



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS



Desenvolvimento de *software* para avaliação de reservas minerais  
utilizando o método convencional do inverso da enésima potência da  
distância adaptado para o método dos polígonos

ABIGAIL FONSECA MARTINS LOPES DE LIMA

Ouro Preto - MG  
Dezembro de 2021

ABIGAIL FONSECA MARTINS LOPES DE LIMA

**Desenvolvimento de *software* para avaliação de reservas minerais utilizando o método convencional do inverso da enésima potência da distância adaptado para o método dos polígonos**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas. **Área de concentração:** Pesquisa Mineral

**Orientador:** Prof. Dr. Elton Destro  
(*DEMIN/EM/UFOP*)

Ouro Preto - MG  
Dezembro de 2021

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

L732d Lima, Abigail Fonseca Martins Lopes de.

Desenvolvimento de software para avaliação de reservas minerais utilizando o método convencional do inverso da enésima potência da distância adaptado para o método dos polígonos. [manuscrito] / Abigail Fonseca Martins Lopes de Lima. - 2021.

40 f.: il.: color., tab..

Orientador: Prof. Dr. Elton Destro.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Pesquisa mineral. 2. Depósitos minerais. 3. Estudos de viabilidade.  
I. Destro, Elton. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.1:514.12

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526

## ATA DA DEFESA



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas  
Departamento de Engenharia de Minas - DEMIN



### ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 16 dias do mês de dezembro de 2021, às 14h00min, foi instalada a sessão pública remota para a defesa de Trabalho de Conclusão de Curso da discente **Abigail Fonseca Martins Lopes de Lima**, matrícula: 16.1.1130, intitulado: **“DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA AVALIAÇÃO DE RESERVAS MINERAIS UTILIZANDO O MÉTODO CONVENCIONAL DO INVERSO DA ENÉSIMA POTÊNCIA DA DISTÂNCIA ADAPTADO PARA O MÉTODO DOS POLÍGONOS”**, perante comissão avaliadora constituída pelo orientador do trabalho, Prof. Dr. Elton Destro, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rita de Cássia Pedrosa Santos e Eng.<sup>o</sup> de Minas João Pedro Corona Gava. A sessão foi realizada com a participação de todos os membros por meio de videoconferência, com base no regulamento do curso e nas normas que regem as sessões de defesa de TCC. Inicialmente, o presidente da comissão examinadora concedeu à discente 20 (vinte) minutos para apresentação do seu trabalho. Terminada a exposição, o presidente concedeu, a cada membro, um tempo máximo de 20 (vinte) minutos para perguntas e respostas à candidata sobre o conteúdo do trabalho, na seguinte ordem: primeiro, o Eng.<sup>o</sup> de Minas João Pedro Corona Gava, segundo, a Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rita de Cássia Pedrosa Santos, e, em último, o Prof. Dr. Elton Destro. Dando continuidade, ainda de acordo com as normas que regem a sessão, o presidente solicitou à discente e aos espectadores que se retirassem da sessão de videoconferência para que a comissão avaliadora procedesse à análise e decisão. Após a reconexão da discente e demais espectadores, anunciou-se, publicamente, que a discente foi aprovada por unanimidade, com a nota 9,3 (nove vírgula três). A discente, por sua vez, encaminhará para o Repositório Institucional da UFOP, no prazo máximo de 15 (quinze) dias, uma versão final, contemplando todas as recomendações apresentadas pelos avaliadores. Para constar, foi lavrada a presente ata que, após aprovada, foi assinada pelo presidente da comissão.

Ouro Preto, 16 de dezembro de 2021.

Presidente: Prof. Dr. Elton Destro *Elton Destro*

Membro: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rita de Cássia Pedrosa Santos

Membro: Eng.<sup>o</sup> de Minas João Pedro Corona Gava

Discente: Abigail Fonseca Martins Lopes de Lima

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por todos os dons que me foram confiados e por ter me guiado até aqui. Agradeço aos meus pais pelos ensinamentos através dos exemplos diários e do amor, cada sacrifício por eles feito foi essencial para que eu aqui estivesse. Agradeço, por fim, a cada professor que passou pela minha graduação na Universidade Federal de Ouro Preto, de maneira muito especial agradeço ao professor Dr. Elton Destro, por ter sido o meu orientador neste trabalho e por ter, por meio dele, tanto me ensinado.

## RESUMO

A pesquisa mineral possui grande importância no contexto da mineração tendo em vista um cenário de aumento constante do consumo de bens minerais e seu caráter finito, já que é nesta fase que os estudos demonstram a viabilidade ou não do aproveitamento de um depósito mineral tanto do ponto de vista técnico quanto econômico. Nesta fase é calculado o teor médio, o volume e a tonelagem do depósito, a partir de dados de entrada, baseados em uma amostragem prévia. Com relação aos métodos de avaliação de depósito, estes se dividem em: métodos convencionais, estatísticos e geoestatísticos. No presente trabalho, um *software* foi desenvolvido para a estimativa de reservas por meio do método convencional do Inverso da Enésima Potência de Distância adaptado para o método dos Polígonos. O *software* visa facilitar o uso de métodos tão presentes na atividade mineira, apesar de não contarem com recursos estatísticos, além de trazer consigo características didático-pedagógicas que auxiliam no entendimento dos métodos em questão e levam a estudos futuros nessa área. Para isso, o *software* foi desenvolvido de maneira que apresentasse uma interface amigável e dispusesse os resultados de forma gráfica. O *software* foi desenvolvido utilizando a linguagem Pascal, por meio da IDE (*Integrated Development Environment*) Lazarus.

**Palavras-chave:** Avaliação de depósitos minerais, *Software* para estimativa de teores, Pesquisa mineral, Métodos convencionais, Inverso da enésima potência da distância

## **ABSTRACT**

Mineral exploration is of great importance in the context of mining taking into consideration a scenario of constant increase mineral goods consumption and their finite character, since it is at this phase that studies the feasibility or not of a mineral deposit from a technical and economic perspective. Taking into consideration the scenario of constant consumption increases of mineral goods and its finite character, a well-developed exploration, especially in what tends to estimate the reserves of a mineral deposit, is one of the critical moments of the feasibility studies. In this moment, the mineral of interest average grade, the volume and tonnage of the deposit is calculated from input data, based on previous sampling. Regarding the mineral deposit's estimation methods, they are divided into conventional, statistical and geostatistical methods. In this project, a software was developed to estimate reserves using the conventional method of the Inverse Distance Weighting adapted to the Polygons method. The software aims to facilitate the use of methods that are so present in the mining activity, despite not having statistical resources, in addition to bringing with it didactic-pedagogical approach, which help in understanding the methods in question and could lead to future studies in this area. For this, the software was developed in such a way as to present an user-friendly interface and display the results graphically, clearly demonstrating the peculiarities of each method. The software was developed using the Pascal language, through the IDE (Integrated Development Environment) Lazarus.

**Keywords:** Ore reserve calculation, Grade estimation software, Mineral exploration, Conventional methods, Inverse distance weighting

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Método dos Polígonos. Fonte: GUERRA, 1988.....	16
Figura 2: Interface desenvolvida no software Lazarus.....	23
Figura 3: Tela inicial (interface) do aplicativo desenvolvido no Lazarus.....	23
Figura 4: Menu e componentes disponíveis para o desenvolvimento de aplicativos no Lazarus.	24
Figura 5: Inspetor de Objetos do Lazarus. ....	24
Figura 6:Editor de Código do Lazarus. ....	25
Figura 7: Mensagens exibida durante a compilação e a “linkagem” do código implementado....	25
Figura 8: Janela para interação com o usuário. ....	26
Figura 9: Tela inicial (interface) do software.....	27
<i>Figura 10: Teor médio estimado do depósito e estimativa da reserva para <math>n = 2</math> (método IQD).</i> .....	28
<i>Figura 11: Distribuição dos teores para expoente <math>n = 1</math>.</i> ....	29
Figura 12: Distribuição dos teores para expoente $n= 5$ . É possível notar um esboço preliminar dos polígonos. ....	29
Figura 13: Distribuição dos teores para expoente $n = 20$ . Os polígonos já são bem definidos, sendo caracterizados por uma região estreita de transição entre eles. ....	30
Figura 14: A adaptação para o método dos polígonos (expoente $n = 50$ ). Notam-se nitidamente os limites das áreas de influência definidas pelos lados dos polígonos. ....	30
<i>Figura 15:Dimensões dos blocos: <math>1 \times 1</math> pixel.....</i>	31
Figura 16:Dimensões dos blocos: $5 \times 5$ pixels.....	32
Figura 17: Dimensões dos blocos: $20 \times 20$ pixels.....	32
Figura 18: Dimensões dos blocos: $40 \times 40$ pixels.....	32
Figura 19: Ponto O – coordenada (262,150) e teor 7.39.....	33
Figura 20: Ponto O – coordenada (262,200) e teor 5.20.....	33
Figura 21: Ponto O – coordenada (262,175) e teor 6.30.....	34
Figura 22: Volume e Altura do Nível para $h_{nível} = 5m$ : Uma relação diretamente proporcional. .	35
Figura 23: Volume e Altura do Nível para $h_{nível} = 15m$ : Uma relação diretamente proporcional.	35
Figura 24: Reserva Estimada, Densidade e Volume – Uma relação diretamente proporcional – Densidade: 2.65.....	36
Figura 25: Reserva Estimada, Densidade e Volume – Uma relação diretamente proporcional – Densidade: 4.5.....	36
Figura 26: Apresentação do Resultado.....	36
Figura 27: O Formulário “Sobre o aplicativo” que acompanha o software.....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Pontos Amostrados e Respectivos Teores (P1 = ponto 1, P2 = ponto 2, ..., P6 = ponto 6) .....	21
Tabela 2: Coordenadas dos pontos amostrados e teores para comparação com os teores estimados dos polígonos formados .....	31

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

IDE - *Integrated Development Environment*

IQD - Inverso do Quadrado da Distância

RAD - *Rapid-Application Development*

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>	<b>9</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
2.1    Objetivo Geral.....	13
2.2    Objetivos específicos .....	13
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>14</b>
3.1    Método do Inverso da Distância .....	15
3.2    Método dos Polígonos.....	15
3.3    Método das Isolinhas.....	16
3.4    Método das Seções Transversais.....	17
3.5    Método dos Triângulos .....	17
3.6    Método da Triangulação.....	18
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>19</b>
4.1    Método do Inverso da Enésima Potência da Distância .....	19
4.2    A Adaptação do Método do Inverso da Enésima Potência da Distância para o Método dos Polígonos .....	20
4.3    A variação do step.....	22
4.4    A IDE Lazarus.....	22
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>27</b>
5.1    Tela Inicial e interface amigável.....	27
5.2    Step X, Step Y e expoente.....	27
5.3    O Ponto a ser estimado.....	33
5.4    A Estimativa da Reserva .....	34
5.5    Exibição dos resultados.....	36
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>39</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>40</b>

# 1. INTRODUÇÃO

A mineração, que do ponto de vista histórico é uma das atividades documentadas mais antigas da humanidade, esteve presente em diversos marcos de desenvolvimento econômico e social, não só nos últimos séculos, mas também nos últimos milênios (DUBIŃSKI, 2013). O que se observou, porém, nos últimos 100 anos, foi um crescimento exponencial do consumo de recursos minerais frente as crescentes necessidades que surgiram nos setores de energia, construção civil, setor químico, farmacêutico, automotivo e de eletrônicos. Se, em meados de 1900, a extração de minério e minerais industriais global estava próxima de 6 bilhões de toneladas, em meados de 2010 essa extração atingiu níveis de 30 bilhões de toneladas (WEO, 2011).

Tendo em vista esse cenário e o caráter não renovável dos recursos minerais, muitos países adotaram na década dos anos 70 legislações de cunho mais restritivo, sendo muitas das mais recentes leis do setor mineral influenciadas pelas diretrizes proclamadas pela Resolução 1.803/62 da Comissão Permanente de Soberania sobre os Recursos Minerais das Nações Unidas. A resolução em questão passou a influenciar legislações a partir deste momento estabelecidas, de forma que começou a ser notada uma tendência de os recursos minerais pertencerem legalmente ao Estado e não ao superficiário (BARBOSA, 1994).

No Brasil, a regulamentação da atividade mineira se dá pelo Código de Minas ou Código Minerário (Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967), instituído há mais de cinco décadas e, no que tange a detenção dos direitos exploratórios, a Constituição de 1988 ditou para a mineração um modelo em que a União é detentora do domínio dos recursos e das jazidas minerais, considerados como de utilidade pública (Cf. ALMEIDA, 1999).

Considerando esse cenário de caráter finito dos bens minerais, aumento da demanda destes recursos e detenção do direito exploratório por parte do Estado, observa-se a importância de dominar da forma mais eficiente possível o conhecimento das fases da mineração, bem como dos métodos de avaliação dos depósitos minerais, de forma que seja possível alcançar o máximo aproveitamento destes recursos.

No que diz respeito a atividade mineira, o código de mineração brasileiro prevê no artigo 5º que *“A atividade de mineração abrange a pesquisa, a lavra, o desenvolvimento da mina, o beneficiamento, a comercialização dos minérios, o aproveitamento de rejeitos e estéreis e o fechamento da mina”*.

Em se tratando de pesquisa mineral, área sobre a qual o presente trabalho se debruçará, a avaliação de depósitos minerais ocupa lugar de grande importância, uma vez que definirá os próximos passos no que diz respeito à extração mineral de acordo com os resultados encontrados. Além disso, a fase de pesquisa deve ser conduzida lançando-se mão do maior número de recursos disponíveis possível em um dado contexto, de forma que o conhecimento adequado do potencial da área em questão seja alcançado e permita, assim, o melhor uso do bem em questão, levando não só a uma mineração sustentável, mas também ao máximo aproveitamento e, conseqüentemente, maior lucro por parte do minerador.

Assim sendo, é relevante mencionar que os métodos de avaliação dos depósitos minerais dividem-se em três grandes grupos segundo Guerra (1998): convencionais, estatísticos e geoestatísticos. O método adotado deve ser escolhido levando-se em conta o tamanho do depósito mineral, suas potencialidades e peculiaridades, os recursos técnicos e econômicos disponíveis e o momento econômico vigente.

Os métodos convencionais, que basicamente permitem realizar o cálculo de reservas usando fatores médios ponderados (teores, espessuras e volumes), baseiam-se na análise espacial de dados amostrais, não levando, assim, em conta as características geológicas do depósito. Parâmetros estatísticos também não são considerados nestes, de forma que não é possível saber o erro associado à estimativa. Tais métodos são, todavia, recorrentemente adotados em empreendimentos de menor porte, uma vez que são de rápida execução e implementação, possuem uma metodologia mais trivial e geram resultados satisfatórios, tendo o papel de inúmeras vezes, direcionar trabalhos associados à fase da pesquisa mineral.

Levando em conta a importância que os métodos convencionais possuem, no presente trabalho será feita uma análise mais cuidadosa de dois deles, de forma a facilitar o seu uso através do desenvolvimento de um *software* que seja capaz de gerar resultados rápidos, permitindo modificar variáveis e, assim, analisar o resultado para um dado contexto de avaliação de um depósito mineral.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um *software* para a avaliação de reservas minerais utilizando a linguagem de programação Pascal no ambiente de desenvolvimento integrado Lazarus, facilitando este processo por parte de grupos de interesse.

### 2.2 Objetivos específicos

- a) Desenvolver um aplicativo computacional que seja capaz de avaliar depósitos minerais por meio do método convencional do Inverso da Enésima Potência da Distância adaptado para o Método dos Polígonos;
- b) Demonstrar os resultados que o método convencional da Enésima Potência da Distância pode proporcionar ao ser adaptado para o método dos polígonos;
- c) Apresentar os resultados relativos à avaliação do depósito em questão de forma gráfica (lançando mão de uma escala de cores associada a distribuição dos teores), de modo que o mesmo possa ser facilmente interpretado, além de possuir características didático pedagógicas;
- d) Permitir que o modelo desenvolvido possa ser utilizado pelos hoje alunos e futuros engenheiros de minas, de forma que enriqueçam sua formação acadêmica ao compreender o uso de métodos convencionais de forma mais aprofundada e, assim, tornarem-se profissionais mais preparados para ingressar no mercado de trabalho;
- e) Respeitar o pressuposto de que a plataforma deva ser amigável e de fácil utilização pelo usuário (*user-friendly software*).

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os métodos convencionais são métodos que utilizam a disposição espacial das amostras no depósito para realizar a estimativa de variáveis de interesse. Por serem métodos mais simples não requerem grandes investimentos de exploração. Existem também os métodos estatísticos e geoestatísticos, que não serão abordados neste trabalho.

De acordo com Guerra (1988), os métodos convencionais baseiam-se em três critérios para a interpretação dos dados amostrados: naturais ou intrínsecos, critérios analíticos e empíricos, descritos a seguir conforme o autor.

Os critérios naturais ou intrínsecos são aqueles nos quais as interpretações são feitas com base em conhecimentos geológicos da área sendo estimada. Por exemplo, a existência de acamamentos no depósito tende a levar a uma estimativa mais certa sobre a área de influência de um ponto amostrado, já que a transição de camadas, geralmente, está associada à uma variação na mineralização.

Em termos de critérios analíticos, duas abordagens podem ser adotadas. Uma delas consiste em considerar que a variável de interesse se altere de acordo com uma função linear de um ponto amostrado a outro. A segunda, considera uma área de igual influência para cada ponto amostrado, de forma que qualquer ponto que se deseja estimar dentro desta área tenha as mesmas propriedades do ponto amostrado.

Por fim, tem-se os critérios empíricos, que são utilizados para generalizar ou extrapolar o valor de uma variável para regiões não amostradas, baseando-se em experiências com depósitos similares ou no processo típico de formação da mineralização em questão.

Em se tratando de métodos convencionais, os principais são:

- Inverso da Distância;
- Polígonos;
- Isolinhas;
- Seções Transversais;
- Triângulos;
- Triangulação.

### 3.1 Método do Inverso da Distância

O método do inverso da distância utiliza uma função linear (para potência igual a um) ou não para fazer as estimativas. A principal premissa do método é que pontos amostrados a distâncias maiores do ponto que se quer estimar devem exercer uma menor influência sobre o valor sendo estimado. Baseando-se nessa premissa, os valores são avaliados através da ponderação do valor dos pontos amostrados pelo inverso da distância (GUERRA, 1988) conforme equação 1.

$$t_b = \frac{t_1 \times \frac{1}{d_1} + t_2 \times \frac{1}{d_2} + t_3 \times \frac{1}{d_3} + \dots + t_n \times \frac{1}{d_n}}{\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} + \frac{1}{d_3} + \dots + \frac{1}{d_n}} \quad (1)$$

Em que:

$t_b$ : teor estimado do bloco B;

$t_i$ : teor no ponto  $i$ ;

$d_i$ : distância do ponto  $i$  ao centro do bloco B.

No que tange ao método, é ainda pertinente mencionar que, segundo Mazzini e Schettini (2009), o peso estipulado para cada dado pode ser pré-determinado por quem deseja realizar a estimativa. Contudo, deve-se levar em conta que quanto maior o peso, menor será a influência dos dados mais distantes do ponto a ser estimado, sendo o inverso também uma verdade.

Entre os métodos convencionais, ele é um dos métodos que propiciam resultados mais satisfatórios, além de ser relativamente simples de se calcular, seja de forma manual ou computacionalmente (GUERRA, 1988).

### 3.2 Método dos Polígonos

O método dos polígonos basicamente aplica o princípio de interpretação dos pontos de maior proximidade. Segundo Yamamoto (2001), o princípio dos pontos mais próximos admite que o valor da variável de interesse em um ponto não amostrado é igual ao do ponto mais próximo. Os pontos amostrados devem ser interligados, de forma que seja obtida uma rede de polígonos cujos

lados estão na metade da distância entre dois pontos. Utiliza-se, então, o critério das áreas de igual influência para a interpretação dos dados, sendo o objetivo deste método construir um polígono para cada amostra, na qual as propriedades da amostra serão generalizadas para todos os pontos contidos no interior do polígono (GUERRA, 1988).

Os polígonos são construídos a partir da interseção das retas perpendiculares aos pontos médios das conexões entre o ponto central e os pontos adjacentes (figura 1). Se existirem pontos amostrados isolados, é utilizado uma distância máxima para evitar o enviesamento da estimativa.

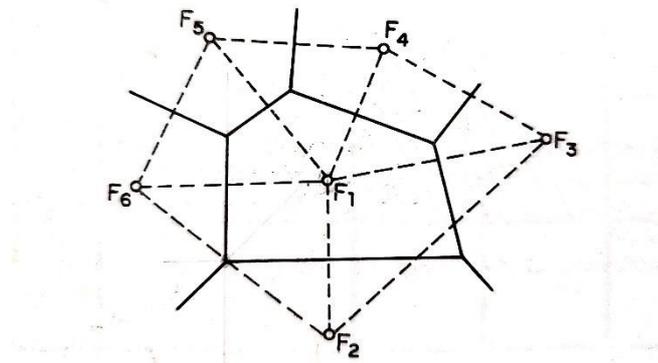


Figura 1: Método dos Polígonos. Fonte: GUERRA, 1988.

### 3.3 Método das Isolinhas

O método das isolinhas basicamente interpola teores tendo por base uma malha regular de pontos amostrados, delimitando-se em seguida as isolinhas que contornam esses pontos de modo que sejam respeitados intervalos regulares. Os pontos calculados de igual valor são ligados de forma que as curvas possam ser construídas, podendo-se, assim, calcular o teor médio do depósito através do cálculo da área das curvas de isovalores.

O método das isolinhas é mais adequado para depósitos onde há uma certa regularidade, em que os valores variam gradualmente (YAMAMOTO, 2001). A sua aplicação em depósitos erráticos, provavelmente, resultará em uma estimativa errônea (GUERRA, 1988).

### **3.4 Método das Seções Transversais**

Este método basicamente é dividido em dois submétodos, de modo que um deles analisa a distribuição das variáveis como uma função linear e, o outro, através das áreas de igual influência, sendo denominados Método *Standard* e Método Linear, respectivamente. De forma geral, é estimada a variável de interesse através da construção de blocos, os quais são delimitados direta ou indiretamente por seções e estas, por sua vez, podem ser horizontais, verticais ou inclinadas (GUERRA, 1988). Os volumes são estimados através da ponderação das amostras coletadas em cada seção (MUTMANSKY e HARTMAN, 2002).

No Método Standard, o bloco é definido como sendo o volume entre duas seções adjacentes (para blocos nas periferias, utiliza-se apenas uma seção), de modo que propriedades dentro do bloco variam linearmente de uma seção para a outra (GUERRA, 1988). No Método Linear, o bloco é definido como sendo o volume entre as duas semidistâncias entre a seção e as duas seções adjacentes. Cada bloco terá as mesmas propriedades que a seção contida nesse, já que o método linear utiliza a lei das áreas de igual influência (GUERRA, 1988).

O método das seções transversais é mais adequado para corpos bem definidos e de grandes dimensões, com pequenas variações de teor e espessura. Caso contrário, o método resultará em estimativas errôneas. A principal vantagem do método é que pode ser utilizado tanto na horizontal, na vertical ou inclinado. Porém é necessário que se tenha uma boa densidade de furos que atravessam todo o depósito, da capa à lapa, com espaçamentos regulares e trabalhos distribuídos igualmente por todas as seções. Caso os espaçamentos não sejam regulares, ou as seções não estejam paralelas umas às outras, será necessária uma série de correções que podem complicar a utilização do método (GUERRA, 1988).

### **3.5 Método dos Triângulos**

O método dos triângulos segue o critério das áreas de igual influência, de forma que a malha de amostragem é preenchida por triângulos os quais são construídos através da interligação de pontos amostrados adjacentes. Para tal, a determinação das áreas individuais ocorre através da média ponderada dos três pontos que compõem os triângulos, considerando o fator de ponderação como sendo o comprimento dos furos (MUTMANSKY e HARTMAN, 2002). É, porém, importante mencionar que o método apresenta baixa exatidão, podendo gerar o enviesamento da

estimativa, já que as amostras mais periféricas do retículo terão menor influência sobre a estimativa total, em comparação às amostras mais centrais (GUERRA, 1988).

### **3.6 Método da Triangulação**

Este método consiste em construir uma malha de triângulos sobre a área, por meio da interligação entre pontos amostrados. Este se baseia tanto no princípio da área de influência, como no princípio da função linear, de modo que, com a malha de triângulos construída, qualquer ponto que se queira estimar dentro de um dos triângulos será estimado de acordo com a função do plano do triângulo no qual o ponto está inserido.

Uma das vantagens do método é que ele produz resultados mais contínuos, o que, normalmente, condiz mais fielmente com a geologia do depósito. Porém, com este método não é possível realizar extrapolações, o que pode ocorrer com o método do inverso da distância. Além disso, a construção dos triângulos pode se tornar bastante trabalhosa e de difícil implementação computacional (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989).

## 4. METODOLOGIA

Após ter sido feita a revisão bibliográfica dos principais métodos convencionais utilizados para a estimativa de reservas, o método do Inverso da Enésima Potência de Distância foi escolhido para ser implementado no *software*. Por meio deste método, foi possível a adaptação para o Método dos Polígonos.

### 4.1 Método do Inverso da Enésima Potência da Distância

O método da Enésima Potência da Distância consiste em interpolar variáveis de interesse utilizando, para isso, o inverso da enésima potência da distância como caráter de peso conferido a cada amostra dentro de determinado raio de influência. Para tal, as equações 2 e 3 foram utilizadas.

$$u(x) = \frac{\sum_{i=1}^N w_i(x)u_i}{\sum_{i=1}^N w_i(x)}, \quad \forall i \quad (2)$$

$$w_i(x) = \frac{1}{d(x, x_i)^n} \quad (3)$$

Em que:

$u$ : valor da variável de interesse;

$w$ : ponderação pelo inverso da distância;

$x$ : ponto sendo estimado;

$x_i$ : ponto amostral  $i$ ;

$d(x, x_i)$ : distância entre o ponto amostral  $i$  e o ponto cuja variável de interesse será estimada;

$n$ : expoente.

O cálculo do teor médio ( $u(x)$ ) se dá tomando como base, além da distância entre os pontos e o teor, a definição do expoente e do tamanho dos blocos. A determinação do expoente e tamanho dos blocos deverá ser feita pelo próprio usuário, sendo extremamente importante, já que o expoente indicará se o método de estimativa do teor será o IQD ( $n= 2$ ) ou Polígonos ( $n> 10$ ) e o

tamanho dos blocos definirá quantos blocos existirão na malha amostrada que possui dimensões fixas.

Ao ser atribuído ao expoente o valor 2, conforme mostrado pela equação 4, automaticamente o cálculo será feito seguindo o método do IQD. A demonstração é feita para um bloco chamado “B”. No *software* desenvolvido, o cálculo foi feito para todos os blocos definidos na área de pesquisa (o número blocos varia de acordo com as suas dimensões).

$$t_b = \frac{t_1 \times \frac{1}{d_1^2} + t_2 \times \frac{1}{d_2^2} + t_3 \times \frac{1}{d_3^2} + \dots + t_n \times \frac{1}{d_n^2}}{\frac{1}{d_1^2} + \frac{1}{d_2^2} + \frac{1}{d_3^2} + \dots + \frac{1}{d_n^2}} \quad (4)$$

Sendo:

$t_b$ : teor estimado do bloco B;

$t_i$ : teor estimado no ponto i;

$d_i$ : distância do ponto i ao centro do bloco B.

## 4.2 A Adaptação do Método do Inverso da Enésima Potência da Distância para o Método dos Polígonos

Quando é atribuído ao expoente valor diferente de dois (sugere-se, neste trabalho, um valor maior que 10), a adaptação ocorre de modo que seja possível estimar o teor médio da reserva por meio do Método dos Polígonos (equações 2 e 3 e expoente  $n > 10$ ).

Matematicamente, esta adaptação do método do Inverso da Enésima Potência de Distância para o Método dos Polígonos torna-se possível, pois, à medida que se aumenta o expoente  $n$ , a influência dos pontos mais próximos se eleva, de forma que, para expoentes maiores, apenas o ponto mais próximo tenderá a ter influência sobre o teor estimado. Isso faz com que se formem polígonos graficamente e matematicamente perceptíveis, o que, de fato, caracteriza o Método dos Polígonos. Quando o expoente é menor (*e.g.*, menores que 8), o que se percebe é que os polígonos não formam desenhos tão bem delimitados, indicando que pontos mais distantes ainda têm influência sobre o teor do ponto a ser estimado (esta influência é reduzida à medida que os expoentes são maiores, por exemplo, maiores que 10).

Importante mencionar que o autor não encontrou registro na literatura da adaptação proposta neste trabalho (*i. e.*, uso do Método do Inverso da Enésima Potência da Distância para estimativa de depósitos minerais pelo Método dos Polígonos), sugerindo, portanto, uma inovação no que tange à utilização dos métodos convencionais. Tal análise e consequente demonstração foi facilitada pelo desenvolvimento, neste trabalho, de um *software* que permite que algo conceitualmente e matematicamente justificável possa ser visualmente demonstrado.

Outro benefício dessa adaptação é a facilidade de desenhar os polígonos no *software* desenvolvido quando se faz uso do Método da Enésima Potência de Distância para expoentes elevados (*e. g.*, maiores que 10). Cabe ressaltar que, em termos de programação, o desenho dos polígonos por outros métodos exige código complexo e de difícil implementação.

Essa facilidade em adaptar o Método do Inverso da Enésima Potência de Distância para o Método dos Polígonos é um dos grandes diferenciais do *software*, sendo ele capaz readequar o desenho na malha amostrada ao serem alterados os dados de entrada, o que manualmente não ocorreria com tamanha agilidade.

A linguagem adotada também facilitou a implementação das equações. No código utilizado, foi usada uma estrutura de repetição para estimativa dos teores e contagem do número de pontos/blocos estimados, de forma que o teor médio correspondesse, ao final do cálculo, ao  $u(x)$  da equação 2. As coordenadas dos pontos amostrais e seus respectivos teores podem ser observados de forma detalhada na tabela 1.

Tabela 1: Pontos Amostrados e Respectivos Teores (P1 = ponto 1, P2 = ponto 2, ..., P6 = ponto 6).

Ponto	Teor (%)
P1 (30, 50)	4,52%
P2 (300, 120)	7,39%
P3 (160, 400)	2,79%
P4 (320, 380)	3,38%
P5 (60, 400)	6,20%
P6 (200, 200)	5,20%

### 4.3 A variação do *step*

A variação do *step* nada mais é que a determinação da dimensão dos blocos em pixels, no que diz respeito ao comprimento (eixo das abscissas) e à largura (eixo das ordenadas) dos blocos no plano. Optou-se pela escolha de pixels como unidade de medida, pois, como esta é a menor unidade que compõe uma imagem, uma melhor definição pôde ser alcançada.

Basicamente, o teor é calculado para cada bloco em questão, de modo que quanto menores as dimensões dos blocos estabelecidas pelo usuário, maior o número de teores estimados na área de pesquisa. Se, em contrapartida, os blocos possuem dimensões maiores, menor será o número de blocos na imagem do *software* em questão, que possui medidas fixas de 400 m x 500 m.

### 4.4 A IDE Lazarus

Para a conformação do Método da Enésima Potência da Distância adaptado para o Método dos Polígonos e do Inverso do Quadrado da Distância optou-se por usar a IDE Lazarus, que é uma plataforma gratuita que proporciona um ambiente de desenvolvimento integrado (*Integrated Development Environment - IDE*) propiciando um desenvolvimento de *software* ágil (*Rapid-Application Development - RAD*).

Esta plataforma utiliza a linguagem Pascal, que foi desenvolvida na década de 60, tendo como finalidade inicial o uso didático no meio acadêmico de forma a permitir o ensino dos conceitos presentes na programação estruturada de computadores. Esse princípio causal da criação da linguagem Pascal faz com que a programação se dê de forma clara e organizada, de modo que a implementação das fórmulas utilizadas pelo Método da Enésima Potência de Distância bem como os recursos gráficos puderam ser implementados por meio de um código relativamente curto.

O Lazarus foi escolhido por se tratar de um ambiente amigável tanto para a programação, quanto para os usuários, contando com recursos gráficos e layout que permitem uma rica análise e uso do método de pesquisa escolhido. Além disso, a plataforma é gratuita e o executável pode ser aberto em qualquer computador, fazendo com que não seja necessária a instalação de outro *software* específico, o que facilita o acesso às informações geradas. No que diz respeito à programação, o Lazarus conta com quatro janelas:

- Formulário;
- Editor de Texto;
- Componentes;
- Inspetor de Objetos.

A tela pode ficar disposta de forma a englobar as quatro janelas, conforme pode ser observado na figura 2.

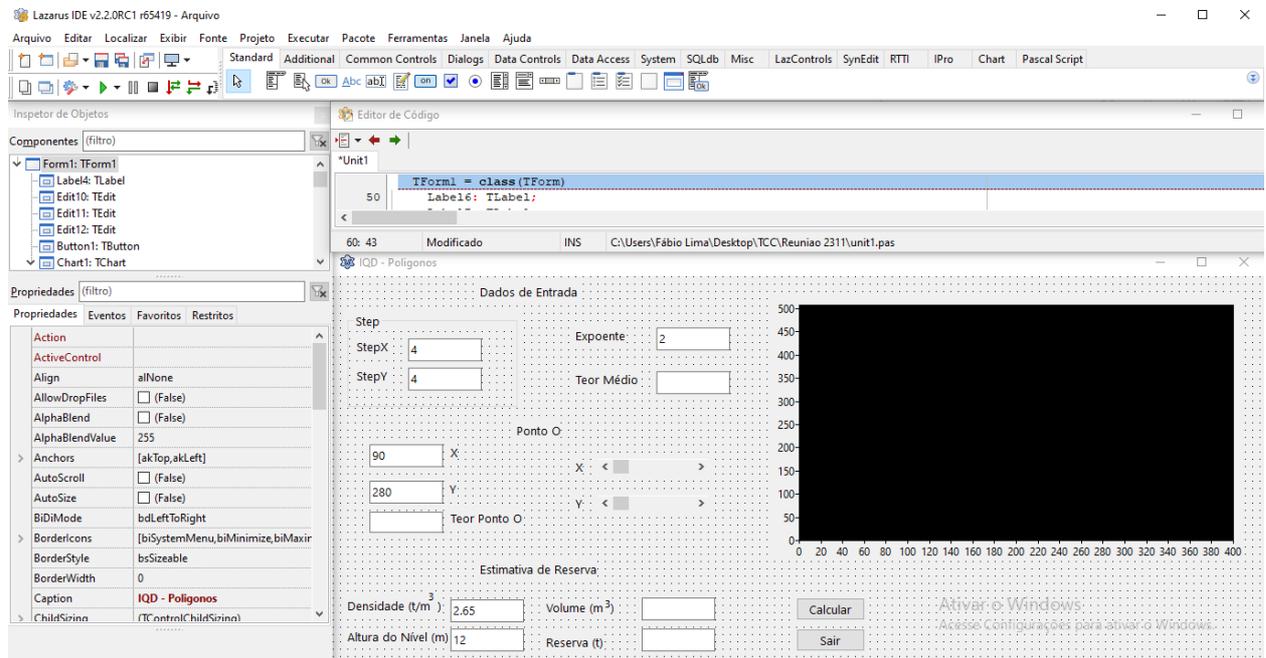


Figura 2: Interface desenvolvida no software Lazarus.

O formulário é uma janela na qual a interface, juntamente com os seus componentes, são implementados. Ou seja, é a parte na qual se define o *layout* da página onde ocorrerão as interações do usuário com o *software*, de modo a determinar quais serão os dados de entrada e saída, os comandos dados e a disposição gráfica do resultado, conforme pode-se observar na figura 3.

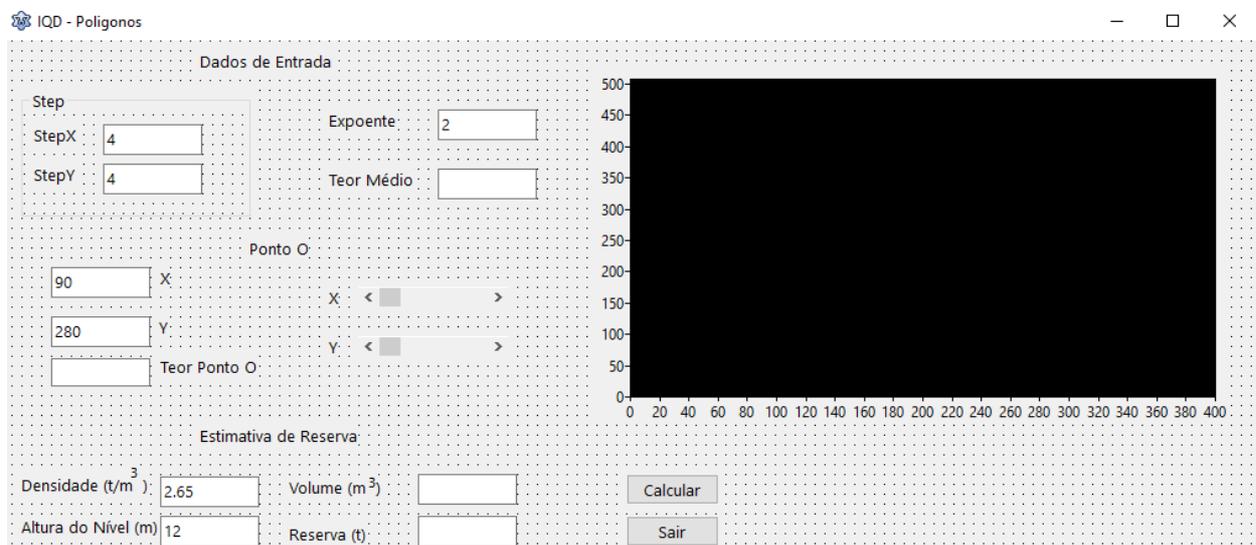


Figura 3: Tela inicial (interface) do aplicativo desenvolvido no Lazarus.

Já os componentes, que normalmente ficam na barra superior do *software* Lazarus, facilitam a implementação do código do aplicativo a ser desenvolvido. Há uma gama de recursos podendo-se citar, por exemplo, ferramenta de seleção, menus, botões, legendas, caixa de entrada de dados, *check box*, listas de seleção, barras de rolagem entre outros. Ainda na barra superior, podem ser encontrados os comandos que permitem executar o código, salvá-lo, entre outros (figura 4).

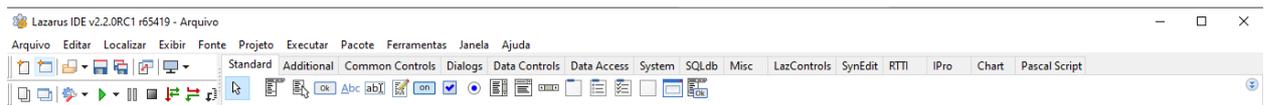


Figura 4: Menu e componentes disponíveis para o desenvolvimento de aplicativos no Lazarus.

Já as propriedades dos componentes presentes no formulário, já demonstrados, que são inseridos no formulário, são determinadas, ou mesmo modificadas, por meio do inspetor de objetos, que permite configurar os recursos adicionados conforme pode ser observado na figura 5.

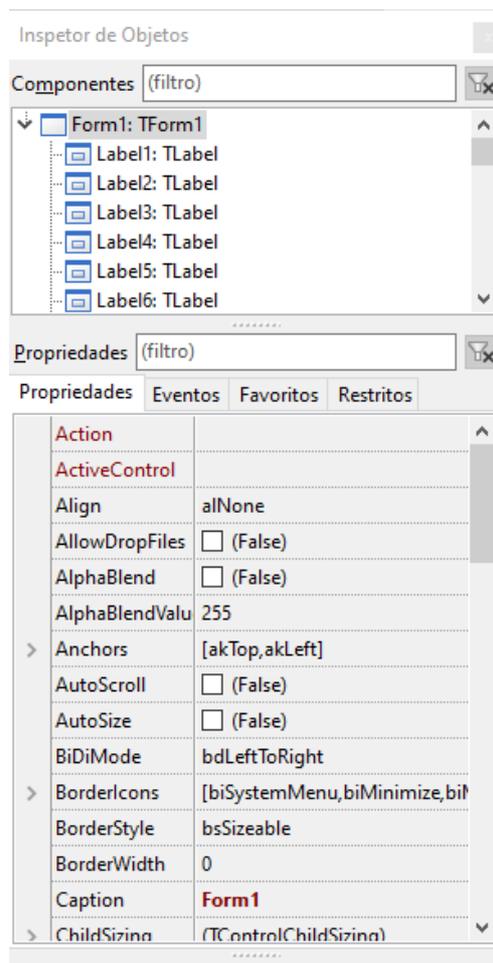


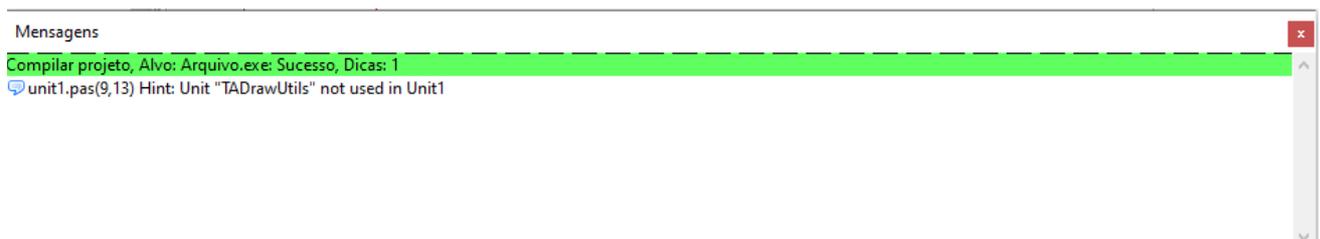
Figura 5: Inspecor de Objetos do Lazarus.

Uma vez que os elementos visuais aos quais o usuário terá acesso são adicionados, a lógica de programação associada deverá ser escrita assim como os cálculos a serem realizados através da implementação do código fonte. Esta etapa se dá no Editor de Textos que atribui os cálculos associados a cada comando adicionado, bem como o que será visualizado na representação gráfica dos resultados, conforme pode ser observado na figura 6.



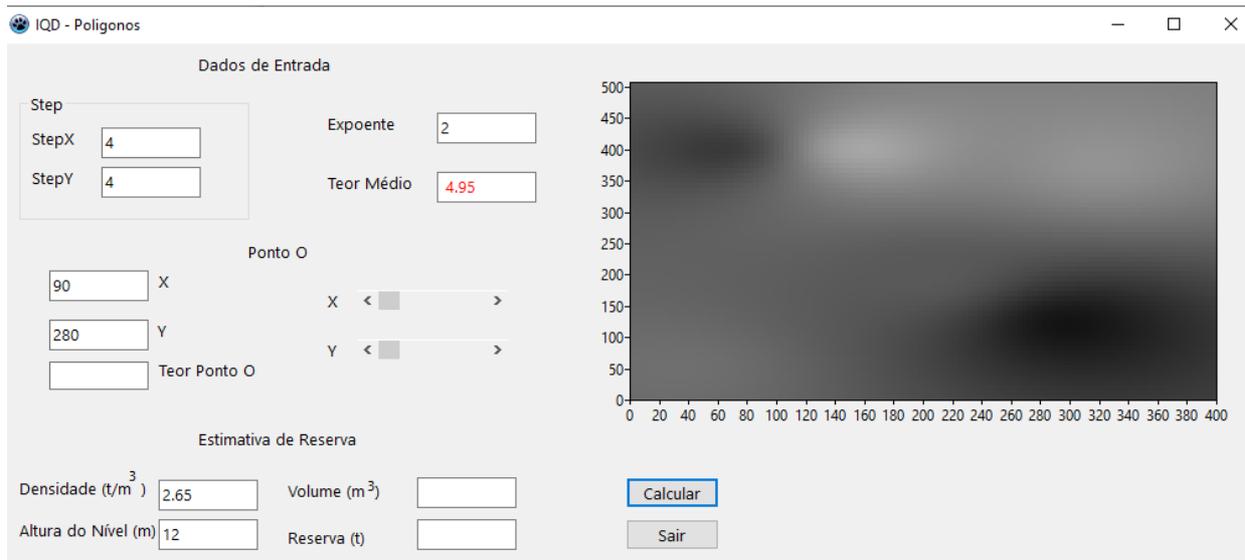
*Figura 6: Editor de Código do Lazarus.*

Há ainda a janela de mensagens que indica se o código foi executado com sucesso ou se algum erro no mesmo foi observado, conforme demonstra a figura 7. Em casos de erro, a linha na qual ele ocorreu ou as proximidades dela é indicada, o que facilita a correção.



*Figura 7: Mensagens exibida durante a compilação e a "linkagem" do código implementado.*

Uma vez que os elementos visuais aos quais o usuário terá acesso são adicionados e a lógica de programação associada a eles foi implementada de forma correta, inicia-se o processo de codificação interna da mesma (compilação e "linkagem") e, ao final deste processo, é exibida a janela na qual o usuário terá acesso (interface do aplicativo) conforme mostra a figura 8.



*Figura 8: Janela para interação com o usuário.*

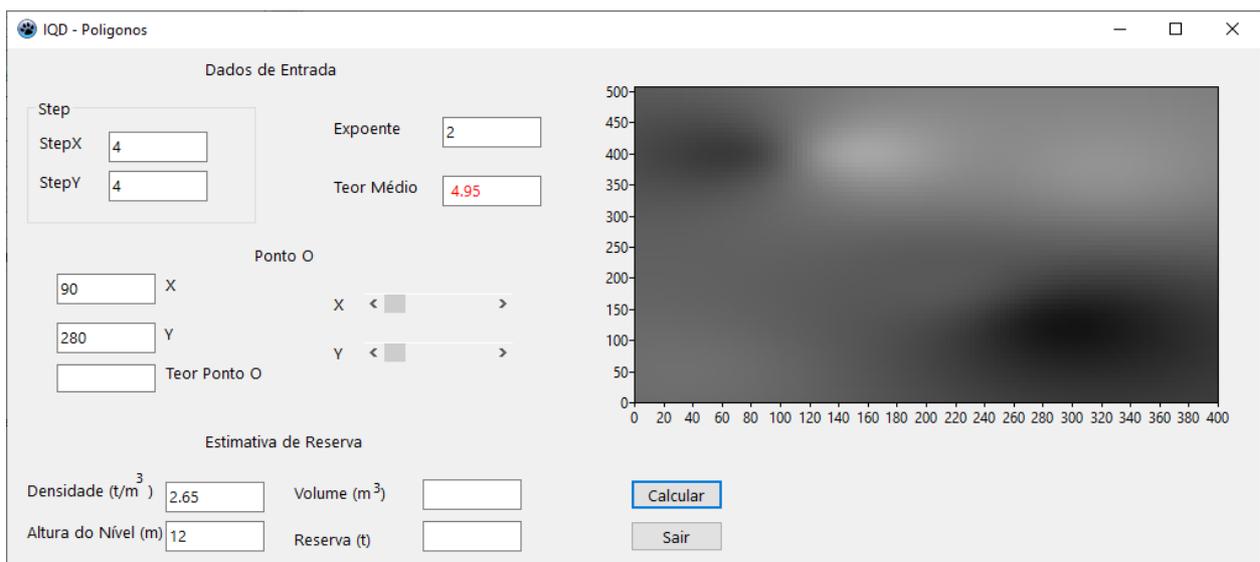
A sequência das figuras apresentadas permite concluir que a programação aconteceu de forma fluida e intuitiva. Importante mencionar que os ajustes podem ser facilmente implementados bastando, para isso, alterar o código fonte do aplicativo e, se preciso for, adicionar novos comandos. Esta ação se dá seguindo a mesma ordem previamente apresentada.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O *software* desenvolvido neste trabalho será detalhado tendo como finalidade apresentar os seus recursos e variáveis associadas aos diferentes resultados alcançados bem como a apresentação dos mesmos.

### 5.1 Tela Inicial e interface amigável

A tela do *software* desenvolvido (interface) conta com quatro partes básicas: Step, expoente, as coordenadas de um ponto O cujo teor será estimado e a Estimativa da Reserva em termos de volume, tonelagem e teor médio, conforme mostra a figura 9.



The screenshot displays the main interface of the 'IQD - Poligonos' software. It features a 'Dados de Entrada' section with input fields for 'StepX' (4), 'StepY' (4), 'Expoente' (2), and 'Teor Médio' (4.95). Below this is the 'Ponto O' section with 'X' (90) and 'Y' (280) coordinates, and a 'Teor Ponto O' field. The 'Estimativa de Reserva' section includes 'Densidade (t/m<sup>3</sup>)' (2.65), 'Altura do Nível (m)' (12), and empty fields for 'Volume (m<sup>3</sup>)' and 'Reserva (t)'. A 'Calcular' button is highlighted in blue, and a 'Sair' button is visible below it. On the right, a large empty coordinate grid is shown with axes ranging from 0 to 400 on the x-axis and 0 to 500 on the y-axis.

Figura 9: Tela inicial (interface) do software.

### 5.2 Step X, Step Y e expoente

Com relação aos dados de entrada, deve ser definido as dimensões dos blocos em *StepX* (eixo das abscissas) e *StepY* (eixo das ordenadas) em pixels, bem como o expoente, que determinará se o método do cálculo será o IQD (expoente 2) ou dos Polígonos (expoente maior que 10) conforme a figura 10. Uma vez que os três dados de entrada são inseridos, o teor é calculado, sendo exibido abaixo dos dados adicionados de forma a facilitar a influência que ambos possuem sobre os valores de teor médio.

Importante mencionar que os lados dos polígonos não aparecem perpendiculares aos segmentos de reta que unem os pontos amostrados vizinhos, e não seguem, portanto, a mesma orientação das mediatrizes destes segmentos de reta. Isso se dá devido à escala do eixo x ser diferente da escala do eixo y, o que faz com que a proporcionalidade entre ambas não respeite a razão 1:1. Este impacto pode ser notado apenas do ponto de vista gráfico, não tendo qualquer impacto sobre os cálculos efetuados.

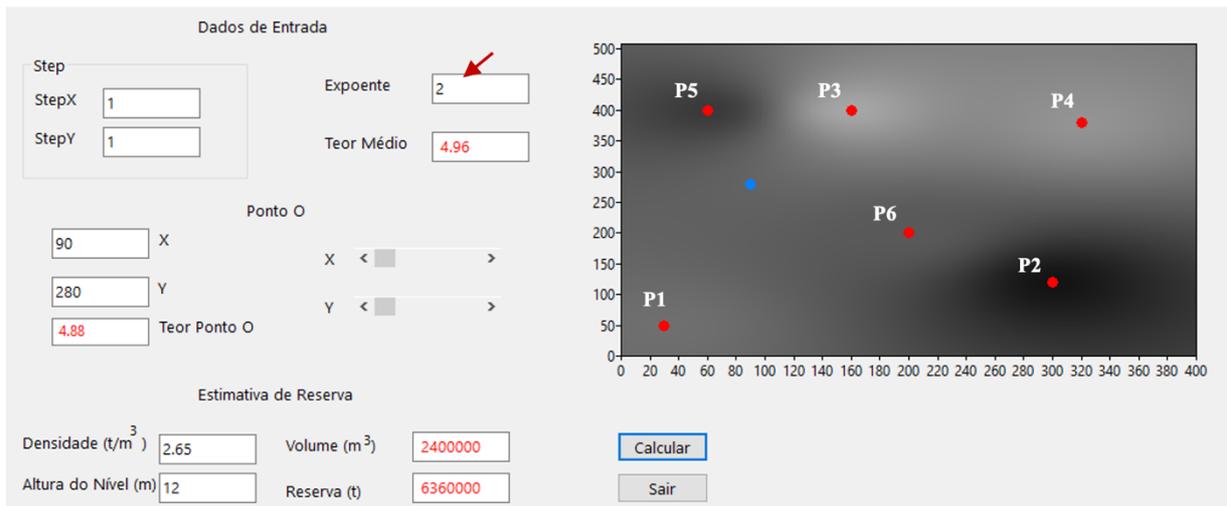


Figura 10: Teor médio estimado do depósito e estimativa da reserva para  $n = 2$  (método IQD).

Nas figuras 11 a 14 é possível notar que, quanto maior o expoente, mais bem delimitados se tornam os polígonos formados, porque a área de transição entre os polígonos se torna menor (o teor de um ponto amostrado na estimativa do teor em outros pontos tende a prevalecer até a meia distância entre ele e os pontos adjacentes). Ou seja, quanto maior o expoente, maior será a influência dos pontos mais próximos de modo que se formam, assim, polígonos cada vez mais bem delimitados e que sofrem menor, ou quase nenhuma, influência de pontos mais distantes na estimativa do teor em pontos no interior destes polígonos.

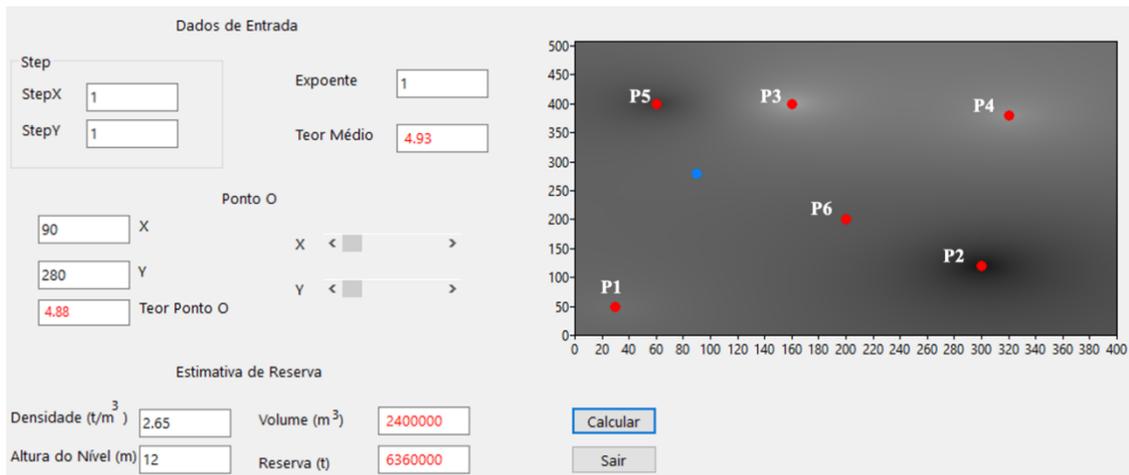


Figura 11: Distribuição dos teores para expoente  $n = 1$ .

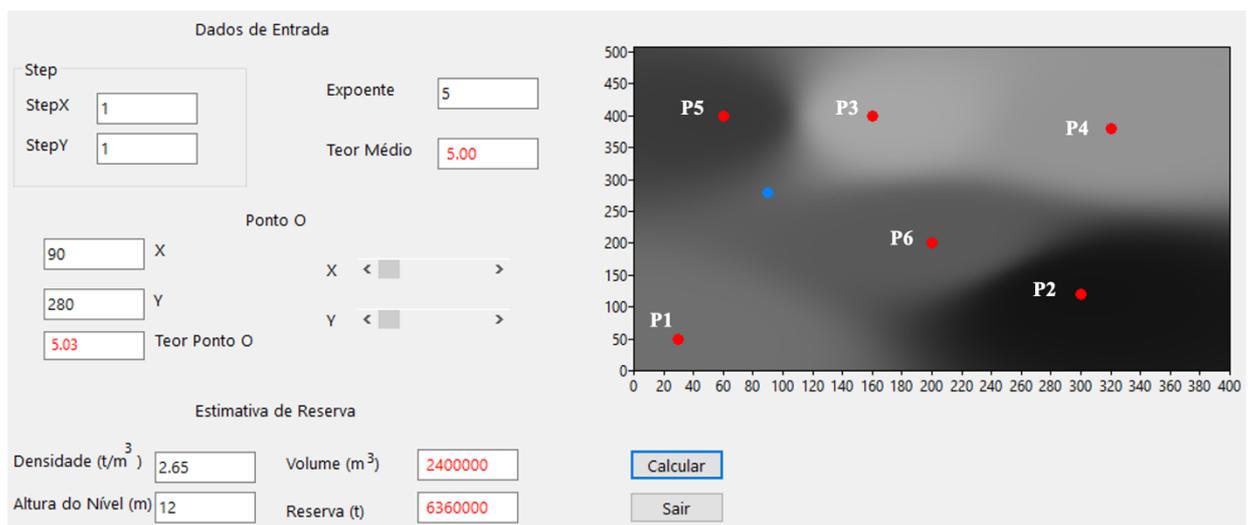


Figura 12: Distribuição dos teores para expoente  $n = 5$ . É possível notar um esboço preliminar dos polígonos.

Se na figura 11 (expoente  $n = 1$ ) e, até mesmo na figura 12 (expoente  $n = 5$ ), não é possível ver a delimitação clara dos polígonos, nas figuras 13 e 14 ( $n = 20$  e  $n = 50$ , respectivamente) os polígonos já são nitidamente percebidos.

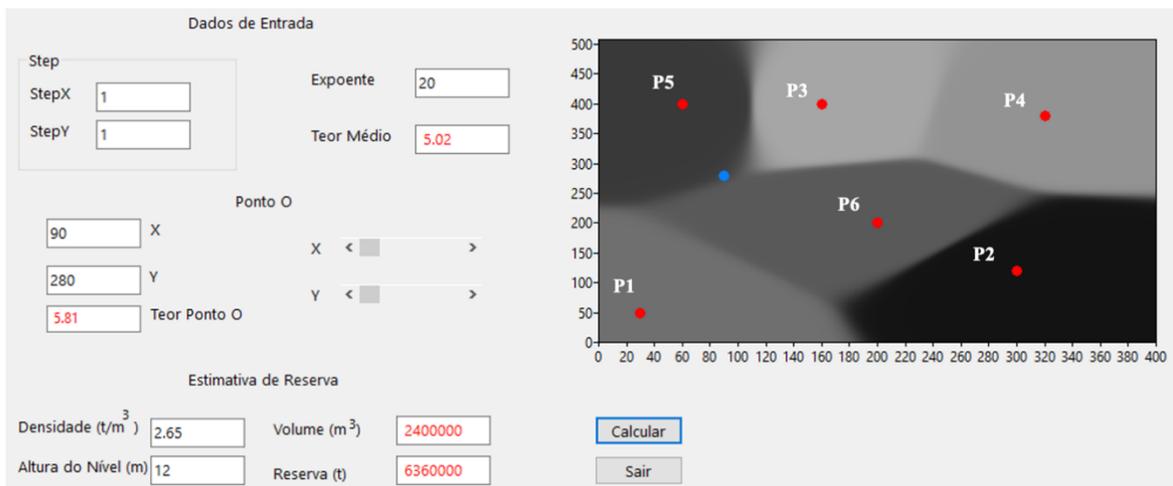


Figura 13: Distribuição dos teores para expoente  $n = 20$ . Os polígonos já são bem definidos, sendo caracterizados por uma região estreita de transição entre eles.

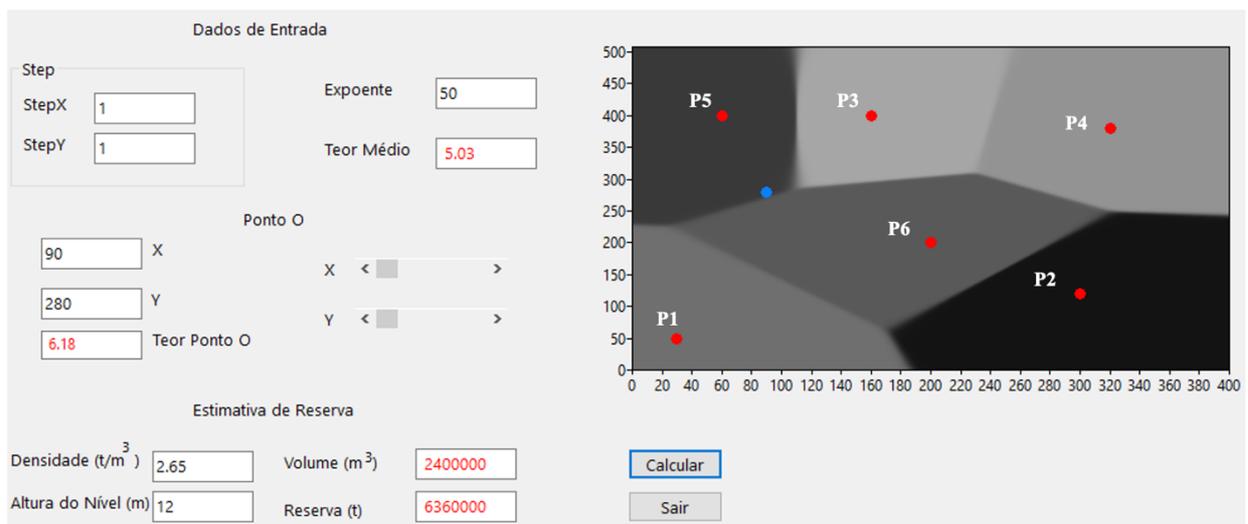


Figura 14: A adaptação para o método dos polígonos (expoente  $n = 50$ ). Notam-se nitidamente os limites das áreas de influência definidas pelos lados dos polígonos.

Basicamente, tem-se que o teor observado em cada polígono seguirá os teores amostrados nos pontos que se localizam ao centro de cada um, conforme os valores mostrados na tabela 2.

Tabela 2: Coordenadas dos pontos amostrados e teores para comparação com os teores estimados dos polígonos formados.

Ponto	Teor (%)
P1 (30, 50)	4,52%
P2 (300, 120)	7,39%
P3 (160, 400)	2,79%
P4 (320, 380)	3,38%
P5 (60, 400)	6,20%
P6 (200, 200)	5,20%

É importante salientar que os métodos utilizados na estimativa dos teores são métodos convencionais, não sendo possível afirmar qual dos resultados encontrados apresenta menor erro, pois, diferentemente dos métodos geoestatísticos, não é possível calcular o erro associado à estimativa.

Já com relação ao *Step*, tem-se que, quanto maior o tamanho dos blocos, mais frequentemente eles se apresentarão fragmentados nos arredores da malha, o que compromete o resultado observado, já que estes entraram no cálculo como se possuíssem o mesmo tamanho dos blocos centrais. Isso pode ser observado claramente nas figuras 15 a 18. Percebe-se, também, que os contornos das áreas de influência definidas pelos polígonos não são tão bem delimitados.

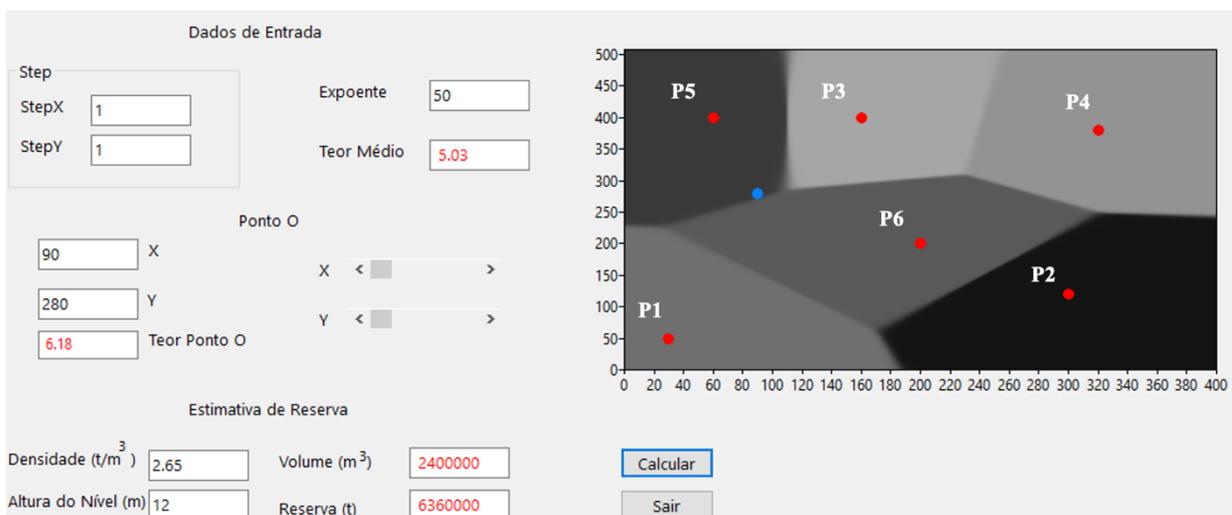


Figura 15: Dimensões dos blocos:  $1 \times 1$  pixel.

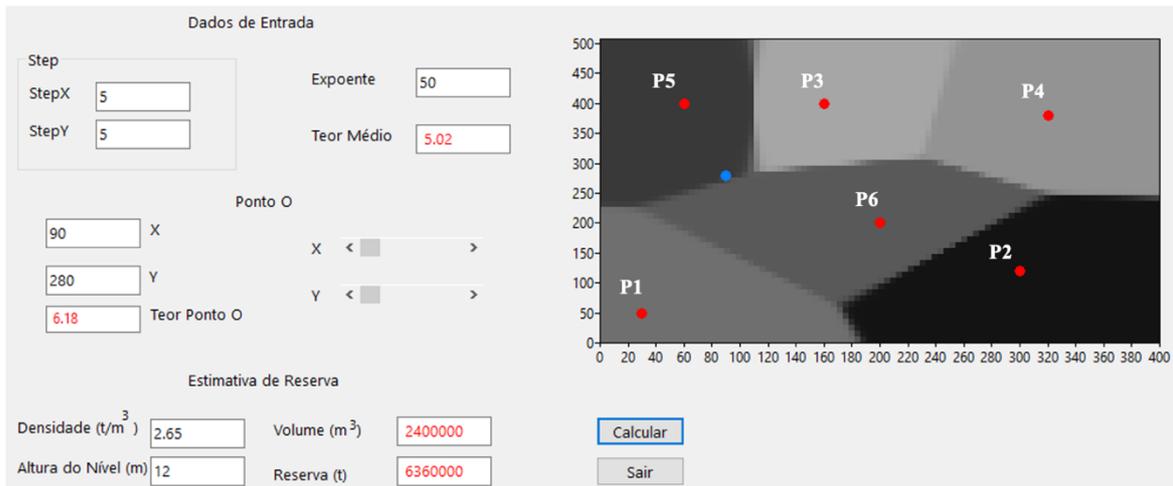


Figura 16: Dimensões dos blocos: 5 × 5 pixels.

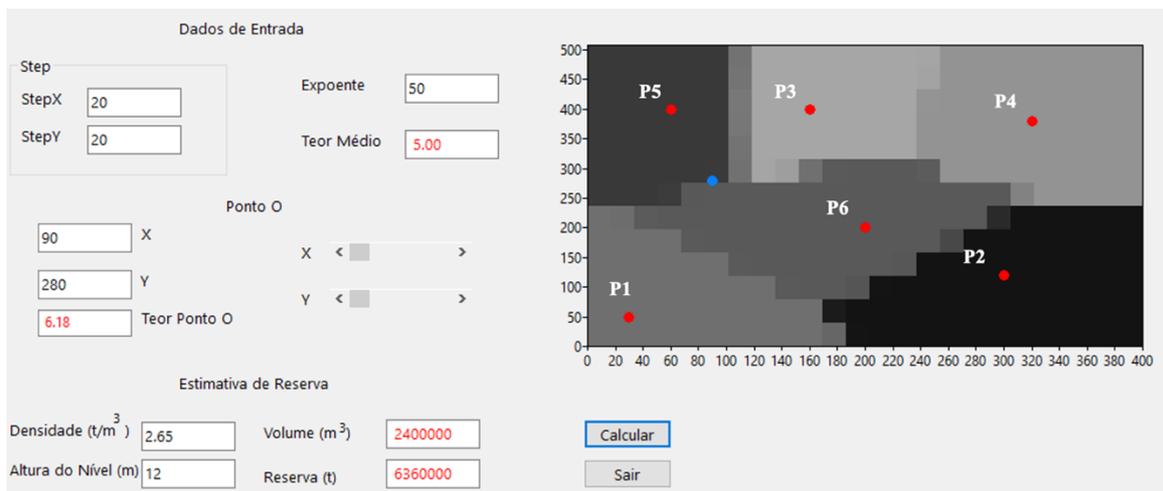


Figura 17: Dimensões dos blocos: 20 × 20 pixels.

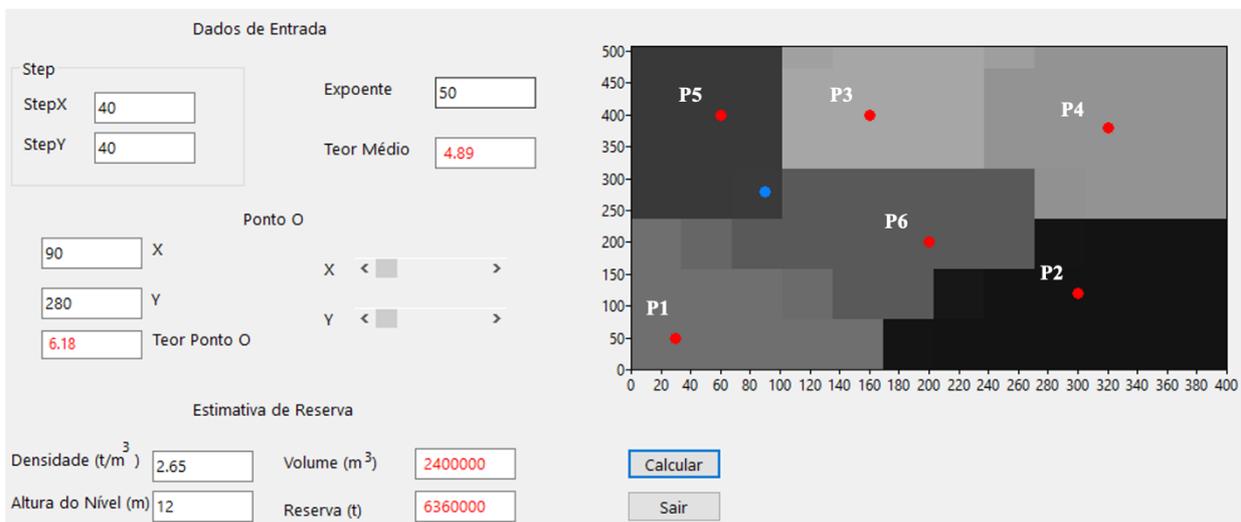


Figura 18: Dimensões dos blocos: 40 × 40 pixels.

### 5.3 O Ponto a ser estimado

O ponto O mostrado nas figuras (ponto de cor azul) tem por objetivo permitir que o usuário possa conhecer o teor em diferentes pontos da área de pesquisa, de forma que fique claro o teor no interior dos polígonos desenhados. Conforme pode ser observado nas figuras 19 e 20, cada polígono possui um valor de teor associado.

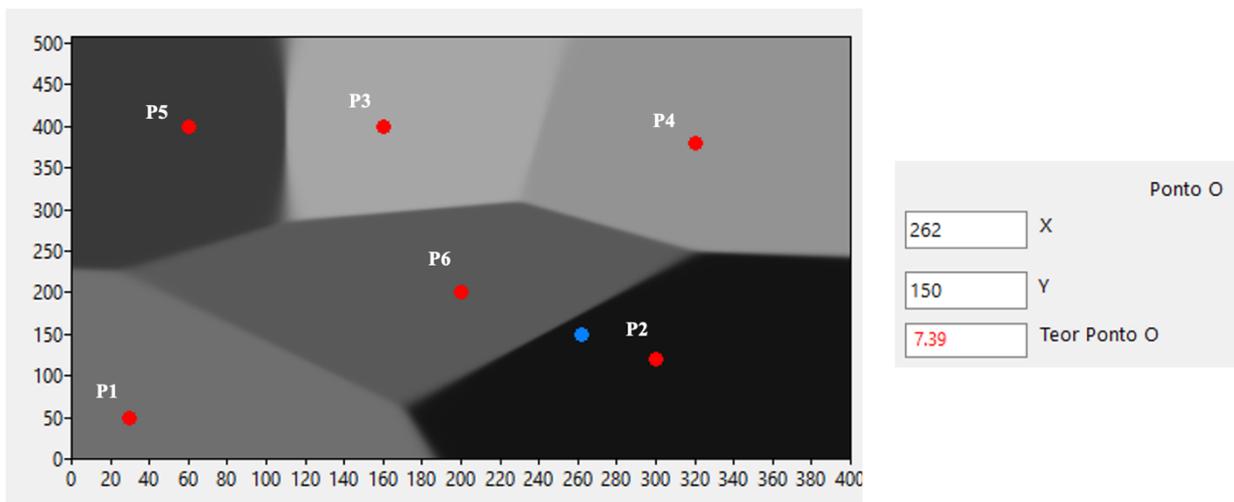


Figura 19: Ponto O – coordenada (262,150) e teor 7.39.

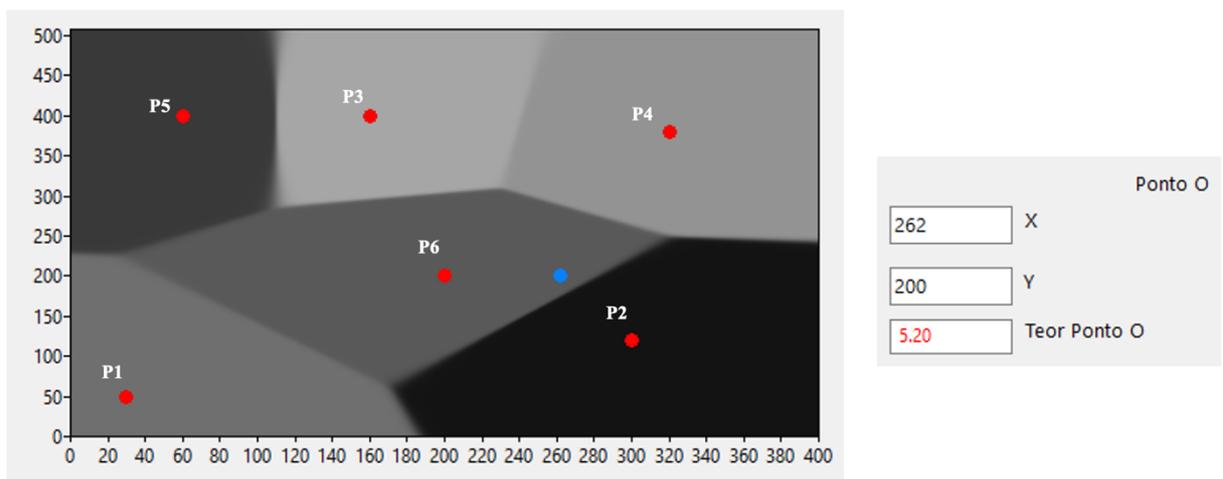


Figura 20: Ponto O – coordenada (262,200) e teor 5.20.

Porém, quando o ponto está na transição das áreas de influência, um valor intermediário é fornecido (figura 21). Isso ocorre devido a interferência do ponto vizinho na estimativa do teor do ponto O.

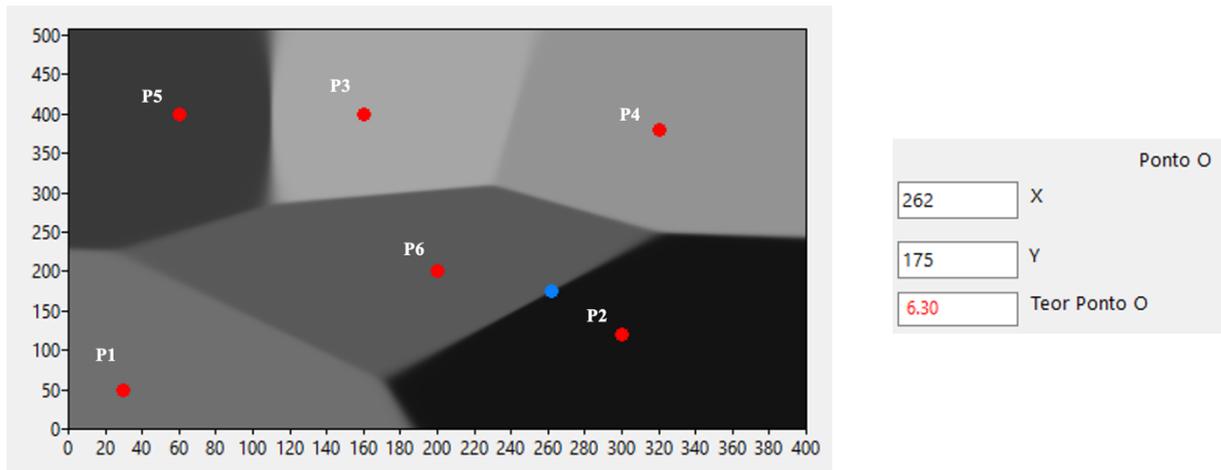


Figura 21: Ponto O – coordenada (262,175) e teor 6.30.

#### 5.4 A Estimativa da Reserva

Além do teor médio, o *software* desenvolvido apresenta a estimativa da reserva, sendo indicados o volume da mesma em m<sup>3</sup> e a reserva estimada em toneladas.

O volume leva em conta as dimensões da malha amostrada (400 m × 500 m), as quais são valores fixos, e a altura do nível, que se aplica tanto para o contexto de altura de blocos quanto para altura de bancadas. Este dado é fornecido pelo usuário, o que permite a sua variação. Para a determinação do volume foi utilizada a equação 5.

$$V = 400\text{m} \times 500\text{m} \times h_{\text{nível}} \quad (5)$$

Sendo:

V: volume em m<sup>3</sup>;

$h_{\text{nível}}$ : altura do nível (em m).

Com relação ao volume, quanto maior a altura das bancadas (ou blocos), maior ele será, conforme pode ser observado nas figuras 22 e 23.

Densidade (t/m <sup>3</sup> )	<input type="text" value="2.5"/>	Volume (m <sup>3</sup> )	<input type="text" value="1000000"/>
Altura do Nível (m)	<input type="text" value="5"/>	Reserva (t)	<input type="text" value="2500000"/>

Figura 22: Volume e Altura do Nível para  $h_{nível} = 5m$ : Uma relação diretamente proporcional.

Densidade (t/m <sup>3</sup> )	<input type="text" value="2.5"/>	Volume (m <sup>3</sup> )	<input type="text" value="3000000"/>
Altura do Nível (m)	<input type="text" value="15"/>	Reserva (t)	<input type="text" value="7500000"/>

Figura 23: Volume e Altura do Nível para  $h_{nível} = 15m$ : Uma relação diretamente proporcional.

Optou-se por deixar a definição da altura do nível a cargo do usuário para que seja possível, assim, adequar a estimativa da reserva aos mais diversos tipos de depósitos. Além disso, este recurso permite fazer simulações do impacto que a altura das bancadas (ou mesmo blocos) tem no resultado final. Isso faz com que uma adequação das dimensões, visando a viabilidade da atividade mineira, possa ocorrer de forma rápida e, ao mesmo tempo, visual.

Já a reserva em toneladas leva em conta o volume e a densidade, tendo sido o volume previamente calculado. Ela é ela determinada pela equação 6.

$$R = V \times d \tag{6}$$

Sendo:

R: reserva (em t);

V: volume (em m<sup>3</sup>);

d: massa específica (em t/m<sup>3</sup>).

No comando do *software*, optou-se por utilizar o termo densidade, uma vez que este é costumeiramente utilizado no contexto de mineração para indicar a massa específica de uma dada amostra. Como o objetivo é fazer com que a interface seja amigável e os comandos de fácil compreensão, essa adequação se mostrou pertinente. Porém, em se tratando do cálculo e do embasamento teórico, é importante reforçar que o termo utilizado densidade, de fato, diz respeito à massa específica do material.

Tem-se que, quanto maior a massa específica, maior será a reserva estimada, conforme explicitado nas figuras 24 e 25.

Densidade (t/m <sup>3</sup> )	<input type="text" value="2.65"/>	Volume (m <sup>3</sup> )	<input type="text" value="2400000"/>
Altura do Nível (m)	<input type="text" value="12"/>	Reserva (t)	<input type="text" value="6360000"/>

Figura 24: Reserva Estimada, Densidade e Volume – Uma relação diretamente proporcional – Densidade: 2.65.

Densidade (t/m <sup>3</sup> )	<input type="text" value="4.5"/>	Volume (m <sup>3</sup> )	<input type="text" value="2400000"/>
Altura do Nível (m)	<input type="text" value="12"/>	Reserva (t)	<input type="text" value="10800000"/>

Figura 25: Reserva Estimada, Densidade e Volume – Uma relação diretamente proporcional – Densidade: 4.5.

## 5.5 Exibição dos resultados

Uma vez que estes dados tenham sido informados, o cálculo é, então, instantaneamente realizado e o resultado apresentado de forma numérica e gráfica, conforme pode ser observado na figura 26.

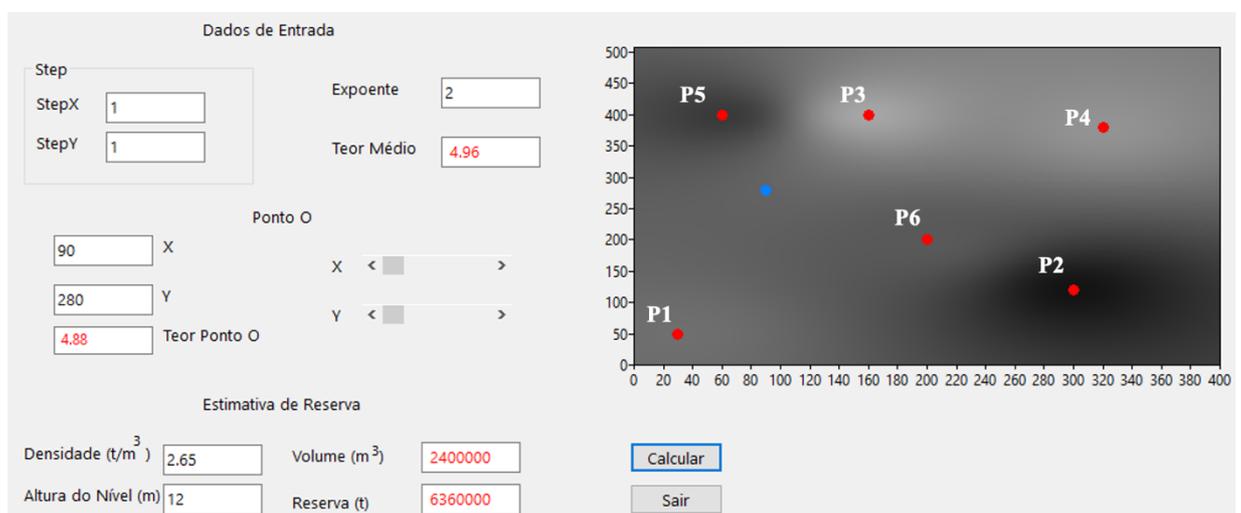


Figura 26: Apresentação do Resultado.

Além da janela principal, acompanha o *software* um formulário que traz o contexto no qual ele foi desenvolvido (figura 27). O formulário traz informações do tipo “Sobre o aplicativo” e a sua condição de uso. A distribuição do *software* será permitida mediante autorização prévia.



Figura 27: O Formulário “Sobre o aplicativo” que acompanha o *software*.

De forma geral, o *software* visa levar ao usuário elementos suficientes para melhor analisar a área em questão a partir dos primeiros dados de entrada, de modo que fique claro o impacto que cada variável (expoente e step) tem sobre o valor final, que nada menos é que o teor médio da área amostrada.

Sabe-se que os métodos convencionais, apesar de serem métodos mais simples e que não oferecem a informação do erro de estimativa associado, são amplamente utilizados no contexto minerário brasileiro e mesmo global e se mostram muito condizentes com as primeiras fases de estimativa de reservas. Além disso, em inúmeros casos, os métodos convencionais são os únicos aplicados. Logo, fica claro o ganho que um detalhamento de análise dos métodos convencionais, cada vez maior, pode gerar.

Com relação ao uso no contexto acadêmico, recomenda-se que ele sirva como forma de facilitar o entendimento dos métodos convencionais apresentados. O ideal é que o corpo docente e discente que dele lance mão aprimore o embasamento teórico por trás do que é apresentado no *software* além de poder simular a influência que cada elemento possui no resultado.

No mais, um dos objetivos principais do presente trabalho é que o estudo desenvolvido traga inspiração para estudos futuros. Por meio de pequenos aprimoramentos será possível, por exemplo, tornar o *software* viável para situações reais, e não hipotéticas. Neste caso, a entrada de dados por meio de um arquivo contendo pontos e teores seria o mais indicado, de forma que, caso

o usuário esteja avaliando uma área de interesse, ele tenha elementos para decidir se há ou não viabilidade econômica para a exploração utilizando, entre outras informações, o teor médio estimado do depósito.

Para os casos em que o teor médio não justifique o investimento para dar início a atividade mineira, o interessado na área pode, por meio da avaliação previa e dos elementos que ela o propiciou, acompanhar a evolução econômica e geopolítica do setor de *commodities* de forma que, em um momento oportuno, a área possa tornar-se viável. Para situações nas quais os resultados foram satisfatórios e o teor médio encontrado justifica uma maior atenção sobre a área, o recomendado é que estudos mais detalhados sejam desenvolvidos de acordo com as expectativas de ganhos, recursos disponíveis e características do depósito.

## 6. CONCLUSÕES

O *software* desenvolvido no presente trabalho permite a avaliação de depósitos minerais por meio do método convencional do Inverso da Enésima Potência de Distância adaptado para o método dos Polígonos, sendo o código implementado na IDE Lazarus, o qual usa a linguagem de programação Pascal e bibliotecas auxiliares.

O algoritmo relacionado ao método convencional do inverso da enésima potência da distância foi implementado e os resultados das análises de cenários-teste foram discutidos para o método dos polígonos, ficando clara as informações que o modelo pode propiciar e a influência que cada ponto amostrado terá no cálculo do teor médio da área em questão.

O resultado foi apresentado de forma gráfica, sendo possível perceber a influência que cada variável possui no valor do teor médio final e da reserva estimada. O recurso gráfico adotado permite que isso possa ser facilmente interpretado, de forma que a informação possa auxiliar na tomada de decisão sem a necessidade de tratamento posterior de dados. Além disso, a disposição final dos resultados exibidos pelo *software* faz com que o objetivo de possuir caráter didático-pedagógico tenha sido alcançado.

Como o *software* consegue abarcar tanto conceitos teóricos quanto matemáticos, no que tange a métodos de avaliação de reservas minerais, ele bem cumpre o seu papel de ser utilizado no meio acadêmico. Dado que, por meio da interface amigável, o usuário consegue interagir com o método e com as suas variáveis, o conhecimento adquirido se torna mais sedimentando e completo, garantindo a qualificação dos alunos de engenharia de minas e um nível mais elevado de preparo técnico dos mesmos.

O aplicativo permite que o usuário interaja de forma dinâmica e intuitiva através de uma interface gráfica amigável, a partir da qual é possível selecionar opções que modificam os parâmetros para a realização das estimativas.

Por fim, sugere-se que trabalhos futuros sejam desenvolvidos tendo como objetivo o desenvolvimento do recurso de leitura de base de dados por meio da inserção dos mesmos em formatos amigáveis, podendo-se citar Excel e arquivos .csv, por exemplo, ou ainda utilizando o próprio aplicativo desenvolvido.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, H. M. **Mineração e meio ambiente na Constituição Federal**. São Paulo: LTr, 1999. 110 p.
- ASSEMBLÉIA GERAL DA ONU (AG). Resolução 1.803/62. da Comissão Permanente de Soberania sobre os Recursos Minerais das Nações Unidas, Resolução 1.803, 1974.
- BARBOSA, A. R. **Breve panorama da legislação minerária**. Revista de Direito Administrativo, v. 197, pp. 64-73, 1994.
- BRASIL. Decreto-Lei 227 de 28 de fevereiro de 1967. **Código de Mineração**, 1967. Disponível no Diário Oficial da União no dia 28 de fevereiro de 1967.
- DUBIŃSKI, J. **Sustainable Development of Mining Mineral Resources**. Journal of Sustainable Mining. Volume 12, Issue 1, 2013, pp. 1-6.
- GUERRA, P. A. G. **Geoestatística Operacional**. DNPM, Brasília, 1988, 145 p.
- HARTMAN, H. L. e MUTMANSKY, J. M. **Introductory mining engineering**. 2<sup>nd</sup> edition, John Wiley e Sons, 2002, 592 p.
- ISAAKS, E. H. e SRISVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. Oxford University Press, New York, 1989, 561 p.
- MAZZINI, P.L.F. e SCHETTINI, C.A.F. **Avaliação de Metodologias de Interpolação Espacial Aplicadas a Dados Hidrográficos Costeiros Quase-Sinóticos**. 2009. Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology. V.13, n. 1, pp. 53-64.
- WEO (2011): World Energy Outlook International Energy Agency 2011.
- YAMAMOTO, J.K. **Avaliação e Classificação de Reservas Minerais**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001, 226 p.