



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Ciência da Geoinformação: Desafios de Pesquisa em Matemática

Gilberto Câmara

Coordenação de Observação da Terra

INPE

Workshop “Necessidades e Perspectivas da Pesquisa
em Matemática no Brasil”, SBM/CGEE, Novembro 2004



Licença de Uso: Creative Commons Atribuição-Usó Não-Comercial-Compartilhamento
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/br/>

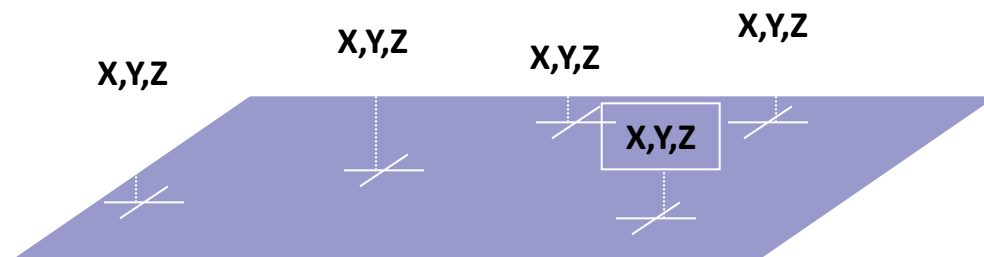
Ciência da Geoinformação

- Disciplina do conhecimento que utiliza representações computacionais do espaço geográfico para modelar e analisar fenômenos espaço-temporais

- Tipos de fenômenos
 - Distribuição espaço-temporal de doenças e crimes
 - Mapas de inclusão/exclusão social
 - Distribuição espaço-temporal de grandezas físicas (solos, água, poluição)
 - Dinâmica de processos sociais (áreas urbanas, desmatamento)

Representações Computacionais do Espaço

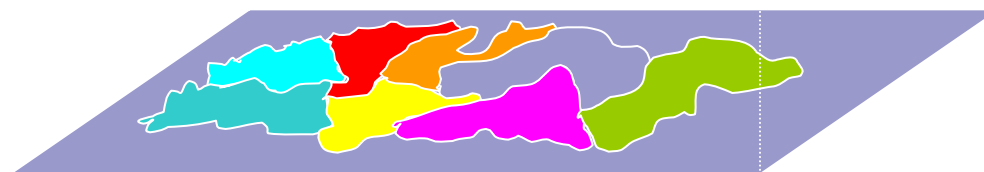
Eventos / Amostras



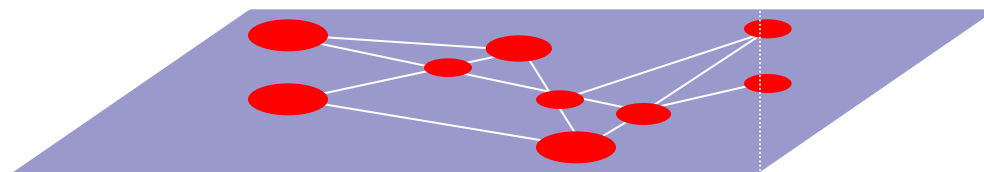
Superfícies / Grades Regulares



Dados de Área- Polígonos



Redes e Dados de Fluxo

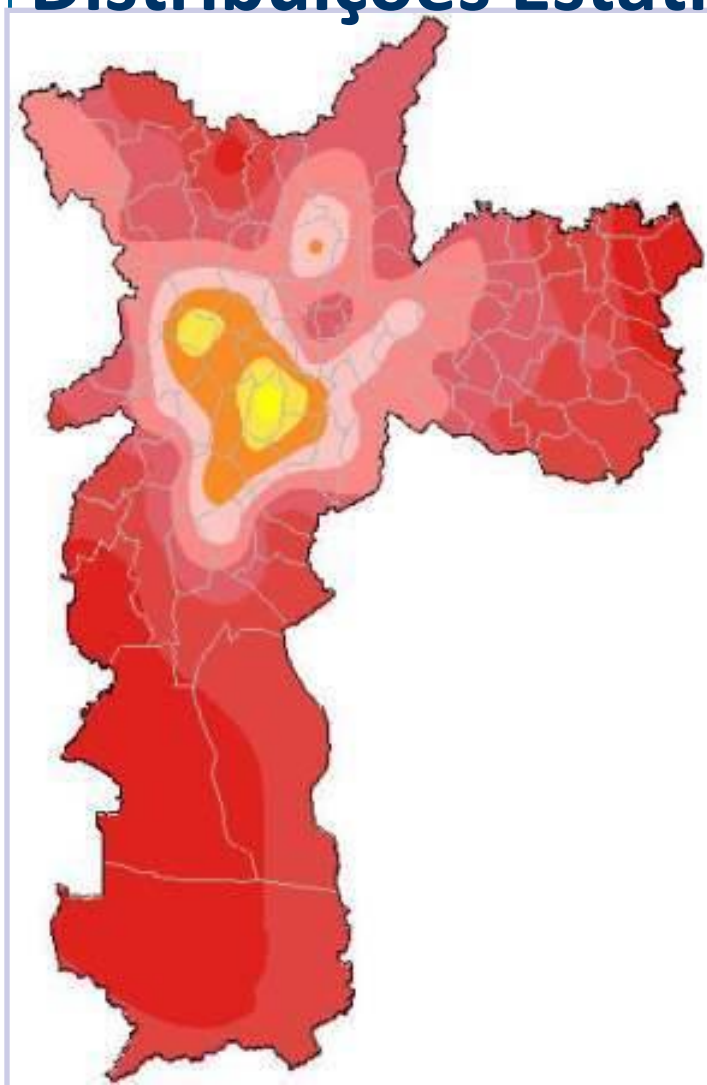


Fotos Aéreas

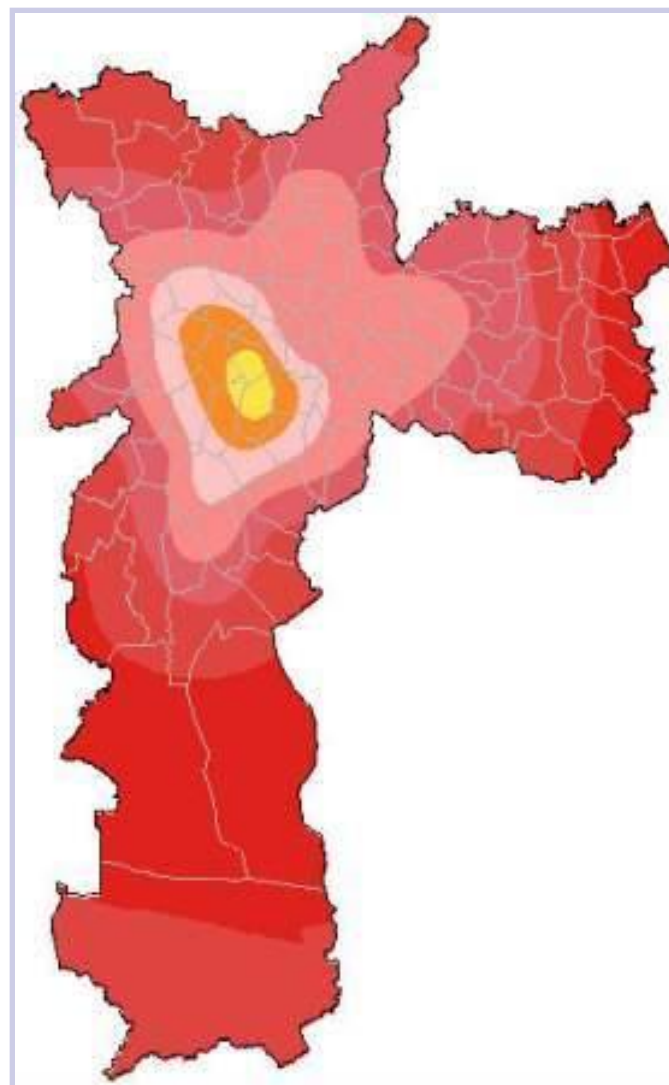


Favela da maré, Rio de Janeiro - 2001

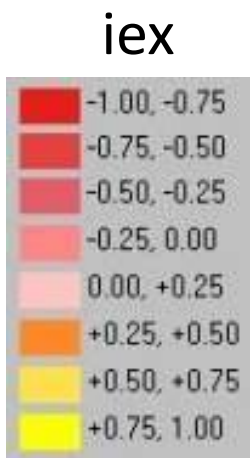
Distribuições Estatísticas



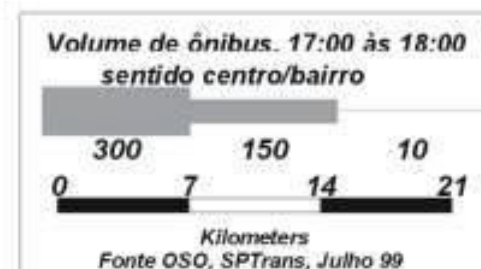
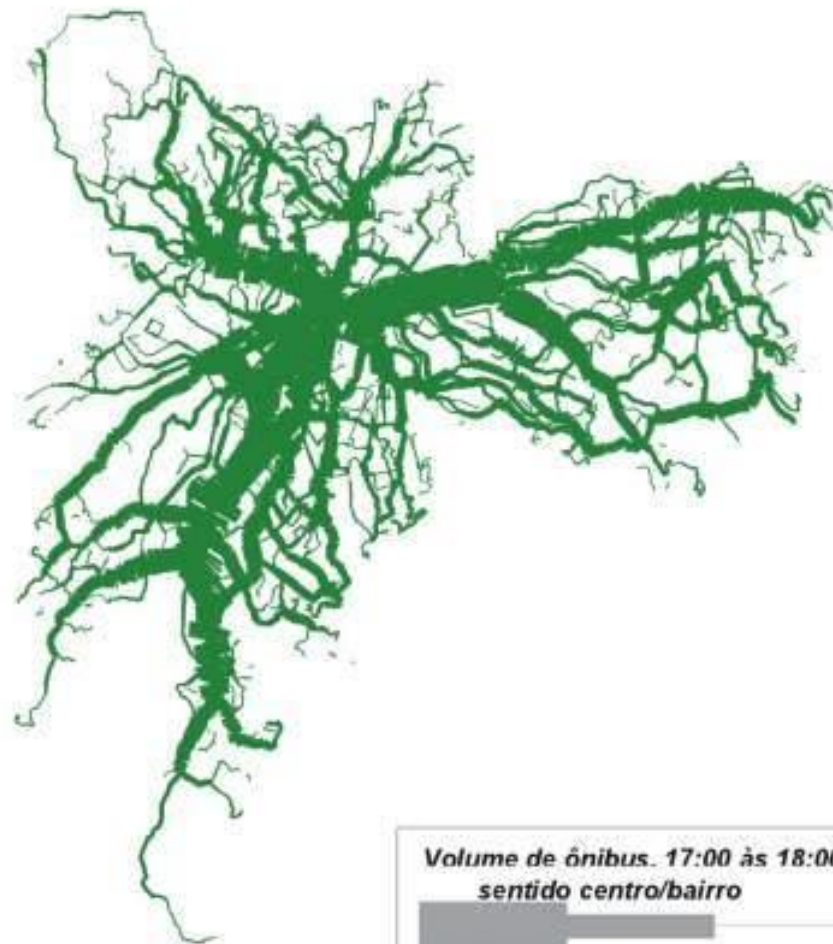
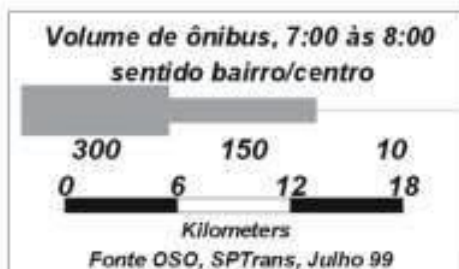
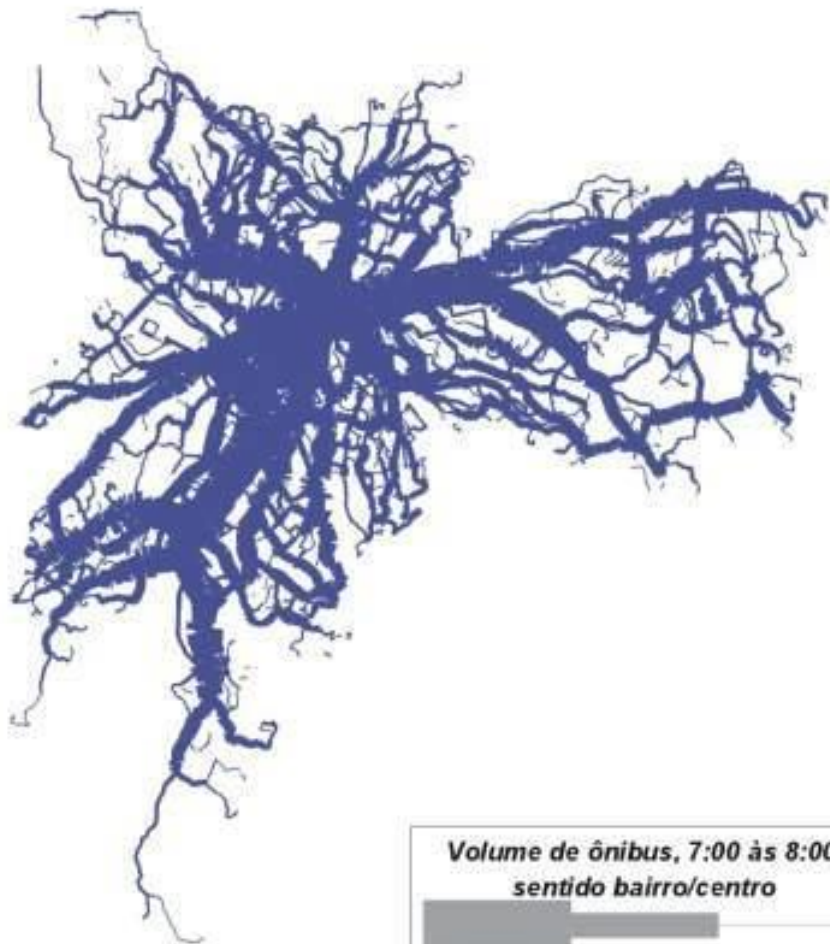
Exclusão Social 1995



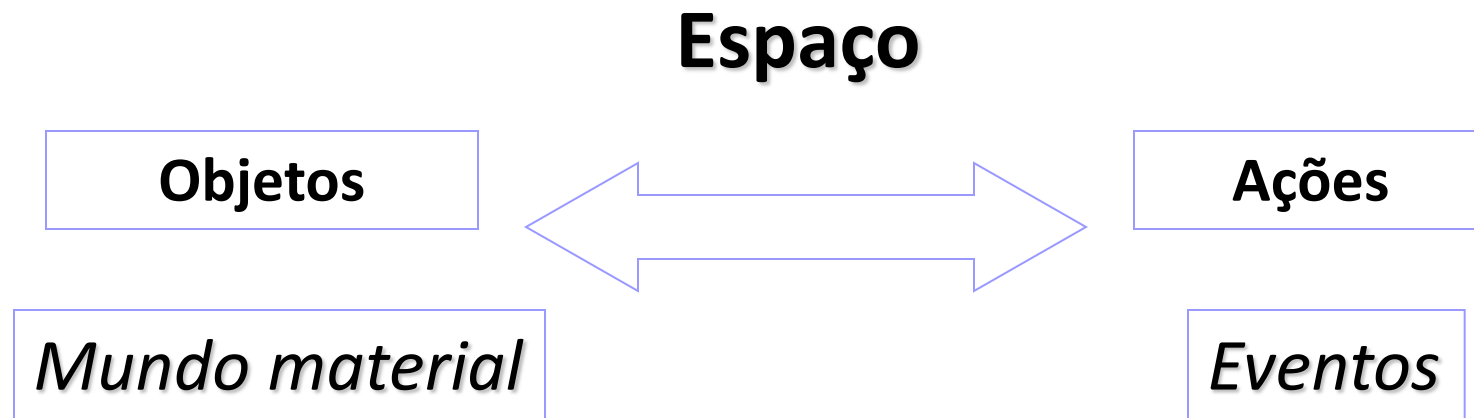
Exclusão Social 2002



Fluxos



Espaço como Elemento de Análise



“O espaço é um sistema de objetos e um sistema de ações”

Milton Santos



fonte: Carlos Nobre

Amazônia: A Floresta que resta...

Mapas Temáticos

TerraView 1.1

Arquivo Exibir Plano Vista Tema Executar Janela Análise Ajuda

Visualização

Bancos Vistas

Vistas

- ANA
- ANEEL
- CPRM
- DNPM
- EMBRAPA
 - AgroEcológico
- GERAL
- IBAMA
- IBGE_BaseCartografica
- IBGE_Mapeamentos
- IBGE_SocioEconomia
- INCRA
- INPE_ImagensSatelite
- INPE_MapasIndices
- MMA

E1
 E10
 E11
 E12
 E13
 E14
 E15
 E2
 E3
 E4
 E5
 E6
 E7
 E8
 E9
 L11
 L12
 L13
 L14
 L2
 L3

	SPRAREA	SPRPERIMET	SPRCLASSE	VEGETACAO	APTO_AGROE	RELEVO	TEXTURA	DRENAGE
1	1375122311.7578	299745.143	L12	Floresta tropical subc	Lavoura e pecuaria	Suave ondulado	Argilosa	Bem dren
2	94397201.9829	42265.1366	L12	Floresta tropical subc	Lavoura e pecuaria	Suave ondulado	Argilosa	Bem dren
3	428641609.3291	146978.14	Pr9	Cerrado subcaduifc	Preservacao (pecua	Plano a suave ondul	Arenosa	Bem dren
4	452817811.3477	141590.4365	Pr7	Floresta equatorial su	Preservacao	Ondulado a forte onc	Media	Bem dren
5	234165862.791	77262.7585	Pr7	Floresta equatorial su	Preservacao	Ondulado a forte onc	Media	Bem dren
6	544818560.9238	168749.9686	Pr12	Floresta tropical subc	Preservacao (pecua	Ondulado a forte onc	Media a argilosa	Bem dren
7	147929795.6221	72087.8135	Pr7	Floresta equatorial su	Preservacao	Ondulado a forte onc	Media	Bem dren
8	3066782444.7585	362743.0657	L6	Floresta tropical subc	Lavoura e extrativism	Plano a suave ondul	Media a argilosa	Bem dren

Long: -70:26:10.63 Lat: -10:31:53.42

Áreas de Atuação da Rede GEOMA

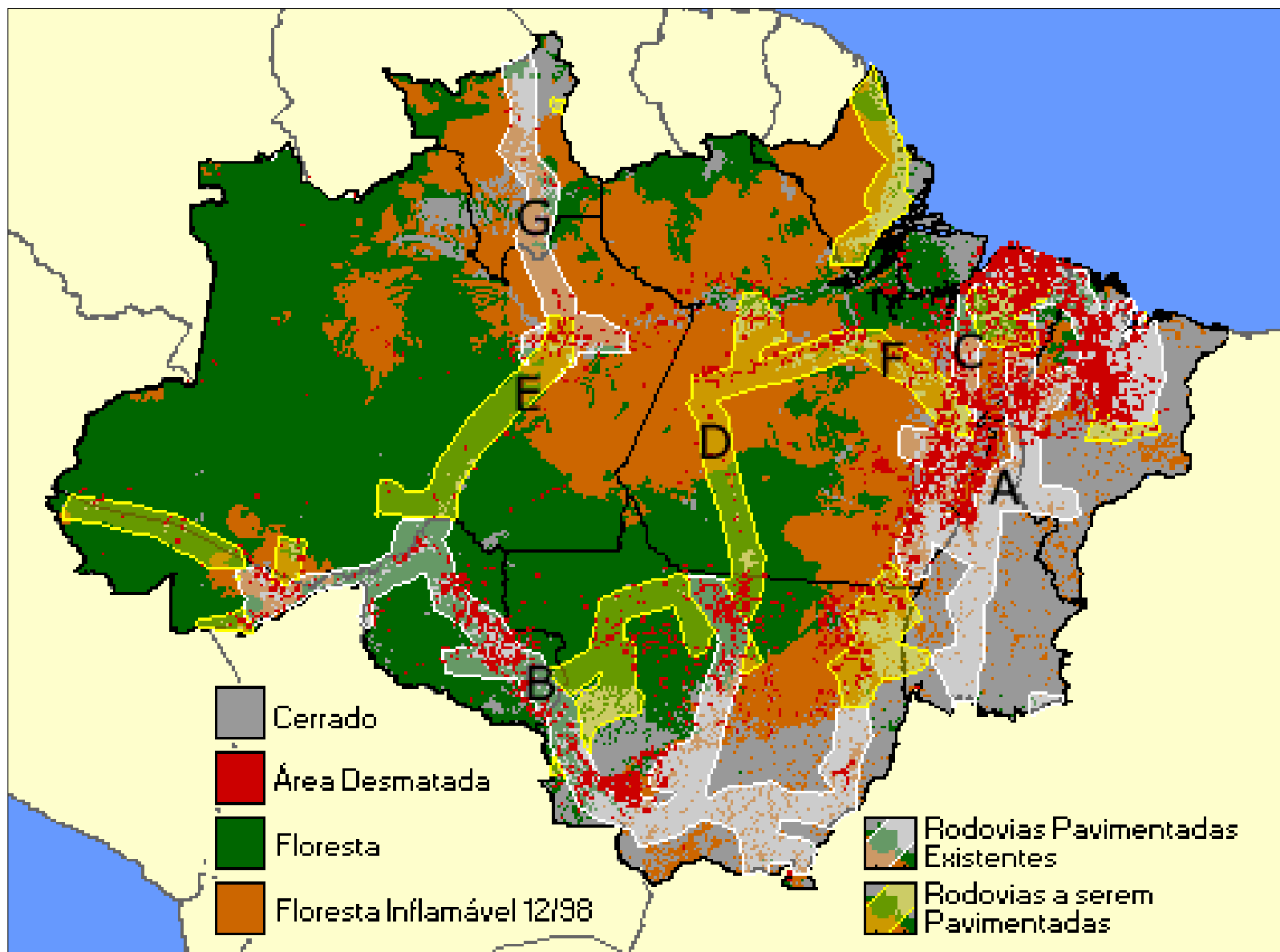
- Modelos de mudanças do uso e cobertura da terra na Amazônia.
- Modelos de distribuição da biodiversidade na Amazônia.
- Modelos hidrológicos
- Modelos acoplados bioma-clima
- Modelos integrados multi-escala

Podemos conhecer o passado....

Estimativa do Desmatamento da Amazônia (INPE)



O que nos reserva o futuro?



A Luta pela Terra na Amazônia



Competição pelo Espaço

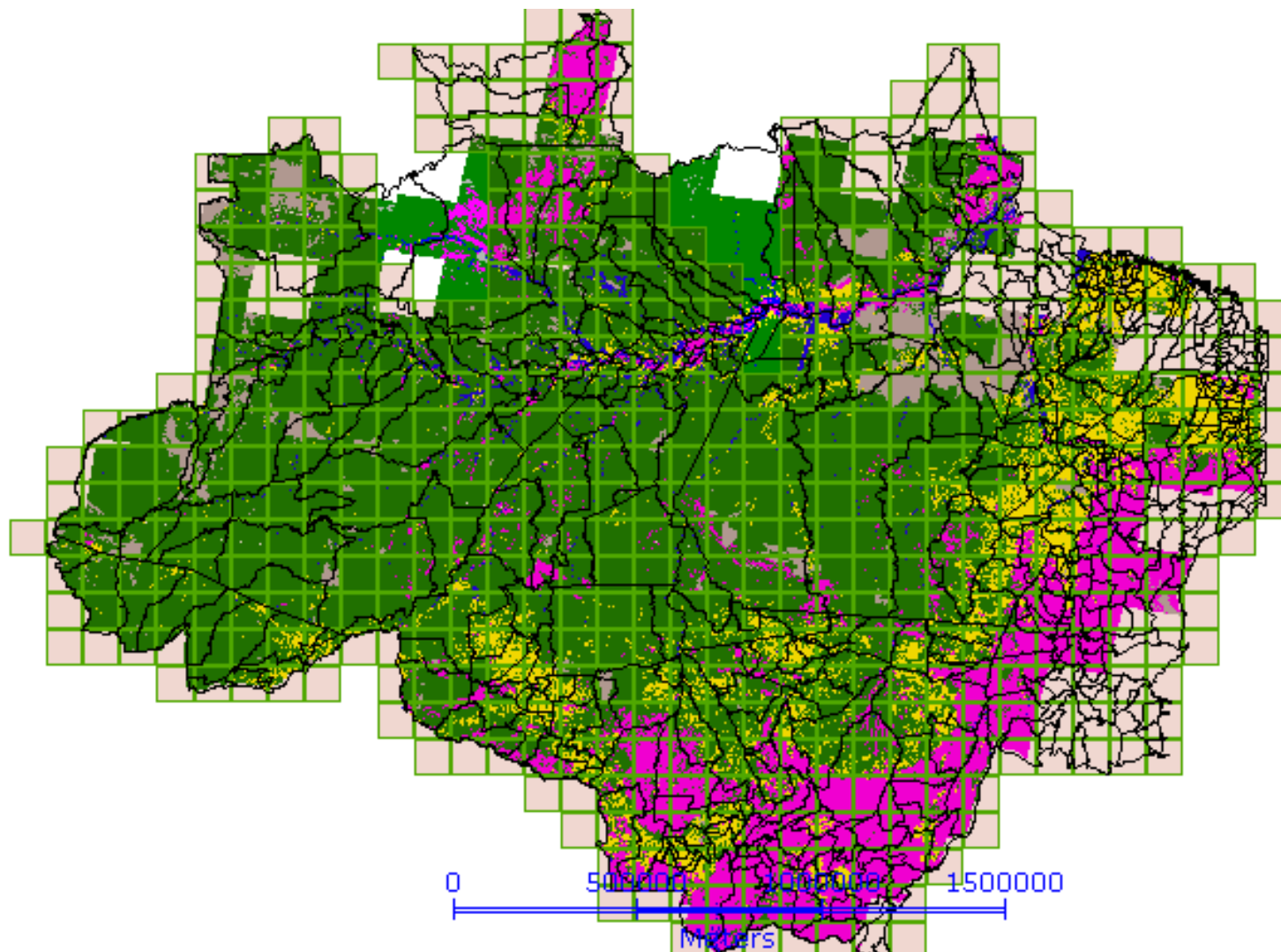


Qual a Dimensão do Nosso Desafio?



fonte: John Barrow

GEOMA: Modelos de Ocupação da Amazônia – Foco 1: MacroRegional



Como Modelar Fenômenos Sociais?

- **Análise de regressão**
 - Baseada em dados indiretos (e.g. censo)
 - Caracteriza a distribuição, mas não o processo
- **Automatos celulares**
 - Interações locais gerando efeitos globais
 - Transições discretas (são realistas?)
- **Sistemas adaptativos complexos**
 - Agentes que interagem no espaço
 - Aprendem com e adaptam-se aos competidores

Análise de Regressão - Amazônia 100 km

Deforestation

Adjusted R ² = .77		
	Beta	p-level
Intercept		0.00
log_dist_urban_areas	-0.58	0.00
log_settl	0.16	0.00
clima_humi_min_3_ave	-0.12	0.00
agr_area_small	-0.13	0.00
conn_ports_inv_p	0.09	0.00
soils_fert_B1	0.08	0.01
prot_all1	-0.07	0.01

Estrutura agrária captura diferenças entre pastagem e agricultura temporária

Clima úmido para agricultura permanente

Conexão a portos para temporária

Solos bons só não entra nas não utilizadas

Pastagem

Adjusted R ² = .76		
	Beta	p-level
Intercept		0.00
log_dist_urban_areas	-0.41	0.00
log_settl	0.26	0.00
agr_area_small	-0.19	0.00
clima_humi_min_3_ave	-0.16	0.00
soils_fert_B1	0.13	0.00
prot_all1	-0.06	0.02
conn_ports_inv_p	0.06	0.03

Temp

Adjusted R ² = .73		
	Beta	p-level
Intercept		0.00
log_dist_urban_areas	-0.63	0.00
log_settl	0.15	0.00
conn_ports_inv_p	0.11	0.00
clima_humi_min_3_ave	-0.16	0.00
agr_area_small	0.14	0.00
soils_fert_B1	0.08	0.01
prot_all1	-0.07	0.02

Perm

Adjusted R ² = .57		
	Beta	p-level
Intercept		0.13
log_dist_urban_areas	-0.62	0.00
conn_ports_inv_p	0.28	0.00
clima_humi_min_3_ave	0.16	0.00
soils_fert_B1	0.14	0.00

No used

Adjusted R ² = .74		
	Beta	p-level
Intercept		0.00
log_dist_urban_areas	-0.56	0.00
clima_humi_min_3_ave	-0.21	0.00
conn_ports_inv_p	0.23	0.00
log_settl	0.14	0.00
prot_all1	-0.10	0.00

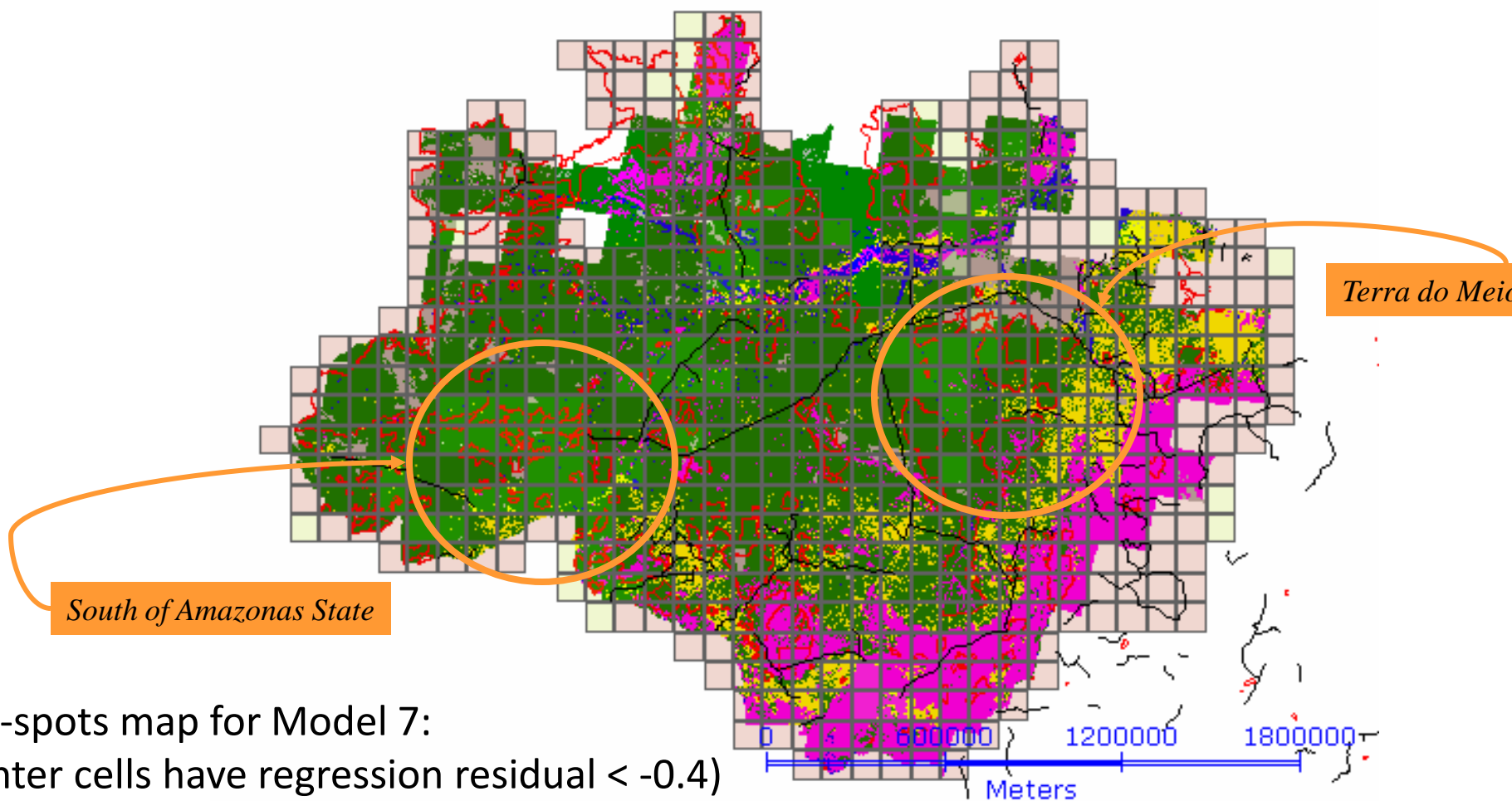
Matas plantadas

Adjusted R ² = .34		
	Beta	p-level
Intercept		0.00
log_dist_urban_areas	-0.35	0.00
log_settl	0.18	0.00
soils_fert_B1	0.13	0.01
prot_all1	-0.10	0.04

Análise de Regressão: Desmatamento

- Sete fatores estão relacionados à variação de 83% das taxas de desmatamento na Amazônia nos últimos anos:
 - (a) Estrutura Agrária (2 fatores): percental de área ocupada por grandes fazendas e número de pequenas propriedades.
 - (b) Ocupação Populacional (1 fatores): densidade de população.
 - (c) Condições do Meio Físico (2 fatores): Precipitação média e percentual de solos férteis.
 - (d) Infraestrutura (1 fator): distância a estradas.
 - (e) Presença do Estado (1 fator): percentagem de áreas indígenas

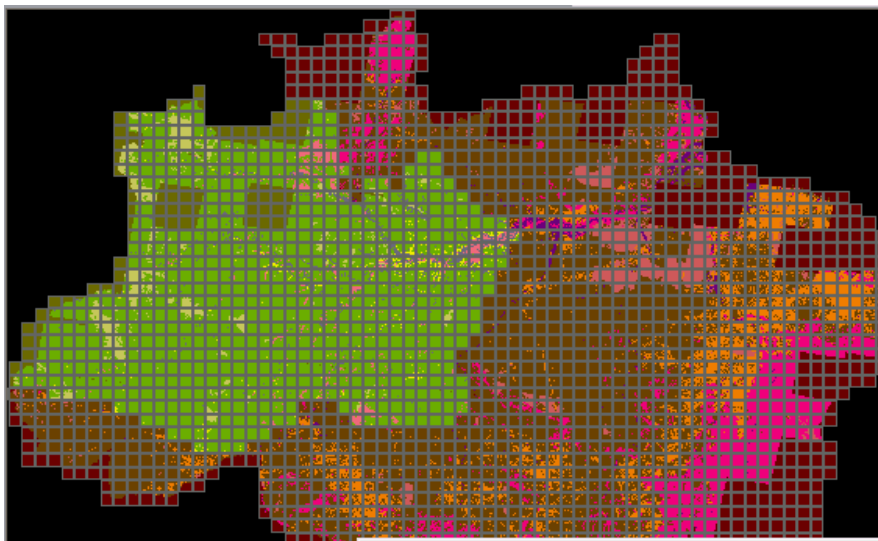
Áreas de Expansão do Desmatamento Previstas por Modelos de Regressão



Hot-spots map for Model 7:
(lighter cells have regression residual < -0.4)

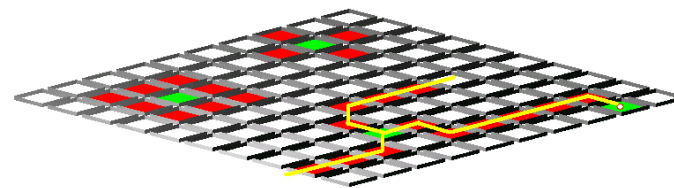
Modelagem em Espaços Celulares

Espaços celulares

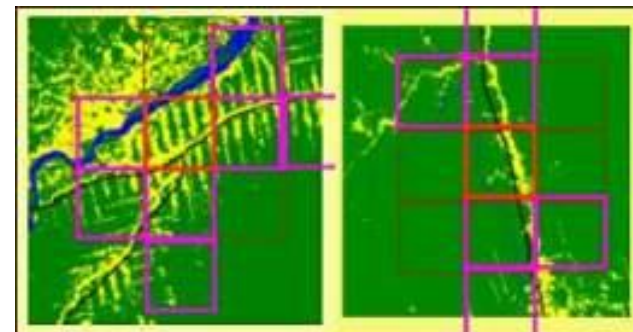


Componentes

- conjunto de células georeferenciadas
- identificador único
- vários atributos por células
- matriz genérica de proximidade - GPM

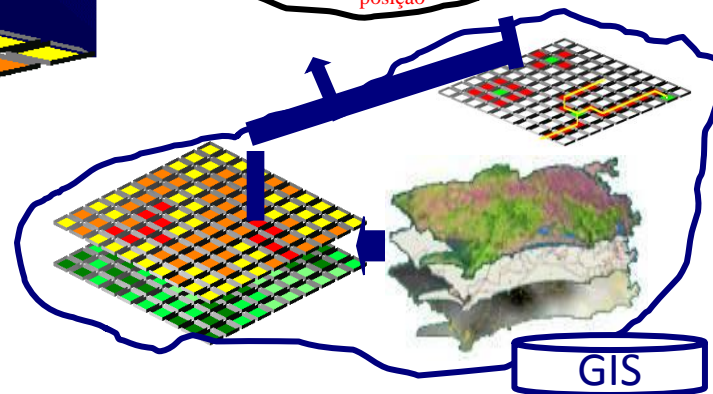
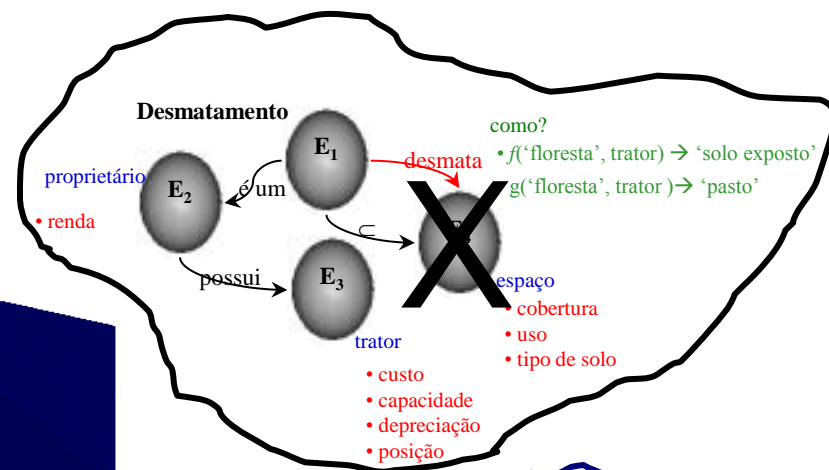
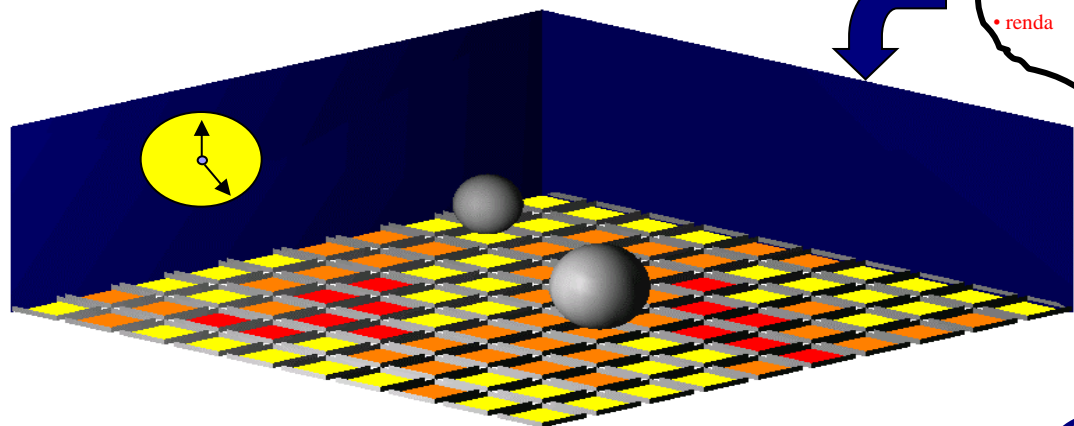


	mask_state	mask_macro_zone	setl_nfamilies_70_9	setl_area_70_99	agr
1076	am	Central	4.671096	146.23648	
1077	am	Central	4.671096	146.23648	
1078	am	Central	63.939396	23501.954167	
1079	am	Central	81.582006	29565.766222	
1080	pa	Central	12.805476	1287.076729	
1081	pa	Central	13.10852	1329.578364	
1082	pa	Central	13.10852	1329.578364	
1083	pa	Central	11.466334	1163.013824	



superfície discreta de células retangulares multivaloradas possivelmente não contíguas

Espaços Celulares



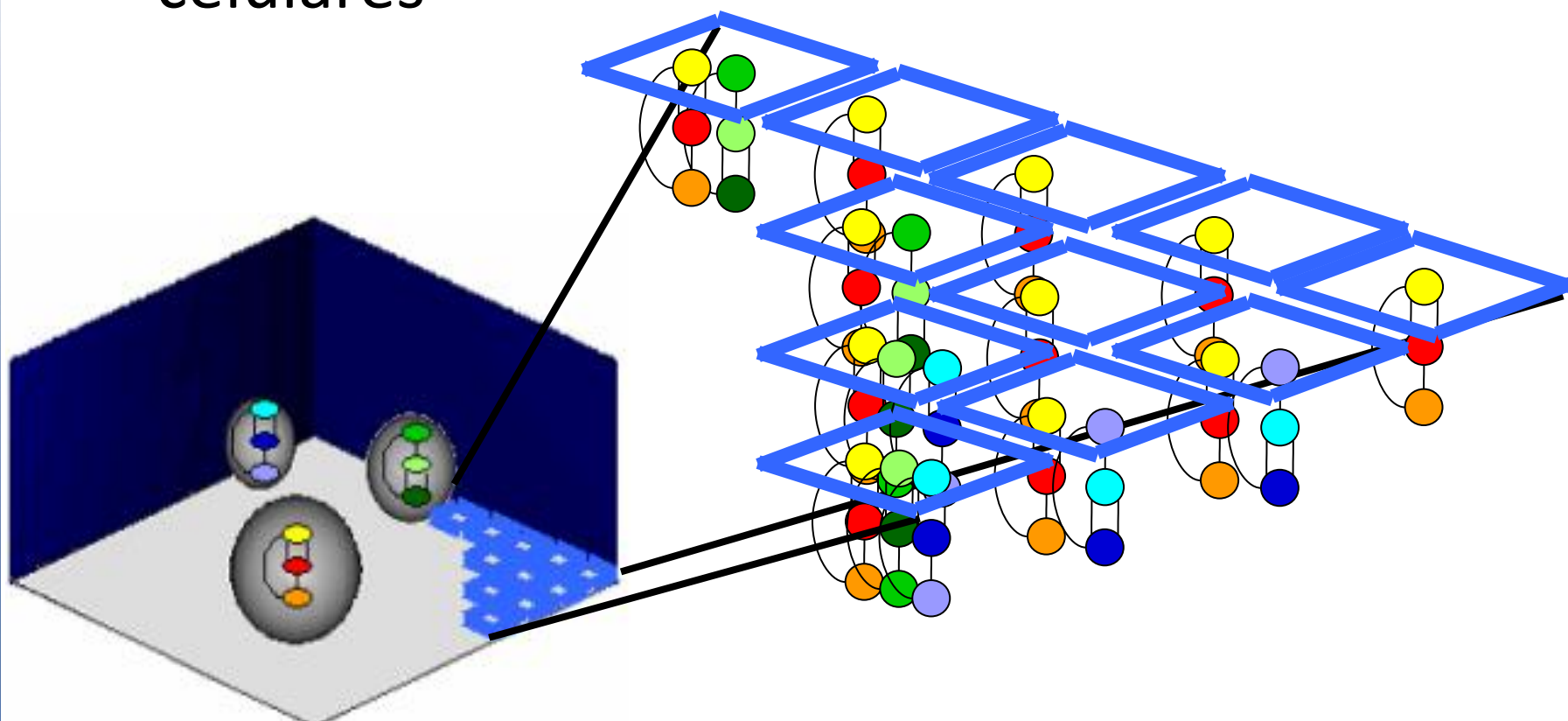
Modelo Espacial: espaços celulares não-isotrópicos

Modelo Comportamental: autômatos celulares híbridos + agentes situados

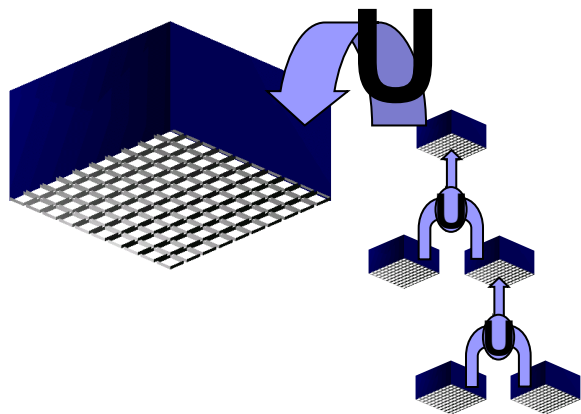
Modelo Temporal: simulador de eventos discretos

Modelo de comportamento

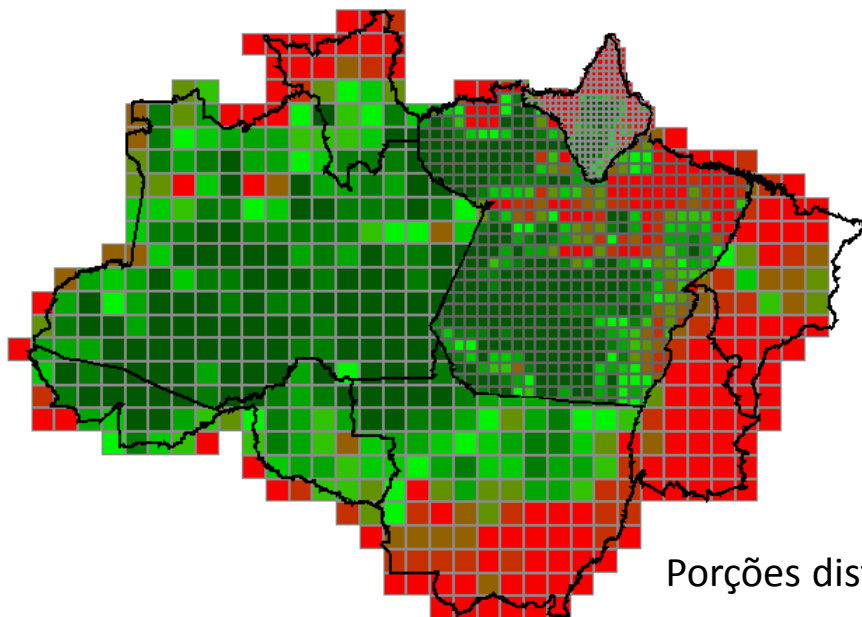
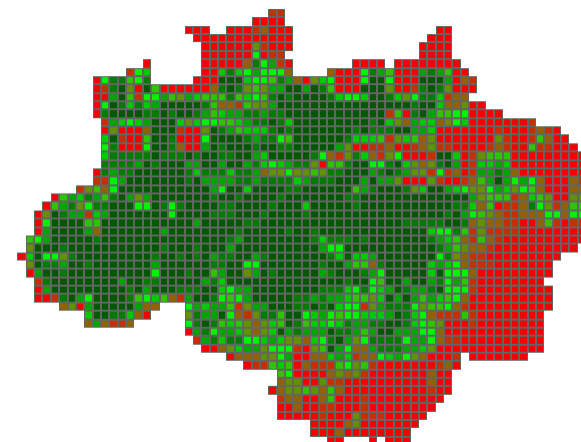
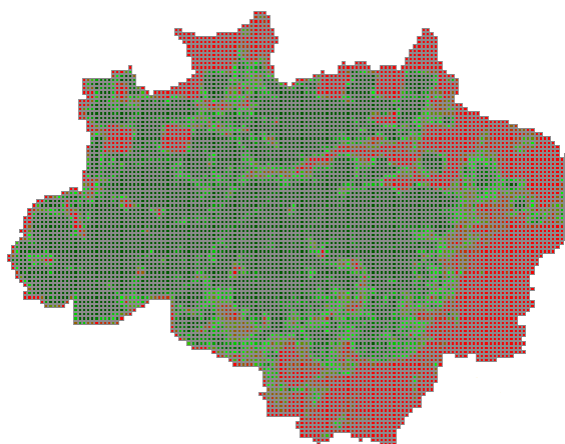
- Agentes modelados como automatos celulares



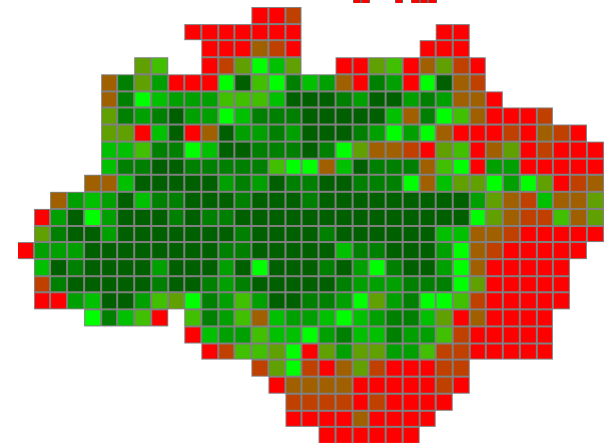
Modelagem Multi-escala



Ambientes definidos de forma recorrente



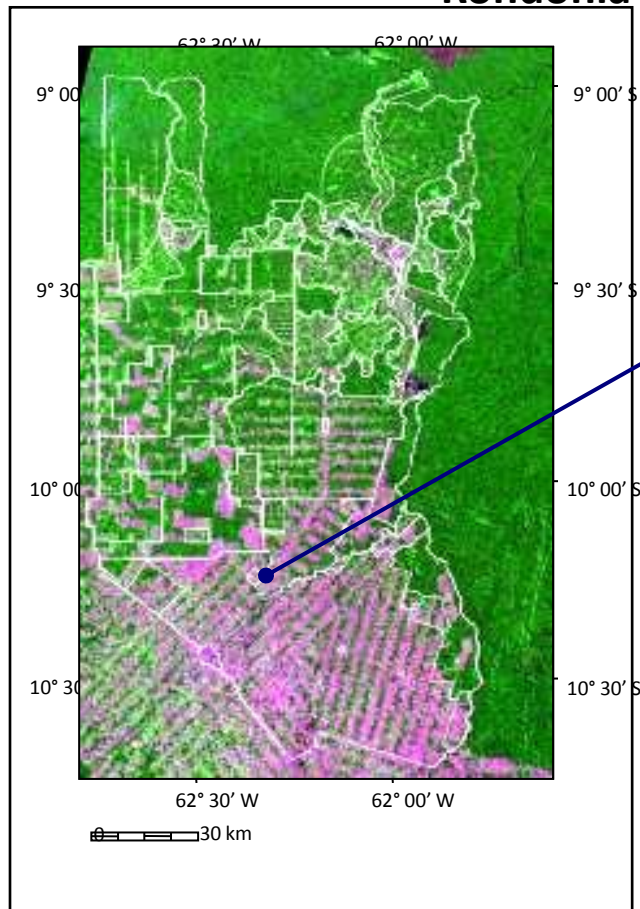
Porções distintas do espaço podem ter escalas diferentes



É necessário construir modelos **multiescalas**

Diferentes Atores, Diferentes Padrões

Rondônia



Small Medium Large



0 4 Km

Modelagem de Uso da Terra em Rondônia

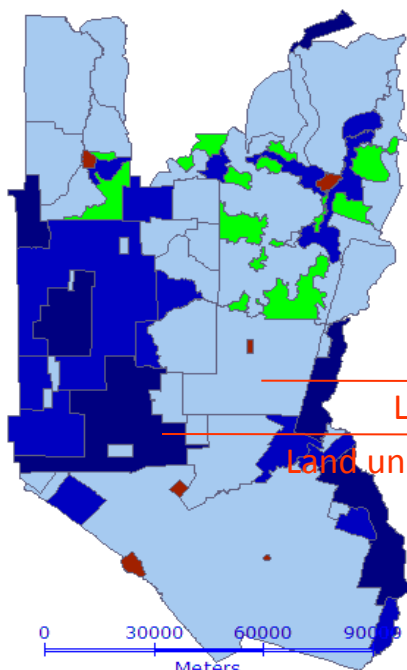
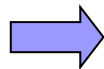
Deforestation Rate Distribution from 1985 to 2000 - Land Units Level:

- Large/Medium Rate Distribution sub-model
- Small Farms Distribution sub-model

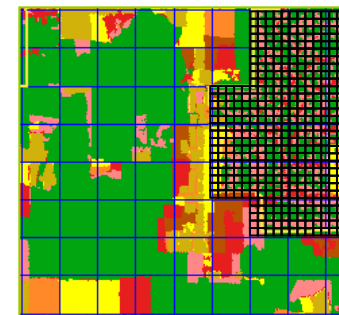
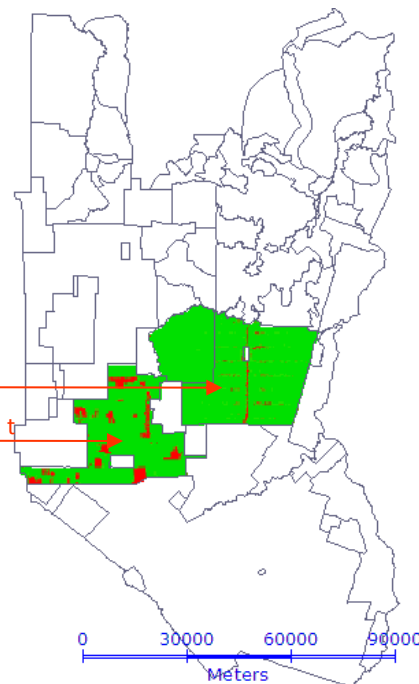
Allocation of changes - Cellular space level:

- Large/Medium allocation sub-model
- Small allocation sub-model

Global study area rate in time



Land unit 1 rate t_1
Land unit 2 rate t_2

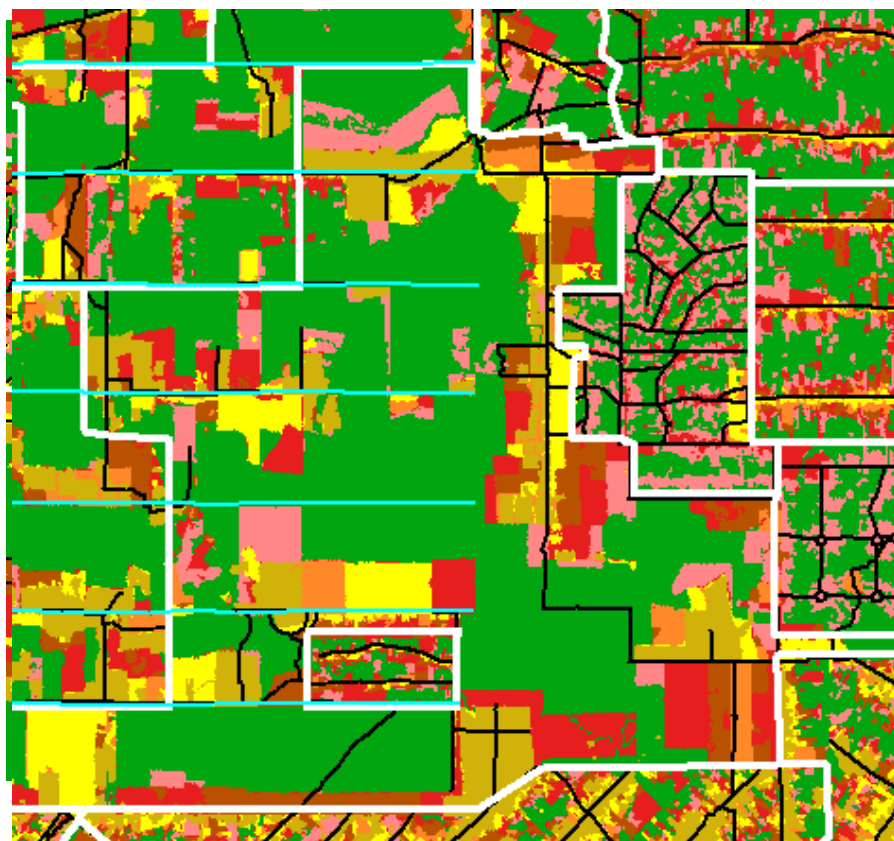


2.500 m (large and medium)

500 m (small)

- Large farms
- Medium farms
- Urban areas
- Small farms
- Reserves

Diferentes Atores, Diferentes Padrões



Factors affecting location of changes:

Small Farmers (500 m resolution):

- Connection to opened areas through roads network
- Proximity to urban areas

Medium/Large Farmers (2500 m resolution):

- Connection to opened areas through roads network
- Connection to opened areas in the same line of ownerships

Desafios na Modelagem de Fenômenos Sociais

- Modelos atuais de agentes
 - Comportamento homogêneo
 - Interações simples
 - Hipóteses simplistas demais?

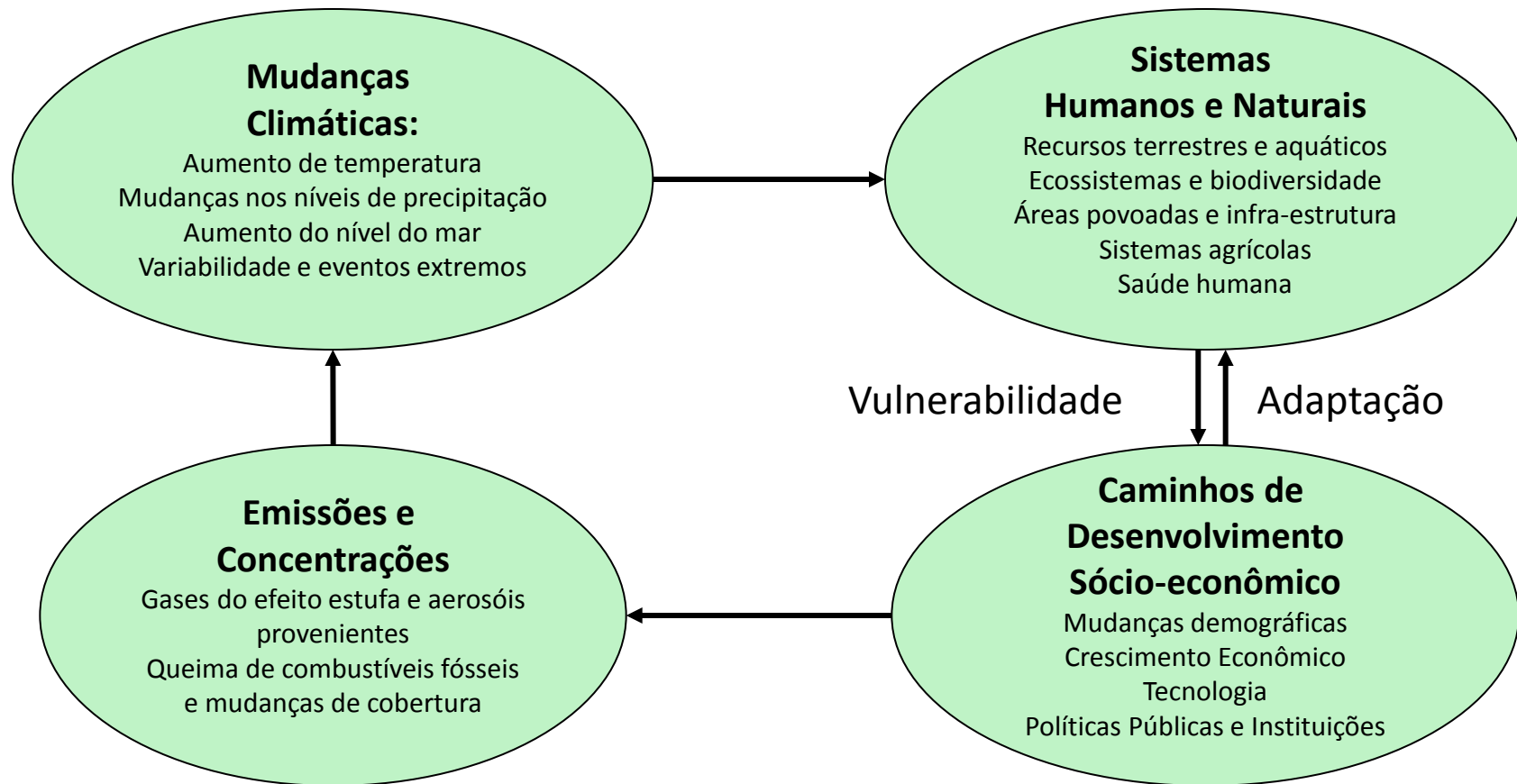
- Dificuldades
 - Como compatibilizar comportamentos diferentes de agentes?
 - O que é adaptação em agentes sociais?
 - Como incorporar mais realismo sem sacrificar a generalidade?

A Matemática e o Futuro da Geoinformação

- Conceito de Sistemas Adaptativos Complexos
 - Componentes simples (agentes)
 - Padrões emergentes de interação entre agentes

- Desafios
 - Como estabelecer uma teoria matemática rigorosa de sistemas adaptativos complexos?
 - Como se libertar da “camisa de força” dos automatos celulares?

Visão de Longo Prazo : Modelos Integrados



À Guisa de Conclusão....

- “In the future, mathematics will help us understand the patterns of the universe in terms of the patterns themselves and not just in the terms of billions of dancing digits out of which the patterns emerge like some kind of miracle” (Ian Stewart)