MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Laboratório 4 – Álgebra de Mapas

- Introdução ao Geoprocessamento -

Gustavo Prouvot Ortiz
– aluno de Mestrado em Sensoriamento Remoto –
docentes: Dr. Antônio Miguel Vieira Monteiro e Dr. Claudio Barbosa

INPE
São José dos Campos
2016

1 INTRODUÇÃO

Objetivo deste *Laboratório 4* é a seleção de áreas potenciais a prospecção de Cromo, a partir das técnicas AHP (Processo Analítico Hierárquico) e *Fuzzy Logic*.

2 DESENVOLVIMENTO

As tarefas executadas neste *Laboratório 4* consistem na geração de mapas a partir de programas escritos na *Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico* (LEGAL).

O primeiro passo foi ativar o banco de dados Piranga e o projeto Cromo, com sistema de projeção *UTM/Hayford/CórregoAlegre*.

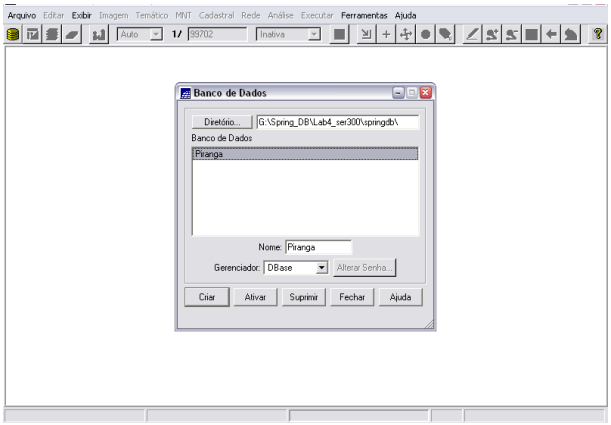


Figura 2.1 – ativação do banco de dados Piranga.

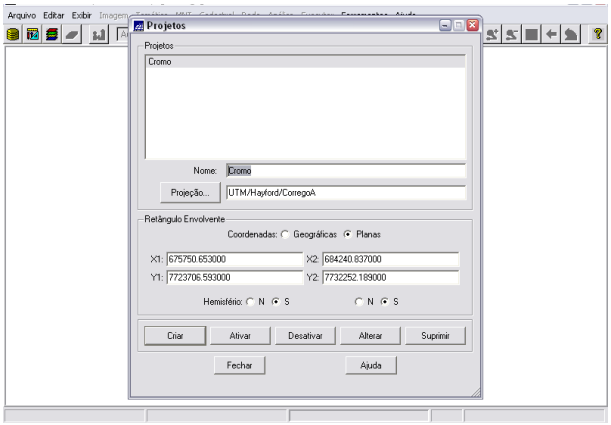


Figura 2.2 – ativação do projeto Cromo dentro do banco de dados Piranga.

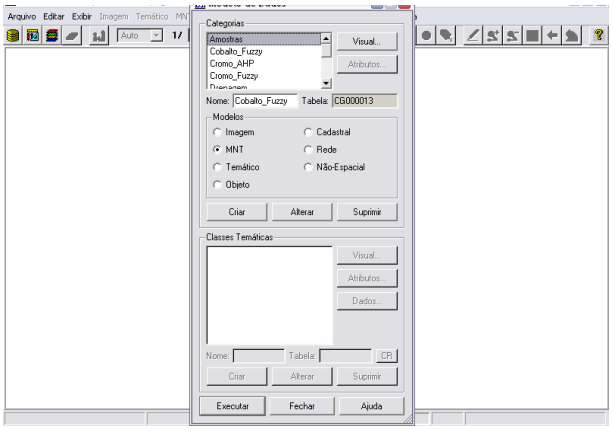


Figura 2.3 – visualização do *Modelo de Dados*.

Nome da Categoria	Modelo
Amostras	MNT
Cromo_Fuzzy	MNT
Cobalto_Fuzzy	MNT
Gama_Fuzzy	MNT
Cromo_AHP	MNT
Geologia_Ponderada	MNT

Tabela 2.1 – categorias e respectivos modelos.

Nome da Categoria	Modelo	Classes Temáticas	Visual/Cores
Drenagem	Temático	drenagens	Linha / BLUE_7
Recorte	Temático	cl_recorte	Linha / BLACK

Fatiamento	Temático	Alto Potencial	Área / RED_7
		Medio Potencial	Área / GREEN_3
		Baixo Potencial	Área / BLUE_1
		Background	Área / GRAY_1
Geologia	Temático	Asap - Sto Antonio Pirapetinga	Área / BLUE_7
		Arvs - Unidade Superior	Área / GREEN_1
		Granito-Granodiorito	Área / RED_7
		Arvm - Unidade Media	Área / YELLOW_4
		mv1 - Sto Antonio Pirapetinga	Área/ BEIGE
		mb - Sto Antonio Pirapetinga	Área / BLUE_1

Tabela 2.2 – categorias, modelos, classes temáticas e visual.

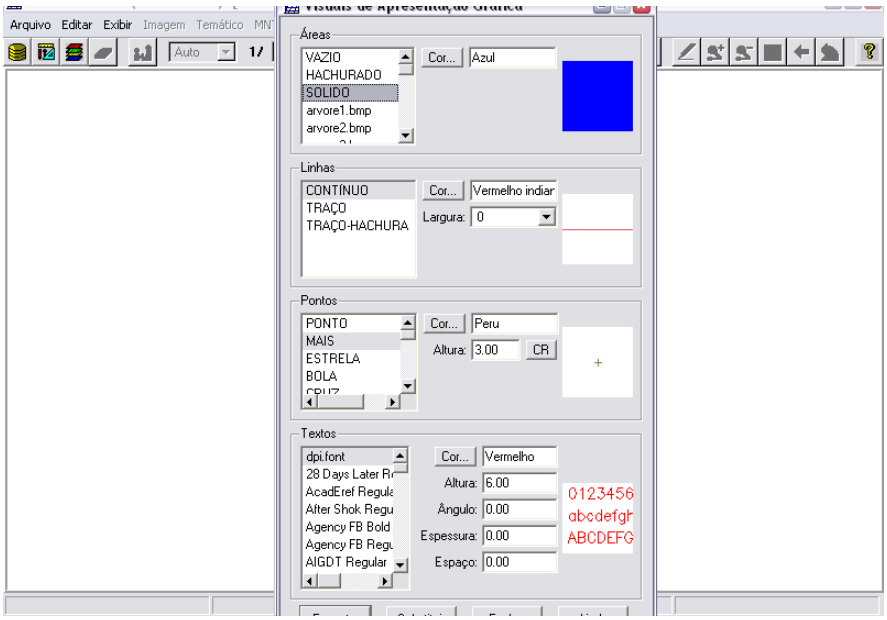


Figura 2.4 – visual da categoria Cobalto_Fuzzy.

2.1 GERAÇÃO DE GRADE REGULAR PARA O PI: TEORES_CROMO

Inicialmente foi gerada a grade regular para o PI Teores_Cromo. O interpolador utilizado foi o de *Média Ponderada*.

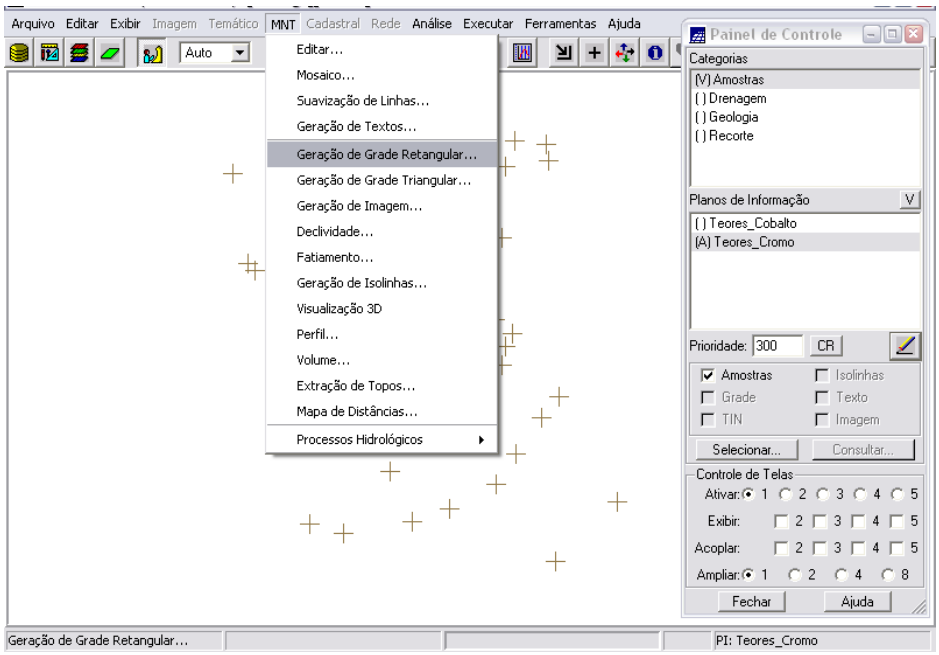


Figura 2.5 – geração de Grade Retangular.

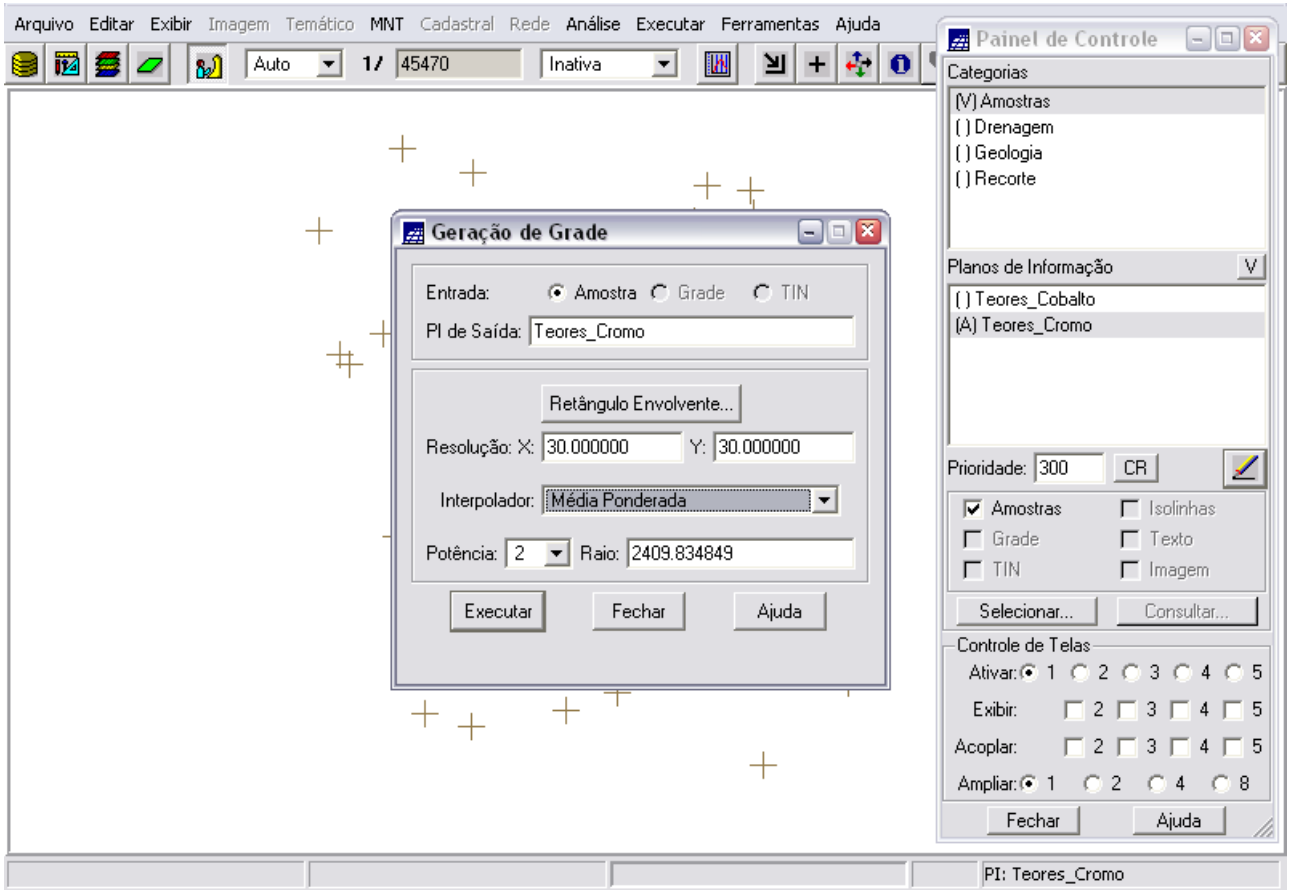


Figura 2.6 – geração de Grade Retangular.

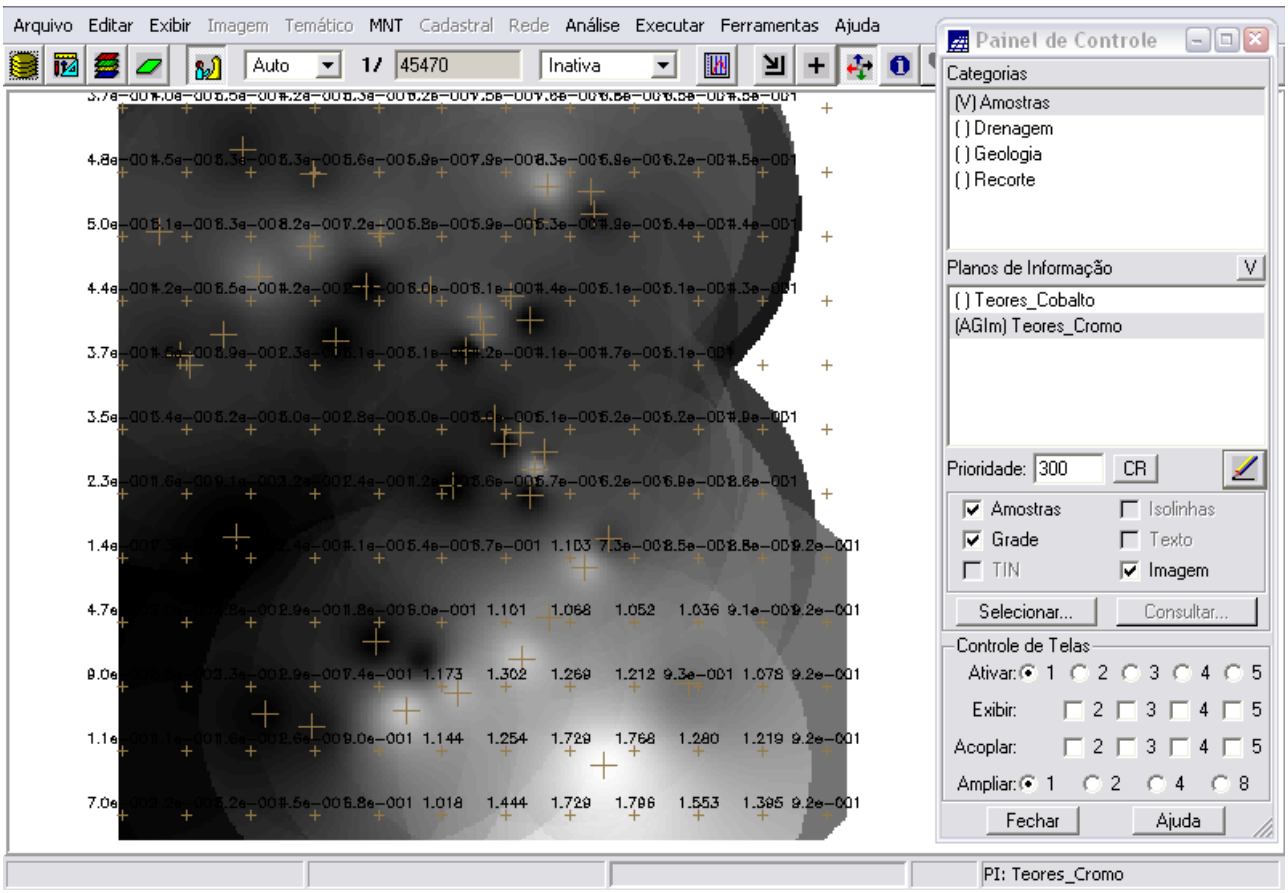


Figura 2.7 – Grade Retangular gerada para *Teores de Cromo*.

2.2 GERAÇÃO DE GRADE REGULAR PARA O PI: TEORES_COBALTO

Em seguida, o mesmo procedimento realizado anteriormente foi repetido para criação da grade regular para o PI Teores_Cobalto. O interpolador utilizado também foi o de *Média Ponderada*.

Figura 2.8 – geração de Grade Retangular.

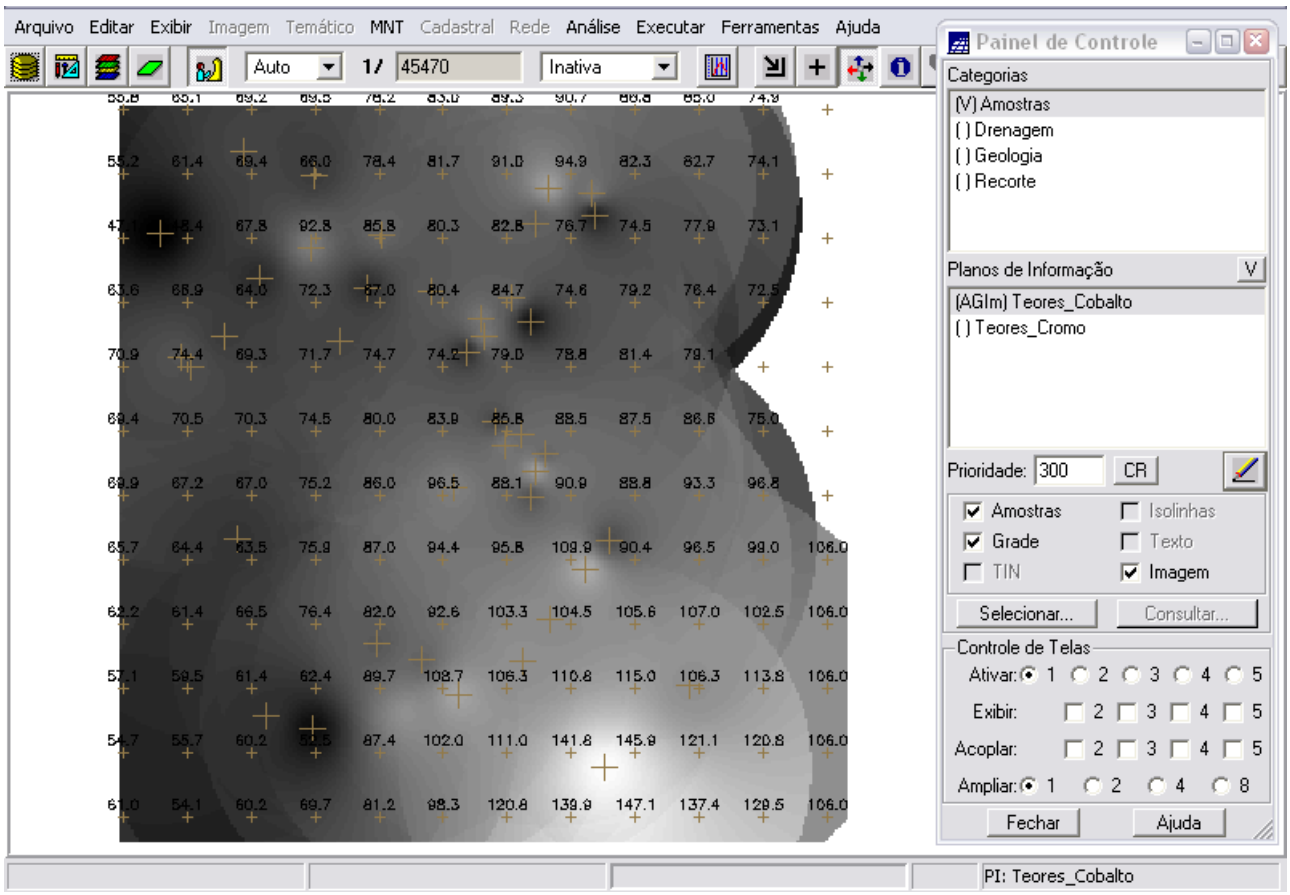


Figura 2.9 – Grade Retangular gerada para *Teores de Cobalto*.

2.3 GERAÇÃO DE MAPA PONDERADO DA GEOLOGIA

Depois da geração das grades regulares para os dois teores foram realizadas rotinas no LEGAL para gerar um mapa de geologia ponderada pelas classes pré-definidas.

O programa utilizado gera um PI do tipo *Numérico* a partir de um dado temático (PI: Mapa_Geologico, categoria: Geologia). As regras de processamento são baseadas em uma tabela de ponderação criada por meio de um comando usando o operador *Novo*. A tabela identifica as *Classes Temáticas* do mapa e atribui pesos a ela, armazenando o mapa resultante no PI Geologia_Ponderada (categoria: Geologia_Ponderada).

Ao fim desta etapa, obtém-se o *Mapa Ponderado de Geologia*, que mostra os pesos associados a cada classe.

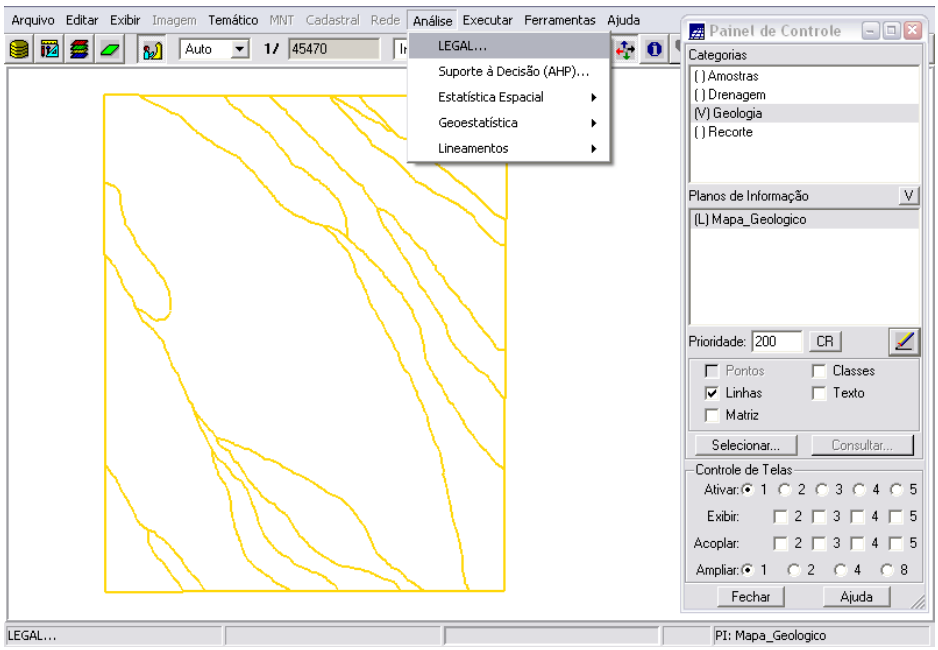


Figura 2.10 – geração de mapa ponderado da Geologia.

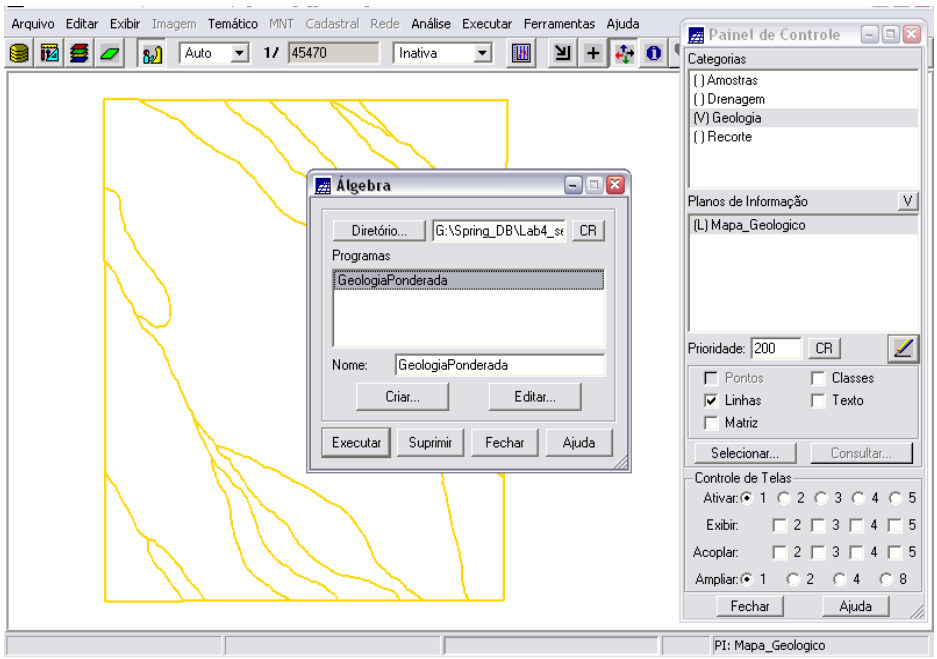


Figura 2.11 – geração de mapa ponderado da Geologia.

```
{
//Declaração
Tematico geo ("Geologia");
Numerico geoP ("Geologia_Ponderada");
Tabela geoT (Ponderacao);

//Instanciação
    geo = Recupere (Nome="Mapa_Geologico");
```

```
geoP = Novo (Nome ="Geologia_Ponderada" , ResX = 30, ResY = 30, Escala =
50000, Min = 0, Max = 1);
geoT = Novo (CategoriaIni = "Geologia",
                    "Granito-Granodiorito" : 0,
                    "Arvs - Unidade Superior" : 0,
                    "Arvm - Unidade Media" : 0.7,
                    "mv1 - Sto Antonio Pirapetinga" : 1,
                    "mb - Sto Antonio Pirapetinga" : 0.5,
                    "Asap - Sto Antonio Pirapetinga" : 0.7);

//Operacao
geoP = Pondere (geo, geoT);
}
```

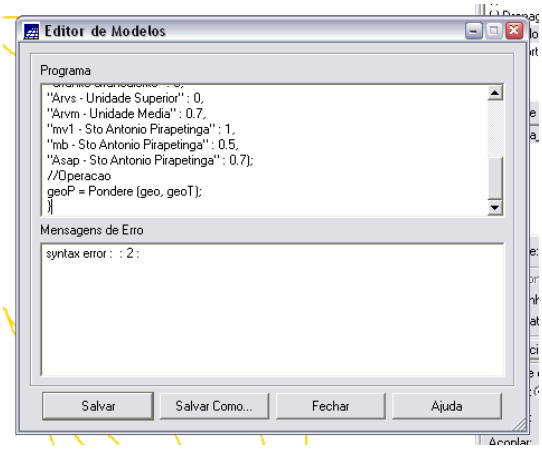


Figura 2.12 – geração de mapa ponderado da Geologia: edição de modelos no programa *Legal*.

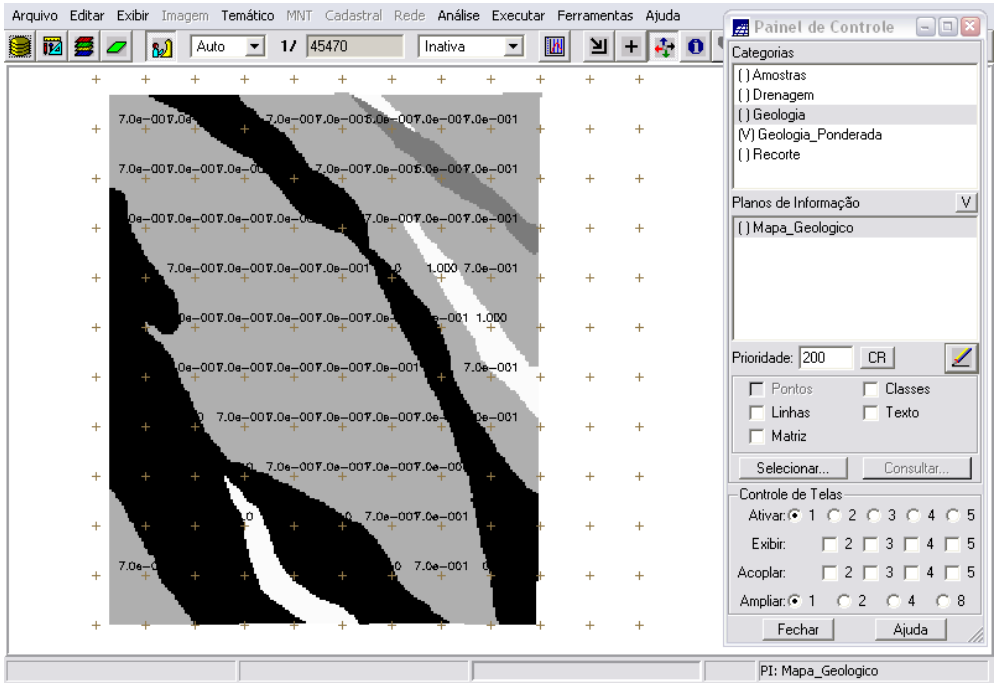


Figura 2.12 – *Mapa Ponderado de Geologia*: as cores mais escuras representam o menor peso (preto: 0,00 – 0,015625; branco: 0,984375 – 1,00)

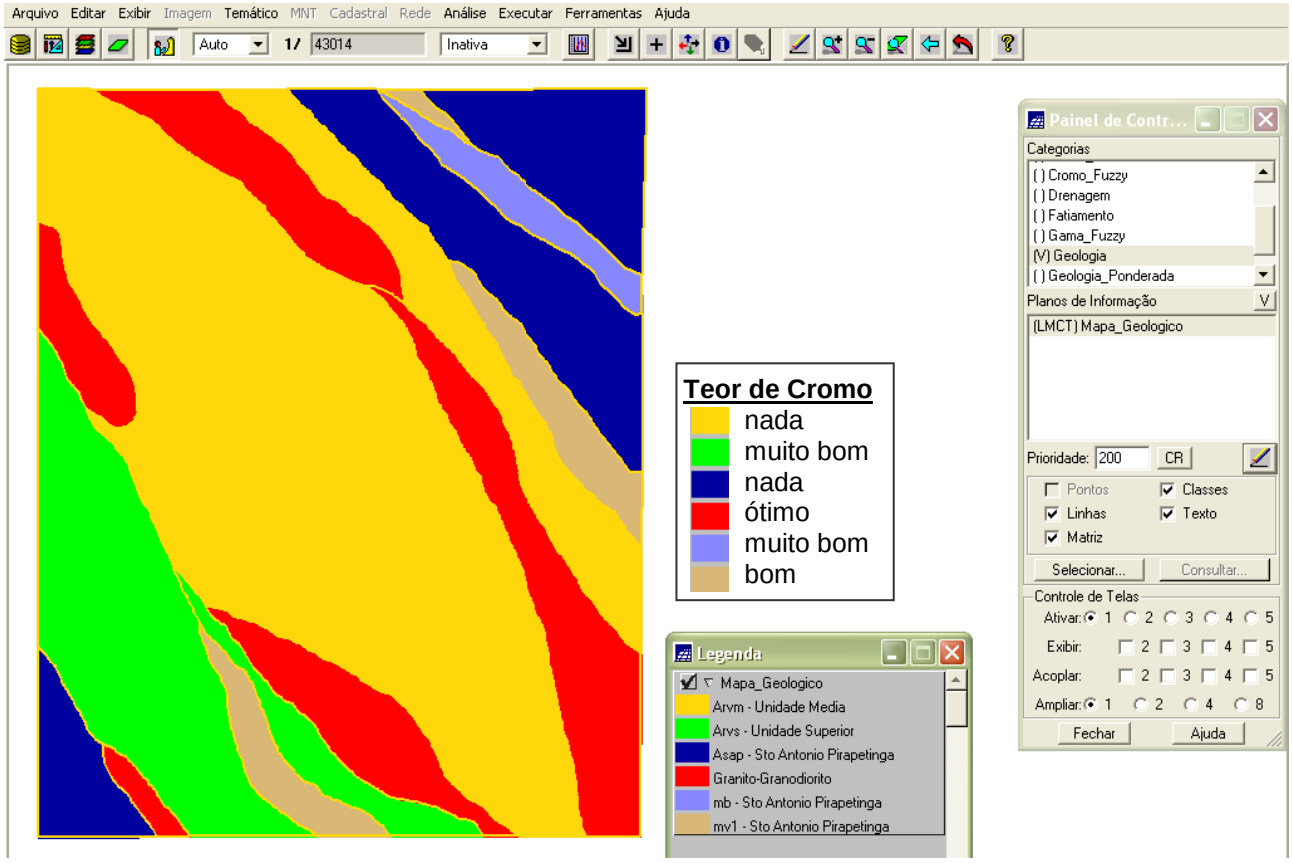
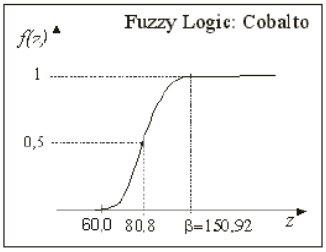


Figura 2.13 – *Mapa de Geologia:* teor de cromo nas classes geológicas.

A associação dos pesos às unidades geológicas baseados na ocorrência de cromo resultaram nos seguintes valores:

- Granito-Granodiorito : 0
- Arvs - Unidade Superior : 0
- Arvm - Unidade Media : 0.7
- mv1 - Sto Antonio Pirapetinga : 1
- mb - Sto Antonio Pirapetinga : 0.5
- Asap - Sto Antonio Pirapetinga : 0.7

Os valores de *Background* e *Anomalia de 1ª Ordem* foram utilizados na formulação da função quadrática, onde o *Background* foi considerado como valor do ponto de cruzamento e as *Anomalias de 1ª Ordem* de cada elemento foram consideradas como valor 1, conforme ilustra a figura 2.14:



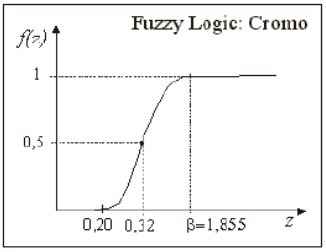


Figura 2.14 – O valor do parâmetro α para o Cobalto é ~0,000198 e para o Cromo ~0,424.

2.4 MAPEAMENTO DA GRADE DO PI **TEORES_CROMO** UTILIZANDO *FUZZY LOGIC*

A técnica *Fuzzy* foi usada para mapear os *teores de cobalto* e *cromo* e depois ambos foram cruzados através da rotina *Fuzzy Gamma*.

Foi gerado um mapa tipo *Numérico* do PI Cromo_Fuzzy utilizando uma operação *fuzzy* aplicada sobre o mapa tipo *Numérico* do PI Teores_Cromo. Na operação *fuzzy* cada *pixel* da imagem recebe o valor:

$$\text{cromofuzzy} = \begin{cases} 0, & \text{cromo} < 0,2 \\ \dfrac{1}{1 + 0,24(\text{cromo} - 1,855)^2}, & 0,2 < \text{cromo} < 1,855 \\ 1, & \text{cromo} > 1,855 \end{cases}$$

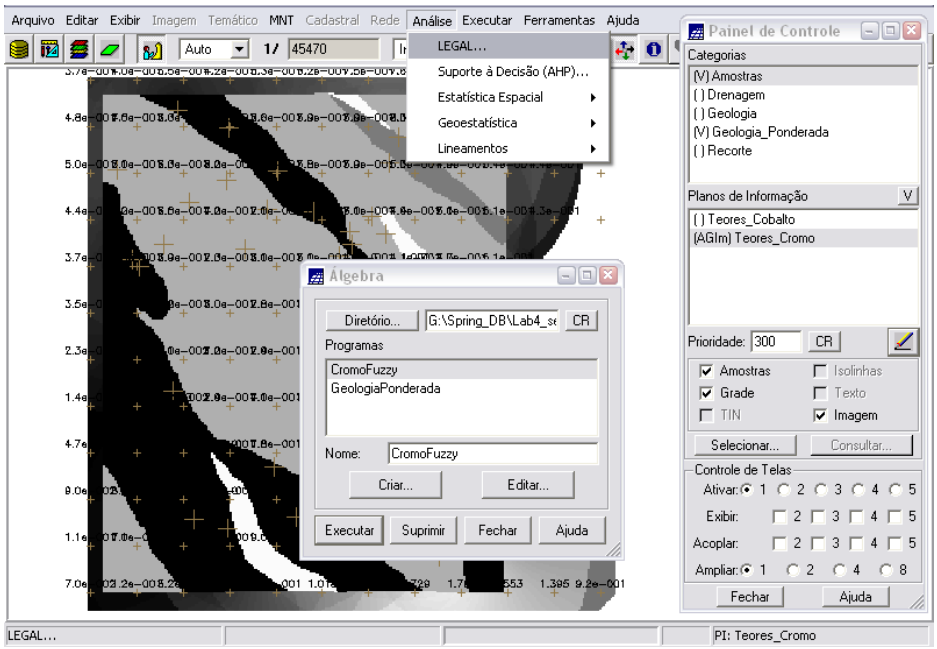


Figura 2.13 – mapeamento do PI Teores_Cromo.

```
{
// Fuzzy cromo (ponto ideal com um teor de 1.855 % e ponto de cruzamento em 0.32)

//Declaração
Numerico cromo ("Amostras");
Numerico cromofuzzy ("Cromo_Fuzzy");

//Instanciação
cromo = Recupere ( Nome= "Teores_Cromo" );
cromofuzzy = Novo (Nome = "Cromo_Fuzzy", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=0,
Max=1);
//Operação
```

```
cromofuzzy = (cromo < 0.20)? 0 : (cromo > 1.855)? 1 : 1/(1 + (0.424 * ((cromo -
1.855)^2)));
}
```

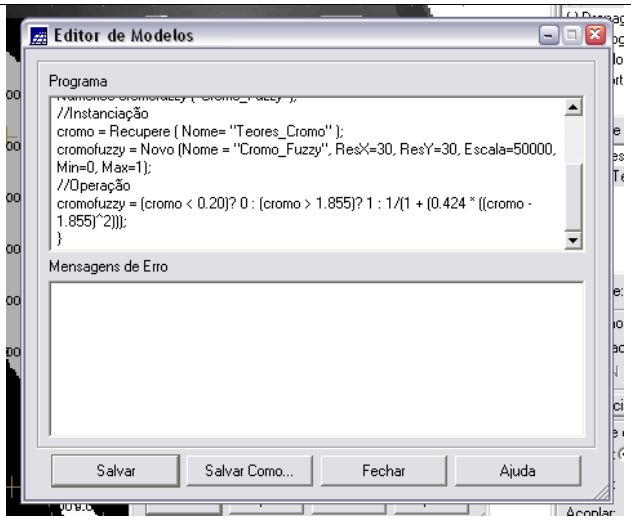


Figura 2.14 – mapeamento do PI Teores_Cromo.

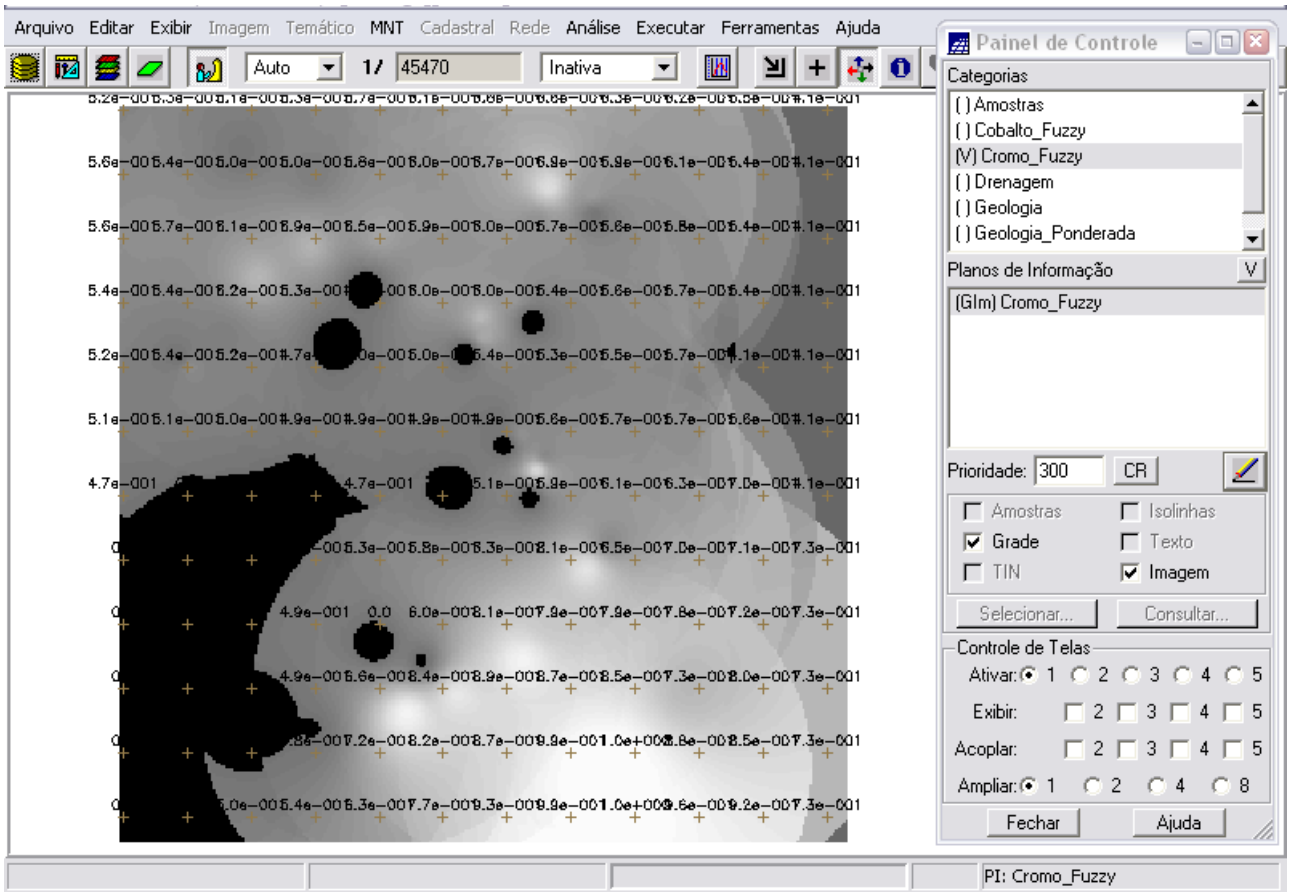


Figura 2.15 – visualização do mapa tipo *Numerico*. Os valores variam de 0 (preto) até 1 (branco).

2.5 MAPEAMENTO DA GRADE DO PI **TEORES_COBALTO** UTILIZANDO *FUZZY LOGIC*

Após realizado o mapeamento dos *teores de cromo*, a técnica *Fuzzy* foi novamente aplicada para mapear os *teores de cobalto*. Na etapa seguinte, ambos serão cruzados através da rotina *Fuzzy Gamma*.

Foi gerado um mapa tipo *Numérico* do PI Cobalto_Fuzzy utilizando uma operação *fuzzy* aplicada sobre o mapa tipo *Numérico* do PI Teores_Cobalto. Na operação *fuzzy* cada *pixel* da imagem recebe o valor:

$$\text{cobalfuzzy} = \begin{cases} 0, & \text{cobal} < 60 \\ \dfrac{1}{1 + 1,98e - 4 \cdot (\text{cobal} - 150,92)^2}, & 60 < \text{cobal} < 150,92 \\ 1, & \text{cobal} > 180,92 \end{cases}$$

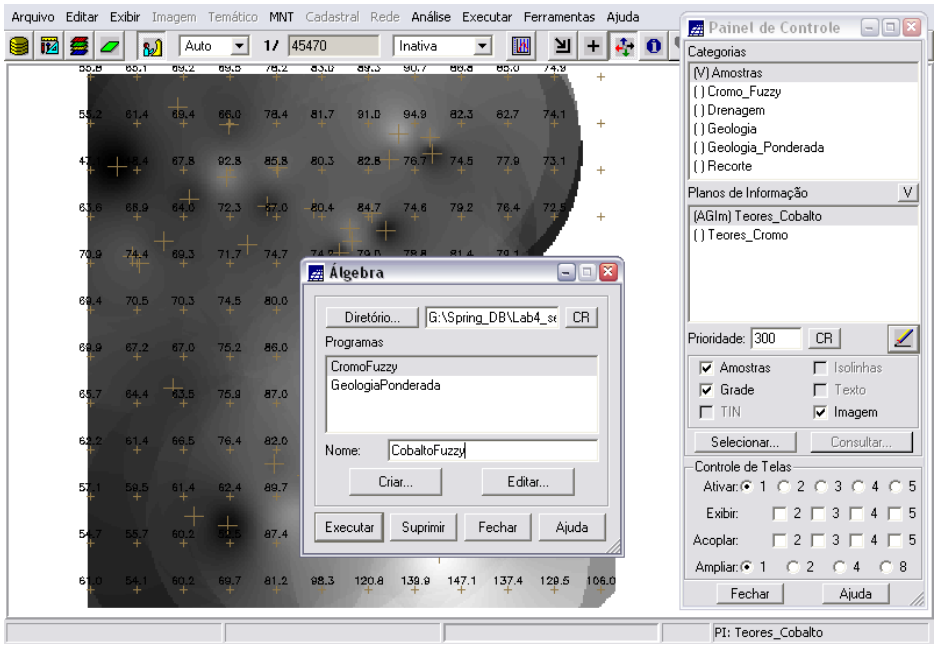


Figura 2.16 – mapeamento do PI Teores_Cobalto.

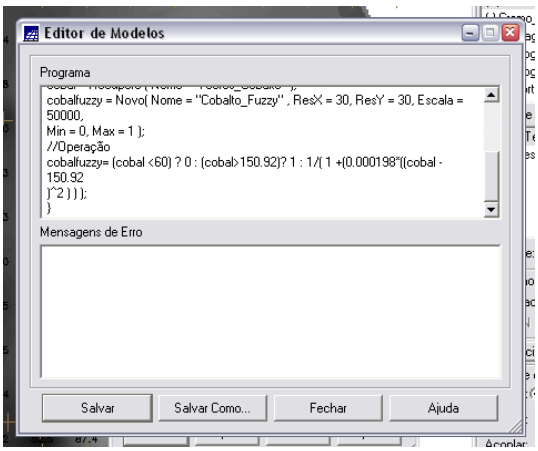


Figura 2.17 – mapeamento do PI Teores_ Cobalto.

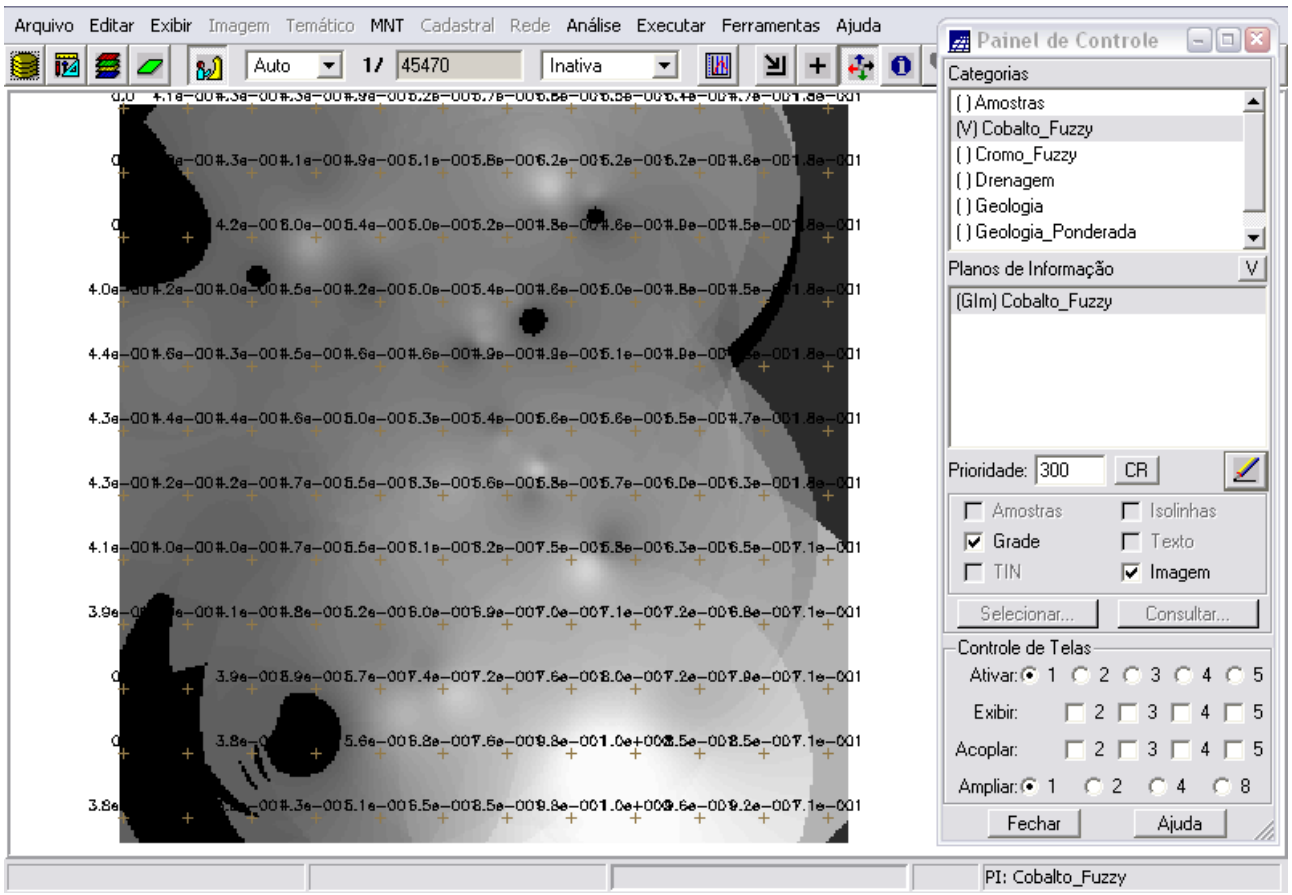


Figura 2.18 – visualização do mapa tipo *Numerico*. Os valores variam de 0 (preto) até 1 (branco).

2.6 CRUZAMENTO DOS Pis **CROMO_FUZZY** E **COBALTO_FUZZY** UTILIZANDO A FUNÇÃO *FUZZY GAMA*

O passo seguinte foi executar um programa que aplica o operador *Fuzzy Gama* sobre os PIs Cromo_Fuzzy e Cobalto_Fuzzy, gerados anteriormente.

Este operador é definido por dois termos, um produto algébrico *Fuzzy* e uma soma algébrica *Fuzzy*, como segue:

$$\mu = (\text{soma algébrica Fuzzy})^{\gamma} \times (\text{produto algébrico Fuzzy})^{1-\gamma}$$

No produto, o operador faz a multiplicação dos membros dos diferentes planos de informação (Geo-Campos [0,1]), onde o valor de saída de um dado ponto é sempre menor ou igual ao valor do membro *Fuzzy*. Isso ocorre devido à multiplicação de valores iguais ou menores que 1. Já na soma algébrica o resultado é sempre maior ou igual ao valor de entrada do maior membro *Fuzzy*. A importância maior ou menor do operador em cada termo (soma e produto) vai depender do valor atribuído para o expoente γ. Assim quando

γ =0, o resultado dependerá apenas do termo produto algébrico *Fuzzy*, e quando γ =1, o resultado dependerá apenas do termo soma algébrica *Fuzzy*.

O resultado obtido foi o PI Gamma_Fuzzy.

Figura 2.19 – cruzamento dos PIs Cromo_Fuzzy e Cobalto_Fuzzy.

```
{
//Declaração
Numerico cobal("Cobalto_Fuzzy"), cromo("Cromo_Fuzzy"), geol
("Geologia_Ponderada");
Numerico gama ("Gama_Fuzzy");

//Instanciação
cobal = Recupere (Nome= "Cobalto_Fuzzy");
cromo = Recupere (Nome= "Cromo_Fuzzy");
geol = Recupere (Nome= "Geologia_Ponderada");
gama=Novo (Nome="Gama_Fuzzy", ResX=30, ResY= 30, Escala=50000, Min=0, Max=1);

//Operação
g=0.70;
gama = (cobal*cromo*geol)^(1 - g) * (1 - ( (1 - cobal) * (1- cromo) * (1- geol) )^g);
}
```

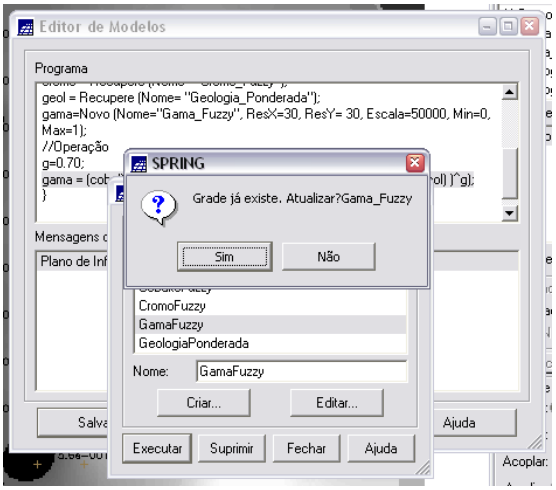


Figura 2.20 – cruzamento dos PIs Cromo_Fuzzy e Cobalto_Fuzzy.

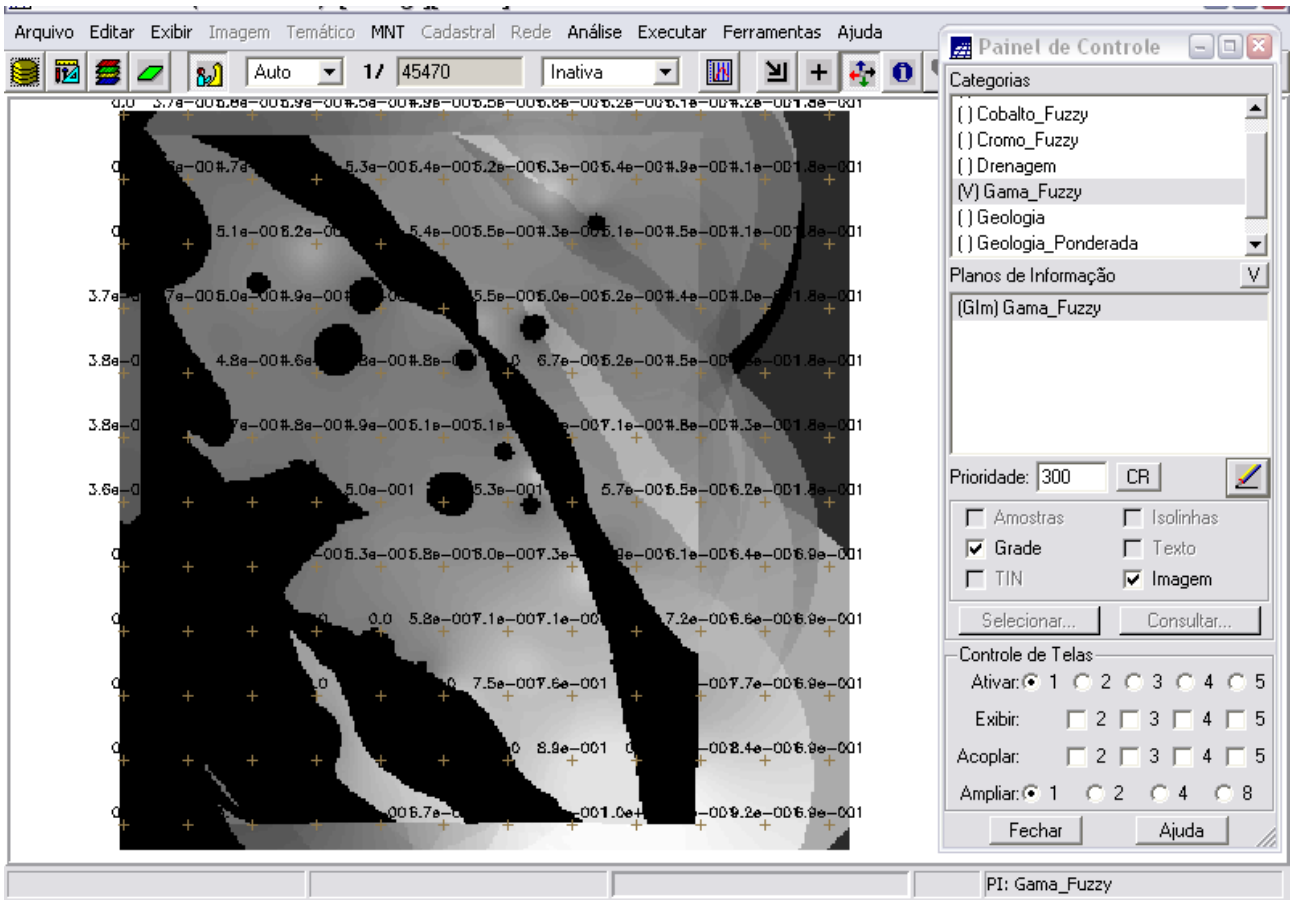


Figura 2.21 – cruzamento dos teores de Cromo e Cobalto por *Fuzzy Gama.*

2.7 CRIAÇÃO DO PI **CROMO_AHP** UTILIZANDO A TÉCNICA DE SUPORTE À DECISÃO AHP (PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO)

Depois de usar o método *Fuzzy*, foi criado o PI Cromo_AHP utilizando-se a técnica de decisão à suporte *AHP*. A *AHP* é uma teoria matemática que permite organizar e avaliar a importância relativa entre critérios e medir a consistência dos julgamentos. Ela pondera todos os critérios através de uma comparação e calcula um valor de razão de consistência entre 0 e 1, sendo o 0 a completa consistência do processo de julgamento.

Para este caso, foram escolhidas três categorias numéricas: Cromo_Fuzzy, Cobalto_Fuzzy e Gama_Fuzzy. Para cada uma foi escolhido um peso aleatoriamente, até obter razão de consistência inferior a 1, que no caso foi de 0,033 e calculou-se o peso (vide programa a seguir).

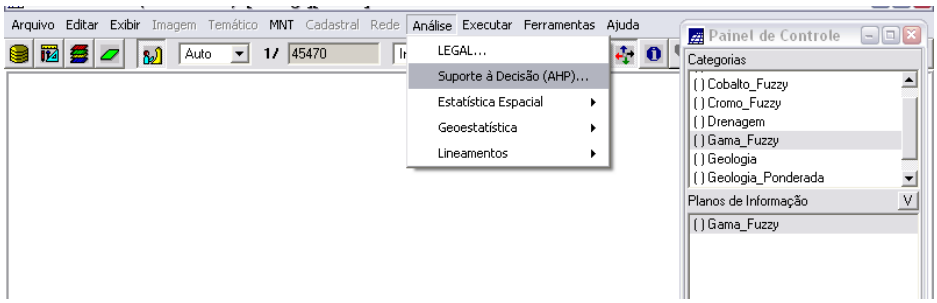


Figura 2.22 – criação do PI Cromo_AHP utilizando a técnica de suporte à decisão AHP.

[Análise Espacial] [Suporte à Decisão (AHP)...]
• A janela associada a lista de Categoria apresenta somente as do modelo do banco que são temáticas, numéricas ou imagem. Selecione no mínimo 2 e no máximo 5 categorias. Caso selecione mais de cinco categorias, uma mensagem será apresentada informando que somente as cinco primeira serão consideradas;
• clique em **Exibir**. Observe que as categorias (comparação entre os diferentes critérios), duas a duas, serão apresentadas nos campos abaixo;
• selecione para cada par de categoria o Peso desejado. Observe que os valores correspondentes são apresentados à esquerda de cada botão;
• clique no botão <=> se desejar inverter a ordem entre cada par de categorias;
• observe ainda que o valor da Razão de Consistência é recalculado a cada alteração de peso. Caso o valor ultrapasse 0.1, será alertado antes de calcular os pesos para o programa a ser criado;
• clique em **Calcular Peso**.

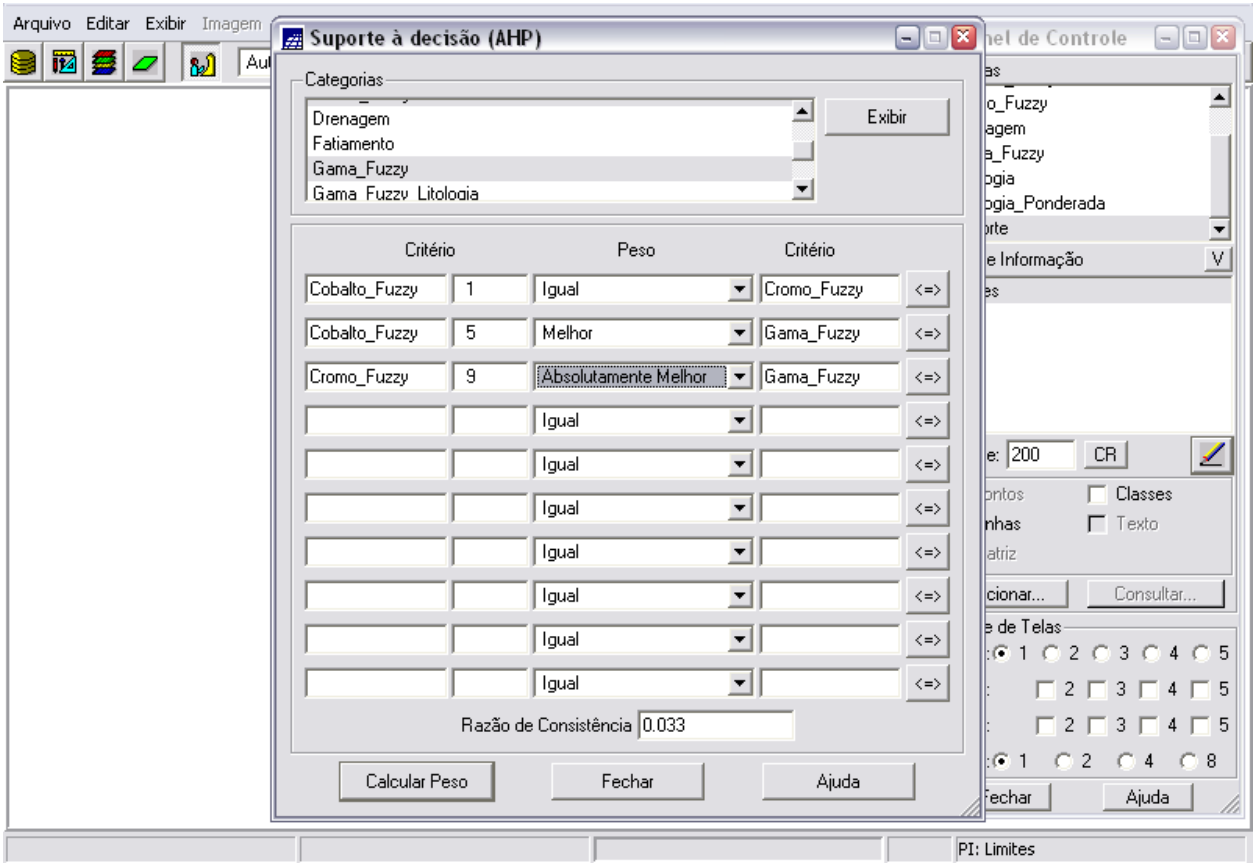


Figura 2.23 – criação do PI Cromo_AHP: escolha das categorias e atribuição de pesos para aplicação da técnica de suporte à decisão AHP.

Como resultado, esta função do SPRING gera um esqueleto de programa em LEGAL (salvo em CromoAHP.alg), que deverá ser completado pelo usuário com as informações específicas sobre os dados nos quais deseja aplicar o procedimento. É importante

lembrar que a aplicação da técnica AHP se dá sob a forma de uma média ponderada. Assim, os dados tiveram que ser convertidos para uma escala de [0..1] antes da aplicação do programa.

```
{
// Pesos a ser aplicados
// Cromo_Fuzzy = 0.733
// Cobalto_Fuzzy = 0.199
// Geologia_Ponderada = 0.068
// Razao de consistencia
// CR = 0.081
// Programa em LEGAL
// Este programa deve ser completado
// pelo usuario para incluir os dados
// apresentados entre os sinais de <>

// Definicao dos dados de entrada
Numerico var1 ("Cromo_Fuzzy");
Numerico var2 ("Cobalto_Fuzzy");
Numerico var3 ("Geologia_Ponderada");
// Definicao do dado de saida
Numerico var4 ("<Cromo_AHP>");

// Recuperacao dos dados de entrada
var1 = Recupere (Nome="<Cromo_Fuzzy>");
var2 = Recupere (Nome="<Cobalto_Fuzzy>");
var3 = Recupere (Nome="<Geologia_Ponderada>");

// Criacao do dado de saida
var4 = Novo (Nome="< Cromo_AHP>", ResX=<30>, ResY=<30>, Escala=< 50000>,
Min=0, Max=1);

// Geracao da media ponderada
var4 = 0.733*var1 + 0.199*var2+ 0.068*var3;
}
```

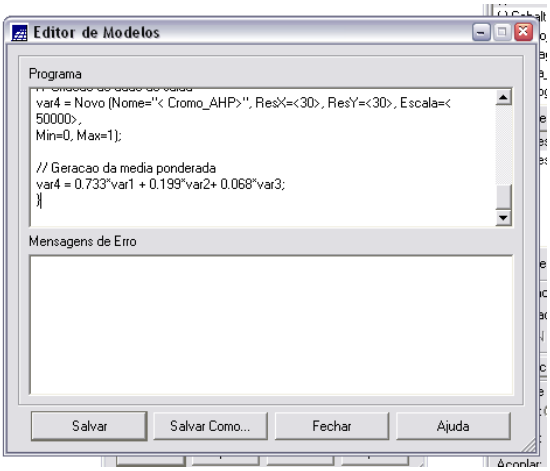


Figura 2.24 – tela do *Editor de Modelos*, em que se insere o programa mencionado acima, para criação do PI Cromo_AHP utilizando a técnica de suporte à decisão AHP.

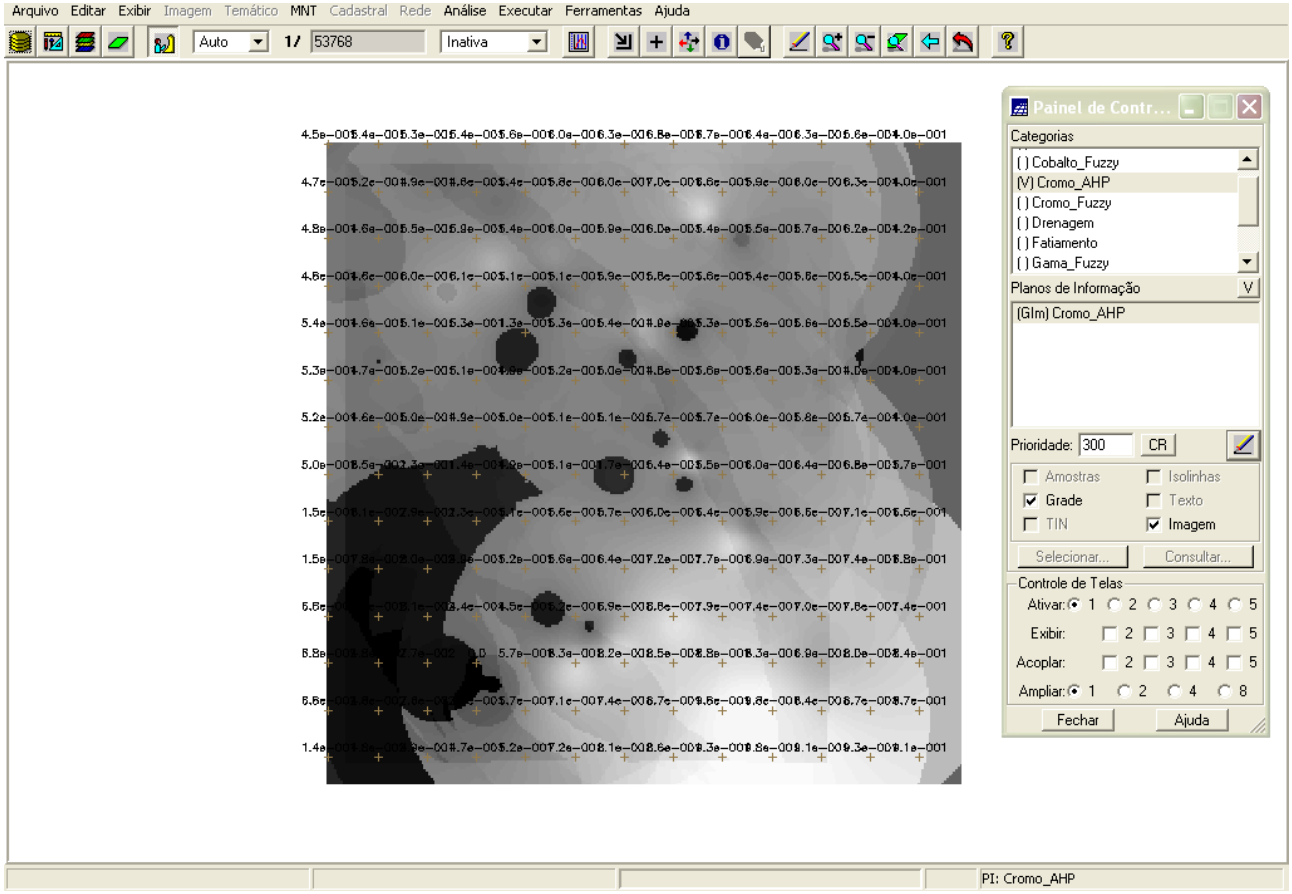
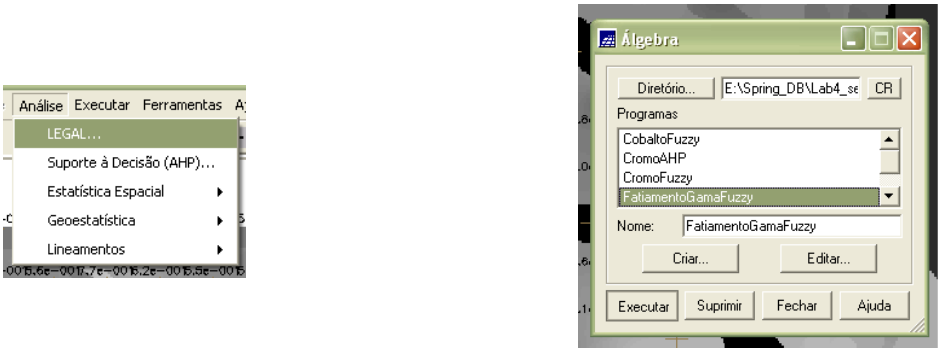


Figura 2.25 – PI Cromo_AHP criado por meio da técnica de suporte à decisão AHP.

2.8 FATIAMENTO NO GEOCAMPO GAMA_FUZZY

Nesta etapa, é gerado um plano de informação do tipo Temático (FAT_Cromo_Fuzzy) a partir do dado numérico Gama_Fuzzy. As regras de processamento são baseadas em uma tabela de fatiamento (tab). A tabela de fatiamento determina as classes e os valores numéricos que as delimitam. O código-fonte do programa que realiza o fatiamento no geo-campo é mostrado a seguir.



Figuras 2.26 e 2.27 – operação de fatiamento no PI Gama_Fuzzy.

```
{  //Declarações
Numerico num ("Gama_Fuzzy");
Tematico tem ("Fatiamento");
Tabela tab(Fatiamento);

//Instanciações
num = Recupere (Nome = "Gama_Fuzzy");
tab = Novo (CategoriaFim = "Fatiamento",
                    [0.0, 0.2] : "Background",
                    [0.2, 0.5] : "Baixo Potencial",
                    [0.5, 0.7] : "Medio Potencial",
                    [0.7, 1.0] : "Alto Potencial" );
tem = Novo (Nome = "FAT_Gama_Fuzzy", ResX=30, ResY=30, Escala=50000);

//Operações
tem = Fatie (num, tab);
}
```

Figura 2.28 –programa para realização do fatiamento no PI Gama_Fuzzy.

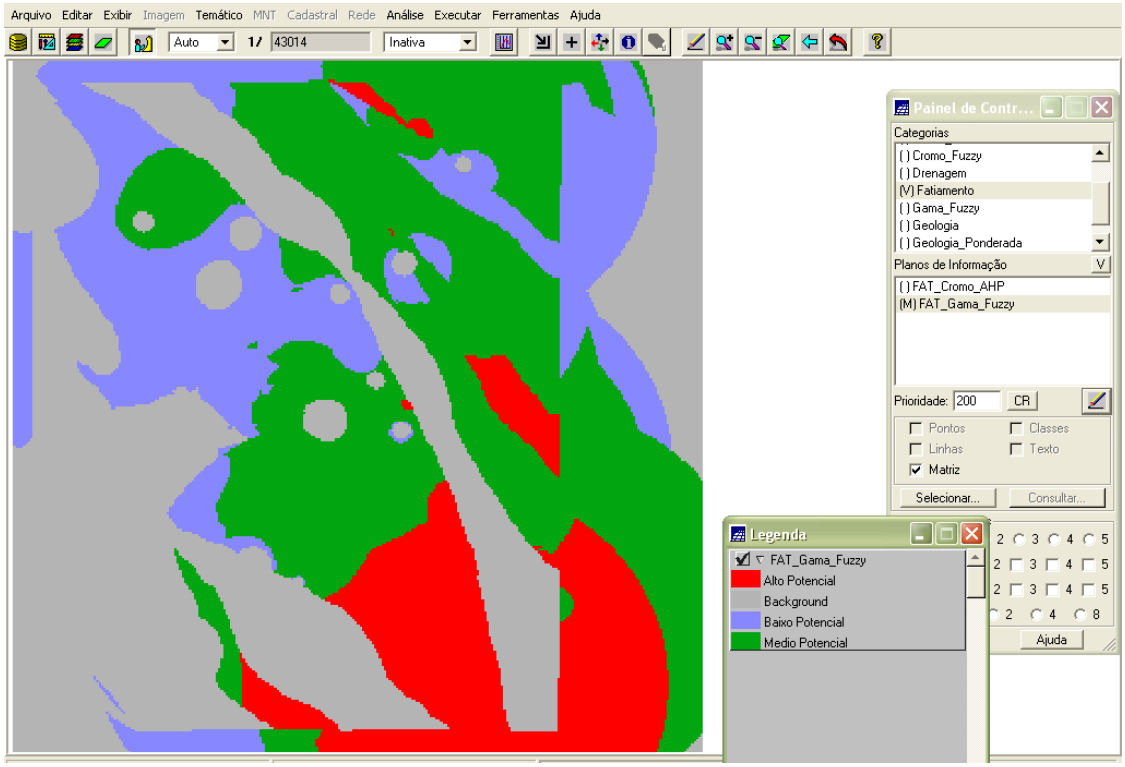


Figura 2.29 – PI Fat_Gamma_Fuzzy criado por meio da operação de fatiamento.

2.9 FATIAMENTO NO GEOCAMPO CROMO_AHP

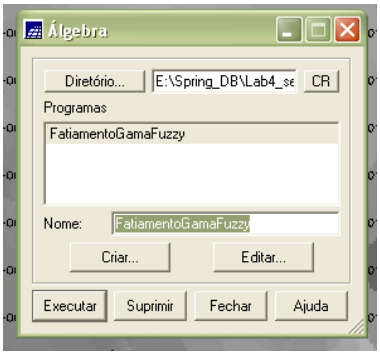
Após a criação do mapa temático do *Teor de Cromo e Cobalto* por meio do fatiamento do PI Gama_Fuzzy, realizou-se novamente a operação de fatiamento, desta vez no PI: Cromo_AHP, para criação de mapa temático cujas classes estivessem associadas aos pesos declarados através do AHP, para posterior comparação de resultados.

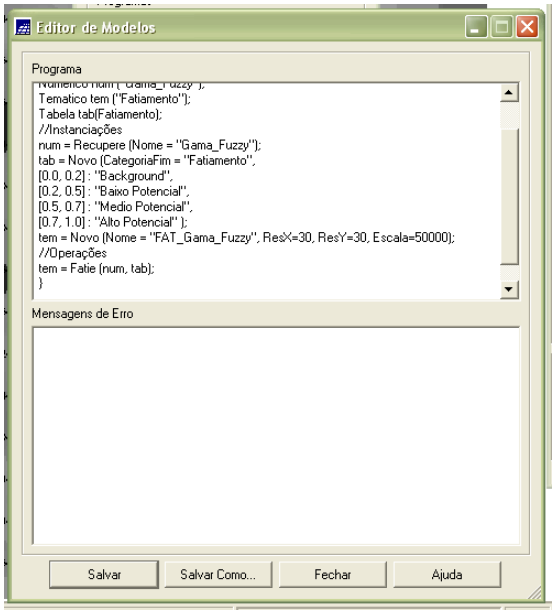
Nesta etapa, é gerado um plano de informação do tipo Temático (FAT_Cromo_AHP) a partir do dado numérico Cromo_AHP. As regras de processamento são baseadas em uma tabela de fatiamento (tab). A tabela de fatiamento determina as classes e os valores numéricos que as delimitam. O código-fonte do programa que realiza o fatiamento no geo-campo é mostrado a seguir.

9. Realizar o Fatiamento no Geo-Campo ***Cromo_AHP.***
Menu -> Análise -> ***LEGAL...***
Diretório: E:\Spring_DB\Lab4_ser300\spring db\
Nome: Fatiamento CromoAHP

Salvar o programa editado

Executar o programa ***FatiamentoCromoAHP***





Figuras 2.30 e 2.31 – operação de fatiamento no PI Cromo_AHP.

```
{
//Declarações
Numerico num ("Cromo_AHP");
Tematico tem ("Fatiamento");
Tabela tab(Fatiamento);

//Instanciações
num = Recupere (Nome = "Cromo_AHP");
tab = Novo (CategoriaFim = "Fatiamento",
[0.0, 0.2] : "Background",
[0.2, 0.5] : "Baixo Potencial",
[0.5, 0.7] : "Medio Potencial",
[0.7, 1.0] : "Alto Potencial" );
tem = Novo (Nome = "FAT_Cromo_AHP", ResX=30, ResY=30, Escala=50000);
//Operações
tem = Fatie (num, tab); }
```

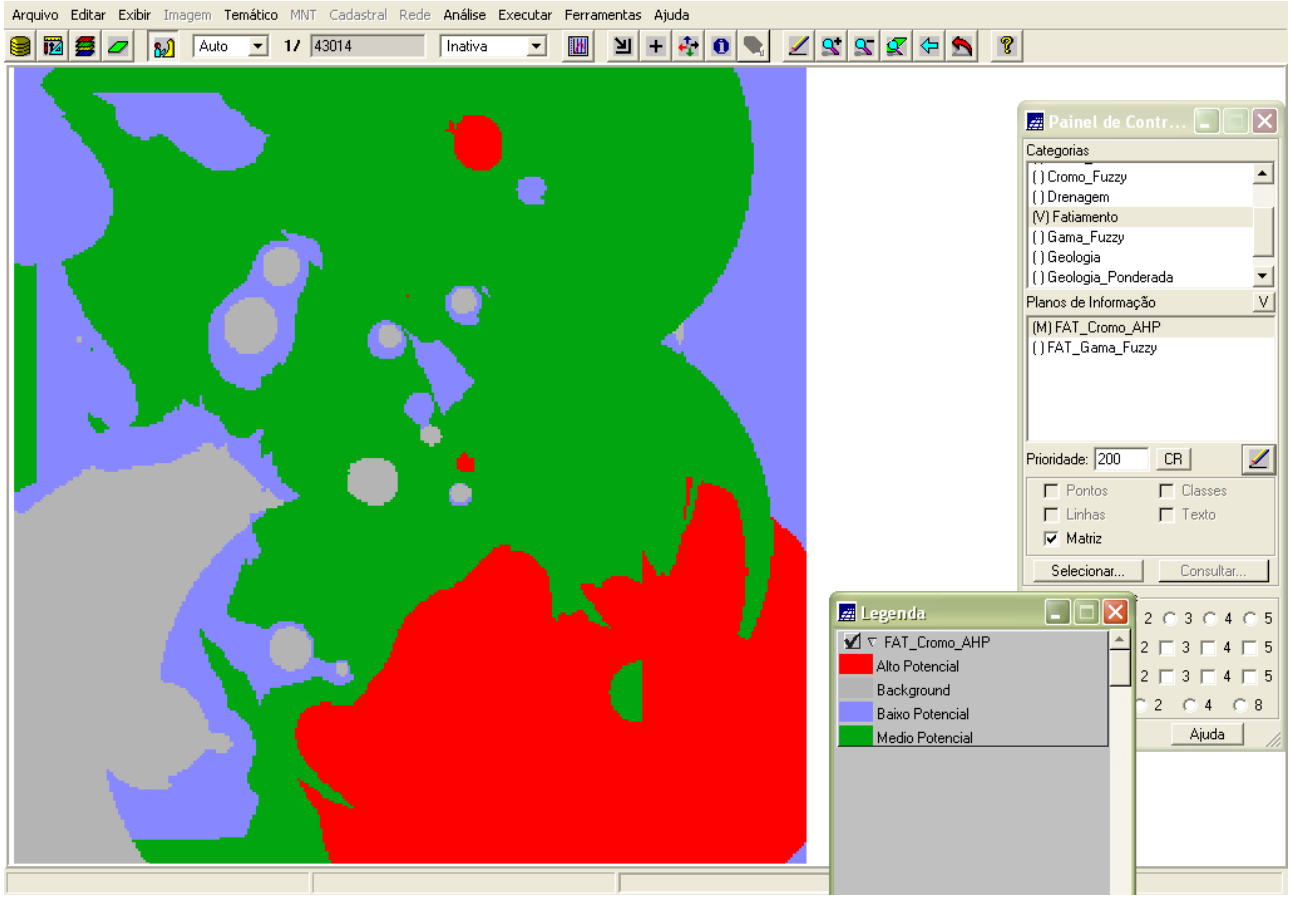


Figura 2.32 – PI Fat_Cromo_AHP criado por meio da operação de fatiamento.

3 CONCLUSÃO:

Comparação e análise dos Mapas de Potencialidades de Cromo gerados pelas técnicas *AHP* e *Fuzzy Gama*

As figuras 3.1 e 3.3 apresentam os *Mapas de Potencialidade de Cromo* gerados pelas técnicas *AHP* e *Fuzzy Gama*, respectivamente.

Ao comparar os dois fatiamentos, nota-se que a área classificada como Background (em cinza) apresenta maior representação para mapeamento pela lógica *Fuzzy_Gama* do que pela técnica de suporte *AHP*. No entanto, a área de Médio Potencial (verde) tem uma maior representação pela técnica *AHP* devido ao maior peso atribuído ao ponderar as categorias.

Comparando com o mapa gerado partir da técnica *AHP* (figura 3.1) com o *Mapa Geológico* (figura 3.4), observou-se que o resultado obtido não foi satisfatório, apresentando muitas distorções em relação ao *Mapa Geológico* (muitas discordâncias e poucas similaridades).

Contudo, relacionando o *Mapa de Potencialidade de Cromo* obtido pela técnica *Fuzzy Gama* (figura 3.3) com o *Mapa Geológico* (figura 3.2), concluiu-se que o resultado foi

eficiente, pois a ocorrência de alta e média discrepâncias entre os mapas não foi muito significativa (sendo constatado maior número de similaridades), sendo essas discrepâncias foram mais encontradas na região centro-norte do mapa.

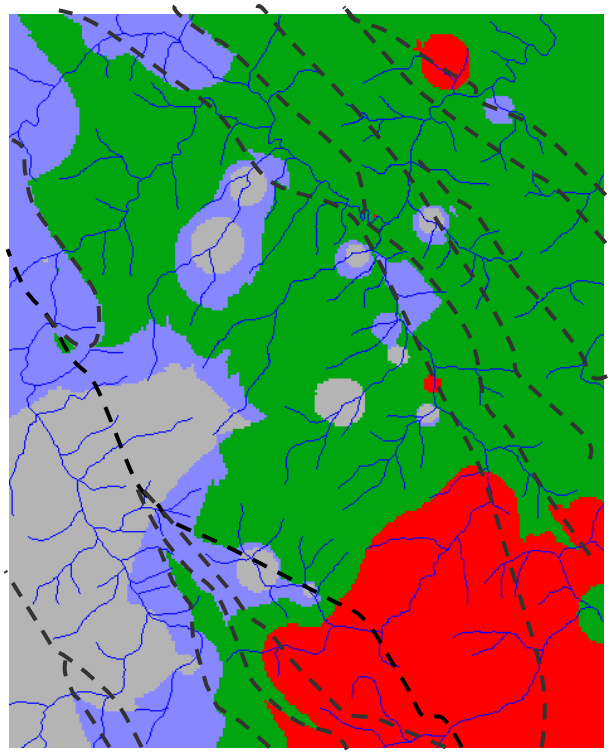


Figura 3.1 – PI Fat_Cromo_AHP [1]

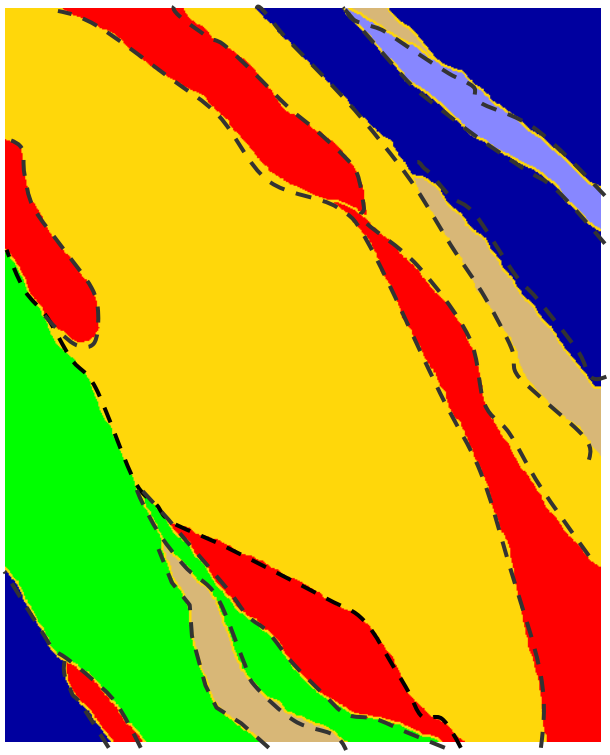


Figura 3.2 – *Mapa Geológico*

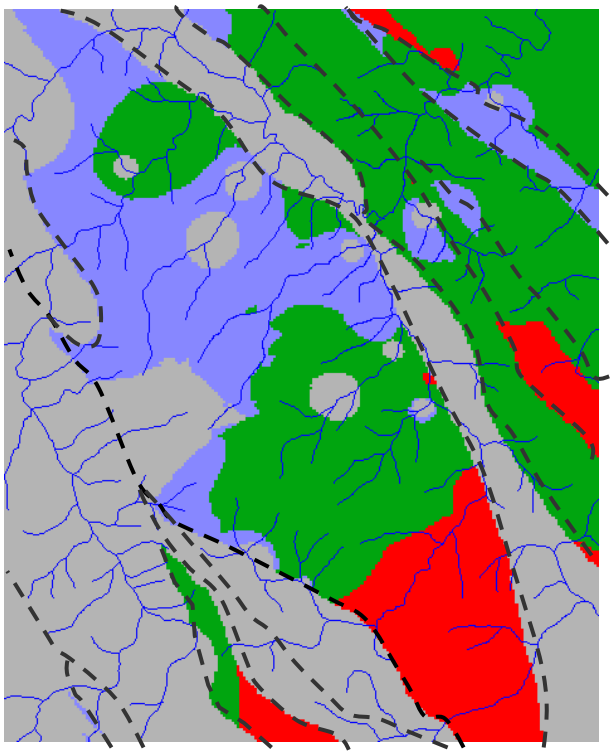


Figura 3.3 – PI Fat_Gama_Fuzzy

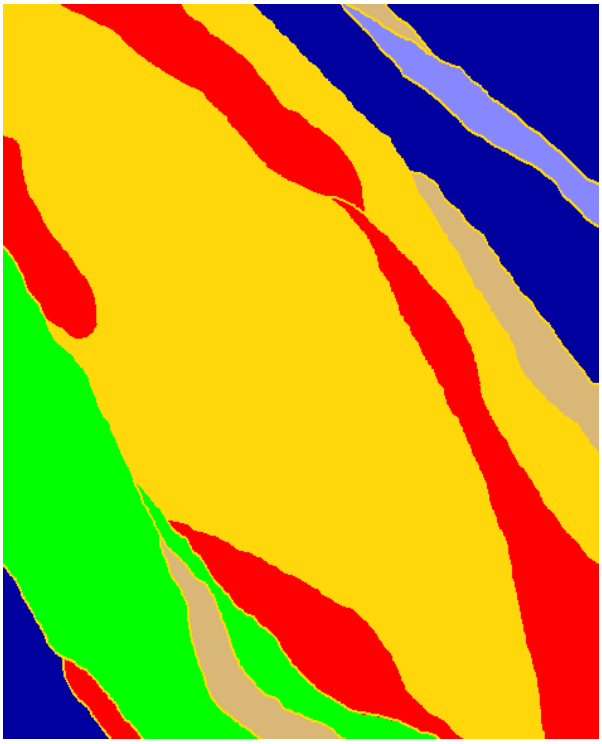


Figura 3.4 – *Mapa Geológico*

[1] As linhas tracejadas em preto foram criadas para melhor comparar os *Mapas de Potencialidade de Cromo* obtidos por fatiamento (PIs Fat_Cromo_AHP e Fat_Gama_Fuzzy) com o *Mapa Geológico*).