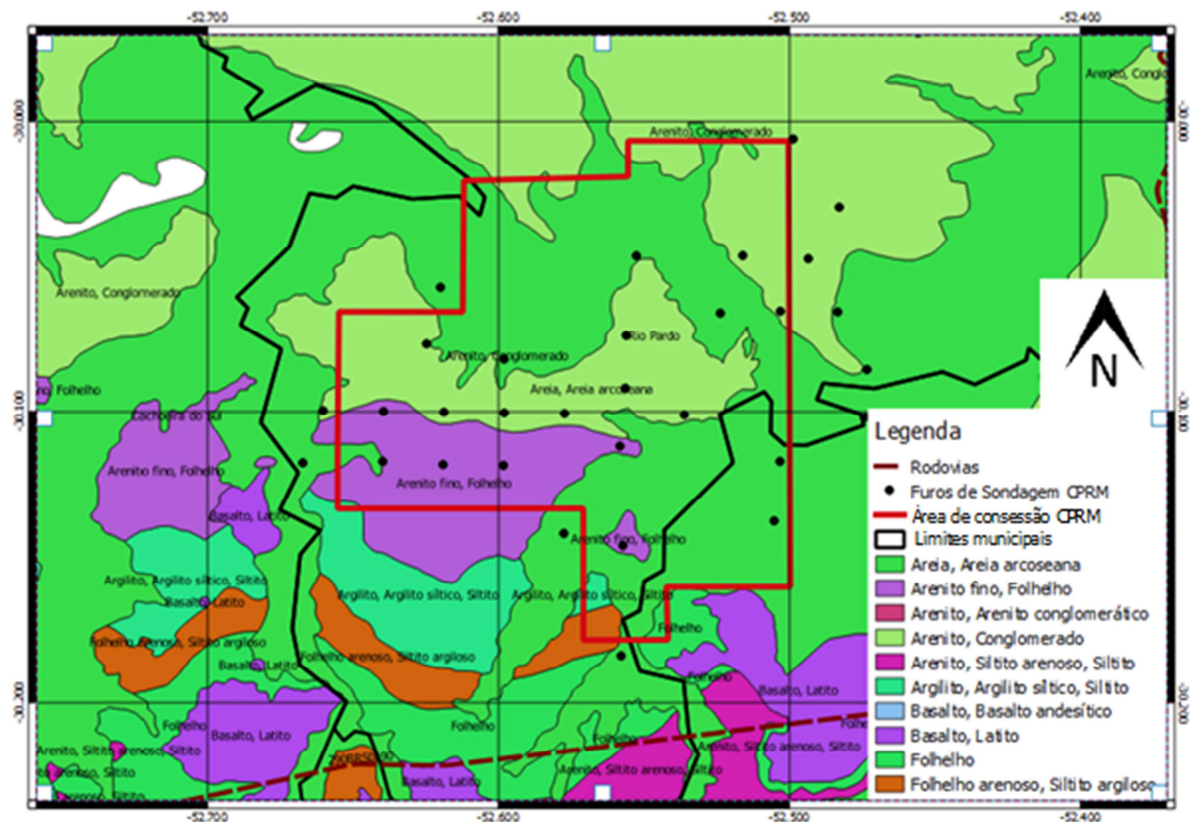


Figura 2 Mapa Geológico da área de estudo

Na figura 3 pode-se observar uma coluna estratigráfica típica da área de estudo

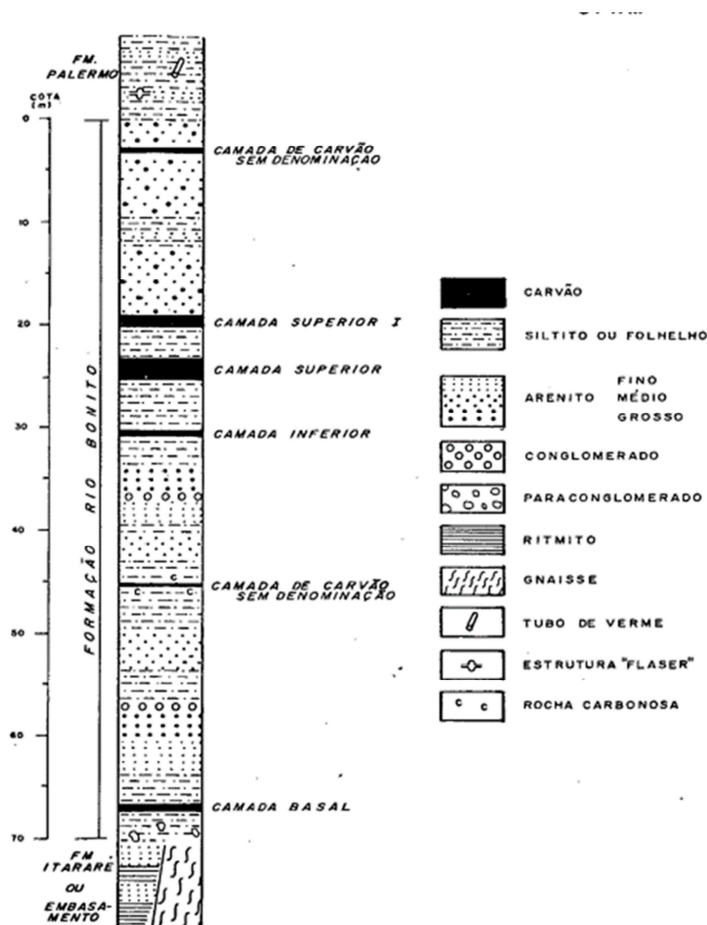


Figura 3 Coluna típica da formação Rio Bonito (CPRM, 1978).

### 2.3 Reservas de Carvão

Sabe-se que as reservas brasileiras correspondem a 1% das reservas totais no mundo. Já em relação ao volume de reservas estima-se a seguinte distribuição: Rio Grande do Sul 89,25%; Santa Catarina 10,41%; Paraná 0,32% e São Paulo 0,02% (ANEEL, 2008).

### 2.4 Classificações do carvão mineral

O carvão mineral é normalmente classificado pelo seu *rank* e *grade* que definem a qualidade do mesmo.

O *rank* é a maturidade geológica do carvão, medido e classificado pelo teor de carbono, que é o estágio de carbonificação deste. As propriedades que permitem definir o *rank* são: umidade, poder calorífico, teores de carbono e hidrogênio ou a fluorescência. O poder calorífico de cada rocha é definido então pelo *rank* sendo a turfa com o menor poder calorífico (4000kcal) e o antracito, um dos maiores (até 8650kcal) (CANO, T. M. 2008). Já o *grade* é a relação de matéria orgânica e carbono sendo: turfa 55% a 60% de carbono; linhito 67% a 78%; hulha de 80% a 90%; e o antracito de 96% de carbono (BRANCO, P. M. 2013).

### 2.4 Trabalhos anteriores

No trabalho de título: Estimativa das camadas de carvão da “Unidade Mineira Leão III” do autor Santos, M. A. N., trata de comparar qual o melhor método para interpolação para o caso estudado que pertence a um dos “blocos” da CPRM, o autor diz em resumo:

“O trabalho tem como objetivo estimar o volume e a tonelagem de carvão da área denominada Leão III, que por sua vez, está localizada no centro oeste do estado do Rio Grande do Sul, utilizando métodos interpoladores trabalhados no software Surfer.” (SANTOS, 2013).

Já no trabalho em 2015 *Análise Comparativa Entre Métodos De Modelagem Geológica*, da autora: Batista, J. D., a autora compara três métodos de modelagem geológica em um banco de dados de minério de ferro, onde se testou a modelagem implícita em funções de bases radiais, o modelamento geoestatístico, e o modelamento manual, observando-se qual método melhor se adequou ao banco de dados estudado (BATISTA, 2015).

### ***2.5 Metodologia adotada pela CPRM***

O método de classificação de recursos utilizado pela CPRM para a definição dos recursos foi o da Área de Influência (Figura 4), método que a CPRM adotou em vários trabalhos, e é parte do sistema empregado pela United States Geological Survey (USGS) (CPRM,1978). Onde:

- recurso medido: aquele contido em círculos com centro nas sondagens e raio de 400m, e, portanto, com área de cerca de 500.000 m<sup>2</sup>. Porém, ao aplicar esse parâmetro restava frequentemente faixas estreitas entre os furos positivos, que permitiam segurança quanto a espessura do carvão e sendo assim, também se incluiu essas áreas às recursos medidos, desde que o centro não se distanciasse mais do que 600 m de qualquer daqueles furos;
- recurso indicado: aquele externo a recurso medido em um raio de 1200 m correspondendo a uma coroa circular de área 4020m<sup>2</sup> e ocorrendo o mesmo caso das recursos medidos onde existem faixas entre os furos. Considerou-se recursos indicados as faixas que não se distanciasse mais de 1500 m de qualquer um dos furos positivos;
- recurso inferido: aquele que se situa além da recurso indicado até isólita de espessura mínima econômica, ou até uma distância máxima de 4800 m.

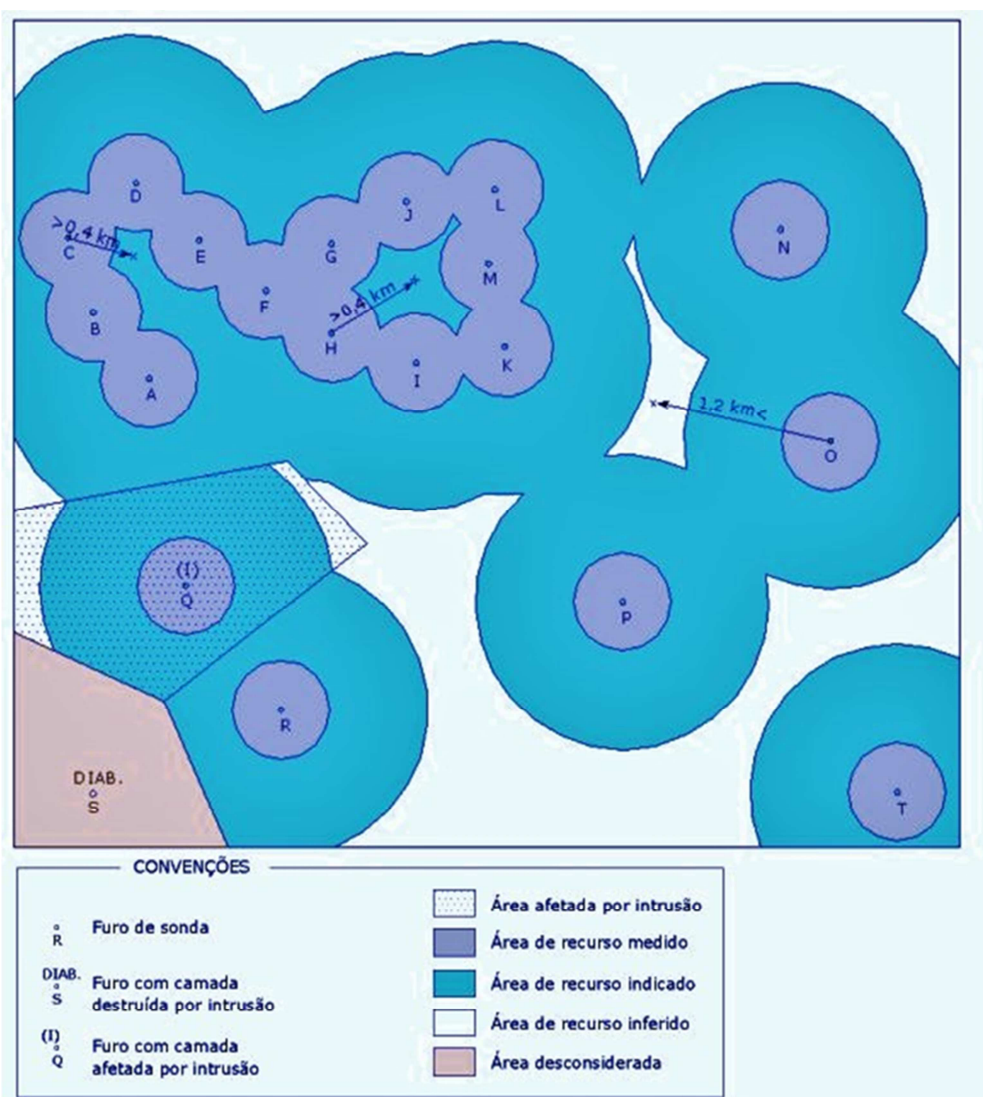


Figura 4: Exemplo de classificação de recursos. Fonte: Souza,2002

## 2.6 Metodologias de avaliação

### 2.6.1 Normas JORC

Segundo as normas JORC (*The Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves*), os recursos minerais são classificados como: inferido, indicado e medido. Portanto o nível de confiabilidade é o parâmetro que se usa para classificar o recurso mineral que leva em conta fatores como: tonelagem, teor, densidades, conteúdo mineral e características físicas. Fatores que dependendo da qualidade e quantidade de informação nos levam a um nível maior ou menor de precisão, e claro, de confiabilidade (JORC, 2012).

### 2.6.2 Geoestatística

A geoestatística é uma ramificação da estatística que usa o conceito de funções aleatórias para incorporar a dependência espacial aos modelos para variáveis georeferenciadas, ou seja, variáveis com posições no espaço. Há vários métodos

desenvolvidos e os de maior destaque são a krigagem e a simulação estocástica (STURARO, 2015).

Por volta de 1950, na África do Sul, D.G. Krige concluiu que não poderia estimar de forma adequada o conteúdo de ouro em blocos mineralizados se não considerasse a configuração geométrica das amostras, ou seja, localização e teor. Estas avaliações, a princípio empíricas e de aplicações localizadas, foram importantes para o engenheiro francês George Matheron desenvolver a teoria que estuda o comportamento de variáveis distribuídas espacialmente e que representam um fenômeno natural. Assim, Matheron, durante a década de 60, generalizou os métodos de estimativa usados por Krige e desenvolveu os fundamentos teóricos da variabilidade de amostragem associada com o tamanho das amostras bem como, formulou uma teoria completa dos erros de estimativas (YAMAMOTO & LANDIN, 2013).

Após os estudos de Matheron com base na tese de Krige, surgiram outras formas de krigagem, como a krigagem normal, simples, ordinária, co-krigagem.

Segundo Landim (2003), o variograma é constituído através de um conjunto de valores obtidos em amostras coletadas em intervalos (de espaço ou tempo) regulares dentro de um mesmo suporte geométrico. Sendo que  $x_1, x_2, x_i \dots x_n$ , que são realizações de uma variável regionalizada, e, considerando que a covariância entre amostras é inversamente proporcional à sua distância, ou seja, é necessário definir um vetor de distância  $\Delta h$  o qual tem orientação específica. Sendo que o primeiro passo é a definição de um semivariograma que é calculado pela seguinte fórmula (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989, YAMAMOTO & LANDIN, 2013):

$$Y(h) = \frac{1}{2N} \sum (z_x - z_{(x+h)}) \quad (1)$$

Onde  $Y(h)$  é a variância dos pares de dados separados pela distância  $h$ , ( $h$ ) é a distância entre os dados que formam um par,  $z_x$  é o valor da variável na posição  $x$ ,  $z_{(x+h)}$  é o valor da variável separada pelo vetor  $h$ , e  $N$  é o número de pares encontrados para cada distancia  $h$ .

Variograma: para aplicar a krigagem é necessário definir um variograma onde com a construção de um gráfico variância x distância, obtém-se o variograma (Figura 5), sobre o qual se ajusta um modelo. Este ajuste é denominado de modelagem variográfica, que tem o objetivo de definir uma função matemática que represente o comportamento dos dados para qualquer distância  $h$  (SOUZA, 2007).

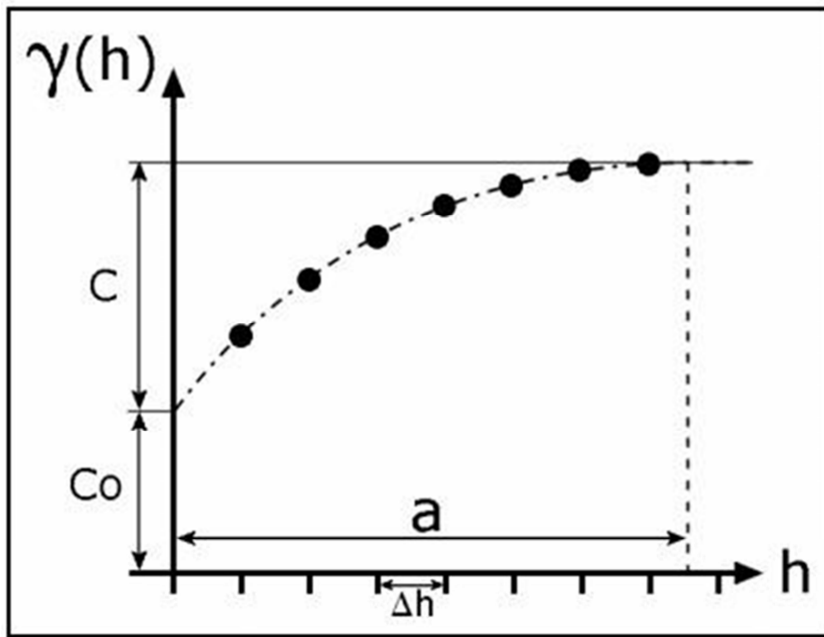


Figura 5: Estrutura de um variograma. Fonte: Souza (2007).

A atribuição de pesos é dada pelo seguinte sistema de equações:

$$\sum_{j=i}^n \lambda_j Cov(x_i, x_j) = Cov(x_0, x_j) \quad (2)$$

Para  $i, j=1, 2, \dots, n$

Onde  $\lambda_i$  é o peso atribuído a amostra,  $Cov(x_i, x_j)$  é a covariância das amostras entre si e  $Cov(x_0, x_j)$  é a covariância da amostra com a amostra que será estimada.

O sistema de equações pode ser escrito em termos matriciais, cuja resolução resulta nos ponderadores da krigagem simples:

$$\begin{bmatrix} C(x_1 - x_1) & C(x_1 - x_2) & \dots & C(x_1 - x_n) \\ C(x_2 - x_1) & C(x_2 - x_2) & \dots & C(x_2 - x_n) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ C(x_n - x_1) & C(x_n - x_2) & \dots & C(x_n - x_n) \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C(x_1 - x_0) \\ C(x_2 - x_0) \\ \vdots \\ C(x_n - x_0) \end{bmatrix} \quad (3)$$

### 2.6.3 Modelagem Implícita

Segundo Bertolani (2010), modelagem implícita é um método que utiliza funções de base radial no processo de interpolação. O modelamento é construído a partir da definição de uma função tridimensional contínua, que representa a distribuição litológica. Neste caso, o conhecimento geológico e a experiência do profissional pouco influenciam no resultado final.

O método de interpolação utilizando funções de bases radiais é uma das várias outras técnicas utilizadas na interpolação multidimensional, que são opções interessantes a serem desenvolvidas devido à facilidade de implementação, rapidez de processamento computacional e precisão dos resultados (BERTOLANI *et al*, 2010).

A problemática pode ser observada da seguinte maneira:

Dados  $n$  pontos distintos  $\{(x_i, y_i, z_i)\}_{i=1}^n$  sobre uma superfície  $M$  em  $R^3$  encontrar uma superfície  $M'$  que seja uma aproximação razoável  $M$  (CARR *et al*, 2001).



Bertolani (2010) define que uma função  $\varphi: R^n \rightarrow R$  é dita radial desde que exista uma função, de um único argumento,  $\varphi: [0, \infty] \rightarrow R$  tal que

$$\varphi(x) = \varphi(r) \quad (4)$$

onde  $x \in R^n$  e  $\|x\|$  é a normal Euclidiana do espaço  $R^n$ .

Simplificando a notação denomina-se que  $r = \|x - c\|$ , cuja interpretação é a distância a partir do ponto definido pelo vetor de  $x$  para o ponto  $c$  e por convenção  $r = \|x\|$ , há um número infinito de funções de base radial. As funções de base radial que são usualmente utilizadas no método de interpolação são chamadas *kernels* (Tabela 1), conforme tabela abaixo (WRIGHT, 2003).

Tabela 1 FBR mais usadas.

Função	Equação
Gaussiana (G)	$\varphi(r_i) = e^{-c^2 r_i^2}$
Splines de placas finas (TPS)	$\varphi(r_i) = r_i^4 \log(r_i)$
Cúbica (C)	$\varphi(r_i) = r_i^3$
Multiquadráticas (MQ)	$\varphi(r_i) = \sqrt{c^2 + r_i^2}$

#### 2.6.4 Mínima Curvatura

A técnica de interpolação por mínima curvatura possui fatores de limitação de interpolação (DIEDRICH, et al, 2008). Fatores limitantes máximos e mínimos são necessários devido ao método de interpolação utilizado gerar, principalmente nas bordas das camadas, uma continuidade da tendência da curvatura a partir dos dados amostrais finais encontrados, gerando valores além dos limites máximos e mínimos encontrados.

O método da mínima curvatura, conhecido também como splines, utiliza de equações diferenciais que ajustam uma superfície. Os cálculos de derivação se repetem até que se alcance uma diferença especificada entre os valores amostrados e os valores estimados, ou até o número máximo de iterações seja atingido (GOLDEN SOFTWARE, 2002).

#### 2.6.5 Triangulação

O método de triangulação com interpolação linear possui a propriedade de produzir triângulos o mais próximo de equiláteros o quanto possível, e apresentam um bom comportamento na interpolação numérica (MIRANDA, 2005). É um método de estimativa considerado exato, ou seja, que não admite extrapolação.

### 2.6.6 Inverso da distância

O inverso ponderado da distância é um método puramente matemático, onde o peso atribuído é menor e tem menor influência conforme a distância aumenta, ou seja, os pontos amostrados mais próximos ao nó do grid recebem peso maior do que os pontos mais distantes. Quando a posição observada coincide com o nó a mesma recebe peso 1 (peso máximo) enquanto os valores próximos receberam peso, resultando que o nó receberá o valor exato da observação ali situada (LANDIM *et al.*, 2002).

### 2.7 Malhas (Grid's)

A sondagem geológica tem por objetivo abordar as rochas que não podem ser acessadas por trincheiras ou poços de pesquisa, podendo ser sistemática ou assistemática. As sondagens sistemáticas obedecem a uma malha de sondagem definida por perfis geológicos transversais e longitudinais ao principal objeto da pesquisa mineral. A intersecção dos perfis longitudinais e transversais é denominada de nó da malha, sendo exatamente neste local que deve ser realizado o furo de sondagem (GRUPO DE PESQUISA MINERAL, 2011).

### 2.8 Validação cruzada

A validação cruzada é um método normalmente utilizado para a seleção de interpoladores diferentes, que consiste em supor que um elemento da amostra não tenha sido observado, para isso retira-se o valor amostrado e obtém-se a estimativa do mesmo pelo interpolador escolhido, utilizando os valores dos pontos vizinhos. Esse processo é realizado para todos os pontos amostrados, e ao final para cada ponto existirá o valor verdadeiro e o valor estimado e, portanto, o erro de estimativa (SANTANA e SANTOS, 2009).

## 3 Metodologia

### 3.1 Metodologia empregada no trabalho

O banco de dados apresenta mais de um camada de carvão, para este trabalho foi escolhida a camada superior por ser a que apresenta maior continuidade nos dados.

O trabalho constituiu-se das seguintes etapas:

- obter um banco de dados dos arquivos em formato pdf do site da CPRM;
- tratar o banco de dados em Excel;
- fazer a análise exploratória;
- aplicar diferentes métodos de interpolação utilizando Surfer;
- comparar os resultados obtidos.

#### 3.1.1 Banco de dados

O banco de dados utilizado no trabalho foi extraído dos relatórios de perfil de sondagem do site da biblioteca da CPRM, onde se encontram em formato PDF. Os arquivos foram convertidos manualmente para formato de tabelas (.xls), onde então conseguiu-se extrair informações de coordenadas, cotas das bocas do furo e das camadas de carvão. Ao estudar o relatório de pesquisa da CPRM observou-se os pesos específicos determinados em testes de laboratório, assim como, os teores de cinzas das camadas estudadas. Os furos são todos verticais com profundidade média 319,33m em um total de 31 furos de sondagem. Pode-se observar através de uma análise estatística que 75% dos dados de espessura se

encontram em até 2,73m e um desvio padrão consideravelmente alto entre outros dados como pode ser observar na Tabela 2:

*Tabela 2 Sumário estatístico do banco de dados.*

	<b>Espessura da Camada Superior</b>
<b>Número de Valores</b>	26
<b>Mínimo</b>	0,09 m
<b>Máximo</b>	3,93 m
<b>Média</b>	1,9385 m
<b>Primeiro Quartil</b>	1,18 m
<b>Terceiro Quartil</b>	2,73 m
<b>Intervalo de confiança 95%</b>	0,42184 m
<b>Variança</b>	1,090 m <sup>2</sup>
<b>Desvio Padrão</b>	1,044 m
<b>Coefficiente de variação</b>	0,53865 m

### *3.1.2 Definições da malha e área de interpolação*

Observando a distribuição das amostras e seu espaçamento, foi definido um espaçamento para a malha de 200m , pois foi o que melhor se adaptou ao caso estudado.

Segundo a CPRM, recurso medido , indicado e inferido são estimados baseados em um raio de 400m, 1200, e 4800m de distância respectivamente, como pode ser observado na Figura 6 aplicando essa metodologia nos furos em estudo obtivemos o seguinte resultado:

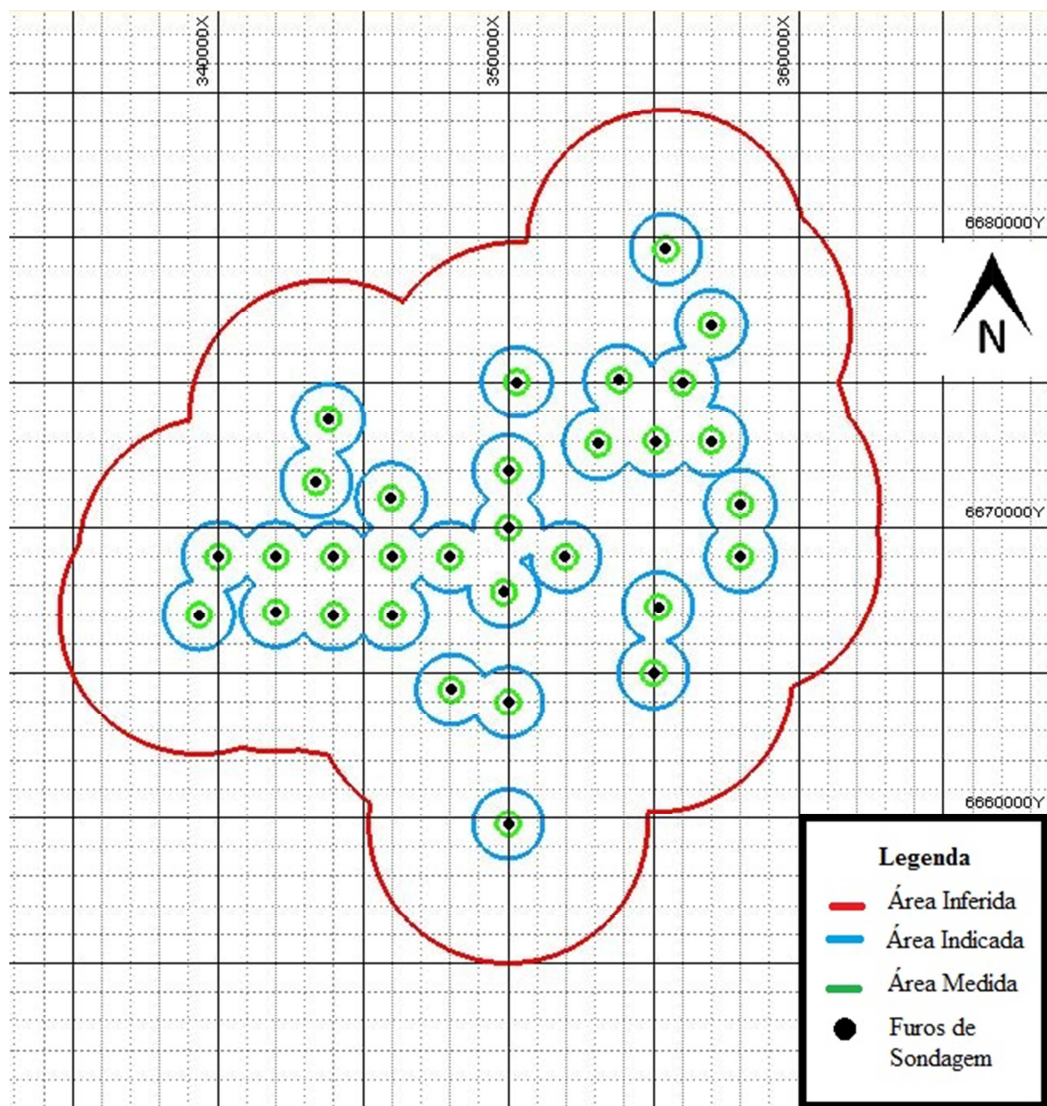


Figura 6 Limites das área de recursos medidos indicados e inferidos utilizando a metodolomia da CPRM.

### 3.1.3 Parâmetros dos métodos de interpolação

Tabela 3 Parâmetros utilizados nos interpoladores

<b>Métodos</b>	<b>Parâmetros</b>
<b>IQD</b>	Expoente de Ponderação = 2
<b>Krigagem</b>	Exponencial Alcance = 4000m Patamar = 0,59 Efeito Pepita = 0,5
<b>FBR</b>	$c^2 = 950000$
<b>Mínima Curvatura</b>	Resíduo Máximo = 0,004 Máximo de Interações = 100000

## 4 Resultados e Discussões

### 4.1. Métodos de interpolação

Utilizando software Surfer foram utilizados os seguintes métodos de interpolação: inverso do quadrado da distância, krigagem, função de bases radiais, mínima curvatura e a triangulação, métodos que por sua vez fizeram-se a validação cruzada que apresentam respectivamente os seguintes resultados:

Inverso da distância: Nesse método utilizou-se o expoente de ponderação padrão do método no valor 2 gerando as seguintes isolinhas (Figura 7):

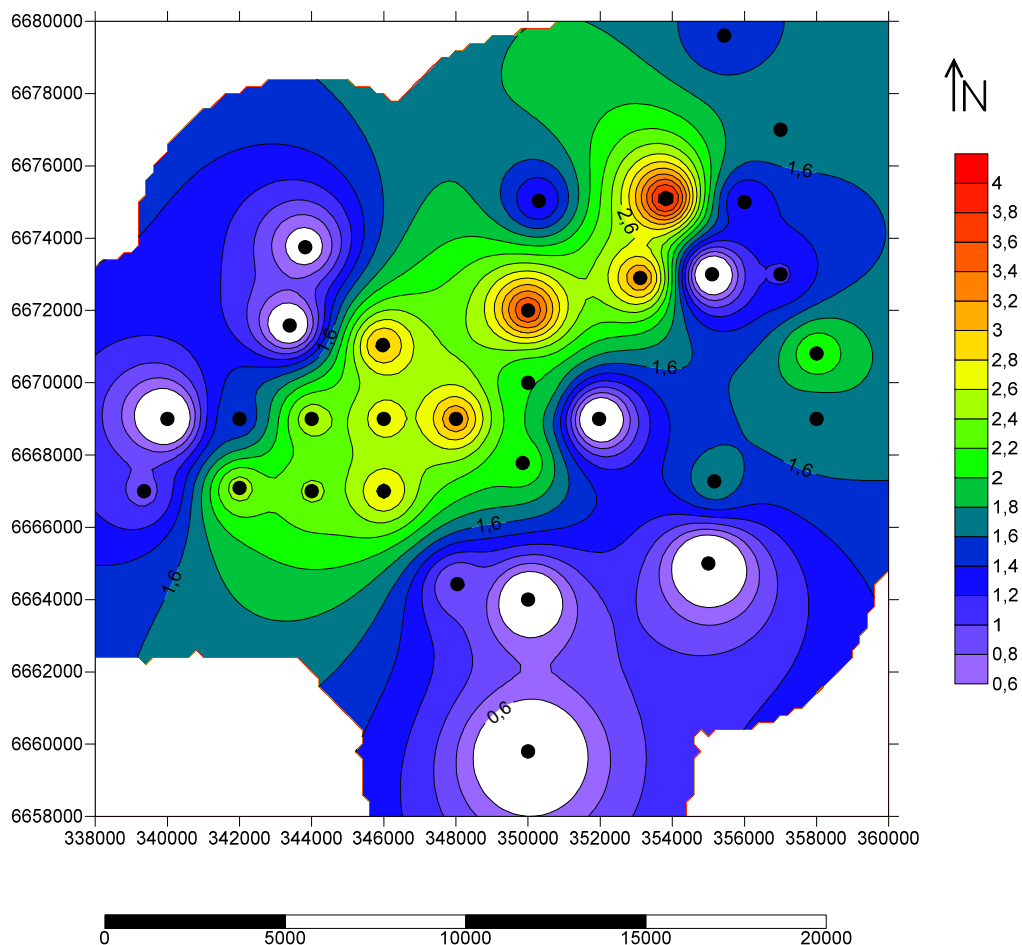


Figura 7 Resultado de interpolação pelo método IQD.

O método é facilmente indetectável por criar os *bull eyes* que no caso se encontram em branco pois além do corte feito pela área de raio 4800m (área definida pela CPRM) foi feito um corte em 0.6m pois no relatório no qual este trabalho é baseado, este é o valor de espessura mínima economicamente viável. Porém com a validação cruzada observou-se que o desvio padrão da diferença (DPD) é relativamente alto de 1.142m e que por isso este não é um método interessante.

Triangulação: é um método dito como exato por não admitir extrapolação além dos “triângulos” que o mesmo gera para interpolar o valor no local (nó da malha) observado.

Como podemos observar no mapa (Figura 8) onde há furos “negativos para carvão” não foi gerado nenhuma isolinha, pois devido o método ser exato e não admitir grandes extrapolações. O DPD de 1.193m é relativamente alto o que indica que também não é um método confiável para esse caso.

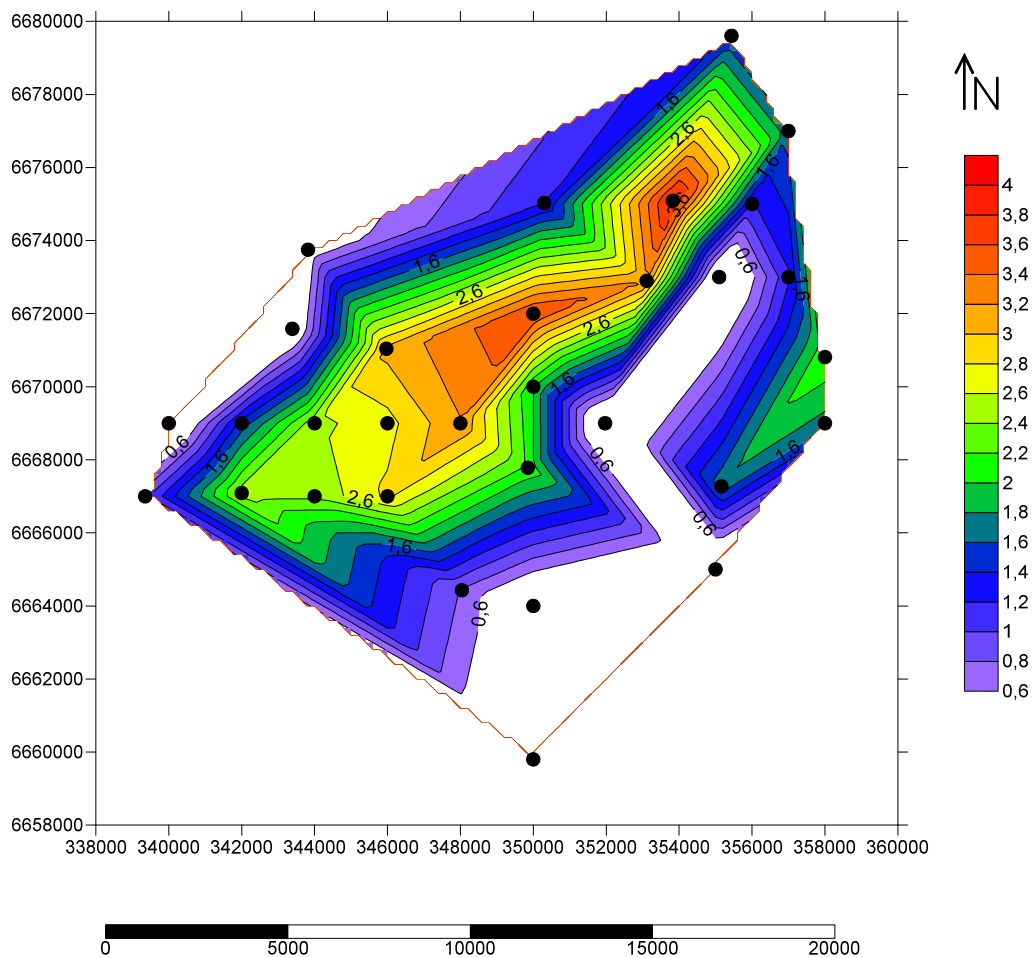
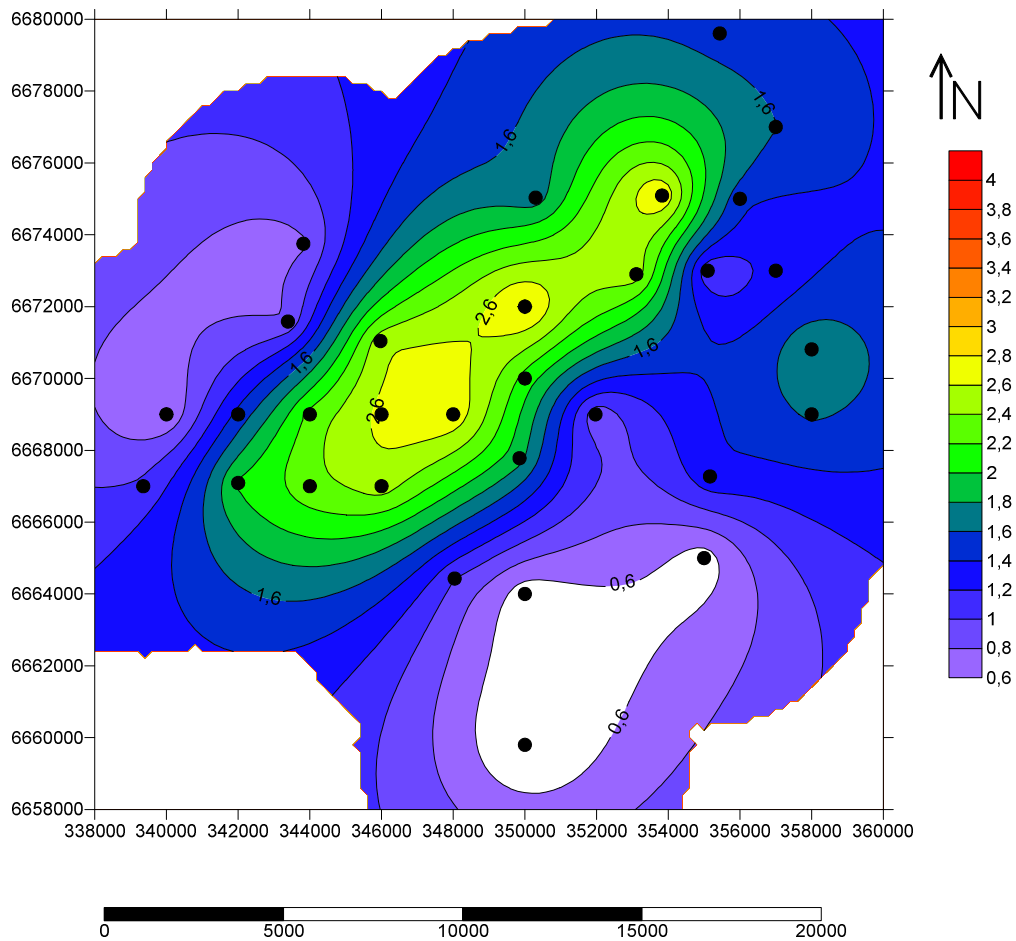


Figura 8 Mapa de isolinhas gerado pelo método de Triangulação Linear

Krigagem: A krigagem é um método que exige ao menos uma densidade mínima de pontos o suficiente para que se tenha amostras para gerar pares e conseqüentemente estruturar um variograma, pensando nisso estruturou-se um variograma omnidirecional do depósito, onde se obteve o seguinte mapa ( Figura 9) onde foram feitos dois cortes um pela área de influência e outro pela espessura econômica mínima de 0,6m definida pela CPRM:



*Figura 9 Mapas de isolinhas gerados pela krigagem*

Quando se fez a validação cruzada deste método observou-se que o DPD de 1.079m assim como nos métodos apresentados anteriormente é muito alto sendo assim também não é recomendado.

Função de Base Radial (FBR): FBR é um método implícito onde a equação geral depende do  $c^2$  variável de suavização do método.



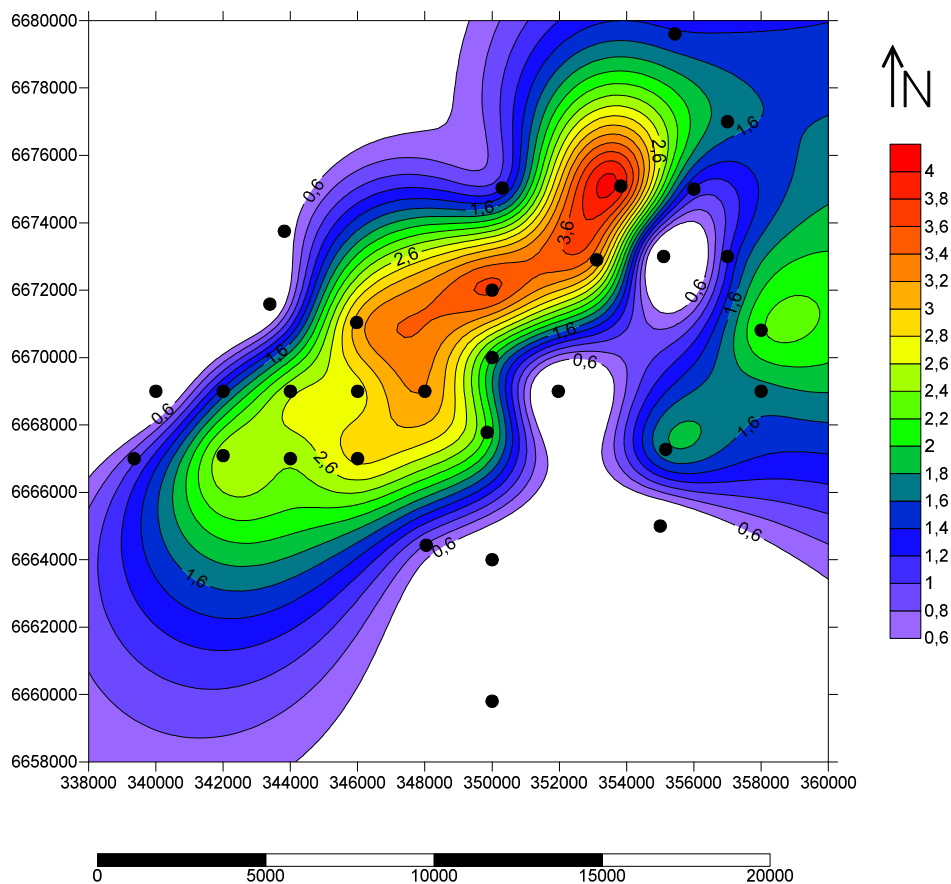


Figura 10 Mapas de isolinhas gerado pelo interpolador FBR.

Na figura 10, em todos os métodos foram aplicados dois cortes, o primeiro corte para a área de influência e o segundo corte para a espessura mínima de 0.6m. O FBR também não é um método interessante para o caso estudado já que 1.146m é um valor alto para esse caso.

Mínima Curvatura: é um método que tende a suavizar e admitir extrapolações, já que a variável estudada é a espessura de carvão que geralmente apresenta uniformidade e boa continuidade como pode ser observado na Figura 11:

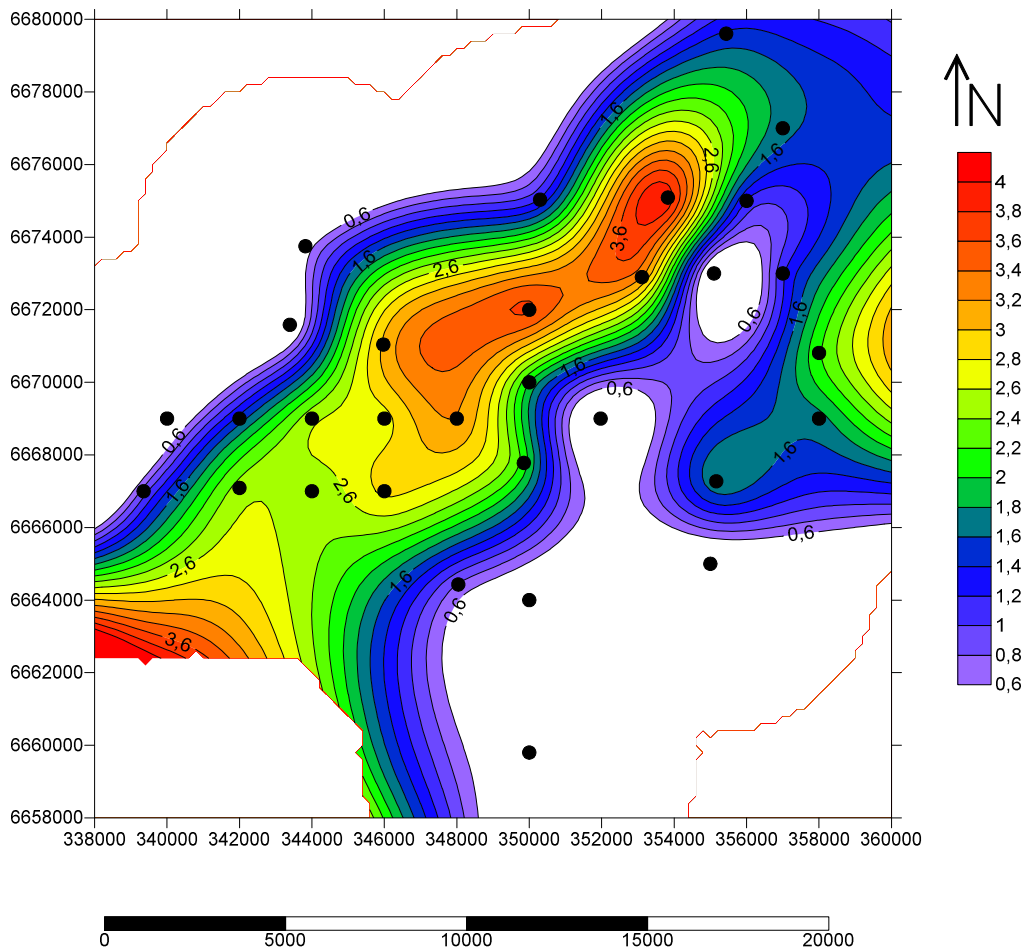


Figura 11 Mapas gerados pelo método Mínima Curvatura.

O desvio padrão da diferença nesse método foi de 0.628m sendo o mais baixo de todos e o mais “próximo” de ser o melhor métodos para se utilizar no caso estudado.

#### 4.2 Discussões

Quando observamos os 5 métodos de interpolação testados podemos observar que com diferença da mínima curvatura todos os outros apresentaram um desvio padrão da diferença relativamente parecidos:

Tabela 4 Desvio padrão da diferença dos métodos de interpolação.

<b>Método de Interpolação</b>	<b>Desvio Padrão da Diferença (m)</b>
<b>IQD</b>	1,142
<b>Triangulação</b>	1,193
<b>Krigagem</b>	1,079
<b>FBR</b>	1,146
<b>Mínima Curvatura</b>	0,628
<b>Massas (t)</b>	
<b>IQD</b>	Medido 3,37E+07
	Indicado 1,04E+08
	Inferido 1,37E+08
	Total 2,75E+08
<b>Triangulação</b>	Medido 2,46E+07
	Indicado 7,06E+07
	Inferido 4,48E+07
	Total 1,40E+08
<b>Krigagem</b>	Medido 3,22E+07
	Indicado 9,74E+07
	Inferido 1,15E+08
	Total 2,44E+08
<b>FBR</b>	Medido 3,06E+07
	Indicado 9,07E+07
	Inferido 8,74E+07
	Total 2,09E+08
<b>Mínima Curvatura</b>	Medido 3,11E+07
	Indicado 9,27E+07
	Inferido 9,36E+07
	Total 2,17E+08
<b>CPRM</b>	Medido 4,80E+07
	Indicado 1,23E+08
	Inferido 7,95E+07
	Total 2,51E+08

Os valores além de parecidos são altos para a estimativa já que a variável estudada é a espessura, ou seja, um desvio tão alto de mais de 1m resulta grandes problemas podendo inviabilizar a extração do carvão. Além disso como pode-se observar há uma grande diferença das massas quando comparamos todos os métodos e os resultados da CPRM.

O menos indicado foi a triangulação, indicando que a pouca quantidade de informações e por ser um método exato, a falta de maior densidade de informações foi um fator agravante no resultado obtido.

O mais indicado foi o de mínima curvatura, que como já mencionado é um método normalmente suavizador, como a variável espessura no carvão normalmente não apresenta variações bruscas ao longo do corpo de minério este método se mostrou eficiente.

## 5 Conclusões e Sugestões

Todos os interpoladores testados apresentaram o desvio padrão da diferença elevado sendo assim nenhum desses métodos pode ser dito neste momento como ideal. O método mais próximo dessa idéia foi o método de mínima curvatura porém o valor do desvio padrão da diferença foi de 0,617m o que ainda é muito alto para a variável de interesse estudada que é a espessura do carvão.

Uma das grandes dificuldades encontradas no trabalho foi a baixa densidade de furos de sondagem na área, que conseqüentemente gerou um espaçamento médio alto, dificultando assim a aplicação de alguns interpoladores e também como explicação possível dos valores altos dos desvios padrões da diferença de cada método aplicado.

Um dos objetivos iniciais do trabalho era de comparar os resultados também com o relatório existente da CPRM, porém a falta de informações relevantes para que fosse feito o método aplicado pela CPRM, impediu que fossem feitas comparações dos resultados.

O relatório da CPRM não possui informações suficientes para reprodução do mesmo trabalho feito pela companhia, a metodologia para a avaliação e classificação utilizada não está clara.

Como sugestão para trabalhos futuros: adensar as informações da área para que possa ser refeita com maior qualidades as estimativas, tendo assim um intervalo de confiança maior, e refazer as descrições dos furos de sondagem da CPRM, utilizando de interesses atuais pode-se obter resultados mais interessantes do que os disponíveis no site da companhia.

## 6 Agradecimentos

A esta faculdade, a todo o corpo docente que me acompanhou durante minha graduação, a direção do campus Caçapava do Sul e a administração, além de todos os funcionários terceirizados, que me proporcionaram as condições necessárias para que eu alcançasse meus objetivos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Ítalo Gomes Gonçalves, por toda a paciência e dedicação e principalmente por me auxiliar durante a realização do meu trabalho.

A coordenadora Prof. Dr. Luciana Arnt Abichequer por todo apoio e ajuda que me concedeu durante a minha estadia na universidade.

A minha família por todo amor, dedicação, ensinamentos e apoio que sempre me deram.

Ao meu companheiro Estefanio Rios por todo apoio, carinho e principalmente paciência.

A colega e grande amiga Joiceane Leão, por me fazer parte de sua família, me acolher, confiar e estar ao meu lado desde o começo de minha graduação.

A todos que contribuíram direto e indiretamente para a realização deste trabalho, fica registrado aqui meu muito obrigado!

## 7 Referências bibliográficas

ADMIN. **Grupo de Pesquisa Mineral – Instituto Federal do Rio Grande do Norte**. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/pesquisamineral/?p=1036>>. Acesso em 18/11/16.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Ed.- Brasília: Aneel. 129 – 140, 2008.

AUSTRALASIAN CODE FOR REPORTING OF EXPLORATION RESULTS, MINERAL RESOURCES AND ORE RESERVES. **The JORC Code**. JORC, Australia, 2012.

BATISTA, J. D. **Análise Comparativa Entre Métodos De Modelamento Geológico**. Rio Grande do Sul, Caçapava do Sul, 2015.

BERTOLANI, M.N. **Desempenho de funções de base radial de suporte compacto na construção de superfícies bidimensionais**. Associação Argentina de Mecânica Computacional, Buenos Aires, Vol XXIX, págs. 8503-8519, 15-18, november 2010.

BRANCO, P. M. **CPRM: Serviço Geológico do Brasil**. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---RedeAmetista/Canal-Escola/Carvao-Mineral-2558.html>>. Acesso em: 25/05/16.

CARR J. C. et al. **Reconstruction and representation of 3d objects with radial basis functions**. In: SIGGRAPH 01: Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pages 67–76, New York, NY, USA, 2001. ACM Press. ISBN 158113-374-X. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/383259.383266>

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Relatório Final de Pesquisa**. Superintendência Regional de Porto Alegre – RS. 37-39, 1978.

DIEDRICH, C.; WOTTRICH, I.; REUWSAAT, J. D. V. **Mina de Candiota Estudo de Pré Viabilidade**. Tese de Dissertação de Mestrado. UFRGS. Porto Alegre, RS. 2008

GOLDEN SOFTWARE, INC. **Surfer User Guide: Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers**. Golden, Colorado, U.S.A. 2002.

GOMES, A. P.. FERREIRA. J. A. F., ALBUQUERQUE, L. F. SUFFERT, T. **Carvão Fóssil**.

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

LANDIM, P.M.B., MONTEIRO, R. C.& CORSI, A.C. **Introdução á confecção de mapas pelo software SURFER**. DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 08, 21 pp. 2002. Disponível em . Acesso em: 18/11/16.

MIRANDA, J. I. **Embrapa Informação Tecnológica**. Fundamentos de sistemas de informações geográficas. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2005.- 425p.

SANTANA, R. A.; SANTOS, N. T. **Utilização De Técnicas Geoestatísticas Na Otimização Da Amostragem Em Parcelas De Povoamento De Tectonas Grandis.** Universidade Federal de Viçosa. Viçosa.

SANTOS, M. A. N.. **Estimativa das Camadas de Carvão da “Unidade Mineira Leão III”.** Rio Grande do Sul, Caçapava do Sul, 2013.

SOUZA, F. S. **Uso De Métodos Geoestatísticos No Auxílio À Modelagem Geológica.** 2007. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre 2007.

SOUZA, L. E. **Estimativa de Incerteza e Sua Aplicação na Classificação de Recursos Minerais.** 2002. 189. Dissertação para a obtenção do título de mestre em engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

STURARO, J. R.. **Apostila de Geoestatística Básica.** Rio Claro , 2015

WRIGHT, G. B. **Radial basis function interpolation: numerical and analytical developments.** 2003. 155 f. Tese (Doctorate of Philosophy) – Department of Applied Mathematics, University of Colorado, Boulder, 2003.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. L.. **Geoestatística: conceitos e aplicações.** São Paulo: Oficina de Textos, 2013.