SER - 300 - INTRODUÇÃO AO GEOPROCESSAMENTO

Laboratório 4
Álgebra de Mapas

ALGUNS ASPECTOS IMPORTANTES DA PROSPECÇÃO MINERAL DE CROMO USANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO

Professor(es) coordenador(es):
Dr. Antonio Miguel Vieira Monteiro e Dr. Claudio Barbosa

Aluna:
Yhasmin Mendes de Moura

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*. Os dados foram obtidos através de campanhas de campo realizadas na região de Pinheiros Altos, município de Piranga, Minas Gerais, no período de Abril a Julho de 1996, em uma área de 51,33 km².

1.1 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*.

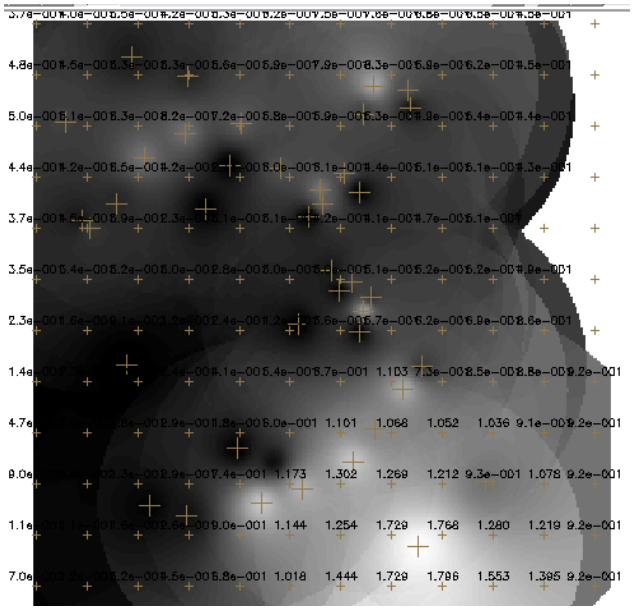

Figura 1 – Grade Retangular gerada para *Teores de Cromo*.

1.2 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.

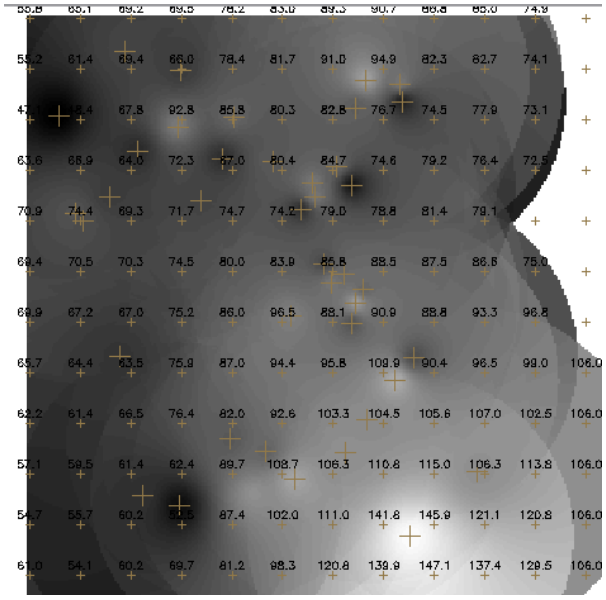

Figura 2 – Grade Retangular gerada para *Teores de Cobalto*.

2. 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.

```
{
//Declaração
Tematico geo (“Geologia”)
Numerico geoP (“Geologia_Ponderada”);
Tabeça geoT (Ponderação);

//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 3 – *Mapa Ponderado de Geologia*: as cores mais escuras representam o menor peso (preto: 0,00 – 0,015625; branco: 0,984375 – 1,00)

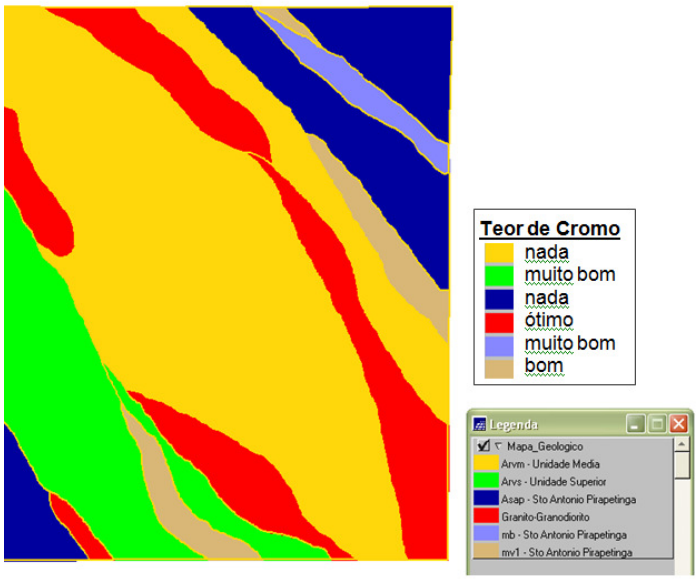

Figura 4 – *Mapa de Geologia:* teor de cromo nas classes geológicas.

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:

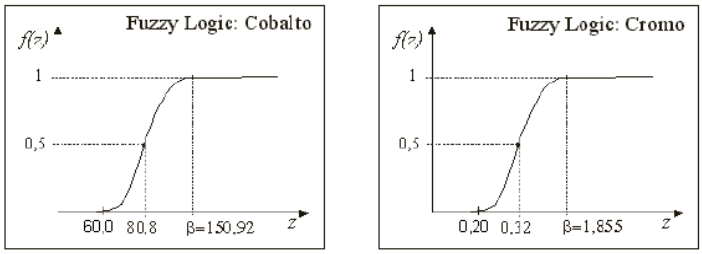

Figura 5 – O valor do parâmetro α para o Cobalto é ~0,000198 e para o Cromo ~0,424.

3. 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:

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

```
{
// 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)));
}
```

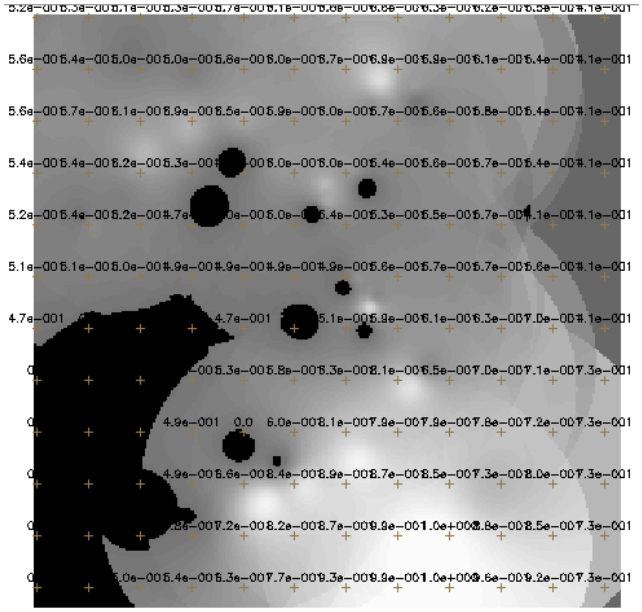

Figura 6 – visualização do mapa tipo *Numerico*. Os valores variam de 0 (preto) até 1 (branco).

4. 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:

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

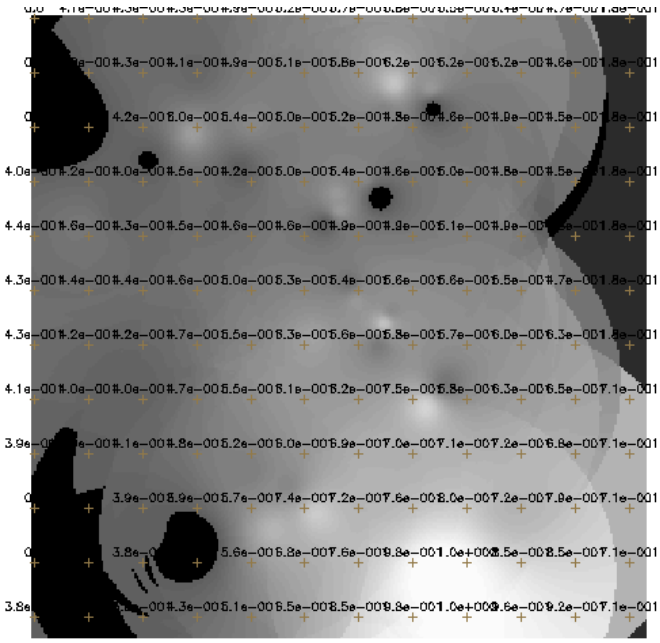

Figura 7 – visualização do mapa tipo *Numerico*. Os valores variam de 0 (preto) até 1 (branco).

5. 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.

```
{
//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);}
```

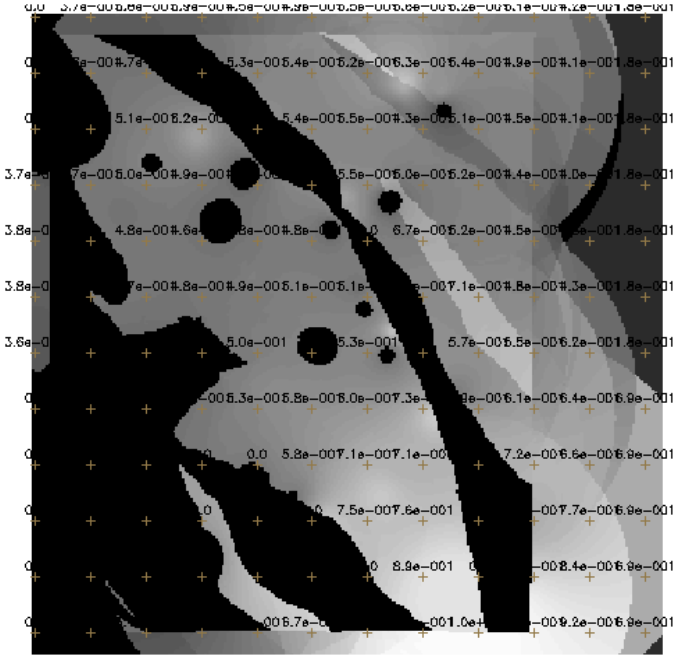

Figura 8 – Cruzamento dos teores de Cromo e Cobalto por *Fuzzy Gama.*

6. 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).
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.

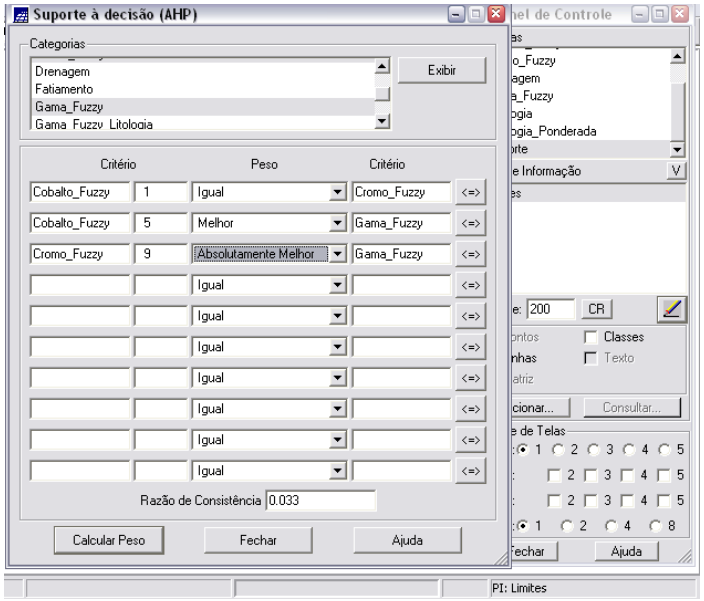

Figura 9 – criação do PI Cromo_AHP: escolha das categorias e atribuição de pesos para aplicação da técnica de suporte à decisão AHP.

```
{
// 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;
}
```

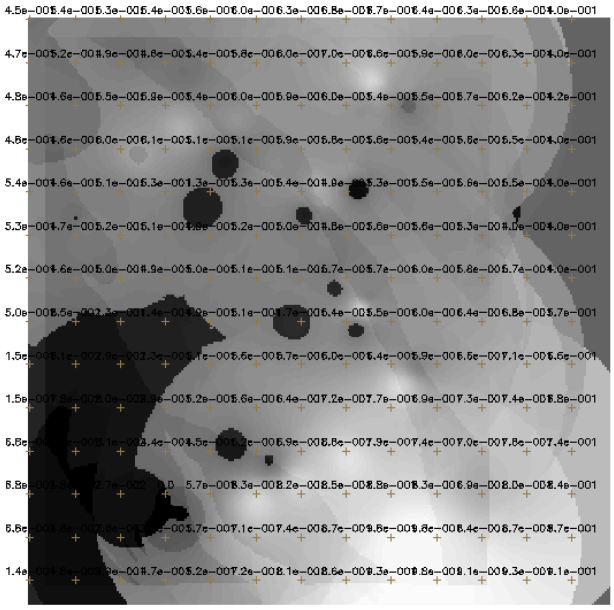

Figura 10 – PI Cromo_AHP criado por meio da técnica de suporte à decisão AHP.

7. 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.

```
{  //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);
}
```

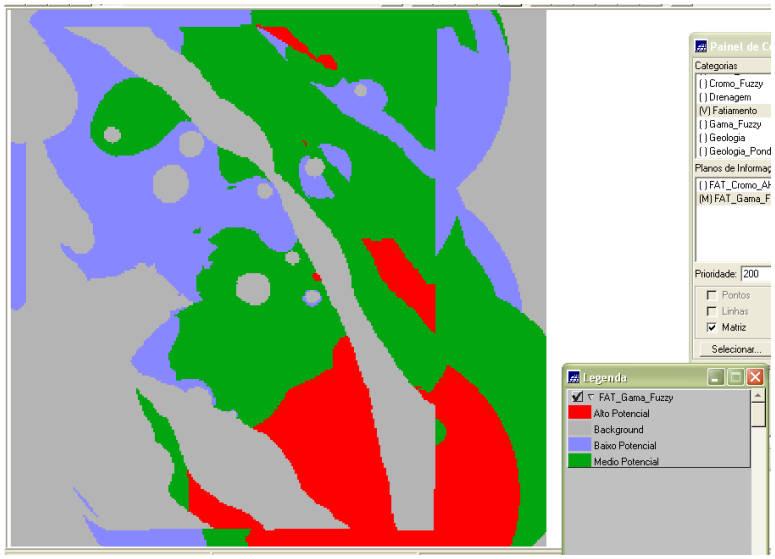

Figura 11 – PI Fat_Gamma_Fuzzy criado por meio da operação de fatiamento.

8. 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.

```
{
//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); }
```

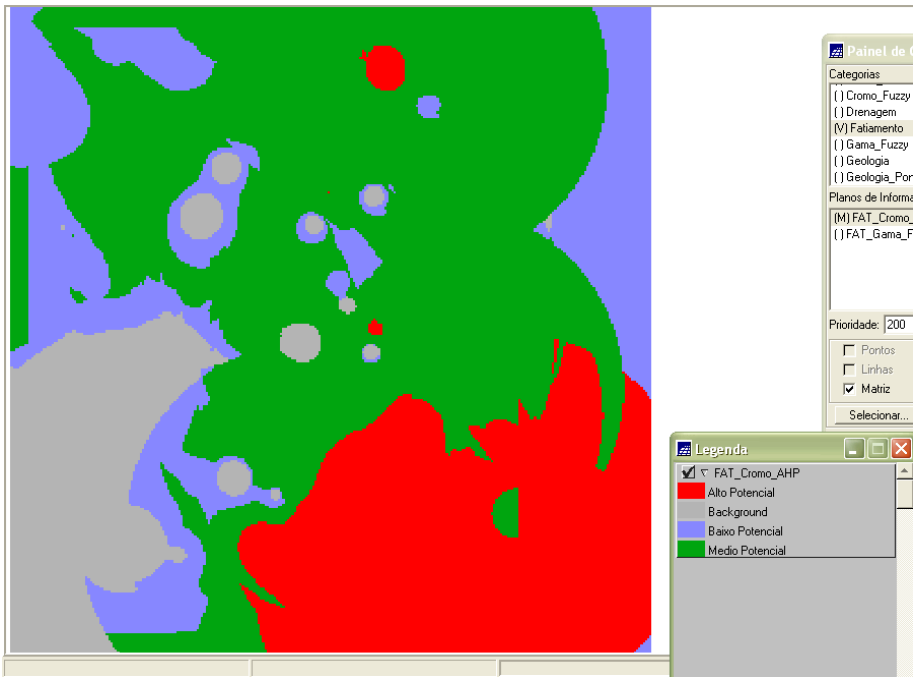

Figura 12 – PI Fat_Cromo_AHP criado por meio da operação de fatiamento.

9. CONCLUSÃO

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 com o Mapa Geológico, 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 com o Mapa Geológico, 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.