

SER-300 - Introdução ao Geoprocessamento

Laboratório 4 **Álgebra de Mapas**

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

Material Produzido por Eduardo Gerbi Camargo, DPI

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

Edson Ricardo Soares Pereira da Cunha (Geólogo – UERJ)
Mestrando do curso de Sensoriamento Remoto do INPE
edson@ltid.inpe.br (trabalho de curso ser-300)

Os dados que serão analisados neste curso foram obtidos a partir de trabalhos de campo realizados na região de Pinheiros Altos, município de Piranga, Minas Gerais. Região esta que está inserida no contexto geológico do Quadrilátero Ferrífero, região historicamente de grande importância mineira, caracterizada por um ambiente geológico favorável ao desenvolvimento de mineralizações auríferas e de outros metais, como **cromo**, cobre e zinco.

Analisou-se dados geológicos¹ e geoquímicos², sendo que os dados geológicos foram extraídos de mapas geológicos já existentes, resultado de trabalhos anteriores feitos na região e através de campanhas de campo onde foram feitos perfis geológicos³. Os dados geoquímicos foram obtidos a partir da coleta de 42 amostras dentro dos córregos e rios com o auxílio de bateia⁴, sendo estas posteriormente analisadas quimicamente pelo método de absorção atômica⁵.

Na análise do Mapa Geológico (composto de várias unidades caracterizadas por diversos tipos de rochas), foi dada maior importância às áreas com ocorrência de rochas ultramáficas⁶, pois nestas rochas se localizam as principais jazidas de cromo no mundo.

Para a região de estudo admite-se que a unidade litológica com maior potencial para ocorrências de cromo sejam as rochas do domínio de metaultrabásicas (mv1) do Complexo Metamórfico Santo Antônio do Pirapetinga, por serem estes litotipos ricos em cromo. Porém em perfis geológicos realizados na região também pôde-se observar a existência de corpos de rochas ultramáficas dentro da Unidade Média do Supergrupo Rio das Velhas e da Unidade Asap do Complexo Metamórfico Santo Antônio do Pirapetinga. Sendo esta observação muito importante na fase de determinação dos pesos de cada unidade no Mapa Geológico Ponderado.

Na análise dos dados geoquímicos considerou-se como importantes os teores de cromo (Cr) e cobalto (Co), o Cr por ser logicamente a principal evidencia das melhores áreas para ocorrências dos depósitos e o Co por ser um indicativo indireto da presença de mineralizações de cromo, fato

¹ Tipos de rochas

² Valor de um determinado elemento analisado em uma amostra

³ Caminhamentos feitos no campo com o objetivo de determinar com mais detalhe as diversas variações de tipos de rochas

⁴ Equipamento utilizado por garimpeiros na procura de ouro

⁵ Método de análise química que objetiva a determinação dos teores de diversos elementos químicos presentes nas amostras

que em alguns pontos os altos valores de cromo estão associados aos altos valores de cobalto como pode ser visto no Gráfico 1.

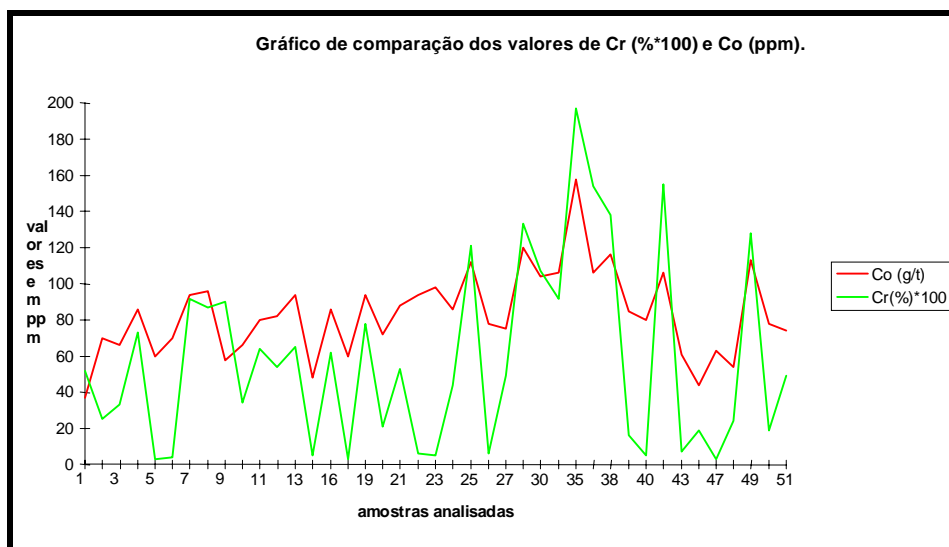


Gráfico 1: Comparativo entre os teores de Cr & Co.

A associação do Cr e Co em rochas ultramáficas é um importante fator na seleção de áreas mais ou menos favoráveis. Partindo desta idéia os pontos onde os teores dos dois elementos se apresentam mais elevados são áreas mais favoráveis do que aquelas onde somente os teores de cromo estiverem elevados.

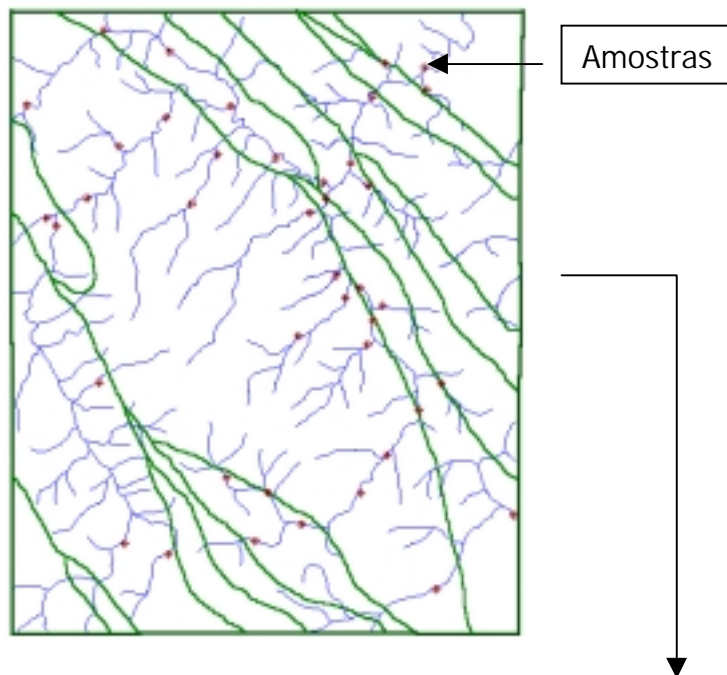
Importância da aplicação do geoprocessamento na pesquisa mineral:

Os projetos desenvolvidos em SIG aplicados a prospecção mineral tem o objetivo de combinar dados espaciais para descrever e analisar interações, de modo a fazer previsões através de modelos prospectivos empíricos e fornecer apoio nas decisões tomadas por especialistas, e consequentemente definir melhor as regiões mais enriquecidas num determinado bem mineral.

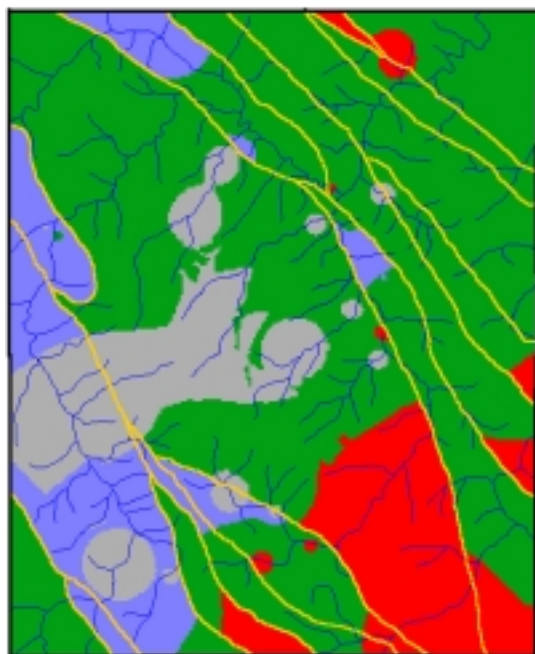
Dos mapas de potencialidade obtidos através de técnicas de integração e análise multicritério é possível observar um cenário com características geológicas importantes, que auxiliam na seleção de algumas áreas dentro da região de estudo, com parâmetros interessantes para a realização de uma pesquisa de maior detalhe, objetivando possíveis mineralizações de cromo. Neste tipo de trabalho pode-se então notar a importância da avaliação de favorabilidade utilizando um Sistema de Informação Geográfica (SIG) nas atividades de pesquisa mineral.

⁶ Rochas com alta concentração de minerais ricos em ferro e magnésio

Objetivo deste trabalho 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 51,33Km².

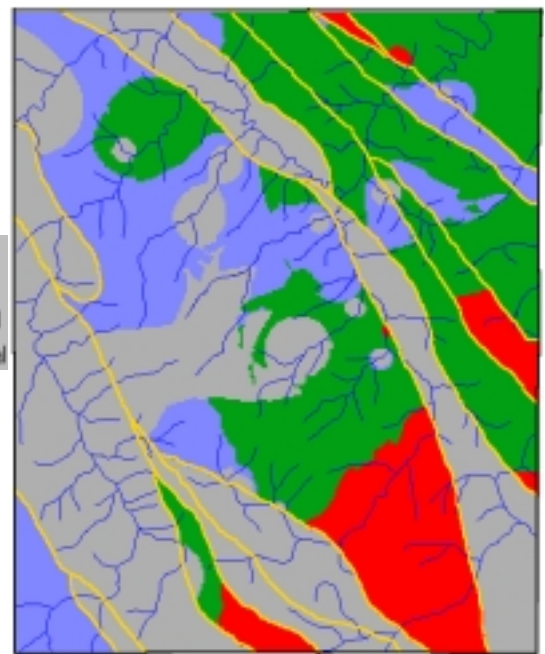


Mapa de Potencialidade de



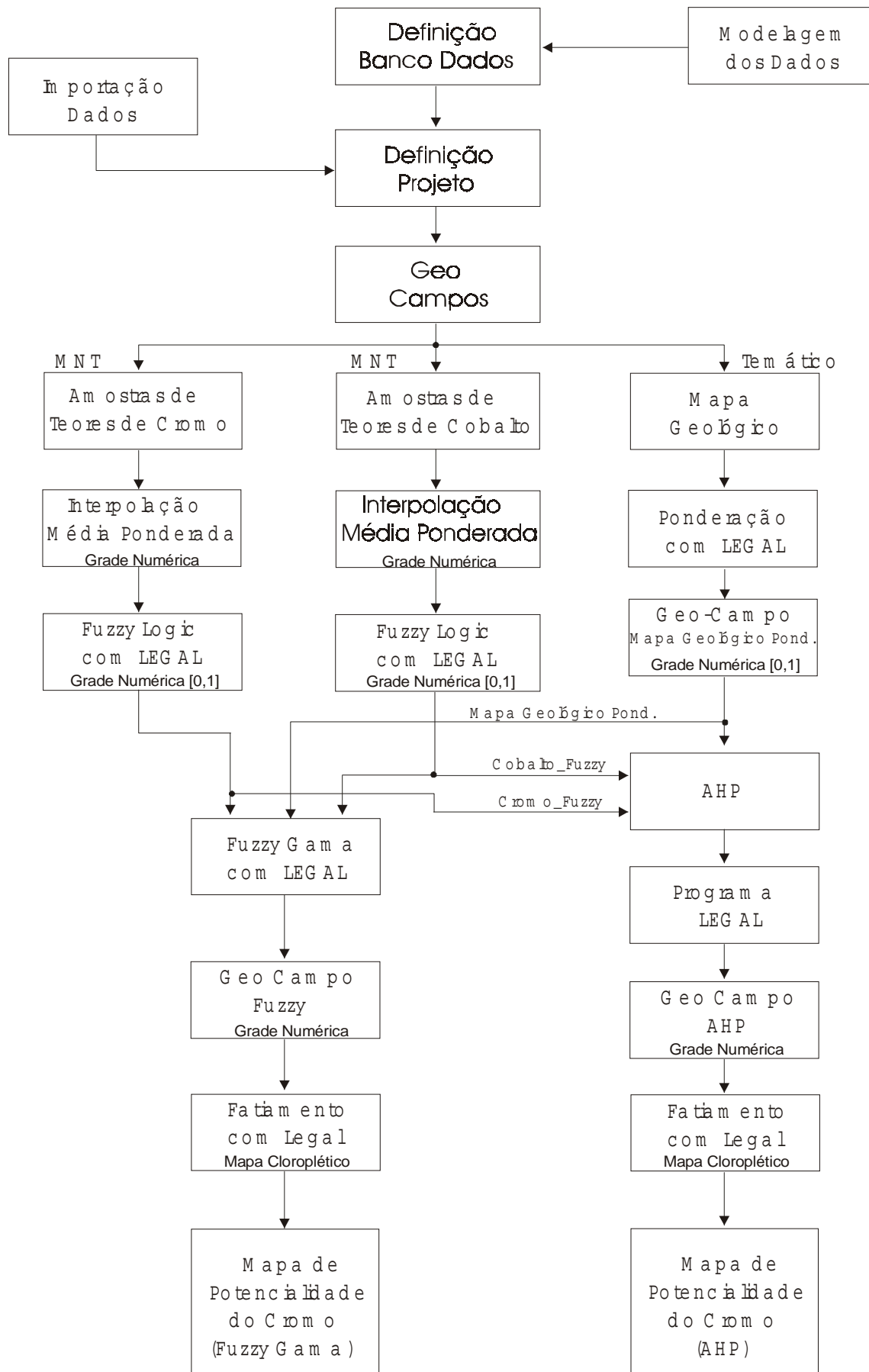
Cromo pelo método AHP

Mapa de Potencialidade de



Cromo pelo método Fuzzy

FLUXOGRAMA DE TRABALHO



1. Ativar Banco de Dados

Nome: Piranga

2. Verificar Modelos de Dados para o Banco Piranga

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

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

3- Ativar Projeto Cromo

Nome	Projeção	Modelo da Terra
Cromo	UTM	Hayford/CorregoA
Longitude de Origem: o 45 00 00		
Retangulo	X1= 675750.653	X2= 684240.837
envolvente	Y1= 7723706.593	Y2= 7732252.189

INICIAR MODELAGEM E OPERAÇÕES. SIGA AS INSTRUÇÕES.

1. Geração de Grade Regular para o PI: Teores_Cromo

Menu -> MNT -> Geração de Grade Retangular...

Entidade: Amostra

PI de Saída: Teores_Cromo

Resolução: X(m): 30 Y(m): 30

Interpolador: Média Pond.

2. Geração de Grade Regular para o PI: Teores_Cobalto

Menu -> MNT -> Geração de Grade Retangular

Entidade: Amostra

PI de Saída: Teores_Cobalto

Resolução: X(m): 30 Y(m): 30

Interpolador: Média Pond.

3. Gerar Mapa Ponderado da Geologia

Menu -> Análise -> Legal...

Diretório: vá para o diretório "Programas Legal" que está sob o Banco de Dados "Piranga".

Nome: GeologiaPonderada

Pressione o botão **Criar...**, e edite o programa abaixo:

⇒ **Atenção siga exatamente os nomes abaixo, letras maiúsculas, minúsculas, espaços, sem acentuação, etc...**

```

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

//Instanciação
geo = Recuperar (Nome="Mapa_Geologico");

geoP = Novo (Nome ="Geologia_Ponderada" , ResX = 30, ResY = 30,
            Escala = 50000, Min = 0, Max = 1);

geoT = Novo (CategorialNi = "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);
}

```

Salvar o programa editado

=> **Antes de executar o programa, procure entendê-lo !**

Executar o programa GeologiaPonderada *Observe o Painel de Controle !*

4. Mapear a grade (representação) do PI Teores_Cromo utilizando Fuzzy Logic.

Menu -> Análise -> Legal...

Diretório: vá para o diretório "Programas Legal" que está sob o Banco de Dados "Piranga".

Nome: CromoFuzzy

Pressione o botão **Criar...**, e edite o programa abaixo:

⇒ **Atenção siga exatamente os nomes abaixo, letras maiúsculas, minúsculas, espaços, sem acentuação, etc...**

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

Salvar o programa editado

=> **Antes de executar o programa, procure entendê-lo !**

Executar o programa CromoFuzzy. *Observe o Painel de Controle !*

5. Mapear a grade (representação) do PI Teores_Cobalto utilizando Fuzzy Logic.

Menu -> Análise -> Legal...

Diretório: vá para o diretório "Programas Legal" que está sob o Banco de Dados "Piranga".

Nome: CobaltoFuzzy

Pressione o botão **Criar...**, e edite o programa abaixo:

⇒ **Atenção siga exatamente os nomes abaixo, letras maiúsculas, minúsculas, espaços, sem acentuação, etc...**

```
{
// Fuzzy cobalto (ponto ideal com um teor de 150.92 ppm e ponto de cruzamento em
// 80ppm)

//Declaração
Numerico cobal ("Amostras");
Numerico cobalfuzzy ("Cobalto_Fuzzy");

//Instanciação
cobal = Recupere ( Nome= "Teores_Cobalto" );
cobalfuzzy = Novo( Nome = "Cobalto_Fuzzy" , ResX = 30, ResY = 30, Escala = 50000,
Min = 0, Max = 1 );

//Operação
cobalfuzzy= (cobal <60) ? 0 : (cobal>150.92)? 1 : 1/( 1 +(0.000198*((cobal - 150.92
)^2 ) ) );
}
```

Salvar o programa editado

=> **Antes de executar o programa, procure entendê-lo !**

Executar o programa CobaltoFuzzy. *Observe o Painel de Controle !*

6. Cruzar os PI's Cromo_Fuzzy e Cobalto_Fuzzy utilizando a função Fuzzy Gama.

Menu -> Análise -> Legal...

Diretório: vá para o diretório "Programas Legal" que está sob o Banco de Dados "Piranga".

Nome: GamaFuzzy

Pressione o botão **Criar...**, e edite o programa abaixo:

⇒ **Atenção siga exatamente os nomes abaixo, letras maiúsculas, minúsculas, espaços, sem acentuação, etc...**

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

Salvar o programa editado.

=> **Antes de executar o programa, procure entende-lo !**

Executar o programa GamaFuzzy. *Observe o Painel de Controle !*

7. Criar o PI Cromo_AHP utilizando a técnica de suporte à decisão AHP (Processo Analítico Hierárquico).

Menu -> Análise -> Suporte à Decisão (AHP) ...

Critério	Peso	Critério
Cromo_Fuzzy	5	Melhor
Cromo_Fuzzy	8	Criticamente Melhor
Cobalto_Fuzzy	4	Moderadamente Melhor

Razão de Consistência: 0.081

Executando uma análise de suporte a decisão:

- **ative** o Banco e o Projeto que tem as definições no modelo de dados;
- **clique** em **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**. A janela de **Salvar Como** será apresentada para escolher o diretório onde será gravado o programa em **LEGAL**. (**Salvar no diretório Programas Legal sob o banco de dados Piranga, com o nome de CromoAHP**).

NOTA: Após selecionar quais os fatores que deseja combinar e estabelecer a importância relativa de cada um deles. O sistema fornecerá uma indicação da consistência de seu julgamento (indicada no item "razão de consistência"). Segundo os especialistas em AHP, é aconselhável que o índice de consistência seja sempre menor que 0,1. Assim, se seu índice de consistência foi maior que 0,1, considere a possibilidade de refazer seu julgamento.

Como resultado, esta função do SPRING gera um esqueleto de programa em LEGAL, que deverá ser completado pelo usuário com as informações específicas sobre os dados nos quais deseja aplicar o procedimento. Lembre-se que a aplicação da técnica AHP é sob a forma de uma média ponderada. Assim, os dados deverão ser convertidos para uma escala de [0..1] antes da aplicação do programa.

Edite o Programa, CromoAHP, gerado pela técnica AHP, conforme abaixo:

```
{
// 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 <>  ← IMPORTANTE !

// Definicao dos dados de entrada

Numerico var1 ("Cromo_Fuzzy");
Numerico var2 ("Cobalto_Fuzzy");
Numerico var3 ("Geologia_Ponderada");

// Definicao do dado de saida

Numerico var4 ("<Categoria_de_saida>"); ← Cromo_AHP

// Recuperacao dos dados de entrada

var1 = Recupere (Nome="<Nome_do_PI>"); ← Cromo_Fuzzy
var2 = Recupere (Nome="<Nome_do_PI>"); ← Cobalto_Fuzzy
var3 = Recupere (Nome="<Nome_do_PI>"); ← Geologia_Ponderada

// Criacao do dado de saida

var4 = Novo (Nome="<Nome_PI_Saida>", ResX=<>, ResY=<>, Escala=<>,
             Min=0, Max=1);
             ↑           ↑           ↑           ↑
             Cromo_AHP   30         30         50000

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

Salvar e Executar. Observe o Painel de Controle !

8 – Realizar o Fatiamento no Geo-Campo Gama_Fuzzy.

Menu -> Análise -> Legal...

Diretório: vá para o diretório "Programas Legal" que está sob o Banco de Dados "Piranga".

Nome: FatiamentoGamaFuzzy

Pressione o botão **Criar...**, e edite o programa abaixo:

⇒ **Atenção siga exatamente os nomes abaixo, letras maiúsculas, minúsculas, espaços, sem acentuação, etc...**

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

Salvar o programa editado.

=> **Antes de executar o programa, procure entende-lo !**

Executar o programa FatiamentoGamaFuzzy. *Observe o Painel de Controle !*

9 – Realizar o Fatiamento no Geo-Campo Cromo_AHP.

Menu -> Análise -> Legal...

Diretório: vá para o diretório "Programas Legal" que está sob o Banco de Dados "Piranga".

Nome: FatiamentoCromoAHP

Pressione o botão **Criar...**, e edite o programa abaixo:

⇒ **Atenção siga exatamente os nomes abaixo, letras maiúsculas, minúsculas, espaços, sem acentuação, etc...**

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

Salvar o programa editado.

Antes de executar o programa, procure entende-lo !

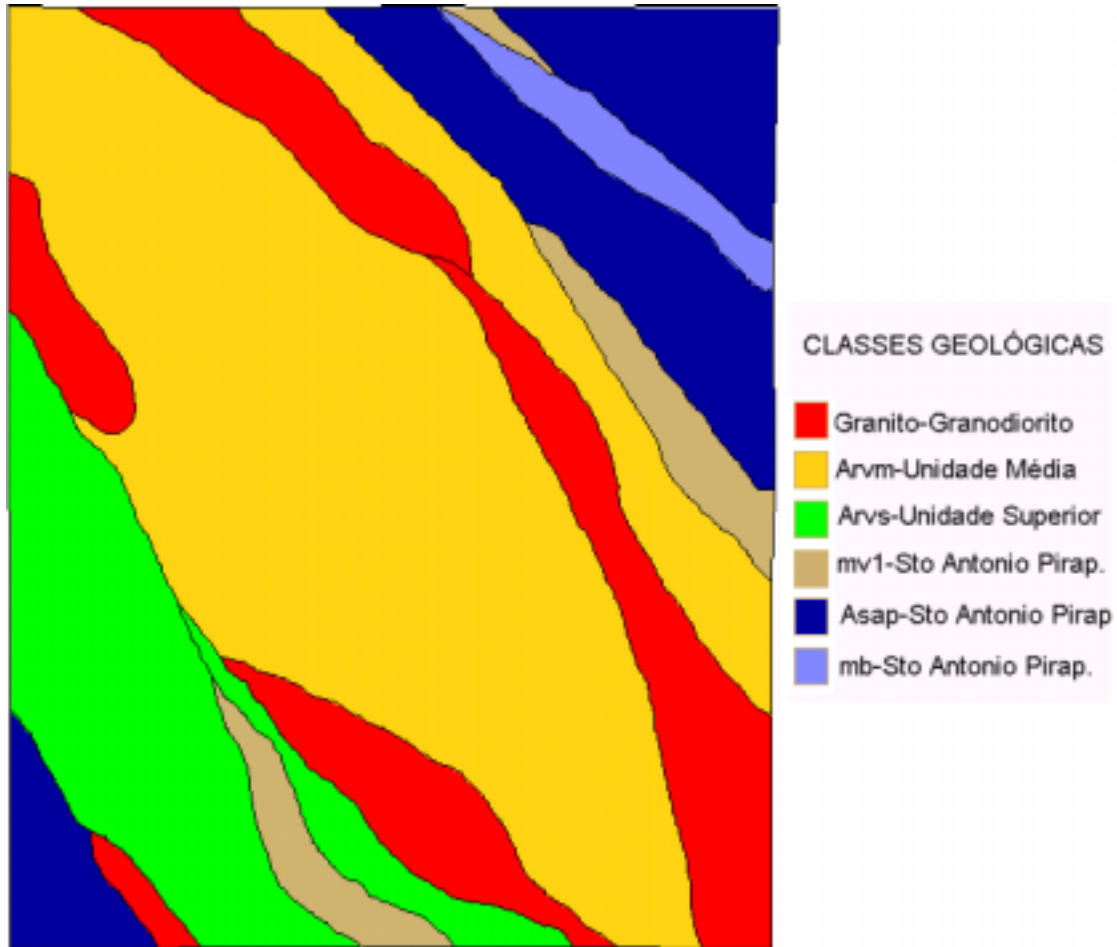
Executar o programa FatiamentoCromoAHP. *Observe o Painel de Controle !*

10- Etapa Final

Apresente e Analise os Mapas de Potencialidade de Cromo gerados pelas técnicas AHP e Fuzzy Gama.

APÊNDICE

MAPA GEOLÓGICO DE PIRANGA



	TEOR DE CROMO NAS CLASSES GEOLÓGICAS
	⇒ nada
	⇒ muito bom
	⇒ nada
	⇒ ótimo
	⇒ muito bom
	⇒ bom

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

Granito-Granodiorito : 0

Arvs - Unidade Superior : 0

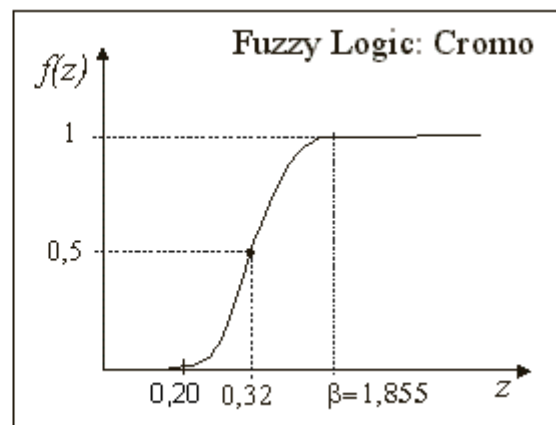
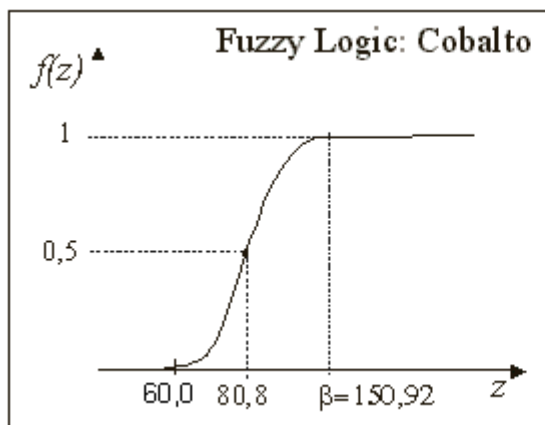
Arvm - Unidade Media : 0.7

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 utilizadas na formulação da função quadrática (Equação 1), onde o "Background" foi considerado como valor do ponto de cruzamento e as anomalias de 1ª ordem de cada elemento foi considerada como valor 1, conforme ilustra a figura abaixo:



O valor do parâmetro α para o Cobalto é $\sim 0,000198$ e para o Cromo $\sim 0,424$

Fuzzy Gama

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

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

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 a 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 $\gamma=0$, o resultado dependerá apenas do termo produto algébrico Fuzzy, e quando $\gamma=1$, o resultado dependerá apenas do termo soma algébrica Fuzzy.

Exemplo em Legal:

:

$g=0.70$;

$\text{gama} = (1 - ((1 - \text{cobal}) * (1 - \text{cromo}))^g) * (\text{cobal} * \text{cromo})^{(1 - g)}$;

: