

Técnicas de Geocomputação em Análise Espacial



Seminário de Análise Espacial de Dados em
Saúde

Gilberto Câmara
Antônio Miguel Vieira Monteiro
Divisão de Processamento de
Imagens
INPE

Fiocruz, Novembro de 1999

GeoComputação e Análise Espacial:
Partilhando Visões do Espaço

ou

Como Superar a Síndrome do
MAP/INPO ?

GeoComputação

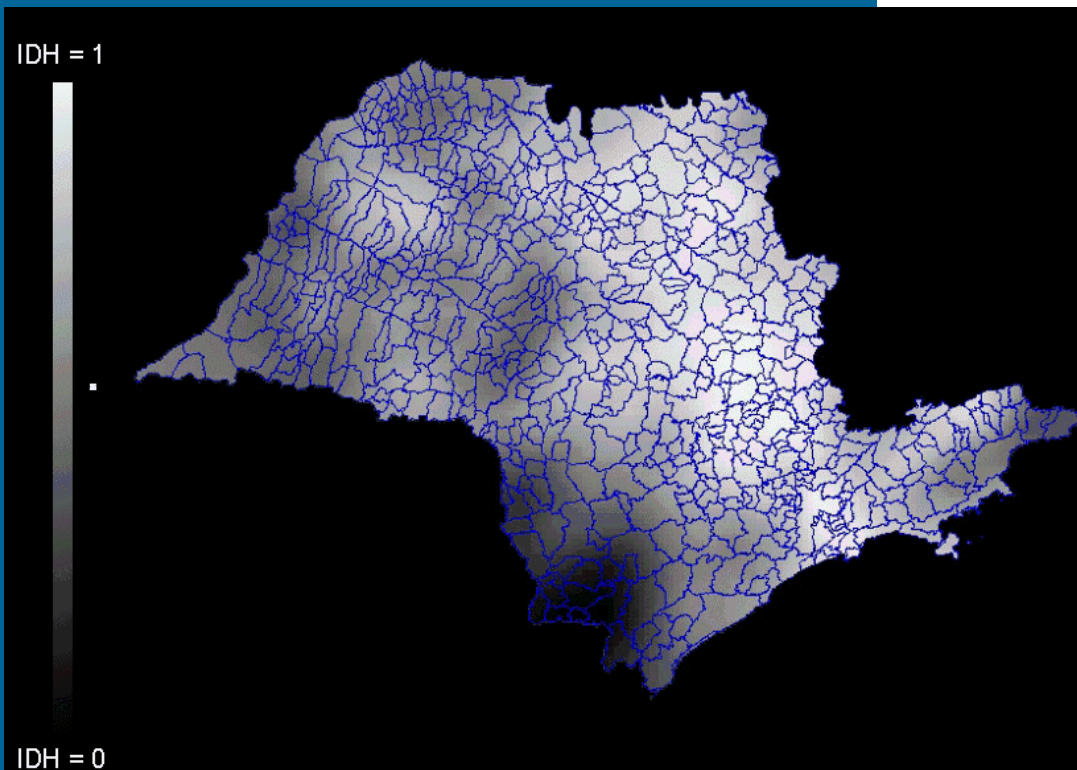
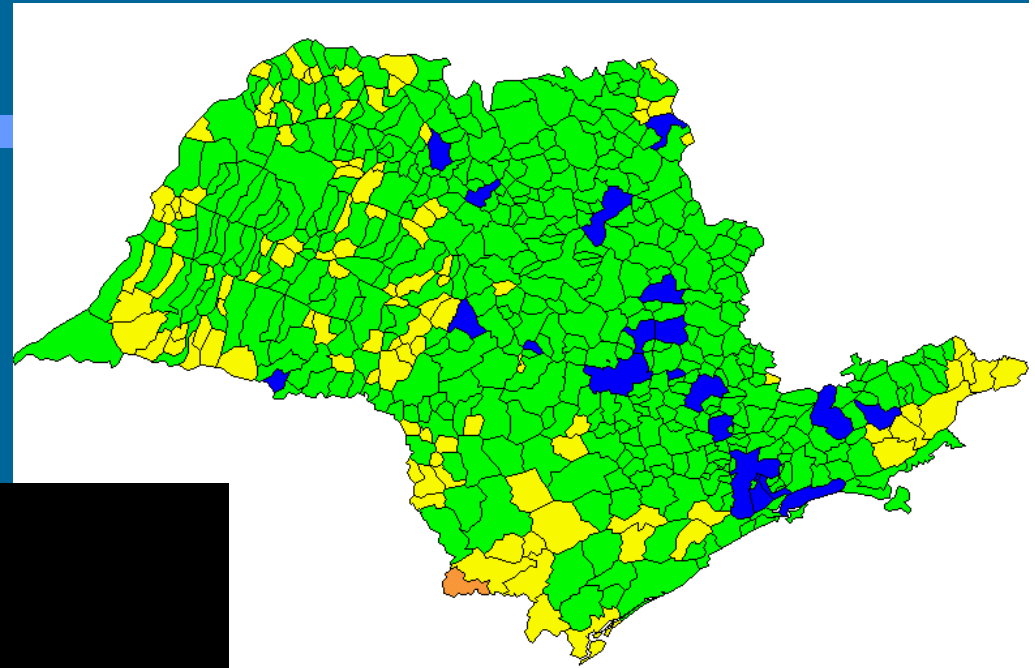
- Conjunto de técnicas e algoritmos para representar e transformar a informação geográfica
 - conceito central: *computabilidade*
- Diferentes bases conceituais
 - Estatística Espacial
 - Teoria das Variáveis Generalizadas
 - Redes Neurais
- Engendram formas *diferentes* de percepção e organização do espaço

Conteúdo

- Técnicas Geocomputacionais
 - Análise de Variabilidade Espacial
 - Inferência Geográfica
 - Redes Neurais
 - Busca Heurística
 - Automatos Celulares
- Integração de Dados
 - desenvolvimento de tecnologia de GIS para Análise Espacial

Percepções do Espaço

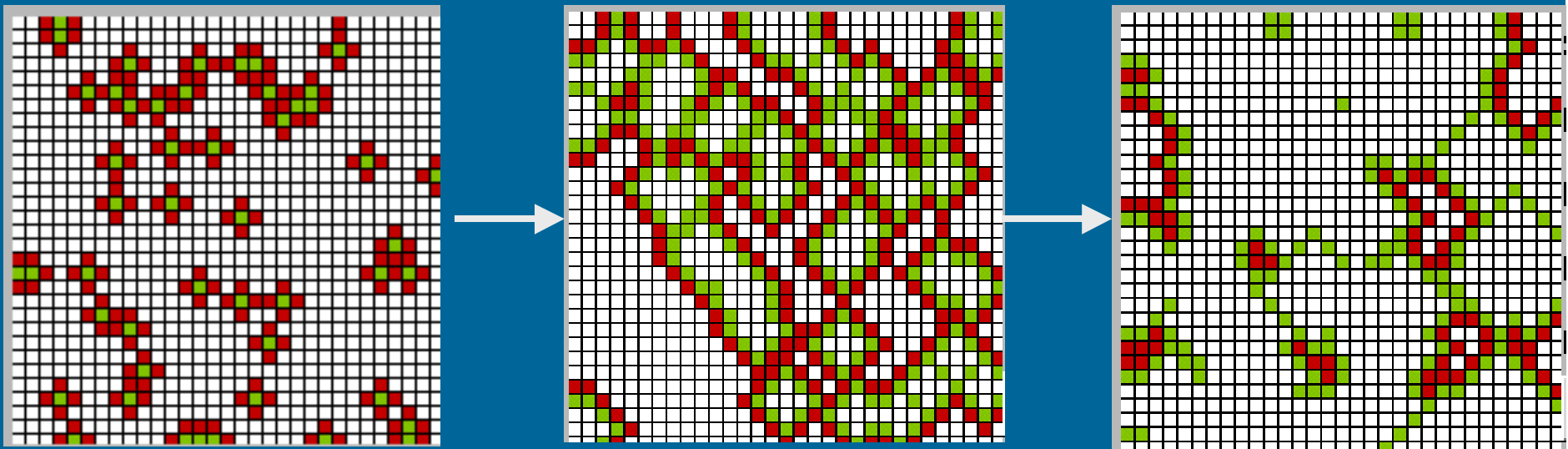
Espaço como uma subdivisão planar



Espaço como uma superfície contínua

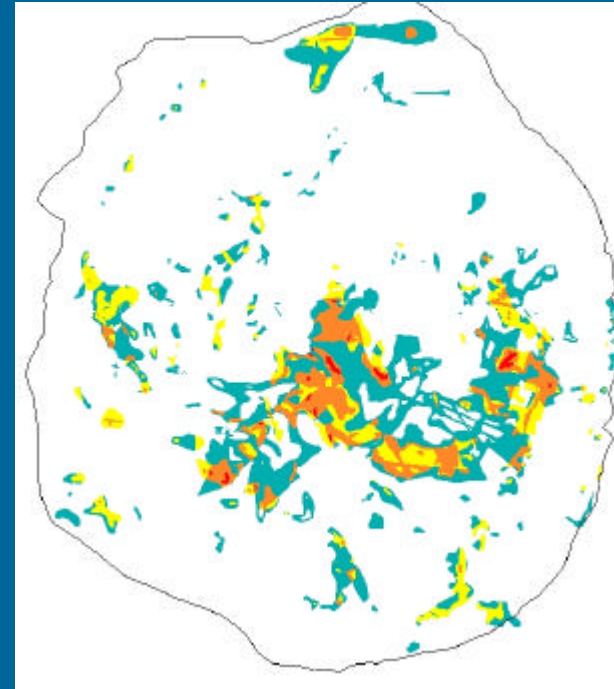
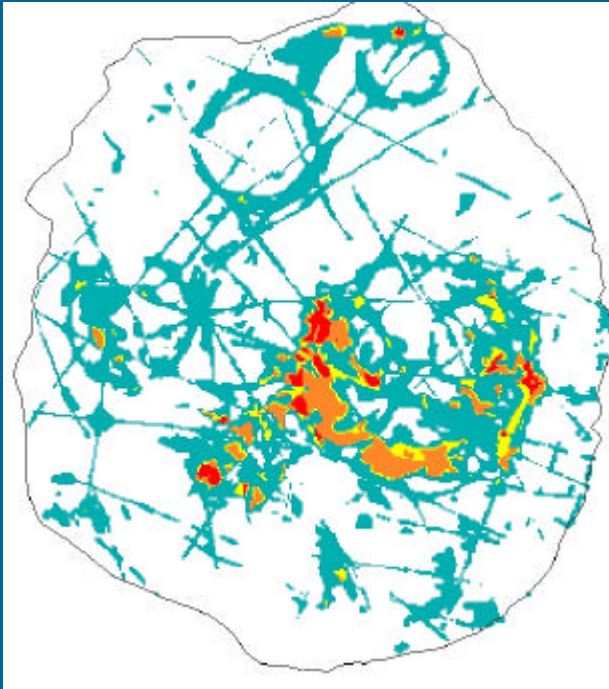


Percepções do Espaço



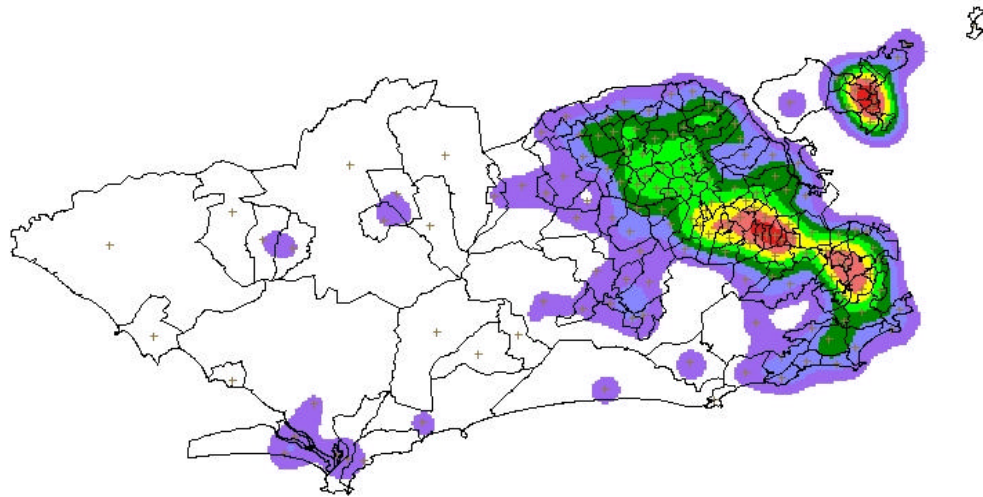
Espaço como um conjunto de células em evolução

Percepções do Espaço

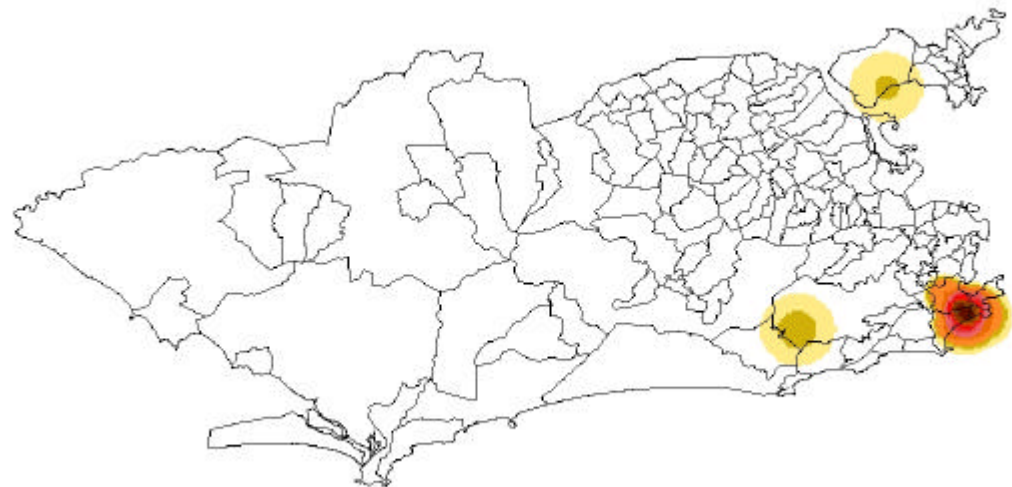


Espaço como uma superfície de decisão

Percepções do Espaço



Espaço como Zonas de
Concentração

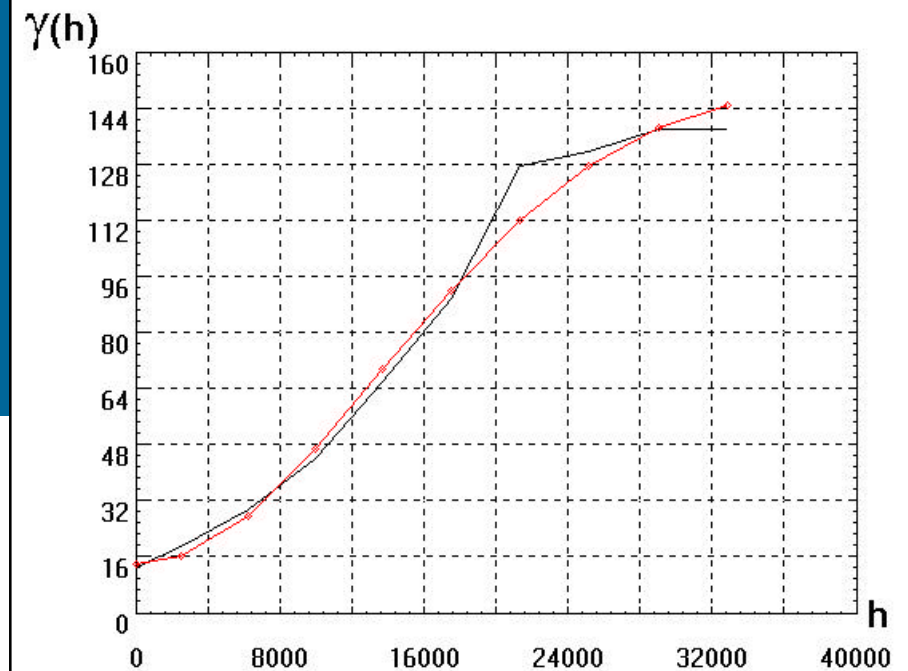
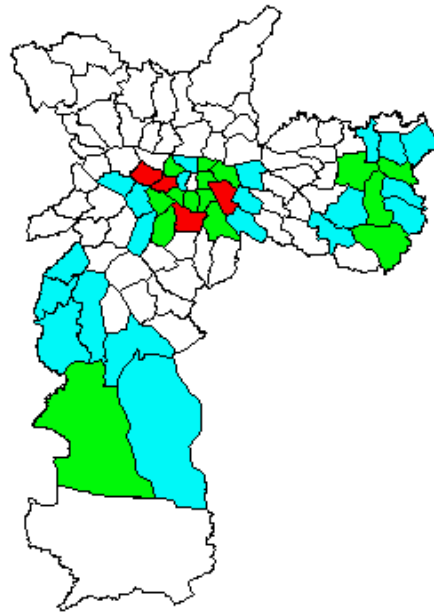


Percepções do Espaço

Análise de Variabilidade Espacial

✓ %Idosos

□	nao signi
■	p = 0.05
■	p = 0.01
■	p = 0.001



GeoComputação e Análise Espacial

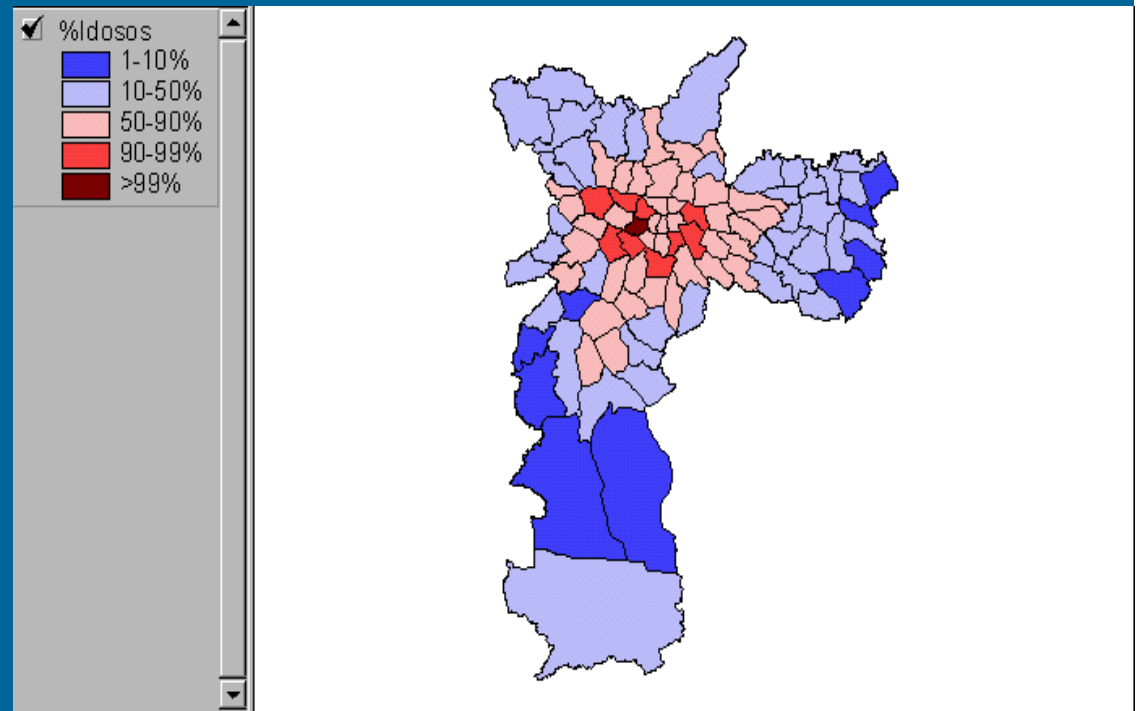
- Análise de Variabilidade
- Conjuntos Nebulosos ("fuzzy")
- Redes Neurais
- Busca Heurística
- Sistemas Dinâmicos

Variabilidade Espacial

- Objetivo
 - Modelar a dependência espacial
 - Autocorrelação espacial (caso univariado)
 - Correlação cruzada (caso multivariado)
 - Estabelecer regimes espaciais
- Indicadores de Variabilidade
 - Globais
 - I de Moran, Correlograma, Variograma
 - Locais
 - Moran Local, Gi (Getis/Ord)
- Técnicas de Regressão Espacial

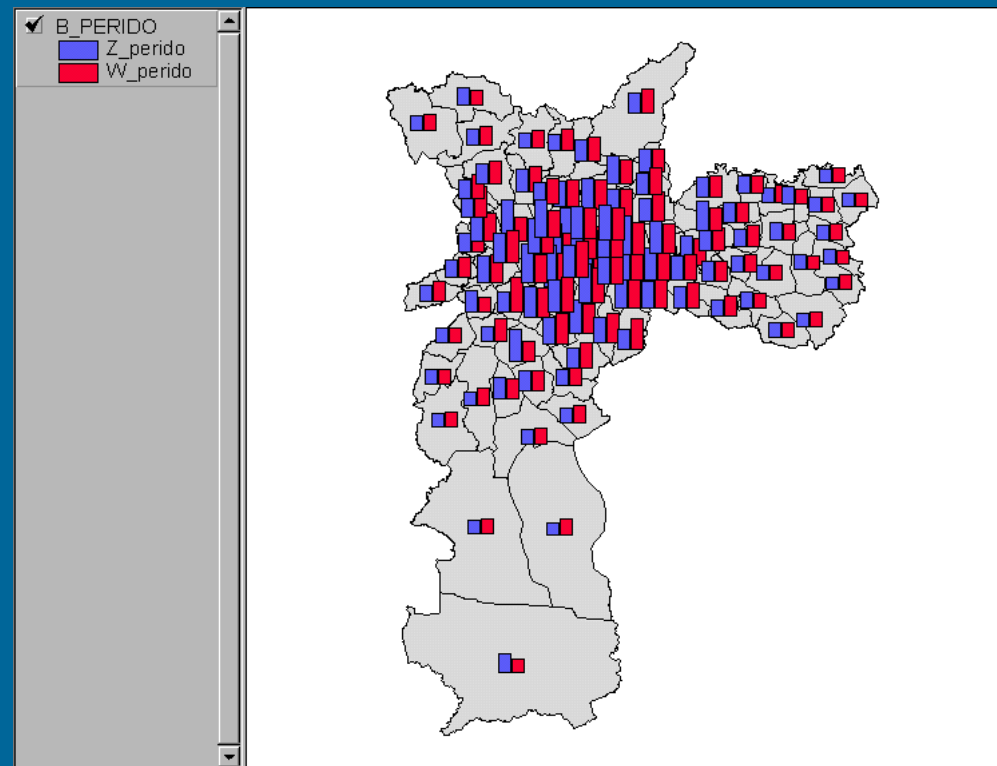
Indicadores de Autocorrelação Espacial

- “Mapa da Exclusão/Inclusão de São Paulo”
 - Prof. Aldaiza Sposati (PUC/SP)



Distribuição do percentual de idosos

Média Móvel Local



Distribuição do percentual de idosos

Mapa de espalhamento de Moran

$I = 0,673$ (significância de 99%)

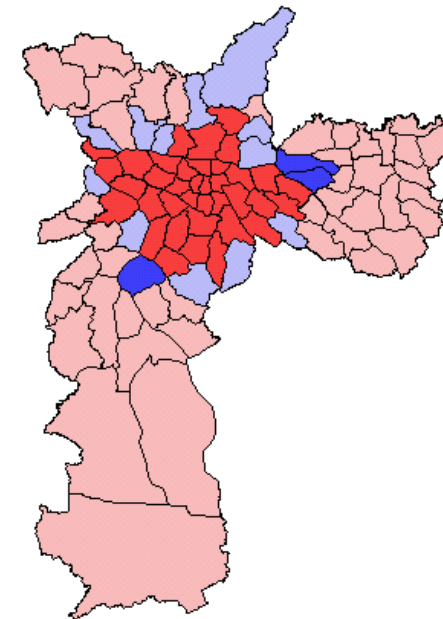
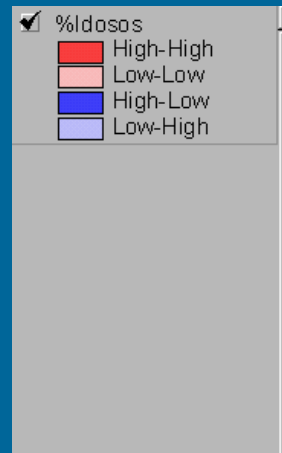
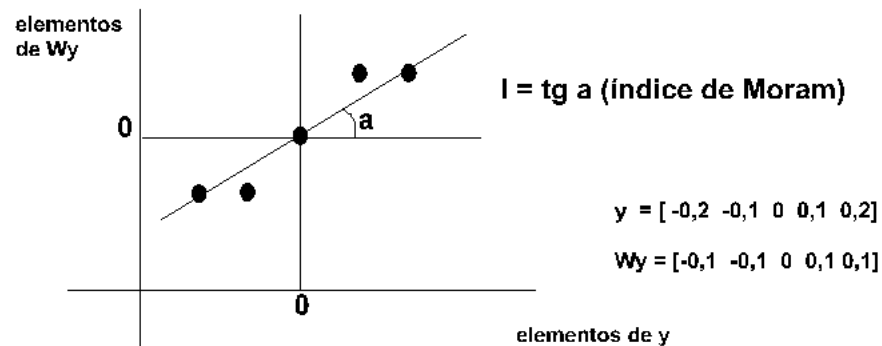
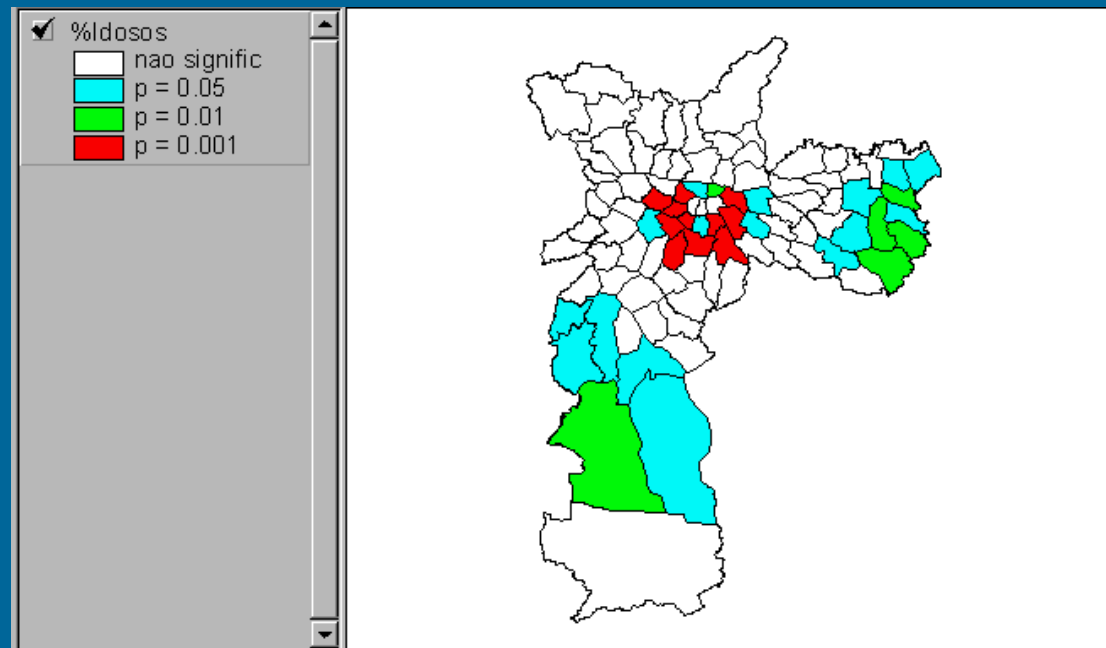


Gráfico de espalhamento de Moran:



Indicadores de Moran Local

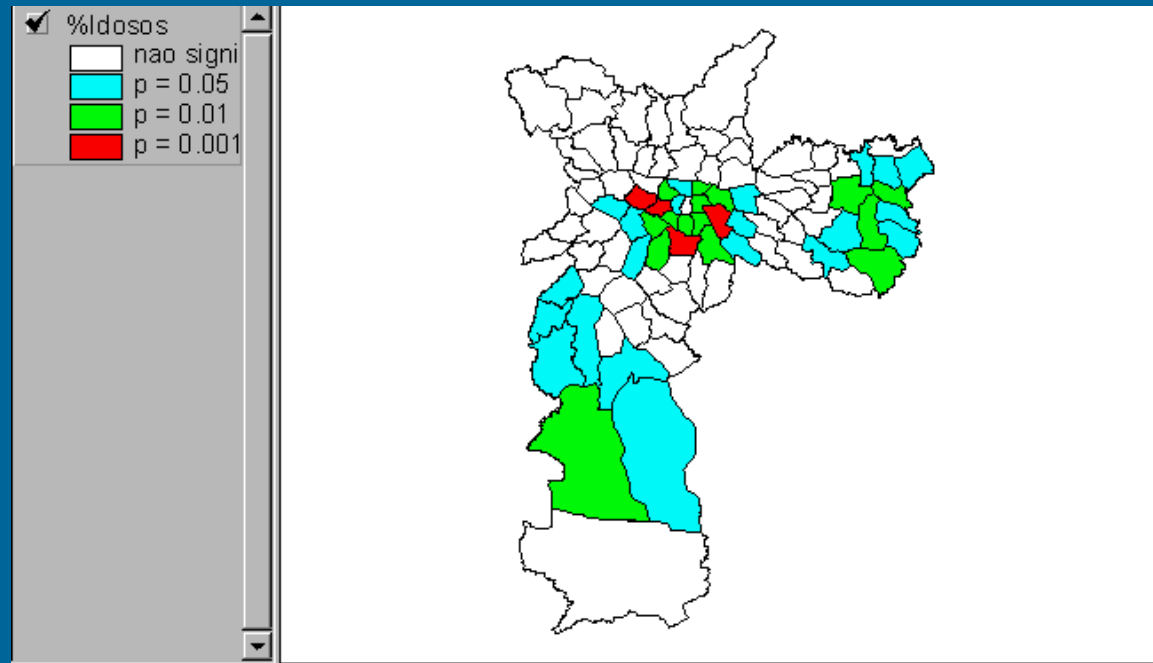
- Estimador do índice global de Moran
- Locais com contribuições maiores para autocorrelação espacial
- “Bolsões” de não-estacionariedade (“outliers de I”)



$$I_i = z_i \sum_{j=1}^n w_{ij} z_j$$

Indicadores de Getis/Ord

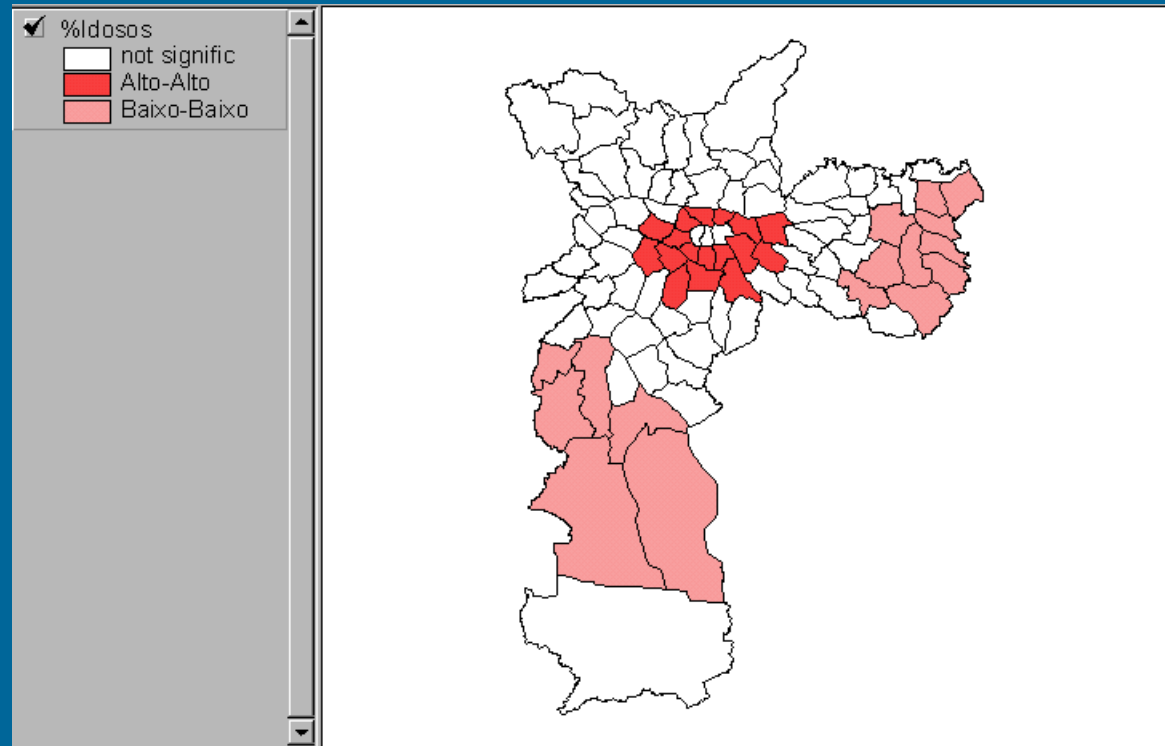
- Estatística com distribuição normal
- Baseada no índice de Moran
- Associada a significância estatística



$$Gi^*(d) = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}(d) x_j - W_i \bar{x}(i)}{s(i) \{ [(n-1)S_{1i} - W_i^2] / (n-2) \}^{1/2}}$$

Indicadores de Agregação Local

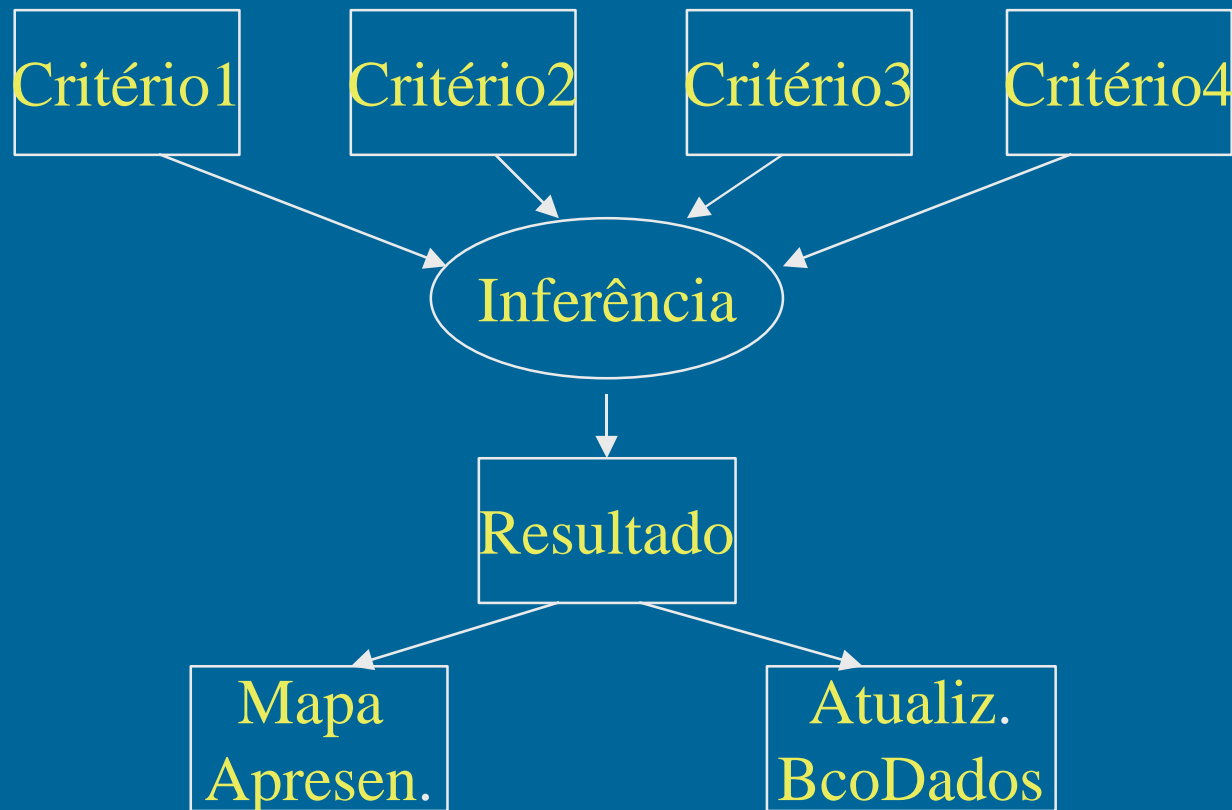
- Análise Combinada
 - Moran local
 - Espalha. Moran



Impacto de Regimes Espaciais

- Análise de Regressão
 - Idosos x Domicílios Sem Esgoto
- Regressão Linear
 - $R^2 = 0,35$
- Regressão Espacial
 - Regimes Espaciais: Centro, Periferia, Transição
 - $R^2 = 0,83$
- Conclusão
 - Impacto Diferenciado de Políticas Públicas

Inferência Geográfica

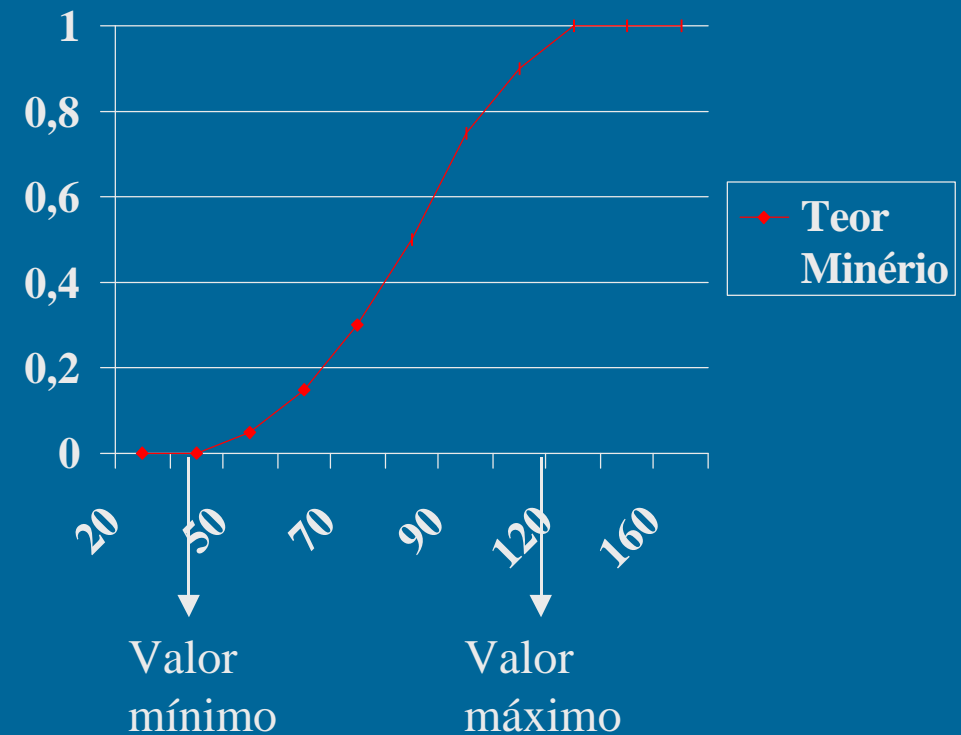


Análise Multi-Critério: Inferência Espacial

- Modelos Booleanos
 - condições lógicas (E, OU, NÃO)
 - analogia com “overlay” de mapas
- Modelos Classificação Contínua
 - expressão de conceitos quantitativa (0...1)
 - combinação critério: média ponderada, inferência “fuzzy”, rede neural
- Modelos Matemáticos
 - equação funcional (e.g USLE)

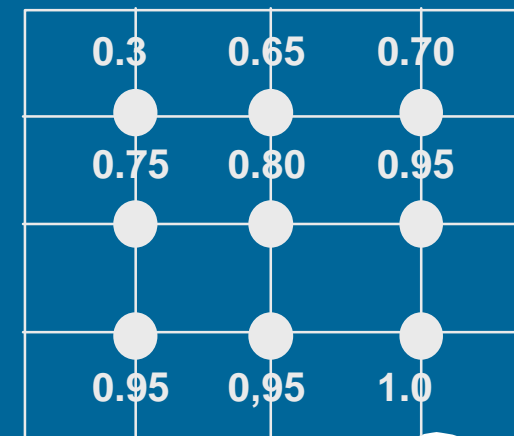
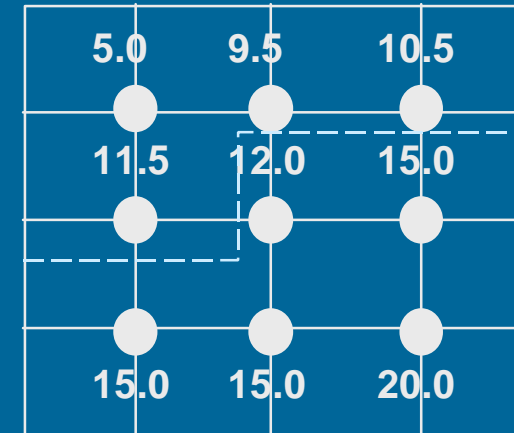
Lógica Difusa

- “Fuzzy Logic”
 - proposta por Zadeh (1965)
 - modela a imprecisão pela variação contínua
- Conjunto Fuzzy
 - Função de Pertinência
 - Associa o conjunto de valores ao intervalo $[0..1]$
 - modela transições graduais

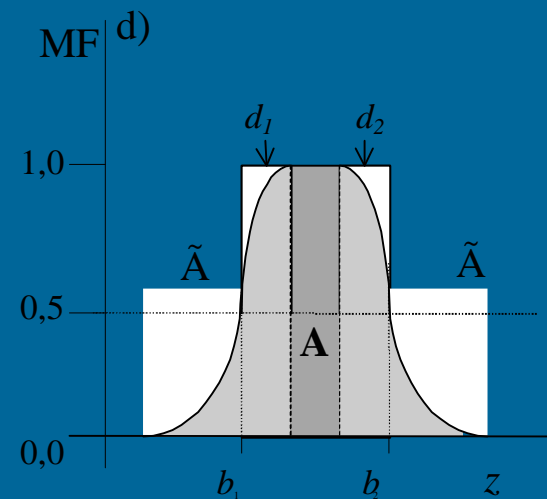
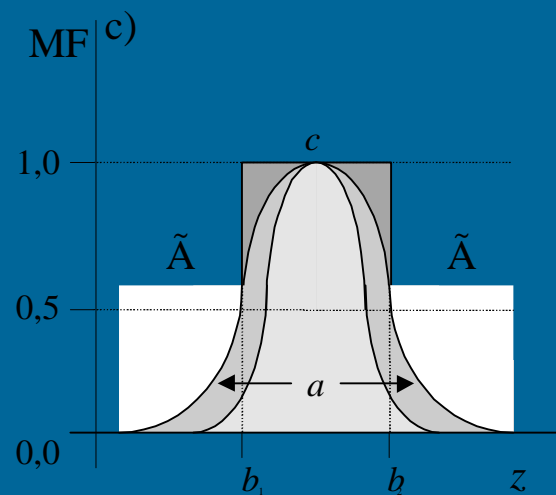
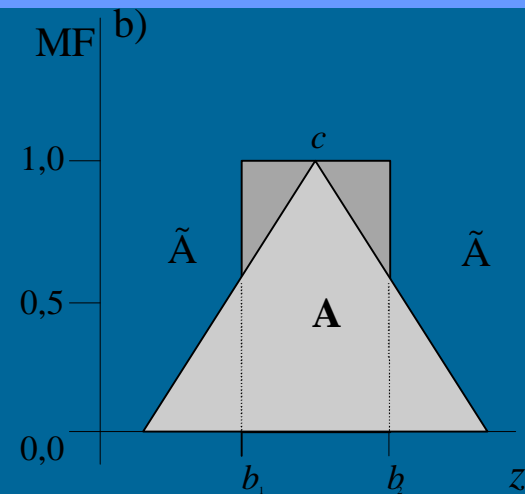
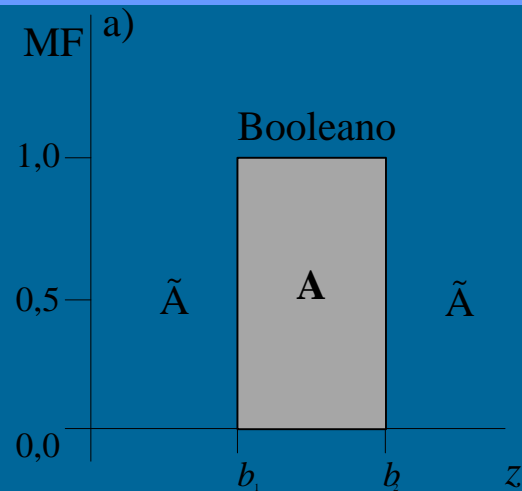


Conjuntos Difusos e Análise Espacial

- Visão tradicional
 - (“Inadequado se declividade $\geq 12\%$ ”).
 - Cria limites rígidos entre os dados
- Conjuntos Difusos
 - Caracterização da continuidade
 - Permite diferentes limiares de decisão



Mapeamento para Conjuntos Difusos

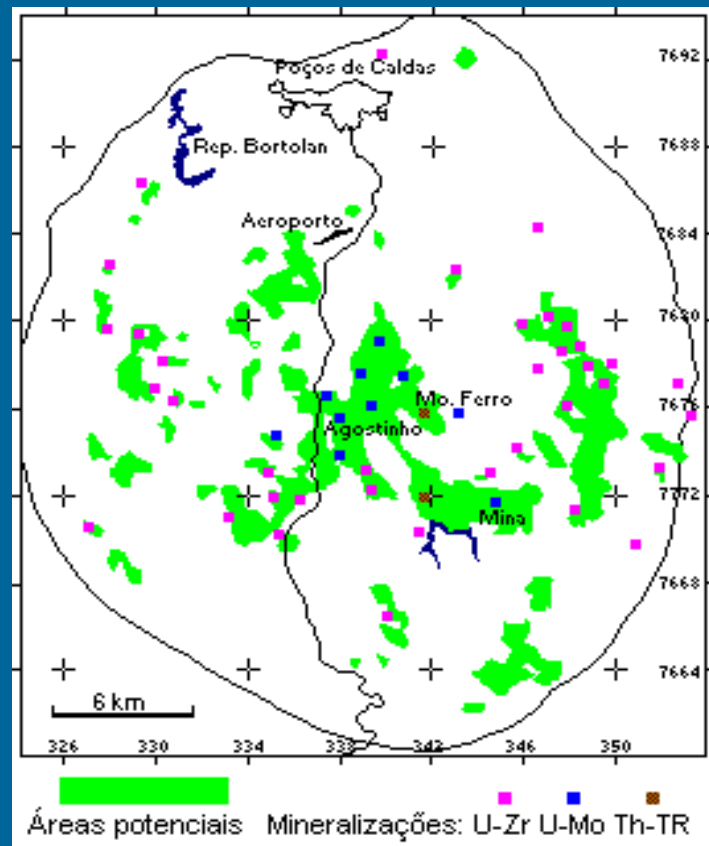


GeoComputação

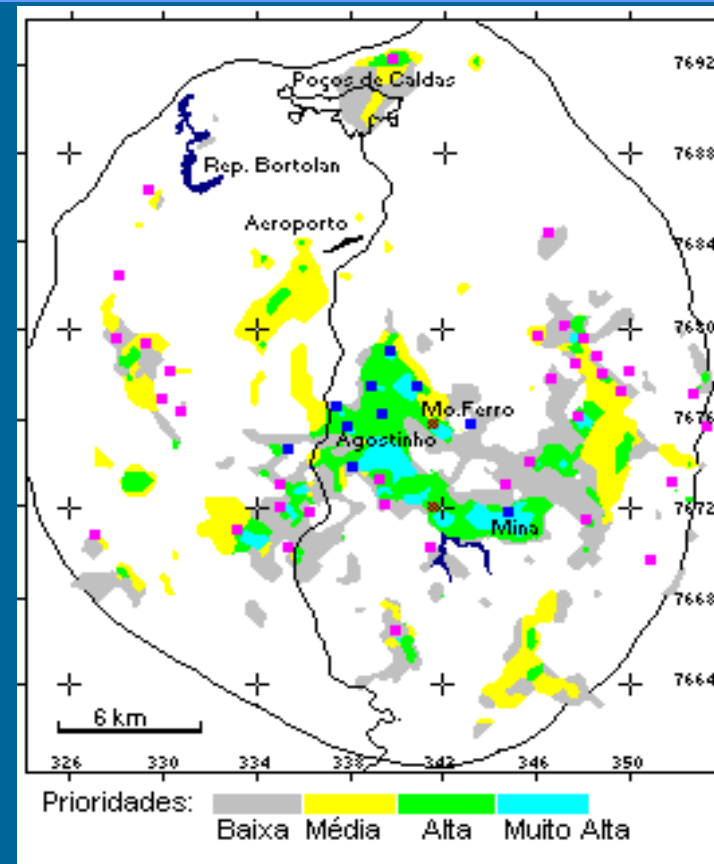
Cojuntos Difusos e Análise Espacial

- Passos
 - 1. Mapear os atributos para conjuntos fuzzy [0..1]
 - 2. Usar lógica fuzzy para realizar inferência (alternativa - média ponderada)
 - 3. Avaliar o resultado
- Inferência "Fuzzy"
 - Diferente de conjuntos tradicionais
 - União
 - $res = \text{MAX} (val1, val2, \dots)$
 - Intersecção
 - $res = \text{MIN} (val1, val2, \dots)$

Booleano x Contínuo (pesquisa mineral)



Análise booleana



Classificação contínua

Booleano x Contínuo: Resultados

- Análise Booleana
 - áreas potenciais: 88,5 km² (12% da área total)
 - 77% das mineralizações
- Contínua
 - potencial alto/muito alto: 5% da área (90% das mineralizações importantes)

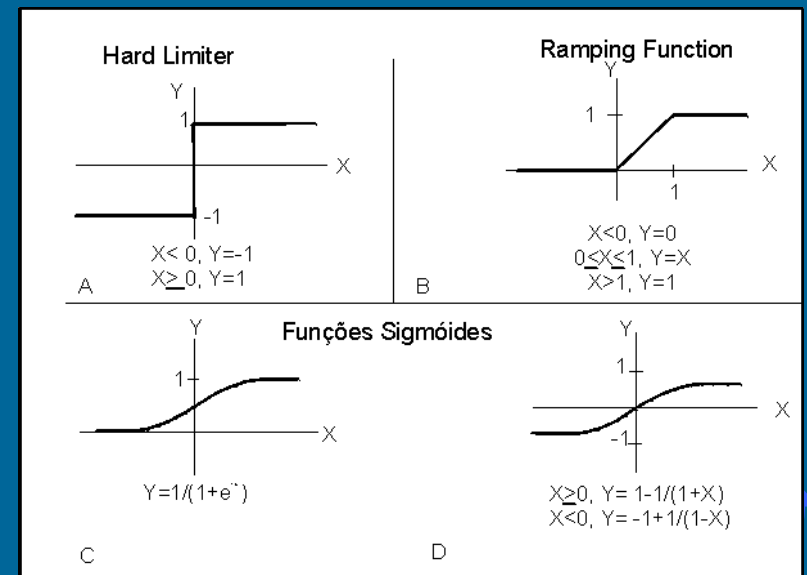
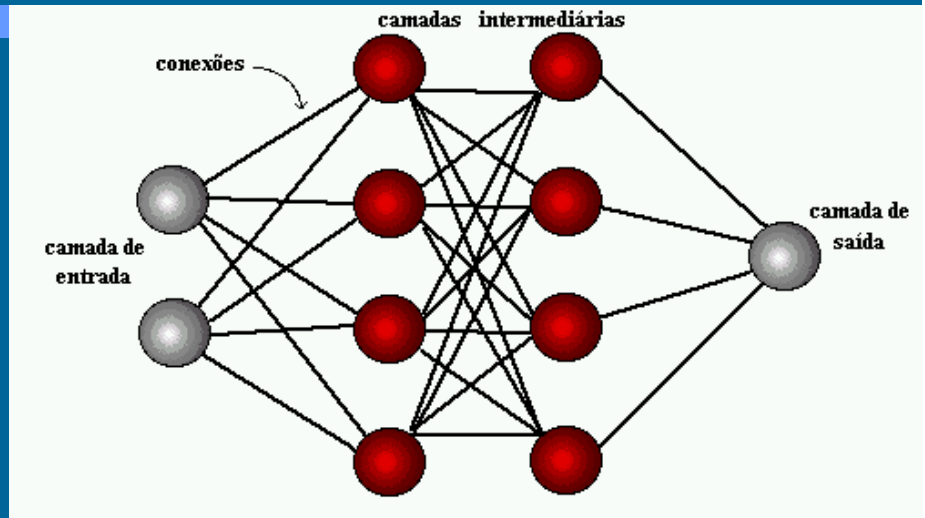
Prioridades de Pesquisa	Dimensões das Áreas Potenciais		Porcentagens por tipo de Mineralização		
	Km ²	%	U-Zr	U-Mo	Th-TR
※					
Muito Alta	10,6	1,5	6%	60%	100%
Alta	34,2	4,7	25%	30%	-
Média	49,2	6,8	19%	-	-
Baixa	78,5	10,9	36%	10%	-
Nula	546,0	76,0	14%	-	-

Redes Neurais

- Definição
 - Técnicas computacionais que apresentam um modelo matemático inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes e que adquirem conhecimento através da experiência
- Idéia
 - Simular funcionamento dos neurônios no cérebro
 - Capacidade de aprendizado
 - Realizar inferências não-lineares
 - Tecnologia genérica de ampla aplicação

Redes Neurais

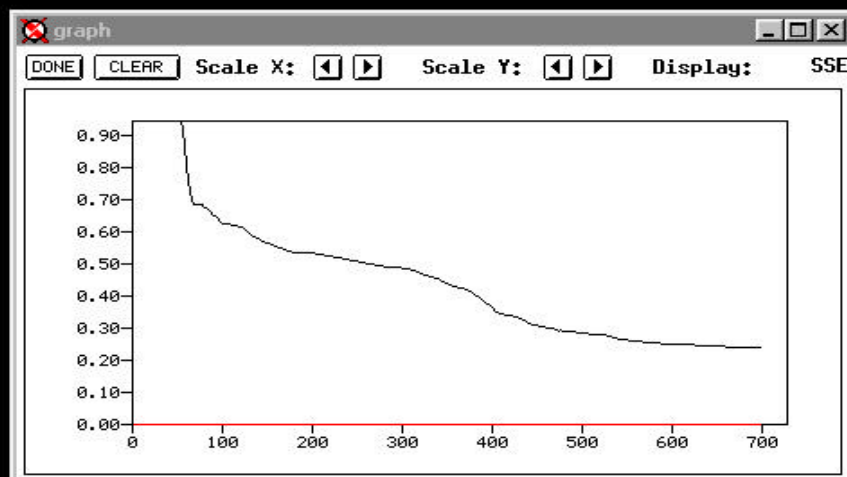
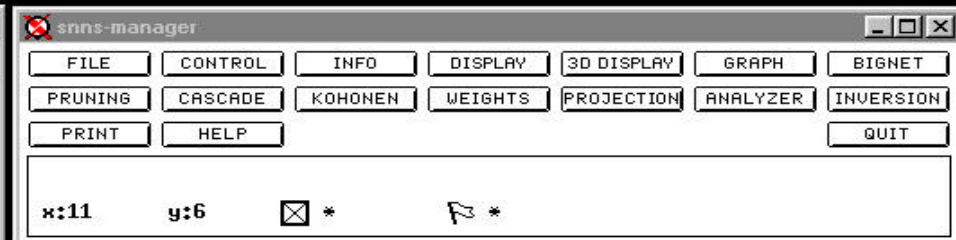
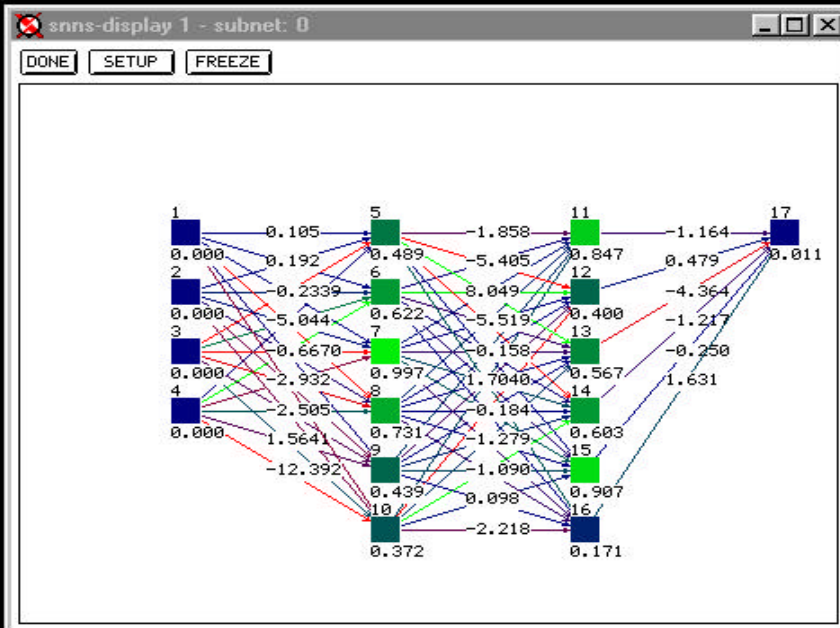
- Arquitetura
 - elementos de processamento (EP)
 - tres camadas
 - entrada, saída e processamento (oculta)
- Ativação dos EPs
 - idéia
 - “limiar de atividade” (intensidade das entradas)
 - resposta do neurônio
 - funções de transferência
 - lei de aprendizado



Uso de Redes Neurais

- Fases
 - 1. Escolha da arquitetura (#entradas, #saídas, #camadas internas, #elementos/camada)
 - 2. Escolha da lei de aprendizado (*backpropagation*, *mapas de Kohonen*)
 - 3. Treinamento (apresentação de resultados)
 - 4. Aplicação da rede
- Aplicações Geográficas
 - Reconhecimento de padrões em imagens
 - Modelos de degradação do solo
 - Modelos de inferência geográfica

Componentes de Rede Neurais



C:\ALUNDOS\1\ROSELY\ROSELY\SNNV4.1\BIN\XGUI.EXE -d local...

Auto

Train	200:	0.52976	0.00026	0.52976
Train	160:	0.50942	0.00024	0.50942
Train	120:	0.48831	0.00023	0.48831
Train	80:	0.46845	0.00021	0.46845
Train	40:	0.42605	0.00017	0.42605
Train	1:	0.36207	0.00017	0.36207

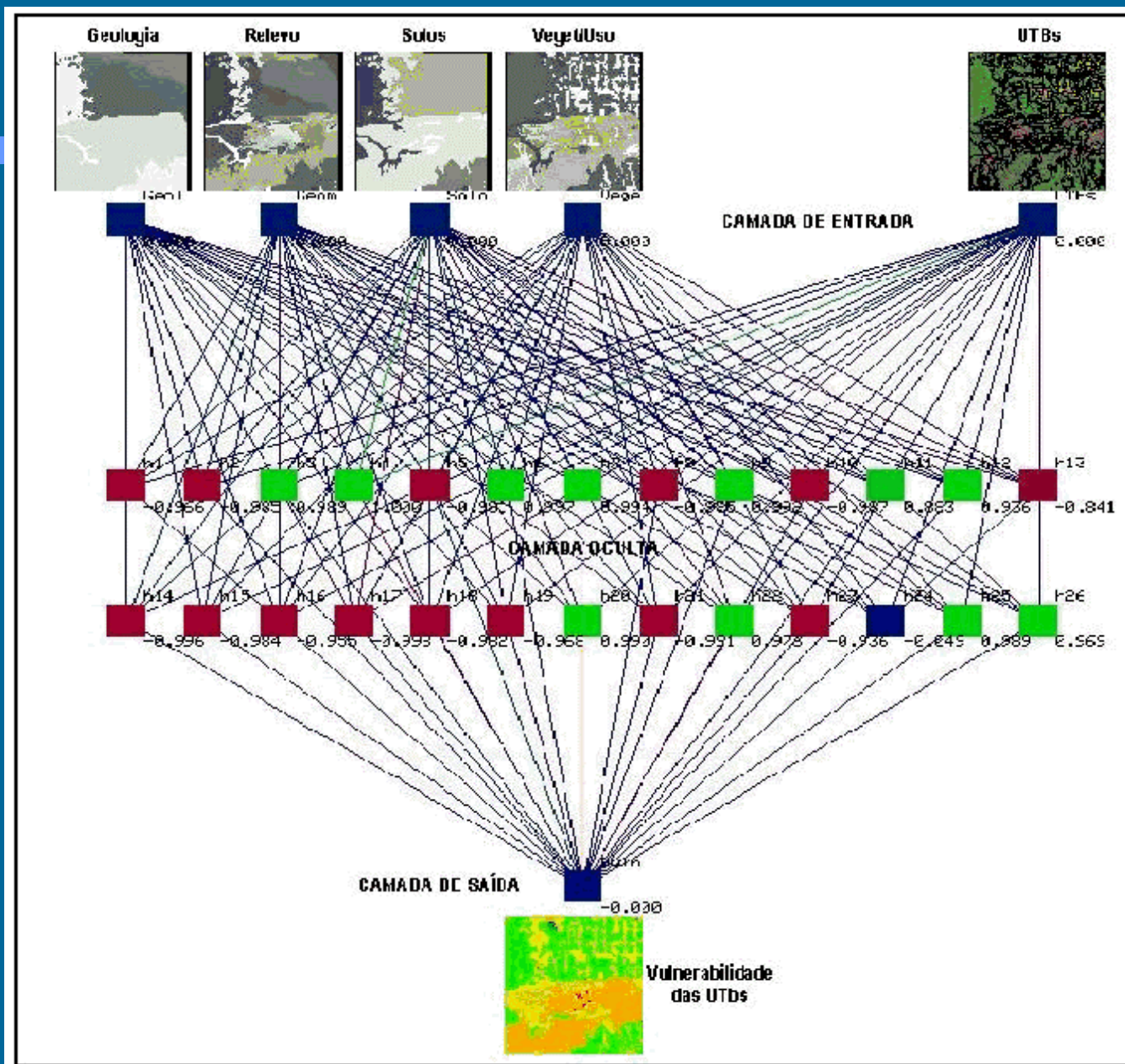
Learning all patterns:
epochs: 400
parameter: 0.20000
#o-units: 1
#patterns: 1 (total: 2070)

epoch:	SSE	MSE	SSE/o-units
Train 400:	0.35926	0.00017	0.35926
Train 360:	0.31211	0.00015	0.31211
Train 320:	0.26834	0.00014	0.26834
Train 280:	0.22734	0.00013	0.22734
Train 240:	0.18683	0.00012	0.18683
Train 200:	0.14781	0.00012	0.14781
Train 160:	0.12424	0.00011	0.12424
Train 120:	0.10374	0.00011	0.10374
Train 80:	0.08700	0.00011	0.08700

Exemplo de Uso de RNA

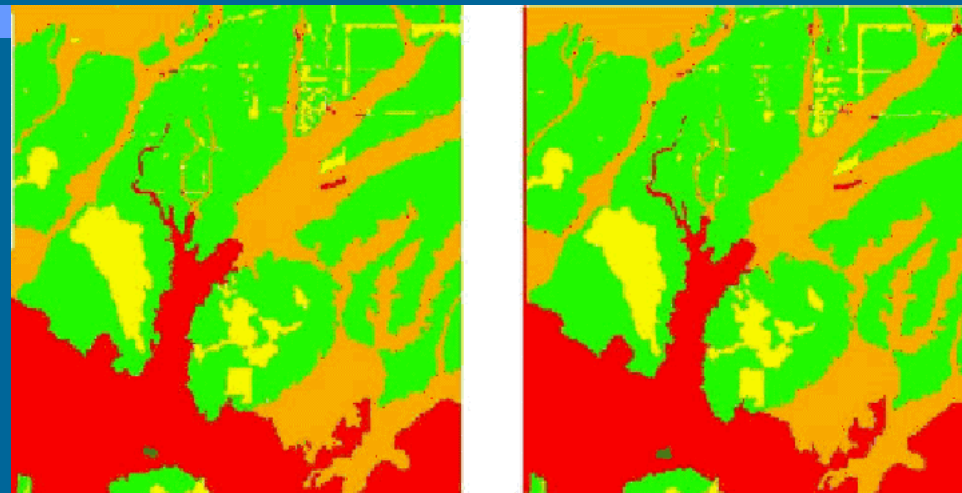
- Problema
 - Zoneamento Ecológico-Econômico
 - Mapas de Vulnerabilidade Natural (meio físico-biótico)
- Entradas
 - Mapas de Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação
- Saída
 - Mapa de Vulnerabilidade Natural
- Objetivo
 - Comparar com interpretação visual e com álgebra de mapas
- Contexto
 - Tese de Doutorado de José Simeão Medeiros

Treinamento em Redes Neurais



Redes Neurais em GIS

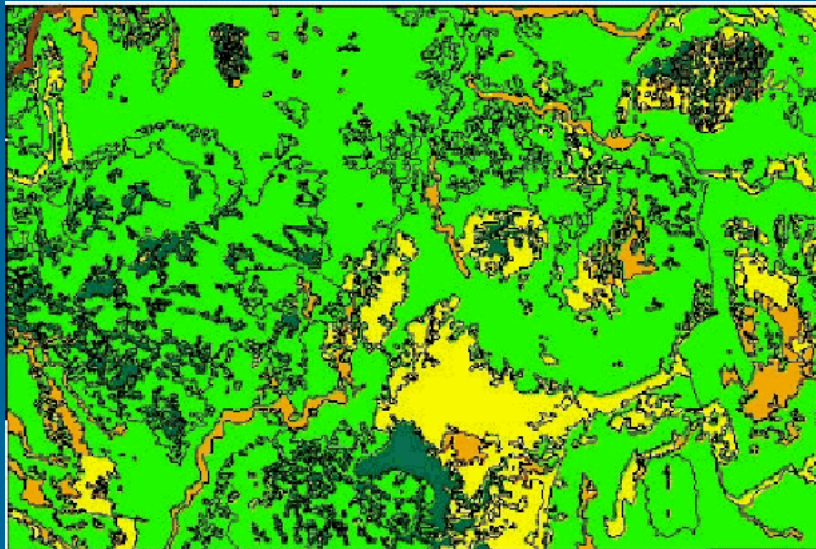
- Resultados
 - Treinamento e aplicação da rede na mesma área
 - grande coerência
 - Treinamento numa área e aplicação em outra
 - diferenças de critério



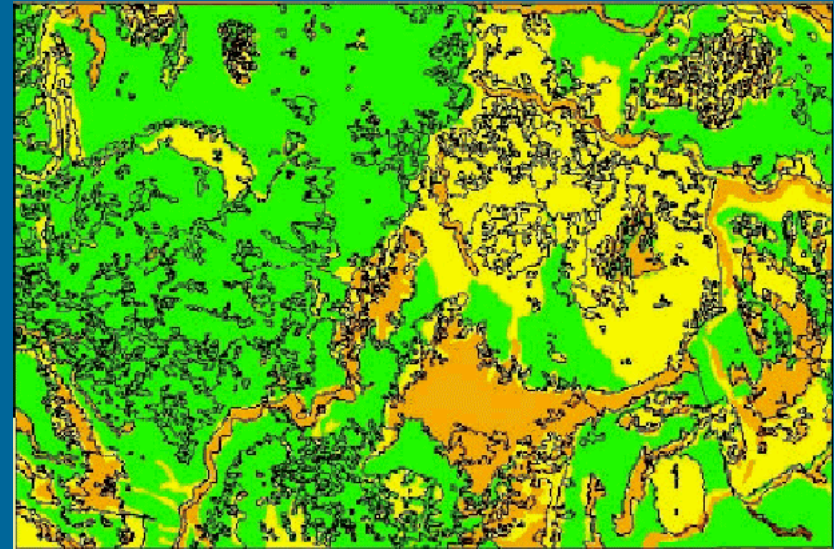
Resultado
Manual

Resultado
Fuzzy

Aplicação de Redes Neurais



Interpretação manual

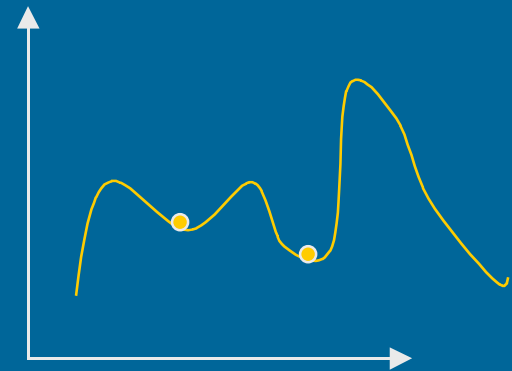


Resultado da RNA

- Coerência espacial
- Rede é mais restritiva que foto-intérprete
- Resultados promissores

Busca Heurística

- Idéia:
 - Resolver problemas de otimização combinatória
 - satisfazer a função-objetivo
 - evitar máximos locais
- Exemplos:
 - colocar nomes num mapa
 - achar agregamentos



Busca Heurística em Análise Espacial

- Idéia Básica
 - examinar todas as possíveis soluções
 - explorar o espaço geográfico
 - suposições mínimas sobre o comportamento da variáveis
 - testar diferentes formas de agregação espacial
- Exemplo:
 - GAM/K (máquina de análise geográfica)
 - Stan Oppenshaw (Univ. Leeds)
 - Centre for Computational Geographics
 - (www.geog.leeds.ac.uk)

GAM/K

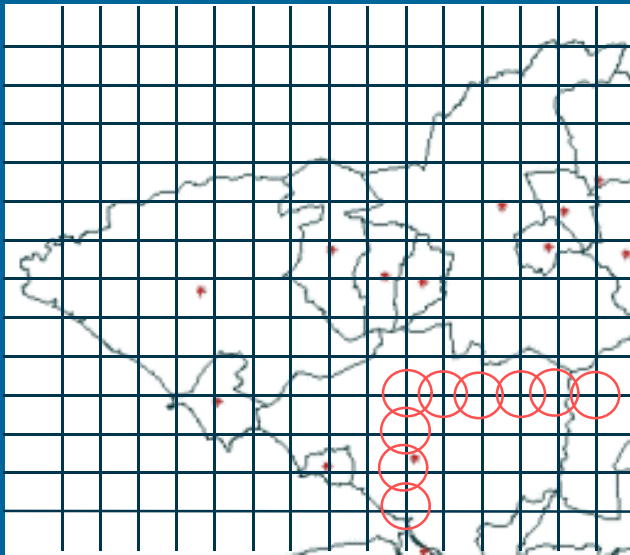
- Ferramenta Exploratória
 - Detecção de Aglomerados Espaciais
 - Hipóteses “fracas” sobre o comportamento do fenômeno
 - Análise multi-escala
 - Idéia:
 - “Aqui está um banco de dados geográficos. Indique se existem clusters e onde estão localizados”.

GAM/K

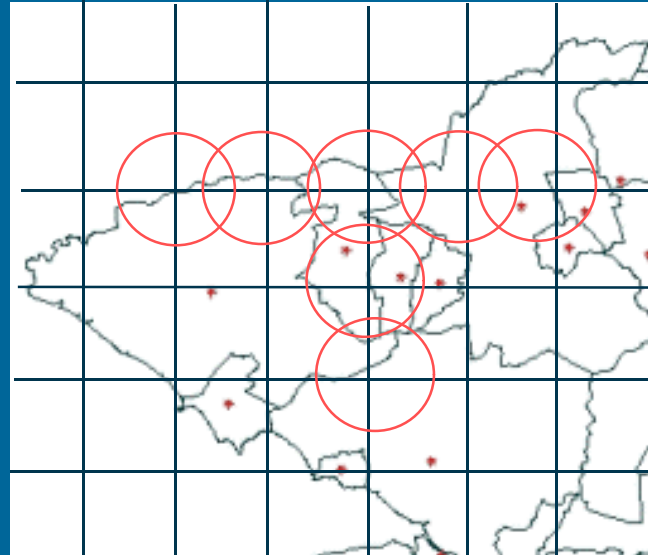
- Passos
 1. Ler os dados e determinar a envoltória
 2. Determinar o tamanho do círculo original
 3. Gerar uma grade e círculos em cada ponto da grade cobrindo os pontos com a sobreposição desejada
 4. Compare a população afetada e o valor da variável
 5. Aplicar teste de significância
 6. Guardar o resultado, se significativo
 7. Repita 4-6 para todos os pontos
 8. Aumente o tamanho do círculo e repita 3-7
 9. Apresente os resultados

—

GAM/K



Fase inicial - malha fina,
círculos menores

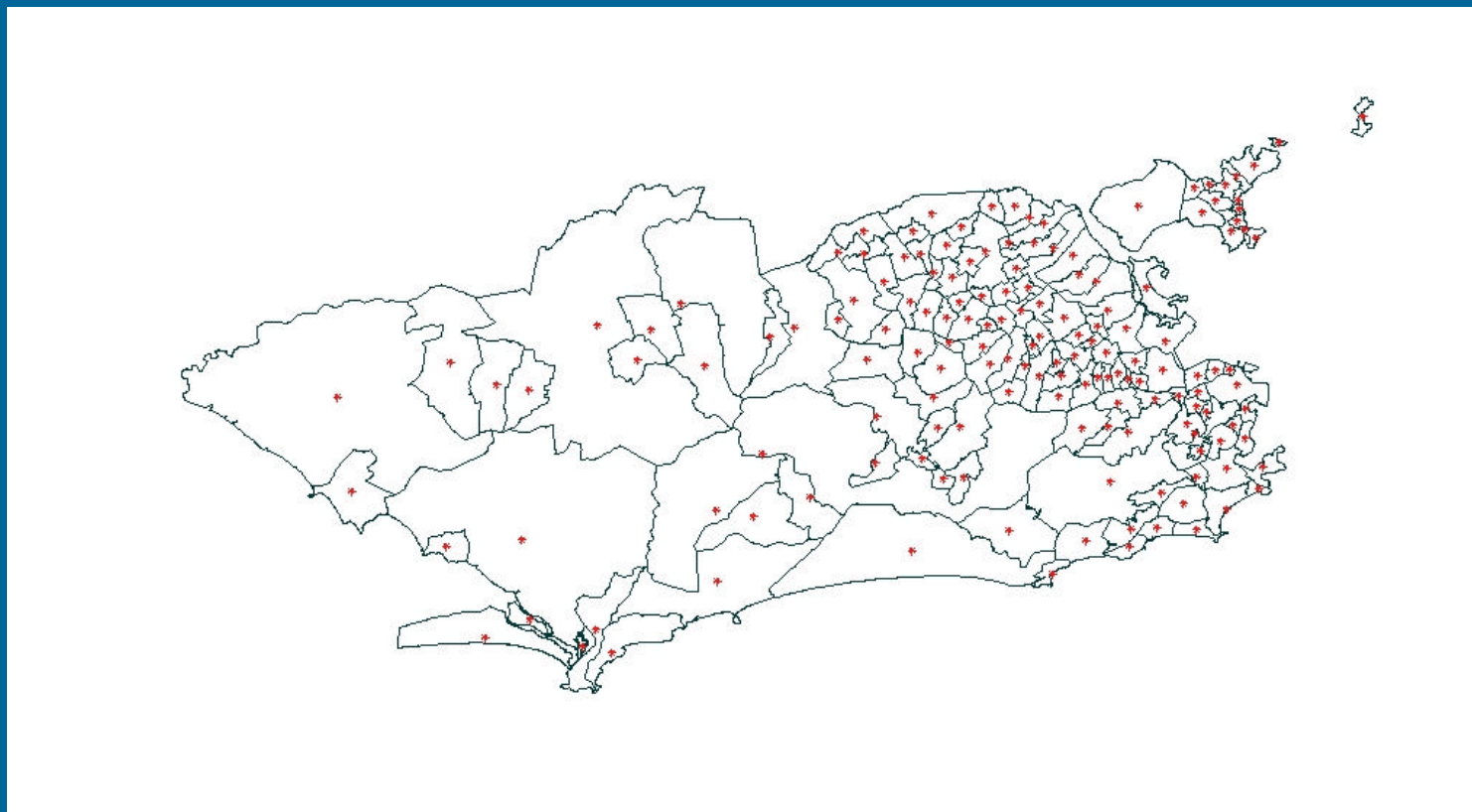


Fase intermediária - malha
esparsa, círculos maiores

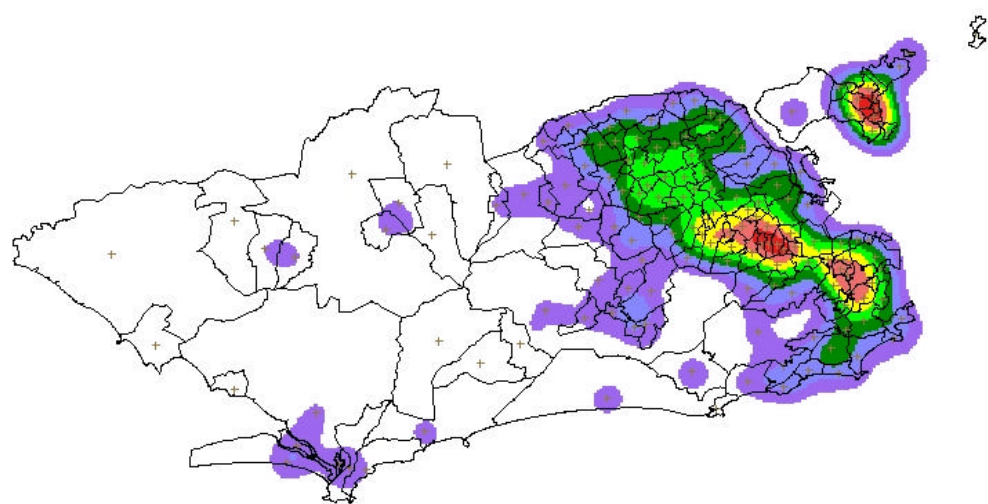
Aplicação do GAM/K

- Mortalidade Infantil no Rio de Janeiro
 - “Perfil de nascimentos no município do Rio de Janeiro: uma análise espacial”
 - Eleonora d’Orsi e Marília Sá Carvalho (FIOCRUZ)
- Variáveis Utilizadas
 - Índice de Apgar
 - Nascidos vivos com baixo peso
 - Cesáreas
 - Mães adolescentes
 - Mães com escolaridade acima de 2º grau

Área de Estudo

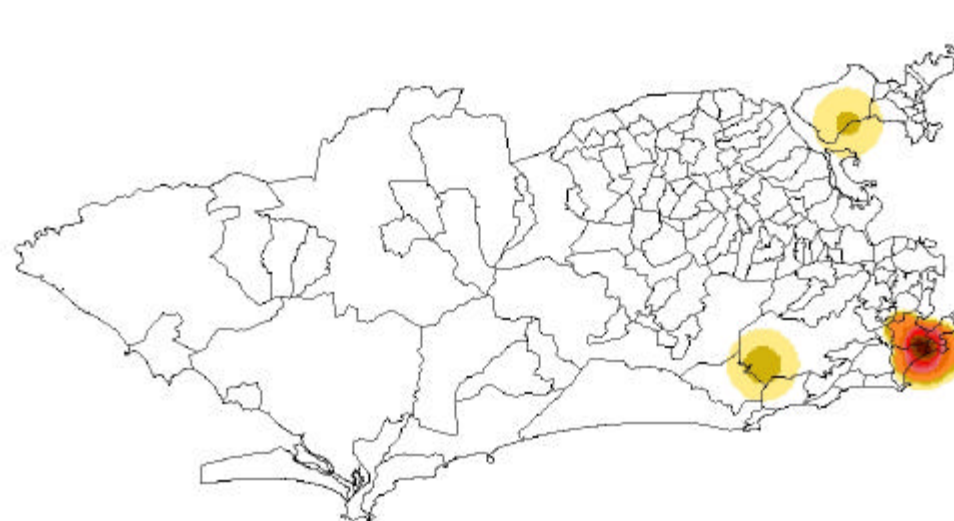


APGAR



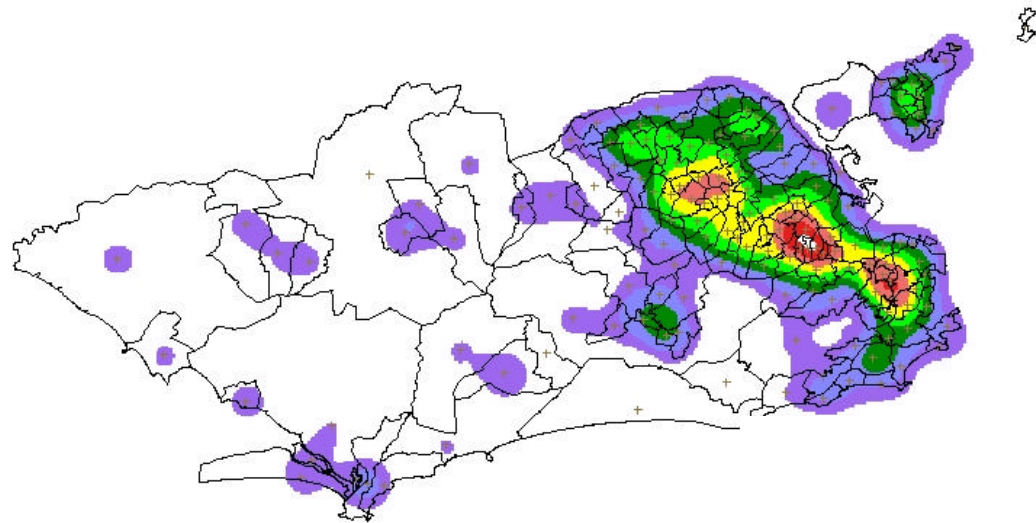
GAM

Kernel



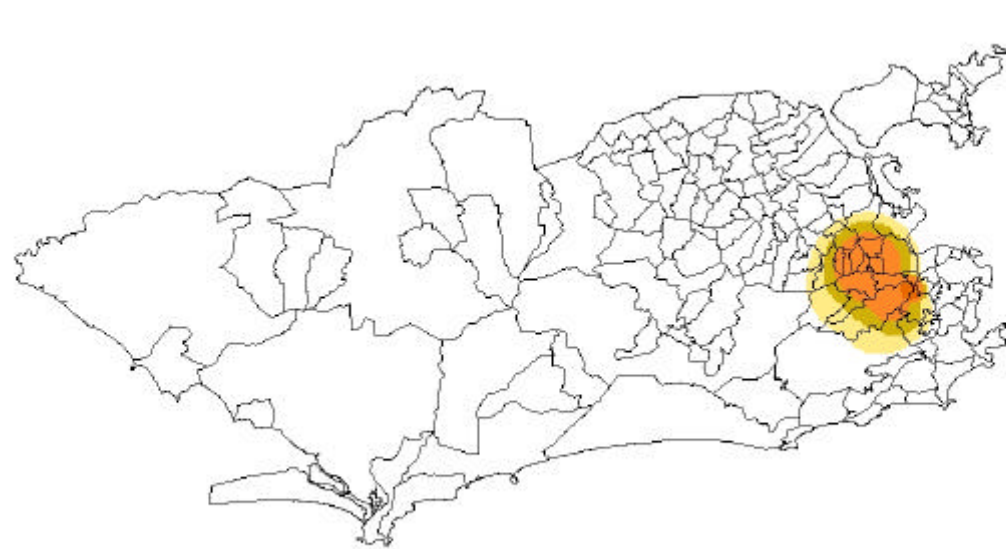
Ge

Baixo Peso

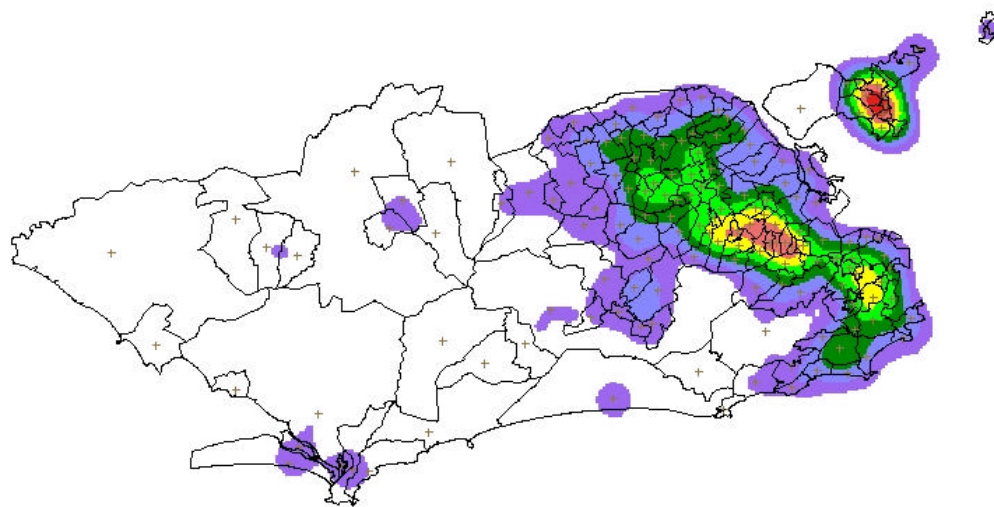


GAM

Kernel

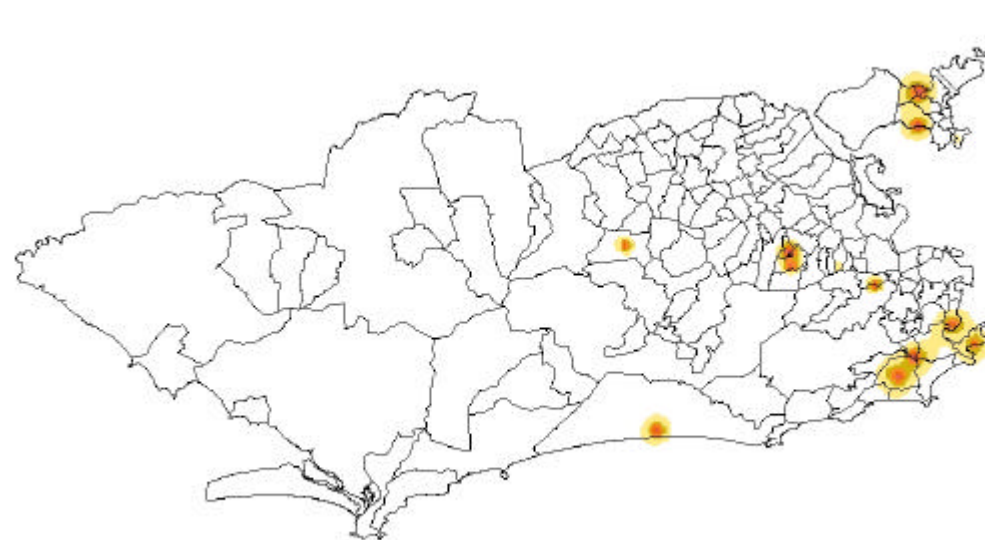


Cesáreas

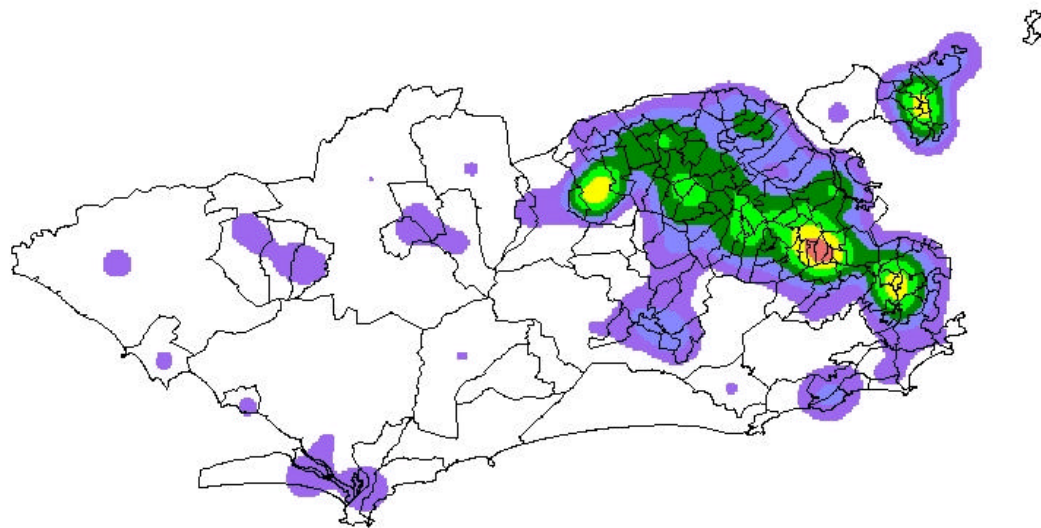


GAM

Kernel

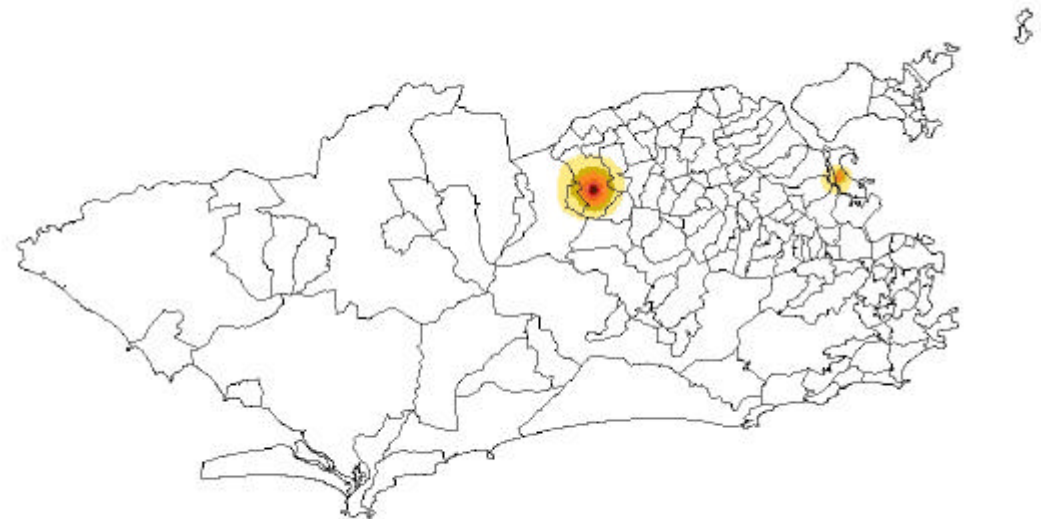


Mães Adolescentes



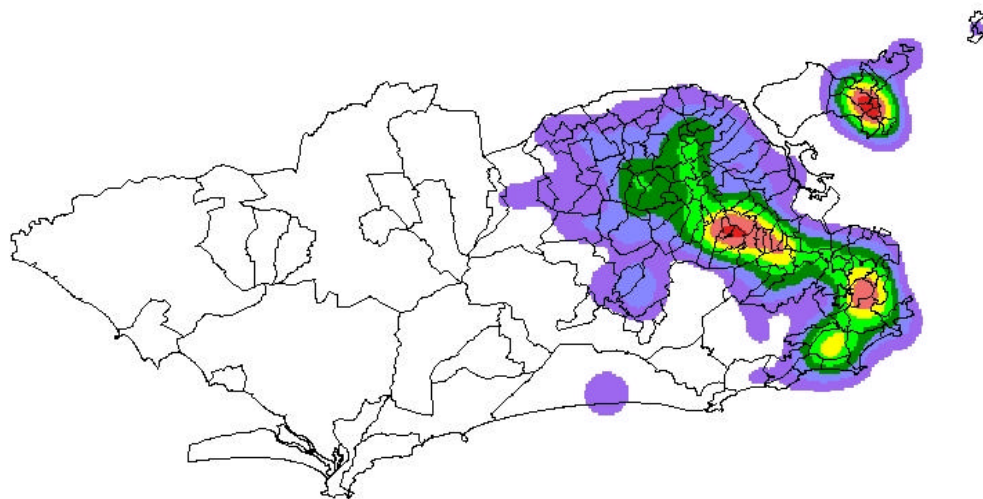
GAM

Kernel



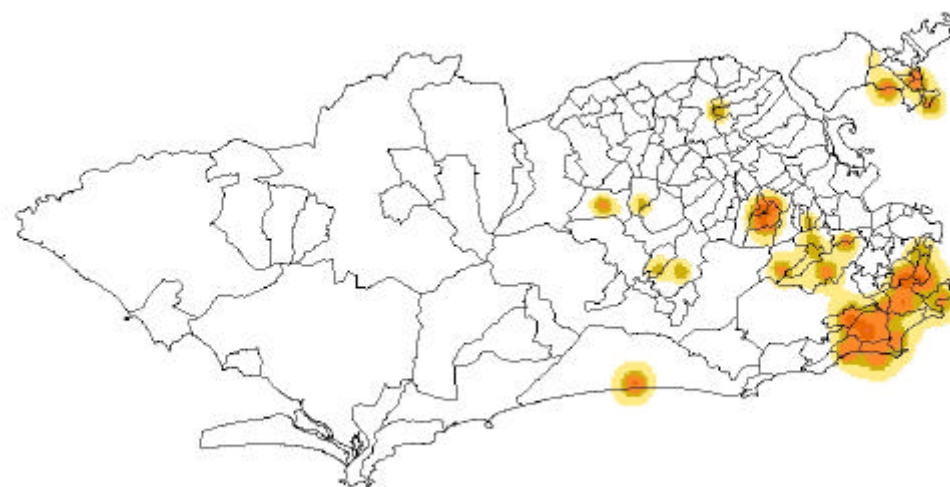
Ge

Mães com 2o. grau



GAM

Kernel

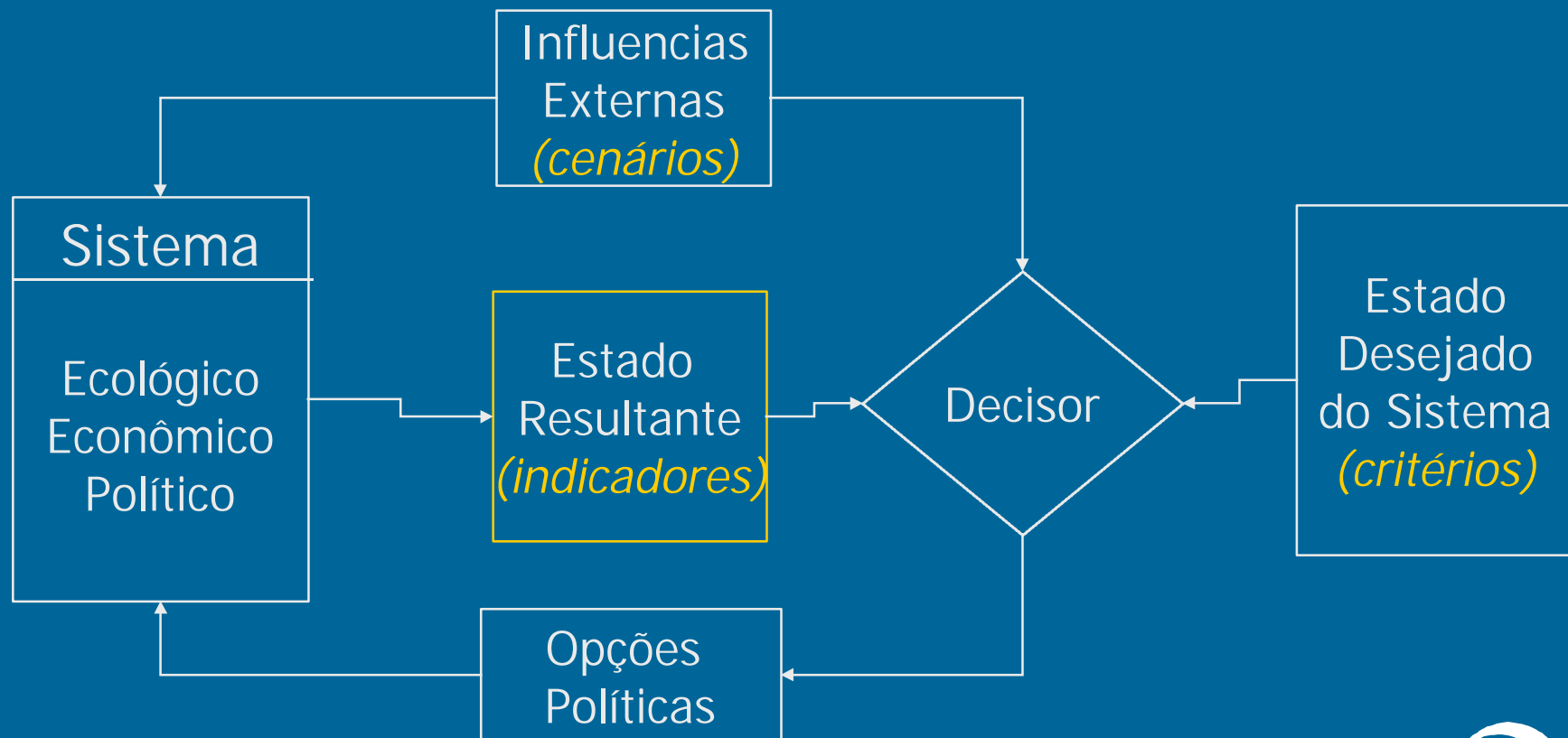


Ge

Sistemas Dinâmicos

- Objetivo de Análise Espacial
 - Formulação de Políticas Públicas e Privadas
 - Conhecer comportamento e dinâmica de sistemas
- Premissas
 - Modelagem de Sistemas Completos
 - Micro-Escala + macro-Escala
 - Sistemas Vivos - *Nunca estão em equilíbrio!*
 - Intervenção em realidade dinâmica
 - Componentes Espaço-Temporais
 - Todo fenômeno de interesse tem "clusters"
 - Caracterização da Incerteza
 - geração de diferentes cenários

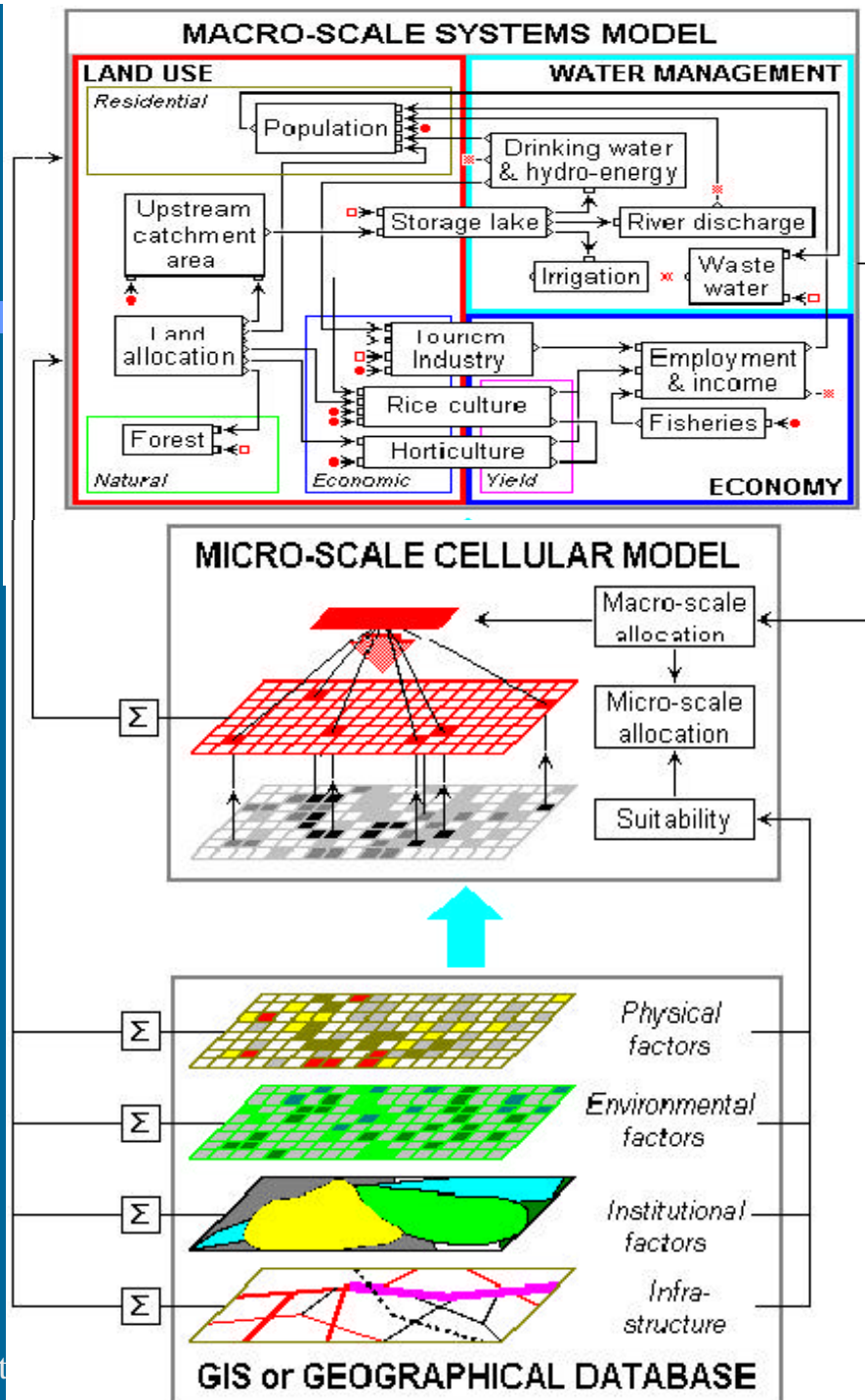
Sistemas Dinâmicos



Modelos Dinâmicos

- Ex: Gerenciamento Costeiro
 - RIKS (Holanda)
- Modelo Multi-escala
 - Modelo sistêmico
 - equacionamento
 - Modelo micro-escala
 - automato celular
 - Condições de contorno
 - GIS

GeoComput



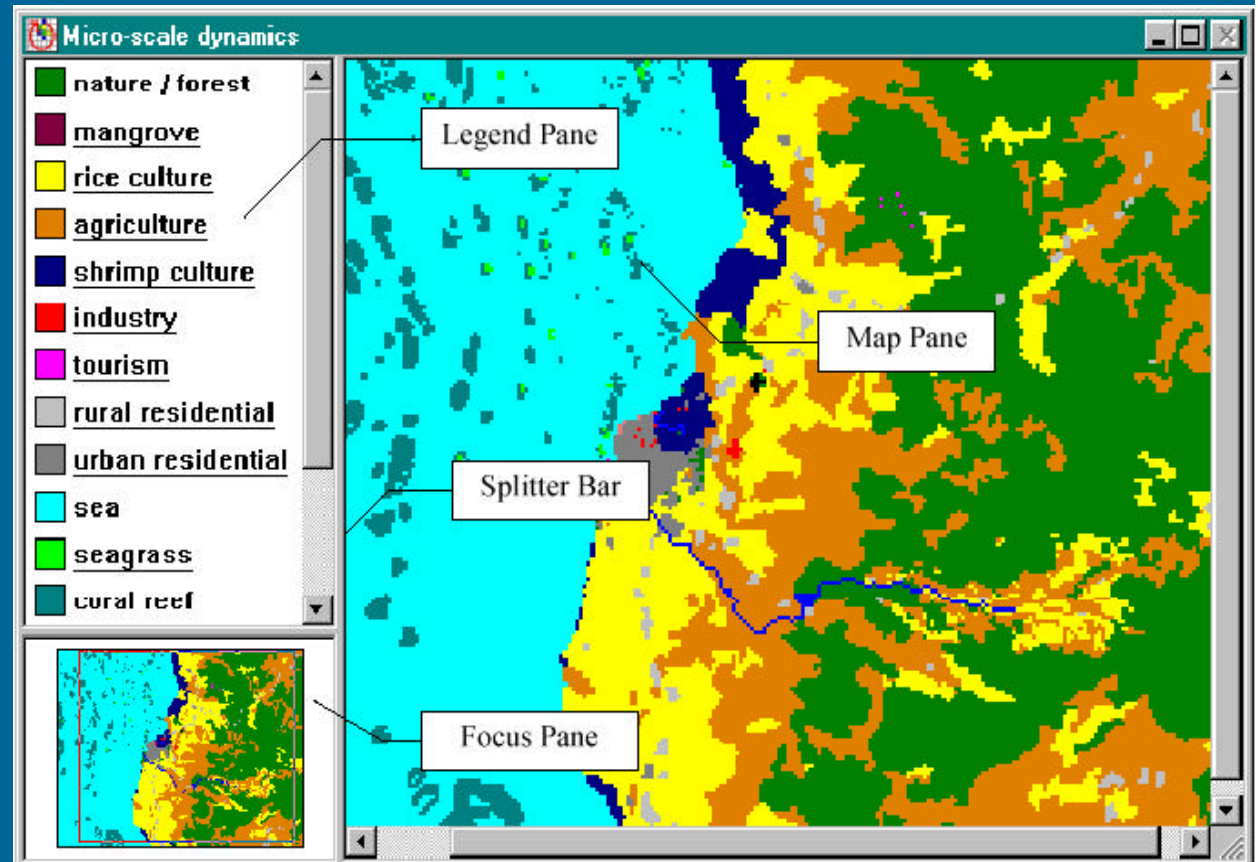
Dinâmica de Micro-escala

Automato Celular

Regras de Transição

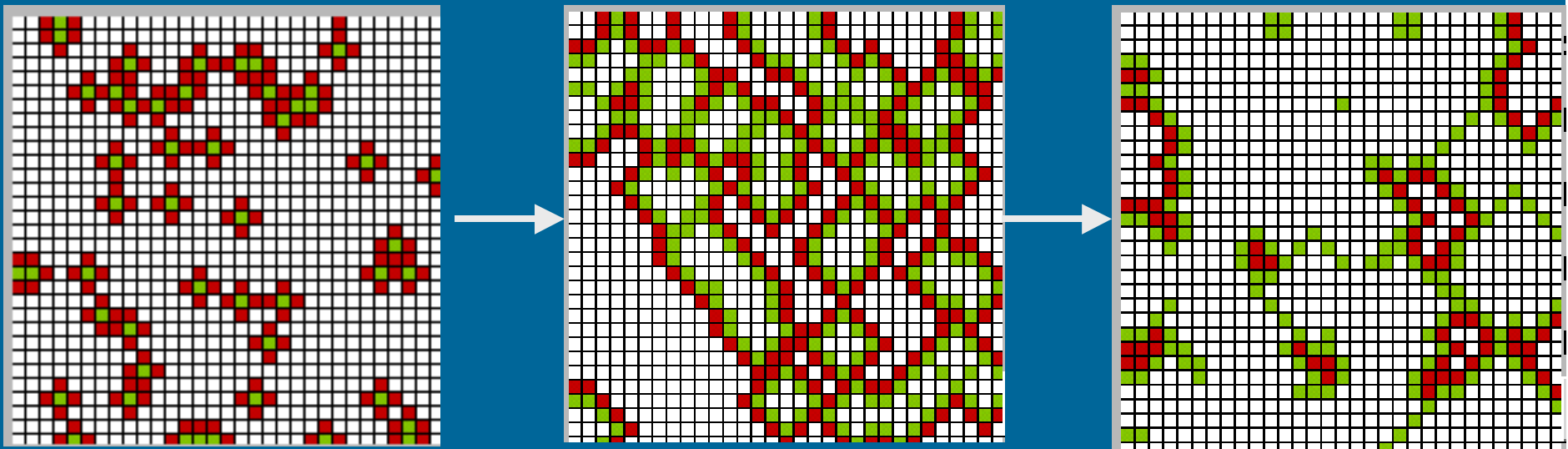
Dependem:

- uso do solo
- adequação
- macro-escala



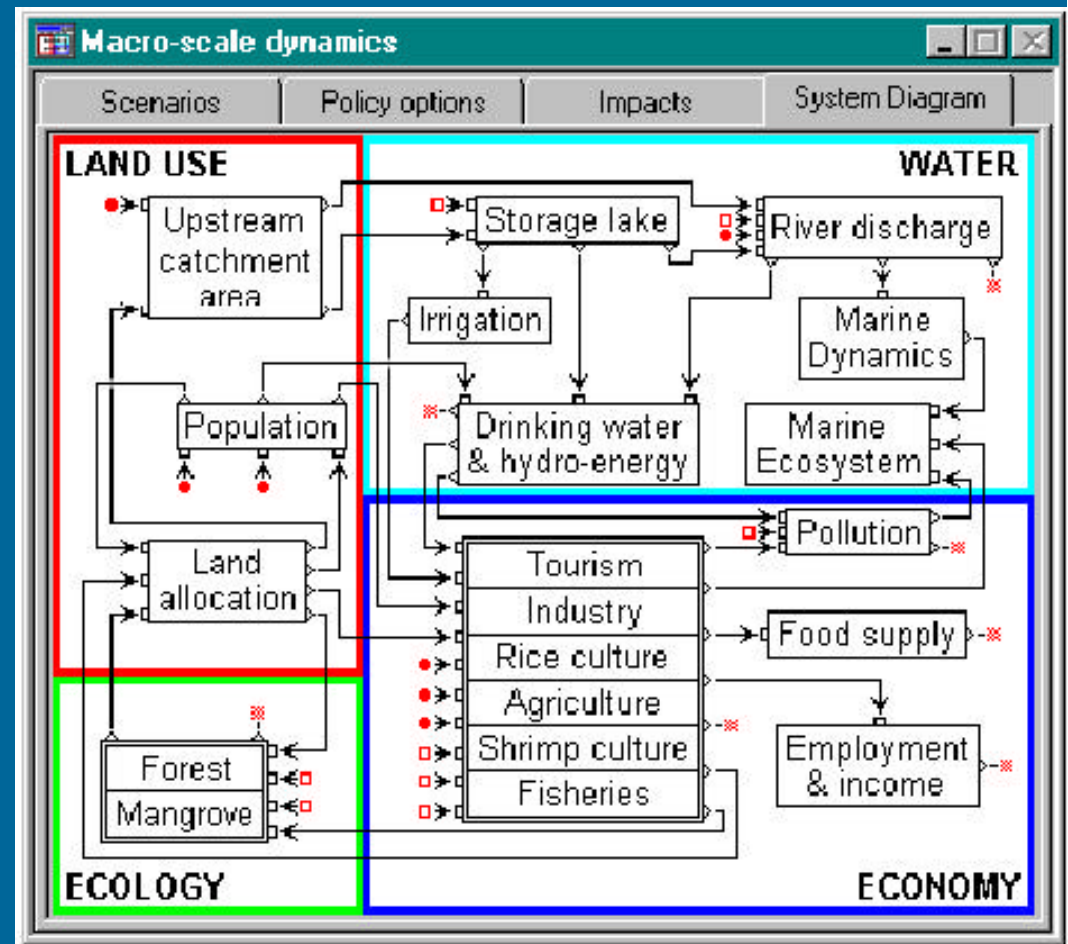
Automatos Celulares

- Ideia
 - Espaço como conjunto de células em evolução

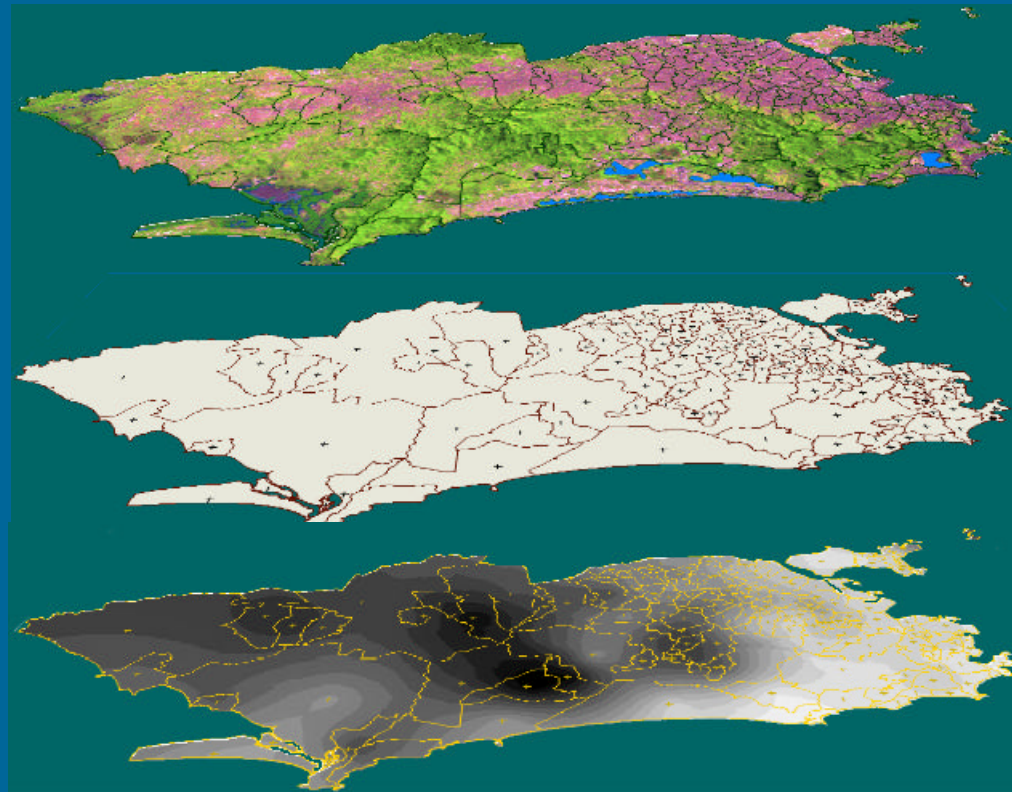


Dinâmica de Macro-Escala

- Modelos de Interação
 - Equacionamento Determinístico
- Criação de Cenários



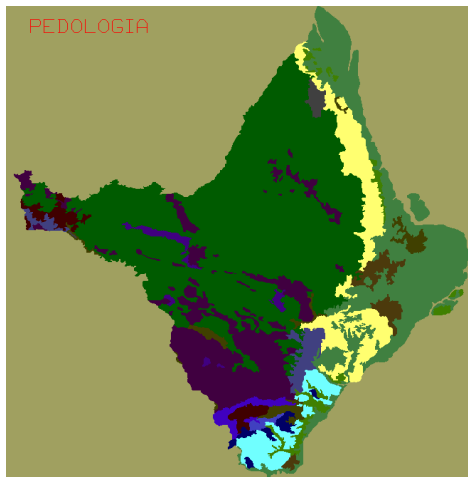
Compartilhando Visões do Espaço



- Modelos de Dados
 - Representação da Realidade Geográfica

Modelando a Natureza

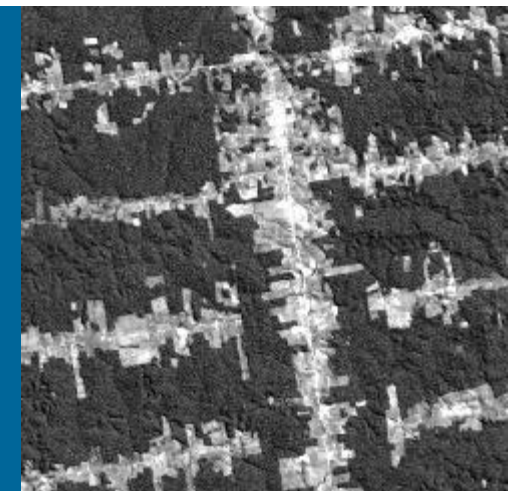
- Natureza: “relógios e nuvens” (Popper)
- Relógios
 - fenômenos perfeitamente mensuráveis
 - ex: distância entre dois pontos, divisão política
- Nuvens
 - fenômenos representados estatisticamente
 - ex: ar numa sala, mapa de solos



Temático

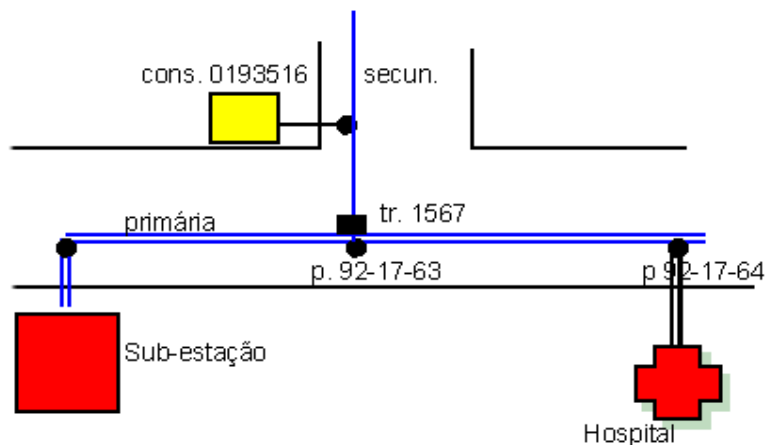
1795	2211	2117	2147	4104	2487	5109	5344	2240	2852	2438	4751
1852	3862	0,8	0,0	3,132	3,636	0,0	2,088	2,716	1,212	3,098	5,850
2262	3802	3,186	1,806	2,228	0,8	2211	2,078	2,857	5,382	3,254	2,315
2216	1,888	2,787	1,836	2,724	1822	0,0	3,128	1,462	2,621	2,112	888-081
1,808	1,164	4,8-001	0,008	0,418	0,614	1,862	0,8	1,087	0,802	1,078	2,128
9,84-28,84-203	1,124	1,782	1,012	1,621	3,618	0,8	0,0	0,0	2,088	8,327	
4,14-081	1,422	1,046	1,245	1,286	2,210	1,101	8,74-801	1,386	0,0	5,032	0,0
1,382	1,644	1,180	1,238	1,288	2,018	2,299	2,118	2,630	0,618	1,014	2,208
0,0	8,54-203	1,587	1,820	3,226	1,494	0,0	0,8	0,0	4,512	4,08-002	2,840
2,44-081	2,421	1,084	0,0	2,818	1,181	0,0	1,882	4,486	2,807	107	5,312
3,880	0,0	8,620	1,488	4,8-801	3,850	1,118	2,648	2,320	1,428	8,711	5,281
0,308	1,418	0,8	8,4-081	1,308	3,128	1,612	2,052	2,118	4,408	28,2	0,889

Numérico

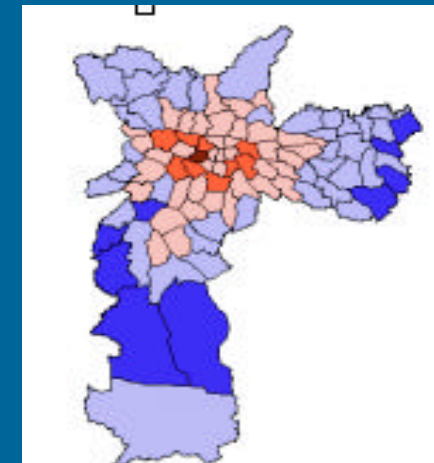


Imagem

Rede



Objetos
(feições)



<i>Analis</i>	<i>Inst15</i>	<i>Peridosas</i>
429.00000	892.00000	3.47238
2574.00000	1010.00000	1.43202
1837.00000	2877.00000	1.13679
2502.00000	123.00000	1.12962
366.00000	9.00000	2.31976
4967.00000	2047.00000	1.43725
7155.00000	317.00000	0.90989

SPRING

- Plataforma de Integração de Procedimentos
 - Processamento de Imagens
 - Análise Espacial
 - Álgebra de Mapas
 - Modelagem de Terreno
 - Bancos de Dados Geográficos
- Evolução
 - Parcerias com EMBRAPA, TECGRAF/PUC-RIO, FIOCRUZ, METRO/SP
 - Inclusão de Técnicas de Geocomputação

Referências

- Bailey, T.; Gatrell, A. *Interactive Spatial Data Analysis*. Longman, 1995.
- Câmara, G.; et al. *Geoprocessamento: Teoria e Aplicações*. INPE, 1999 (<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>).
- Fisher, M.; Scholten, H. J.; Unwin, D. *Spatial Analytical Perspectives on GIS*. London: Taylor & Francis, p 111-126.
- Longley, P. A.; Brooks; S. M.; Mcdonnell, R.; Macmillian; B. (1998) *Geocomputation: a primer*. Chichester, John Wiley.
- FISCHER, M.; GETIS, A. (1996). Recent developments in spatial analysis. New York,
- Springer.