



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

SER300 - Introdução ao Geoprocessamento

Laboratório 4: Álgebra de Mapas

Seleção de Áreas Potenciais à Prospecção de Cromo a partir das Técnicas “AHP” e “Fuzzy Logic”

Leandro Roberto

INPE

São José dos Campos

Junho/2014

Introdução

Este laboratório consistiu na realização de exercícios utilizando o software SPRING e seguindo um roteiro de procedimentos para materializar os conhecimentos adquiridos em aula sobre álgebra de mapas e LEGAL da disciplina Introdução ao Geoprocessamento - SER 300. Foram realizados 10 exercícios, cujos resultados estão descritos a seguir.

1. Geração de Grade Regular para Cromo

Primeiramente, foi gerada a grade regular para o PI “Teores_Cromo”, conforme configuração da Figura 1 abaixo. O interpolador utilizado foi o de Média Ponderada. A Figura 2 ilustra o resultado desta interpolação.

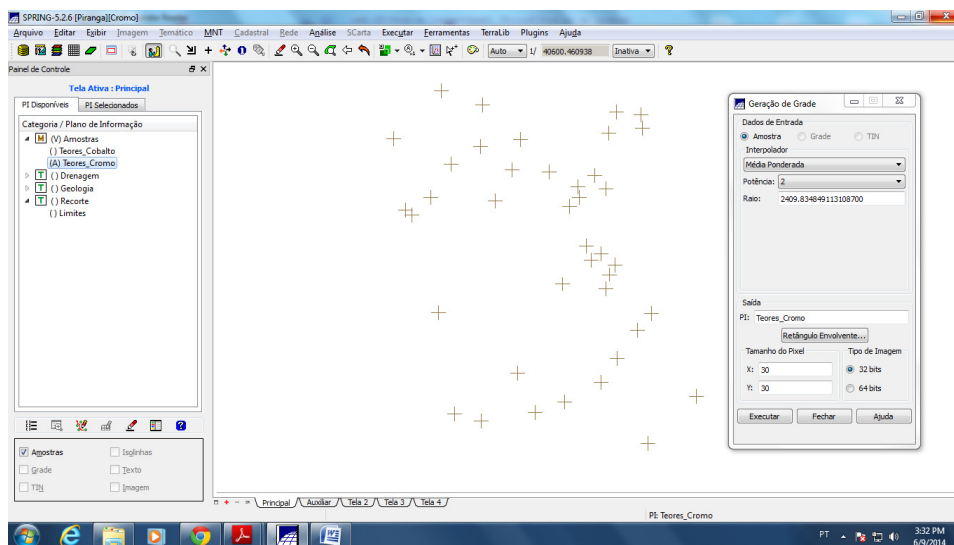


Figura 1 – Configuração para Geração da Grade Regular

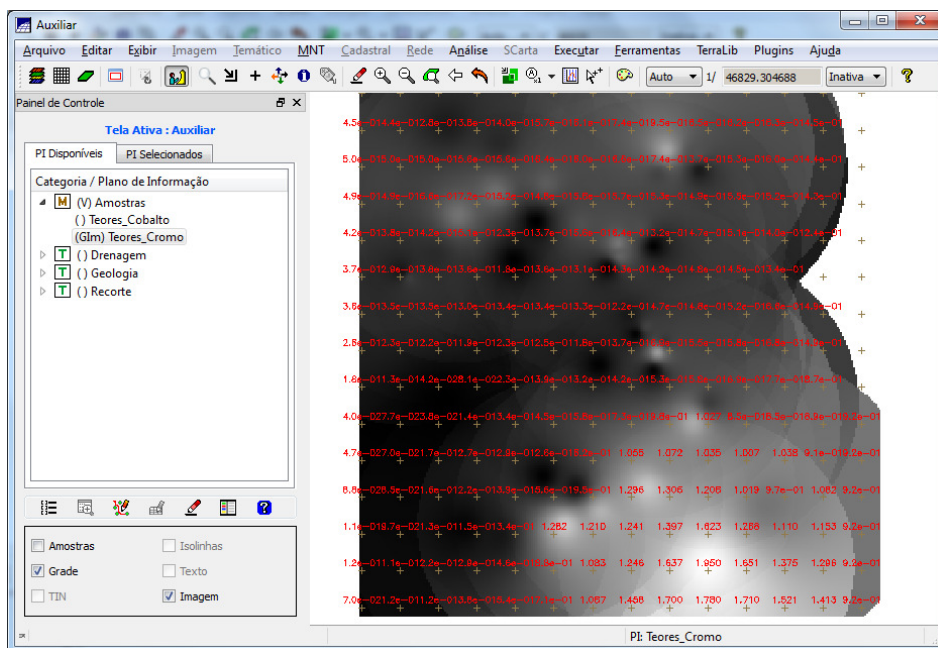


Figura 2 – Grade Regular com Teor de Cromo.

2. Geração de Grade Regular para Cobalto

A grade regular para o PI “Teores_Cobalto” foi gerada utilizando o interpolador de Média Ponderada. A Figura 3 ilustra o resultado desta interpolação.

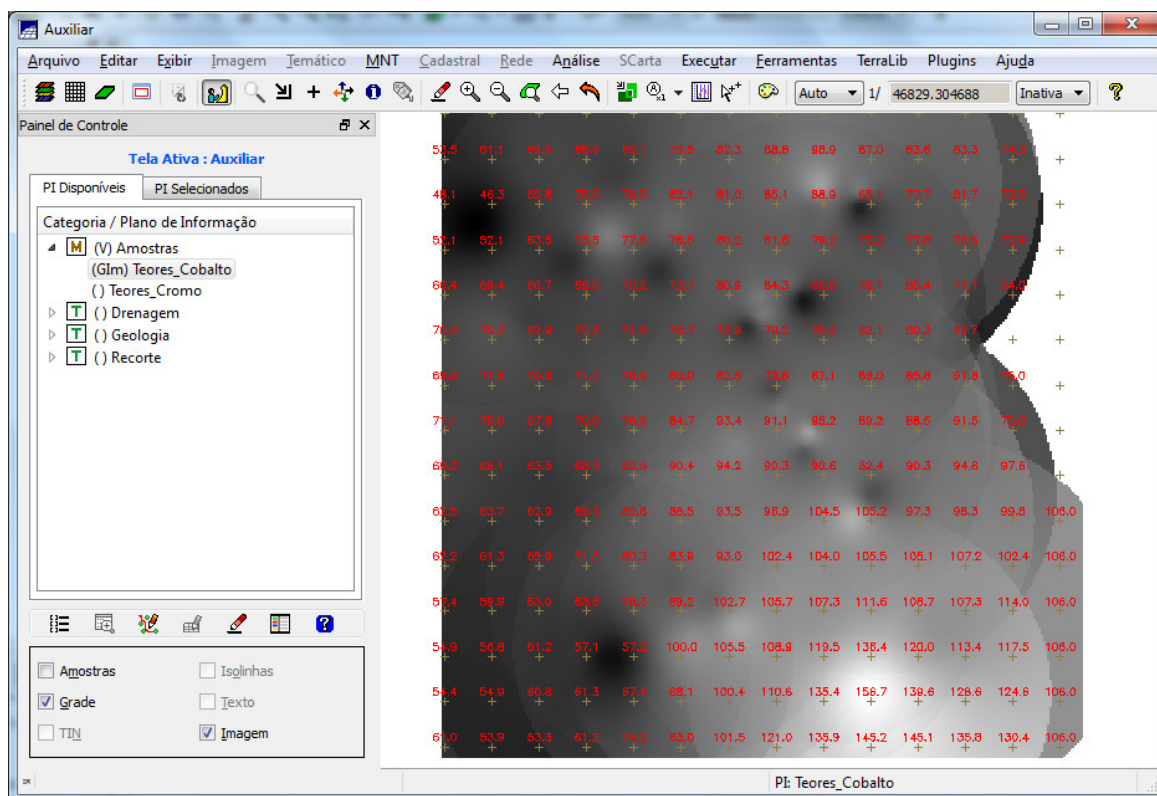


Figura 3 – Grade Regular com Teor de Cobalto.

3. Geração de Mapa Ponderado da Geologia

Depois da geração das grades regulares de amostras de cromo e do cobalto a partir do PI “Amostra” existente no banco de dados “Piranga”, foram realizadas rotinas no LEGAL de acordo com a Figura 4 abaixo para gerar um mapa ponderado de geologia. O programa utilizado gerou um PI do tipo Numérico a partir de um dado temático. As regras de processamento foram baseadas em uma tabela de ponderação que identifica as Classes Temáticas do mapa e atribui pesos a ela, armazenando o mapa resultante, conforme Tabela 1 a seguir (as áreas favoráveis para a mineralização de cromo são as que apresentam ponderação próximas de 1). Por fim obteve-se o Mapa Ponderado de Geologia, que mostra os pesos associados a cada classe, Figura 5.

Tabela 1: Associação dos pesos às unidades geológicas.

Classes geológicas	Ponderação (pesos)
Granito Granodiorito	0
Arvs Unidade Superior	0
Arvm Unidade Media	0,7
mv1 Sto Antonio Pirapetinga	1,0
mb Sto Antonio Pirapetinga	0,5
Asap Sto Antonio Pirapetinga	0,7

```

LEGAL
Programa LEGAL  Editar  Executar
Geologia_Ponderada.alg
1 |
2 | //Declaração
3 | Tematico geo ("Geologia");
4 | Numerico geoP ("Geologia_Ponderada");
5 | Tabela geoI (Ponderacao);
6 |
7 | //Instanciacao
8 | geo = Recupere (Nome="Mapa_Geologico");
9 |
10 | geoP = Novo (Nome="Geologia_Ponderada" , ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min = 0, Max = 1);
11 |
12 | geoI = Novo (CategoriaIni = "Geologia",
13 |             "Granito-Granodiorito" : 0,
14 |             "Arva - Unidade Superior" : 0,
15 |             "Arvm - Unidade Media" : 0.7,
16 |             "mvl - Sto Antonio Pirapetinga" : 1,
17 |             "mb - Sto Antonio Pirapetinga" : 0.5,
18 |             "Asep - Sto Antonio Pirapetinga" : 0.7);
19 |
20 | //Operacao
21 | geoP = Pondere (geo, geoI);
22 | }
23 |
24 |
25 |
26 |

```

Figura 4 – Rotina em LEGAL para Geração do Mapa Geológico

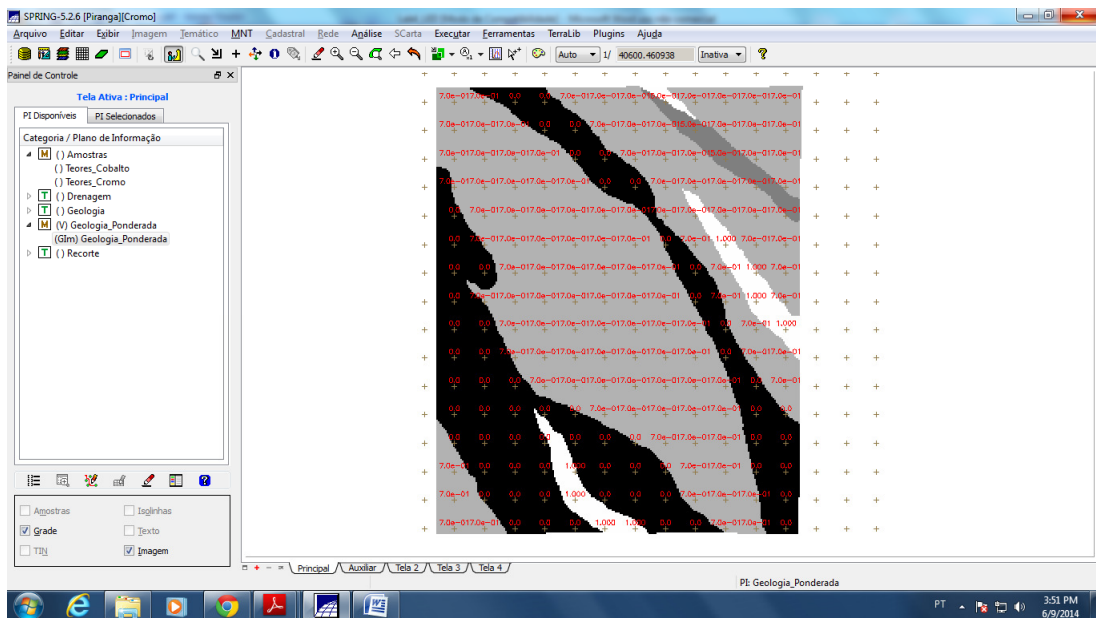


Figura 5 - Mapa Ponderado da Geologia. As cores mais escuras representam o menor peso.

4. Mapeamento da Grade de Cromo com “Fuzzy Logic”

Foi gerado um mapa Numérico do PI “Cromo_Fuzzy” utilizando uma operação fuzzy aplicada sobre o mapa tipo Numérico do PI “Teores_Cromo”, conforme rotina mostrada na Figura 6 a seguir. Para isso foi gerada uma grade numérica, com valores entre 0 e 1 (“Fuzzy Logic”) do campo de amostras de teor de Cromo, através da seguinte equação:

$$f(z) = 0 \quad \text{se } z < 0,2$$

$$f(z) = \frac{1}{1 + 0,424 \times (z - 1,855)^2} \quad \text{se } 0,2 < z < 1,855$$

$$f(z) = 1 \quad \text{se } z > 1,855$$

```

LEGAL
Programa LEGAL  Editar  Executar

Cromo_Fuzzy.ulp

1  {
2  // Fuzzy cromio (ponto ideal com um teor de 1.855 % e ponto de cruzamento em 0.32)
3  //Declaração
4  Numerico cromio ("Amostras");
5  Numerico cromiofuzzy ("Cromo_Fuzzy");
6
7  //Instanciação
8  cromio = Recupere ( Nome= "Teores_Cromio" );
9  cromiofuzzy = Novo (Nome = "Cromo_Fuzzy", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=0, Max=1);
10
11 //operação
12 cromiofuzzy = (cromio < 0.20)? Numerico(0) : (cromio > 1.855)? Numerico(1) : ( 1/(1 + (0.424 * ( cromio - 1.855)^2) ) );
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26

```

Figura 6 – Rotina em LEGAL para “Fuzzy Logic” da grade de Cromo

O resultado obtido está mostrado na Figura 7 a seguir:

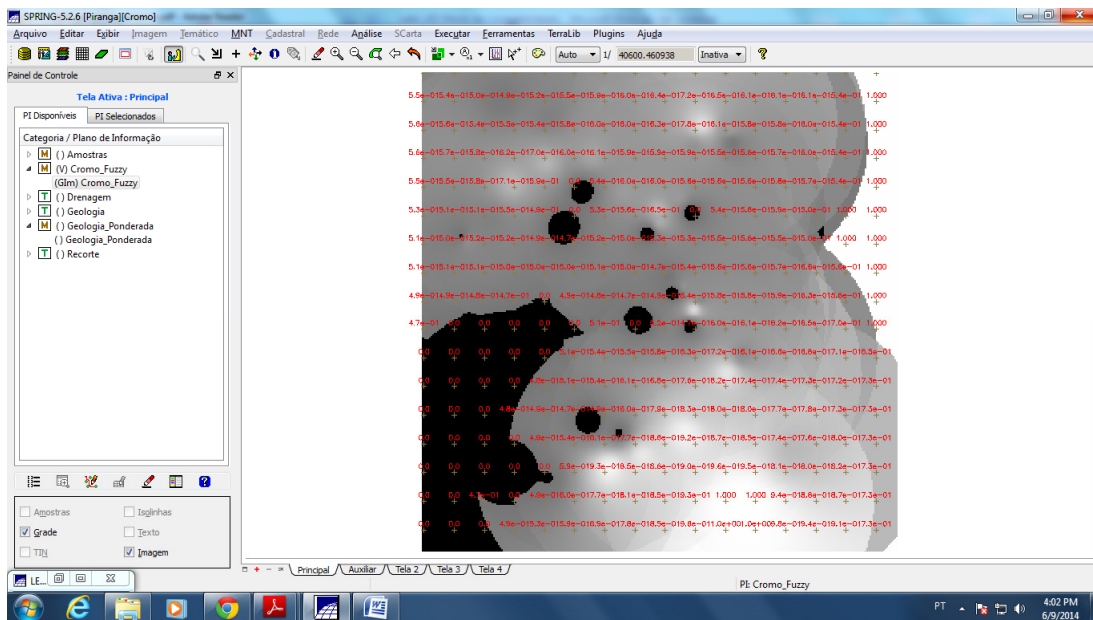


Figura 7 - Teores de Cromo classificado pelo método Fuzzy. Valores de 0 (preto) a 1 (branco).

5. Mapeamento da Grade de Cobalto com “Fuzzy Logic”

Foi gerado um mapa Numérico do PI “Cobalto_Fuzzy” utilizando uma operação fuzzy aplicada sobre o mapa tipo Numérico do PI “Teores_Cobalto, conforme rotina mostrada na Figura 8 a seguir. Para isso foi gerada uma grade numérica, com valores entre 0 e 1 (“Fuzzy Logic”) do campo de amostras de teor de Cromo, através da seguinte equação:

$$f(z) = \begin{cases} 0 & \text{se } z < 60 \\ \frac{1}{1 + 0,000198 \times (z - 150,92)^2} & \text{se } 60 < z < 150,92 \\ 1 & \text{se } z > 150,92 \end{cases}$$

```

LEGAL
Programa LEGAL  Editar  Executar

Cobalto_Fuzzy.alg

1
2 // Fuzzy cobalto (ponto ideal com um teor de 150.92 ppm e ponto de cruzamento em 80ppm)
3
4 //Declaração
5 Numerico cobal ("Amostras");
6 Numerico cobalfuzzy ("Cobalto_Fuzzy");
7
8 //Instanciação
9 cobal = Recupere ( Nome= "Teores_Cobalto" );
10 cobalfuzzy = Novo( Nome= "Cobalto_Fuzzy" , ResX = 30, ResY = 30, Escala = 50000, Min = 0, Max = 1 );
11
12 //Operação
13 cobalfuzzy= (cobal <60) ? 0 : (cobal>150.92)? 1 : 1/( 1 +(0.000198*((cobal - 150.92 )^2 ) ) );
14
15
16
17
18

```

Figura 8 – Rotina em LEGAL para “Fuzzy Logic” da grade de Cobalto.

O resultado obtido está mostrado na Figura 9 a seguir:

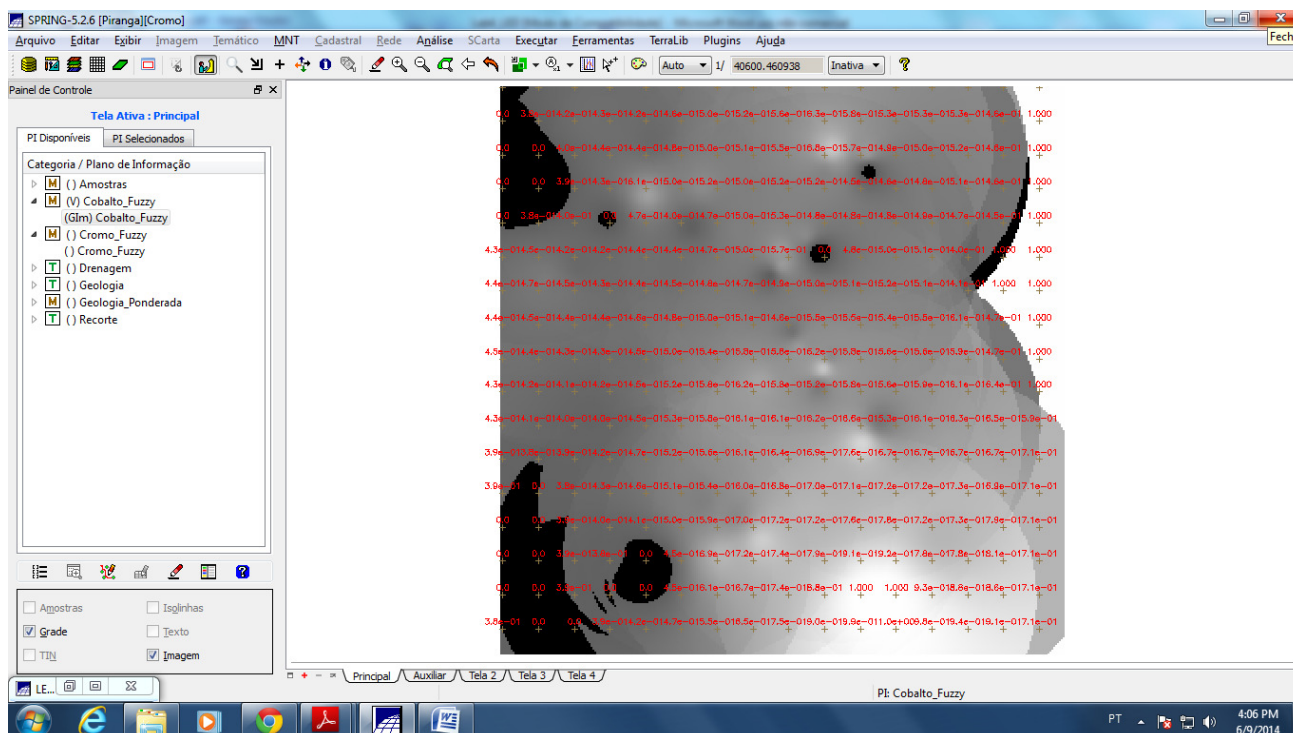


Figura 9 - Teores de Cobalto obtidos pelo método Fuzzy. Valores de 0 (preto) a 1 (branco).

6. Cruzamento das Grades Cromo_Fuzzy e Cobalto_Fuzzy utilizando a função Fuzzy Gama.

A partir das grades de cromo e de cobalto, geradas pela técnica Fuzzy, através das grades retangulares de amostras de teor de cromo e de teor de cobalto “Amostras”, foi feito o cruzamento dessas grades (juntamente com o mapa ponderado de geologia) para ponderar os valores de cromo e cobalto, conforme rotina em LEGAL mostrada na Figura 10 a seguir. O resultado está apresentado na Figura 11 a seguir.


```

LEGAL
Programa LEGAL  Editar  Executar

Gama_Fuzzy.ulg

1
2
3 //Declaração
4 Numerico cobal("Cobalto_Fuzzy"), cromo("Cromo_Fuzzy"), geol ("Geologia_Ponderada");
5 Numerico gama ("Gama_Fuzzy");
6
7 //Instanciação
8 cobal = Recupere (Nome= "Cobalto_Fuzzy");
9 cromo = Recupere (Nome= "Cromo_Fuzzy");
10 geol = Recupere (Nome= "Geologia_Ponderada");
11
12 gama=Novo (Nome="Gama_Fuzzy", ResX=30, ResY= 30, Escala=50000, Min=0, Max=1);
13
14 //Operação
15 g=0.70;
16 gama = (cobal*cromo*geol)^(1 - g) * (1 - ( (1 - cobal) * (1- cromo) * (1- geol) )^g);
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26

```

Figura 10 – Rotina em LEGAL para o cruzamento das Grades de Cromo e Cobalto.

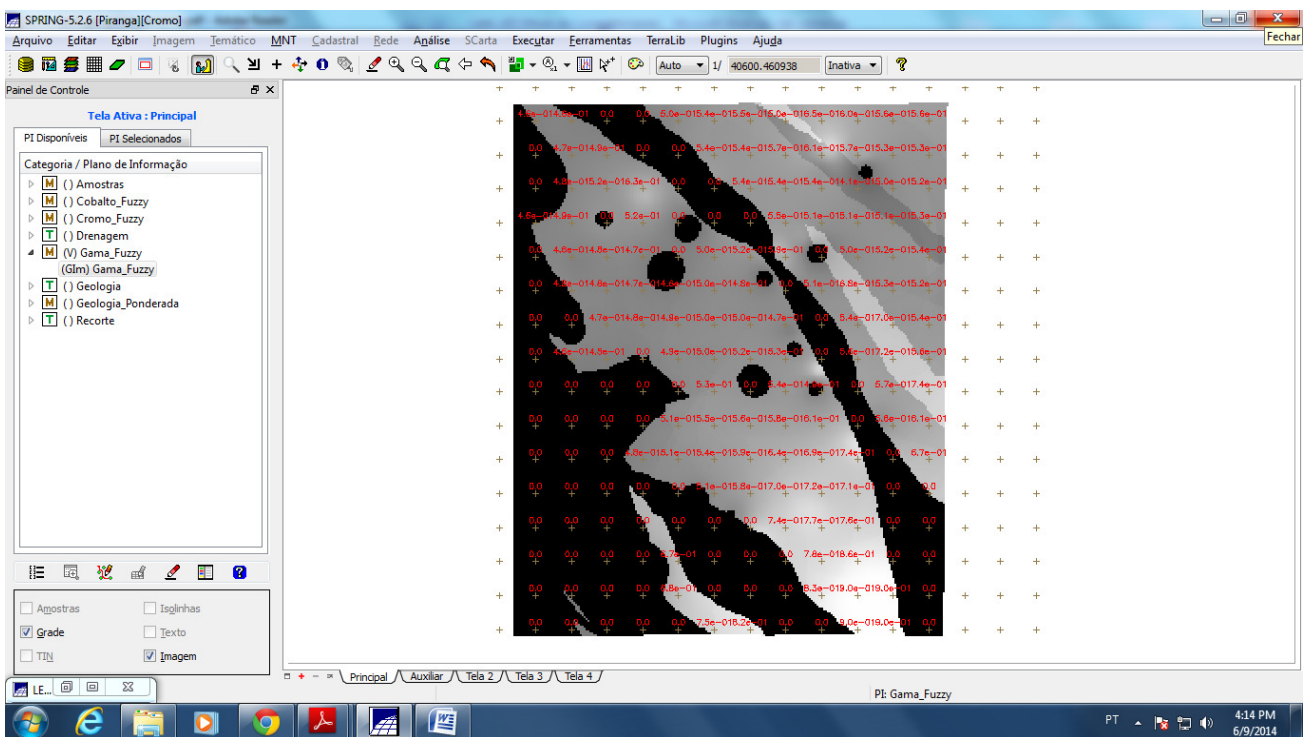


Figura 11 – Resultado do Cruzamento por Fuzzy Gama.

7.Criação da Grade Como_AHP Utilizando a Técnica AHP.

A Análise Hierárquica de Processos - AHP é uma técnica com base matemática que permite organizar e avaliar a importância relativa entre critérios e medir a consistência dos julgamentos. Primeiro foi estabelecido os pesos de cada categoria para se determinar a razão de consistência. Em seguida, foi executado o LEGAL, conforme Figura 12 a seguir. O resultado está mostrado na Figura 13 a seguir.

```

LEGAL
Programa LEGAL  Editar  Executar

Cromo_AHP.alg

1
2 // Pesos a ser aplicados
3 // Cobalto_Fuzzy = 0.113
4 // Cromo_Fuzzy = 0.709
5 // Geologia_Ponderada = 0.179
6
7 // Razao de consistencia
8 // CR = 0.046
9
10 // Definicao dos dados de entrada
11
12 Numerico var1 ("Cobalto_Fuzzy");
13 Numerico var2 ("Cromo_Fuzzy");
14 Numerico var3 ("Geologia_Ponderada");
15
16 // Definicao do dado de saida
17
18 Numerico var4 ("Cromo_AHP");
19
20 // Recuperacao dos dados de entrada
21
22 var1 = Recupere (Nome="Cobalto_Fuzzy");
23 var2 = Recupere (Nome="Cromo_Fuzzy");
24 var3 = Recupere (Nome="Geologia_Ponderada");
25
26 // Criacao do dado de saida
27
28 var4 = Novo (Nome="Cromo_AHP", ResX=30, ResY=30, Escala=50000,
29             Min=0, Max=1);
30
31 // Geracao da media ponderada
32
33 var4 = 0.113*var1 + 0.709*var2 + 0.179*var3;
34
35

```

Figura 12 – Rotina em LEGAL para Criação da Grade de Cromo pela Técnica AHP.

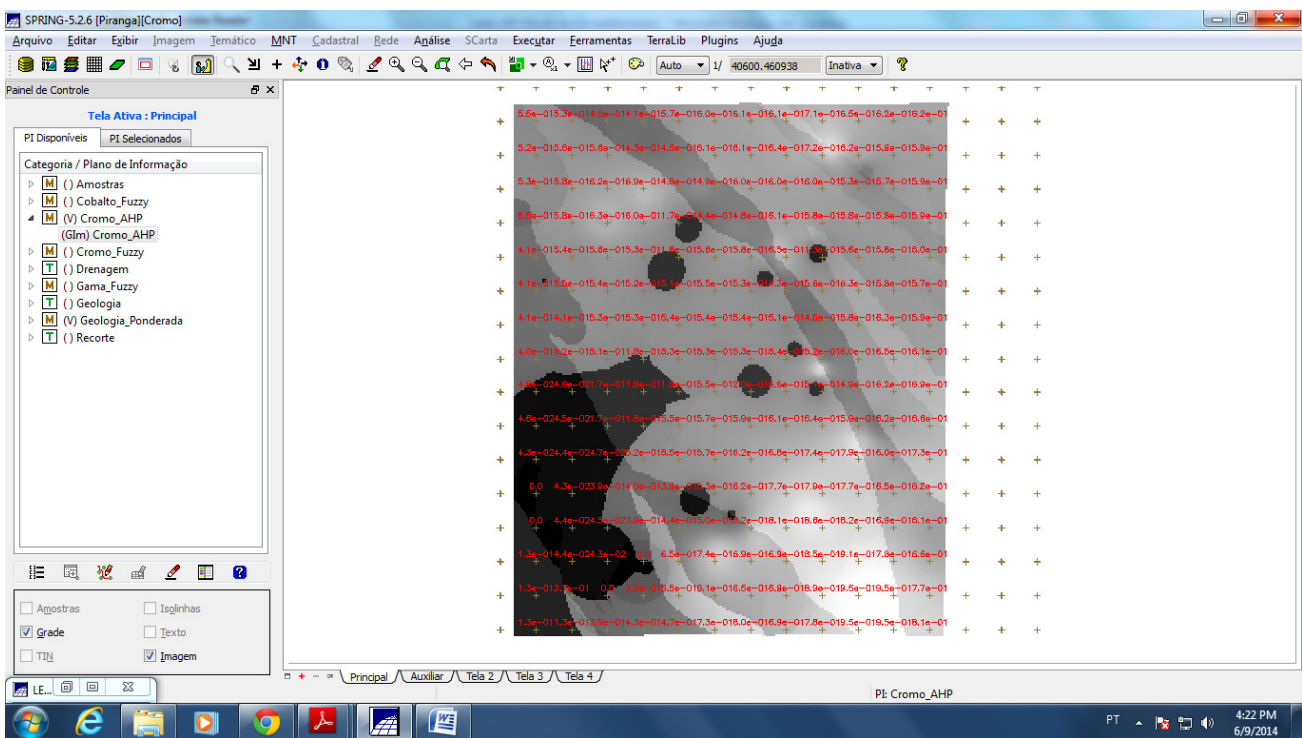


Figura 13 – Grade de Cromo obtida pela Técnica AHP.

8. Fatiamento no Geo-Campo Gama_Fuzzy

Nesta etapa foi gerado um plano de informação do tipo Temático (FAT_Cromo_Fuzzy) a partir do dado numérico Gama_Fuzzy. As regras de processamento foram baseadas em uma tabela de fatiamento que definiu as classes e os valores numéricos que as delimitam, conforme rotina em LEGAL da Figura 14 a seguir. O resultado obtido pode ser visto na Figura 15 a seguir.


```

LEGAL
Programa LEGAL  Editar  Executar

Fatiamento_Gama_Fuzzy.alg

1
2 //Declarações
3 Numerico num ("Gama_Fuzzy");
4 Tematico tem ("Fatiamento");
5 Tabela tab (Fatiamento);
6
7 //Instanciações
8 num = Recupere (Nome = "Gama_Fuzzy");
9
10 tab = Novo (CategoriaFim = "Fatiamento",
11            [0.0, 0.2] : "Background",
12            [0.2, 0.5] : "Baixo Potencial",
13            [0.5, 0.7] : "Medio Potencial",
14            [0.7, 1.0] : "Alto Potencial" );
15
16 tem = Novo (Nome = "FAT_Gama_Fuzzy", ResX=30, ResY=30, Escala=50000);
17
18 //Operações
19 tem = Fatie (num, tab);
20 }
21
22
23
24
25
26

```

Figura 14 – Rotina em LEGAL para o fatiamento da Grade Gama Fuzzy.

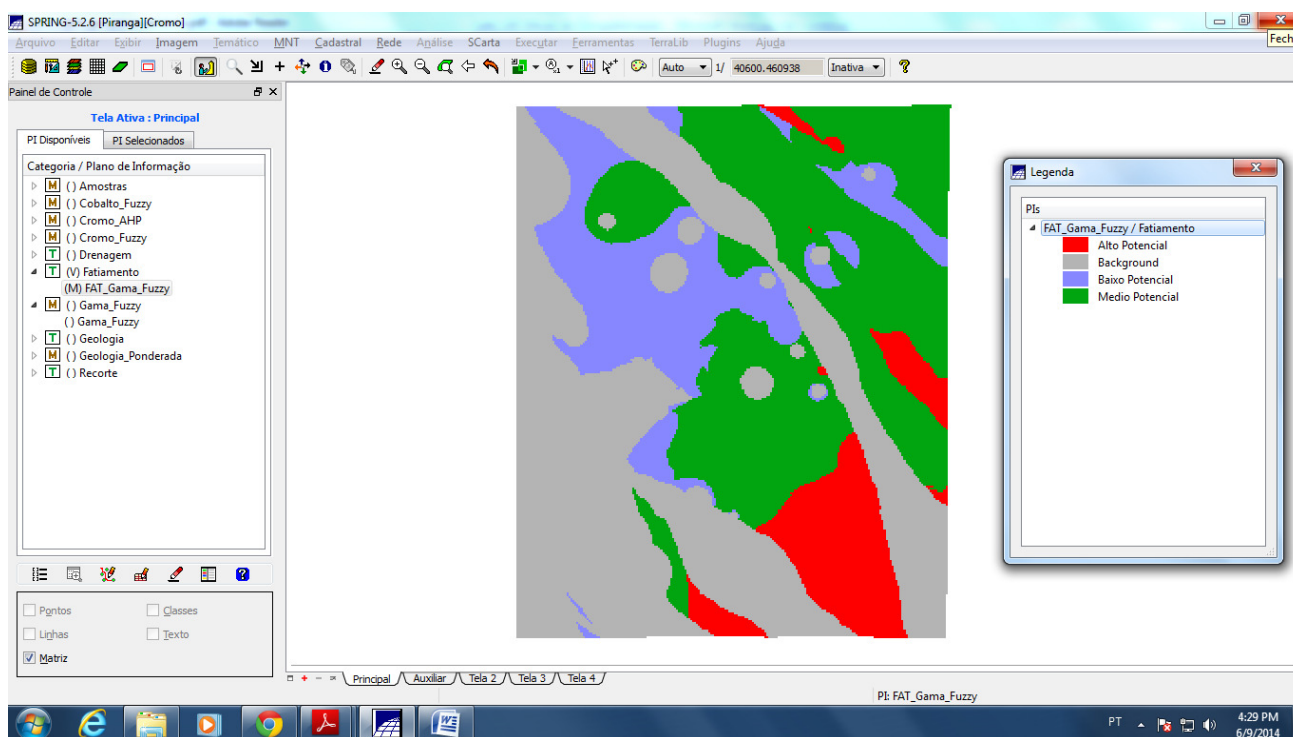


Figura 15 – Fatiamento da Grade Gama Fuzzy.

9. Fatiamento no Geo-Campo 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, conforme rotina em LEGAL da Figura 16 a seguir, para criação de mapa temático cujas classes estivessem associadas aos pesos declarados através do AHP, para posterior comparação de resultados. O resultado do fatiamento pode ser visto na Figura 17 a seguir.

```

LEGAL
Programa LEGAL  Editar  Executar

Fatiamento_Cromo_AHP.alg

1 | {
2 | //Declarações
3 | Numerico num ("Cromo_AHP");
4 | Tematico tem ("Fatiamento");
5 | Tabela tab (Fatiamento);
6 |
7 | //Instanciações
8 | num = Recupere (Nome = "Cromo_AHP");
9 |
10 | tab = Novo (CategoriaFim = "Fatiamento",
11 |           [0.0, 0.2] : "Background",
12 |           [0.2, 0.5] : "Baixo Potencial",
13 |           [0.5, 0.7] : "Medio Potencial",
14 |           [0.7, 1.0] : "Alto Potencial" );
15 |
16 | tem = Novo (Nome = "FAT_Cromo_AHP", ResX=30, ResY=30, Escala=50000);
17 |
18 | //Operações
19 | tem = Fatie (num, tab);
20 | }
21 |
22 |
23 |
24 |
25 |

```

Figura 16 – Rotina em LEGAL para o fatiamento da Grade Cromo_AHP.

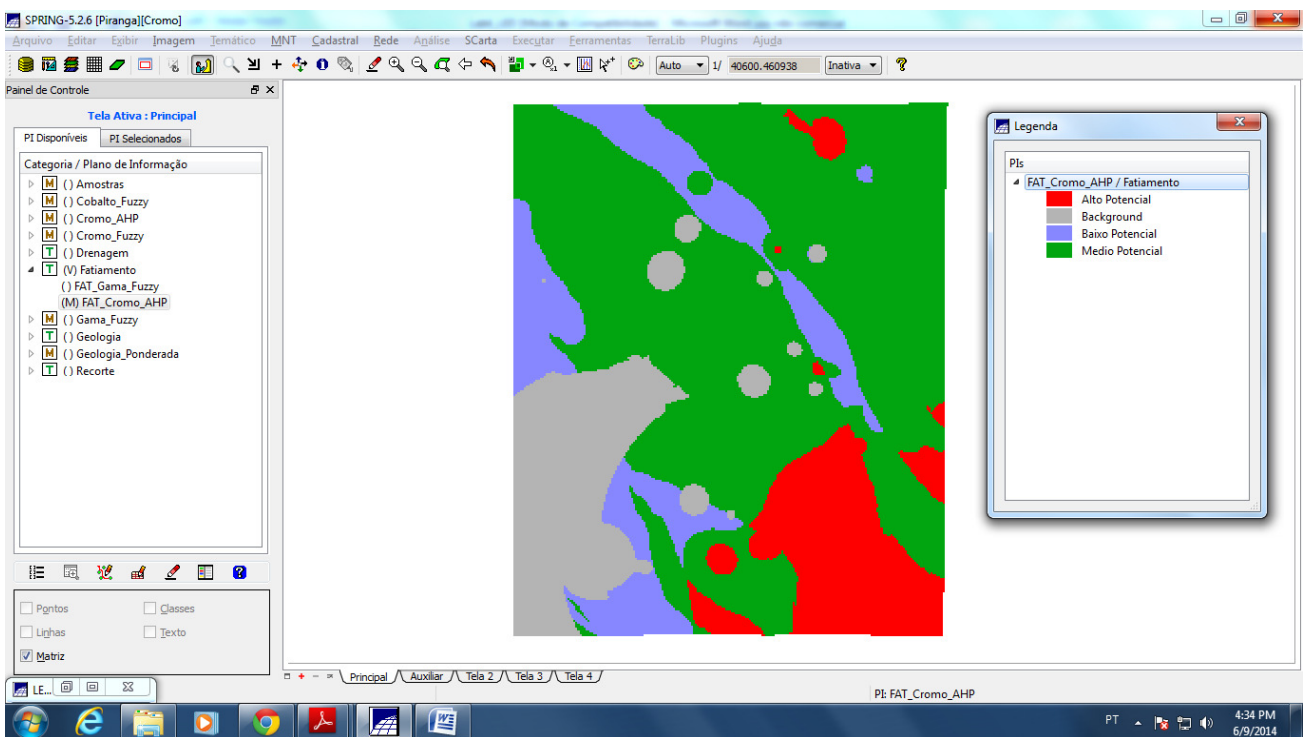


Figura 17 – Mapas de Potencialidade de Cromo gerados pela técnica AHP.

10. Etapa Final

Os resultados obtidos dos Mapas de Potencialidade de Cromo pelas técnicas Fuzzy Gama e AHP foram distintos, devido a suas características metodológicas. Ao comparar os dois fatiamentos (Figura 15 e 17), é possível observar que a área classificada como Background apresenta maior representação para mapeamento pela lógica Fuzzy_Gama do que pela técnica de suporte AHP. No entanto, a área de Médio Potencial tem uma maior representação pela técnica AHP devido ao maior peso atribuído ao ponderar as categorias. A realização de um trabalho de campo poderia ajudar e contribuir para uma melhor compreensão das diferenças obtidas.