

Pós-Graduação em  
Desenvolvimento Sustentável

**AMAZÔNIA DOS RIOS:  
MODELAGEM PARTICIPATIVA DA GESTÃO DO USO DO SOLO  
PARA O EMPODERAMENTO LOCAL**

Paulo Celso dos Reis Gomes  
Tese de Doutorado

Brasília – DF, abril/2008



Universidade de Brasília  
Centro de Desenvolvimento Sustentável

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

**AMAZÔNIA DOS RIOS:  
MODELAGEM PARTICIPATIVA DA GESTÃO DO USO DO SOLO  
PARA O EMPODERAMENTO LOCAL**

Paulo Celso dos Reis Gomes

Orientador: Antonio César Pinho Brasil Júnior

Tese de Doutorado

Brasília – DF, abril/2008

Gomes, Paulo Celso dos Reis.

Amazônia dos Rios: modelagem participativa da gestão do uso do solo para o empoderamento local. / Paulo Celso dos Reis Gomes  
Brasília, 2008.

282 p.: il.

Tese de Doutorado. Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília.

1. Aprendizado coletivo. 2. Cenários. 3. Simulação Multiagentes. 4. ComMod. 5. Cormas. 6. Amazônia.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

PAULO CELSO DOS REIS GOMES

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

**AMAZÔNIA DOS RIOS:  
MODELAGEM PARTICIPATIVA DA GESTÃO DO USO DO SOLO  
PARA O EMPODERAMENTO LOCAL**

Paulo Celso dos Reis Gomes

Tese de Doutorado submetida ao Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Doutor em Desenvolvimento Sustentável, área de concentração em Política e Gestão Ambiental.

Aprovado por:

Antonio César Pinho Brasil Júnior, Doutor (CDS/UnB)  
(Orientador)

Dóris Aleida Villamizar Sayago, Doutora (CDS/UnB)  
(Examinador Interno)

Frédéric Adelin Georges Mertens, Doutor (CDS/UnB)  
(Examinador Interno)

Jean François Tourrand, Doutor (CDS/UnB)  
(Examinador Interno)

Hiroshi Noda, Doutor (INPA)  
(Examinador Externo)

Sandra do Nascimento Noda, Doutora (UFAM)  
(Examinador Externo)

Brasília-DF, 03 de abril de 2008

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais, José e Therezinha, a razão de nascer.

À Paola, minha mulher e companheira, uma razão para viver.

Aos meus filhos, Phillip, Paola e Thiago, razões para melhorar este mundo.

## AGRADECIMENTOS

Ao Projeto ALPHA, pelo financiamento dos meus primeiros contatos com os SMA e a plataforma Cormas junto à equipe GREEN do Cirad, em Montpellier.

Ao IFB, pelo financiamento dos trabalhos de campo em Benjamin Constant, realizados no âmbito do projeto BIODAM.

A CAPES, pelo financiamento da minha bolsa-sanduíche no Cirad (Montpellier-França) que possibilitou o meu aprofundamento nas questões afetas aos SMA e ComMod.

Ao meu orientador Brasil, pelas conversas, conselhos e orientações que facilitaram muito o percurso desta etapa da minha vida profissional.

Ao meu co-orientador Bousquet, pelas conversas e discussões sobre o papel do pesquisador frente a situações concretas do mundo real.

Ao pesquisador Tourrand, que demonstrou que a ciência é construída por seres humanos e me mostrou como se encaminha a pesquisa nos trópicos úmidos.

Ao casal de cientistas Sandra e Hiroshi Noda, pelas conversas e discussões que foram fundamentais para o meu aprendizado sobre a Amazônia dos Rios.

Ao engenheiro Bruno Bonte, pela parceria e amizade estabelecidas nas etapas de construção do modelo informático (simulador).

Aos corpos técnicos do CDS, do ENM e do CIRAD que sempre me apoiaram durante a realização deste trabalho.

Aos corpos técnicos do DEX, do InterFoco e do CFORM, pelo apoio e compreensão na dualidade entre os papéis de diretor e aluno, que exerci simultaneamente neste último ano.

Aos corpos técnicos do NERUA, da UFAM e do INPA, pelo apoio fundamental em minhas incursões na Amazônia dos Rios.

A equipe de pesquisadores do projeto BIODAM, que iniciou um processo interno de aprendizado coletivo, e cujo caráter multidisciplinar orientou este trabalho desde o seu início.

A meus irmãos, José Augusto e Marco Aurélio, pelo apoio fraterno que foi fundamental em diversos momentos.

Aos inúmeros amigos e colegas em Brasília, Manaus, Benjamin Constant e Montpellier que, de uma ou de outra forma, me apoiaram nesta caminhada e a tornaram mais agradável.

Aos moradores das comunidades rurais de Benjamin Constant, especialmente aqueles das comunidades de São João, Nova Aliança, Novo Paraíso, Cidade Nova, Tupi I e Tupi II, pela aceitação da minha proposta de trabalho, pela participação nas atividades realizadas com suas famílias em seus lares e, principalmente, por me ensinarem outras formas de se relacionar com a natureza e com o resto do mundo.

## EPÍGRAFE

“Eu tô te explicando que é pra te confundir, eu tô te confundindo que é pra te esclarecer, eu tô iluminado pra poder cegar, eu tô ficando cego pra poder guiar.”

Tom Zé

“Se o mundo é mesmo parecido com o que vejo, prefiro acreditar no mundo do meu jeito, e você estava esperando voar, mas como chegar até as nuvens com os pés no chão?”

Renato Russo

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise prospectiva de cenários das dinâmicas territoriais e sociais que envolvem as mudanças no uso e cobertura do solo nas comunidades rurais do município de Benjamin Constant (AM), da região conhecida como Amazônia dos Rios (LÉNA, 2002). Cabe ressaltar que o trabalho só pode ser efetivamente realizado devido ao apoio dos inúmeros pesquisadores, de natureza multidisciplinar, que trabalharam e ainda trabalham nessa região, especificamente, aqueles do projeto BIODAM, do NERUA e da Rede SMART. Após a qualificação dos dados disponíveis sobre as dinâmicas territoriais locais, foi realizado um trabalho de perspectivas de cenários. Para tanto, foi construído um modelo dinâmico de simulação multiagentes (SMA) (FERBER, 1995), na plataforma Cormas. O modelo Solimões incorporou os comportamentos dos agentes locais, famílias de comunidades tradicionais, os quais não estão de acordo com as noções padronizadas de lucro e maximização da utilidade. Vale ressaltar que o trabalho realizado perseguiu, em todas as suas atividades, uma abordagem construtivista e participativa, denominada de modelização de acompanhamento – *Companion Modelling* (COMMOD, 2005), a qual propõe a criação de fóruns de discussão, que possibilitem um processo de aprendizado coletivo durante a construção do modelo. Foram simulados três conjuntos de cenários, para as comunidades de São João e de Nova Aliança, com a variação: (i) no pagamento da bolsa-escola, (ii) na taxa de natalidade e (iii) na produtividade agrícola. A série de simulações de cenários realizadas mostrou que a taxa de mudança do uso e da cobertura do solo na região não é função da renda dos agentes ou da estagnação econômica da região. Na realidade, para que ocorram grandes alterações nas taxas de mudança do uso e da cobertura do solo na região, é necessário um grande crescimento populacional ou uma mudança comportamental das populações ribeirinhas, de modo que abandonem a sua estratégia tradicional de garantir sua sobrevivência e adotem uma nova estratégia de acumulação de patrimônio. Como reflexão final do trabalho fica a afirmação de que, para o modelizador atingir, simultaneamente, os maiores níveis de pertinência, coerência, adequabilidade e sustentabilidade em seu modelo, a abordagem ComMod é, atualmente, uma das metodologias com o maior potencial de sucesso para elaboração de modelos socioambientais. Uma iniciativa ComMod pode (e a meu ver, deve) ser planejada para possibilitar a apropriação do processo de modelização e, com isso, deflagrar um processo de empoderamento e autonomia das comunidades envolvidas.

Palavras-chave: Aprendizado Coletivo. Cenários. Simulação Multiagentes. ComMod. Cormas. Amazônia.



## RESUMÉ

Ce travail a pour objectif de réaliser une analyse prospective des scénarios des dynamiques territoriales et sociales concernant les changements d'usage du sol et des couvertures végétales par des communautés rurales d'Amazonie. Plus spécifiquement, cette étude porte sur des communautés de la municipalité de Benjamin Constant (état de l'Amazonas au Brésil), dans la région appelée l'Amazonie des Fleuves (LENA, 2002). Elle a été possible grâce à l'appui de nombreux chercheurs, de formation pluridisciplinaire travaillant dans cette région, et plus précisément ceux du projet BIODAM, du NERUA et du réseau SMART. Après la qualification des données disponibles sur les dynamiques territoriales locales, un travail prospectif par scénarios a été mené. Pour cela, un modèle dynamique de simulation multi-agent (SMA) (FERBER, 1995) a été conçu et implémenté sur la plate forme Cormas : le modèle *Solimões*. Il mobilise les comportements d'agents locaux - des familles de communautés traditionnelles - lesquelles ne sont pas en accord avec les notions standardisées de profit et de maximisation de l'utilité. Pour toutes ses activités, le travail a procédé selon une approche constructiviste et participative, nommée modélisation d'accompagnement – *Companion Modelling* (COMMOD, 2005). Celle-ci propose la création de forums de discussion qui permettent de faire émerger un processus d'apprentissage collectif au cours de la construction du modèle. Trois ensembles de scénarios ont été simulés, pour les communautés de São João et de Nova Aliança, en faisant varier : (i) le paiement des bourses d'école, (ii) le taux de natalité et (iii) la productivité agricole. La série de simulations de ces scénarios a montré que le taux de changement dans l'usage du sol et du couvert dans la région n'est pas une fonction du revenu des agents ni de la stagnation économique régionale. En réalité, pour voir apparaître de grandes altérations de l'utilisation des sols, il est nécessaire qu'une grande croissance de la population ait lieu ou qu'un changement radical de comportement apparaisse de façon à ce que les populations riveraines abandonnent leur stratégie traditionnelle de survivance et adoptent une nouvelle stratégie d'accumulation du patrimoine. En guise de réflexion finale de ce travail, on peut affirmer que, pour que le modélisateur puisse atteindre simultanément des niveaux élevés de pertinence, de cohérence, d'adaptabilité et de durabilité dans son modèle, l'approche ComMod s'avère actuellement être une des méthodologies ayant le plus grand potentiel de succès pour l'élaboration de modèles socio-environnementaux. Une initiative ComMod peut (et, à mon avis, doit) être planifiée afin de rendre possible l'appropriation du processus de modélisation et de ce fait, engendrer un processus d'*empowerment* et d'autonomie au sein des communautés concernées.

Mots-clés: Apprentissage collectif, scénarios, simulation multi-agent, ComMod, Cormas, Amazonie, LUCC.

## ABSTRACT

This study aimed to carry out a prospective analysis of scenarios involving territorial and social dynamics in land use and cover change (LUCC) at rural communities of Benjamin Constant (*Amazonas* State), region known as Rivers' Amazon (LÉNA, 2002). Work could only be carried out effectively because of many researchers support, which worked and are still working in this region, specifically, those from BIODAM Project, NERUA Team and SMART Network. After local dynamics data qualification, a prospective scenarios job was carried out. Thus, a MultiAgent Simulation (MAS) model (FERBER, 1995) was built in Cormas. This model incorporated local actors' behaviour, from traditional communities' families, which are not in accordance with standard notions of profit and utility maximization. Work used, in all its activities, a constructive and participatory approach, called Companion Modeling (COMMOD, 2005), which proposes forums' creation, that allows a collective learning process during model elaboration. There were three sets of simulated scenarios, for communities of *São João* and *Nova Aliança*, by variation of: (i) *Bolsa-Família* payment, (ii) birth rate, (iii) agricultural productivity. Scenarios simulations' series showed that land use and cover change rate in region is not function of agents' income or economic stagnation. Indeed, for major changes occurrence in land use and cover change rate, it's needed a large population growth or a great behavior change, actually by communities abandoning its traditional strategy to ensure their survival and adopting a new accumulation strategy. As a final reflection this work makes an assertion that "to achieve, simultaneously, the highest levels of relevance, consistency, appropriateness and sustainability in a socio-environmental model, ComMod approach is currently the methodology with greatest success potential". An initiative ComMod can (in my opinion, must always) be designed to enable modeling process ownership by local actors and thereby initialize communities' empowerment and autonomy processes.

Keywords: Collective Learning. Scenarios. Multiagent Simulation. ComMod. Cormas. Amazon.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura I.01 - Fluxograma da Organização do Trabalho

Figura 1.01 – Sucessão lógica de eventos futuros que formam cenários

Figura 1.02 – Cenários Possíveis, Realizáveis (prováveis) e Desejáveis (preferenciais)

Figura 1.03 – Grau de envolvimento dos participantes (adaptada de VAN ASSELT e RIJKENS-KLOMP, 2002)

Figura 1.04 - Diagrama de modelização para a simulação da dinâmica espacial (adaptada de MORSHED e BORNE, 2006)

Figura 1.05 - Representação esquemática de um sistema socioambiental (adaptado de BOUSQUET e TREBUIL, 2006)

Figura 1.06 - Representação esquemática de um SMA (adaptado de FERBER, 1995)

Figura 1.07 - Interface principal Cormas

Figura 1.08 - Entidades Cormas

Figura 1.09 - Espaços de simulação em Cormas

Figura 1.10 - Interface gráfica para visualizar os resultados de simulações

Figura 1.11 - Interface para seleção do horizonte de variação do tempo na simulação

Figura 1.12 - O processo de tomada de decisão (adaptado de WOOLDRIDGE, 2002)

Figura 1.13 - Visão compartilhada (adaptado de BOUSQUET e TREBUIL, 2005)

Figura 1.14 - Estágios de processos ComMod (adaptado de BARRETEAU et al., 2001)

Figura 1.15 – A realidade, as teorias e o modelo

Figura 1.16 – A representação da realidade em 1 modelo

Figura 2.01 - Modelo teórico, informático e jogo de papéis

Figura 2.02 – Variáveis que afetam as MUCS (adaptado de ANGELSEN e KAIMOWITZ, 1999)

Figura 2.03 – Diagrama relacionando agentes sociais e suas ações sobre os espaciais

Figura 2.04 – Mapa Cognitivo e Calendário de Produção Anual – São João

Figura 2.05 – Fichas descritivas semelhantes a Diagramas UML

Figura 2.06 - Ação – Causas, Interferências e Efeitos

Figura 2.07 - Bloco de 5 ações

Figura 2.08 - Relação entre ação, bloco e estratégia

Figura 2.09 - Diagrama Agente X Ação – Construção participativa em São João

Figura 2.10 - Relação entre modelo teórico e UML

Figura 2.11 - Relações de generalização e especialização (BOMMEL e GOMES, 2007)

Figura 2.12 - Relações de agregação e composição (BOMMEL e GOMES, 2007)

Figura 2.13 - Relação entre classes “Empresa” e “Pessoa” (BOMMEL e GOMES, 2007)

Figura 2.14 - Diagrama de Classe Padrão na plataforma Cormas

Figura 2.15 - Diagrama de Atividades (BOMMEL e GOMES, 2007)

Figura 2.16 – Diagrama de Seqüência (adaptado de BOMMEL e GOMES, 2007)

Figura 2.17 - “Inserção” de Métodos Simples

Figura 2.18 – Interface para inicialização e visualização de dados

Figura 3.01 - Localização de Benjamin Constant-AM

Figura 3.02 - Localização das comunidades rurais de Benjamin Constant

Figura 3.03 – Diagrama esquemático da comunidade de São João

Figura 3.04 – Fotos do sítio da comunidade de São João

Figura 4.01 – Chuva de idéias (brainstorm) em São João

Figura 4.02 - Diagrama Agentes X Ações

Figura 4.03 – Relações entre a família, seus membros e sua reserva

Figura 4.04 – As organizações da comunidade

Figura 4.05 – Espacialidade no modelo Solimões

Figura 4.06 – Diagrama de Classes com as relações entre as coberturas do solo

Figura 4.07 – Diagramas de transição de estado da terra firme e da várzea

Figura 4.08 – Diagrama de Classes com as relações entre as atividades

Figura 4.09 – Diagrama de Classes do Modelo Solimões

Figura 4.10 - Diagramas de Atividades Gerais – Passo Anual

Figura 4.11 - Diagrama de Atividades Básicas Mensais (meses de cheia e de seca)

Figura 4.12 - Diagrama de Atividades específicas dos meses de seca

Figura 4.13 - Diagrama de Atividades específicas dos meses de cheia

Figura 7.01 – Espiral virtuosa do ComMod com a construção e o acúmulo de conhecimentos

Figura 7.02 - Espiral virtuosa do ComMod com incrementos de coerência e pertinência

## LISTA DE QUADROS

- Quadro 1.01 – Definições de Cenários (adaptado de SIMON, 2006)
- Quadro 1.02 – Correspondência entre os objetos do conhecimento e as expressões semânticas (adaptada de MILTON ET AL., 1999; apud BECU, 2006)
- Quadro 3.01 – Principais causas imediatas do desmatamento (adaptado de ANGELSEN e KAIMOWITZ, 1999)
- Quadro 3.02 - Calendário “produção” local – São João
- Quadro 3.03 - Definição dos Agentes pela Comunidade
- Quadro 3.04 - Detalhamento dos principais Agentes Espaciais pela comunidade
- Quadro 3.05 - Detalhamento dos principais Agentes Sociais pela comunidade
- Quadro 3.06 - Descrição das atividades de roça e pesca
- Quadro 4.01 – Características das comunidades rurais de Benjamin Constant
- Quadro 4.02 - Agentes presentes em BC – abordagem especialista
- Quadro 4.03 Componentes de paisagem na área rural de Benjamin Constant
- Quadro 4.04 – Ações possíveis dos agentes
- Quadro 4.05 Relação entre ações e seus parâmetros de decisão
- Quadro 4.06 – Relação entre grupos de ações e seus parâmetros de decisão
- Quadro 4.07 Variáveis de escolha para cada ação
- Quadro 4.08 – Produtividade para cada tipo de atividade produtiva
- Quadro 4.09 - Consumo mensal de cada item da reserva por componente da família
- Quadro 4.10 – Valor de venda dos produtos da comunidade no mercado local
- Quadro 4.11 Tempos gastos na manutenção de cada tipo de roça
- Quadro 4.12 - Valores de inicialização das atividades para as famílias
- Quadro 4.13 – Variáveis definidas como “provas” no modelo Solimões
- Quadro 5.01 - Fenômenos que influenciam o futuro da Amazônia
- Quadro 5.02 - Atores que influenciam o futuro da Amazônia
- Quadro 5.03 – Provas importantes identificadas no cenário inercial
- Quadro 5.04 – Correlação dos cenários nas diferentes abordagens
- Quadro 5.05 – Faixas de valores para construção dos cenários de subvenção social
- Quadro 5.06 – Faixas de valores para construção dos cenários de população
- Quadro 5.07 – Faixas de valores para construção dos cenários
- Quadro 5.08 – Faixas de valores para construção dos cenários para Nova Aliança

## LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 5.01 – Variações de 4 provas na simulação do cenário inercial
- Gráfico 5.02 – Variações nos gastos mensais por família (cenário inercial)
- Gráfico 5.03 – Variações no consumo de mandioca (cenário inercial)
- Gráfico 5.04 – Variações nos consumos de mandioca e feijão (família 8)
- Gráfico 6.01 – Variações nas áreas utilizadas pelas comunidades pela variação na
- Gráfico 6.02 – Variações nos gastos mensais pela variação na subvenção social
- Gráfico 6.03 – Variações nos gastos mensais para duas famílias (F4 e F13)
- Gráfico 6.04 – Variações nos gastos mensais e na geração de recursos (R\$)
- Gráfico 6.05 – Variações na área utilizada pela variação na produtividade
- Gráfico 6.06 – Variações na área utilizada por habitante pela variação na produtividade
- Gráfico 6.07 – Variações nos gastos mensais (cenário inercial – Nova Aliança)
- Gráfico 6.08 – Variações na área e na produção de mandioca (cenário inercial – Nova Aliança)
- Gráfico 6.09 – Variações na área e na produção de mandioca (cenário inercial – Nova Aliança)

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

AC - Autômatos celulares  
ACE - Agent-Based Computational Economics  
BC - Benjamin Constant  
BDI (Belief, Desire, Intention) – Crença, Desejo, Intenção  
BIODAM – Gestão da Biodiversidade e dos Recursos Naturais na Amazônia  
CGE - Computer General Equilibrium  
CIRAD - Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement  
COMMOD (Companion Modelling) - Modelização de acompanhamento  
CORMAS - Common-pool Resources and Multi Agent Systems  
GREEN - Gestion des Ressources Renouvelables et Environnement  
GPS (Global Positioning System) – Sistema de Posicionamento Global  
IA - Inteligência artificial  
IAD - Inteligência artificial distribuída  
IBM - Individual-based modeling  
INPA – Instituto Nacional de Pesquisas na Amazônia  
INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária  
IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change  
JASSS - Journal of Artificial Societies and Social Simulation  
MABS - Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation  
MAI - Modelos de Avaliação Integrada  
MC - Modelo celular  
MM - Modelos Markovianos  
MUCS – Mudanças no Uso e na Cobertura do Solo  
NERUA - Núcleo de Estudos Rurais e Urbanos Amazônico  
PIB – Produto Interno Bruto  
PRODESAS – Projeto de Desenvolvimento Sustentado do Alto Solimões  
RPG (role play-game ou jeu de role) – Jogo de papéis  
SED - Simulação espacial dinâmica  
SIG – Sistema de Informações Geográficas (georeferenciados)  
SMA - Simulação de Sistemas Multiagentes  
SMART – Strategic Monitoring of South-American Regional Transformations  
SSBA - Simulações Sociais Baseadas em Agentes  
UFAM – Universidade Federal do Amazonas  
UML (Unified Modelling Language) – Linguagem de Modelização Unificada

## SUMARIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>4</b>
<b>1 ESTADO DA ARTE.....</b>	<b>9</b>
1.1 PROSPECTIVA DE CENÁRIOS.....	9
1.1.1 O pensamento Preditivo.....	14
1.1.2 O pensamento Exploratório.....	15
1.1.3 O pensamento Visionário.....	20
1.1.4 Os diversos usos de métodos de cenários.....	22
1.2 MODELOS DE SISTEMAS SOCIOAMBIENTAIS.....	27
1.2.1 Tipos de modelos.....	29
1.2.2A integração de técnicas de modelização.....	40
1.3 SIMULAÇÃO DE SISTEMAS MULTIAGENTES.....	47
1.3.1 Os SMA e a simulação de sistemas complexos.....	50
1.3.2 Agentes - autonomia, interação e coordenação.....	57
1.3.3 As plataformas SMA.....	61
1.3.4 Os desafios das pesquisas com SMA.....	68
1.4 MODELIZAÇÃO DE ACOMPANHAMENTO – COMMOD.....	70
1.4.1 Uma visão compartilhada.....	73
1.4.2 ComMod e a pesquisa científica.....	76
1.5 MODELIZAÇÃO PARTICIPATIVA: VALIDADE DAS REPRESENTAÇÕES E VALIDAÇÃO DAS SIMULAÇÕES.....	82
1.5.1 A validação científica e a participativa.....	84
1.5.2 A sustentação das simulações.....	92
1.5.3 As incertezas científicas.....	98
<b>2 ABORDAGEM METODOLÓGICA.....</b>	<b>102</b>
2.1 MODELO TEÓRICO.....	103
2.1.1 Agentes Espaciais e Agentes Sociais.....	107
2.1.2 Ações de cada Agente.....	108
2.1.3 Estratégias dos Agentes.....	113
2.2 FORMALIZAÇÃO DO MODELO TEÓRICO EM UML.....	118
2.2.1 O Diagrama de Classes.....	119
2.2.2 Os Diagramas de Atividades e de Sequência.....	125
2.2.3 Verificação da Eficiência dos Diagramas UML.....	126
2.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO SMA.....	128
2.3.1 Classes, Atributos e Métodos.....	128
2.3.2 Ordenamento da Simulação (Schedulling).....	129



2.3.3 Visualização do Modelo.....	130
2.3.4 O Ajuste (Debugagem) do Modelo.....	132
2.4 PROSPECTIVA DE CENÁRIOS.....	134
<b>3 BENJAMIN CONSTANT, RIOS E FRONTEIRAS.....</b>	<b>135</b>
3.1 A AMAZÔNIA .....	135
3.1.1 Histórico da Ocupação da Amazônia.....	138
3.1.2 A Mudança no Uso e Cobertura do Solo e o Desmatamento.....	143
3.2 AS DIFERENTES AMAZÔNIAS – DAS ESTRADAS AOS RIOS.....	149
3.2.1 A Várzea e a Terra-firme.....	150
3.2.2 A atuação do Poder Público no Alto Solimões.....	153
3.3 ORGANIZAÇÃO SOCIAL – COMUNIDADES.....	155
3.3.1 As relações políticas das comunidades.....	157
3.3.2 As relações econômicas.....	159
3.3.3 A Gestão do Trabalho.....	162
3.3.4 A Gestão da Produção.....	166
3.3.5 A Roça.....	171
3.3.6 A Pesca.....	175
3.3.7 O Sítio.....	178
3.3.8 O Extrativismo Animal e Vegetal.....	180
3.4 BENJAMIN CONSTANT.....	182
3.4.1. A comunidade de São João.....	186
<b>4 MODELIZAÇÃO DAS DINÂMICAS DE USO E COBERTURA DO SOLO EM BC.....</b>	<b>194</b>
4.1 A CONSTRUÇÃO DO MODELO TEÓRICO.....	195
4.1.1 O Modelo Teórico Preliminar (abordagem especialista).....	195
4.1.2 O Modelo Teórico Final (abordagem participativa).....	207
4.2 A FORMALIZAÇÃO DO MODELO EM UML.....	212
4.2.1 Os Diagramas de Classes.....	213
4.2.2 Os Diagramas de Atividades.....	220
4.3 A CODIFICAÇÃO DO MODELO EM CORMAS.....	224
4.3.1 Classes, Atributos e Métodos.....	225
4.3.2 Ordenamento da Simulação do Modelo.....	227
4.3.3 Visualização do Modelo.....	228
4.3.4 Ajuste e Análise de Sensibilidade do Modelo.....	229
4.3.5 A “Validação” do Modelo.....	230
<b>5 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS.....</b>	<b>232</b>

5.1 EMERGÊNCIA DE CENÁRIOS.....	238
5.2 CENÁRIOS SELECIONADOS PARA O ESTUDO DE CASO.....	243
5.2.1 Cenários pela variação da subvenção social.....	243
5.2.2 Cenários pela variação da população.....	244
5.2.3 Cenários pela variação da produtividade.....	244
5.3 CENÁRIOS PARA A COMUNIDADE DE NOVA ALIANÇA.....	245
<b>6 ANÁLISE DE CENÁRIOS.....</b>	<b>247</b>
6.1 A VARIAÇÃO DA SUBVENÇÃO SOCIAL.....	247
6.2 A VARIAÇÃO DA POPULAÇÃO.....	250
6.3 A VARIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE.....	252
6.4 CENÁRIOS PARA A COMUNIDADE DE NOVA ALIANÇA.....	254
<b>7 COMMOD: APROPRIAÇÃO PARA O EMPODERAMENTO E A AUTONOMIA.....</b>	<b>259</b>
7.1 A UTILIDADE DO MODELO.....	259
7.2 A RELAÇÃO ENTRE COMPLEXIDADE E SIMPLICIDADE.....	261
7.2.1 Por que simplificar um modelo?.....	262
7.2.2 Por que complexificar um modelo?.....	264
7.2.3 O desafio do modelizador: complexificar ou simplificar?.....	266
7.3 A EFETIVIDADE DO COMMOD.....	267
7.4 A APROPRIAÇÃO DO MODELO PELOS ATORES ENVOLVIDOS.....	269
7.5 O EMPODERAMENTO E A AUTONOMIA.....	273
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>278</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>289</b>

## INTRODUÇÃO

O significado da Amazônia tem se alterado nos últimos anos, com uma valorização ecológica de dupla face: a da sobrevivência humana e a do capital natural, sobretudo a megadiversidade e a água. Sabe-se que a Amazônia sul-americana corresponde a 1/20 da superfície terrestre e a dois quintos da América do Sul; contém um quinto da disponibilidade mundial de água doce (17%) e um terço das florestas mundiais latifoliadas, mas somente 3,5 milésimos da população planetária (BECKER, 2006). Por essas razões, Becker (2006) considerara a Amazônia como o coração ecológico do planeta, *heartland*.

A Amazônia está no centro da maioria dos grandes temas ambientais globais da atualidade: (i) conservação da biodiversidade, (ii) gestão dos recursos hídricos, (iii) emissão dos gases de efeito estufa, (iv) redução do desmatamento, etc. O novo valor atribuído ao potencial de recursos naturais confere à Amazônia o significado de fronteira do uso científico-tecnológico da natureza e, em sintonia com a política da formação de grandes blocos supranacionais, revela a necessidade de pensar e agir na escala da Amazônia sul-americana.

Os processos responsáveis pelas mudanças de uso e cobertura do solo e, conseqüentemente, pelo desmatamento são basicamente os mesmos para toda a Amazônia. Entretanto, existem variações regionais causadas por fatores locais referentes ao meio ambiente, a padrões históricos e culturais e também aos níveis distintos de organização social.

As discussões atuais sobre o futuro da região amazônica, geralmente, analisam (em uma visão físico-ambiental) a mudança do uso e cobertura do solo na região representada pelo arco do desmatamento que avança sobre a floresta. Para Becker (2006), a designação “Arco de Fogo”, ou “Arco do Desmatamento”, ou “Arco de Terras Degradadas” está ultrapassada ou constitui uma maneira reducionista de captar a realidade do uso da terra na região amazônica, pois é justo nesse arco que ocorrem as inovações.

Tal designação parece estar fortemente ancorada na interpretação da imagem de satélite captada a distância, isto é, do alto, sem o embasamento necessário e imprescindível dos processos históricos que moldaram as formas de ocupação e uso do território

amazônico, ao longo do tempo. Em uma análise socioeconômica mais realista, esse “avanço” pode ser analisado como a opção dos atores locais em modificar o uso e cobertura do solo (e conseqüentemente a sua cobertura vegetal) para melhoria (ou manutenção) de sua qualidade de vida.

Diversos trabalhos que envolve estudos de cenários têm sido desenvolvidos nas áreas de maior pressão antrópica, próximas ao “arco do desmatamento”, onde existem conflitos entre colonos, madeireiros, agricultores, pecuaristas e comunidades locais. Entretanto, a discussão de cenários ainda é incipiente nas regiões centrais da Amazônia, onde a presença das comunidades tradicionais é, geralmente, associada aos baixos impactos ambientais no local e também à uma possível sustentabilidade na utilização de recursos da floresta.

O presente estudo identificou os principais processos sociais que envolvem as dinâmicas territoriais na região de Benjamin Constant, município do estado do Amazonas, da região conhecida como Amazônia Ocidental, ou Amazônia Tradicional, ou ainda Amazônia dos Rios (LÉNA, 2002).

A área foi escolhida como foco do trabalho por duas de suas características intrínsecas. A primeira, por ser uma das que recebe menor pressão antrópica, onde o modelo de desenvolvimento predatório ainda não está consolidado. Entende-se, também por este motivo, que essa seja uma área na qual as características de ocupação ocorreram e ocorrem de forma similar aos demais locais da Amazônia Tradicional e, portanto, o trabalho pode ter um grande potencial de reprodutibilidade.

A segunda característica da área fundamental a efetiva realização do trabalho é a presença de um grupo de pesquisadores, de natureza multidisciplinar, que trabalharam e ainda trabalham nessa região, especificamente, aqueles do projeto BIODAM, do NERUA e da Rede SMART. Devido a esse histórico de cientistas na região e da disponibilidade de realização de atividades em rede, o trabalho dispôs de um grande banco de dados primários e, principalmente, de um acesso muito mais fácil às comunidades, as quais estão acostumadas a participar de atividades de pesquisa-ação junto à equipe do NERUA.

Após a qualificação dos dados disponíveis sobre as dinâmicas territoriais locais, foi realizado um trabalho de prospectivas de cenários aplicado a algumas comunidades

tradicionais de Benjamin Constant. Para tanto, foi construído um modelo de simulação multiagentes, a partir da caracterização e análise dos parâmetros de decisão dos principais atores envolvidos no processo de mudança do uso e cobertura do solo na região. Vale ressaltar que o trabalho realizado perseguiu, em todas as suas atividades, uma abordagem construtivista e participativa, denominada de modelização de acompanhamento – *Companion Modelling* (COMMOD, 2005).

## OBJETIVOS

O **objetivo geral** foi realizar uma análise prospectiva de cenários das dinâmicas territoriais e sociais que envolvem as mudanças no uso e cobertura do solo nas comunidades rurais da região de influência do município de Benjamin Constant, no estado do Amazonas.

Para tanto, foi elaborado um modelo de simulação socioambiental que permite estabelecer diferentes cenários para a evolução das dinâmicas territoriais e sociais na região. O modelo é dinâmico e utiliza a ferramenta de modelização por Simulação de Sistemas Multiagentes (SMA) (FERBER, 1995). A abordagem utilizada na construção do modelo foi a modelização de acompanhamento – ComMod (COMMOD, 2005).

Como **objetivos específicos**, temos:

- Realizar uma avaliação qualitativa da dinâmica de mudanças do uso e cobertura do solo da região,
- Avaliar o comportamento dos agentes locais quanto ao uso e cobertura do solo,
- Sistematizar uma base de dados regional, para a área selecionada para o estudo, o que gera conhecimento regional,
- Fazer prognósticos, pela simulação de cenários para as diferentes dinâmicas territoriais e sociais, admitindo mudanças nas suas variáveis condicionantes (parâmetros de decisão dos agentes locais),
- Verificar o potencial de “reprodutibilidade” do modelo elaborado para outras comunidades tradicionais.
- Verificar o real nível de “usabilidade” da ferramenta SMA e da abordagem ComMod.

## HIPÓTESES E QUESTÕES

Algumas hipóteses e questões nortearam a realização deste trabalho:

- i) O Sistema Multiagentes é uma ferramenta adequada para a modelização das dinâmicas territoriais e sociais, especificamente, em uma região da amazônia tradicional?
- ii) A Modelização de Acompanhamento é uma abordagem adequada para a modelização das dinâmicas territoriais e sociais de populações tradicionais da amazônia?
- iii) A taxa de mudança do uso e cobertura do solo na região é função da renda dos agentes e/ou da estagnação econômica da região?
- iv) A taxa de mudança do uso e cobertura do solo na região é função da limitação tecnológica da produção agropecuária na região?

O texto está dividido em três partes: (i) a primeira contém a reflexão teórica realizada para planejar este estudo, com base, principalmente, nos conhecimentos científicos convencionais; (ii) a segunda parte contém todo o trabalho (especialista e participativo/coletivo) de construção do modelo e dos cenários de simulação, executados, sempre que possível, de forma a mesclar a participação dos conhecimentos de especialistas e dos conhecimentos populares dos atores locais e (iii) a terceira parte apresenta uma segunda reflexão teórica, fruto da análise da confrontação entre o planejamento e a realização do modelo e as conclusões e recomendações deste trabalho.

A primeira parte contém três capítulos. O primeiro capítulo é reservado ao estado da arte dos principais temas utilizados na elaboração do modelo, agrupados em cinco grandes “áreas” temáticas: (i) prospectivas de cenários, (ii) modelos socioambientais, (iii) simulação de sistemas multiagentes, (iv) modelização de acompanhamento - ComMod e (v) modelização participativa: a validade das representações e a validação das simulações. O segundo capítulo apresenta a abordagem metodológica utilizada neste trabalho, que integrou abordagens do tipo especialista e do tipo participativa. O terceiro capítulo é reservado à caracterização da região de Benjamin Constant, que tem características tanto da “Amazônia dos Rios” (LÉNA, 2002) quanto da “Amazônia das fronteiras” (BECKER, 2006) e foi dividido em quatro temas principais: (i) uma descrição da Amazônia que passa pelo histórico de sua ocupação e pelas suas constantes mudanças no uso e cobertura do solo, como o desmatamento; (ii) uma descrição da Amazônia dos Rios, que passa pela várzea amazônica, especialmente na região do alto Solimões; (iii) uma descrição da organização social das comunidades de várzea desta Amazônia e (iv) uma descrição de Benjamin Constant.

A segunda parte vai do quarto ao sexto capítulo. O quarto capítulo descreve, de forma detalhada, o processo de modelização realizado neste estudo, que parte do modelo conceitual, passa pelo modelo formalizado em UML (*Unified Modelling Language*) e chega ao modelo implementado na plataforma Cormas. O quinto capítulo apresenta as simulações dos cenários selecionados. O sexto capítulo apresenta toda a discussão e a análise dos cenários simulados.

A terceira parte contém os dois últimos capítulos da tese. O sétimo capítulo apresenta uma discussão sobre o modelo elaborado e as reais possibilidades de sua apropriação pelos atores locais, com o objetivo de empoderamento e autonomia das comunidades envolvidas. O último capítulo apresenta as conclusões do trabalho realizado e as recomendações de possível continuidade em trabalhos nesta linha de pesquisa.

As três partes desta tese podem ser lidas em qualquer ordem, pois a leitura de uma parte não é pré-requisito para a leitura de outra. A ordem de apresentação dos capítulos dentro da primeira e terceira partes do texto é uma sugestão do autor, mas também não precisa ser seguida para a leitura e compreensão daquele capítulo. Entretanto, a ordem de apresentação dos capítulos na segunda parte é altamente recomendável a ser seguida como fluxo de leitura de seus conteúdos, já que há um direcionamento intencional da agregação de suas informações. O fluxograma apresentado na Figura I.01 representa a organização deste trabalho e pode ajudar o leitor a melhor explorá-lo.

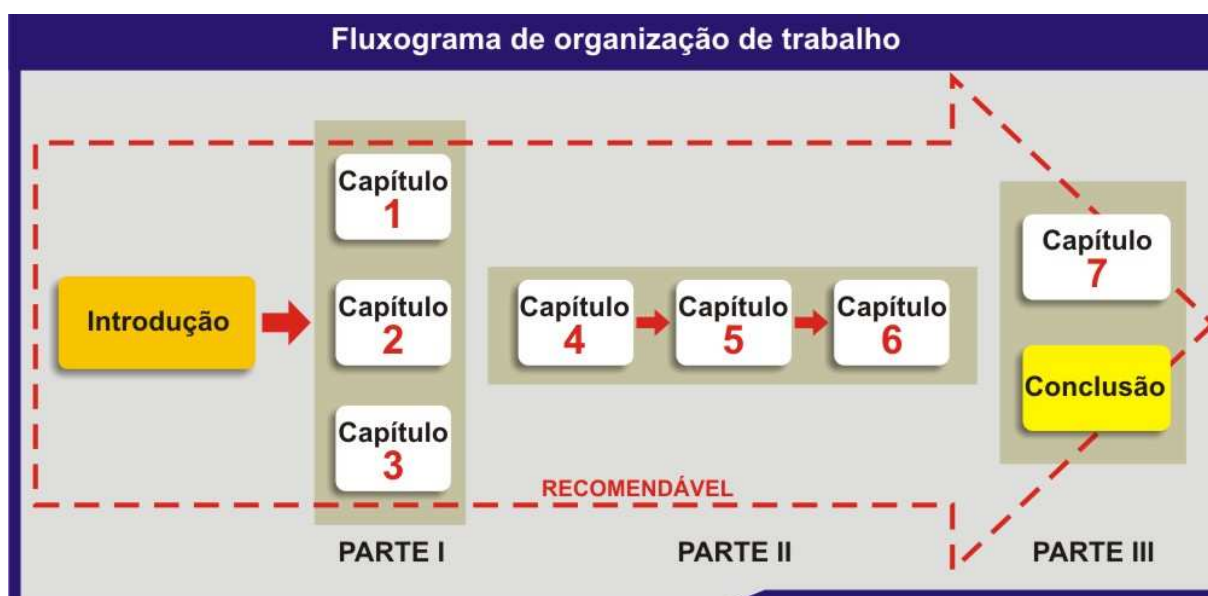


Figura I.01 - Fluxograma da Organização do Trabalho

# 1 ESTADO DA ARTE

Este primeiro capítulo é reservado ao estado da arte dos principais temas pesquisados e utilizados na elaboração do modelo, os quais foram agrupados em cinco grandes “áreas” temáticas: (i) prospectivas de cenários; (ii) modelos socioambientais; (iii) simulação de sistemas multiagentes; (iv) modelização de acompanhamento – ComMod - e (v) modelização participativa: a validade das representações e a validação das simulações. O fluxo de leitura dessas partes como aparece neste capítulo não é obrigatório, mas é aconselhável já que há uma perspectiva de “focalização” do conhecimento.

## 1.1 PROSPECTIVAS DE CENÁRIOS

Inicialmente cabe definir o que são “cenários”. Simon (2006) apresenta uma lista de definições de cenários feitas por diversos estudos e pesquisas, conforme o Quadro 1.01.

Fonte	Definição de Cenário
Schwartz (1991)	Referente ao planejamento de políticas. “Uma ferramenta para ordenar as percepções de alguém sobre os ambientes alternativos futuros nos quais as suas decisões deverão ser tomadas”.
Shoemaker (1993)	Referente ao planejamento corporativo. “Descrições focalizadas de futuros fundamentalmente diferentes apresentados em um tipo de <i>script</i> ou uma forma de narrativa”.
Godet e Roubelat (1996)	Referente ao planejamento de políticas. “Prospectiva de cenários é uma descrição de uma situação futura e o curso dos eventos os quais permitem alguém de sair de uma situação de origem e ir em direção a uma situação futura”.
Greeuw et al. (2000)	“Cenários <i>backcasting</i> se baseiam em uma situação desejada futura e oferecem um número diferente de estratégias para atingir esta situação”
Van Notten e Rotmans (2001)	“Cenários são descrições de futuros possíveis que refletem perspectivas diferentes sobre o passado, o presente e o futuro”.
Alcamo (2001)	Referente à avaliação ambiental internacional. “O IPCC descreve cenários como imagens do futuro, as quais não são nem visões nem previsões, mas sim uma imagem alternativa de como o futuro poderia se revelar” .
United Nations Environment Program (2002)	Referente à avaliação ambiental internacional. “Cenários são descrições de jornadas para possíveis futuros. Eles refletem considerações diferentes sobre como as tendências atuais se desenvolverão, como incertezas críticas se darão e que novos fatores deverão ser considerados”.
Henrichs (2003)	Referente à avaliação ambiental internacional. “Uma descrição plausível de como o futuro pode se revelar baseada em um conjunto de proposições do tipo if-then-else”.
Van der Heijden (2004)	Referente à o planejamento de políticas. “Descrições desafiadoras e internamente consistentes de futuros possíveis (...) com o intuito de serem representativas das faixas de possíveis desenvolvimentos e resultados futuros no mundo externo”.
Dreborg (2004)	“Previsões, via de regra, são condicionais, ou seja, elas são baseadas em um conjunto de considerações. Alguns analistas chamam isto de cenários”.

Quadro 1.01 – Definições de Cenários (adaptado de SIMON, 2006)



Segundo Porto *et al.* (2005), cenários são imagens do futuro, descritas “cena por cena”. Cenários também podem ser descritos como jogos coerentes de hipóteses. Uma definição mais detalhada é que cenários são o conjunto formado pela descrição de uma situação de origem e dos acontecimentos que conduzem à situação futura, e esse conjunto de acontecimentos e situações deve apresentar uma certa coerência.

Cada cenário procura estabelecer uma sucessão lógica de eventos, de forma que, partindo-se do presente (ou de uma dada situação), possa se visualizar como pode se chegar, passo a passo, a uma situação futura (Figura 1.01). A perspectiva de cenários é uma reflexão sistemática que visa orientar a ação presente à luz dos futuros possíveis. A perspectiva de cenários não pretende eliminar a incerteza, visa somente organizá-la e reduzi-la a um leque de possibilidades que seja administrável.

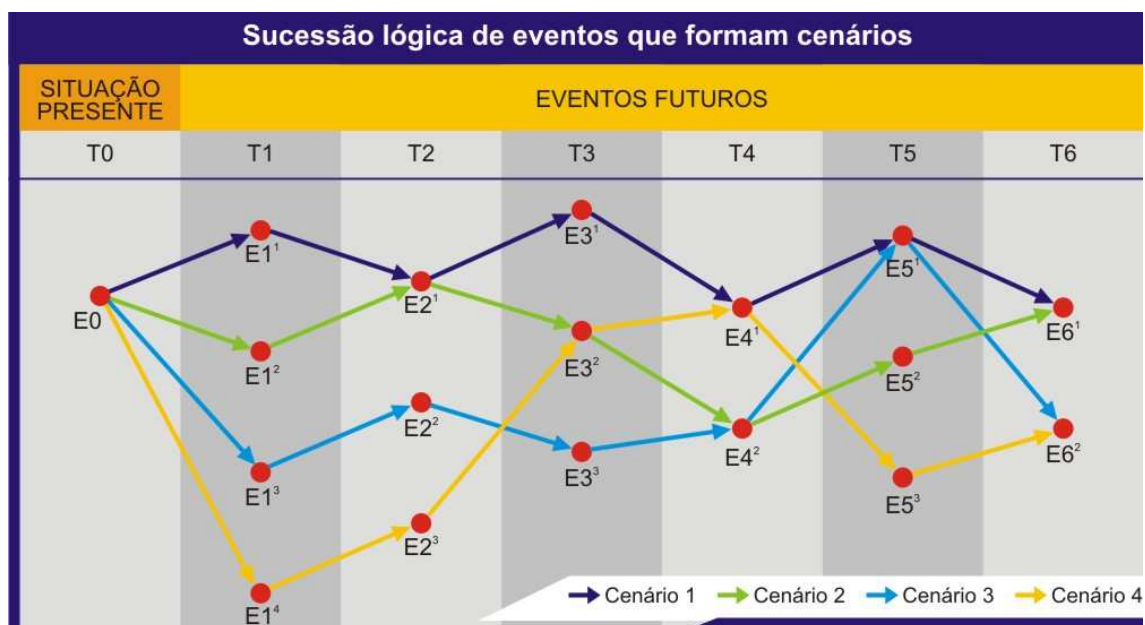


Figura 1.01 – Sucessão lógica de eventos futuros que formam cenários

A revisão bibliográfica de cenários ou de métodos de cenários tem poucas citações de seu uso na perspectiva da microescala (SIMON, 2006). A maioria das reflexões sobre os princípios e conceitos das pesquisas em cenários foi produzida em referência a empresas corporativas e processos de tomada de decisão na macroescala. Os fundamentos do uso da perspectiva de cenários com um foco geográfico mais limitado ou um foco mais social tem tido pouca consideração até o momento.

Desde os anos 50, o interesse em explorar o futuro se desenvolveu em um grande número de setores (militar, negócios, industrial etc.), e uma variedade de disciplinas foi se envolvendo nos estudos de futuro (administração, ciências sociais e econômicas, ciências naturais etc). Um grupo diversificado de tomadores de decisão, consultores e pesquisadores desenvolveu e usou cenários de diferentes maneiras (GREEUW et al. 2000). Atualmente, os estudos de futuro consistem num conjunto vasto de estudos e abordagens, e a área mais parece um “multicampo muito embaralhado” (MARIEN, 2002).

De um modo geral, a metodologia básica das previsões tradicionais é a extrapolação para o futuro de tendências verificadas no passado. Entretanto, a abordagem meramente extrapolativa está historicamente superada e, na maioria dos casos, seu uso é inadequado ou insuficiente para prognosticar o futuro na grande maioria dos casos (PORTO et al., 2005).

Para Porto et al. (2005), a abordagem extrapolativa tem uma incapacidade de lidar com a incerteza: seus métodos não possuem a flexibilidade para antecipar ou evidenciar mudanças qualitativas no futuro, fenômeno cada vez mais freqüente. Mas a principal deficiência da metodologia extrapolativa é ver o futuro com os “olhos” no passado. Isto corresponde a ignorar todas as mudanças latentes ou em andamento e admitir a reprodução das condições vigentes até o horizonte da projeção.

Outra alternativa para previsões consiste em projetar para o futuro a situação vigente no presente, ou em um passado muito recente. O uso desta abordagem tem demonstrado que, como menosprezam o passado, mas também minimizam ou ignoram a possibilidade de mudanças qualitativas no futuro, tais projeções baseadas exclusivamente na conjuntura presente induzem a erros muito mais freqüentes que os da extrapolação simples.

Atualmente, a análise prospectiva por meio de cenários é a alternativa que parece ser a mais adequada para trabalhar com o futuro. A prospectiva, segundo Godet (1983; apud PORTO et al., 2005), é uma reflexão sistemática que visa orientar a ação presente à luz dos futuros possíveis. Atualmente, a reflexão prospectiva se impõe em razão dos efeitos conjugados de dois fatores principais:

- a) a aceleração das mudanças técnicas, econômicas e sociais que exige uma visão a longo prazo;
- b) os fatores de inércia ligados às estruturas e comportamentos, cuja dinâmica é peculiar.

Portanto, é preciso considerar as incertezas quanto ao futuro e aprender a lidar com elas. Diversos métodos e técnicas têm sido criados, desde modelos matemáticos sofisticados até métodos rigorosos de organização, estruturação e hierarquização de variáveis dinâmicas em interação na mudança social. Entre estes, o método de cenários pode ser considerado como um dos mais completos processos para a antecipação de futuros (PORTO et al., 2005). Os cenários reduzem a incerteza em frente ao futuro sem cair no determinismo, ao trabalhar com mais de uma alternativa.

Cabe ressaltar que a antecipação de futuros prováveis por meio de cenários não é apenas um exercício especulativo, de pouca utilidade prática. Quando bem executada, ela serve para preparar a ação em frente a discontinuidades, oportunidades ou ameaças possíveis. Na verdade, não importa qual será o futuro exato, o mais importante é ter ações pré-planejadas para executar no caso em que um cenário específico ocorra (GEUS, 1997; apud PORTO et al., 2005).

Ao contrário das concepções determinísticas, a análise prospectiva parte do princípio de que o futuro é incerto e indeterminado e os atores sociais têm múltiplas alternativas. O pressuposto central é que o futuro é construído pela prática social, pela ação dos homens organizados que têm projetos, vontades, conflitos e, sobretudo, fazem escolhas e correm riscos com uma “visão” dos prováveis futuros (PORTO et al., 2005). A história é uma resultante da ação dos homens e pode seguir caminhos diversos, definidos pelos interesses em jogo, pelas circunstâncias políticas e pelos constrangimentos culturais.

Segundo Porto et al. (2005), quatro condições devem ser consideradas na formulação e análise de cenários:

- a) no mundo real, nenhum cenário acontece exatamente como descrito;
- b) a trajetória da realidade evolui dentro do conjunto de cenários traçados, combinando aspectos de um e de outro;

- c) um bom conjunto de cenários tem grande utilidade como sistema de referência para atingir um futuro determinado;
- d) um conjunto de cenários, explícita e adequadamente utilizado, reduz os conflitos de percepção a respeito do futuro e melhora a qualidade das decisões estratégicas, tornando-as mais controláveis e avaliáveis.

Segundo Börjeson et al. (2006), as principais técnicas utilizadas para os estudos de cenários são:

- a) técnicas geradoras, para gerar e coletar idéias, conhecimento e pontos de vista (oficinas, painéis ou pesquisas);
- b) técnicas integradoras, para integrar as partes em um todo (modelos matemáticos como análises de séries temporais, modelos explicativos e modelos de otimização ou modelos conceituais);
- c) técnicas de consistência, para garantir a consistência entre ou dentro de cenários (análises de impacto cruzado ou análises morfológicas de campo).

Alcamo (2001) descreve os elementos principais, típicos de cenários em estudos ambientais:

- a) descrição de mudanças *step-wise* (temperatura e outras variáveis climáticas, por exemplo);
- b) forças direcionadoras, que são os fatores determinantes que influenciam as mudanças descritas nos cenários (população, crescimento econômico, eficiência energética);
- c) ano-base, que é o tempo inicial do cenário; para cenários quantitativos, geralmente, é o ano mais recente com bases de dados adequadas disponíveis;
- d) horizonte e “passos” do tempo; o horizonte descreve o futuro mais distante coberto pelos cenários; o passo são as subdivisões (equivalentes e sucessivas) do tempo compreendido entre o horizonte e o ano-base; quanto maior o número de passos, maior o esforço analítico necessário.

Godet e Roubelat (1996) propuseram uma classificação de cenários de acordo com sua abrangência no “espaço de cenários” (Figura 1.02): (i) cenários possíveis, tudo que pode ser imaginado, (ii) cenários realizáveis, tudo que se mantém possível quando se consideram as restrições, (iii) cenários desejáveis, os quais atendem interesses e valores considerados (são possíveis, no entanto podem não ser realizáveis).

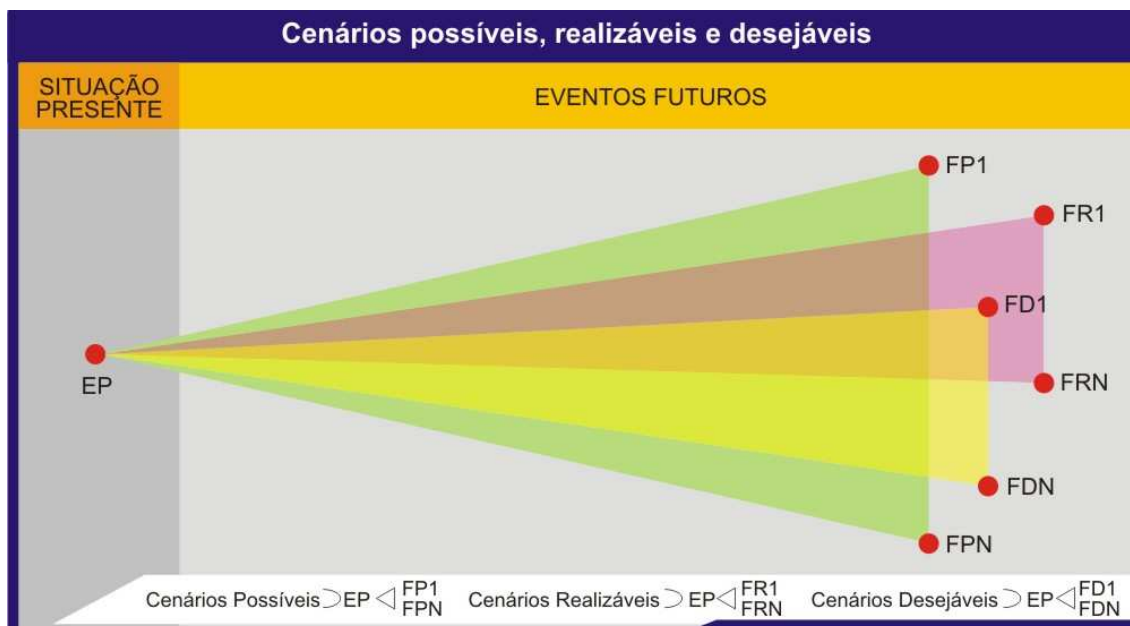


Figura 1.02 – Cenários Possíveis, Realizáveis (prováveis) e Desejáveis (preferenciais)

A variedade nas abordagens usadas em prospectivas de futuro pode, portanto, agrupar três categorias de exploração de futuros específicas (BÖRJESON et al., 2006): (i) os prováveis (análogo aos realizáveis), (ii) os possíveis, e (iii) os preferenciais (análogo aos preferenciais). Essas três abordagens respondem respectivamente às três questões que um tomador de decisão pode fazer sobre o futuro: (i) ‘O que vai acontecer?’ (ii) ‘O que pode acontecer?’ e (iii) ‘Como uma meta específica pode ser alcançada?’. Três modos de raciocínio clássicos correspondentes a estas categorias têm sido desenvolvidos: (i) o pensamento preditivo, para analisar cenários de futuros prováveis; (ii) o pensamento exploratório (a lógica das eventualidades), para analisar cenários de futuros possíveis e (iii) o pensamento visionário, para analisar cenários de futuros preferenciais (DREBORG, 2004).

### 1.1.1 O pensamento Preditivo

O pensamento preditivo tem uma longa tradição que retoma à antiguidade. A idéia é entender ou pelo menos ter uma indicação do que vai acontecer tentando encontrar o desenvolvimento mais similar no futuro, de forma a procurar estar mais bem preparado. Os cientistas entendem a previsão como uma melhor estimativa possível para as condições futuras; quanto menos sensível for a previsão em relação aos condutores do estudo, melhor. Börjeson et al. (2006) subdividem os cenários preditivos em: (i) previsões, que desenvolvem cenários “inerciais”, sem grandes

modificações e (ii) cenários “o que-se” (*what-if*), que investigam o desenvolvimento de cenários sob condições específicas de ocorrência de eventos futuros relevantes que modificam substancialmente as condições iniciais.

O pensamento preditivo, tradicionalmente, aplica técnicas quantitativas e está baseado em (DREBORG, 2004): (i) extrapolação de tendências, ou (ii) modelos preditivos. Quando há poucos dados, modelos inadequados, falta de tempo ou recursos para realizar um estudo científico profundo, ou quando a complexidade do problema a tratar é muito grande, os painéis de especialistas podem se mostrar mais apropriados. A técnica mais utilizada nesse caso é o Método Delphi clássico ou modificado (BÖRJESON et al. 2006).

A extrapolação de tendências tem como hipótese central: os padrões ocorridos no passado continuarão a ocorrer no futuro. A análise pode ser quantitativa ou qualitativa e os modelos utilizados são denominados modelos projetivos (VAN ITTERSUM et al., 1998). No caso de estudos sobre o uso da terra, esses modelos estudam a cobertura da terra no passado e as mudanças no uso da terra em relação a parâmetros biofísicos e socioeconômicos, os modelos projetam as tendências do futuro gerando certas alterações nesses parâmetros. Algumas hipóteses sobre o desenvolvimento do futuro são feitas para demonstrar como foram modelizadas as dinâmicas, que são conhecidas como cenários-base na literatura.

Os métodos preditivos foram desenvolvidos para responder a cenários com questões do tipo “o que-se?”. A idéia é que o futuro não pode ser visto apenas como uma extrapolação das tendências atuais, e a meta é analisar os efeitos de mudanças prováveis, como um resultado de quais otimizações ou simulações são necessárias. O uso de modelos preditivos geralmente se baseia em modelos computacionais (de diferentes tipos) para representar o sistema em estudo. No campo de mudanças do uso da terra, a técnica de *farm household* (FHM) é muito utilizada, na qual os cenários de políticas simuladas são combinações alternativas de medidas políticas existentes (políticas de preços, reforma estrutural, acesso a tecnologias apropriadas etc.). Os impactos desses cenários de políticas são geralmente avaliados confrontando-os com os resultados de uma simulação de cenário-base no mesmo modelo, no qual os comportamentos e as atividades atuais são refletidos (KRUSEMAN e BADE, 1998; apud SIMON, 2006).

### 1.1.2 O pensamento Exploratório

O modo de pensamento exploratório, também denominado de lógica das eventualidades, é caracterizado pela abertura a diversos desenvolvimentos diferentes do futuro. Novamente a idéia é estar mais bem preparado para resolver situações emergentes com a certeza de que ninguém pode saber o que realmente vai acontecer. A meta em estudos de cenários exploratórios é explorar situações ou desenvolvimentos que são considerados possíveis de ocorrer, a partir de uma variedade de perspectivas.

Tipicamente, um conjunto de cenários é trabalhado para expandir o escopo de desenvolvimentos possíveis (BÖRJESON et al. 2006), o que se assemelha aos cenários preditivos “o que se?”. Mas os cenários exploratórios são elaborados com um horizonte de tempo muito longo, e diferentes valores são atribuídos a cada cenário. O objetivo principal é estimular um pensamento criativo e ganhar novos pontos de vista sobre a forma como os processos sociais influenciam um ao outro (GREEUW et al., 2000). Ademais, em cenários exploratórios, o foco está muito mais no desenvolvimento do cenário (o processo como meio) do que nas saídas ou resultados do processo (o processo como fim) (VAN NOTTEN et al, 2003). Em um exercício de cenários exploratórios, o processo é geralmente tão importante quanto o produto, em alguns casos, o produto chega a ser descartado ao final do processo.

As metas de estudos de cenários exploratórios geralmente são (BÖRJESON et al. 2006):

- a) apoiar o planejamento das decisões (política, gestão, desenvolvimento local),
- b) educar/ensinar usuários, como estudantes, cidadãos ou pupilos,
- c) aumentar a consciência dos usuários, como políticos e atores locais,
- d) apoiar o processo de comunicação entre os participantes,
- e) explorar o espaço de oportunidades e apoiar a formulação de objetivos desejáveis e praticáveis,
- f) compreender melhor o funcionamento de um sistema dinâmico por meio de cenários e observar a influência de diversos indicadores.

Börjeson et al. (2006) subdivide os cenários exploratórios em: (i) cenários externos, que focam em fatores que estão fora do controle dos atores relevantes do

sistema, e (ii) cenários estratégicos, que focam em fatores internos, incorporando as ações políticas internas.

O método mais utilizado para construir cenários externos é o planejamento de cenários, também conhecido como Análise de Cenários ou Método de Aprendizado de Cenários (BOUSSET et al., 2005). O planejamento de cenários foi estabelecido para criar estratégias de negócios que sejam robustas mediante uma faixa de diferentes desenvolvimentos de cenários possíveis (VAN DER HEIJDEN, 2004; apud SIMON, 2006). O planejamento de cenários tem demonstrado uma habilidade para ajudar formuladores de políticas a antecipar fraquezas e inflexibilidades ocultas nos métodos e nas organizações. Ele também contribui para a criação de um entendimento comum em organizações, sobretudo, quando pessoas de diferentes históricos e com diferentes objetivos se encontram.

O planejamento de cenários é uma abordagem para estratégias que considera as incertezas de uma maneira que o planejamento estratégico tradicional não consegue. Duas técnicas são utilizadas geralmente para mapear as incertezas: a análise dimensional e a técnica dos eixos de cenários. Uma característica típica do planejamento de cenários contemporâneo é o envolvimento dos tomadores de decisão e dos atores locais importantes no processo de desenvolvimento dos cenários, em adição ao tradicional grupo composto por especialistas e cientistas. O envolvimento de atores locais é feito em diferentes níveis, de uma simples entrevista a oficinas (BÖRJESON et al, 2006), com o objetivo de garantir a qualidade das entradas científicas no processo de construção de cenários. Esta tendência remonta os objetivos da “ciência pós-normal” para formular um processo de produção do conhecimento mais orientado socialmente (RIS et al., 2006).

Chermack et al. (2006; apud SIMON, 2006) descrevem, de forma clara e coerente, os passos metodológicos para realizar o planejamento de cenários:

- a) Identificar uma agenda organizacional estratégica, incluindo hipóteses e considerações sobre visão e pensamento estratégicos.
- b) Confrontar as hipóteses existentes dos tomadores de decisão organizacionais pelo questionamento dos seus modelos mentais correntes sobre o ambiente externo.
- c) Examinar sistematicamente o ambiente externo às organizações para melhorar o entendimento da estrutura das forças condutoras de mudanças.



- d) Sintetizar as informações sobre futuros eventos possíveis em três ou quatro alternativas (desenhos ou *story-lines*) de futuros possíveis.
- e) Desenvolver narrativas das *story-lines* para torná-las relevantes e atraentes para os tomadores de decisão.
- f) Utilizar as histórias para ajudar os tomadores de decisão a rever seu pensamento estratégico.

Para Rotmans et al. (2000) uma *Story-line* pode ser definida em uma abordagem que envolve uma combinação de conhecimento e especialização providos por vários especialistas na forma de pesquisa da literatura e um formato livre de pensamento criativo por atores locais selecionados. Isso leva a uma multiplicidade de idéias, as quais são então estruturadas por meio de seu agrupamento e priorização, o que leva às denominadas *story-lines*. *Story-lines* são sequências de eventos, conectados de uma maneira lógica e consistente. Essas histórias geram caminhos de futuro não convencionais, os quais vão além da percepção usual. As *story-lines* produzidas pelos atores locais são agregadas primeiramente em um conjunto limitado de *story-lines* comuns e depois são expandidas e enriquecidas, utilizando-se o material da pesquisa.

Os cenários estratégicos são utilizados para testar diferentes cenários e estudar seus impactos sobre algumas variáveis-alvo. Esse método tem algumas similaridades com a construção de cenários “o que se?”, vários estudos integram dados quantitativos e o uso de técnicas computacionais. Em alguns casos, os modelos de programação e os modelos de simulação têm sido utilizados para testar cenários estratégicos. Na área de mudanças de uso da terra, um procedimento freqüente é a programação linear de múltiplos objetivos para gerar opções ótimas de uso da terra sob um conjunto diferente de objetivos e restrições (VAN ITTERSUM et al., 1998).

Apesar de os modelos de programação linear serem os mais comumente encontrados na literatura, às técnicas de modelização testadas e estabelecidas têm sido agregados métodos como autômatos celulares e modelos baseados em agentes (MANSON, 2002). O uso de sistemas multiagentes permite capturar mais facilmente as interações espaciais e temporais, e tem provado uma boa adaptabilidade quando a heterogeneidade e as interações entre agentes e ambientes são significativas (ETIENNE e LE PAGE, 2002; BOUSQUET e LE PAGE, 2004).

O método de análise de cenários para empoderamento dos atores locais difere do método clássico por envolver completamente os usuários no processo de construção de cenários alternativos. Eles incluem uma sucessão de passos “padrão” em vez de variações nos índices de acordo com os recursos dados, os incentivos e as capacidades organizacionais dentro do projeto.

Os onze passos para realizar um processo participativo de construção de cenários exploratórios em contextos de desenvolvimento local foram descritos por Wollenberg et al. (2000):

1. Solicitar aos participantes uma discussão sobre as diversas incertezas.
2. Solicitar aos participantes quais dimensões e faixas de importância e incerteza eles preferem explorar em mais detalhes através de cenários possíveis no sistema em estudo.
3. Para cada incerteza, é desejável especificar um conjunto de cenários demonstrando uma faixa possível de valores, baseados em pressuposições ou princípios, e destacando os riscos potenciais de cada cenário.
4. Para estimular a criatividade e trazer à tona “pólos” no cenário proposto, é apropriado utilizar saídas extremas (não apenas aquelas previsíveis). Deve-se focalizar primeiro em temas divergentes (em vez daqueles que refletem gradientes como altos, médios e baixos valores) mesmo que sejam incluídos temas indesejáveis, para criar quebras nas tendências históricas e construir o “cenário anterior” a partir de futuros imaginados, com o objetivo de não cair em simples extrapolação das tendências atuais.
5. Escolher um número de cenários iniciais para gerar os cenários correspondentes a eles no desenvolvimento de um tema específico.
6. Formar pequenos grupos e atribuir um cenário-tema para cada grupo.
7. Solicitar aos participantes em cada grupo que escolham um tempo-alvo no futuro, para o qual eles esperam que a incerteza perca força e ocorra um bom impacto no cenário-tema.
8. Solicitar a cada grupo que desenhe uma figura (ou exprima de outra forma) da condição presente e futura relacionadas ao seu cenário-tema.
9. Solicitar aos participantes que descrevam os recursos, atores, instituições, eventos e relações entre eles em cada figura (presente e futuro).
10. Fazer os participantes narrarem uma história que explique o que aconteceu (ou acontece) para fazer a transição entre as figuras do presente e do futuro. Para que essa história seja uma *story-line*, é necessário, durante a narrativa da história,

dar assistência aos participantes e trabalhar com eles para identificar tendências previsíveis que afetam os elementos, as incertezas e os principais modificadores de curso potenciais.

11. Trabalhar com os participantes para desenvolver uma forma de expressar sua estória e destacar os pontos principais.

Lancker e Nijkamp (1999; apud SIMON, 2006), da sua vez, descreveram os cinco passos necessários para realizar a construção de cenários estratégicos:

1. Uma variável-meta é definida, por exemplo, o desenvolvimento sustentável agrícola.
2. Alguns indicadores relevantes são selecionados conforme a variável-meta e os marcos do sistema estudado. Esses indicadores podem ser biofísicos, sociais ou econômicos. Eles são geralmente definidos por um painel de especialistas.
3. Um valor limite crítico (VLC) é estabelecido para cada indicador, geralmente pelo mesmo painel de especialistas. Para considerar as incertezas, os especialistas devem estabelecer uma faixa aceitável de VLC (mínimo e máximo).
4. Alguns cenários políticos são formulados. A faixa de políticas possíveis que afetam a variável-meta é mensurável, motivo pelo qual apenas algumas poucas políticas divergentes são escolhidas. Alguns estudos prévios podem ser úteis para escolher os cenários políticos que devem ser analisados.
5. Uma análise de impactos quantitativa é feita para cada cenário político pelos indicadores escolhidos e sua respectiva faixa de VLC.

### **1.1.3 O pensamento Visionário**

O pensamento visionário, ou pensamento normativo, significa visualizar como a sociedade (ou um setor dela, ou uma atividade específica) pode ser concebida para melhorar seu modo de funcionamento atual. Pretende-se sugerir soluções para um problema social fundamental ao se estabelecerem metas visionárias e se explorarem os caminhos que levam a atingir essas metas.

Börjeson et al. (2006) subdividem os cenários normativos em: (i) cenários preservadores, construídos para descobrir como uma meta específica pode ser atingida de forma mais eficiente, respondendo à pergunta “Como uma meta X pode ser atingida realizando pequenos ajustes na situação atual?”; e (ii) cenários

transformadores, elaborados quando um pequeno ajuste no desenvolvimento corrente não é suficiente e uma quebra da tendência é necessária para atingir as metas estabelecidas, respondendo à pergunta “Como uma meta X pode ser atingida quando a estrutura central do sistema atual necessariamente será alterada?”. O primeiro tipo (cenários preservadores) é utilizado, principalmente, para planejamento regional. O segundo tipo (cenários transformadores) é o mais encontrado na literatura científica e está fortemente ligado à abordagem de *backcasting* (DREBORG, 1996; ROBINSON, 2003).

A abordagem de *backcasting* pode ser descrita como um exercício no qual se trabalha dos cenários desejáveis para trás com o objetivo de se determinar que tipo de medidas seriam necessárias para atingi-lo. O uso de métodos de *backcasting* não é apenas sobre como futuros desejáveis podem ser atingidos, mas também sobre a análise dos níveis para os quais futuros indesejáveis podem ser evitados ou enfrentados (ROBINSON, 1990).

A abordagem de estudos de futuro pelo pensamento visionário envolve o desenvolvimento de cenários normativos (também conhecido por cenários antecipatórios ou prescritivos) indicado para explorar a factibilidade e as implicações de se atingir pontos finais ou um conjunto de metas desejado. Essa abordagem pretende responder à questão “O que você deve fazer para atingir uma meta definida?” (ROBINSON, 2003). O modo de pensamento visionário pode ser ilustrado pela afirmação do gato (na conhecida fábula “Alice no país das maravilhas”) “Se você não sabe para onde quer ir, não importa qual estrada você seguirá”. Imagens (ou visões) de futuros desejáveis (sustentáveis) são definidas, em seguida deve-se “olhar para trás” para descobrir como esse futuro desejável pode ser atingido, antes de definir e planejar atividades e estratégias de desenvolvimento que levem para esse futuro desejável (QUIST e VERGRAGT, 2006).

Devido à sua característica normativa de solução de problemas, o modo de pensamento visionário é mais indicado para problemas e soluções de longo prazo (QUIST e VERGRAGT, 2006), nos casos de problemas complexos e nos casos de necessidade de grandes mudanças (DREBORG, 2004; apud SIMON, 2006) no sistema. Essa abordagem normativa tem a vantagem adicional de introduzir as questões das escolhas políticas sob análise, o que a torna mais transparente quanto a

impossibilidade de se criar um manto aparentemente neutro da objetividade científica para justificar decisões tomadas por outras razões (ROBINSON, 2003).

Os nove passos para realizar processo de construção de cenários visionários em contextos de desenvolvimento local foram descritos por Wollenberg et al. (2000):

1. Solicitar aos participantes que produzam uma visão do que eles gostariam de ver modificado no seu sistema. A questão pode ser geral ou específica.
2. Dar aos participantes a chance de refletir individualmente ou em grupos focais de discussão para iniciar o processo visionário. Conforme o nível de complexidade da informação desejada na visão ou a quantidade de consultas a informações adicionais necessárias, este passo pode levar desde alguns minutos até dias.
3. Solicitar aos participantes que apresentem seus cenários para os outros. Meios simples como esquemas em quadros negros ou papéis pardos ou enquetes teatrais podem ser suficientes. As apresentações devem ser acompanhadas por explicações dos criadores.
4. Facilitar a discussão entre os participantes sobre as implicações dos cenários apresentados e os pontos de ação relacionados.
5. Solicitar aos participantes que caracterizem os recursos atuais, atores, instituições, eventos e relações entre eles (correspondentes à imagem atual do sistema).
6. Solicitar aos participantes que confrontem as duas imagens, atual e desejável, em pequenos grupos ou individualmente.
7. Trabalhar com os participantes para identificar as principais restrições e oportunidades para atingir a sua visão, dada a imagem atual. Quais são as capacidades e fraquezas existentes entre os atores para atingir a sua visão? Quais são as forças externas que afetam suas capacidades de atingir esta visão?
8. Solicitar aos participantes que realizem uma discussão (*brainstorm*) sobre uma estratégia para atingir sua visão, dadas essas restrições e oportunidades identificadas.
9. Convidar os participantes a refletir sobre as diferenças entre as estratégias de cada grupo, relacionando a visão e os cenários projetados para facilitar pontos de discussão e produzindo pontos de ação.

#### 1.1.4 Os diversos usos de métodos de cenários

O modo de pensamento aplicado às prospectivas de futuro está intimamente relacionado com a natureza do projeto de cenário. Para cada um dos modos de pensamento, diversos métodos de cenários têm sido desenvolvidos, conforme as características dos sistemas considerados, o grau de envolvimento dos atores locais, ou o foco do exercício de cenário e seu propósito específico (WESTHOEK et al., 2006). Os métodos de cenários podem ser considerados aplicados como suporte para seis tipos de propósitos (SIMON, 2006):

- a) Otimização de políticas, como resposta a uma questão para atender um objetivo particular: o mais rápido, o mais seguro, o mais efetivo (custo), o mais favorável. O horizonte de exploração é, no máximo, de 15 anos (pensamento visionário).
- b) Construção visionária, que responde a “Por qual futuro nós queremos lutar?” ou “Qual futuro queremos evitar a qualquer custo?”. O horizonte de exploração é, no mínimo, de 25 anos (pensamento visionário).
- c) Orientação estratégica, que responde a “Quais alternativas nós devemos preparar?” e “O que fazer se nossa direção geral estiver errada ou muito arriscada?”. O horizonte de exploração pode chegar a décadas (pensamento exploratório).
- d) Processo de comunicação e aprendizagem social, que pretende aumentar a consciência, o conhecimento da questão ambiental, iniciar processos de aprendizagem e expandir a percepção de possíveis eventos futuros. O horizonte de exploração é, no máximo, de 25 anos (pensamento exploratório).
- e) Avaliação de impacto (de políticas), que descrevem um grupo de conseqüências possíveis de decisões estratégicas (pensamento preditivo ou exploratório).
- f) Processos de pesquisa científica, que tentam integrar informação de diferentes campos e exploram desenvolvimentos possíveis (pensamento preditivo ou exploratório).

Desde suas primeiras aplicações, os métodos de cenários evoluíram para incluir uma variedade de objetivos e passos. Essa evolução nos estudos de cenários tem aumentado o seu escopo e os seus campos de aplicação. O crescente reconhecimento da importância das relações entre setores, sociedade e o ambiente levaram ao investimento em metodologias inovadoras e dinâmicas (LAMBIN e GEIST, 2002; WALKER et al., 2004; WITTMER et al., 2006).

Devido à utilização crescente de estudos de futuros em áreas de interesse social, os métodos de cenários se diversificaram largamente nas últimas décadas, criando novos métodos específicos ou adaptando métodos para outros propósitos. O conjunto de métodos de cenários e as suas aplicações correntes podem, entretanto, ser consideradas como variações das “abordagens clássicas” que estão baseadas em um dos três modos de pensamento e um grande grupo de abordagens “híbridas” que utilizam e combinam princípios das abordagens clássicas sob uma variedade de perspectivas (GREEUW et al., 2000; BÖRJESON et al., 2006). Marien (2002) considera que a grande maioria dos cientistas que realizam prospectivas de cenários futuros ainda pensa em apenas uma, ou no máximo duas categorias entre: provável, possível ou preferencial. Dreborg (2004; apud SIMON, 2006) argumenta que tipicamente um destes modos de pensamento e um método relacionado são dominantes e dão ao estudo de futuro suas características.

Na prática, pode ser difícil distinguir claramente entre os diferentes tipos de cenários, como no caso dos cenários de previsões, os cenários *what-if* e os cenários exploratórios. Ainda resta uma “zona cinzenta” entre os tipos de cenários, e as classificações de tipos de cenários devem ser vistas apenas como pontos de referência (BÖRJESON et al., 2006).

Robinson (2003) afirma que as grandes distinções entre as diferentes abordagens de cenários começaram a ruir, e os estudos de cenários mais recentes têm aumentado seu escopo, com uma sequência de passos em que abordagens alternativas para o desenvolvimento dos cenários são utilizadas, e o tipo de abordagem é diferente a cada passo considerado.

A crescente consciência dos desafios da sustentabilidade e da incerteza que emerge das complexidades ecológicas e sociais dos temas ambientais traz o reconhecimento da necessidade de uma avaliação integrada dos sistemas em estudo e, também, do papel importante das decisões dos atores locais nas dinâmicas de mudança (COMMOD, 2005; BOUSSET et al., 2005). Essa consciência crescente tem impulsionado a evolução dos métodos de cenários, impelindo o desenvolvimento de técnicas híbridas para o estudo de cenários e combinando diferentes suportes (GREEUW et al. 2000, ALCAMO, 2001).

Em particular, a experiência ganha nestes anos de projetos de avaliação globais, nos âmbitos ecológico e ambiental, tem demonstrado que a predição para longos períodos de tempo é difícil, se não impossível, devido à complexidade dos sistemas estudados e à quantidade de incertezas associadas, particularmente para horizontes de tempo além de 10 anos (ALCAMO et al., 2001). Em alguns casos, é mais importante explorar quanto futuros alternativos podem ser desejáveis e factíveis do que saber de sua probabilidade de ocorrência.

Em outros casos, as previsões são dependentes de eventos direcionadores os quais podem ser mais difíceis de prever, como o comportamento humano. As incertezas que resultam de eventos direcionadores imprevisíveis - como as ações humanas, a sutileza de mudanças no sistema e a falta de conhecimento sobre as condições e dinâmicas do sistema - não tornam impossível a tarefa de dizer algo significativo sobre as possibilidades futuras. Entretanto, elas comprometem seriamente a nossa habilidade em prever as probabilidades dos cenários alternativos para sistemas humanos complexos durante períodos superiores a uma década (WALKER et al., 2002; ROBINSON, 2003).

Para enfrentar esses desafios, os criadores de cenários têm desenvolvido abordagens combinadas para: (i) integrar melhor todas as partes de um sistema sob estudo, (ii) investigar melhor os diferentes passos do processo de tomada de decisão e (iii) responder às necessidades do desenvolvimento sustentável. Entre essas novas abordagens, estão a Avaliação Integrada Participativa e a Avaliação e Gerenciamento Ambiental Adaptativo. O último projeto de cenários de emissões do IPCC aplicou um método complexo altamente combinado cobrindo elementos preditivos, exploratórios e normativos além de abordagens quantitativas e qualitativas (VAN NOTTEN et al., 2003; BÖRJESON et al., 2006).

Nas últimas décadas, o papel crucial da incerteza tem tido um reconhecimento cada vez maior, o que tem levado ao entendimento de que a construção de cenários não deve ser uma atividade científica determinística (GREEUW et al., 2000). Adicionalmente, com o reconhecimento de que as informações são incompletas e de que é importante o papel das decisões dos atores locais nas dinâmicas de mudança, um interesse crescente tem sido colocado nas abordagens participativas em estudos de cenários (COMMODO, 2005; BOUSSET et al., 2005; QUIST e VERGRAGT, 2006). Esses métodos participativos tentam enfrentar os desafios levantados pelo



desenvolvimento sustentável, pela complexidade dos sistemas e pela incerteza do futuro.

Greeuw et al. (2000) classificaram os métodos de cenários entre (i) métodos de modelização, (ii) métodos de narrativa e (iii) métodos participativos, cada qual correspondendo, respectivamente, a tipos de cenários: (i) quantitativos, (ii) qualitativos e (iii) híbridos. Eles afirmam ainda que uma combinação de elementos qualitativos e quantitativos pode tornar um cenário mais consistente e robusto. Robinson (2003) verificou que alguns autores perceberam um uso cada vez maior de metodologias complexas que integram dados quantitativos e qualitativos e também combinam técnicas qualitativas e computacionais.

Os métodos participativos também são utilizados para gerar processos de aprendizado social e empoderamento da população local, o que melhora seus processos de tomada de decisão que passam a ser conduzidos por cenários legitimados, aceitáveis, robustos, adaptativos e enriquecidos. O desenvolvimento de avaliações para a tomada de decisão que combinam conhecimento científico e popular é inspirado pelas teorias das ciências sociais, as quais afirmam que a ciência é socialmente construída e que esta não deve ser monopólio do conhecimento (VAN ASSELT e RIJKENS-KLOMP, 2002). O grau de envolvimento dos participantes nas atividades e o tipo de método utilizado para obter a participação dependem dos objetivos dessa participação (Figura 1.03). Bousset et al. (2005) fizeram uma excelente revisão dos métodos participativos disponíveis de acordo com os objetivos e o grau de envolvimento dos participantes.

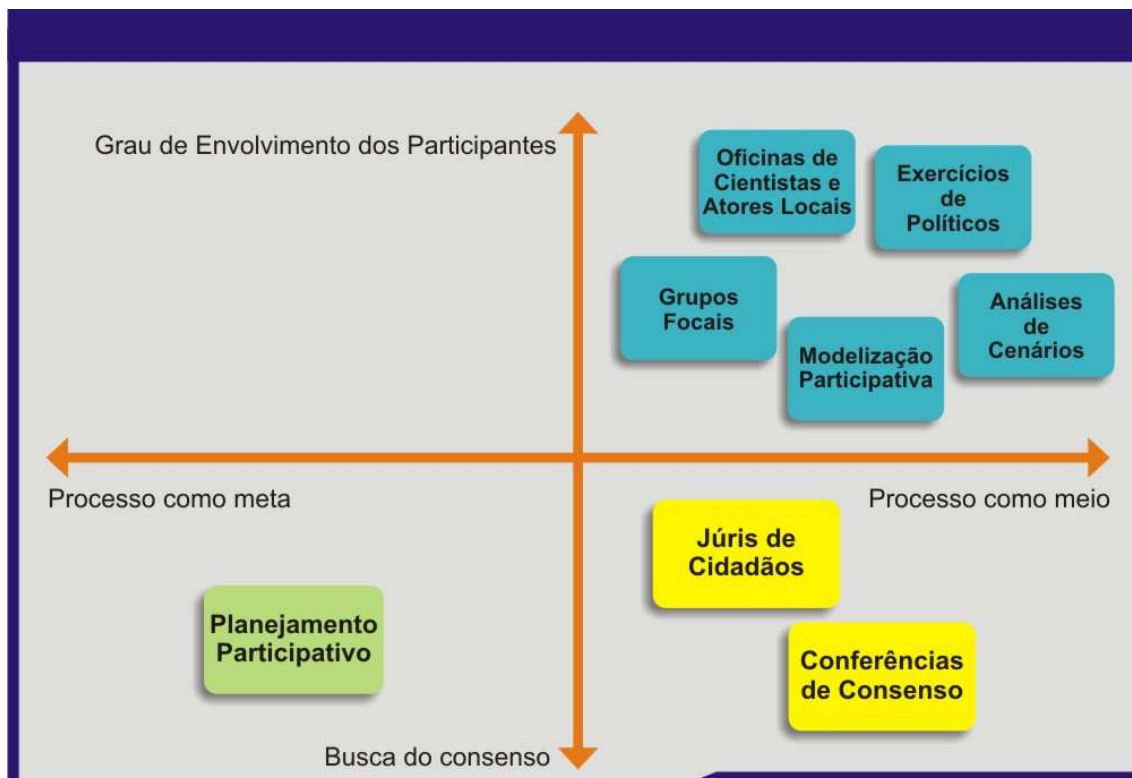


Figura 1.03 – Grau de envolvimento dos participantes (adaptada de VAN ASSELT e RIJKENS-KLOMP, 2002)

A definição do conjunto de cenários e dos elementos de cada cenário a serem considerados em uma perspectiva de cenários está intimamente relacionada com as demandas dos “usuários” desses cenários, ou seja, a instituição ou grupo social que “promove” o estudo.

Porto et al. (2005) apresentam cinco lições - retiradas da prática de vinte anos de trabalho com cenários - que podem ser informações básicas a serem discutidas no início do trabalho participativo com cenários:

- a) na realidade, nenhum cenário acontece exatamente como descrito;
- b) a trajetória da realidade geralmente evolui dentro do conjunto de cenários traçados, combinando aspectos de um e de outro;
- c) um bom conjunto de cenários tem grande utilidade como sistema de referência para a “navegação” rumo ao futuro;
- d) um conjunto de cenários explicita e pode reduzir os conflitos de percepção do futuro, melhorando a qualidade das decisões, e tornando-as mais controláveis ou avaliáveis;
- e) não importa qual será o futuro; o relevante é saber o que fazer se tal cenário acontecer.

A utilização de modelos para realizar estudos prospectivos de cenários é antiga e inclui diferentes modalidades. Vamos apresentar as principais técnicas utilizadas nesse tipo de modelização e discutiremos com maior profundidade quatro pontos diretamente relacionados com o trabalho realizado: (i) os modelos utilizados para simular cenários; (ii) a simulação de cenários por sistemas multiagentes; (iii) a modelização de acompanhamento (ComMod) e (iv) a validade e a validação dos modelos participativos.

## 1.2 MODELOS SOCIOAMBIENTAIS

Segundo Christofolletti (1999), a modelização constitui procedimento teórico, que envolvem um conjunto de técnicas com a finalidade de compor um quadro simplificado e inteligível do mundo, como atividade de reação do homem perante a complexidade aparente do mundo que o envolve. É um procedimento teórico, pois consiste em compor uma abstração da realidade, em função das concepções de mundo, trabalhando no campo da abordagem teórica e ajustando-se e/ou orientando as experiências empíricas.

A modelização pode ser considerada como instrumento entre os procedimentos metodológicos da pesquisa científica. Isso se justifica, pois a construção de modelos a respeito dos sistemas ambientais representa a expressão de uma hipótese científica, que necessita ser avaliada como enunciado teórico sobre o sistema ambiental focalizado. Essa avaliação configura-se como teste de hipóteses. Nessa perspectiva, a construção de modelos pode ser considerada como um procedimento inerente à pesquisa científica, e a sua elaboração deve ser realizada acompanhando os critérios e normas da metodologia científica (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Na construção de modelos, devem-se considerar aspectos envolvidos com as suas características e funções, que por vezes se entremeiam. São aspectos que possibilitam identificar e avaliar a qualidade dos modelos oferecidos, criando exigências específicas para uma aplicação criteriosa na modelização. Segundo Hagget e Chorley (apud CHRISTOFOLETTI, 1999), podem-se listar as seguintes características e funções:

- a) *Seletividade* – a característica fundamental dos modelos está na seleção das informações que serão utilizadas. Para eliminar detalhes acidentais, é de

extrema importância o contexto da relevância significativa das variáveis discernidas e a ordenação da prioridade em função dos valores concebidos para integrá-las.

- b) *Estruturação* – salienta que os aspectos selecionados da realidade são explorados em termos de suas conexões. Há um padrão integrativo entre os diferentes componentes, considerando as suas características morfológicas e funcionais. O modelo, procura representar as relações propiciadas na dinâmica dos processos ou na correlação das variáveis.
- c) *Enunciativo* – a estrutura do modelo mostra a existência de determinado padrão, no qual os fenômenos devem ser considerados em termos de relação sistêmica. Esse quadro tem um significado enunciativo, pois os modelos bem-sucedidos contêm sugestões para a sua ampliação e/ou generalização.
- d) *Simplicidade* – a estruturação do modelo é uma aproximação da realidade. O modelo deve ser suficientemente simples de manipular e de ser compreendido pelos seus usuários, mas sem deixar de ser representativo das principais implicações que possa ter e da complexidade necessária para representar efetivamente o sistema em estudo.
- e) *Analógicos* – os modelos são analogias, pois, apesar de tentarem representar a realidade, são diferentes desta e mostram apenas uma maneira aproximada de compreendê-la.
- f) *Replicabilidade* – é considerada pré-requisito dos modelos nas ciências empíricas. O modelo não pode se apresentar como descritivo apenas de um caso particular, mas, sim, possibilitar que seja utilizado para outros casos da mesma categoria. A estruturação e a formulação do modelo definem o nível da categoria do sistema representado. Obviamente, em função das especificidades de cada caso, cada exemplo oferecerá valores diferenciados para as variáveis mensuradas pelo modelo.

A seqüência de trabalho geralmente adotada para se desenvolverem modelos de simulação pode ser dividida em três fases (Figura 1.04): (i) a modelização, (ii) a experimentação, e (iii) a validação. A fase de modelização, destinada à construção do mundo artificial, compreende a formulação das hipóteses de trabalho, a coleta de dados ligados ao problema e, finalmente, a construção do modelo propriamente dito, a partir desses dados, geralmente baseada sobre uma teoria matemática, lógica, multiagentes ou outra. É esta teoria que diferencia os tipos de modelos e simulações.

### 1.2.1 Tipos de modelos

Popper (1973) apresentou uma classificação interessante (mas não exaustiva) sobre o tema, com os modelos que podem ser tipificados em cinco grupos diferentes:

- a) Modelos físico-lógico-formais. Um modelo físico é uma reprodução física da realidade (por exemplo, uma maquete). Um modelo lógico é uma representação simplesmente conceitual da realidade, na qual a descrição é puramente verbal. Um modelo formal representa a realidade por sistemas de equações matemáticas.
- b) Modelos estáticos e dinâmicos. Um modelo que tem a intervenção da variável tempo é considerado dinâmico; caso contrário, é considerado estático.
- c) Modelos lineares e não lineares. Em um modelo linear, os efeitos são supostos proporcionais às causas que os provocam. Em um modelo não linear, não existe qualquer proporcionalidade entre uma variável dada e as variáveis que ela determina.
- d) Modelos estáveis e instáveis. Em um modelo físico, o estado de equilíbrio é dito estável se o corpo pode recuperar a sua posição ou trajetória original, o estado é considerado instável se o estado inicial não pode ser recuperado após uma perturbação.
- e) Modelos de equilíbrio e de transição. Um modelo que busca representar um fenômeno conhecido de maneira geral e independentemente do tempo real é um modelo de equilíbrio; caso contrário, é considerado de transição.

O emprego de modelos que utilizam e cruzam informações do meio físico, com informações de base socioeconômica para elaborar diagnósticos ambientais deve ser considerada uma modelização complexa, de difícil calibração. Entretanto, assumindo-se que o modelo é uma “simplificação” da realidade e que, portanto, não é uma representação ideal da realidade, pode-se tirar o máximo proveito da simplicidade de uma modelização associada ao pragmatismo em relação às suas deficiências.

A modelização do desmatamento em florestas tropicais tem sido objeto de elaboração de inúmeros estudos e modelos. Angelsen e Kaimowitz (1999) revisaram mais de 140 artigos que contêm modelos econômicos que representavam os processos chave associados ao desmatamento. Segundo os autores, o enfoque exclusivo em modelos formais não implica que estes modelos são necessariamente mais úteis ou mais acurados que os estudos informais baseados unicamente em

descrições estatísticas. Essas abordagens *soft* complementam os modelos formais e oferecem importantes informações que são difíceis de perceber em modelos formais. Os modelos quantitativos têm inúmeras limitações, principalmente por serem focados em variáveis que devem ter séries de dados disponíveis e por, raramente, incluírem fatores institucionais.

Angelsen e Kaimowitz (1999) classificaram os modelos com base em dois critérios:

- a) metodologia – analítico, simulação e empírico;
- b) escala - nível de empresas (microeconômico); nível regional e nível nacional (macroeconômico).

Os Modelos Analíticos são abstratos, com construção teórica. Eles incluem dados não empíricos, mas podem esclarecer as implicações sobre como os agentes se comportam e como a economia opera, que podem não ser óbvias. Os Modelos de Simulação utilizam parâmetros baseados em fatos retirados de várias fontes para construir cenários diferentes. A maioria dos modelos de simulação no nível microeconômico utiliza técnicas de programação linear (ANGELSEN e KAIMOWITZ, 1999), enquanto o mais comum nos modelos de simulação macroeconômica é a utilização de modelos de equilíbrio geral computado (CGE - Computer General Equilibrium). Os Modelos Empíricos quantificam as relações entre as variáveis com base em dados empíricos, geralmente utilizando análise de regressão.

Os Modelos Microeconômicos (no âmbito de empresas) procuram explicar como os indivíduos alocam seus recursos, utilizando variáveis econômicas padrão, tais como histórico e preferências, preços, instituições, acesso a infraestrutura e serviços, e alternativas tecnológicas. A maior diferença está entre (i) os modelos que assumem que todos os preços são determinados pelo mercado e que os atores locais estão totalmente integrados a mercados perfeitos e (ii) os modelos que não assumem essas premissas. Uma questão que pode ser crítica é como os autores destes modelos fazem previsões da mudança no uso do solo em resposta às mudanças na população, preços da agricultura e entrada de recursos financeiros. Os modelos analíticos têm se mostrado úteis para esclarecer algumas dessas dúvidas (ANGELSEN e KAIMOWITZ, 1999). A maior vantagem dos modelos de simulação e de regressão repousa no uso de pesquisas de dados de boa qualidade quanto à magnitude do desmatamento e à descrição do comportamento dos fazendeiros.

Os Modelos Regionais têm a sua cobertura limitada à região ou área com características similares: ecologia, estrutura agrária, história política e institucional, redes de comércio, e padrões de assentamento e uso da terra (LAMBIM, 1999). Modelos analíticos e de simulação raramente enfocam uma região específica. Apesar de o desmatamento ser inerente a fenômenos espaciais, falta explicitar a dimensão espacial na maioria dos modelos, os quais não podem responder a questão: Onde?

A maioria dos modelos regionais é de regressão (especializados ou não). Os modelos especializados medem o impacto no uso da terra de variáveis como: (i) distância entre a floresta e as rodovias e mercados; (ii) topografia; (iii) qualidade do solo; (iv) precipitação pluviométrica; (v) densidade populacional e (vi) categorias por zona. Esse tipo de análise se tornou mais popular desde o advento de dados de uso da terra digitalizados e sistemas de informações geográficas que tornaram a manipulação desses dados mais fácil. Modelos não especializados, entretanto, são mais comuns. Estes modelos utilizam dados obtidos em níveis regionais de maneira similar aos modelos de regressão multinacionais, mas os modelos regionais geralmente têm dados melhores em cobertura florestal (a maioria utiliza unicamente dados de satélites ou combinados com pesquisas de campo).

Os Modelos Macroeconômicos (no âmbito nacional) enfatizam a relação entre as variáveis intermediárias, os parâmetros de decisão e o desmatamento. Modelos analíticos, de simulação e de regressão são comuns neste nível. Para modelizar processos macroeconômicos complexos em um estudo estritamente analítico e continuar atingindo conclusões interessantes, os autores dos modelos têm que estabelecer limites no número de variáveis e assumir algumas premissas.

Os modelos analíticos e de simulação adicionam duas novas dimensões: (i) eles estabelecem endogenia em alguns preços e (ii) incluem as interações entre os diferentes setores, por exemplo, subsectores de agricultura, florestal e de manufaturas. Modelos CGE podem ser criticados pela baixa qualidade dos dados e parâmetros comumente utilizados, como também pelo questionamento dos “mercados perfeitos” e pela sua descrição do comportamento dos fazendeiros. Modelos de regressão multinacionais são a maior categoria de modelos de desmatamento. Eles utilizam dados nacionais para fazer generalizações globais nos principais processos que

afetam o desmatamento tropical. Entretanto, problemas com os dados e métodos utilizados tornam sua utilidade e validade questionáveis.

Se analisarmos, especificamente, a modelização do desmatamento, podemos observar que, geralmente, os modelos enfatizam mais as similaridades entre países e regiões do que suas diferenças. Para obter resultados significativos, os modelos assumem que as variáveis afetam o desmatamento da mesma forma através de diferentes países. Essa premissa é complicadora, pois vários estudos indicaram que o efeito no desmatamento devido ao crescimento econômico, dívida externa, população e outras variáveis pode diferir muito de um país para o outro (ANGELSEN e KAIMOWITZ, 1999). Os fatores que influenciam o desmatamento, a interação entre eles, e a magnitude de seus efeitos variam de maneira significativa de uma localidade para outra. Modelos baseados em dados de locais diferentes podem chegar a conclusões conflitantes não apenas devido ao fato de eles utilizarem definições, variáveis ou metodologias diferentes, mas também devido a cada processo ser distinto.

Neste contexto, deve-se notar que a maioria dos modelos de simulação e empíricos sobre o desmatamento enfoca poucos países, principalmente: Brasil, Camarões, Costa Rica, Indonésia, México e Tailândia. Esses países analisados são médios ou grandes tanto em dimensão como em população; têm uma política relativamente estável e possuem extensas áreas de floresta tropical, portanto os resultados desses modelos só devem ser aplicados a países com essas mesmas características.

Os modelos econômicos desenvolvidos para analisar o desmatamento na região amazônica geralmente apresentam algumas restrições (CHOMITZ e GRAY, 1996):

- a) Endogenia das rodovias. Os modelos assumem que a localização das estradas é exógena ao uso agrícola da terra. Em algumas aplicações, isso é razoável (forças políticas etc.), entretanto, geralmente a construção de novas estradas é influenciada por questões relativas ao desenvolvimento agrícola. A lógica deve ser invertida: um lote de terra não está tendo seu potencial “desenvolvido” não por causa da sua distância da estrada, mas, sim, ele está distante das estradas porque não tem potencial para ser utilizado em projetos de desenvolvimento agrícola.



- b) Expectativas de preço. As decisões correntes sobre o uso da terra não dependem apenas dos preços atuais, mas também das expectativas dos preços futuros. Um exemplo prático é a utilização do desmatamento para garantir direitos sobre a terra em áreas onde os preços têm um aumento já esperado.
- c) Reversibilidade do uso da terra. Se terras cultivadas se tornam antieconômicas, elas voltarão a ser cobertas por vegetação nativa naturalmente. Essa premissa é razoável para muitas áreas somente dentro de um contexto de longo prazo, em um modelo de equilíbrio estático. Deve-se ressaltar também que o novo crescimento da cobertura florestal não implica necessariamente na manutenção da biodiversidade original e níveis de carbono.
- d) Segurança como fator determinante da rentabilidade. Os modelos assumem que os proprietários de terras vão adotar o uso mais rentável da terra ou vão vendê-la ou alugá-la para alguém que o faça. Por exemplo, nas regiões de fronteira, onde os direitos sobre a terra são frágeis e difíceis de defender, não é usual se investir em culturas perenes. Mas com segurança, estas culturas podem representar o mais alto valor para o uso da terra.
- e) Correlação de influências imensuráveis através de *commodities*. Os modelos requerem que efeitos não observados no rendimento de uma *commodity* sejam independentes dos efeitos não observados para outra *commodity* em um mesmo local. Aspectos não mensurados de fertilidade do solo, por exemplo, podem ter efeitos similares sobre uma variedade de culturas diferentes.

Simon (2006) afirma que, atualmente, as principais técnicas de modelização utilizadas na análise de sistemas socioambientais são: (i) modelos explanatórios, (ii) modelos empírico-estatísticos, (iii) modelos estocásticos, (iv) modelos de otimização, (v) modelos de simulação dinâmica, centrados no processo, (vi) modelos centrados nos agentes e autômatos celulares e (vii) modelos integrados ou modelos híbridos.

Parker et al. (2003) também apresentam uma classificação de modelos, no âmbito das mudanças no uso e cobertura do solo (MUCS), em sete categorias (das quais cinco são similares às aquelas apresentadas por SIMON, 2006): (i) modelos baseados em equações matemáticas análogo aos modelos explanatórios; (ii) modelos de dinâmicas de sistemas, (iii) modelos estatísticos, (iv) modelos celulares e (v) modelos híbridos. Os dois estudos divergem, quando Simon (2006) cria duas classificações específicas (de modelos estocásticos e modelos de otimização) que

diferem daquela feita por Parker et al. (2003) de modelos especialistas e modelos evolucionários.

Vamos utilizar neste texto a classificação de Simon (2006), mas esta será confrontada, sempre que for necessário, com aquela feita por Parker et al. (2003). Vale ressaltar que esta revisão da literatura não é exaustiva e tem como objetivo somente apresentar os caminhos nos quais as técnicas apresentadas podem ser complementadas por modelos de sistemas multiagentes (SMA).

Os modelos explanatórios (SIMON, 2006) são baseados em conexões causais, na forma de equações que conectam variáveis. Esses modelos se constituem de descrições quantitativas dos mecanismos e processos que causam o comportamento do sistema. Para criar esses modelos, um sistema é analisado e os seus processos e mecanismos são quantificados separadamente. O modelo é construído e integra essas descrições feitas para cada parte do sistema. Um modelo específico pode tão somente produzir cenários dentro de uma estrutura dada. Ao se alterarem as conexões causais, um novo modelo, com possivelmente uma nova estrutura do sistema, pode ser desenvolvido.

Para Parker et al. (2003), a maioria dos modelos tem uma característica que é matemática de alguma forma, mas alguns o são especialmente, baseados em equações matemáticas que buscam uma solução estática ou de equilíbrio. Os mais comuns são conjuntos de equações baseadas em teorias do crescimento populacional e difusão que especificam as MUCS cumulativas no tempo (SKLAR e CONSTANZA, 1991). Modelos mais complexos, sustentados em teorias econômicas, empregam equações simultâneas (ANGELSEN e KAIMOWITZ, 1999). Uma variante desses modelos é baseada em programação linear (HOWITT, 1995; apud PARKER et al., 2003), potencialmente ligados a informações das parcelas de solo em SIG (Sistemas de Informações Geográficas) (CROMLEY e HANINK, 1999; apud PARKER et al., 2003). Uma das limitações desses tipos de modelos é que uma solução numérica ou analítica deve ser obtida para o sistema, o que limita o nível de complexidade que pode ser introduzido nos modelos.

Os modelos empírico-estatísticos (SIMON, 2006), que incluem os modelos baseados em sistemas de informações geográficas, tentam identificar explicitamente

as causas das mudanças, utilizando análises multivariadas de possíveis contribuições exógenas para taxas de mudanças empiricamente derivadas (LAMBIM et al., 2000). As técnicas de regressão linear múltipla são muito utilizadas para esse propósito. A percepção de uma associação estatisticamente significativa entre variáveis não estabelece uma relação causal. Ademais, um modelo de regressão que opera bem na região do espaço das variáveis correspondente aos dados originais pode ter uma péssima performance fora desta região. Estes modelos são capazes somente de prever padrões de mudanças no uso da terra que sejam representadas pelo conjunto dos dados da calibração. Eles são indicados para prever mudanças onde estas mudanças tenham sido medidas em um passado recente e, na maioria dos casos, esta hipótese não é válida.

Para Parker et al. (2003), as técnicas estatísticas são abordagens comuns para modelizar as MUCS, devido ao seu potencial, aceitação e facilidade relativa de uso. Elas incluem uma variedade de técnicas de regressão aplicadas ao espaço e outros métodos estatísticos específicos para temas espaciais (MERTENS e LAMBIM, 1997). Apesar de estarem ligados a um quadro teórico, as técnicas estatísticas podem ignorar a tomada de decisão e alguns fenômenos sociais como as instituições. A econometria espacial fornece exemplos bem-sucedidos da combinação de teoria e estatística (CHOMITZ e GRAY, 1996; MUNROE et al., 2001).

Os modelos estocásticos (SIMON, 2006) são modelos matemáticos que levam em consideração a presença de alguma aleatoriedade em um ou mais de seus parâmetros ou variáveis (LAMBIM et al., 2000). As previsões desses modelos, portanto, não fornecem um único ponto estimado, mas, sim, uma distribuição de probabilidades de estimativas possíveis, em contraste com a determinística. Para mudanças do uso da terra, modelos estocásticos são constituídos, principalmente, de modelos de probabilidade de transição e descrevem estocasticamente os processos que se movem em uma seqüência de passos através de um conjunto de estados. As abordagens de probabilidade de transição são limitadas em suas aplicações porque elas utilizam somente transições que tenham sido observadas em um passado recente, de maneira similar aos modelos empírico-estatísticos (SIMON, 2006).

Parker et al. (2003) classificam esta categoria (modelos estocásticos) de forma bem diferente: como modelos especialistas. Esses modelos combinam julgamentos especialistas com técnicas de probabilidade, ou abordagens simbólicas de inteligência

artificial, como os sistemas especialistas e os sistemas de conhecimento baseado em regras (LEE et al., 1992). Esses métodos expressam o conhecimento qualitativo em faixas quantitativas que permitem ao modelizador determinar onde um dado uso do solo deve ocorrer. Entretanto, pode ser difícil incluir todos os aspectos do domínio do problema, o que pode gerar algumas falhas e inconsistências nesses tipos de modelo.

Dentro do campo da inteligência artificial, as abordagens simbólicas, como os sistemas especialistas, podem ser complementadas com um paradigma evolucionário inspirado na biologia. Alguns exemplos como as redes neurais artificiais e a programação evolucionária estão encontrando seus rumos nos modelos de MUCS. De forma sucinta, redes neurais são analogias de uma estrutura neural, as quais são treinadas para associar saídas com estímulos. A programação evolucionária (classificação de PARKER et al., 2003) copia o processo de evolução de Darwin, alimentando programas computacionais de várias gerações para criar programas que vão se tornando capazes de resolver um problema particular.

Os modelos de otimização (classificação de SIMON, 2006) são ferramentas muito úteis para a representação dos processos humanos de tomada de decisão (LAMBIM et al., 2000). Eles procuram descrever o que um indivíduo deveria fazer, baseado em suas metas e restrições, e assumem que o indivíduo vai se comportar da maneira que seja a mais próxima de seu ótimo. A programação linear é o método mais comum de otimização utilizado em estudos de uso agrícola da terra. Os modelos de otimização são limitados pela sua falta de habilidade em descrever processos dinâmicos (que se modificam através do tempo) e, por simular abaixo da tomada de decisão ótima, onde fatores não econômicos adicionais precisam ser considerados, os quais levam a comportamentos não ótimos das pessoas, devido às diferenças em seus valores, atitudes e culturas. Apesar de essas limitações parecerem insignificantes ao nível agregado, elas são mais importantes, ao observarmos a escala dos processos de mudanças no uso do solo, ou se estivermos interessados na diversidade entre os atores.

Os padrões de mudanças no uso do solo no tempo e no espaço são produzidos pela interação de processos biofísicos e processos socioeconômicos. Os modelos de simulação dinâmica (SIMON, 2006) centrados nos processos, ou modelos de dinâmicas de sistemas, têm sido desenvolvidos para imitar o desenvolvimento desses processos e seguir a sua evolução (LAMBIM et al., 2000). Os modelos de simulação

dão ênfase às interações entre todos os componentes que formam um sistema. Eles condensam e agregam ecossistemas complexos em um pequeno número de equações diferenciais de uma maneira bem estilizada. Os modelos de simulação são, portanto, baseados em um pré-entendimento das forças condutoras das mudanças no sistema (SIMON, 2006).

Os modelos de sistemas representam estoques e fluxos de informação, material ou energia como conjuntos de equações diferenciais conectadas por meio de funções intermediárias e estruturas de dados (GILBERT e TROITZSCH, 1999). O tempo é dividido em passos discretos para permitir uma retroalimentação do modelo. As interações humanas e ecológicas podem ser representadas dentro destes modelos, mas elas dependem de uma enumeração explícita de causas e representações funcionais, e elas também têm dificuldade em acomodar relações espaciais (SKLAR e CONSTANZA, 1991).

Geralmente, os modelizadores descrevem os sistemas como um conjunto de módulos ou compartimentos interligados por fluxos e controles. Programas amigáveis ao usuário como Stella ([www.hps-inc.com](http://www.hps-inc.com)), Vensim ([www.vensim.com](http://www.vensim.com)), Simulink ([www.mathworks.com/products/simulinc](http://www.mathworks.com/products/simulinc)) e outros estão disponíveis para a construção de modelos sob este prisma.

Um modelo centrado em agentes (SIMON, 2006) é constituído de dois componentes-chave. O primeiro é um modelo celular que representa o espaço sob estudo. O segundo componente é um modelo que representa a tomada de decisão humana e suas interações. Enquanto os modelos celulares focalizam nas paisagens e transições, os modelos baseados em agentes focalizam nas ações humanas, e os agentes são componentes cruciais nesses modelos. Algumas características definem os agentes: (i) são autônomos, (ii) compartilham um ambiente com possibilidade de comunicação e interações e (iii) tomam decisões que modificam o comportamento do ambiente.

Segundo Bousquet e Le Page (2004), o modelo celular (MC) pode representar um número específico de técnicas de modelização espacial, como os autômatos celulares (AC) e os modelos Markovianos (MM). Cada um opera em uma malha de células congruentes. Nos AC cada célula existe em um estado dentro de um conjunto

finito, e os estados futuros dependem das regras de transição baseadas em uma vizinhança espaço-temporal local. O sistema é homogêneo, pois o conjunto de estados possíveis é o mesmo para cada célula, e as mesmas regras de transição são aplicadas a todas as células. O tempo avança em passos discretos e as atualizações podem ser síncronas ou assíncronas (HEGSELMANN, 1998).

Algumas versões de AC utilizam vizinhanças não locais (TAKEYAMA e COUCLELIS, 1997; apud PARKER et al., 2003) e redes de grafos (O'SULLIVAN, 2001; apud PARKER et al., 2003). Nos modelos Markovianos, os estados das células dependem probabilisticamente de valores do estado da célula temporariamente defasados. Os métodos de MC são muito utilizados atualmente em modelos sobre MUCS. Segundo Parker et al. (2003), já existem sofisticados métodos de AC de processos ecológicos para: (i) as dinâmicas de uso do solo, (ii) a composição de espécies, (iii) a sucessão florestal e (iv) as mudanças globais em UCS em resposta às mudanças climáticas e diversos outros fenômenos biológicos.

O modelo centrado em agentes é constituído de: (i) entidades autônomas de tomada de decisão (agentes), (ii) um ambiente no qual os agentes interagem, (iii) regras que definem as relações entre os agentes e seu ambiente e regras que determinam a seqüência de ações no modelo. Agentes autônomos são compostos de regras que traduzem as informações internas e externas em estados internos, decisões ou ações. Esses modelos são geralmente implementados como sistemas multiagentes (SMA), um conceito originado nas ciências computacionais. No contexto de um modelo de mudança no uso do solo, um agente pode representar um gestor de terra que combina conhecimento e valores individuais, informações em qualidade do solo e topografia (o ambiente espacial biofísico), e uma avaliação de decisões dos vizinhos sobre o uso do solo (o ambiente espacial social) para calcular a sua decisão sobre o uso do solo. Os modelos podem representar também entidades ou organizações sociais de outros níveis tais como uma assembléia legislativa, um governo executivo local ou um país vizinho.

Para Parker et al. (2003) muitos MC assumem que as ações dos agentes humanos são importantes, mas não modelizam suas decisões diretamente. Outros posicionam um conjunto de agentes coincidentemente com uma malha de células e utilizam regras de transição como substitutas da tomada de decisão. Esses esforços só são bem-sucedidos quando a unidade de análise é fragmentada, as estratégias de

tomada de decisão são fixas e os vizinhos locais afetam atores heterogêneos de uma maneira simples e bem definida. Um modelo sobre MUCS requer (i) agentes múltiplos e móveis que variam amplamente sobre o espaço, (ii) uma heterogeneidade dos agentes, (iii) uma organização dos agentes em redes sociais e institucionais ou (iv) agentes que controlam porções do espaço variadas.

Três pontos chave devem ser considerados no uso dos modelos SMA sobre as MUCS: (i) entre todos os métodos utilizados para modelizar as MUCS, a simulação espacial dinâmica oferece um grau de flexibilidade promissor, (ii) modelos celulares conseguem replicar com sucesso aspectos dos fenômenos ecológicos e biogeofísicos, mas nem sempre modelizam a tomada de decisão e (iii) a modelização baseada em agentes é uma forma promissora de representar a tomada de decisão desagregada.

Modelos híbridos (SIMON, 2006) combinam qualquer uma das outras técnicas já mencionadas, cada qual em uma abordagem específica para seus propósitos. Um exemplo é o DELTA, que integra submodelos de colonização humana e interações ecológicas para estimar o desmatamento sob cenários diferentes de imigração e gestão do solo (SOUTHWORTH et al., 1991; apud PARKER et al., 2003). Uma variação específica dos modelos híbridos é a simulação espacial dinâmica (SED), que retrata a paisagem como uma grade bidimensional na qual as regras representam as ações de gestores do solo sobre fatores como a adequação agrícola (LAMBIM, 1994). Os SED não representam atores heterogêneos, efeitos institucionais na tomada de decisão ou atividades de produção múltiplas, entretanto, devido a sua habilidade em representar a tomada de decisão individual e as dinâmicas espacial e temporal, eles são um avanço importante dos modelos anteriores. Eles podem ser considerados os precursores dos modelos em sistemas multiagentes sobre MUCS.

### **1.2.2 A integração de técnicas de modelização**

Atualmente, as abordagens mais novas estão, cada vez mais, baseadas na combinação de elementos dessas diferentes técnicas de modelização. Os melhores elementos são combinados das maneiras que sejam mais apropriadas para responder a questões específicas. Esses tipos de modelização têm sido denominados como modelos integrados, entretanto, em muitos casos, eles seriam mais bem descritos

como modelos híbridos porque o nível de integração efetiva nunca é muito alto (LAMBIM et al., 2000).

Não existe uma definição consensual sobre o que é integração (PARKER et al., 2002). O termo “integrada” tem sido utilizado de forma análoga a termos similares na literatura de gestão ambiental, como ecossistêmica e holística. Risbey et al. (1996, apud PARKER et al., 2002) afirmam que a ligação entre representações matemáticas de diferentes componentes de sistemas naturais e sociais em um modelo de simulação computacional é uma forma na qual a integração pode ocorrer. Rotmans e van Asselt (1996) fornecem uma definição mais inclusiva e afirmam que “Avaliação Integrada” é um processo participativo e interdisciplinar que combina, interpreta e cria o diálogo do conhecimento de diversas disciplinas científicas para permitir uma melhor compreensão de fenômenos complexos.

Os Modelos de Avaliação Integrada (MAI) são metodologias que podem ser utilizadas para aprender sobre uma gama de problemas ambientais que cobrem uma enorme faixa de escalas espaciais e temporais (PARKER et al., 2002). MAI é geralmente uma área de pesquisa focalizada no problema: a meta do MAI é montar os constituintes, partes disciplinares de um modelo superior, de acordo com o que é considerado apropriado para o problema em questão, entre as linhas do que tem sido definido como modelização “pela demanda” (PARKER et al., 2002; QUIST e VERGRAT, 2006) ou mecanismo oferta/demanda (GREEUW et al.). O modelo é adaptado entre os processos de avaliação integrada, como um veículo de exploração do problema, ou como uma ferramenta para comunicar a ciência “relevante” para uma audiência “mediocre”. A complexidade resultante é uma mistura das complexidades das disciplinas constitutivas e das exigências das esperanças e medos futuros dos tomadores de decisão (PARKER et al., 2002).

A integração é necessária porque fatores antrópicos múltiplos têm um impacto sobre o ambiente ou levam a mudanças na previsão de serviços ecológicos para a sociedade (RASKIN et al., 2005). Sustentabilidade, neste caso, significa a manutenção da capacidade dos sistemas ecológicos de forma a suportar os sistemas sociais e econômicos. Sustentar esta capacidade requer uma análise e compreensão das dinâmicas das inter-relações entre os sistemas ecológicos e sociais (BERKERS et al., 2003). A sustentabilidade deve ser entendida como um processo dinâmico (e não



como um produto final) que requer capacidades adaptativas para as sociedades em frente às mudanças (BERKERS et al., 2003).

A teoria da resiliência oferece uma visão de sustentabilidade não como estabilidade, mas como persistência gerada das mudanças de ciclos adaptativos em renovação (GUNDERSON e HOLLING, 2002; apud SIMON, 2006). A resiliência é definida como a magnitude do choque que um sistema pode absorver e se manter em um estado determinado, a capacidade de auto-organização desse sistema e a sua capacidade de aprendizado e experimentação. Essa noção se aplica tanto a sistemas ecológicos quanto a sistemas sociais e suas relações com os sistemas ecológicos.

O maior desafio neste contexto é construir conhecimentos, incentivos e capacidades de aprendizado nas instituições e organizações para uma governança que permita a gestão adaptativa de ecossistemas globais, regionais e locais e que incorpore os atores em novos e criativos papéis (FOLKE et al., 2005).

Um método comum em MAI é utilizar modelos integrados que incorporam componentes humanos que facilitam a geração de cenários e a função de tomada de decisão, além de fazer a integração (ou conexão) de modelos discretos (PARKER et al., 2002). A integração destes vários modelos é feita em uma estrutura que permite a participação dos tomadores de decisão em todos os estágios do processo. Esta estrutura oferece meios de integrar modelos individuais de tomadores de decisão em uma variedade de escalas e organiza a comunidade desses tomadores de decisão ao dar-lhes suporte para a comunicação e compreensão de conceitos e valores. Os processos de MAI podem incluir (PARKER et al., 2002):

- a) modelos de dados que são representações de medições e experimentos;
- b) modelos conceituais qualitativos como descrições verbais e visuais dos sistemas e processos envolvidos;
- c) modelos numéricos quantitativos, que são as formalizações dos modelos qualitativos;
- d) modelos e métodos matemáticos utilizados para analisar os modelos numéricos e interpretar os seus resultados e
- e) modelos de tomada de decisão que transformam os valores e conhecimento em ações.

Uma variedade muito grande de métodos correspondentes aos vários passos no processo de integração tem sido desenvolvida. Alguns autores afirmam que já estamos na quinta geração de modelos de avaliação integradas (SHARMA e NORTON, 2005), que integram impactos climáticos e avaliações políticas. Os métodos participativos em pesquisa de MAI podem utilizar três abordagens (ROTMANS e DOWLATABADI, 1989; apud SIMON, 2006):

- a) Jogos de simulação, os quais envolvem a “representação de um sistema complexo por um mais simples com similaridade comportamental relevante”.
- b) MAI qualitativos, os quais se abstêm do uso de modelos formais e lembram sistemas especialistas.
- c) Cenários, os quais são utilizados como ferramentas para identificar e explorar uma faixa de futuros possíveis, ou para identificar estratégias adaptativas possíveis.

A combinação de diferentes métodos de cenários nos MAI tem o objetivo de construir cenários que (GREEUW et al., 2000):

- a) descrevam padrões dinâmicos de mudanças;
- b) incluam uma variedade de perspectivas;
- c) incluam indicadores institucionais, ambientais, sociais e econômicos;
- d) sejam consistentes para escalas, problemas e setores diferentes;
- e) sejam coerentes; todas as dimensões relevantes foram identificadas e todas as interações relevantes entre os vários processos foram consideradas;
- f) sejam transparentes em relação às escolhas e considerações;
- g) sejam desafiadores, com uma narrativa tão forte quanto o componente quantitativo e
- h) sejam desenvolvidos em estratégias interativas que envolvam grupos heterogêneos de forma equilibrada.

O sistema de modelização utilizado deve ser capaz de simular tantos cenários alternativos que os usuários possam interagir mediante o processo de geração de cenários até que eles cheguem a um cenário futuro que os deixe felizes (ROBINSON, 2003). O modelo não deve otimizar ou resolver o sistema para soluções de mínimo custo ou equilíbrio. Ele precisa ser capaz de mostrar as implicações das diferentes escolhas dos usuários, mas não deve escolher a solução ótima. Além do mais, ele deve combinar as características de um jogo de informática (*fun to use* - “divertido

para usar”) e de um sistema de modelos acadêmicos (*true to life* - “confiável para toda a vida”) (ROBINSON, 2003).

Alcamo et al. (2005) apresentaram uma proposta para o desenvolvimento de cenários em MAI (utilizada no projeto “Millennium - Avaliação do Ecossistema”), dividida em 3 fases: (i) os exercícios de cenários foram organizados e as principais questões e focos dos cenários alternativos foram identificados; (ii) as *story-lines* foram escritas e os cenários foram quantificados utilizando procedimentos iterativos e (iii) os resultados das análises dos cenários foram sintetizados e os cenários e suas “saídas” foram revistos pelos tomadores de decisão, revisados e disseminados.

Segundo Alcamo et al. (2005), essas três fases podem ser subdivididas em 14 passos

a) A Fase I deve conter os passos organizacionais:

1. estabelecer uma equipe-guia para os cenários;
2. estabelecer um painel de cenários;
3. conduzir entrevistas com os usuários finais dos cenários;
4. determinar os objetivos e focos dos cenários;
5. identifique as questões principais dos cenários.

b) A Fase II deve conter o desenvolvimento e quantificação das *story-lines*:

6. construir um rascunho das *story-lines* de ordem zero;
7. organizar as análises do modelo e iniciar as quantificações;
8. revisar as *story-lines* de ordem zero e construir *story-lines* de primeira ordem;
9. quantificar os elementos dos cenários;
10. revisar as *story-lines* com base nos resultados das quantificações;
11. revisar as entradas do modelo para os indicadores e rodar os modelos novamente.

c) A Fase III deve conter os cenários:

12. distribuir os rascunhos dos cenários para uma revisão geral;
13. desenvolver uma versão final dos cenários que incorpore a retroalimentação dos usuários;
14. publicar e disseminar os cenários.

Nos estudos de Alcamo et al. (2005), as questões focais chave foram definidas por meio de questões mais específicas, que são as consequências para o bem-estar humano e dos ecossistemas que enfatizam:

- a) o desenvolvimento humano e econômico como meios primários de gestão;
- b) proteção e segurança local e regional;
- c) desenvolvimento e uso de tecnologias que permitam uma maior ecoeficiência e um controle adaptativo e
- d) uma gestão adaptativa e um aprendizado social sobre as consequências das intervenções/mudanças na gestão sobre os serviços ecológicos.

O objetivo do exercício de modelos, nos trabalhos desenvolvidos por Alcamo et al. (2005), foi testar a consistência de as *story-lines* ilustrarem os cenários de forma numérica. A quantificação de cenários teve 5 passos:

- a) montar diversos modelos globais para avaliar as mudanças de futuros possíveis nos ecossistemas mundiais e seus serviços;
- b) especificar um grupo consistente de entradas dos modelos baseadas nas *story-lines*;
- c) rodar os modelos com as entradas especificadas;
- d) “conectar” os modelos utilizando as saídas de um modelo como entradas de outro modelo e
- e) compilar e analisar as saídas do modelo sobre as mudanças em futuros serviços ecológicos e as suas implicações para o bem-estar humano.

De maneira geral, a simulação consiste na reconstrução através de um modelo de um fenômeno real e na sua utilização (SHANNON, 1992; apud BAH et al., 2006). Hill (1993; apud BAH et al., 2006) a definiu como “a simulação consiste em fazer evoluir uma abstração de um sistema ao curso do tempo com o intuito de ajudar a compreender o funcionamento e o comportamento deste sistema e a aprender algumas de suas características dinâmicas para poder avaliar decisões diferentes”. As noções de modelos e simulações estão intimamente conectadas e vamos utilizar a denominação de modelo de simulação neste texto.

A simulação é, portanto, uma ferramenta interessante que permite compreender e analisar melhor os problemas e fenômenos complexos. A modelização e a simulação

constituem, atualmente, instrumentos poderosos e de alta performance. Jorgensen (1994) resumiu as vantagens da modelização em quatro pontos:

- a) os modelos têm a sua utilidade na vigilância de fenômenos complexos;
- b) os modelos podem ser utilizados para revelar as propriedades dos sistemas ecológicos;
- c) os modelos podem mostrar as carências dos conhecimentos existentes sobre o sistema e podem ser utilizados para definir as propriedades da pesquisa e
- d) os modelos são úteis para testar hipóteses científicas, na medida em que o modelo pode simular as reações do ecossistema, as quais podem ser comparadas às observações de campo.

A mudança é um processo contínuo, mas o aprendizado é opcional. Recursos, ecossistemas, ambiente biofísico e o uso e a cobertura do solo na superfície terrestre estão se alterando o tempo todo. A cobertura do solo é a camada de solo e biomassa, que incluem a vegetação natural, arbustos e infra-estrutura feita pelo ser humano que cobrem uma superfície de terra, enquanto o uso do solo é o propósito pelo qual os homens exploram a cobertura do solo. As alterações no uso da terra são as mudanças no propósito dessa terra, as quais não são necessariamente apenas as mudanças na cobertura do solo, mas também as mudanças em intensidade e gestão. As mudanças no uso e cobertura do solo são um tema crítico devido a sua grande influência na diversificação agrícola, na qualidade e produtividade do solo, no uso de nutrientes, nos fluxos de solo/nutrientes, nos recursos hídricos, na alocação de trabalho e nos impactos na vida humana.

A simulação espacial da mudança no uso do solo é muito importante para o monitoramento e compreensão da composição e da configuração do processo de mudança, como também para observar o comportamento dos atores e as interações entre os sistemas dinâmicos e os atores e os fenômenos biogeográficos da área em estudo. O propósito da simulação da mudança no uso do solo é descrever, explicar, prever e avaliar o impacto além de avaliar as suas hipóteses (BRIASSOULIS, 2000). A figura 1.04 mostra um diagrama de modelização para a simulação da dinâmica espacial.

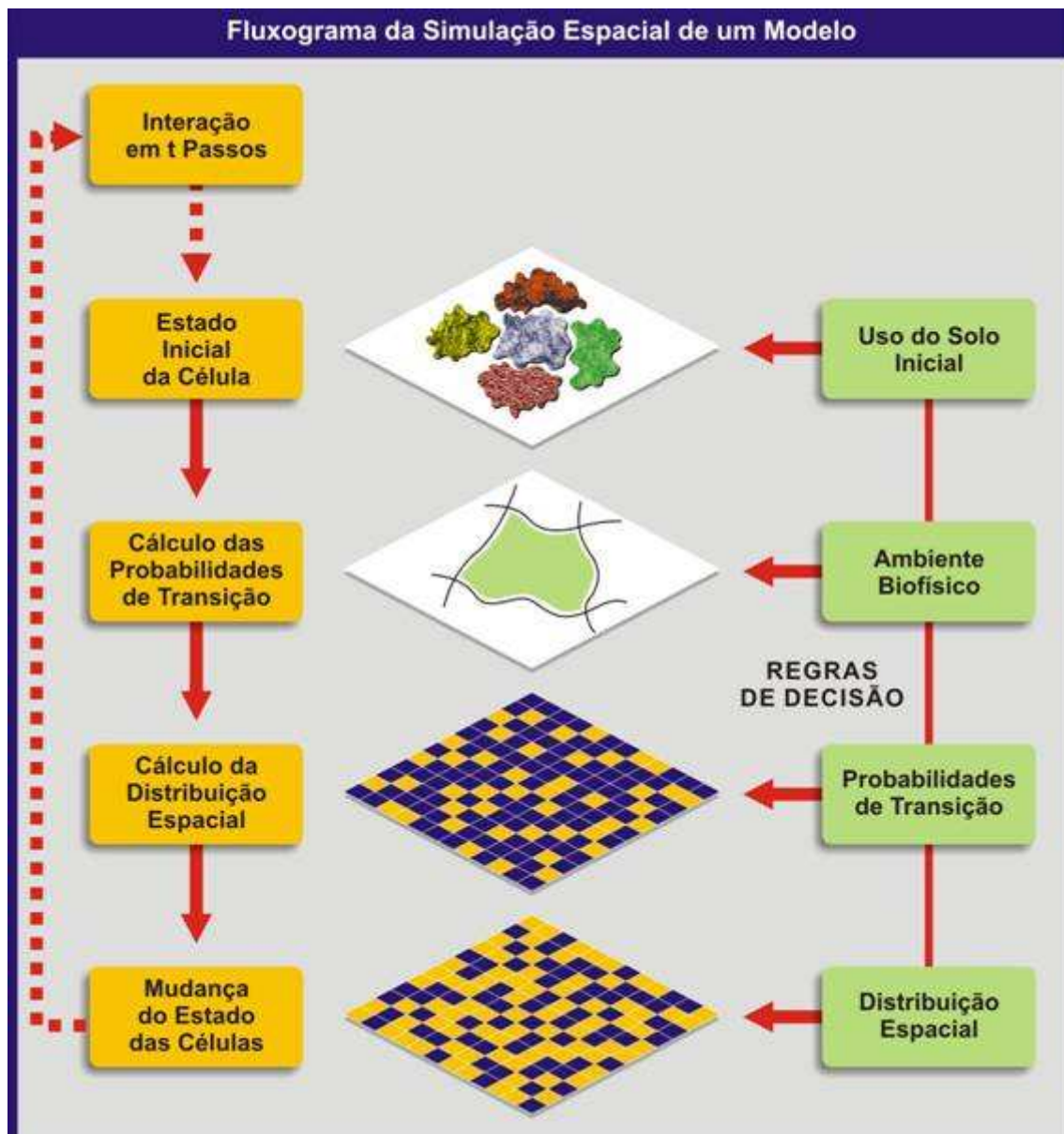


Figura 1.04 - Diagrama de modelização para a simulação da dinâmica espacial (adaptada de MORSHED e BORNE, 2006)

A utilização da mudança de paisagem como elemento de saída de uma simulação tem crescido de maneira significativa. Esse aumento está baseado na facilidade de: (i) acesso e manipulação de dados georeferenciados (SIG) e (ii) entendimento dos resultados das simulações, tanto pelos tomadores de decisão quanto pelos atores locais, que, além de dados quantitativos, apresentam uma interface “visual”.

Uma simulação que utiliza a mudança de paisagem é mais “amigável” com atores locais (agroextrativistas), pois estes atores participam diretamente dos processos de construção paisagística e territorial, por intermédio de suas práticas

agrícolas e extrativistas, de seu *know-how* e em função de estratégias diversificadas, nas quais os processos de aprendizado e inovação exercem um papel importante.

Segundo Simon (2006), para que um modelo seja útil, ele deve apresentar um certo número de características: (i) a simplicidade, (ii) a robustez, (iii) a leveza, (iv) a adaptabilidade, (v) a totalidade e (vi) a facilidade de acesso. Uma vez construído, o modelo deve ser utilizado; essa é a fase de experimentação que consiste em fazer variar alguns parâmetros do modelo para compreender o fenômeno estudado. O processo de validação permite responder à questão da confiança que pode ser dada ao modelo realizado, confrontando os resultados obtidos pela experimentação e as observações do fenômeno real. A validação tem por objetivo tentar encontrar no modelo os comportamentos observados no sistema real.

### 1.3 SIMULAÇÃO DE SISTEMAS MULTIAGENTES

Caracterizar o ambiente e o papel complexo que as ações humanas nele desempenham é desafiador. O impacto acumulado das decisões individuais de várias pessoas é a causa imediata da mudança ambiental induzida pelo ser humano. Essas ações individuais são formatadas pelos quadros social, político, econômico e ambiental em que elas ocorrem. Esses quadros se alteram através do tempo à medida que as condições se alteram. Além disso, a marca deixada por essas atividades varia através do espaço em diferentes escalas espaciais.

De forma diferente da programação convencional, para a qual os dados e as operações sobre estes dados são separados, a programação orientada ao objeto agrupa operações e dados, ou comportamentos e estados, em unidades modulares denominadas objetos, e deixa ao usuário a tarefa de combinar esses objetos em uma rede estruturada para formar um programa útil (LARKIN e WILSON, 1999; apud LI et al., 2005).

A separação entre a interface e a implementação esconde detalhes técnicos dentro da superfície do sistema, como as partes de um relógio, e como estas partes interagem umas com as outras. Uma interface amigável ao usuário fornece uma

entrada simples de dados, uma saída simples de dados e mostra as funções internas de forma que outros objetos (ou usuários) possam chamar ou utilizá-las.

Os sistemas multiagentes (SMA) têm a sua origem ligada ao fértil movimento interdisciplinar. Originariamente, os SMA vieram de um ramo da inteligência artificial (IA), conhecido como inteligência artificial distribuída (IAD). Em vez de reproduzir o conhecimento e a lógica de um agente inteligente como na IA, o objetivo se tornou reproduzir o conhecimento e a lógica de diversos agentes heterogêneos que precisavam se coordenar para resolverem problemas conjuntos. Uns pesquisadores focalizaram seus estudos no agente e na sua autonomia enquanto outros se concentraram na organização das múltiplas interações entre os agentes (HUNHNS e STEPHENS, 1999; apud BOUSQUET e LE PAGE, 2004), engajando-se no campo dos SMA.

Alguns desses pesquisadores encontraram outros pesquisadores oriundos das ciências sociais e da vida. Também houve encontros com os grupos do campo da Vida Artificial (LANGTON, 1988, apud BOUSQUET e LE PAGE, 2004), que foi desenvolvido na base da física e do contexto geral das ciências da complexidade, os quais reexaminavam as questões científicas estudando as interações entre entidades elementares e os seus modos de organização.

Se por um lado, os SMA fornecem um método para reformular certas questões nas ciências naturais e sociais, por outro lado, os pesquisadores no campo das ciências computacionais usavam vários conceitos das ciências sociais: (i) a psicologia cognitiva e a teoria dos jogos para racionalizar as estratégias utilizadas no estabelecimento das relações com outros agentes, (ii) a sociologia para definir os modos de interação entre os agentes, e (iii) a lingüística para fornecer aos agentes uma linguagem e para organizar os protocolos de comunicação.

Os SMA têm se desenvolvido rapidamente no campo das ciências sociais. A simulação social é objeto de inúmeras conferências como: (i) *Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation* – MABS; (ii) *Simulation Societies*; e (iii) *Agent-Based Computational Economics* - ACE. As pesquisas neste campo são publicadas no *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* - JASSS - e em outros periódicos especializados.



Inúmeros grupos de pesquisa têm emergido deste fértil campo do movimento interdisciplinar utilizando os SMA de diferentes maneiras. Atualmente, os SMA são um termo “guarda-chuva” (FERBER, 1995, 1999) para: (i) agentes de *hardware* que interagem (robótica coletiva); (ii) sistemas de agentes de *software* interativos (*softbots*), utilizados no planejamento de tarefas distribuídas e (iii) simulações de multiagentes.

Segundo Ferber (1995), a teoria de Sistemas Multiagentes (SMA) é uma teoria computacional que procura coordenar a competição existente entre processos independentes, utilizando uma “metáfora antropomórfica”, a qual é explorada pelos cientistas dessa área. Um agente é, portanto, um processo computacional - algo entre um programa e um robô - que pode ser considerado como autônomo desde que seja capaz de se adaptar quando o ambiente a sua volta se modifica. Como a estrutura de bases de dados está se modificando todo o tempo e, como o agente deve se adaptar a essas mudanças constantes, pode-se dizer que ele é autônomo.

Um SMA compreende uma gama de processos computacionais que rodam simultaneamente, com diversos agentes que vivem ao mesmo tempo, compartilham recursos comuns e se comunicam entre si. A chave para a teoria SMA está na formalização das coordenações necessárias entre esses agentes que se propõem a elaborar expressões formais para cada uma delas (BOUSQUET et al., 2002).

A chave é formalizar a coordenação necessária entre agentes. As questões são relacionadas com: (i) tomada de decisão, “que mecanismos de tomada de decisão estão disponíveis aos agentes?”, “quais são as conexões entre suas percepções, representações e ações?”; (ii) controle, “quais são as relações hierárquicas entre os agentes?”, “como elas são sincronizadas?” e (iii) comunicação, “que tipos de mensagens eles enviam e recebem?”, “a que sintaxe essas mensagens obedecem?”.

A teoria SMA tem aplicações em inteligência artificial, em que pode ser utilizada para reduzir a complexidade de um processo, dividindo o conhecimento necessário em sub-rotinas, associando um agente inteligente e independente a cada uma dessas sub-rotinas e coordenando as atividades desses agentes. Este processo é uma referência a IAD (Inteligência Artificial Distribuída) e está sendo implementado

sistematicamente para resolver problemas combinatórios famosos, como o *Fifteen Puzzle* ou o *Hanói Tower*, em uma técnica conhecida como *eco-resolution* (DROGOUL e FERBER, apud BOUSQUET, 2002).

### 1.3.1 Os SMA e a simulação de sistemas complexos

A teoria SMA se sobrepõe a um tipo de modelização utilizada na ecologia, conhecida como modelo de base individual (IBM - *individual-based modelling*), o qual estuda o comportamento geral de uma população em que os processos envolvidos são exclusivamente individuais e é utilizado para simulações computacionais. Os IBM foram desenvolvidos no final da década de 1980 por dois motivos: (i) a necessidade de considerar o indivíduo devido a sua característica genética única e (ii) o fato de que cada indivíduo é situado no espaço e as suas interações são locais.

O encontro destas teorias (IBM e SMA) pode ser enriquecedor pois: (i) problemas ecológicos representam uma fonte inesgotável de questões sobre interações, as quais são simples de verificar e difíceis de resolver; (ii) a teoria SMA não oferece apenas ferramentas poderosas de programação, mas também provê uma estrutura melhor para as simulações computacionais e (iii) para obter uma metáfora antropomórfica, a teoria SMA representa agentes dotados de qualidades como percepção, mobilidade e reflexão e também capazes de definir objetivos e construir estratégias.

Vale ressaltar que existem algumas diferenças entre IBM e SMA. Os IBM foram desenvolvidos por ecologistas que tentavam introduzir a noção do indivíduo para compreender o papel da heterogeneidade. Os SMA são mais influenciados pelas ciências computacionais e pelas ciências sociais. Os SMA enfatizam mais o processo de tomada de decisão dos agentes e a organização social na qual estes indivíduos estão inseridos. Além disso, em SMA um agente não é necessariamente um indivíduo, ele pode representar outros níveis de organização (uma associação, uma sociedade, uma empresa, uma prefeitura etc.).

Para Bousquet (2002), a aplicação da teoria SMA para simulação de fenômenos sociais é geralmente associada à corrente sociológica conhecida como “individualismo metodológico”, que considera um indivíduo como uma unidade elementar, como um

átomo da sociedade. A similaridade entre as teorias está na abordagem *bottom-up* de ambas. Entretanto, é um equívoco transformar indivíduos de uma sociedade em agentes SMA se os grupos sociais ou instituições, com suas regras e padrões de operação, também podem ser vistos como agentes. Agentes são guiados por variáveis, por regras expressas para um nível de grupo: eles são apenas entidades localizadas em um ambiente dinâmico.

Este alerta indica como uma simples dualidade entre individualismo e holismo pode ser colocada em dúvida. Esta é uma das maiores preocupações tanto para cientistas que estudam a gestão de recursos renováveis como para pesquisadores que estudam SMA, os quais consideram que (BOUSQUET e LE PAGE, 2004):

- a) indivíduos, que são produtos da história, são governados por valores e regras coletivas;
- b) valores e regras coletivas evoluem devido às interações entre indivíduos e grupos de indivíduos;
- c) indivíduos não são nem similares nem iguais, mas têm regras e um *status* social específicos.

Bousquet e Le Page (2004) apresentaram um série de questões que ainda devem ser exploradas nas pesquisas que envolvem SMA: Como os indivíduos constroem a coletividade? Como uma instituição é criada? Um indivíduo não pode ser visto como uma entidade autônoma independente de seu ambiente social. Como os indivíduos são influenciados pelas estruturas coletivas que eles mesmos criaram e como elas evoluem? Quantos graus de liberdade existem para cada prática individual? A teoria SMA vem tentando responder a essas questões, em termos de controle e comunicação, e o campo mais fértil para seu uso é a gestão de recursos renováveis.

A gestão de recursos naturais é um sistema complexo. Os sistemas complexos são geralmente descritos como adaptativos. Os mecanismos adaptativos podem influenciar as saídas tanto na microescala quanto na macroescala. Ao nível de um agente individual, o comportamento de aprendizado e a evolução das estratégias devem ser construídos na estrutura de tomada de decisão. Ao nível do sistema, a evolução da população agregada pode ser influenciada pela dinâmica dos agentes (BERGER, 2001).

Se os pesquisadores têm interesse na modelização de sistemas complexos de um sistema com MUCS, eles também podem estar interessados especificamente na compreensão dos fenômenos macroscópicos ou emergentes que podem resultar do experimento. Enquanto a palavra “emergência” se tornou popular nas discussões sobre a complexidade, existem diferentes manifestações concretas do conceito, muitas das quais são potencialmente úteis para os pesquisadores empíricos. Entretanto, cabe ressaltar que ainda não existe uma definição matemática formal de emergência que seja amplamente aceita, e o tema permanece como ponto de debate entre os modelizadores.

O fenômeno da emergência tem sido descrito como uma saída agregada que não pode ser prevista ao se examinar isoladamente os elementos de um sistema. Holland (1998; apud PARKER et al., 2003) definiu as emergências simplesmente como “muito vindo de pouco”. Auyang (1998; apud PARKER et al., 2003) as definiu como estruturas de mais alto nível que são qualitativamente diferentes de componentes de níveis mais baixos e que não podem ser obtidas pela agregação, médias ou outra superposição de componentes desses níveis mais baixos. As definições de emergência usualmente são concernentes a fenômenos de macroescala que surgem da microinteração. Algumas definições associam emergência com surpresa ou novidade (BATTY e TORRENA, 2001; apud PARKER et al., 2003). Apesar de o conceito de surpresa ser contraditório para alguns pesquisadores, ele permite a reflexão sobre o que não é uma emergência: um padrão de aparição que seja uma consequência óbvia das propriedades dos componentes do sistema.

Vários autores identificaram exemplos concretos de emergência. Modelos de locação focalizaram na segregação espacial e nos padrões de assentamento e migração como propriedades emergentes de sistemas complexos explicitamente espacializados. Padrões de uso do solo também foram identificados como propriedades emergentes dos mercados de terra (PARKER et al., 2001). As distribuições das dimensões de propriedades rurais também foram identificadas como emergentes dos mercados de terras agrícolas (BERGER, 2001). Em todos os exemplos, as saídas macroscópicas dependem das interações entre os agentes tanto quanto das características individuais de cada agente.

Os SMA são, atualmente, uma ferramenta importante no domínio da modelização e da simulação de sistemas complexos. Eles são cada vez mais

utilizados no desenvolvimento de programas computacionais (programação orientada agente/interações/organizações) na resolução de problemas (gestão de redes eletrônicas) e para compreender melhor, pela simulação, os eco-sócio-sistemas, os quais combinam, ao mesmo tempo, as dinâmicas naturais e as sociais.

Recentemente, pesquisadores que trabalham na exploração de futuros relacionada com a gestão de recursos naturais começaram a utilizar os Sistemas Multiagentes (SMA) em diferentes estudos, nos quais a gestão de recursos naturais deve levar em conta as interações entre as dinâmicas naturais e sociais (BOUSQUET e LE PAGE, 2004). Os modelos SMA fornecem facilidades na escala microregional para construir percepções específicas do ecossistema que cada agente utiliza para determinar as suas ações; outra facilidade é a de incorporar em uma paisagem virtual realista, entidades espaciais agregadas em níveis diferentes e conectá-las a processos dinâmicos com escalas específicas (ETIENNE e LE PAGE, 2002). Além do mais, graças às técnicas de autômatos celulares, modelos comportamentais das decisões sobre o uso da terra pelos agentes podem ser explicitados espacialmente (VELDKAMP e LAMBIN, 2001; apud SIMON, 2006). Finalmente, por explicitar as relações entre os indivíduos, os modelos SMA permitem simular propriedades emergentes dos sistemas, as quais não são previsíveis a partir de observações de microunidades isoladas (VERBURG et al., 2004).

Em paralelo, uma abordagem teórica baseada no indivíduo vem evoluindo de uma abordagem de sistemas (BOUSQUET e LE PAGE, 2004). A abordagem de sistemas é baseada nos métodos de dinâmicas de sistemas: o sistema é representado como um conjunto de compartimentos interligados por fluxos e controles, utilizados para representar os estoques e os fluxos de matéria, energia ou informação. A abordagem individualista focaliza nos problemas de comportamentos e interações (BOUSQUET e LE PAGE, 2004), ela foi desenvolvida com modelos baseados em indivíduos (IBM) nos finais dos anos 80 (HUSTON et al., 1988; apud SIMON, 2006) ou, também, com sistemas multiagentes (SMA).

A simulação SMA traz uma nova visão para a modelização nas ciências ambientais, pois além de utilizar a representação direta dos indivíduos (os agentes), ela também representa as suas interações. Ela permite, dessa forma, resolver problemas complexos associados às sociedades nas quais o modo de organização ao nível macro resulta das diferentes interações ao nível micro (dos indivíduos/agentes).

Ela oferece outra vantagem, de permitir a qualquer um ser parte da simulação, como descreve Ferber (1995) “como se fosse um laboratório em miniatura, que possibilita a movimentação dos indivíduos, a alteração em seu comportamento e a modificação das condições ambientais”.

Os modelos SMA são potencialmente úteis para o teste e aprendizado interativos de políticas na área de gestão ambiental, pois as abordagens SMA podem modelizar tanto a tomada de decisão como os processos sócio-físico-biológicos.

Três tipos de modelos participativos podem ser observados na literatura de acordo com o nível de participação obtido. O primeiro tipo de modelo é desenvolvido, explicitamente, para obter a participação em todos os estágios do desenvolvimento do modelo (HARE et al., 2002; apud PARKER et al., 2003; LYNAM et al., 2002; apud PARKER et al., 2003; BOUSQUET et al., 2002). Os atores locais e modelizadores trabalham juntos para construir o modelo SMA do sistema em estudo, a construção do modelo e os exercícios de implementação do modelo facilitam o aprendizado sobre as interações e dinâmicas do sistema. No segundo tipo, a participação dos atores locais não é necessariamente incorporada na construção do modelo, mas eles participam da implementação, agindo como agentes do modelo (BARRETEAU et al., 2001). Os atores locais interagem com os agentes artificiais do modelo SMA para aprender mais sobre o sistema. O terceiro tipo, mais comum, desenvolve modelos SMA para serem apresentados à classe política, considerada a principal tomadora de decisão por ser a responsável pela elaboração das políticas públicas, como uma ferramenta para análise de cenários, completamente funcional (ANTONA et al., 2002). Os atores locais podem alterar variáveis e parâmetros do modelo para testar políticas alternativas.

Os modelos SMA são particularmente apropriados quando (PARKER et al., 2003) (i) estão presentes interdependências importantes entre os agentes e seu ambiente, (ii) a heterogeneidade de agentes e/ou de seu ambiente afeta criticamente as saídas do modelo, (iii) existem conexões entre as estruturas hierárquicas da organização em todos os sentidos (de baixo para cima e vice-versa) e (iv) os comportamentos adaptativos no nível individual ou no nível do sistema são relevantes para o sistema em estudo.

Os SMA enfatizam o processo de tomada de decisão dos agentes e a organização social na qual esses agentes estão inseridos. Os SMA estão baseados em uma abordagem tipicamente *bottom-up*: através da modelização dos comportamentos e das interações, propriedades emergentes podem ser observadas ao nível do sistema (BOUSQUET e LE PAGE, 2004). A idéia central de produzir um sistema que se comporta com a realidade está sempre presente com a meta de utilizar o simulador para questionar “e o que acontecerá se...?”. A adaptação do modelo à realidade não tem o objetivo de transformá-lo em uma ferramenta de predição, mas, sim, de entender as dinâmicas que existem ou que existiram (BOUSQUET e LE PAGE, 2004).

A vocação de um modelo, geralmente, é de servir como uma ferramenta de suporte à decisão (LE BER et al., 1999; apud SIMON, 2006), mas as simulações também podem ser utilizadas para contribuir com o processo de tomada de decisão (GIMBLETT et al., 1998; apud SIMON, 2006). Métodos diferentes são propostos, entre os quais a modelização de acompanhamento (*Companion Modelling* - ComMod), que estabelece o uso dos SMA para tratar problemas de gestão de propriedades comuns como parte de uma abordagem construtivista com os “jogadores” do sistema que tem representações diferentes do mesmo (BOUSQUET e LE PAGE, 2004). Portanto, a gestão adaptativa não consiste apenas em aumentar a adaptabilidade de um ecossistema, mas também, em trabalhar com os processos sociais que conduzem a esse estado. A importância reside nas soluções que emergem das interações que trazem com elas um *portfólio* de intervenções que incluem: (i) a mediação para solução de conflitos (WITTMER et al., 2006); (ii) a facilitação do aprendizado (BOUSQUET e LE PAGE, 2004) e (iii) as abordagens participativas que envolvem as pessoas em ações de negociação coletiva (BOUSSET et al., 2005).

Os estudos que combinam o uso de SMA e de métodos de cenários em uma abordagem participativa nem sempre têm os mesmos objetivos e, conseqüentemente, não seguem o mesmo processo metodológico. Entre os estudos de cenários que envolvem ativamente os usuários no processo de construção dos cenários, dois tipos de abordagens podem ser distinguidas (VAN ASSELT e RIJKENS-KLOMP, 2002): (i) cenários nos quais somente os tomadores de decisão são envolvidos e (ii) cenários nos quais tanto os tomadores de decisão quanto os demais atores são envolvidos (ambos se tornam usuários). Os dois tipos de abordagens pretendem dar suporte ao processo de tomada de decisão, mas apenas o segundo pretende dar suporte também

a um processo de aprendizado social e, nesse caso, os modelos computacionais se tornam instrumentos para esse aprendizado coletivo em vez de instrumentos para “conduzir” o sistema.

A primeira etapa de uma simulação SMA consiste em decompor um fenômeno real em um ambiente no qual participam um número finito de objetos autônomos e discretos, associados por ligações estáticas e dinâmicas. A segunda etapa permite que, a partir da definição do ambiente, dos objetos e das ligações que os unem, crie-se um modelo para a transformação dos objetos em entidades informáticas autônomas denominadas agentes. A última etapa, comum a todos os tipos de simulação, consiste em refinar o modelo em função de observações conjuntas da realidade e das simulações resultantes do modelo. O objetivo de sistemas multiagentes é compreender como processos diferentes em competição direta são coordenados. A Figura 1.05 mostra uma representação esquemática de um sistema socioambiental.



Figura 1.05 Representação esquemática de um sistema socioambiental (adaptado de BOUSQUET e TREBUIL, 2006)

### 1.3.2 Agentes - autonomia, interação e coordenação

A definição do conceito de agente não é consensual, é polêmica e depende da especialidade do domínio considerado. Ela é associada a inúmeras aplicações como o agente cognitivo (inteligência artificial), o agente programa (Unix), o agente assistente etc. As definições são diversas, mas se sobrepõem, geralmente, em alguns pontos, como autonomia, ação e flexibilidade. Wooldridge (1998) propõe que “um



agente é um sistema informático, situado em um ambiente, que age de forma autônoma e flexível para atender os objetivos pelos quais ele foi concebido”.

Ferber (1995), por sua vez, define um agente como “uma entidade física ou virtual que: (i) é capaz de agir em um ambiente, (ii) pode se comunicar diretamente com outros agentes, (iii) é movido por um conjunto de tendências (sob a forma de objetivos individuais ou uma função de satisfação, visão de sobrevivência, que ele busca otimizar), (iv) possui recursos próprios, (v) é capaz de perceber seu ambiente (de maneira limitada), (vi) dispõe de apenas uma representação parcial deste ambiente (e em alguns casos nenhuma), (vii) possui competências e oferece serviços, (viii) pode se reproduzir eventualmente e (ix) seu comportamento tende a satisfazer seus objetivos, levando em conta os recursos e as competências de que dispõe e, em função de sua percepção, de suas representações e das comunicações que recebe”.

Um sistema multiagentes (SMA) é feito de um conjunto de processos computacionais que ocorrem ao mesmo tempo, ou seja, vários agentes existem ao mesmo tempo, compartilham recursos comuns e se comunicam entre si. Um agente pode ser descrito como autônomo por ter a capacidade de se adaptar quando o ambiente se altera. Esse comportamento autônomo pode ser visto como uma consequência de seu conhecimento, suas interações com outros agentes e as metas que persegue.

A autonomia significa que os agentes têm controle sobre as suas ações e seu estado interno para atingir as suas metas. Wooldridge (1999) definiu (i) um agente inteligente como aquele capaz de agir com flexibilidade, o que implica que os agentes são orientados aos objetivos e capazes de interações com outros agentes e (ii) um ambiente comum como qualquer coisa que esteja fora dos agentes. Em um contexto de mudanças no UCS, uma paisagem compartilhada em que as ações de um agente podem afetar as ações dos outros agentes se assemelha a um ambiente unificado.

Os agentes devem agir de acordo com algum modelo de cognição que conecte seus objetivos autônomos ao ambiente por meio de seu comportamento. O termo cognição pode variar de uma tomada de decisão simples do tipo estímulo-resposta até o ponto em que os atores são proativos, tomam iniciativas e têm maiores intenções. No mínimo, um agente autônomo precisa de estratégias que lhe permitam reagir às

mudanças no ambiente, dada a importância desse ambiente para as suas ações e objetivos. A reação pode ser completamente descrita e continuar a ser considerada como um modelo cognitivo no sentido estrito, desde que o agente possa responder às mudanças. Além da reação pura, alguns modelos da tomada de decisão humana são baseados na teoria da escolha racional, que assume que os atores são otimizadores perfeitamente racionais, com acesso irrestrito à informação, visão prospectiva e habilidade analítica infinita.

Apesar do potencial dos modelos de escolha racional em explicar fenômenos complexos, evidências experimentais contradizem algumas bases da escolha racional, levando cientistas sociais a questionar a validade empírica da teoria da escolha racional (SELTEN, 2001; apud PARKER et al., 2003). Alguns bons exemplos dos modelos de tomada de decisão podem ser encontrados no campo emergente da economia computacional baseada em agentes, na qual essas abordagens têm sido aplicadas a mercados financeiros, macroeconomia, inovação, gestão ambiental e trabalhos econômicos (TESFATSION, 2001; apud PARKER et al., 2003).

Essas características (autonomia, comunicação, representação etc.) não se aplicam sempre a todos os tipos de agentes. Segundo o modo de controle (concorrente ou seqüencial) ou a forma de representação dos conhecimentos (simbólica ou numérica), a descrição pode diferir e ser declarativa ou mais operacional.

No âmbito operacional, pode-se falar de uma arquitetura dos agentes. O campo da ciência computacional propõe várias arquiteturas para a tomada de decisão dos agentes e diversos protocolos de interação. Em uma perspectiva de coordenação dos agentes, podem-se classificar as arquiteturas de agentes em 3 tipos: (i) arquitetura de agentes autônomos, que exibem agentes com a capacidade de ação e percepção de seu ambiente, mas a capacidade de cooperação e de coordenação são mínimas; (ii) arquitetura de agentes interativos, além das capacidades de ação e percepção, eles têm uma representação dos outros agentes e podem interagir enviando mensagens e (iii) arquitetura de agentes sociais, que possui mecanismos de coordenação e cooperação bem sofisticados.

Do ponto de vista de raciocínio dos agentes, a classificação de suas arquiteturas difere para (BAH et al., 2006):

- a) Arquitetura de agentes reativos, na qual os agentes não têm nenhuma representação simbólica de seu ambiente. A ação segue, imediatamente, a manifestação de um estímulo emitido pelo ambiente. Essa abordagem se baseia na idéia de que a inteligência, ao nível de um SMA, nasce da interação entre agentes simples.
- b) Arquitetura de agentes cognitivos, também denominados deliberativos, que se inspiraram no modelo BDI (Belief – Desire - Intention, Crença – Desejo - Intenção) e são estruturas complexas, de forma contrária aos agentes reativos.
- c) Arquitetura de agentes híbridos, que combinam estruturas simples e complexas. Esse tipo de arquitetura estreou no domínio da robótica que utiliza um sistema reativo para o controle de baixo nível e uma planificação para a tomada de decisão.

Um SMA é um sistema distribuído, composto de inúmeras entidades ou agentes que interagem em um mesmo ambiente segundo os modos de cooperação, de concorrência ou de coexistência (CHAIB-DRAA e LEVESQUE, 1996; apud BAH et al., 2006). Segundo Ferber (1995), um SMA é composto de (Figura 1.06):

- a) Um ambiente E, que é um espaço que dispõe de uma dimensão mensurável.
- b) Um conjunto de objetos O, situados no ambiente E. Estes objetos são passivos, podem ser criados, percebidos, destruídos e modificados pelos agentes.
- c) Um conjunto de agentes A, que são objetos particulares ( $A \subset O$ ).
- d) Um conjunto de relações R que unem os objetos (e os agentes).
- e) Um conjunto de operações Op que permitem aos agentes A perceber, produzir, transformar e manipular os objetos O.
- f) Um conjunto de operadores encarregados de representar a aplicação das operações Op e a reação do “mundo” a essas tentativas de modificação.

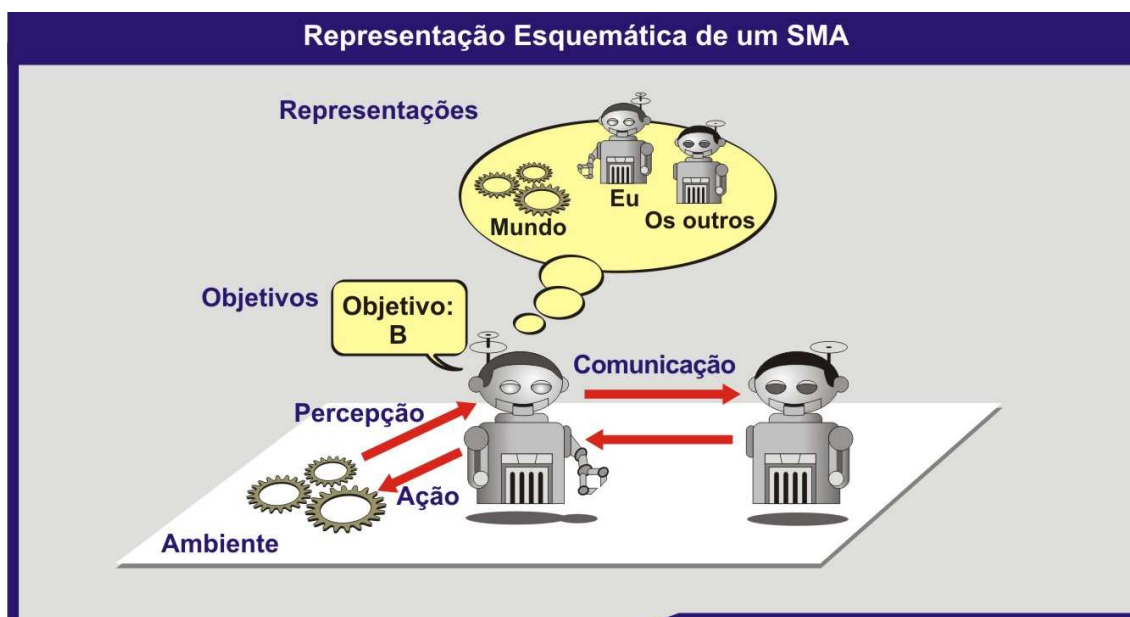


Figura 1.06 Representação esquemática de um SMA (adaptado de FERBER, 1995)

Como podem existir inúmeras entidades que interajam ao mesmo tempo em um mesmo ambiente, faz-se necessária a solução de problemas de coordenação, de interação por comunicação ou outras, e de cooperação. Segundo Bousquet e Le Page (2004), no caso dos SMA aplicados à ecologia, existem três tipos principais de interações: (i) interações pela comunicação entre agentes, (ii) interações físicas (a predação, por exemplo) e (iii) interações mediadas pelo ambiente.

Dois tipos de comunicação podem ocorrer entre os agentes (KONIN e PESTY, 2001; apud BAH et al., 2006):

- a) Uma comunicação indireta, por meio de sinais emitidos através do ambiente, muito utilizada em modelos com agentes reativos e que ocorre pela propagação de estímulos ou sinais pelo ambiente. Essa comunicação é restrita, pois o número de sinais é finito e a sua interpretação é fixa.
- b) Uma comunicação direta entre agentes, pelo envio intencional de mensagens. O agente possui a capacidade de enviar, receber, interpretar e responder as mensagens. O envio pode ser síncrono, quando os agentes têm que se “encontrar” para a troca de mensagens; ou assíncrono, quando o encontro não é necessário.

A coordenação nos SMA é muito importante, pois, além de estabelecer como “alinhar atividades de perspectivas diferentes” (BONDE et al., 1988; apud BAH et al., 2006), ou seja, fazer interagir agentes com pontos de vista conflitantes deve também

assegurar a coerência global do sistema. Sycara (1991; apud BAH et al., 2006) afirma que “a coordenação pode ser definida como a gestão das interdependências entre as atividades dos agentes ou, de forma mais pragmática, como a escolha, o ordenamento e a afetação das ações ao longo do tempo para tentar maximizar o conjunto de critérios de decisão que pode variar no tempo”. O modelizador deve responder às seguintes questões: (i) o que coordenar, (ii) por meio de qual representação e (iii) como coordenar.

Ossowski (1999) propôs dois modos de coordenação de SMA: (i) coordenação centralizada, que pressupõe a existência de um coordenador geral, e (ii) coordenação distribuída, na qual o objeto deve encontrar lugar entre os agentes que têm interesses divergentes, o que implica em um mecanismo de negociação.

Bah et al (2006) propõem outra distinção de modos de mecanismos de coordenação, a qual pode ser feita entre: (i) modelos orientados a tarefas, em um contexto de resolução distribuída, no qual há uma meta global, que os agentes devem satisfazer executando cada qual uma subtarefa específica (DURFEE, 1991; apud BAH et al., 2006) e (ii) modelos orientados a agentes, que não têm uma meta global comum, e cada agente busca maximizar a sua satisfação individual.

### **1.3.3 As plataformas SMA**

Na última década, foram desenvolvidas diversas ferramentas, plataformas e ambientes de desenvolvimento para SMA. As aplicações geralmente são desenvolvidas com uma linguagem orientada ao objeto. Esses ambientes possibilitaram avanços significativos nas pesquisas permitindo o seu acesso a usuários de campos diversos (ecólogos, geógrafos, biólogos etc.), os quais conceberam modelos com certa facilidade, sem perder muito tempo para compreender os diferentes conceitos. Gessoum e Occello (2001; apud BAH et al., 2006) classificaram esses ambientes em torno de cinco tipos de ferramentas:

- a) ambientes para a simulação, que fornecem um conjunto de bibliotecas para facilitar o desenvolvimento de agentes de simulação, a CORMAS é um bom exemplo;

- b) ambientes para a implementação, que implementam arquiteturas desde agentes simples até agentes dotados de uma linguagem de comunicação complexa;
- c) ambientes para a concepção, que são baseados sobre um modelo de componentes, nos quais um agente é uma associação de componentes simples ou complexos;
- d) ambientes para a concepção e implementação, que oferecem um conjunto de ferramentas que permitem definir grupos de agentes e desenvolver, de forma independente, a arquitetura de agente selecionada; e
- e) ambientes para a concepção, a implementação e a validação, que oferecem além da concepção e implementação, ferramentas de validação para as aplicações SMA desenvolvidas.

Segundo Bousquet e Le Page (2004), as plataformas podem ser classificadas em três tipos:

- a) Plataformas genéricas, utilizadas para vários propósitos, como telecomunicações e redes. Algumas delas são regularmente citadas em aplicações ambientais. Essas ferramentas são baseadas em princípios que não são necessariamente a gestão de recursos.
- b) Plataformas para simulações ecológicas e sociais, que fornecem programas utilitários para simular ecossistemas ou problemas de gestão de recursos. São ferramentas completas para a implementação de sistemas sociais ou ecológicos. Algoritmos ou estruturas são fornecidos para implementar as conexões entre os agentes e o seu ambiente e outros elementos são fornecidos para organizar as associações de agentes.
- c) Plataformas dedicadas, que são desenvolvidas para uma aplicação bem específica.

Existem inúmeros ambientes (plataformas) que foram desenvolvidos para estudar um problema particular como: (i) SIMDELTA (BOUSQUET et al., 1993) sobre a pesca no delta do rio Niger; (ii) MANTA (DROGOUL, 1994, apud BOUSQUET e LE PAGE, 2004), para resolver problemas de divisão de tarefas em uma sociedade de insetos; (iii) SEALAB (LE PAGE, 1996) sobre a reprodução de peixes, (iv) PASTEUR (BAH et al., 1998) sobre a mobilidade pastoral, (v) SHADOC (BARRETEAU, 1998) sobre perímetros irrigados no Senegal.

Detalharemos apenas a plataforma CORMAS (BOUSQUET et al., 1998), que foi utilizada para desenvolver o modelo de simulação deste estudo. CORMAS (**C**ommon-pool **R**esources and **M**ulti **A**gent **S**ystems) é uma plataforma de simulação desenvolvida pela unidade GREEN (*Gestion des Ressources Renouvelables et Environnement*) do CIRAD (*Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement*), cujo objetivo era ser capaz de desenvolver modelos mais facilmente, rapidamente e eficientemente, baseados nas interações entre as dinâmicas naturais e sociais no contexto da gestão de recursos comuns.

CORMAS é um ambiente de programação destinado à elaboração de modelos SMA para simulações. Um grande número de modelos utiliza essa plataforma (os modelos podem ser observados em <http://cormas.cirad.fr>), e seu sucesso junto aos pesquisadores se deve a sua facilidade em realizar modelos sobre a problemática da gestão dos recursos naturais..

CORMAS foi desenvolvida a partir do ambiente Visualworks, portanto sua linguagem de programação é o Smalltalk. Em sua interface principal (Figura 1.07) podem ser observadas três grandes partes: (i) programação, (ii) visualização e (iii) simulação.

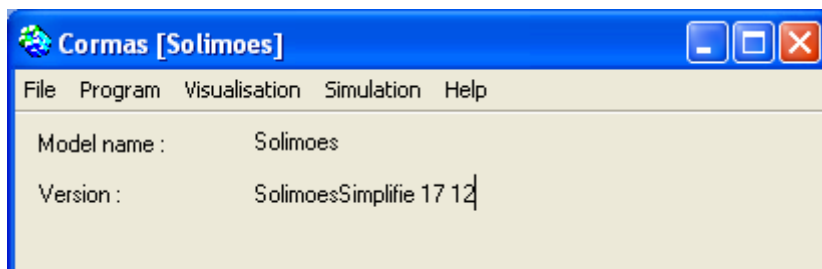


Figura 1.07 Interface principal Cormas

A parte de programação permite ao usuário definir as diferentes entidades (agentes) de seu modelo e especificar os modos de interação entre elas. No caso de entidades sociais, podem ser implementados também procedimentos de comunicação direta (envio de mensagens) ou indireta (via ambiente). Na CORMAS, existem três tipos de entidades (Figura 1.08): (i) espaciais, (ii) sociais e (iii) passivas.

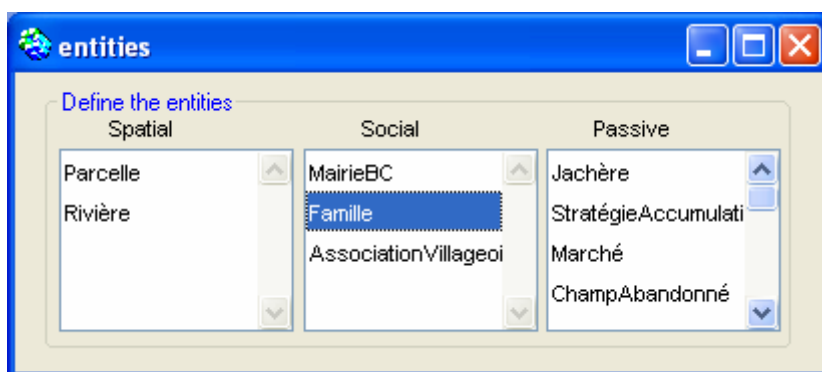


Figura 1.08 Entidades Cormas

Esta divisão em três tipos de entidades genéricas demonstra a especificidade da plataforma que se presta, principalmente, a gestão de recursos naturais, ou seja, às interações entre as dinâmicas sociais e ambientais.

A parte de visualização oferece a possibilidade de observar em uma interface, denominada “espaço de simulação”, a evolução das entidades sociais e a dinâmica das entidades espaciais (Figura 1.09). Este espaço, geralmente, é uma grade de dimensão variável, na qual as células podem ser de forma quadrada, retangular ou hexagonal, e pode ser acoplado a um Sistema de Informações Geográficas (SIG) importando vetores ou raster. Nesta parte também é possível obter diferentes gráficos para visualizar o comportamento das variáveis do sistema (Figura 1.10).

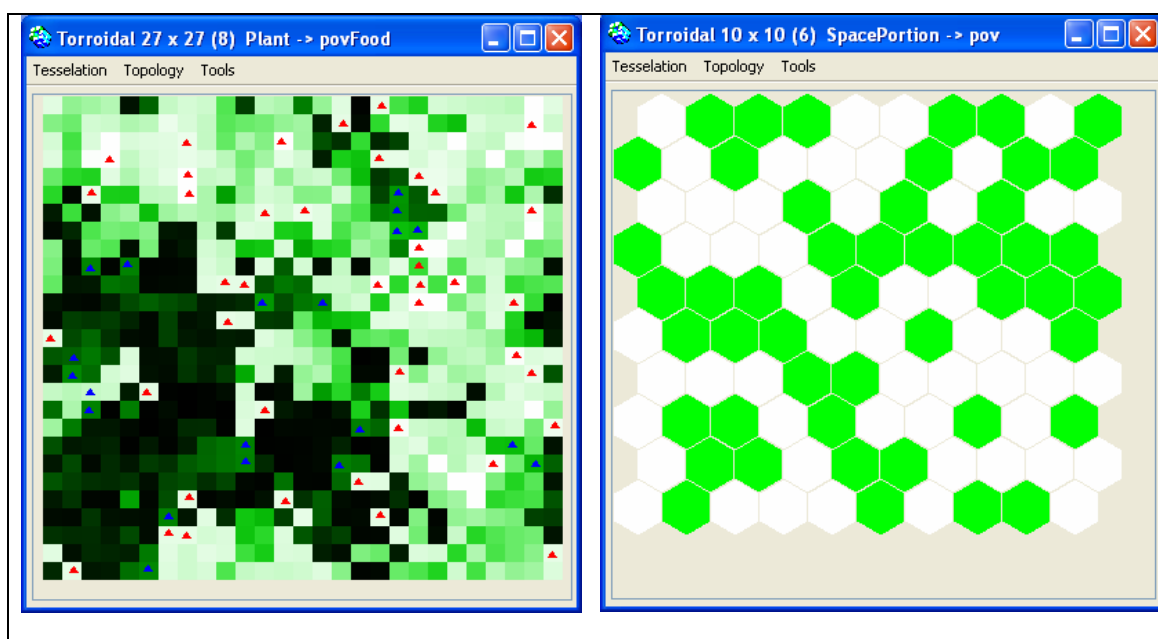


Figura 1.09 Espaços de simulação em Cormas





Figura 1.10 Interface gráfica para visualizar os resultados de simulações

A parte de simulação permite ao modelizador fazer evoluir o seu modelo virtual ao longo do tempo e no espaço, ao seleccionar um passo de tempo que lhe convém (Figura 1.11).

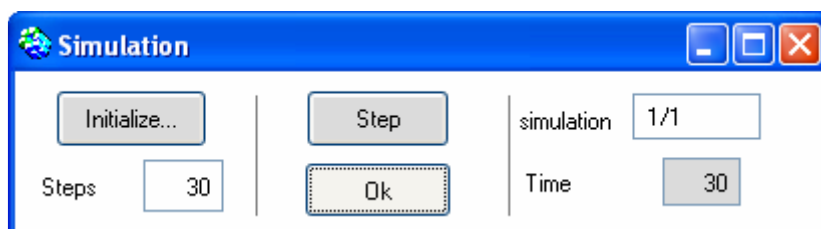


Figura 1.11 Interface para seleção do horizonte de variação do tempo na simulação

O desenvolvimento de sistemas multiagentes demanda um esforço importante e sustentado. A maturidade atual das pesquisas neste campo demonstra que é necessário desenvolver métodos de concepção para que qualquer um possa se apropriar do modelo desenvolvido. Atualmente, existem dois tipos de metodologias orientadas ao objeto para concepção de SMA: (i) aquelas que adaptam as metodologias orientadas ao objeto e (ii) aquelas que se inspiram nas metodologias da engenharia de conhecimentos ou de necessidades.

As seis metodologias orientadas a agentes mais conhecidas atualmente são: (i) AAIL (Australian Artificial Intelligence Institute); (ii) Aalaadin; (iii) Cassiopéia; (iv) GAIA; (v) ADELFE e (vi) CommonKADS.

A metodologia AAIL (Australian Artificial Intelligence Institute) foi desenvolvida por este instituto para a gestão do tráfego aéreo (KINNY et al., 1996; apud BAH et al., 2006), utilizando a tecnologia BDI-PRS (Belief-Desire-Intention / Procedural Reasoning System). Esta metodologia propõe dois eixos ou pontos de vista que se integram e que propõem, cada qual, um conjunto de modelos os quais permitem a especificação dos agentes:

- a) Um ponto de vista externo aos agentes que se interessam pela organização do sistema, pelos papéis, pelos serviços e pelas responsabilidades. São exemplos (i) o modelo agente, que descreve a hierarquia entre os agentes e permite identificar as instâncias possíveis e (ii) o modelo de interação, que descreve os serviços e as interações entre os agentes.
- b) Um ponto de vista interno aos agentes que focaliza a instanciação dos agentes e suas implementações. São exemplos: (i) o modelo de crenças, que descreve o estado interno dos agentes e suas ações possíveis, (ii) o modelo de metas, que permite descrever as metas que os agentes podem adotar e aquelas que eles podem responder e (iii) o modelo de planos, que descreve por meio de planos os meios que podem ser utilizados para atingir as suas metas.

A metodologia tema do projeto Aalaadin fornece um arcabouço interessante para o desenvolvimento de SMA associado a um ambiente de prototipagem e de execução, perfeito para a especificação de organizações baseadas nas noções de agentes, grupos e papéis (FERBER e GUTKNECHT, 1998; apud BAH et al., 2006). Aalaadin propõe uma abordagem centrada na organização descrita pelo meta-modelo AGR (*Agent-Groupe-Role* / Agente-Grupo-Papel), que pode ser apresentada segundo dois pontos de vista: (i) a estrutura organizacional e (ii) a organização concreta, que representam uma instanciação da estrutura organizacional.

A metodologia Cassiopéia foi desenvolvida por Collinot e Drogoul (1998; apud BAH et al., 2006), com uma abordagem *bottom-up*. A metodologia se baseia nos conceitos de: papéis, agentes, dependências e grupos. Um agente é visto como um conjunto de papéis organizados em três níveis: (i) nível individual, que representa o comportamento dos agentes; (ii) nível relacional, que representa a maneira de interagir com os outros agentes, e (iii) nível organizacional, que focaliza a maneira como são geradas as interações entre os agentes para se manterem ou se tornarem organizados.

A metodologia GAIA é uma extensão da engenharia de programas informáticos clássica. É um método de segunda geração que se beneficia de partes de métodos da primeira geração (como o AAIL) e tenta integrar uma abordagem à base de papéis e estados mentais dos agentes (WOOLDRIDGE et al., 2000).

A metodologia ADELFE, do projeto ADELFE (*Atelier de Developpement de Logiciels à Fonctionnalité Emergente*), propõe o desenvolvimento de SMA adaptativos (PICARD, 2004; apud BAH et al., 2006). Seu processo de decisão está baseado no Processo Racional Unificado, mas não integra a noção de agente após as etapas de análise e concepção; ele é definido em termos de atividades, etapas, participantes e documentos.

A metodologia CommonKADS atualmente possui dois desdobramentos: os métodos CoMoMAS e MAS-CommonKADS (IGLESIAS et al., 1997; apud BAH et al., 2006). O método foi criado para o desenvolvimento de sistemas à base de conhecimentos e é composto por um grupo de modelos que permitem capturar o conjunto de elementos do sistema. Os sete modelos do MAS-CommonKADS são: (i) modelo organizacional, que descreve a organização na qual o SMA será introduzido e a organização da sociedade de agentes; (ii) modelo orientado a tarefas, que descreve as tarefas (metas) que devem ser executadas pelos agentes e a decomposição dessas tarefas; (iii) modelo de agentes, que descreve as características principais dos agentes; (iv) modelo de comunicação, que detalha as interações entre o agente humano e o programa de informática e os fatores humanos necessários para o desenvolvimento destas interfaces; (v) modelo de coordenação, que descreve a comunicação entre os agentes, suas interações, seus protocolos e suas capacidades de interação exigidas; (vi) modelo de especialistas, que descreve os conhecimentos necessários para que os agentes executem as tarefas e (vii) modelo de concepção, que agrupa os modelos anteriores e os subdivide em 3 submodelos, concepção de aplicação, concepção de arquitetura e seleção da plataforma.

#### **1.3.4 Os desafios das pesquisas com SMA**

Para BAH et al. (2006), alguns desafios ainda estão postos para os pesquisadores para operacionalizar as simulações com SMA para a gestão de recursos naturais, entre os quais:

- a) a complexidade dos sistemas modelizados, de suas dinâmicas e suas representações;
- b) o papel principal dos processos sociais humanos;
- c) a falta de argumentos e métodos para a calibração e validação;
- d) a diversidade de escalas, reforçada pela diversidade de pontos de vista;
- e) a integração dos modelos clássicos pré-existentes e
- f) a hesitação entre os modelos existentes pouco compreensíveis pelos tomadores de decisão e dos modelos mais qualitativos, com processos participativos, que podem ser apropriados, mas são de difícil validação.

Um conjunto de questões de pesquisa sobre o uso dos SMA tem sido proposto por diversos autores. Segundo Bousquet e Le Page (2004), estas questões podem ser subdivididas:

- a) Tomada de decisão individual, se as pesquisas deveriam se concentrar em testar modelos teóricos ou se devem focalizar na elicitación dos modelos de decisão pela observação do mundo real.
- b) Instituições para regulação, se as pesquisas devem se voltar para a gestão da propriedade comum.
- c) Escala e níveis organizacionais. As escalas são definidas pelo observador do sistema, como representar agentes atuando em diferentes escalas de tempo (velocidades), representando diferentes níveis, e como fazê-los interagir em uma simulação de uma forma relativamente próxima à real. Outro problema reside em como migrar de uma escala para outra.
- d) Uso dos modelos: do positivismo ao construtivismo. No paradigma das ciências naturais, o papel dos pesquisadores é descobrir a verdade e revelar as leis naturais que conduzem o sistema (CASTELLA et al, 1999; apud BOUSQUET e LE PAGE, 2004). O que mais interessa são as soluções que emergem das interações, o que traz um conjunto de intervenções como: mediação para solução de conflitos, aprendizado coletivo e negociação coletiva em abordagens participativas. Em que situações os SMA devem se tornar uma ferramenta para aprendizado coletivo em vez de ser uma ferramenta para conduzir o sistema?
- e) Credibilidade do modelo. Na comunidade SMA, é reconhecido que uma fragilidade dos SMA é a impossibilidade de estabelecer uma prova matemática dos resultados obtidos pelas simulações. Nas avaliações do progresso obtido pelos pesquisadores da comunidade IBM (GRIMM, 1999; apud BOUSQUET e

LE PAGE; 2004), várias conclusões podem ser consideradas no âmbito dos SMA. A idéia geral é que, após vários anos de inovação, um período de consolidação é necessário, e essa consolidação deve ser orientada principalmente ao método: como os resultados de um modelo devem ser apresentados? Como a sua estrutura deve ser apresentada?

Parker et al. (2003) apresentam questões de fundo, cujas respostas devem ser perseguidas por todos os pesquisadores em SMA:

- a) Que tipo de ciência estamos praticando quando utilizamos os modelos SMA?
- b) O que os resultados de nossos modelos nos dizem?
- c) Que papel nossas simulações desempenham em nossa investigação científica?
- d) Quanto nós podemos aprender com o método SMA? À luz de que “em simulações de sistemas complexos adaptativos, as propriedades emergentes são estritamente dependentes das regras pré-programadas pelo investigador”.

#### 1.4 MODELIZAÇÃO DE ACOMPANHAMENTO - COMMOD

Ostrom (1990) e Burton (1994) foram os primeiros a desenvolver a “abordagem patrimonial” (apud BOUSQUET et al., 1996). A idéia principal é que, nos campos social e econômico, o “longo-termo” não é previsível, entretanto ele é decidido parcialmente. Com base na concepção e percepção compartilhadas do estado corrente de um sistema é que os agentes podem traçar os seus objetivos e as suas estratégias de longo prazo, fundamentados na discussão sobre quais são os cenários que poderão ser atingidos. Os agentes interagem em oficinas para a definição do problema, depois analisam de todo o conjunto de soluções possíveis para, finalmente, fazerem a sua escolha baseada em critérios transparentes (MERMET et al., 2004).

Bousquet et al. (1990) utilizaram os conceitos da abordagem patrimonial em uma metodologia que integra o uso dos SMA baseados em três passos:

- a) **A construção de um “mundo artificial”**, que consiste, inicialmente, em coletar e selecionar o conhecimento (dados e informações) sobre o sistema em estudo. É recomendável que as pesquisas de campo e a modelização sejam executadas em sincronia. O processo continua com a identificação das

percepções dos agentes e dos usos que fazem dos recursos naturais e com a análise das interações entre os agentes. Devem ser focalizadas as questões relativas a problemas de representações, comunicações e controles. A implementação do modelo, feita por um modelizador, encontra “lacunas” nos dados e informações que demandam novas investigações de campo, que podem trazer novos elementos para o modelo.

- b) **A restituição**, que é uma avaliação do modelo conceitual (cognitivo). O objetivo é testar o modelo proposto para o processo de tomada de decisão, o que envolve uma análise criteriosa das representações e processos de interação entre os agentes. Para poder compartilhar com os agentes o que há “dentro” do modelo e evitar os efeitos de uma “caixa-preta” duas metodologias podem ser utilizadas. Na primeira, os agentes podem interagir diretamente com o SMA e entender como as dinâmicas natural e social são simuladas. Na segunda, um passo intermediário é necessário, que consiste em utilizar inicialmente, um jogo de papéis (*role playing game* – RPG) que podem ser computacionais ou qualitativos. Em ambas as metodologias, o objetivo é avaliar o modelo e aprimorá-lo, confrontando-o com as percepções dos agentes das dinâmicas natural e social. Os agentes são inseridos em um aprendizado coletivo de seu sistema comum. Retroalimentações podem aparecer com o primeiro passo como, por exemplo, a identificação de novos agentes.
- c) **A simulação**. As simulações mostram como as dinâmicas do sistema emergem de interações entre agentes que têm comportamentos e interesses diferentes, com escalas espaciais e temporais também diferentes, e com representações e pesos específicos nas negociações (BOUSQUET et al., 2002; COMMOD, 2005). Inicialmente, os agentes negociam e definem os objetivos de longo termo utilizando o SMA como instrumento de mediação; esse processo de negociação tem, geralmente, um mediador-facilitador (VAN DEN BELT, 2004) denominado “accoucher” (BOUSQUET et al., 1996). Os objetivos definidos não são necessariamente compartilhados por todos os agentes. Começa, então, uma fase interativa de construção de cenários com a intenção de explorar os caminhos diferentes para alcançar os objetivos e os seus respectivos meios. Os cenários são construídos pelos agentes, e o facilitador os direciona para simulações e discussões com vários pontos de vista.

Esses três passos constituem um guia metodológico que os construtores de cenários adaptam para o escopo, o contexto e o objetivo do estudo de cenários. Alguns estudos de cenários são utilizados para apoiar, apenas parcialmente, o processo de tomada de decisão e não seguem os 3 passos. Alguns passos, particularmente, demandam muito tempo (HERIMANDIMBY et al., 1998) e fazem com que os construtores de cenários prefiram se concentrar em poucos passos. Portanto, a seqüência de pesquisa a ser seguida varia de acordo com o estudo de cenários considerado. Além do mais, os construtores de cenários têm à sua disposição diversas ferramentas, como SMA e RPG, para acompanhar os agentes no seu processo de tomada de decisão durante a sua seqüência de pesquisa e podem combinar seu uso ou utilizá-los separadamente.

A modelização segue iterativamente por aproximações sucessivas usualmente de representações mais simples dos sistemas dinâmicos até as mais complexas. Esta modelização iterativa é feita em interação com os agentes, os quais, com os modelizadores, utilizam os modelos para o planejamento de cenários.

Um princípio básico da formatação do ComMod era ir além das abordagens disciplinares que tratavam o problema exclusivamente pela visão de um "sistema ecológico sujeito a perturbações antrópicas" ou de um "sistema social sujeito a restrições ambientais".

De acordo com Van Ittersum et al. (1998), o processo de tomada de decisão pode ser subdividido em 4 fases:

- 1) definição do problema,
- 2) consenso sobre as necessidades de intervenção,
- 3) identificação dos objetivos e
- 4) identificação dos meios para atingir esses objetivos.

Os sistemas de suporte a decisão (DSS – *decision support systems*) têm sido desenvolvidos para apoiar tomadores de decisão, ao considerar as implicações de vários cursos de pensamento. Um DSS pode ser definido como "um sistema de informação baseado em computação interativo, flexível e adaptável, especialmente desenvolvido para apoiar a solução de problemas de gestão não estruturados ao melhorar a tomada de decisão" (TURBAN, 1995; apud SIMON, 2006).

### 1.4.1 Uma visão compartilhada

Os pesquisadores da equipe GREEN (*Gestion des Ressources Renouvelables et Environnement*) do CIRAD (*Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement*) consideram o processo de tomada de decisão como uma série de interações entre agentes que têm vários objetivos e diferentes níveis de percepção ou tipos de informação, além de graus variáveis de importância e influência. A Figura 1.12 ilustra esse tipo de pensamento.

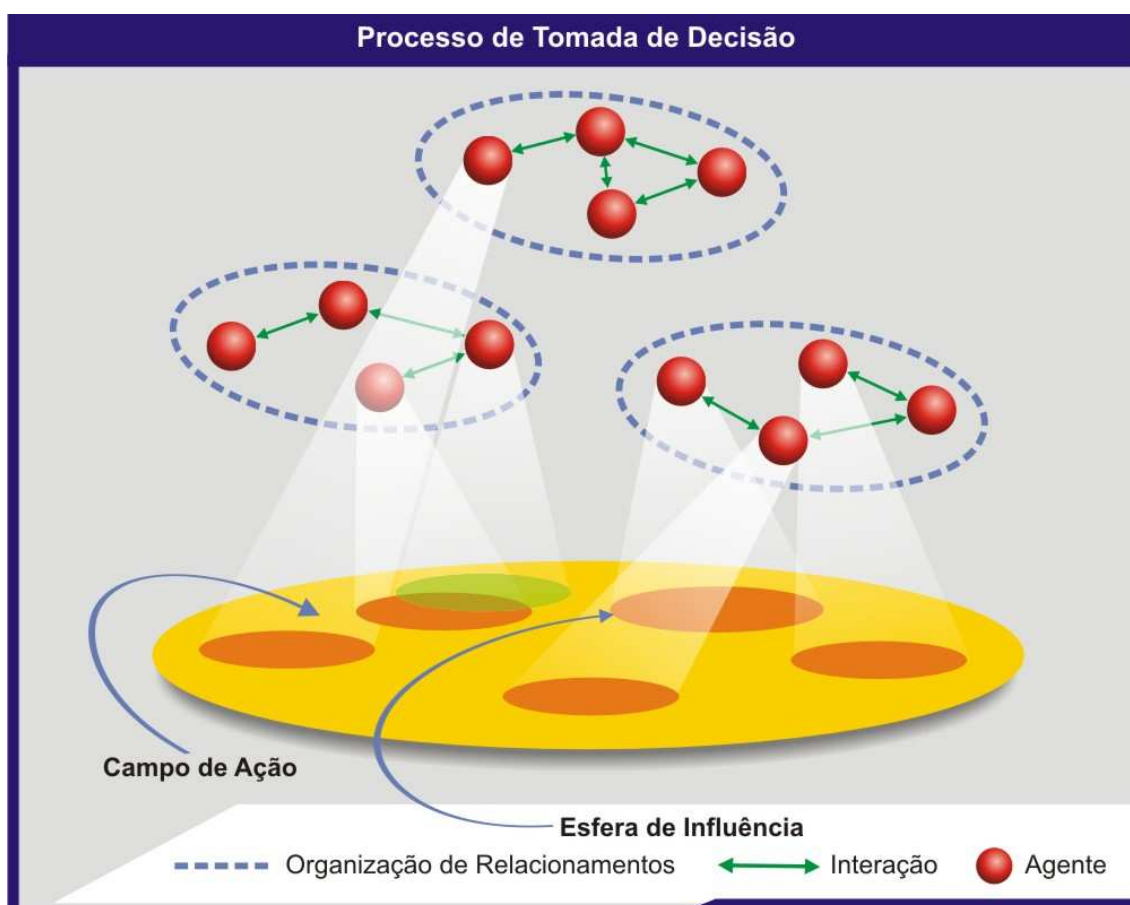


Figura 1.12 O processo de tomada de decisão (adaptado de WOOLDRIDGE, 2002)

Os diferentes agentes, inclusive os cientistas, devem trabalhar uma visão compartilhada do ambiente para a gestão de recursos. Este trabalho deve ser interativo buscando a identificação de novos acordos coletivos sobre indicadores e também o compartilhamento de procedimentos de monitoramento, de sistemas de informação e de alternativas concretas para a ação. O papel do cientista não é, apenas, alimentar a plataforma com um conhecimento “objetivamente verdadeiro”



sobre o subsistema biofísico, ele deve potencializar a construção coletiva de formas de comparar, avaliar e implementar alternativas concretas.

Em abordagens ComMod, o ponto de vista do cientista é apenas um dos pontos de vista sobre o sistema. Devem ser considerados, também, os pontos de vista dos tomadores de decisão e dos demais atores locais. Não se pode atribuir um peso maior a qualquer um dos pontos de vista identificados (Figura 1.13. a, b e c), todos devem ter a mesma importância (Figura 1.13 d).

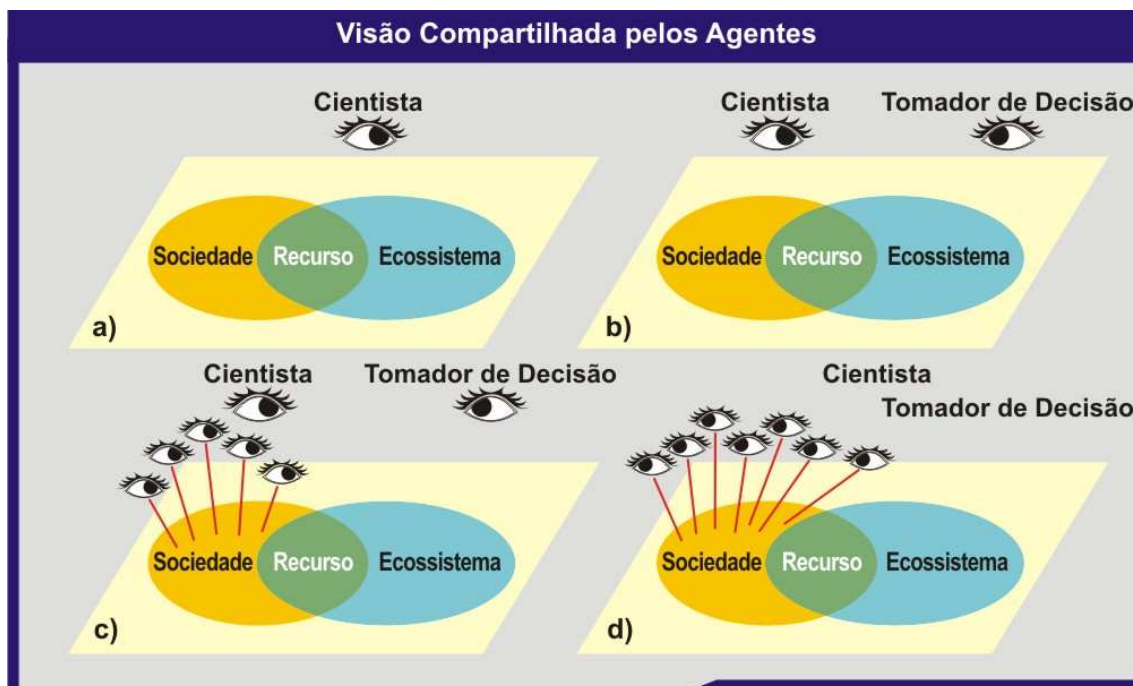


Figura 1.13 Visão compartilhada (adaptado de BOUSQUET e TREBUIL, 2005)

Segundo Bousquet e Trébuil (2005), diversas abordagens foram desenvolvidas recentemente para a gestão coletiva de ecossistemas, as quais inspiraram a metodologia ComMod:

- Gestão adaptativa, que é uma abordagem que reconhece que a gestão do ecossistema requer uma regulação e um monitoramento flexíveis, diversos e redundantes, de forma a levar a respostas corretivas e testes experimentais de uma realidade que sempre se altera. Ela reconhece que a capacidade adaptativa é dependente do conhecimento – sua geração e trocas livres – e da habilidade de reconhecer pontos de intervenção e de construir um banco de opções para a gestão dos recursos. Para tanto, interações com os agentes para a geração e intercâmbio de conhecimento se fazem necessárias.
- Co-gestão, que pode ser definida como uma parceria na qual as comunidades locais, os usuários dos recursos, as agências governamentais, as organizações não governamentais e outros agentes compartilham a autoridade e a

responsabilidade sobre a gestão de um território específico ou um conjunto de recursos.

- c) Mediação patrimonial, que contribui para a compreensão e prática da co-gestão. “Patrimonial” foi definida por Ollagnon (1991; apud BOUSQUET e TRÉBUIL, 2005) como “todos os materiais e elementos não materiais que trabalham juntos para manter e desenvolver a identidade e autonomia de sua existência no tempo e no espaço pela adaptação em um ambiente que se altera”. Uma representação patrimonial de um território liga gerações de gestores do passado, do presente e do futuro, focaliza nas obrigações mais do que nos direitos dos proprietários e promove uma visão comum da sustentabilidade que reconcilia as necessidades e opiniões de vários atores. A mediação é um método de negociação que traz uma terceira parte neutra, para facilitar o acordo entre diferentes partes envolvidas no processo, é uma abordagem na qual o ponto de vista de cada parte sobre o problema é traduzido para a compreensão dos demais.

A gestão não consiste apenas no aumento da adaptabilidade de um ecossistema, ela considera também o processo social que leva a este estado ecológico. O que realmente importa são as soluções que emergem das interações existentes no sistema. Nesse contexto, a modelização computacional se torna uma ferramenta para aprendizado interativo em vez de um instrumento para conduzir o sistema. É com base em uma concepção compartilhada de como a situação presente pode evoluir que os agentes se tornam capazes de “decidir” os objetivos de longo prazo.

O princípio principal da abordagem ComMod é desenvolver modelos de simulação que interpretem os pontos de vista de vários agentes e que os utilizem dentro do contexto de plataformas para o aprendizado coletivo. Nessa abordagem, os agentes participam fortemente da construção dos modelos para melhorar a sua relevância e aumentar o seu uso para a avaliação coletiva dos cenários. O objetivo geral do ComMod é facilitar o diálogo, o aprendizado compartilhado e a tomada de decisão coletiva, por meio de pesquisa-ação interdisciplinar orientada a fortalecer a capacidade de gestão adaptativa de comunidades locais.

O ComMod utiliza as ferramentas SMA em um processo cíclico (como mostrado na Figura 1.14), que é composto de 3 estágios, os quais podem ser repetidos tantas

vezes quantas forem necessárias (BARRETEAU, 2001; BOUSQUET e TRÉBUIL, 2005):

(i) investigação de campo e revisão da literatura, que fornecem as informações necessária para gerar hipóteses explícitas para a modelização, levantando um conjunto de questões-chave iniciais a serem examinadas pelo uso do modelo;

(ii) modelização, que é a conversão do conhecimento existente em uma ferramenta formal para ser usada como simulador, um plano de experimentações;

(iii) simulações, conduzidas de acordo com um protocolo experimental, para confrontar a compreensão formada do sistema, potencializando uma visão compartilhada do sistema e possibilitando o aprendizado coletivo, bem como identificar novas questões-chave para novas investigações no campo.

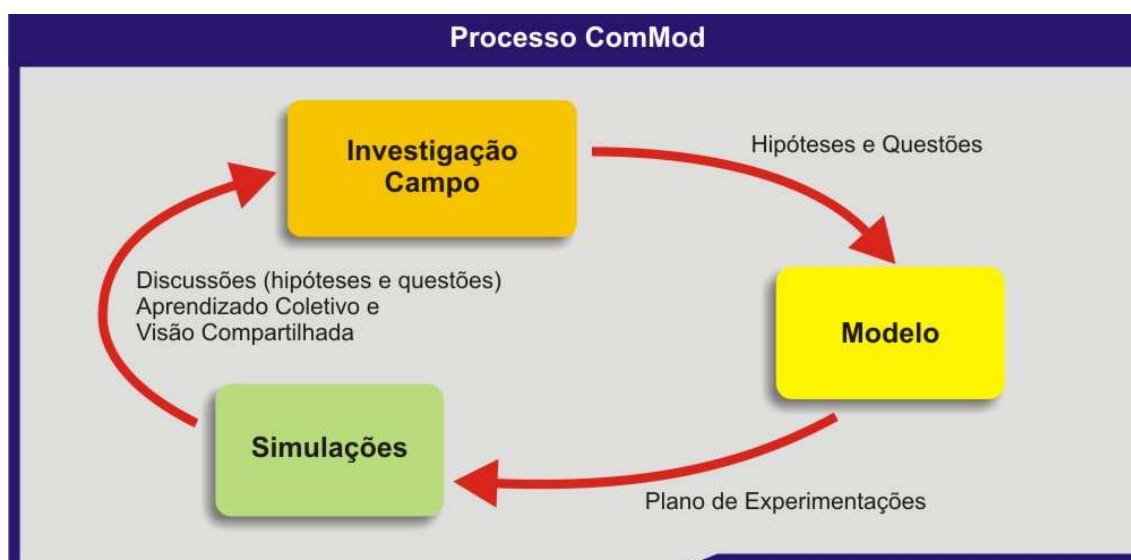


Figura 1.14 Estágios de processos ComMod (adaptado de BARRETEAU et al., 2001)

#### 1.4.2 ComMod e a pesquisa científica

A denominação de modelização de acompanhamento foi feita porque esta metodologia é utilizada no processo de mediação (a dimensão social do acompanhamento) e coevolui com o processo social (as dimensões adaptativa e temporal). O modelo, que é um tipo de representação entre tantas outras possíveis, pode ser apresentado de uma forma transparente e explícita para evitar o efeito de “caixa-preta”, tanto quanto for possível quando for proposto aos usuários. Intuitivamente, um SMA pode ser visto como um RPG simulado pelo computador.

Segundo Bousquet e Trébuil (2005), as vantagens de se utilizar um RPG previamente ao modelo SMA existem pela: (i) compreensão do modelo e da sua diferença da realidade; (ii) validação do modelo ao examinar os comportamentos individuais dos agentes e as propriedades emergentes de suas interações, e (iii) possibilidade de acompanhar as simulações SMA no computador e propor cenários para serem avaliados e discutidos após essas simulações.

Uma comunidade pequena de usuários que compartilham esta abordagem foi formada e dois importantes temas - ético e metodológico - emergiram desta conjuntura. De forma similar às abordagens participativas para a gestão de recursos, parece que o status e a legitimidade dos pesquisadores e do próprio processo podem ser questionáveis. Desse modo, uma cartilha ComMod foi elaborada para esclarecer seu escopo e guiar os usuários desta abordagem (COMMOD, 1999). A cartilha ComMod postula que todas as considerações a serem feitas e que estão por trás do trabalho de modelização devem ser voluntariamente e diretamente sujeitas à refutação. Não ter uma hipótese experimental explícita *a priori* é também um objetivo que implica na adoção de procedimentos para revelar estas hipóteses implícitas.

De acordo com o princípio científico da reprodutibilidade, deve ser possível para qualquer um, com habilidades básicas em modelização, construir o modelo novamente, para reimplementá-lo utilizando qualquer ferramenta de simulação apropriada (não necessariamente aquela originalmente utilizada) e verificar que os resultados obtidos são os mesmos que aqueles publicados originalmente. Atualmente, esta é uma das grandes preocupações dos cientistas das áreas de ciências sociais, econômicas e ecológicas, ao utilizarem modelos baseados em agentes para simular sociedades artificiais ou ecossistemas (HALES et al., 2003; apud LE PAGE E BOMMEL, 2006).

O processo de validação de uma abordagem de pesquisa como esta deve ter consciência de que uma teoria geral de validação de modelos não existe e procedimentos diferentes daqueles utilizados nos casos de modelos matemáticos, biológicos e físicos devem ser considerados. A cartilha ComMod também propõe uma distinção entre dois contextos específicos, ao se utilizar esta abordagem:

- a) A produção do conhecimento em um sistema complexo dado, cujo desafio é distribuir uma compreensão melhorada dos processos interativos relacionados à gestão de recursos. Esta compreensão está baseada na relação especial

existente entre o campo e o modelo: em vez de propor uma simplificação do conhecimento dos agentes, o modelo busca um reconhecimento mútuo da representação de cada um sobre o problema a ser estudado. Esse reconhecimento mútuo se baseia em indicadores que são construídos, gradualmente e coletivamente, durante a implementação do estudo de caso e se constitui nos fundamentos da modelização participativa.

- b) O suporte para processos coletivos de tomada de decisão, que intervém a montante de uma decisão técnica que sustente a deliberação dos atores envolvidos, de forma a produzir uma representação comum do problema em questão e identificar caminhos possíveis para uma gestão coletiva e solução do problema.

Uma característica original da metodologia ComMod é a associação possível de ferramentas chave, tais como RPG e modelos de simulação SMA e também sistemas de informações geográficas (SIG), pesquisas, entrevistas, etc. Em alguns casos, o RPG é utilizado como uma ferramenta para a conceitualização coletiva, mas, usualmente, uma fase de conceitualização precede a construção de um RPG, de um modelo de simulação SMA ou de ambos. Geralmente, essa fase de conceitualização é uma iniciativa interdisciplinar que ocorre por meio de discussões, revisões da literatura, pesquisas de campo ou experimentos. De acordo com o contexto e as restrições, os pesquisadores podem mobilizar o conjunto de ferramentas de formas diferentes.

Entretanto, o uso indiscriminado de SIG em abordagens participativas pode levar os atores locais a uma certa confusão entre o que ocorre no modelo e o que ocorre na realidade. É importante, portanto, definir quais são os papéis exercidos pelas experiências que antecedem as instalações na localidade e quais saberes são adquiridos em seguida acerca da transformação das paisagens.

Etienne et al. (2003) elaboraram uma sequência de pesquisa para a resolução de problemas que integram aprendizado social (ou aprendizado coletivo - RIS et al., 2006) e um passo exploratório de possíveis cenários individuais de gestão do solo com os agentes locais antes de convergir para acordos coletivos e metas comuns. Essa abordagem ficou conhecida como método passo a passo e pode ser resumido em nove passos:

1. Primeiro contato com os agentes e identificação da problemática.

2. Construção do modelo conceitual, geralmente pela equipe de pesquisadores apoiada por técnicos especialistas locais.
3. Levantamento de dados e entrevistas. Este passo consiste na coleta de dados e informações necessárias para a implementação do modelo conceitual em SMA. Algumas entrevistas podem ser feitas individualmente com cada tipo de agente para coletar informações sobre suas práticas.
4. Primeira versão do modelo. O SMA é construído na plataforma Cormas. As dinâmicas naturais são simuladas por autômatos celulares. As dinâmicas das paisagens resultam de uma combinação dos processos dinâmicos naturais da vegetação e das operações realizadas pelos agentes. Alguns encontros entre agentes da mesma categoria são realizados para validar as práticas implementadas no modelo.
5. Concepção e realização do RPG. Para o aprendizado coletivo dos processos em andamento e do impacto de cada agente no espaço de recursos comum, e o compartilhamento das representações individuais. O objetivo é projetar os agentes no futuro e forçá-los a reagir aos processos e dinâmicas em andamento. O RPG pode ser utilizado tanto para o aprendizado social (BARRETEAU, 2003b) quanto para facilitar a compreensão e apropriação do SMA pelos agentes (BOUSQUET et al., 2002).
6. Compreensão do SMA e validação pelos agentes. O modelizador projeta um ponto de vista dinâmico básico sobre os recursos da terra e propõe a simulação do cenário tendencial aos agentes. Eles sugerem algumas correções no modelo e finalmente o validam. Eles, então, elaboram novos pontos de vista para visualizar melhor os indicadores, de forma a planejar suas atividades e compreender as dinâmicas de seus recursos.
7. Análise do cenário tendencial pelos agentes e construção de cenários individuais. A análise da simulação do cenário tendencial por categoria de agentes por meio de seus pontos de vista específicos faz com que os agentes imaginem novas ações para reagir às mudanças ambientais e novos indicadores para visualizar os impactos de suas últimas ações. O SMA é utilizado para simular cenários alternativos imaginados por usuário de forma que cada um possa interagir com o processo de geração de cenários até que alcance o cenário com o qual ele se sinta satisfeito. Este passo é potencialmente útil para a exploração de alternativas individuais numerosas.
8. Visualização coletiva e confrontação das simulações de cenários individuais. Cada cenário individual é visualizado e discutido entre os agentes de acordo com

os diferentes pontos de vista disponíveis. O processo coletivo pode ser iniciado pela identificação de metas comuns a alcançar por meio de uma gestão coletiva.

9. Construção de cenários coletivos. É uma abordagem orientada a metas: depois de identificar as metas comuns, os agentes exploram os caminhos possíveis para alcançá-las. Pode ser considerado como um passo de *backcasting*. Os cenários alternativos são avaliados por meio de indicadores selecionados pelos agentes e visualizados graças aos autômatos celulares. Um conjunto de cenários factíveis é selecionado.

O estudo de cenários desenvolvido por Simon e Etienne (2006) utilizou uma seqüência metodológica similar para responder a uma demanda da Sociedade Civil de Terras do Larzac. Outro exemplo de metodologia similar é o estudo de caso de gestão de recursos hídricos no Rio Senegal (BARRETEAU et al., 2001). Um SMA foi desenvolvido com um RPG para analisar uma situação de negociação. Além de criar cenários, o modelo foi utilizado como um instrumento de aprendizado e mediação dentro de um processo de negociação para o conflito dos recursos hídricos. Esta abordagem demonstra a conjunção da participação dos agentes com o desenvolvimento do modelo em um processo de validação.

D'Aquino et al. (2002) desenvolveram um método que busca ajudar as pessoas a formalizar, progressivamente, os elementos do modelo - à medida que eles avançam nos debates - o que aparenta ser útil a todos para a melhoria de suas habilidades de tomada de decisão. Os agentes criaram um RPG, apoiados pela equipe de pesquisadores (facilitadores e modelizadores). O RPG foi utilizado como um suporte de mediação para facilitar a emergência de debates consistentes. Esta abordagem de aprender-fazendo tem sido experimentada por D'Aquino et al. (2003) no norte do Senegal e consiste em 3 passos metodológicos:

**Fase I:** Construção endógena da situação pelos agentes. Consiste em (i) identificar os tipos de agentes a considerar no modelo e seus critério de satisfação ("os elementos fundamentais necessários para que cada agente obtenha sucesso em garantir os meios de vida para a sua família") e (ii) identificar durante o percurso do tempo, em todo o ano, o mesmo critério de satisfação para cada atividade. Em uma oficina, os participantes são solicitados a definir, para cada tipo de agente, uma lista de lugares/recursos/outros elementos necessários para a sua atividade, e classificar a qualidade destes lugares.

**Fase II:** Sessões de jogo interativas. O primeiro RPG é elaborado com base nos elementos e informações dados previamente e os agentes identificados anteriormente são os jogadores. Cada jogador deve tentar satisfazer as suas necessidades estabelecidas pela sua característica através do ciclo anual. O cenário testado neste passo é o tendencial, ou seja, com regras básicas de funcionamento, como percebidas pelos participantes. A primeira interação permite validar a compreensão de cada participante e retificar as regras do RPG ao se descobrirem incompatibilidades. Sessões subseqüentes levam a um debate produtivo que ajuda os participantes a imaginar soluções coletivas para a satisfação coletiva. Os participantes apontam as causas para as dificuldades de gerenciar os recursos comuns, que podem culminar em acordos e propostas.

**Fase III:** Processo de simulação que envolvem RPG e modelização SMA. Os participantes são solicitados a participar da construção de um SMA a partir do RPG. O SMA permite simular cenários imaginados pelos participantes e, também, gerar grupos de discussão de interações possíveis entre usuários e recursos. Após construir os cenários identificados no RPG prévio, novas situações emergem e podem ser simuladas e discutidas.

Comparado ao processo passo a passo, o processo aprender-fazendo enfatiza mais os processos de comunicação e exploração.

Com a aplicação em estudos de futuro para um número crescente de áreas, os métodos de cenários se diversificaram enormemente nas últimas décadas, em relação, também, à evolução tecnológica e às ferramentas utilizadas (RINGLAND, 1998; GREEUW et al., 2000). Novos métodos foram desenvolvidos ou adaptados a partir de métodos existentes para a aplicação em outros propósitos (GREEUW et al., 2000; DREBORG, 2004; apud SIMON, 2006; BÖRJESON et al., 2006).

O reconhecimento crescente da importância das relações entre setores, sociedade e ambiente levaram a investir em abordagens integradas baseadas no pensamento sistêmico (LAMBIN e GEIST, 2002; WALKER et al., 2003; WITTMER et al., 2006). Esta tendência de um uso crescente de diferentes abordagens evoluiu dos



métodos de dinâmica de sistemas elaborado por von Bertalanffy (1968; apud SIMON, 2006).

Um desafio ainda maior no contexto de cenários é a construção do conhecimento, que incentiva as capacidades de aprendizado nas instituições e organizações para a governança que permita uma gestão adaptativa dos ecossistemas local, regional e global e que incorpore os atores em papéis novos e criativos (FOLKE et al., 2005).

### 1.5 MODELIZAÇÃO PARTICIPATIVA: A VALIDADE DAS REPRESENTAÇÕES E A VALIDAÇÃO DAS SIMULAÇÕES

Apesar de os modelos SMA parecerem ser ferramentas úteis para estudos de MUCS, é imperativo que os pesquisadores considerem que tipos de informações e conhecimentos podem ser extraídos desses modelos.

A teoria clássica da computação não representa um modelo adequado da realidade para a simulação nas ciências sociais. Ainda há, indubitavelmente, boas razões para manter a metodologia de Simulações Sociais Baseadas em Agentes (SSBA) na agenda de pesquisa (DAVID et al., 2004, 2005).

O caráter experimental das simulações permanece ambíguo, o que levanta questões interessantes sobre o tipo de conhecimento científico que as simulações fornecem.

O significado dos termos “verificação” e “validação” na ciência computacional é diferente do significado usualmente dado nas ciências sociais. Nas ciências computacionais, a noção de verdade científica ou validade tem sido relacionada a um debate antigo, com uns pesquisadores que defendem o uso de métodos formais para verificar programas e outros que defendem o uso de métodos empíricos. Fetzer (1998, 2001) argumenta que há uma distinção clara entre programas, como códigos de algoritmos, e as estruturas lógicas que eles representam.

As fontes de analogia entre tecnologias baseadas em agentes e modelos de sistemas sociais atuais têm criado um esforço interdisciplinar que abriu novas interfaces de pesquisa através de várias disciplinas em um novo campo científico que pode ser denominado Simulação Social Baseada em Agentes (SSBA) (DAVID et al., 2004, 2005).

Esta característica interdisciplinar tem unido pesquisadores de diversos campos científicos, com históricos bem diferentes. Como essa convergência emergiu recentemente, ainda não existe uma identificação da extensão na qual as variedades de metas interdisciplinares podem ser instrumentais umas para as outras. Como resultado, a vaga definição da estrutura e fronteiras de uma simulação tem limitado a análise dessas metas de pesquisa, adiando a consolidação das metodologias e o seu reconhecimento como uma atividade científica produtiva.

A área já adquiriu um caráter científico autônomo, com seus próprios problemas científicos, soluções e até tradições. Entretanto, a forma como a simulação baseada em agentes é organizada ao redor de diferentes objetivos científicos demonstra que as considerações metodológicas e ontológicas ainda não estão tão claras.

Alguns dilemas metodológicos têm surgido na literatura. A viabilidade de comparação de modelos baseada em considerações diferentes não é avaliada frequentemente, muito menos esses modelos são classificados de acordo com um conjunto padrão de considerações comuns, os “métodos e instrumentos” raramente são explicitados nos artigos publicados. Geralmente, os artigos na literatura científica referente aos modelos SMA e ComMod apresentam uma descrição da área de estudo e depois uma descrição do modelo, mas é muito raro que a metodologia utilizada para passar do campo ao modelo seja descrita. As considerações por detrás das abordagens de construção de um modelo multiagentes diferem substancialmente? Como as teorias são transferidas entre as ciências computacionais e as ciências sociais?

Uma questão que permanece na epistemologia das simulações sociais consiste em caracterizar o que é um experimento científico. Na teoria computacional clássica, o papel da verificação do programa é averiguar a validade de uma saída específica como uma função de uma entrada específica, independentemente de qualquer

interpretação feita em termos de qualquer teoria ou fenômeno que não seja estritamente computacional. A execução de um programa é entendida, nesta lógica, como um cálculo de inferência formal, o qual manipula símbolos sem observar o seu conteúdo. O papel da validação é averiguar que a execução de um programa se comporta de acordo com as expectativas, relativamente arbitrárias, dos usuários finais do programa.

### 1.5.1 A validação científica e a participativa

David et al. (2004, 2005) descreveram o papel da validação nos modelos socioambientais. Inicialmente, há uma teoria T0 que representa um fenômeno social, o qual pode ser expresso em termos de algumas especificações e programas. Os programas também são representações simbólicas, as quais serão implementadas em uma máquina com a ajuda de outros programas. A simulação ocorre ao se executar o programa em um contexto controlado, novamente com a ajuda de outros programas. Portanto, a implantação de uma simulação implica na interação entre processos simbólicos e físicos que implementam uma relação causal entre a teoria T0 e o comportamento da simulação. A meta deste exercício, geralmente, é construir uma teoria T1 que expresse algo que a teoria T0 não expresse (Figura 1.15).

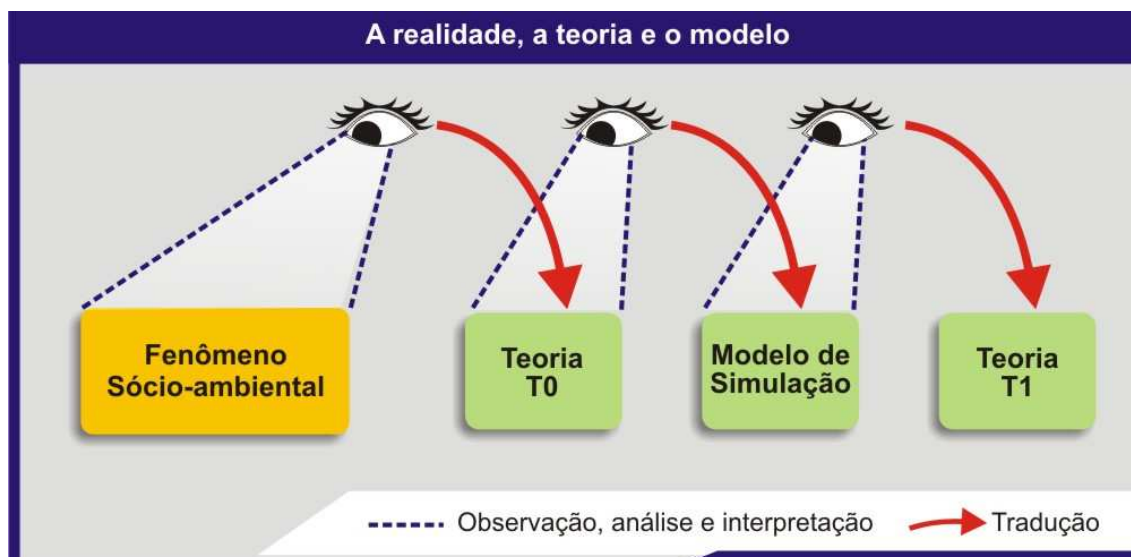


Figura 1.15 – A realidade, as teorias e o modelo

Diferente da teoria T0, que é uma teoria construída a partir do fenômeno social, a teoria T1 é interpretada de acordo com as características observadas de um conjunto de ícones animados na tela do computador. Considerando que, de uma certa forma,

alguém seja capaz de encontrar, arbitrariamente, uma base sintática comum para interpretar a teoria T1, este exercício se torna mais complexo de um ponto de vista técnico, pois existem inúmeras formas de idealizar um comportamento observado em um programa que está sendo executado em um computador.

Mesmo uma perspectiva empírica não parece ser capaz de fornecer um critério para decidir qual é o modelo embutido que pode lhe fornecer uma interpretação duplamente coerente, de acordo com: (i) o comportamento do programa observado e (ii) o fenômeno social real. Nas simulações sociais, não há justificativas empíricas para interpretar um comportamento de um programa observado em termos de uma máquina abstrata Java. Esse é um dilema que sugere que a lógica do método de SSBA realça a presença de aspectos intencionais na programação e interação com computadores.

Considerando que um modelo é construído e analisado com base na observação e experimentação, ele deve ser considerado como uma representação da realidade, ou seja, ele não deve ser considerado como a realidade específica que representa (Figura 1.16).

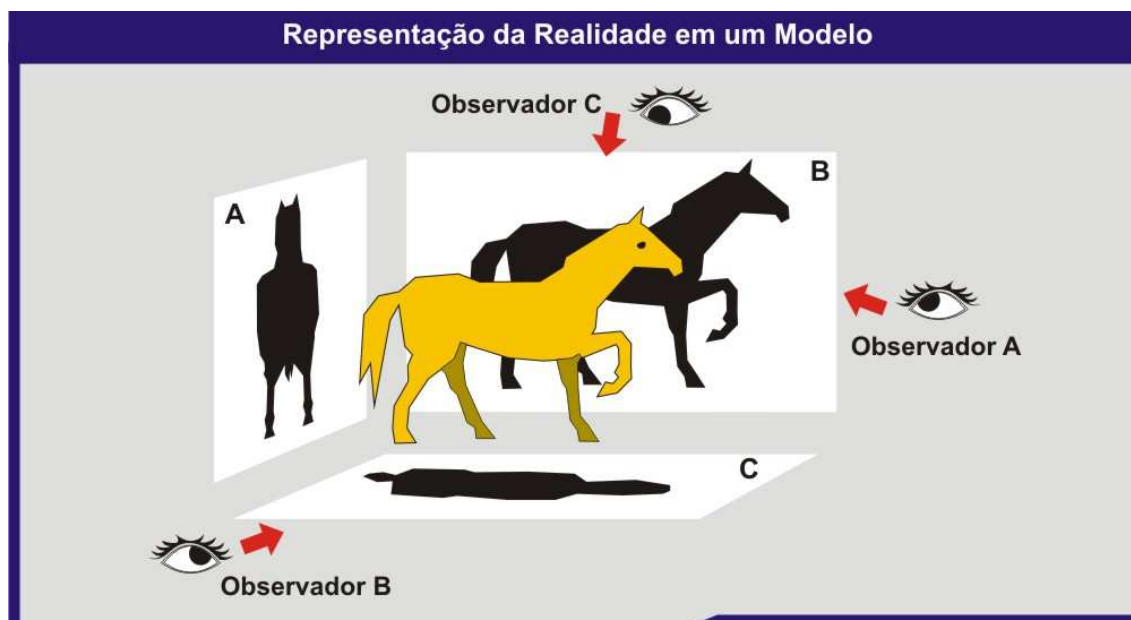


Figura 1.16 – A representação da realidade em 1 modelo

Somente no contexto de uma comunidade limitada de observadores, pode-se considerar que uma especificação e um programa sejam um conjunto de condições suficientes para explicar o comportamento de uma simulação. As condições para o sucesso de uma simulação social depende de um contexto teórico-metodológico

particular do cientista social, que pode ser interpretativo e subjetivo e depende dos contextos socioeconômico e sociocultural. Consequentemente, a adoção de uma abordagem participativa junto aos atores locais parece ser fundamental.

A modelização participativa se insere nas abordagens que consideram, explicitamente, o ponto de vista dos atores para promover a reflexão coletiva e favorecer a compreensão dos pontos de vista dos demais atores que estão ligados por um desafio comum (ROUSSEAU, 2003; BOUSQUET et al., 2005).

A modelização participativa utiliza as ferramentas de modelização para promover a utilização desta abordagem nos casos de sistemas complexos, e/ou explorar, com os atores envolvidos, a dinâmica do sistema e a sua evolução ao longo do tempo.

A aprendizagem coletiva e o suporte à decisão coletiva são os usos correntes da modelização participativa. O desenvolvimento e a utilização dessas ferramentas de simulação comportam diferentes fases na construção do modelo propriamente dita: (i) a concepção do modelo teórico, (ii) a sua implementação, (iii) a escolha e desenvolvimento de cenários e (iv) a análise dos resultados produzidos pelas simulações. A participação dos atores do sistema estudado pode ocorrer em todas estas diferentes fases.

A abordagem proposta por Constanza e Ruth (1998) prevê a participação dos atores em todas as fases da modelização. Na primeira etapa, diferentes grupos de atores são convidados à definir coletivamente a estrutura do modelo e os processos que serão implementados. Ao curso do desenvolvimento do modelo informático propriamente dito, são organizadas reuniões com os atores para garantir o seguimento do projeto e manter a ligação dos atores com o modelo que tende a se complexificar. A terceira etapa é centrada na identificação dos cenários e das opções de gestão com base nos resultados obtidos pelo modelo. As representações dos diferentes grupos de atores são compartilhadas durante a etapa de elaboração do modelo teórico e as discussões são orientadas em direção à definição de um modelo e de uma visão consensual do sistema e de suas dinâmicas.

Nestas aplicações, a ferramenta de simulação é utilizada para imitar as dinâmicas de sistemas complexos. Ela serve de suporte para a discussão, ao simular

a resposta do sistema às decisões e às estratégias de gestão escolhidas pelos participantes (VAN ASSELT et al., 2001; apud BECU, 2006). Ela possibilita, igualmente, aos participantes de se apropriarem das evoluções possíveis do sistema e adotar uma visão mais global deste sistema (VENNIX et al., 1996; apud BECU, 2006). O modelo dá suporte à discussão e a acompanha mas não a conduz. Um enfoque maior sob um aspecto do modelo pode bloquear a criatividade e a reflexão prospectiva nas trocas entre os participantes. O papel da ferramenta de simulação deve permanecer como um instrumento que permite descrever uma situação realista com profundidade suficiente para inspirar os participantes e suscitar o seu interesse e a sua reflexão, de forma que eles queiram desempenhar o seu papel.

Na abordagem ComMod (BARRETEAU et al., 2003) a utilização dos SMA como ferramenta de modelização e simulação é privilegiada, e o processo participativo é baseado na construção de uma representação compartilhada. Uma iniciativa ComMod (i) passa pela modelização da heterogeneidade das representações que os atores têm de seu sistema físico e social, (ii) permite a criação de uma representação compartilhada por meio de oficinas de trabalho que reúnem um conjunto de atores em torno do modelo SMA desenvolvido e (iii) fornece um objeto comum aos atores sobre o qual as negociações e decisões coletivas podem ser realizadas.

A especificidade dos SMA neste processo reside na simulação das interações. Os SMA são modelos que permitem simular as interações entre as dinâmicas físicas e as dinâmicas sociais, além de simular as interações ao nível de cada um dos seus componentes. Pela simulação, o modelo permite explorar, de maneira interativa com os atores, a evolução do sistema que ocorre segundo certas hipóteses e a viabilidade das interações em diferentes cenários. O modelo não é apenas uma representação da situação a um momento dado, mas, sim, uma ferramenta que permite explorar as dinâmicas resultantes de uma situação inicial.

Os interesse potenciais das abordagens participativas podem ser resumidos em (i) o aporte de novos conhecimentos e perspectivas incita os diferentes atores a refletir sobre o seu sistema e sobre as interações com os outros e com o ambiente natural; (ii) a abordagem e o modelo favorecem a compreensão do ponto de vista dos outros e os encoraja a considerar os pontos de vista diferentes em sua reflexão sobre o seu sistema e (iii) o processo de criação de uma representação compartilhada e a

ferramenta de simulação favorecem a definição de uma gestão comum na qual os interesses dos diferentes atores são, potencialmente, considerados.

Para os pesquisadores que trabalham sob uma perspectiva construtivista pode-se falar da natureza da representação que é dita “socialmente construída”. A construção da representação que um indivíduo faz de seu ambiente repousa sobre as ações e interações que ele tem com o seu ambiente exterior (indivíduos, objetos, informações, sensações etc.) (PIAGET, 1947). Como o ambiente está em uma evolução contínua, a representação deste indivíduo está, igualmente, em uma evolução perpétua (RÖLLING, 1982; apud BECU, 2006). Nesta perspectiva, pode-se dizer que a natureza efêmera da representação e o fato de que ela resulta de uma multiplicidade de interações com o exterior a tornam difícil de ser expressa pelo indivíduo.

O cognitivismo está baseado no modelo descrito por Simon e Newell (1956; apud BECU, 2006), no qual a cognição é um processo de cálculo racional, é a faculdade que todo indivíduo tem de representar o mundo de uma certa maneira. Dessa forma, racionalmente, quanto mais próxima a representação do indivíduo estiver da realidade, mais apropriado será o seu comportamento em uma dada situação.

Para o construtivismo, a representação de um indivíduo é socialmente construída ao curso de suas atividades, de suas interações com os outros indivíduos e com o seu ambiente (PIAGET, 1947, 2003). As decisões tomadas em razão dessas representações afetarão o ambiente, o qual possui sua própria dinâmica, o que acarretará um ajuste das representações a seu redor. Portanto, nossas representações são modificadas continuamente em razão das nossas ações e da evolução do mundo, e as representações e os processos de decisão interagem, também, continuamente (VARELLA, 1989).

De maneira esquemática pode-se dizer que uma representação é constituída de um conjunto de elementos, denominados elementos da representação (BECU, 2006). Esses elementos correspondem aos objetos do mundo, às situações, aos comportamentos a adotar, ou ainda às relações entre outros elementos. Os elementos da representação são construídos a partir da percepção que um indivíduo tem de seu ambiente e de suas crenças.

Judd (1997; apud PARKER et al., 2003) discute rumos nos quais os métodos computacionais podem ser úteis para análises teóricas, mesmo quando esses métodos não concordam com o critério teorema/prova para pura dedução. Axelrod (1997; apud PARKER et al., 2003) afirma que a simulação não é nem puramente dedutiva, nem puramente indutiva, e, alternativamente, a caracteriza como uma terceira forma de fazer ciência. Casti (1997; apud PARKER et al., 2003) propõe uma analogia da diferença entre um retrato fotográfico e uma figura de Picasso; o primeiro busca imitar a realidade, o segundo, captura partes da realidade e focaliza em aspectos particulares na esperança de enfatizar as características fundamentais. Essa é uma metáfora muito útil para discutir o papel dos modelos SMA em estudos sobre MUCS.

Os SMA são uma técnica de inteligência artificial que permite modelizar os agentes (entidades informáticas autônomas) que têm uma representação de seu ambiente e podem agir sobre este ambiente.

Nos SMA e nas modelizações orientadas aos agentes em geral, duas abordagens são possíveis para modelizar as representações: (i) explorar as teorias e os modelos conceituais preexistentes do conceito de representação proveniente das ciências cognitivas, da sociologia, da economia etc. e as representar em um modelo informático; (ii) construir um modelo informático da representação a partir de observações de campo, em uma abordagem que pode ser dita mais “naturalista”.

As arquiteturas dos agentes permitem ao modelizador organizar e estruturar os diferentes procedimentos que vão reger o comportamento dos agentes. Várias arquiteturas se baseiam no ciclo “Percepção-Deliberação-Execução”, proposto por Ferber (1995). O processo de decisão é separado das faculdades perceptivas e executivas do agente. Duas arquiteturas correspondem a esse esquema:

- a) Arquitetura modular horizontal, na qual o tratamento da informação é feito de forma linear: as percepções geram as crenças que vão então tomar parte do processo de decisão.
- b) Arquitetura BDI (*Belief-Desire-Intentions* / Crenças-Desejos-Intenções), na qual a representação é englobada nos conceitos de *Belief* (Crenças) e de *Desire* (Desejos) e pode ser assimilada aos objetivos que o agente busca atender ou



ainda às suas motivações (CONTE, 2000; CONTE e CASTELFRANCHI, 1995). O processo de tomada de decisão segue a fase de determinação de seus objetivos e considera, igualmente, a noção de que a intenção permite fazer a ligação entre a decisão e a passagem à ação.

Segundo Ferber (1995), a intenção, ou seja, a vontade consciente de realizar uma ação, inscreve as ações e as crenças no tempo. Um agente deseja realizar uma ação porque ele crê que isso vai permitir a satisfação de um objetivo seu. A ação não corresponde aos objetivos fixados pelo agente, ela é realizada em razão das restrições externas ou de novas informações adquiridas após a determinação desses objetivos.

Nos modelos SMA, os agentes têm uma representação limitada do mundo, ou pelo fato de sua localização espacial, ou pelas restrições quanto às informações globais do modelo. A evolução das representações é então simulada por meio de interações que os agentes têm com seu ambiente local. E é através desta evolução das representações que os pesquisadores conseguem modelizar as heterogeneidades de comportamentos e de representações existentes em um sistema.

A noção de aprendizagem desempenha um papel importante nesses modelos, pois os sistemas de aprendizagem permitem a um agente revisar as suas crenças e a sua representação do sistema. Como cada agente está inserido em um contexto específico, a aprendizagem ocorre de forma distinta para cada um deles. Para Conte e Paolucci (2001), a aprendizagem social resulta de fenômenos sociais dos quais os mais importantes são a facilitação e a imitação. A facilitação consiste em aprender pela observação do que acontece aos outros. A imitação consiste em adotar os objetivos de outro agente e utilizá-lo como um bom modelo para a ação.

O termo “modelização de acompanhamento” é utilizado para sugerir “um acompanhamento da reflexão” dos atores e pelos atores (BARRETEAU et al., 1996; BOUSQUET, 1996). O ComMod possui dois objetivos distintos: (i) buscar a sua legitimidade científica no campo da produção do conhecimento e da sua pertinência, (ii) buscar a sua legitimidade científica no aprimoramento da qualidade dos processos de tomada de decisão coletiva. Para atingir esses objetivos, os pesquisadores se apóiam em objetos intermediários, os quais podem ser modelos informáticos SMA ou jogos de papéis (RPG). Um objeto intermediário se faz necessário para possibilitar aos

atores uma forma de transcrever as suas representações individuais em um mesmo objeto para que elas possam ser compartilhadas pelo grupo.

Em ComMod, a implicação dos atores locais na construção do modelo é uma premissa por duas razões: (i) facilita a compreensão da estrutura do modelo pelos atores e a sua apropriação (BARRETEAU et al., 2001); (ii) ao participar da construção coletiva do modelo, cada ator testemunha a construção de uma representação coletiva. A utilização desta abordagem permite coletar, rapidamente e de maneira contínua durante toda a construção do modelo, a opinião dos principais atores locais sobre a estrutura do modelo e os cenários simulados, possibilitando ao modelizador corrigir e aprimorar o modelo.

A concepção do modelo teórico precisa de um bom conhecimento do campo e de seus problemas para poder acompanhar os atores em sua concepção do modelo. Algumas questões ainda não têm respostas estabelecidas pela comunidade ComMod e devem ser objeto de atenção por parte do modelizador:

- a) Como se assegurar que alguns grupos de atores não vão dominar o processo participativo de concepção do modelo e impor a sua representação, de forma a garantir que se chegue a um modelo que respeita a heterogeneidade das representações?
- b) Como interpretar as observações de campo em termos de regras que possam ser implementadas no modelo?
- c) À luz dos conceitos de percepção, representação e aprendizagem, como uma arquitetura de agentes pode ajudar a estruturar as informações coletadas na microestrutura do modelo?

Com as técnicas de SMA nós podemos criar um número infinito de modelos enquanto a realidade continua a mesma. A verificação de um modelo significa verificar se construímos corretamente o modelo, a validação significa verificar se construímos o modelo certo.

O sucesso na verificação de modelos se baseia em atingir um equilíbrio entre a teoria e os dados. A verificação consiste, essencialmente, em tentativas de quebrar o modelo ao variar as suas configurações. Este processo leva ao ajuste (“*debugage*”) do modelo, ou seja, à avaliação cuidadosa dos objetos do modelo e das conexões entre

eles. A maioria das publicações de modelizações não contém uma descrição suficiente da simulação que permita ao leitor entender completamente o projeto do modelo e, portanto, a apropriação dos procedimentos de verificação utilizados. A chave para a verificação é a análise de sensibilidade das relações entre os parâmetros do modelo e o estado (ou caminho) das variáveis endógenas ao sistema modelizado. Outra ferramenta paralela à análise de sensibilidade é o estudo de propagação de erros e incerteza, um tópico geralmente não considerado em modelos sobre UCS (ROBINSON, 1994).

Os dados de entrada em um modelo são oriundos de outros modelos, teorias, e observações do sistema em foco, obtidos por meio de pesquisas, entrevistas, RPG, censos e sensoriamento remoto (MANSON, 2000; DEADMAN e SCHALAGER, 2002; apud PARKER et al., 2003). Portanto, a validação do modelo verifica quanto as suas saídas representam o comportamento real do sistema. As saídas do modelo são comparadas às saídas reais que utilizam uma variedade de medidas espaciais e não espaciais.

Existe uma longa história de pesquisa nos temas de corolários temporais, espaciais e de escala para as técnicas de validação e verificação de modelos, os quais devem fazer parte do trabalho dos pesquisadores em SMA. As considerações necessárias para a verificação e a validação, como normalidade e linearidade, ficam prejudicadas em modelos projetados para acomodar comportamentos complexos causados pela sensibilidade às condições iniciais, pela auto-organização crítica, a dependência dos caminhos trilhados ou não-linearidades (MANSON, 2001). Na realidade, as mesmas sinergias que fazem os sistemas complexos interessantes também os tornam difíceis de analisar.

### **1.5.2 A sustentação das simulações**

A maioria dos modelos SMA para estudos sobre UCS é, pela sua própria natureza, interdisciplinar. O maior desafio na construção destes modelos está na montagem de uma estrutura que possa responder a questões de interesse de múltiplas disciplinas. Um segundo desafio está em unificar os modelos que possam operar de forma apropriada em escalas espaciais e temporais diferentes. Para conectar os processos ecológicos e sociais, é necessária uma compreensão comum

de como determinar as escalas em um sistema integrado (GIBSON et al., 2000). Uma dependência potencial da escala na avaliação dos resultados do modelo realça a importância de identificar a escala espacial e temporal apropriada para a tomada de decisão no modelo.

A simulação social deve renunciar a uma idéia equivocada de que, devido ao seu caráter experimental, ela tem uma objetividade científica superior em comparação a outras metodologias nas ciências sociais. Neste caso, as ciências sociais podem mudar um paradigma das ciências computacionais: ao determinar que não há computação sem intenção. Se na ciência computacional não há computação sem representação (SMITH, 1995, apud DAVID et al., 2004, 2005) e também não há computação sem interpretação (FETZER, 1999 apud DAVID et al., 2004, 2005), na simulação social não há computação sem intenção.

O princípio da engenharia do conhecimento é relativamente simples e consiste em demandar a especialistas que descrevam um sistema e forneçam as informações necessárias para que se possa modelizá-lo. Essas informações recaem sobre: (i) como eles tomam as decisões quando são confrontados a um problema, (ii) quais informações e dados eles utilizam para tomar as suas decisões e (iii) quais são as operações a realizar para conseguir resolver o problema. O foco está no conhecimento de um especialista sobre um domínio particular e a forma como ele toma as suas decisões e as coloca em ação. Esse processo de “extrair” o conhecimento de um especialista é denominado elicitación do conhecimento ou aquisição do conhecimento. A elicitación do conhecimento pode ser feita de diversas formas: pela transcrição de uma entrevista, de um *brainstorm*, de uma análise de tarefas, pesquisas em relatórios de especialistas ou documentos escritos por pessoas-chave (TRIMBLE, 2000; apud BECU, 2006).

Um mapa participativo consiste em demandar a diferentes grupos de atores que elaborem croquis ou plantas situando as diferentes entidades físicas ou sociais em um espaço definido. Estes croquis são então comparados para sustentar uma discussão dos desafios estudados. A elaboração destes croquis permite identificar a percepção que os atores têm dos locais e das interações espaciais ligadas aos conflitos nestes locais. Esta metodologia pode ser enriquecida por rodadas de planos anteriores à realização dos croquis (CLOUET, 2001; apud BECU, 2006) ou pela realização de uma planta comum ao fim do processo (CARON, 2001; apud BECU, 2006).

O princípio de elaborar um mapa participativo é identificar as diferentes representações espaciais internas dos atores para materializar as suas diferenças de pontos de vista; é a heterogeneidade dessas representações (e suas diferenças) que enriquece e facilita a discussão entre os atores.

Os SIG participativos exploram as capacidades integradoras, analíticas e geradoras dos mapas SIG para facilitar a aprendizagem coletiva em um grupo de atores agrupados em torno de um desafio dado (GONZALEZ, 2000). Em alguns casos de utilização de SIG participativos, os pesquisadores constataram que a mudança de perspectivas induzida pela ferramenta oferece aos atores locais um visão mais ampla do sistema e de seus desafios e conflitos, o que permite que eles redefinam as suas estratégias de gestão de forma mais integrada (PUGINIER, 2005). McKinnon (2005) indica que os SIG participativos estabelecem uma transparência e uma articulação dos desafios e dos conflitos existentes no território, permitindo o seu compartilhamento sob uma forma que satisfaz tanto aos agentes decisores quanto aos atores locais.

Shadbot e Milton (1999; apud BECU, 2006) propõem diferentes soluções para estruturar o quadro do processo de eliciação, entre as quais: (i) selecionar quais conhecimentos devem ser elicitados ao se definir *a priori* os objetivos e os usos posteriores do modelo; (ii) decidir qual será a escala de trabalho para poder decidir qual será a escala dos conhecimentos que se devem adquirir, (iii) escolher técnicas complementares para a eliciação do conhecimento, entre aquelas que sejam mais adaptadas aos objetivos do modelo e (iv) reutilizar o conhecimento já adquirido sempre que possível.

Duas técnicas de engenharia do conhecimento são particularmente interessantes para os modelos SMA: (i) a abordagem de transferência, na qual a eliciação do conhecimento e a sua modelização são realizadas em duas fases sucessivas e (ii) a abordagem modelizadora, na qual a eliciação do conhecimento é incorporada ao processo de modelização.

O Quadro 1.02 apresenta a correspondência entre os objetos do conhecimento e as expressões semânticas em um processo de modelização.

<b>Objetos do conhecimento</b>	<b>Descrição</b>	<b>Expressão semântica</b>
Conceitos (objeto físico, idéia, pessoa, organização etc.)	Um conceito é descrito pela sua relação a outros conceitos e pelos seus atributos e seus valores.	Habitualmente equivalente aos substantivos próprios ou aos substantivos comuns.
Instâncias	Instância de uma classe de conceito.	Exemplo: meu automóvel é uma instância do conceito automóvel.
Processos (tarefa, ação)	Conjunto de ações executadas para satisfazer um objetivo ou um conjunto de objetivos. São descritos por outros objetos do conhecimento, como entradas e saídas, recursos, papéis ou elementos de decisão.	Exemplo: “construir uma casa”, “preparar um terreno”, “elaborar um projeto”.
Atributos e Valores	Descreve as propriedades de outros objetos do conhecimento. Atributos: propriedades, características genéricas de uma classe de conceito. Valores: características específicas de um conceito. Os valores são associados a um atributo específico.	Exemplos de Atributos: (i) peso, (ii) custo, (iii) idade. Exemplos de valores numéricos associados aos atributos: (i) 120 kg, (ii) R\$120 reais, (iii) 30 anos. Exemplos de valores de categoria associados aos atributos: (i) pesado ou leve, (ii) barato ou caro, (iii) novo ou antigo.
Regras	Declaração da forma “se...então” (“if..., then..., else...”).	Exemplo: “se..., então..., senão...” “realizar... até que ...”
Relações	Relação entre conceitos ou tarefas. O tipo de relação pode ser uma classificação ou uma composição.	Geralmente, equivalente aos verbos passivos. Classificação: “...é um ...” Composição: “... faz parte de ...”

Quadro 1.02 – Correspondência entre os objetos do conhecimento e as expressões semânticas (adaptada de MILTON ET AL., 1999; apud BECU, 2006)

Os modelizadores concordam, geralmente, em distinguir os conhecimentos declarativos (provenientes de perguntas do tipo “o que é...?” e “de que é feito ...?”) dos conhecimentos estruturais (provenientes de perguntas do tipo “como...?” e “por que...?”). Essa distinção divide a eliciação do conhecimento em identificar e formalizar (i) as entidades do sistema (declarativo) e (ii) as relações entre essas entidades.

Uma das dificuldades encontradas pelo modelizador para a eliciação dos conhecimentos é a gestão dos conhecimentos provenientes de diferentes especialistas, que podem ter opiniões e pontos de vista diferentes e, às vezes, conflitantes (BECU, 2006). Em alguns casos, o modelizador encontra opiniões e argumentos conflitantes no discurso de um mesmo especialista.

Em abordagens tradicionais, em que se busca obter uma representação consensual, as opiniões conflitantes são descartadas da análise e somente as idéias que fazem parte de um consenso entre os diferentes especialistas são utilizadas. Para Kelly (1995), quatro tipos de relações entre opiniões de diferentes especialistas podem ocorrer: (i) o consenso, (ii) a correspondência, com diferentes terminologias para o mesmo conceito, (iii) o conflito, com uma mesma terminologia para conceitos diferentes e (iv) o contraste, com diferentes terminologias para conceitos diferentes. Para Easterbrook (1991; apud BECU, 2006), os conflitos são as “diferenças que contam” e devem ser elicitados e modelizados de forma a enriquecer o processo de elicitação e aprimorar o modelo resultante.

David et al. (2004) desenvolveram um estudo que envolveu a contribuição de 196 pesquisadores em um questionário *on-line*, cujos resultados possibilitaram observar a complexidade interdisciplinar de um SSBA especialmente relacionada com a interação entre os papéis da modelização sociocientífica e a modelização computacional baseada em agentes. Foram analisados: (i) o domínio de interesse do modelo, (ii) o tipo de modelo, e (iii) os requisitos tecnológicos.

Os modelos puderam ser classificados em três grandes categorias (DAVID et al., 2004):

1. Modelos Sociais Artificiais – para modelizar e simular sociedades artificiais, as quais não se referem, necessariamente, a uma meta concreta ou teoria específica sobre o mundo real, mas apenas a uma teoria ou idéias proposta de natureza abstrata.
2. Modelos Sociocientíficos – nos quais os pesquisadores utilizam o quadro teórico das ciências sociais e/ou ambientais para modelizar fenômenos sociais e ambientais. Duas subcategorias podem ser detectadas: (i) os modelos sócio-cognitivos, que modelizam teorias sociocognitivas ou sociológicas e implementam animação computacional de formalismos lógicos para aprimorar teorias sociais e verificar a sua consistência, (ii) os modelos socioconcretos, que modelizam sistemas sociais concretos baseados em observações diretas e dados estatísticos, para compreender os processos e fenômenos sociais e institucionais.
3. Resolução por protótipos – que modelizam e simulam sistemas multiagentes para explorar seus requisitos e comportamentos, seu uso é muito comum para ambientes reais e objetivos gerais de engenharia.

Para David et al. (2004), um grande número de requisitos não parecem adequadamente sistematizados, a maioria precisa balancear o esforço gasto na verificação e na validação de saídas inesperadas do sistema. Dois tipos de validação foram observados: (i) uma validação por meio de similaridade estrutural, que busca elementos qualitativos da realidade para demonstrar a similaridade entre a teoria e o modelo, tornando-o “plausível” ou “crível” (GROSS e STRAND, 2000; apud DAVID et al., 2004) e (ii) validação empírica, que considera que a fonte principal do conhecimento advém da experimentação, dando importância à percepção, tentativa-e-erro e controle. Algumas alternativas têm proposto uma forma diferente de validação empírica, sugerindo o desenvolvimento de simulações baseadas na participação, na qual um conjunto de atores, em conjunto com especialistas e usuários das simulações, negocia a validade das especificações e saídas do modelo (BARRETEAU et al., 2001).

Conforme esperado, foi observada uma incompatibilidade entre altos níveis de abstração dos modelos e altos níveis de validação do modelo. CONTE e CASTELFRANCHI (1995) afirmaram que “um sistema multiagentes deixa pegadas no comportamento de seus membros e também em suas mentes”. Mas a tradução da lógica formal para os algoritmos computacionais ainda tem um problema de escalas de semântica.

Os resultados demonstraram que (DAVID et al. 2004, 2005): (i) a maioria dos pesquisadores trabalha com mais de um tipo de modelo, (ii) os modelos sociocientíficos parecem ser mais comuns que os sociais artificiais e os de protótipos e (iii) o uso de modelos sociais artificiais parece ser apenas uma fonte de inspiração para os outros tipos de modelos.

Para David et al. (2004), este estudo reforçou a hipótese de que a SSBA adquiriu uma dinâmica de pesquisa que envolve um interesse por pesquisa teórica pura, mas também por pesquisas aplicadas. A vontade de aplicar simulações sociais para problemas práticos tem se tornado uma consolidação deste campo de pesquisa.



### 1.5.3 As incertezas científicas

Há um debate crescente entre pesquisadores para definir se as simulações devem ou não devem ser consideradas como algo além de mais uma ferramenta nas ciências sociais. O papel da tecnologia é ajudar averiguar (i) se qualquer modelo (como implementado) é ou representa a teoria pretendida (verificação) e (ii) que o único papel das ciências sociais seria utilizar a implementação desse modelo como uma ferramenta para a construção de teorias (descoberta e validação).

A modelização e compreensão da complexidade sempre serão um processo iterativo, portanto, como pesquisadores, devemos aceitar que o rumo que trilhamos pode mudar mesmo quando estamos no meio da jornada.

A importância das normas sociais tem sido investigada, mas aspectos importantes como a criação de regras, a memória coletiva e o papel dos símbolos e comunicações ainda não foram incorporados nos modelos formais, cujo desenvolvimento se mantém como um desafio aos pesquisadores.

Ainda não existem limites para as questões de pesquisa interdisciplinares e interessantes, para as quais os modelos SMA são ferramentas apropriadas. Há, cada vez mais, uma crescente disponibilidade de dados espaciais, e a potência dos computadores também não pára de crescer. Vale ressaltar que a disponibilidade de dados das ciências sociais ainda está defasada em relação à disponibilidade de dados das ciências naturais.

Nas avaliações do progresso obtido pelos pesquisadores da comunidade IBM (GRIMM, 1999; apud BOUSQUET e LE PAGE; 2004), várias conclusões podem ser consideradas no âmbito dos SMA. A ideia geral é que, após vários anos de inovação, um período de consolidação é necessário, e essa consolidação deve ser orientada principalmente ao método: Como os resultados de um modelo devem ser apresentados? Como a sua estrutura deve ser apresentada?

Na comunidade SMA, é reconhecido que uma fragilidade dos SMA é a impossibilidade de estabelecer uma prova matemática dos resultados obtidos pelas

simulações. Entretanto, o uso de inúmeras técnicas e métodos tem sido objeto de pesquisadores para fortalecer a credibilidade dos SMA. A primeira estratégia é fornecer apresentações rigorosas da estrutura do modelo. Para isso, muitos autores têm utilizado linguagens gráficas como a *Unified Modelling Language* (UML). Outras linguagens gráficas podem ser utilizadas, como a Petri Nets (BAKAM et al., 2001; apud BOUSQUET e LE PAGE; 2004). A apresentação do modelo com o uso de linguagens gráficas também facilita uma replicação mais fácil dos modelos.

A segunda estratégia é comparar os resultados dos SMA com outros tipos de modelos, como os de equações diferenciais. A equivalência dos resultados das simulações com os resultados de modelos analíticos também fortalece a credibilidade do modelo, apesar de não validar os resultados do SMA quando o modelo é simulado em situações mais complexas. O procedimento clássico para a validação é comparar os dados simulados com os dados observados em campo, o que também pode ser feito nos SMA.

Outra estratégia é avaliar a relevância das hipóteses do modelo. As considerações de um modelo SMA estão baseadas na representação do comportamento dos agentes e de suas interações. Alguns pesquisadores propõem testar a validade dessas considerações por meio de abordagens experimentais (DEADMAN, 2000; apud BOUSQUET e LE PAGE; 2004) ou RPG (BARRETEAU et al., 2001).

Para os acadêmicos que argumentam que provas analíticas são necessárias para que o método científico seja acolhido, os modelos SMA têm uma imagem de pseudociência. As simulações SMA produzem saídas coloridas e em movimento, que podem dar a impressão de que elas não envolvem nada mais que jogos, *videogames*. Portanto, uma comunicação efetiva e convincente dos resultados de pesquisa em SMA continua sendo um desafio. A documentação dos modelos que utilizam a *Unified Modelling Language* (UML) pode servir como um remédio parcial para esta lacuna de comunicação dos modelos (FOWLER e SCOTT, 1999; apud PARKER et al., 2003).

A linguagem de modelização unificada (*Unified Modelling Language* – UML) é uma linguagem de descrição, baseada na representação gráfica de modelos. É uma ferramenta aberta projetada para ser independente de qualquer linguagem de

programação particular (como *Java* ou *Smalltalk*). A UML é uma linguagem normalizada e formal e foi aceita pelo OMG (*Object Management Group*) em 1997 (OMG, 2003; apud LE PAGE e BOMMEL, 2006). Desde então, a UML é referência na modelização objeto: uma linguagem universal para linguagens orientadas-objeto.

Um modelo baseado em agentes (ABM) descrito com UML é uma representação abstrata que fornece uma figura simplificada do mundo real. Como a UML é baseada em notações gráficas simples, um ABM se torna compreensível até para cientistas que não são da área de informática. A UML pode ser vista como uma ferramenta de diálogo que pode facilitar a comunicação entre cientistas, modelizadores e agentes.

O diagrama de classes UML é o bloco básico para a construção de modelos conceituais. O primeiro passo consiste na identificação dos tipos de entidades relevantes do mundo real seguida pelo mapeamento de cada uma delas utilizando o conceito de classe. Uma classe pode ser considerada como a descrição de objetos que têm uma estrutura similar, um comportamento similar e que compartilha a mesma semântica. Uma classe é definida por uma lista de características (a sua parte estática, denominadas atributos) e uma lista de comportamentos (a sua parte dinâmica, denominados operações).

Uma classe descreve um modelo estruturante para um conjunto de objetos similares denominados instâncias dessa classe. As relações entre as classes são denominadas associações.

Le Page e Bommel (2006) afirmam que em UML, diversos tipos de diagramas dinâmicos nos permitem descrever os comportamentos das entidades e as suas interações, como:

- a) Diagramas de seqüência, os quais descrevem a seqüência de mensagens que são trocadas entre os objetos durante o tempo; essas trocas são mostradas ao longo da linha da vida dos objetos.
- b) Diagramas de estado-transição, utilizados para descrever o comportamento de um objeto, eles mostram as possíveis seqüências de estados através dos quais uma instância pode passar no tempo à medida que vai reagindo aos eventos.
- c) Diagramas de atividades, que são vistos como uma revisão dos diagramas padrão de fluxos; seu propósito é descrever um conjunto de atividades

representando as ações e suas conseqüências. As ações podem ser descritas pela linguagem natural. Uma transição é uma relação entre duas atividades indicando que uma instância entrará na segunda atividade e realizará ações específicas assim que a atividade anterior tiver acabado.

Vale ressaltar que acreditamos na afirmação de que “não há uma execução de um programa sem intenção”. Contrário à lógica da verificação empírica, na qual encontramos uma neutralidade presumível do implementador, as ciências sociais criaram, por meio de uma lógica multiparadigmática, uma nova concepção metodológica nas ciências computacionais, na qual o modelizador desempenha um papel decisivo. Não há, portanto, métodos consensuais nas simulações sociais e a SSBA, da mesma forma que as ciências sociais, é multiparadigmática.

## 2 ABORDAGEM METODOLÓGICA

O segundo capítulo apresenta a abordagem metodológica utilizada neste trabalho, cujas atividades integraram abordagens do tipo especialista e do tipo participativa. Vou apresentar neste texto uma discussão da metodologia para os dois processos: elaboração do modelo conceitual e elaboração do modelo informático. A transição do modelo conceitual para o modelo informático passa, obrigatoriamente, por uma fase intermediária, que é a formalização do modelo, a qual, neste estudo, foi feita na linguagem UML. A discussão apresentada tem como base o trabalho de modelização realizado com comunidades tradicionais de Benjamin Constant. O fluxo de leitura dos conteúdos, como aparecem neste capítulo, é altamente recomendável já que há um direcionamento intencional da agregação de suas informações.

Neste projeto, foram adotadas as seguintes etapas metodológicas:

- A) Revisão bibliográfica.** Subdividida, inicialmente, em cinco campos de conhecimento: (i) prospectiva de cenários, (ii) modelos de sistemas socioambientais, (iii) simulação de sistemas multiagentes - SMA, (iv) modelização de acompanhamento – ComMod e (v) modelização participativa: validade das representações e validação das simulações.
- B) Elaboração do Modelo teórico.** Para elaborar o modelo teórico, foram utilizados dados levantados *in loco* na área da comunidade de São João, e também foram utilizados dados secundários, coletados pelo projeto PRODESAS. Um modelo conceitual que relaciona as dinâmicas territoriais com os parâmetros de decisão dos agentes locais foi desenvolvido/elaborado, em uma abordagem de ComMod (*companion modelling*), que incorpora métodos especialistas e participativos. Este modelo foi validado com as comunidades locais.
- C) Formalização do modelo em UML.** O modelo teórico desenvolvido na etapa anterior foi traduzido para a linguagem UML em uma abordagem especialista.
- D) Construção do Modelo de simulação SMA.** Foi implementado um modelo SMA na plataforma Cormas, a partir do modelo UML desenvolvido na etapa anterior. Este modelo foi ajustado e validado com dois painéis de especialistas.
- E) Exercício de Prospectivas de cenários.** Foram estabelecidos cenários diferentes, com base na variação da incidência dos parâmetros de decisão dos agentes locais. Os cenários foram construídos em trabalhos participativos para potencializar o processo de aprendizado social.

Uma questão metodológica fundamental no início dos trabalhos era: como começar a elaboração de um modelo com a abordagem ComMod? Geralmente, não são encontradas na literatura citações a essa etapa. Por motivos didáticos, dividimos a modelização em duas etapas (Figura 2.01). Na primeira etapa, elabora-se o modelo conceitual. Com o modelo conceitual elaborado, parte-se para elaborar geralmente: (i) o modelo informático (simulador) e/ou (iii) o modelo em jogo de papéis (*role play-game* ou *jeu de role*). Neste trabalho, partimos do modelo teórico para o modelo informático, sem que seja elaborada uma versão do modelo em RPG.

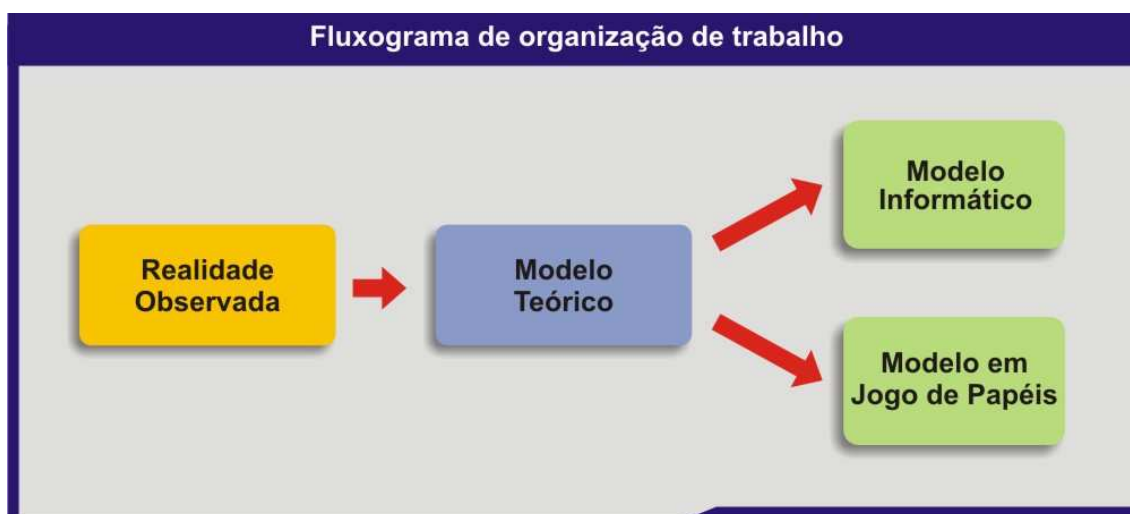


Figura 2.01 Modelo teórico, informático e jogo de papéis

## 2.1 MODELO TEÓRICO

A construção do modelo conceitual é etapa fundamental do processo ComMod, independentemente de o processo subsequente ser a elaboração do modelo informático ou do jogo de papéis. Sugerimos que a modelização conceitual seja dividida em quatro frentes de trabalho distintas. Cabe ressaltar que essas frentes de trabalho não devem ser obrigatoriamente realizadas nem de forma seqüencial muito menos de forma simultânea; as especificidades de cada processo de modelização determinarão qual estratégia seguir. Essas frentes de trabalho são compostas pelas atividades necessárias à definição de:

- a) agentes espaciais e agentes sociais;
- b) ações de cada agente;
- c) estratégias dos agentes;
- d) cenários para as simulações.

Como já descrito, o processo de modelização conceitual foi realizado em abordagens especialistas e participativas. O modelo se serviu de informações do tipo especialista para efetuar as definições em todas as quatro frentes de trabalho. Foram utilizados dados primários ou secundários (bancos de dados, mapas etc.) sobre a área de trabalho, os quais foram obtidos mediante pesquisas em bancos de dados (IBGE, IBAMA, outros órgãos federais, estaduais, municipais etc.).

Outra forma utilizada para a aquisição de dados, a qual também pode ser considerada como uma abordagem especialista, foi a realização de visitas a campo para capturar/elaborar dados, como: (i) a aplicação de questionários, (ii) a realização de entrevistas, (iii) a observação dos comportamentos individuais e coletivos de uma comunidade, (iv) a visualização das paisagens e seus componentes, (v) a gravação de fotos, áudios e vídeos e (vi) a fixação de pontos GPS para obter informações de SIG (Sistemas de Informações Geográficas).

Em cada uma das atividades realizadas em campo, junto às comunidades, o procedimento adotado sempre foi iniciado a partir de uma abordagem de quatro passos preliminares: (i) agendamento de uma data com representantes da comunidade para a realização dos trabalhos, (ii) apresentação à comunidade da equipe de pesquisa definida para a realização dos trabalhos, (iii) descrição de todas as atividades a serem realizadas, de seus objetivos e do tempo necessário para a sua efetiva realização e (iv) discussão com a comunidade sobre a sua disposição, disponibilidade e interesse em participar dos trabalhos. Dessa forma, tentamos garantir que a comunidade tivesse um nível mínimo de autonomia para decidir se participava ou não dos trabalhos referentes às nossas pesquisas.

Para cada frente de trabalho, serão apresentadas as abordagens participativas planejadas e implementadas pela equipe em BC. Essas abordagens utilizaram metodologias participativas (GEILFUS, 1997; CÁRDENAS e RAMOS, 2006) para a elicitación do conhecimento dos atores locais (BECU, 2006). Vale ressaltar que, no nosso caso, cada uma das frentes de trabalho teve níveis diferentes de participação dos atores locais em sua execução.

Um fator importante, fundamental para o sucesso da abordagem participativa deste trabalho, foi o apoio da equipe técnica do PRODESAS. A equipe do projeto PRODESAS, executado no local pela UFAM e pelo INPA, já está presente no município de Benjamin Constant desde o início da década de 1990. Esta equipe conta

com profissionais de natureza multidisciplinar e conta com um banco de dados regionais de grande envergadura, que contemplam inúmeros aspectos sociais, econômicos, físicos e ambientais. A equipe do PRODESAS facilitou todos os contatos com as comunidades locais (indígenas e caboclos) e, também, disponibilizou o livre acesso ao seu banco de dados para a realização desta pesquisa.

Inicialmente, foi elaborado um modelo conceitual da utilização dos recursos naturais pelas comunidades ribeirinhas do município de Benjamin Constant. Foi utilizada como base a metodologia descrita por Angelsen e Kaimowitz (1999), que revisaram mais de 140 artigos com modelos econômicos que representavam os processos chave associados às mudanças no uso e cobertura do solo (MUCS).

Angelsen e S. Kaimowitz (1999), em seus estudos, desenvolveram um arcabouço lógico que classificou os processos de MUCS e as abordagens dos modelos. Geralmente, cinco tipos de variáveis são utilizados nos modelos de MUCS:

- a) a magnitude e a locação da MUCS, a variável dependente principal;
- b) os agentes da MUCS, aqueles indivíduos, empresas ou instituições envolvidos na mudança do uso e cobertura do solo e suas características;
- c) as variáveis de escolha, aquelas decisões sobre alocação de terras que determinam o nível de MUCS para um agente em particular ou para um grupo de agentes;
- d) parâmetros de decisão dos agentes (causas imediatas), aquelas variáveis que influenciam diretamente as decisões dos agentes mas são externas a eles;
- e) as variáveis macroeconômicas e os instrumentos políticos (causas dispersas), aquelas variáveis que afetam a MUCS indiretamente através de sua influência nos parâmetros de decisão.

A Figura 2.02 ilustra as relações entre os principais tipos de variáveis e fornece uma abordagem simples e lógica para analisar as MUCS em 3 diferentes níveis: fontes, causas imediatas e causas dispersas.



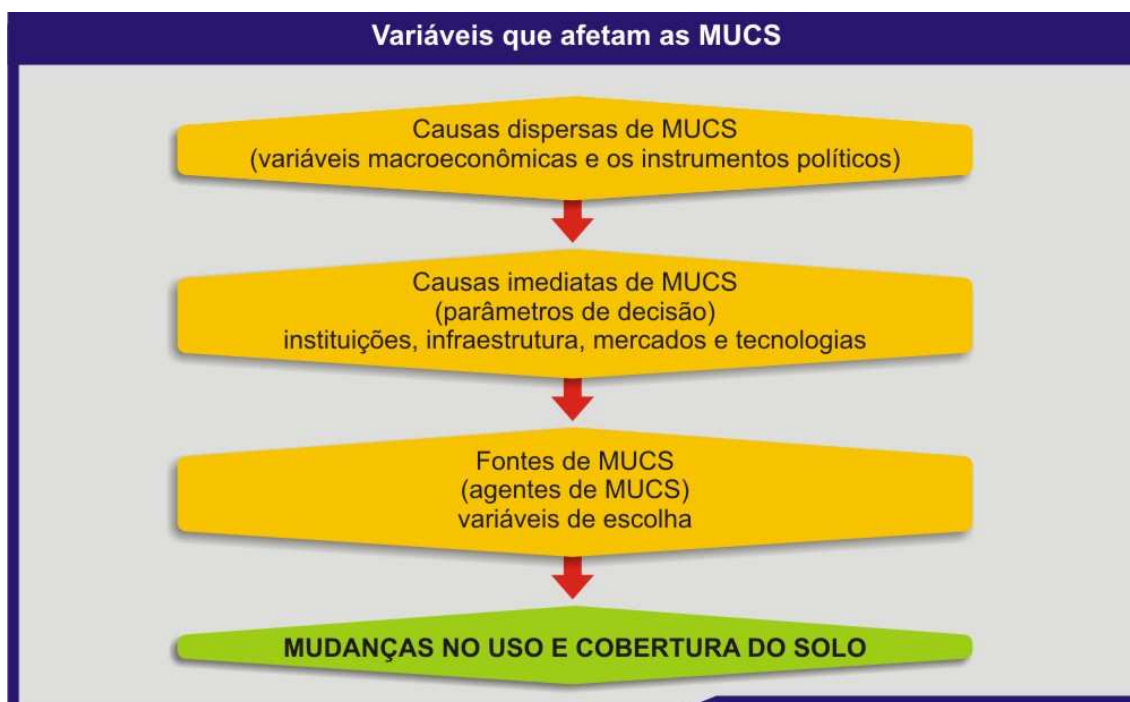


Figura 2.02 – Variáveis que afetam as MUCS (adaptado de ANGELSEN e KAIMOWITZ, 1999)

Para Angelsen e Kaimowitz (1999), o ponto de partida é definir os agentes da MUCS (pequenos fazendeiros, colonos, companhias de plantação etc.). As ações destes agentes são as fontes de MUCS. O próximo passo deve focar as decisões destes agentes, as quais são baseadas nas suas próprias características (histórico, preferências e recursos) e em parâmetros de decisão, como: preços, tecnologias, instituições, novas informações e acesso a serviços e infra-estrutura. Estes fatores determinam o conjunto de escolhas disponíveis e os incentivos para as diferentes escolhas. Os parâmetros de decisão podem ser vistos como as causas imediatas da MUCS.

Na metodologia proposta por Angelsen e Kaimowitz (1999), os parâmetros de decisão e as características dos agentes são determinados por dinâmicas maiores, geralmente associadas a políticas macroeconômicas, de cunho nacional. Essas “dinâmicas” podem ser denominadas como as causas dispersas (indiretas) da mudança no uso e cobertura do solo e influenciam as decisões dos agentes através de inúmeros caminhos: o mercado; a disseminação de novas tecnologias e informações; o desenvolvimento da infra-estrutura e as instituições, particularmente, o regime de propriedade.

### 2.1.1 Agentes Espaciais e Agentes Sociais

Como o modelo é socioambiental, nada mais lógico que os principais agentes sejam espaciais (representando as “entidades” ambientais) e sociais. A definição destes agentes no modelo deve ser objeto de uma revisão constante durante todo o processo de modelização. Para cada agente definido (espacial e social) no modelo devem ser definidas suas características principais (atributos, parâmetros), que permitam descrever (e compreender) o seu comportamento.

Os agentes espaciais podem ser vistos em diferentes escalas; a definição da escala espacial do modelo está intimamente ligada à definição de sua “escala social”, ou seja, quais agentes sociais serão inseridos no modelo. Em termos espaciais, podemos trabalhar no nível de: (i) uma parcela de uma propriedade, (ii) uma propriedade, (iii) uma rua, (iv) um bairro, (v) um setor, (vi) um município, (vii) uma microrregião, (viii) uma mesorregião (ix) etc. A escala espacial do modelo definirá se o trabalho envolverá a dinâmica entre diferentes paisagens ou entre diferentes componentes dentro de uma mesma paisagem.

A realização de oficinas de trabalho participativas pode gerar informações detalhadas sobre os agentes espaciais. A cartografia participativa e a cartografia cognitiva são dois métodos possíveis para elaborar mapas com a participação das comunidades envolvidas. Na cartografia participativa, os comunitários são solicitados a observar mapas do local (que contêm apenas os seus “limites” e a escala) os quais servem como base para que eles possam discutir e denominar as diferentes áreas desse local. Na cartografia cognitiva, a população elabora o mapa a partir da percepção que tem do território, sem utilizar uma base preexistente com limites e escalas.

Durante todas as etapas de modelização, o modelizador deve permanecer atento e flexível para perceber quando: (i) a escala espacial deve ser modificada, (ii) um agente espacial pode ser desagregado em dois outros, ou mais, e (iii) dois ou mais agentes espaciais podem ser agregados em um único.

Os agentes sociais devem ser definidos de acordo com a escala espacial. Para tanto, devemos observar a coerência entre a escala espacial definida e os atores sociais que têm alguma relação (utilização, gestão, influência, impacto etc.) com os agentes espaciais dessa escala.

A realização de oficinas de trabalho participativas pode, também, gerar resultados interessantes para emergir os agentes sociais. Uma alternativa é realizar uma “tempestade de idéias” (*brainstorm*) para definir quais são os agentes sociais que exercem algum tipo de influência sobre cada um dos agentes espaciais recém-definidos.

Durante todas as etapas de modelização, o modelizador deve permanecer atento e flexível para perceber quando: (i) um agente social é definido e não existe um representante deste tipo de agente social presente nas atividades participativas do processo de modelização, (ii) um agente social pode ser desagregado em dois outros, ou mais, e (iii) dois ou mais agentes sociais podem ser agregados em um único.

Na primeira rodada de trabalhos participativos, realizados em julho e agosto de 2005, foram realizadas diversas observações de campo e entrevistas em 4 comunidades caboclas (São João, Vera Cruz, Tupi1 e Tupi 2), em 3 indígenas (Novo Paraíso, Cidade Nova, Nova Aliança e Guanabara 2) e em um assentamento do INCRA (Crajari). Esta fase do trabalho contou com o apoio de um grupo de pesquisadores do projeto BIODAM, financiados pelo IFB (*Institut Français de La Biodiversité*) e do projeto PRODESAS.

Nesta primeira rodada foi utilizada uma abordagem majoritariamente especialista na execução das atividades, e como resultado foram predefinidos os componentes de paisagem locais (agentes espaciais) e os principais atores regionais (agentes sociais). Esta rodada de trabalhos demonstrou a necessidade de uma abordagem mais participativa para obter as demais informações necessárias à elaboração do modelo conceitual.

### **2.1.2 Ações de cada Agente**

Existem dois tipos de ações possíveis em um modelo socioambiental: (i) ações intrínsecas aos agentes e (ii) ações relacionais entre agentes. As ações intrínsecas dos agentes sociais independem de seu posicionamento no espaço, as ações intrínsecas aos agentes espaciais independem das interferências dos agentes sociais.

Para definir as ações intrínsecas dos agentes, devemos realizar um trabalho no qual representamos cada agente isolado. Elaboramos, então, uma lista exaustiva de

todas as ações intrínsecas possíveis para cada tipo de agente, que independem da sua relação com outros agentes. Envelhecer, por exemplo, é uma ação intrínseca a um agente social (relativo a um indivíduo).

As ações relacionais entre agentes são aquelas realizadas por um agente que interferem diretamente sobre o comportamento (atributos e/ou ações) de outro(s) agente(s). Podem ser ações realizadas por um agente social que interferem diretamente sobre o comportamento de outros agentes sociais ou sobre um determinado agente espacial. Podem ser, também, ações realizadas por um agente espacial que interferem diretamente sobre o comportamento de outro agente espacial ou sobre um determinado grupo de agentes sociais.

Todas as ações relacionais dos agentes devem ser definidas no espaço e no tempo. Descreveremos, nesta frente de trabalho, primeiro, a definição das ações no espaço e, depois, das ações no tempo, mas essa seqüência não é obrigatória.

#### A - Ações relacionais no espaço

Para definir as ações relacionais no espaço, devemos realizar um trabalho no qual representamos cada agente social isolado e confrontado um a um com os demais agentes (sociais e espaciais). Em seguida, refazemos o mesmo procedimento com cada agente espacial. Elaboramos, então, uma lista exaustiva de todas as ações relacionais possíveis entre cada tipo de agente (social e espacial) eliminando as ações “superpostas”.

Nesta etapa da frente de trabalho, podem emergir três situações limites: (i) quando as ações relacionais definidas entre dois agentes não têm nenhuma relação com os objetivos da modelização, (ii) quando um agente social não exerce nenhum tipo de influência sobre nenhum dos demais agentes espaciais predefinidos e (iii) quando um agente espacial não sofre influência de nenhum dos agentes sociais predefinidos. É o momento ideal de se discutir a fusão ou a desagregação de agentes sociais e/ou espaciais.

Para potencializar as atividades nesta etapa da frente de trabalho, devemos tentar elaborar (de forma participativa!) uma representação gráfica que relacione as ações com os agentes sociais e espaciais.

Diversas ferramentas podem ser utilizadas para este fim e a escolha da ferramenta mais apropriada depende tanto do modelizador quanto dos atores envolvidos nesta frente de trabalho. Entre as ferramentas podemos utilizar desde a elaboração de diagramas simples, como um que relaciona agentes e ações (Figura 2.03), até a construção de diagramas de classes, do tipo UML (*Unified Modelling Language*).

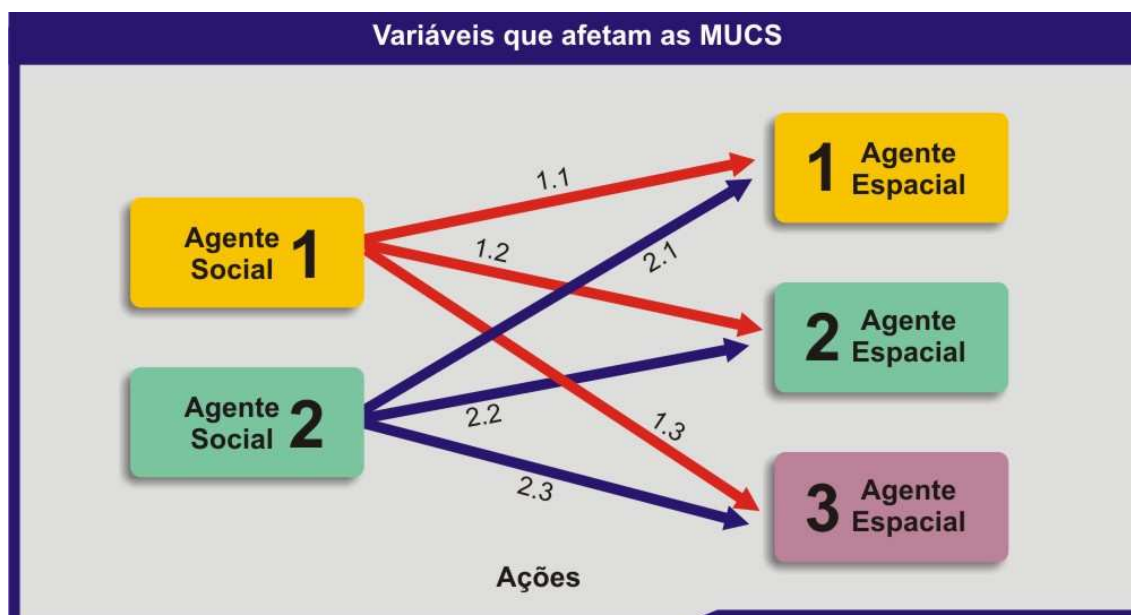


Figura 2.03 – Diagrama relacionando agentes sociais e suas ações sobre os espaciais

#### B - Ações relacionais no tempo

Devemos tentar definir, *a priori*, qual será a escala de tempo do modelo. Essa escala depende dos objetivos do modelo, mas devemos observar qual é a escala mais próxima das principais ações definidas: (i) diária, (ii) semanal, (iii) mensal, (iv) semestral, (v) anual ou (vi) outra. Essa escala define também o potencial de simular cenários de um modelo, pois, dificilmente, um modelo elaborado em escala semanal simulará bons cenários em horizontes anuais.

A representação gráfica tem, novamente, o potencial de facilitar o entendimento dos participantes. Inúmeras ferramentas de apoio podem ser utilizadas para este fim, como (i) a elaboração de calendários de ações, e/ou (ii) a construção de Diagramas de Gantt (cronogramas). Dessas atividades surgem as lógicas das ações em função do tempo, mas também pode emergir a escala de tempo mais adequada aos objetivos do modelo.

Devemos cruzar as informações obtidas na definição das ações no espaço e no tempo para verificar a coerência/congruência das duas etapas desta frente de trabalho. Outra vez, a utilização de uma ferramenta para a representação gráfica é aconselhada. O modelizador deve estar flexível e atento, pois, da mesma forma que ocorreu com os agentes (espaciais e sociais), as ações podem ser fundidas ou desagregadas de acordo com os objetivos do modelo.

A segunda rodada de trabalhos, realizada em janeiro de 2006, teve suas atividades divididas em duas etapas: uma em BC e a outra nas comunidades de São João e de Tupi 1. Esta rodada de trabalho contou com o apoio de um grupo de alunos da UFAM e do projeto PRODESAS.

Em BC, foi feita uma participação na oficina de trabalho organizada pela UFAM, em sua sede de Benjamin Constant. O título foi “Oficina de planejamento organizacional em agricultura familiar – planejar e decidir as ações para o futuro” e estiveram presentes representantes comunitários (convidados pela equipe da UFAM): (i) das sete comunidades caboclas e indígenas pesquisadas na primeira visita, (ii) das comunidades de Bom caminho, Filadélfia e Cordeirinho, e (iii) das sedes municipais de Benjamin Constant, Atalaia do Norte e São Paulo de Olivença. Para cada “comunidade” havia entre seis e vinte representantes participando dessa oficina.

Nessa oficina, foram elaborados mapas cognitivos pelos representantes comunitários e ocorreram discussões sobre a realidade de cada comunidade, com definição dos problemas locais, suas causas e suas possíveis soluções. Com o resultado dessa oficina e após discussão feita com os comunitários sobre seu interesse (disposição e disponibilidade) em participar de trabalhos adicionais, foram definidas as comunidades de São João e de Tupi 1 para a execução da segunda etapa do trabalho.

Foram, então, realizadas oficinas nestas duas comunidades, com os próprios moradores. Nestas oficinas, a equipe e o escopo da pesquisa eram apresentados com o apoio do presidente da associação comunitária e, após a aprovação dos comunitários, foram executadas três tarefas: (i) a confecção de um mapa cognitivo da área de influência da comunidade (Figura 2.03 a), ajustando/validando os agentes espaciais predefinidos na rodada de trabalhos anterior; (ii) um “*brainstorm*” para identificar todos os agentes presentes nesta área, segundo a percepção dos próprios

comunitários, ajustando/validando os agentes sociais predefinidos na rodada de trabalhos anterior e (iii) a confecção de um calendário anual das atividades de produção executadas pelos comunitários (Figura 2.04 b), com a definição das ações realizadas pelos agentes sociais em cada agente espacial, na escala temporal selecionada por eles (mensal/anual).



Figura 2.04 – Mapa Cognitivo e Calendário de Produção Anual – São João

A receptividade do trabalho em ambas as comunidades foi excepcional. Entretanto, os ótimos resultados obtidos com a comunidade de São João, que elaborou dois mapas cognitivos - um para a estação seca e outro para a estação chuvosa – e a maior proximidade com a sede da UFAM (1½ hora de barco contra 2½ horas para Tupi) levaram a nossa equipe a demandar um segundo dia de oficina no local, o qual foi prontamente aceito pela comunidade.

Na segunda oficina em São João, depois de ser feito um resumo do trabalho já realizado, com a exposição dos mapas e do calendário elaborados, foi solicitado aos comunitários que fizessem uma descrição detalhada de cada agente local (espacial e social) citado no dia anterior. Alguns agentes foram agrupados sob nova denominação e, para cada agente foi elaborada uma “ficha” descritiva com: (i) a sua definição (o que é/o que tem); (ii) a sua dinâmica natural e (iii) a sua dinâmica sob a influência de variáveis externas (por exemplo, a ação antrópica nos agentes espaciais). Os resultados obtidos foram animadores, com uma semelhança perceptível entre as fichas elaboradas e os diagramas básicos em UML (Figura 2.05).



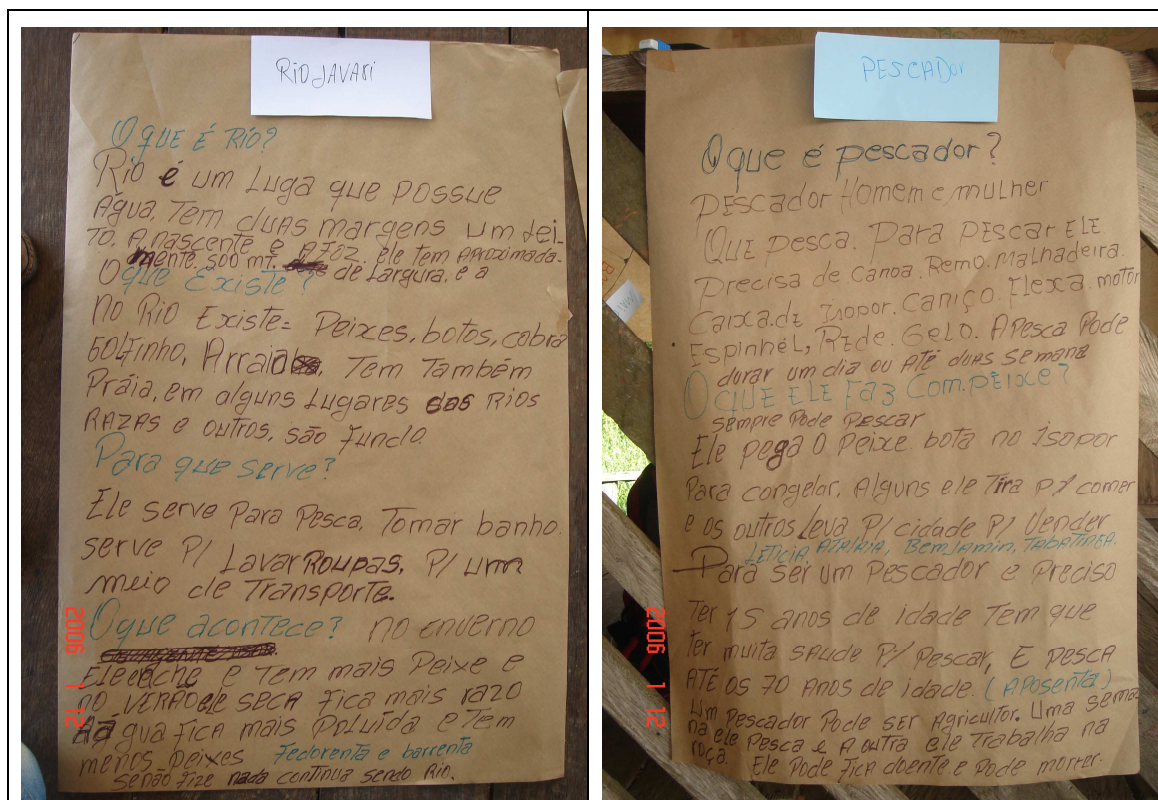


Figura 2.05 – Fichas descritivas semelhantes a Diagramas UML

### 2.1.3 Estratégias dos Agentes

As ações dos agentes não ocorrem de forma aleatória, há uma lógica na tomada de decisão de cada agente, ao executar uma ação e, principalmente, uma lógica na organização da sequência das ações a serem executadas. Para tentarmos entender essa lógica, cada ação definida deve ser discutida, desvendando os eventos presentes em seus “mecanismos internos”.

Devemos, então, construir o “mecanismo interno” de cada ação, definindo quais eventos: (i) causam a execução de uma ação, (ii) interferem na sua execução e (iii) são gerados pela sua execução. Para cada evento definido para uma ação - causa, interferência e efeito - (Figura 2.06) devemos estabelecer, sempre que possível, os seus respectivos parâmetros de variação (ocorrência, intensidade etc.).





Figura 2.06 Ação – Causas, Interferências e Efeitos

Existem, também, ações que se correlacionam em termos de causa e efeito. Verificando as relações causa-efeito existentes entre diferentes ações, podemos construir diferentes blocos de ações (encadeamentos). A Figura 2.07 apresenta um exemplo de um bloco de 5 ações, considerando que não existem outras relações causa-efeito das ações 1, 2, 3, 4 e 5 com nenhuma outra ação:

- a ação 1 é causa das ações 2 e 3
- a ação 2 é causa da ação 4
- a ação 4 é causa da ação 3
- a ação 3 é causa da ação 5

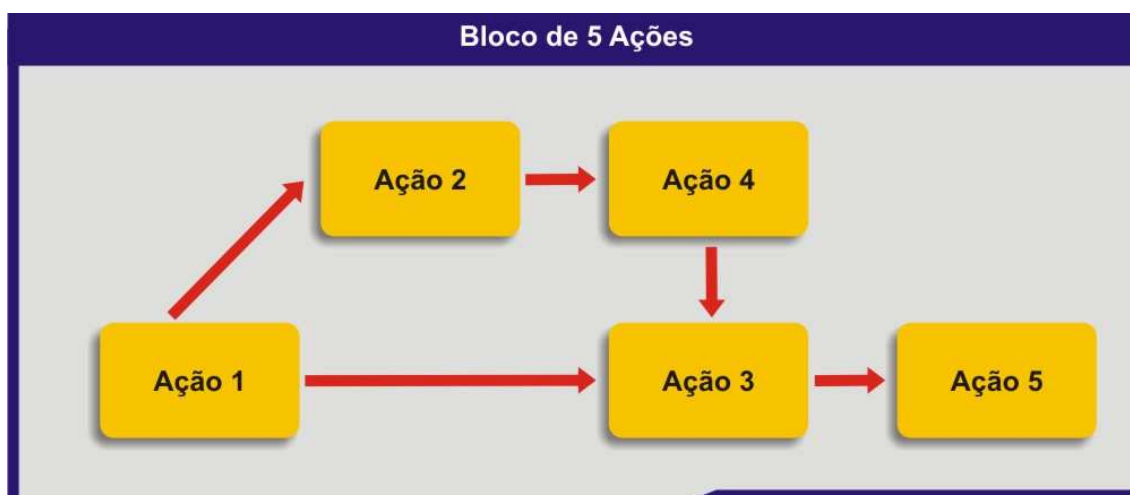


Figura 2.07 Bloco de 5 ações

Difícilmente será possível criar um bloco único de todas as ações definidas no modelo e, portanto, teremos diferentes blocos de ações encadeadas. Os agentes

decidem, de acordo com suas preferências, quais blocos de ações ele vai executar e em qual seqüência estes blocos serão executados. O conjunto de preferências que determinam a opção de um agente por uma seqüência específica de diferentes blocos de ação pode ser denominado como uma estratégia do agente (Figura 2.08).

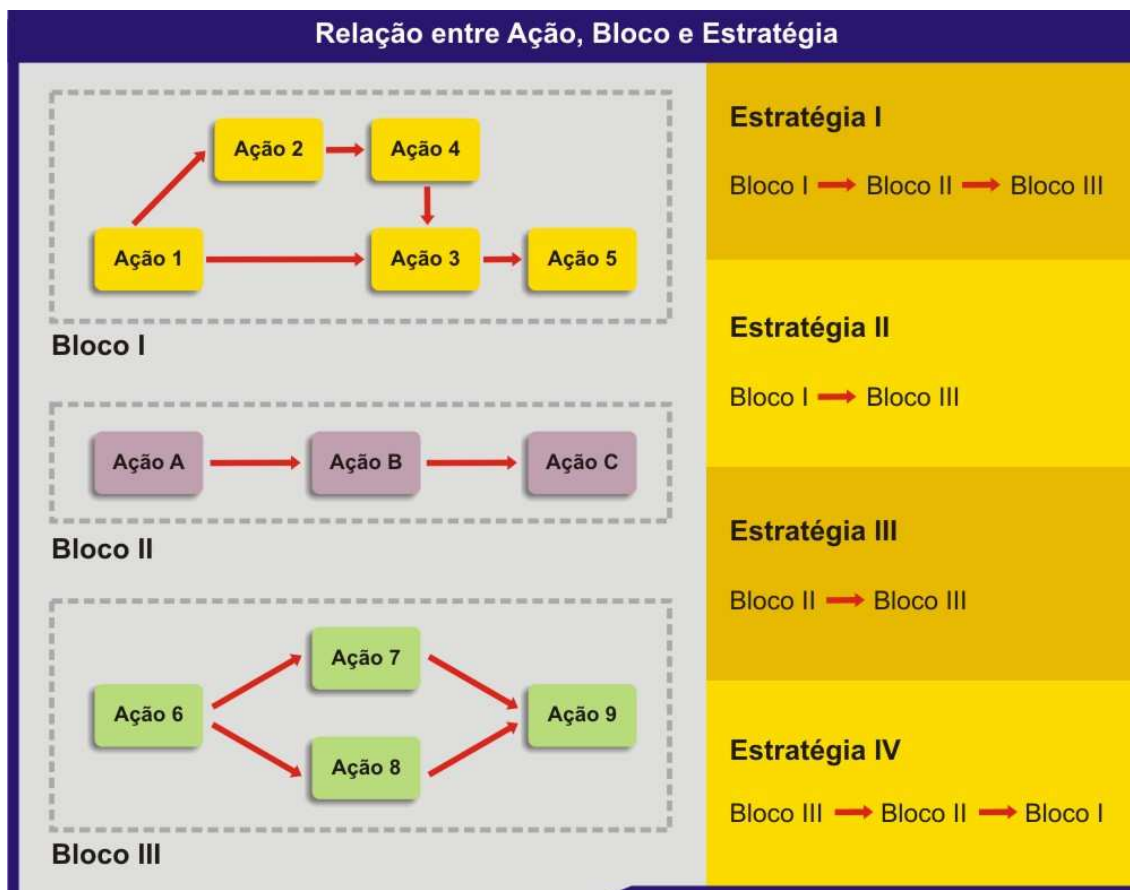


Figura 2.08 Relação entre ação, bloco e estratégia

A representação gráfica tem, mais uma vez, o potencial de facilitar o entendimento dos participantes. Entre as ferramentas de apoio a serem utilizadas, propomos diversas variações do Diagrama de Gantt, que representam os parâmetros de dependências/preferências com flechas. O *software* MsProject apresenta algumas destas possibilidades.

Além de fazer emergir os possíveis encadeamentos das ações, estas atividades de elaboração de representações gráficas podem gerar alterações na definição: (i) dos agentes sociais, (ii) dos agentes espaciais, (iii) das escalas espacial e temporal e (iv) das ações.

Um agente pode ter uma ou mais estratégias. Existem diferentes fatores que determinam a opção de um agente por uma ou por outra estratégia. Estes fatores

podem ser: (i) internos, gerados por outros agentes, “dentro da escala espacial” do modelo e (ii) externos, gerados por agentes os quais não estão presentes “dentro da escala espacial” do modelo. Devemos definir, portanto, quais são esses fatores internos e externos. Se possível, devemos estabelecer os parâmetros de variação desses fatores (internos e externos) de escolha de estratégia (ocorrência, intensidade etc.). Um exemplo simples de escolha de estratégia é a escolha do caminho crítico nas técnicas de PERT/CPM (*Program Evaluation and Review Technique / Critical Path Method*).

O acesso a uma informação pode ser considerado o fator de escolha de estratégia típico a um agente social. Um agente social pode mudar a sua estratégia quando tem acesso a diferentes tipos de informação. Quanto à disponibilidade, podemos dividir as informações em dois tipos: (i) as de livre acesso, que sempre podem ser acessadas por todos os agentes sociais, (ii) as de acesso restrito, cujo acesso pode ser restrito por critérios temporais (disponíveis apenas em certos períodos) e/ou por critérios seletivos (disponíveis apenas a alguns tipos de agentes sociais).

A terceira rodada de trabalhos, realizada em julho de 2006, teve todas as suas atividades realizadas nas próprias comunidades (São João, Novo Paraíso, Nova Aliança e Tupi 1). Esta rodada de trabalhos contou com o apoio de pesquisadores envolvidos com o projeto BIODAM, um grupo de alunos da UFAM e do projeto PRODESAS.

Nessa rodada de trabalhos, inicialmente, foram lembrados todos os resultados obtidos nas etapas anteriores (mapas cognitivos e calendários agrícolas). Uma imagem de satélite da área de estudo foi utilizada para validar o mapa cognitivo elaborado. A comparação entre os dois instrumentos gerou uma discussão bem interessante sobre as áreas da comunidade.

Após esta segunda validação dos agentes espaciais pela comunidade, a comunidade foi demandada a elaborar um diagrama que relacionasse os agentes sociais e os agentes espaciais, especificando quais ações eram realizadas pelos agentes sociais em cada agente espacial. Esta dinâmica gerou um diagrama de agentes X ações “participativo” (Figura 2.09), o qual foi comparado com o mesmo diagrama “especialista” elaborado pelo modelizador a partir dos resultados da segunda rodada de trabalhos. Os resultados foram animadores, pois os dois diagramas

apresentaram alto grau de semelhança. As imagens de satélite e o diagrama de agentes X ações “especialista” foram doados às comunidades, impressos e plastificados.

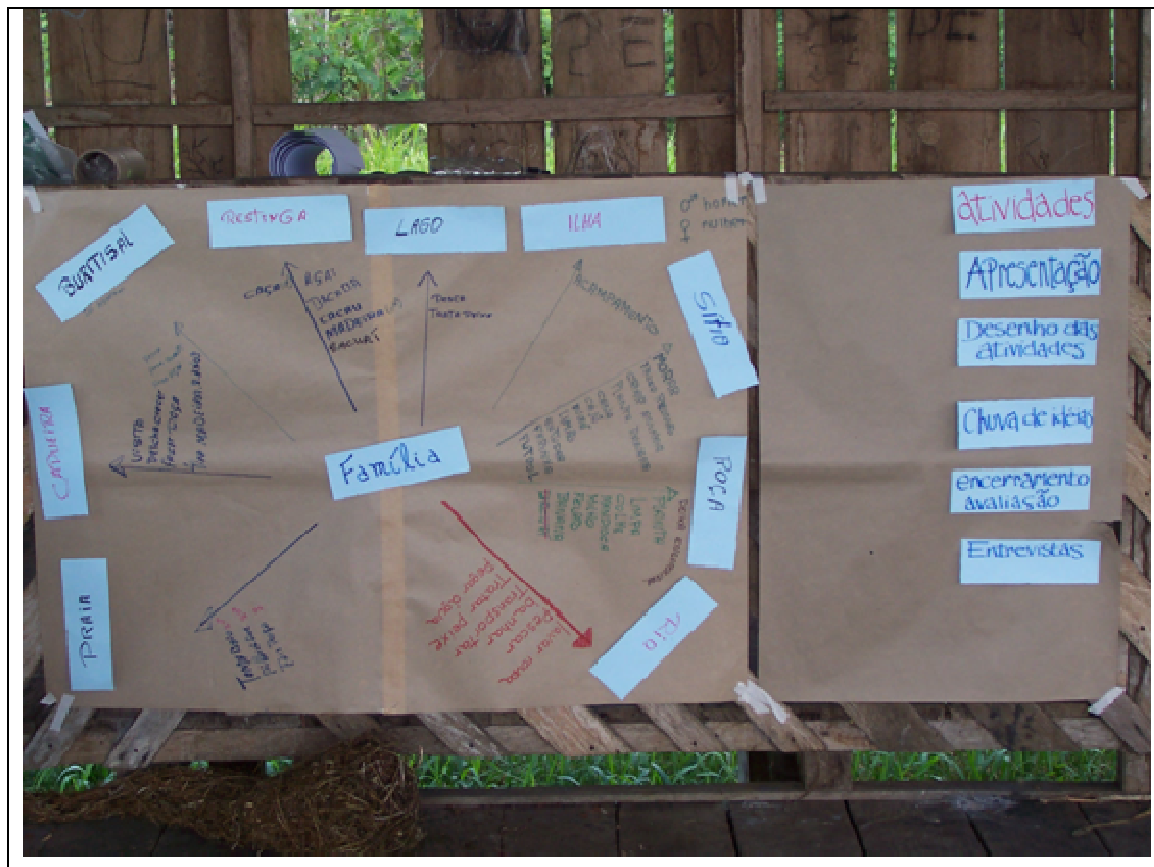


Figura 2.09 Diagrama Agente X Ação – Construção participativa em São João

Depois da tarefa de elaboração do diagrama, foi realizada uma nova dinâmica para tentar detalhar, ainda mais, as ações e os parâmetros de tomada de decisão adotados pelos agentes sociais.

Novamente, o modelizador deve estar atento para fazer emergir desta frente de trabalho as definições mais adequadas aos objetivos do modelo. O modelizador também deve estar atento e observar quais eventos aparecem no mecanismo interno de mais de uma ação, quais preferências aparecem em mais de um bloco de ações, e quais fatores são mais recorrentes na escolha das estratégias. Estes eventos, preferências e fatores terão, provavelmente, uma maior influência no comportamento do modelo.

Definidos os agentes, as ações e as estratégias, pode-se considerar que uma primeira versão do modelo conceitual está “finalizada”. Este modelo conceitual pode

ser utilizado para diversos fins, e, em uma abordagem ComMod, os mais recorrentes são: (i) a conversão do modelo em uma plataforma informática para realizar simulações com computadores e/ou (ii) a conversão do modelo em uma plataforma do tipo “jogo de papéis” para realizar simulações com “tabuleiros”. Em ambas as plataformas, o modelizador deve planejar uma interface para que os atores envolvidos participem das simulações.

A conversão do modelo em uma plataforma de simulação pode ser feita com uma abordagem estritamente especialista, na qual apenas o modelizador define os critérios de conversão, ou com uma abordagem participativa. Na experiência de modelização em Benjamin Constant, a conversão do modelo foi feita para uma plataforma de simulação informática – Cormas. Devido a restrições técnicas e financeiras, neste trabalho, a conversão foi feita em uma abordagem especialista.

## 2.2 FORMALIZAÇÃO DO MODELO TEÓRICO EM UML

Apesar de a primeira versão do modelo conceitual já poder ser considerada finalizada, a sua conversão para uma plataforma informática demanda a sua formalização em uma linguagem mais próxima da linguagem informática. Todos os diagramas, tabelas e fluxogramas elaborados devem ser “traduzidos” para uma linguagem “padronizada” que possa ser convertida em um modelo informático.

A formalização dos modelos utilizando a *Unified Modelling Language* (UML) tem sido o procedimento mais usado nesta etapa. A linguagem de modelização unificada (*Unified Modelling Language* – UML) é uma linguagem de descrição, baseada na representação gráfica de modelos. É uma ferramenta aberta, projetada para ser independente de qualquer linguagem de programação particular (como *Java* ou *Smalltalk*). A UML é uma linguagem normalizada e formal e foi aceita pelo OMG (*Object Management Group*) em 1997 (OMG, 2003; apud LE PAGE e BOMMEL, 2006). Desde então, a UML é referência mundial na modelização objeto: uma linguagem universal para linguagens orientadas-objeto.

Existem inúmeros textos que apresentam a linguagem UML de forma simples, direta e didática, portanto não revisaremos os recursos UML neste texto. A idéia aqui é apenas discutir a formalização (tradução) do modelo conceitual elaborado na fase inicial ComMod em diagramas UML: (i) de classe, (ii) de atividades, (iii) de seqüência.

Em uma abordagem ComMod, a formalização do modelo conceitual em diagramas UML pode ser executada de forma especialista ou participativa. Na abordagem especialista, o modelizador elabora o modelo UML a partir do modelo conceitual e, quando este estiver “finalizado”, apresenta-o aos atores envolvidos na modelização para discussão.

Na abordagem participativa, durante a fase de modelização conceitual - realizada pelo fórum dos atores envolvidos - o modelizador pode ir “construindo”, paralelamente e paulatinamente, o modelo UML. Essa construção participativa ocorreria todas as vezes que o fórum fosse elaborar as diferentes representações gráficas do modelo, nos processos de definição de: (i) agentes, (ii) ações, (iii) eventos, (iv) preferências e (v) fatores. A última representação gráfica seria sempre o “equivalente” ao diagrama UML.

### **2.2.1 O Diagrama de Classes**

A definição de classes, nesta fase, é função da definição dos agentes espaciais e sociais feita na fase de modelização conceitual. As representações gráficas já realizadas na fase conceitual podem ser extremamente úteis neste momento.

Inicialmente, podemos definir cada agente do modelo conceitual como uma “classe”. Cada uma dessas “classes” terá seus atributos (características listadas na fase de modelização conceitual, que foram consideradas capazes de descrever o comportamento dos agentes), e métodos (todas as ações de agentes - intrínsecas e relacionais - “listadas” na fase de elaboração do modelo conceitual) (Figura 2.10).

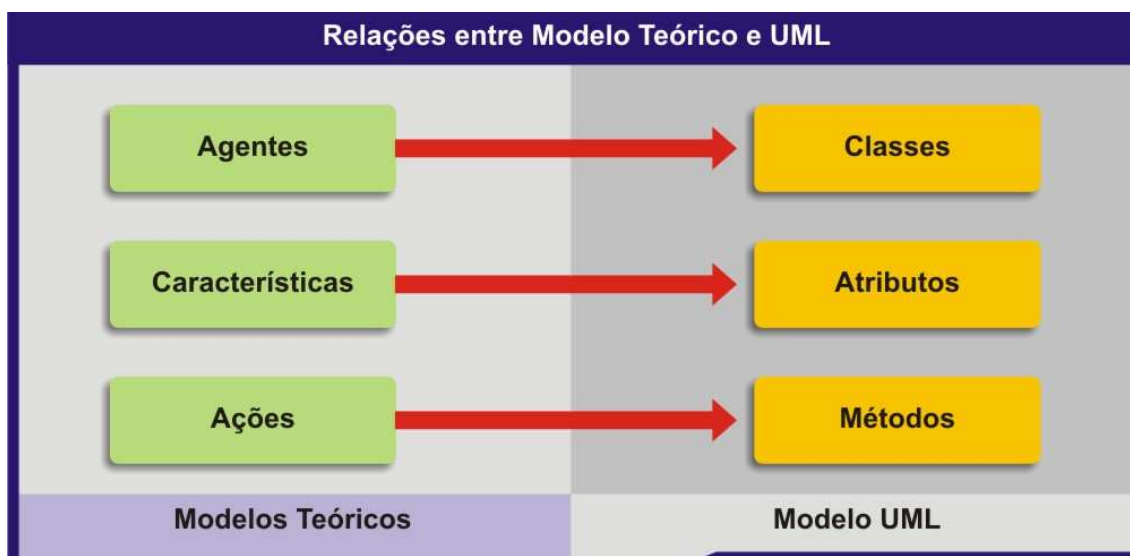


Figura 2.10 Relação entre modelo teórico e UML

Com as “classes” iniciais já definidas, devemos procurar agrupar – não é agregar! – essas classes (agentes espaciais e sociais) em grupos que se “assemelham”, que têm características e/ou comportamentos análogos. Este agrupamento de agentes pode ser feito de duas formas: (i) em grupos de especializações e generalizações de agentes e/ou (ii) em grupos de agregações de agentes.

No primeiro procedimento de “agrupamento” de agentes, a idéia inicial é verificar qual agente é mais “genérico” e quais agentes são especializações desta generalidade. Para tanto, devemos cruzar os seus atributos, ou seja, as características listadas na fase de modelização conceitual, que foram consideradas capazes de descrever o comportamento dos agentes. Agentes com atributos semelhantes têm grande probabilidade de pertencer a uma relação especialização / generalização.

Exemplos: (i) homem e mulher podem ser especialidades de gênero ser humano, ou seja, homem e mulher são subclasses da superclasse ser humano; (ii) mandioca, banana e milho podem ser subclasses da superclasse alimentos, (iii) floresta, pasto e plantação podem ser subclasses da superclasse cobertura vegetal.

Devemos, portanto, definir as relações de especialização e generalização existentes entre os diversos agentes (sociais e espaciais) e definir as superclasses e as subclasses do modelo (Figura 2.11). As questões que envolvem a herança de parâmetros entre subclasse e superclasse não serão apresentadas neste texto e devem ser objeto de estudo em textos específicos de UML.

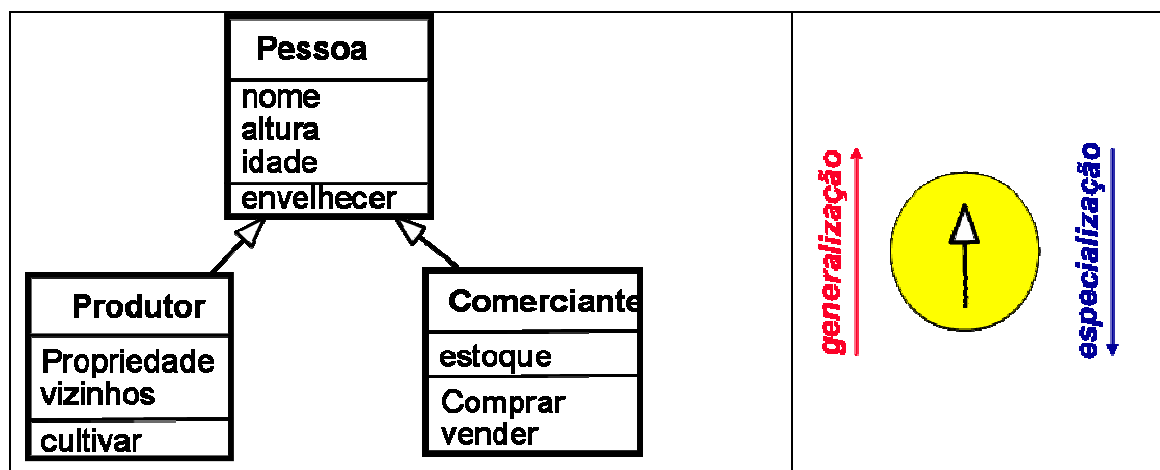


Figura 2.11 Relações de generalização e especialização (BOMMEL e GOMES, 2007)

No segundo procedimento de “agrupamento” de agentes, devemos organizar quais agentes são “compostos” por outros agentes e quais agentes “se agregam” para compor outro agente. Vale notar que, neste tipo de relação todos os agentes são instâncias de uma mesma classe.

Por exemplo, uma associação de produtores é composta por um ou mais produtores, ou seja, a instância “associação de produtores” é composta pela coleção de um ou mais elementos da instância “produtores”. Da mesma forma, (i) uma floresta é composta por uma ou mais árvores, (ii) um país é composto por uma ou mais regiões, (iii) uma região é composta por um ou mais estados e (iv) um estado é composto por um ou mais municípios.

Para os agentes espaciais, um exemplo fundamental de agregação de agentes ocorre quando devemos definir qual será a menor parcela do território modelizado a ser “visualizada” nas simulações de cenários do modelo. Por exemplo, um tipo de propriedade rural (com 300 hectares) é definido como um agente social relevante, entretanto, nas simulações, foi decidido (pelo fórum...) observar as alterações que se sucedem em parcelas de 1 hectare. Cada propriedade será, então, composta de 300 parcelas de 1 hectare. A agregação de 300 agentes da instância de “parcelas de 1 hectare” forma um agente da instância de “propriedades”.

Existe um tipo mais específico desta relação de agregação: a composição. Ela é um tipo de relação de “construção” de um agente por outros agentes. Podemos verificar que são dois tipos bastante similares, mas diferentes, de relação: (i) na agregação simples, um agente contém outros agentes, em relações



coleção/elementos, mas os elementos são todos do mesmo “tipo”; (ii) na composição, um agente é composto por outros agentes, em uma relação todo/partes, mas as partes são de “tipos” diferentes. Em ambas as relações (coleção/elementos e todo/partes), os agentes são instâncias de uma mesma classe (Figura 2.12).

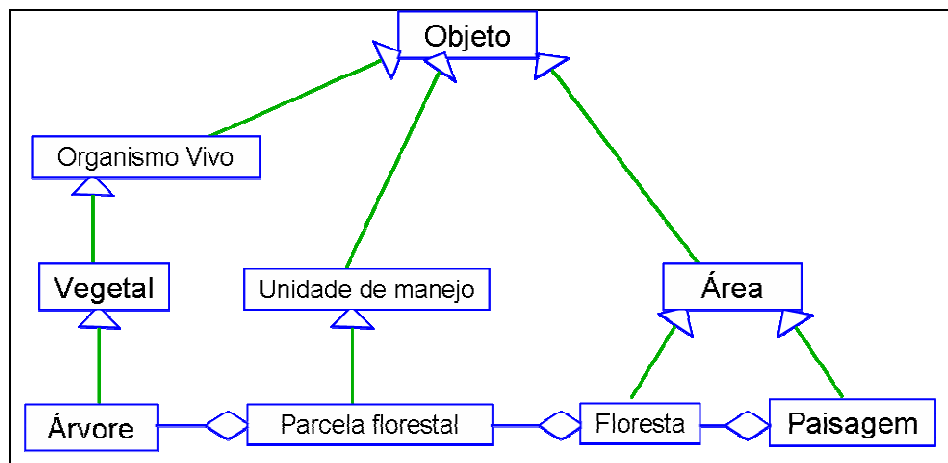


Figura 2.12 Relações de agregação e composição (BOMMEL e GOMES, 2007)

Devemos, portanto, definir as relações de agregação e composição existentes entre os diversos agentes (sociais e espaciais). Novamente, uma verificação das características dos agentes definidas na fase de modelização conceitual se faz necessária.

Há ainda as relações simples entre agentes. Por exemplo, uma propriedade pertence a um proprietário, o qual, por sua vez, possui uma ou mais propriedades. Essas relações também devem ser definidas no modelo em UML. Para tanto, podemos verificar em todas as ações de agentes (intrínsecas e relacionais) “listadas” na fase de elaboração do modelo conceitual, quais apresentam esse comportamento de “relação simples” entre classes e instâncias já definidas (Figura 2.13).

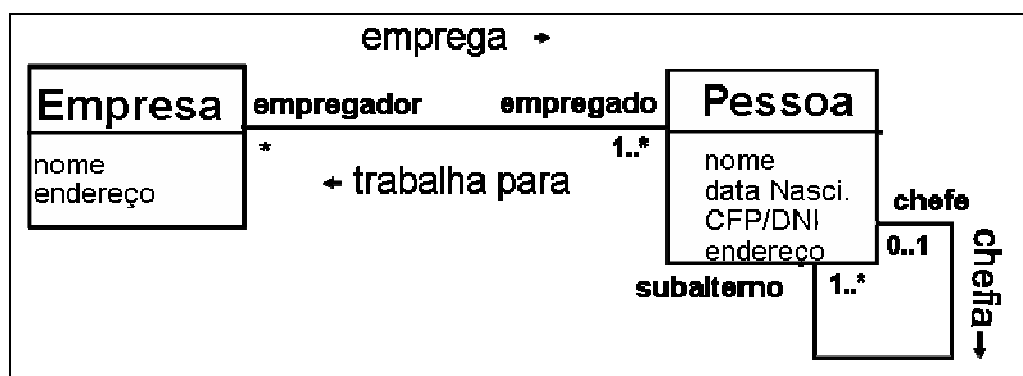
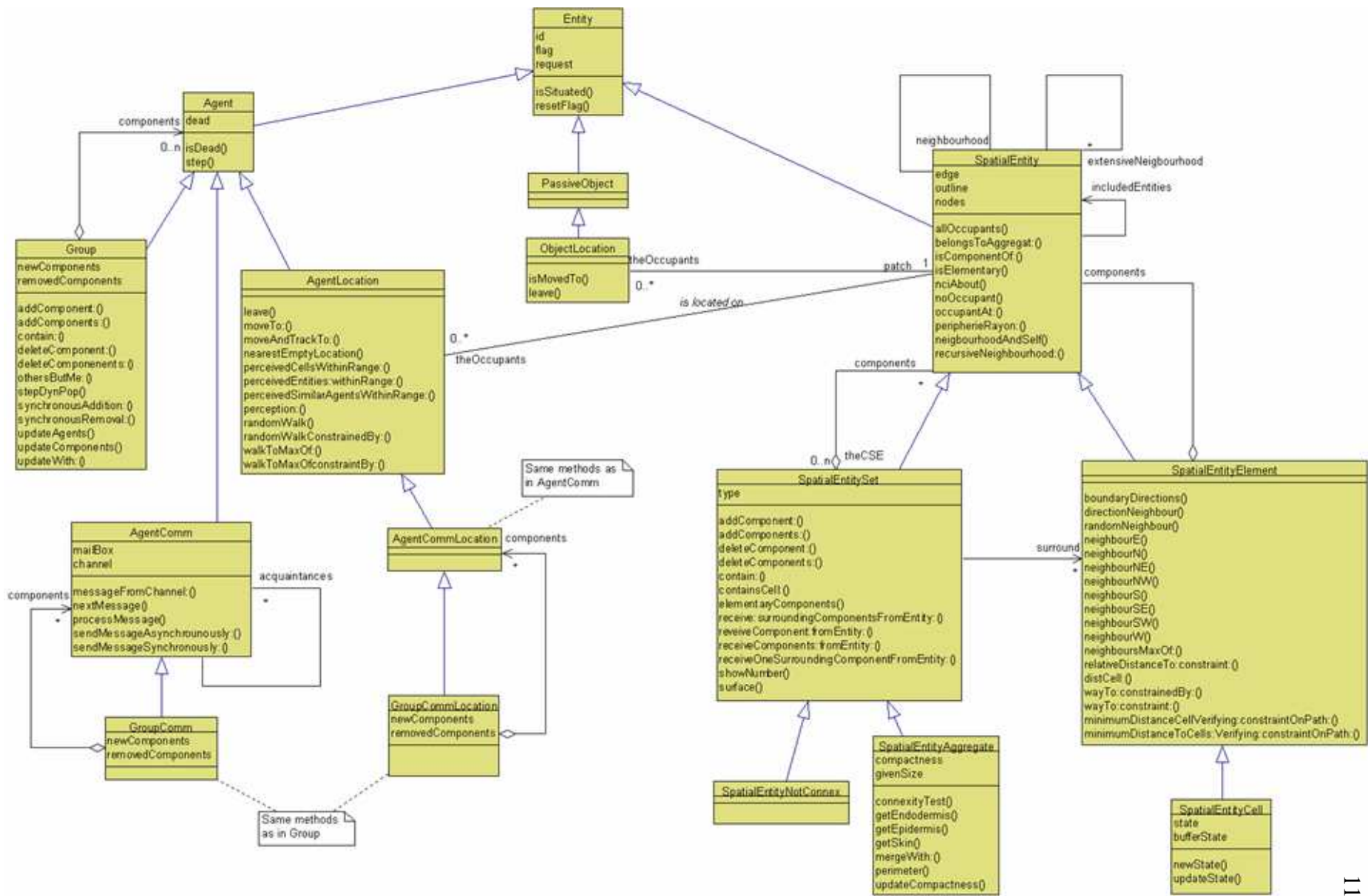


Figura 2.13 Relação entre classes “Empresa” e “Pessoa” (BOMMEL e GOMES, 2007)

Depois de definir as superclasses, as subclasses, as suas respectivas instâncias e as relações existentes entre elas (generalização, agregação ou relação simples), devemos partir para a definição dos atributos e dos métodos específicos a cada uma delas (classes e instâncias). Vale lembrar que, na linguagem UML, atributos são propriedades de um agente (as quais podem ser reespecificadas nas suas instâncias) e métodos são funções, cálculos que modificam esses atributos. Por exemplo, a idade é um atributo e envelhecer é um método associado.

Para definir atributos (de uma instância ou de uma classe), devemos, mais uma vez, rever todas as características dos agentes (capazes de descrever o seu comportamento) que foram listadas na fase de elaboração do modelo conceitual. Esse momento é adequado para verificarmos se há coerência entre os agentes do modelo conceitual e as instâncias e classes do modelo em UML, observando se ainda existem agentes no modelo conceitual que não foram inseridos no modelo UML.

Para definir métodos, devemos percorrer, mais uma vez também, a listagem de todas as ações de agentes (intrínsecas e relacionais) elaborada na fase de modelização conceitual. Existirão métodos que serão simples, e uma única função será capaz de defini-los. Entretanto, existirão métodos complexos cujo detalhamento em diversas funções será necessário. Os detalhes desses métodos não são inseridos no diagrama de classe, eles devem ser realizados em diagramas de atividades. A plataforma Cormas apresenta um diagrama de classes “padrão” com os tipos de agentes e de relações que já estão “predefinidas” na própria plataforma (Figura 2.14).



### 2.2.2 Os Diagramas de Atividades e de Seqüência

O diagrama de atividades é o detalhamento de um método que contém uma série de funções. Ele serve para evidenciar como as funções devem ser ordenadas em termos: (i) cronológicos e/ou (ii) de dependência. Devemos definir, Em cada atividade, quais funções ocorrem primeiro e quais funções ou atributos são pré-requisitos ou co-requisitos para outras funções.

Para construir esses diagramas, devemos observar toda a lógica referente às estratégias dos agentes que foram definidas na modelização conceitual. Devemos rever o modelo conceitual verificando as relações existentes entre: (i) os blocos de ações encadeadas e os seus eventos internos, (ii) as preferências e as seqüências dos blocos de ações e (iii) os fatores de escolha e as estratégias de ação. Um exemplo deste diagrama pode ser visto na Figura 2.15.

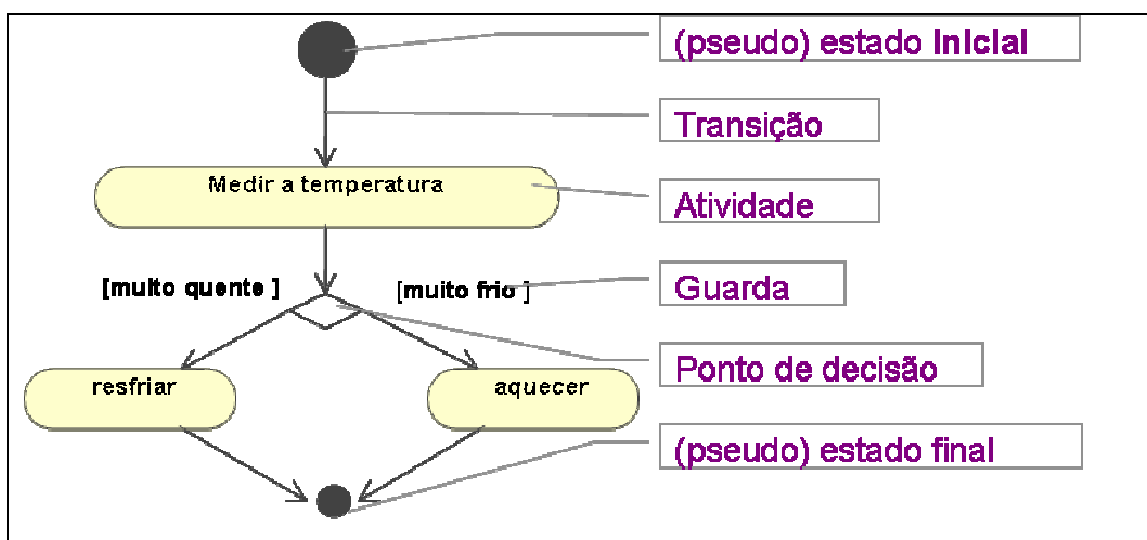


Figura 2.15 - Diagrama de Atividades (BOMMEL e GOMES, 2007)

Podemos utilizar algumas das representações gráficas construídas na modelização conceitual para servirem como “base” dos diagramas de atividades, como os diagramas de Gantt, os quais já evidenciaram a seqüência cronológica das ações no tempo, ou os diagramas de Gantt modificados que, além da cronologia, também evidenciaram algumas relações de dependência.

O diagrama de seqüência é a descrição da seqüência cronológica dos métodos definidos. Ele serve para “agendar” a realização dos métodos no decorrer do tempo

dentro de uma simulação. Os diagramas de seqüência também contêm o ordenamento da ordem cronológica de execução dos diagramas de atividades, conforme pode ser visto na Figura 2.16. Podemos ter diagramas de seqüência que interliga métodos com escalas de tempo diferentes no modelo. Por exemplo, um diagrama A que contém a seqüência dos métodos cuja repetição é mensal e um diagrama B com a seqüência dos métodos cuja repetição é anual.

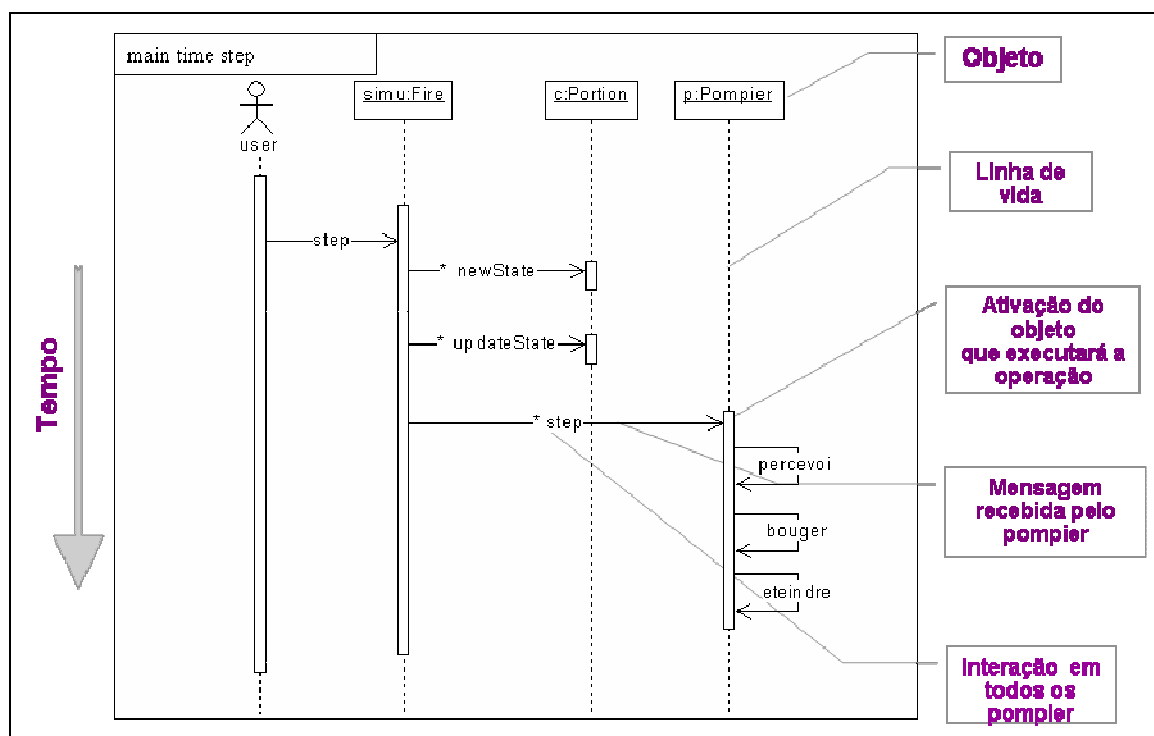


Figura 2.16 – Diagrama de Seqüência (adaptado de BOMMEL e GOMES, 2007)

Aqui também podemos utilizar algumas das representações gráficas construídas na modelização conceitual para servirem como “base” dos diagramas de seqüência. Os diagramas de Gantt podem ser, novamente, de grande utilidade por já conterem a seqüência das ações no tempo.

### 2.2.3 Verificação da Eficiência dos Diagramas UML

Há uma frase recorrente entre programadores quanto a uma boa “distribuição” de classes, atividades e seqüências nestes diagramas: “Um bom termo em um diagrama é a presença de cinco  $\pm$  dois componentes”. Esta proporção é interessante quando pensamos na participação dos atores envolvidos. Diagramas muito complexos serão de difícil compreensão e aqueles muito simples serão desnecessários e, talvez, até de pouca credibilidade.

Entretanto, alguns pontos ainda podem ser mais bem detalhados na conversão em UML, como: (i) a intercomunicação de agentes sociais e (ii) a definição dos agentes passivos. A possibilidade de comunicação entre agentes sociais deve ser evidenciada no UML. Alguns agentes sociais podem parecer estar “deslocados” dos demais que, geralmente, são agentes passivos. Vamos discutir aqui apenas alguns pontos relativos aos agentes passivos.

Devemos observar o modelo conceitual elaborado e verificar se existem agentes sociais que não têm nenhuma influência direta sobre os agentes espaciais, mas que influenciam outros agentes sociais que terão uma grande influência sobre um agente espacial, ou seja, os agentes sociais que influenciam somente de forma indireta os agentes espaciais. Alguns exemplos desse tipo de agente que pode ser considerado passivo em um modelo socioambiental são: mercado, associação, prefeitura, secretaria de estado etc.

Do modelo conceitual elaborado, também podemos verificar se entre os eventos (que geram as ações dos agentes) mais recorrentes, existem aqueles que são independentes, aqueles eventos que não são o resultado da ação (comportamento) de nenhum outro agente definido. Eles, talvez mereçam ser isolados, como agentes passivos, para facilitar o seu desenvolvimento e a sua observação no modelo. Alguns exemplos de eventos que podem ser considerados agentes passivos em um modelo socioambiental: clima, chuva, insolação etc.

Podemos considerar que o modelo está “convertido” para UML quando todo o modelo conceitual pode ser verificado ao observarmos o diagrama de classes junto com os diagramas de atividades e de seqüência. O modelo em UML pronto deve ser apresentado e discutido com os atores envolvidos na modelização. Para essa discussão, em casos excepcionais, alguns diagramas UML podem ser “adaptados” de forma a facilitar a compreensão dos atores locais. Essas adaptações só devem ser realizadas nos casos em que o diagrama tenha ficado muito complexo, dificultando o entendimento de sua “lógica” intrínseca. Cabe ressaltar que estas “adaptações” não podem representar alterações na lógica do modelo, mas apenas simplificações dessa lógica.

## 2.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO SMA

O modelo convertido em UML deverá, agora, ser convertido para a plataforma e a linguagem definidas. Esta operação pode ser denominada codificação do modelo. No caso do modelo de Benjamin Constant, a plataforma utilizada foi a Cormas e a linguagem associada é o Smalltalk.

As questões que envolvem a utilização da plataforma Cormas bem como a utilização da linguagem Smalltalk não serão apresentadas neste texto e devem ser objeto de estudo em textos específicos desses dois temas. Mas podemos afirmar que a conversão de UML para qualquer plataforma será mais fluida quanto mais “afinado” estiver o modelo UML.

### **2.3.1. Classes, Atributos e Métodos**

Os agentes sociais e espaciais serão as primeiras “classes” do modelo UML a serem inseridas na plataforma do modelo informático Cormas. Podemos começar a modelização por qualquer um; sugerimos começar com as classes dos agentes espaciais (em Cormas, “entidades” espaciais), seguidas pelas dos agentes sociais (em Cormas, “entidades” sociais). Em seguida, devemos inserir as demais classes, inclusive os agentes passivos (em Cormas “entidades” passivas).

Após inserirmos todas as classes do diagrama UML na plataforma Cormas devemos inserir os seus respectivos atributos e métodos associados. Da mesma forma, sugerimos iniciar pelos atributos, inserindo-os classe por classe. Os atributos (em Cormas “*instanceVariableNames*”), ao serem inseridos em Cormas, devem ter seus acessores também definidos (dimensão dos valores), os quais gerarão automaticamente os métodos do tipo *accessing* em Cormas.

Após inserirmos todos os atributos, iniciamos a inserção dos métodos simples que estão presentes no diagrama de classes, realizando esta atividade, também, classe por classe. Os métodos podem ser inseridos nos tipos INIT, POV, CONTROL, PRIVATE e OUTROS (Figura 2.17). Os métodos podem ter variáveis locais, as quais só são utilizadas em cálculos dentro deste método específico e devem ser definidas no início do próprio método.

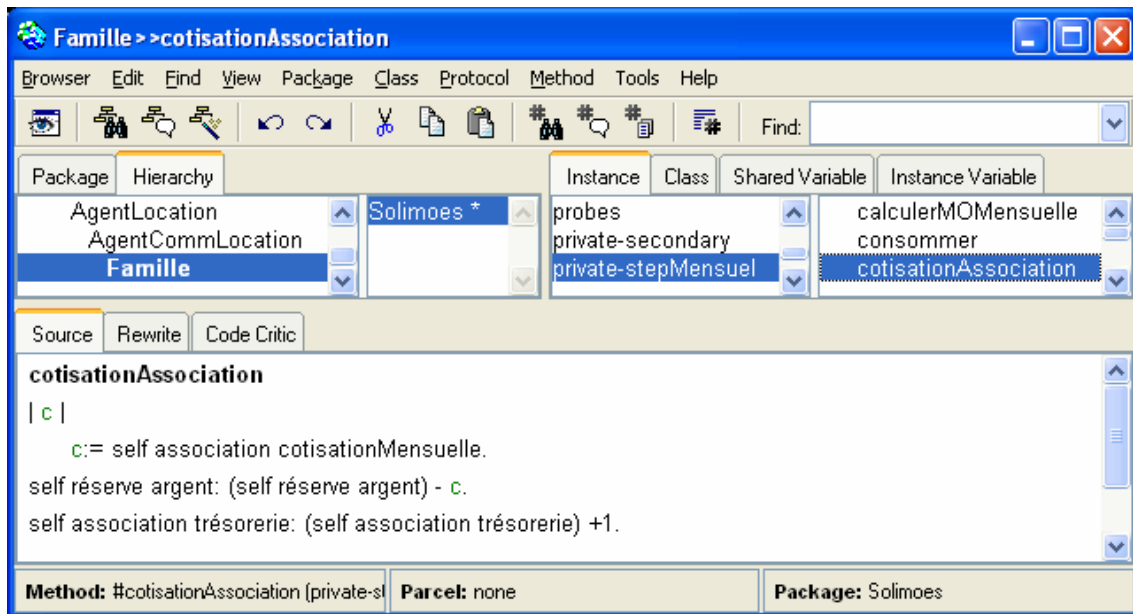


Figura 2.17 - “Inserção” de Métodos Simples

Após finalizarmos a inserção de todas as classes, atributos e métodos simples presentes no diagrama de classes, devemos iniciar a inserção dos métodos complexos, os quais geralmente estão detalhados em um dos diagramas de atividades. Devemos, então, realizar a inserção dos métodos dos diagramas de atividades, iniciando do diagrama de atividades mais simples ao mais complexo e inserindo função por função, teste por teste.

A primeira etapa de codificação estará finalizada após termos realizado a inserção de todas as informações contidas nos diagramas de classe e de atividades, ou seja: (i) todas as classes, (ii) todos os atributos e métodos associados de cada classe, (iii) todos os métodos simples entre classes, (iv) todos os métodos complexos entre classes. Deve-se, portanto, realizar uma revisão de todos os diagramas para verificar a sua efetiva e completa codificação na plataforma Cormas.

### 2.3.2 Ordenamento da Simulação (Schedulling)

A definição de como os cenários serão simulados é feita a partir dos respectivos diagramas de seqüência. Esta definição dos cenários é feita a partir de dois princípios: (i) o “agendamento” de métodos em um “passo de tempo” (*step*), com o ordenamento seqüencial dos métodos no tempo dentro de um mesmo período de simulação, e (ii) a repetição por “passos de tempo” (*steps*), que definirá como os métodos (as ações) se reproduzem a cada novo período de simulação.



Para simularmos o modelo no cenário inercial, é necessário somente definir um estado de inicialização de todos os atributos que precisam ser “inicializados” no modelo e o horizonte de passos de tempo que se deseja simular. A inicialização é feita ao se estabelecer o “estado inicial” do sistema, geralmente ligado a um banco de dados e/ou a uma entrada de interface para o usuário do modelo realizar a simulação. No modelo Solimões, não há interfaces para usuários e a inicialização ocorre a partir de estados predefinidos.

Para simular outros cenários, devemos definir um novo estado de inicialização. Para tanto, é necessário definir quais serão as variações específicas (de atributos e/ou métodos) necessárias à sua execução.

Para definirmos essas variações necessárias aos demais cenários, devemos rever o modelo conceitual para verificarmos quais variáveis têm um comportamento que pareça interessante observar. Geralmente, estas variáveis serão: (i) os eventos que apareceram no mecanismo interno de mais de uma ação, (ii) as preferências que apareceram em mais de um bloco de ações, (iii) os fatores mais recorrentes na escolha das estratégias. Como descrito no modelo conceitual, estes eventos, preferências e fatores terão, provavelmente, uma maior influência no comportamento do modelo.

### **2.3.3 Visualização do Modelo**

Devemos definir os atributos para cujo comportamento seja importante ter um acompanhamento durante as simulações. Esses comportamentos poderão ser visualizados (i) durante as simulações, como um ponto de vista a ser mostrado na simulação ou (ii) após as simulações, em termos de curvas, que serão calculadas pelo modelo. A Figura 2.18 apresenta a interface usual do Cormas para (i) a inicialização dos dados de entrada da simulação e (ii) a visualização de uma variável a partir de um gráfico disponível após a simulação.

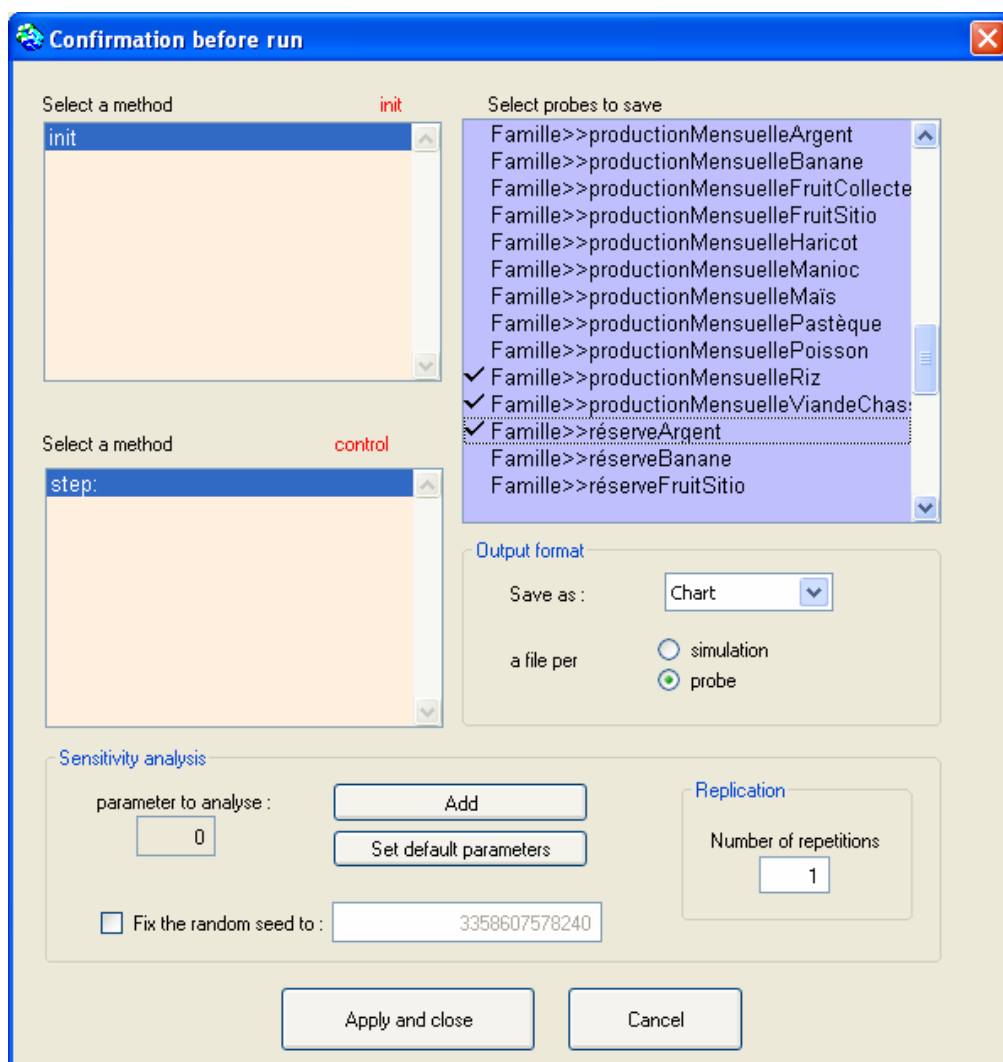


Figura 2.18 – Interface para inicialização e visualização de dados

Da mesma forma, devemos rever o modelo conceitual para definir quais são as variáveis, que não são atributos, cujo comportamento seja interessante observar; geralmente serão os mesmos eventos, preferências e fatores verificados na etapa de definição de cenários, pois são estes que terão uma maior influência no comportamento do modelo.

O modelo precisará de uma definição do espaço no qual serão feitas as simulações. A plataforma Cormas oferece a possibilidade de importar imagens oriundas de SIG, com todas as informações já espacializadas. Uma outra possibilidade é se “construir” uma grade espacial em um *software* de imagens (definindo dimensões mínimas e máximas, separações e agrupamentos, fronteiras internas e externas, propriedades de cada parcela etc.) e importá-la para o Cormas.

Vale a pena lembrar que o uso indiscriminado de SIG em abordagens participativas pode levar os atores locais a uma dificuldade em «diferenciar» o que ocorre no modelo e o que ocorre na realidade. É importante, portanto, definir quais são os papéis exercidos pelas experiências que antecedem a construção do modelo na localidade e quais saberes podem ser adquiridos acerca da transformação das paisagens. O modelizador deve então optar por utilizar uma imagem SIG, mais próxima da realidade, ou uma imagem construída, mais próxima de um diagrama, de um jogo. No modelo Solimões utilizamos como espaço de simulação uma imagem construída a partir dos mapas cognitivos desenhados pela comunidade de São João. O espaço foi elaborado, inicialmente, em *CorelDraw* e importado para Cormas como arquivo do tipo “.env”.

#### **2.3.4 O Ajuste (Debugagem) do Modelo**

Com o modelo traduzido em *Smalltalk* e codificado na plataforma Cormas, devemos procurar os erros (*bugs*) que foram se acumulando durante todo o processo de modelização (conceitual e informática). Esses erros serão responsáveis por inúmeras falhas na hora de “rodar” o modelo.

Esta etapa é muito importante e deve ser realizada com extremo cuidado para corrigir todos os “bugs” que ainda existem no modelo. Inicialmente, quando rodarmos o modelo pelas primeiras vezes, o número de erros será grande e, em alguns casos, impedirá a visualização das simulações na tela do computador. À medida que a debugagem for sendo feita, o número de erros começará a diminuir e o modelo começará a “rodar”.

Não existem metodologias padronizadas para se fazer o ajuste do modelo, e cada modelizador o faz de uma maneira específica, peculiar. O procedimento mais comum é, inicialmente, voltar aos diagramas de sequência para verificar inconsistências, para só depois verificar os códigos das operações (na linguagem objeto - *Smalltalk*) na plataforma.

A verificação dos *bugs* na plataforma também não segue um padrão e é feita, geralmente, de forma aleatória. Uma forma usual é qualificar como comentário todo um conjunto de operações de um método, o qual se acredita estar ‘em pane’, para verificar se a simulação roda; este procedimento é simples, basta colocar os comandos em *Smalltalk* entre aspas. Outra forma é compartimentar a simulação,

inserindo o comando “SELF HALT” em pontos que subdividam o modelo em partes nas quais se acredita haver um *bug*, e rodar o modelo de forma fragmentada (comando a comando) para verificar como cada parte do modelo se comporta após essa sua “compartimentação”. À medida que os erros vão sendo encontrados, devem ser corrigidos. Se um erro na simulação ocorre devido a um erro no modelo conceitual, o modelizador deve se lembrar também de fazer as correções nos diagramas respectivos (classe, atividades e/ou seqüência), para que os diagramas continuem a ser representações fidedignas do modelo simulado.

Depois de finalizada a fase de “debugagem” do modelo, é possível estabelecer simulações com cenários tendenciais ou inerciais. Essas simulações devem ser apresentadas aos atores locais que participaram da elaboração participativa do modelo, com o objetivo de obter a sua validação. Estas apresentações devem ser cuidadosamente planejadas para que sejam, realmente, fóruns de aprendizado coletivo. Devemos lembrar que o propósito de simulações no ComMod é possibilitar uma visão compartilhada da realidade modelizada. Portanto, o modelizador deve observar se as críticas que surgem nesta etapa são devido a incongruências (inconsistências) do modelo (conceitual ou informático) ou a divergências nos diferentes pontos de vista apresentados pelas simulações.

As dúvidas, incongruências e/ou desaprovações que emergem da apresentação do modelo devem ser discutidas, esclarecidas e, sempre que se mostrar necessário, corrigidas no modelo. O modelizador deve planejar estratégias de apresentação do modelo que o tornem acessível ao público que vai participar das simulações. Devem ser utilizados recursos (textos, figuras, diagramas etc.) que possibilitem a compreensão completa do modelo, de forma a evitar que os participantes tenham a sensação de que alguma parte do modelo é uma “caixa-preta”. O modelo deve, portanto, ser revisado, e pode, em alguns casos, ser necessária uma revisão completa desde o início do processo de modelização (modelo conceitual).

Nesta etapa de ajuste do modelo a partir de simulações tendenciais, o modelizador deve ter muito cuidado para não “desvirtuar” todo o processo participativo de elaboração do modelo. Ele deve manter em mente as premissas estabelecidas para a elaboração do modelo: por que? para que? e para quem? elaborar o modelo. Outro foco obrigatório do modelizador é tentar manter o equilíbrio entre a simplicidade e a complexidade do modelo, evitando perder transparência e consistência no modelo, respectivamente.

## 2.4 PROSPECTIVAS DE CENÁRIOS

Com o modelo de simulação “validado” pelos atores locais, deve se estabelecer quais serão os novos cenários a simular de forma que subsidiem a discussão dos atores envolvidos e o aprendizado coletivo de todos. Os cenários exploratórios deste estudo foram construídos com base na metodologia proposta por Wollenberg et al. (2000) de um processo participativo para a construção de cenários exploratórios em contextos de desenvolvimento local. Esta metodologia prevê onze passos para se obterem os cenários exploratórios, descritos no capítulo anterior.

A metodologia de Wollenberg et al. (2000) foi realizada em dois momentos, com duas oficinas que envolvem diferentes painéis de especialistas sobre questões da Amazônia. A oficina atingiu os seus objetivos de: (i) gerar diferentes cenários para serem explorados pelo modelo, (ii) mostrar quais eram as maiores dificuldades de compreensão do modelo, demonstrando serem necessárias adaptações nas formas de apresentá-lo ao público.

A segunda oficina foi realizada em Manaus com membros da equipe do NERUA. O trabalho foi muito mais eficiente que na primeira oficina, com a construção de cenários que ocorrem facilmente, possivelmente, por duas razões: (i) a apresentação do modelo já incorporava as modificações oriundas da primeira oficina; (ii) os participantes conheciam muito bem a área de trabalho (comunidade de São João - Benjamin Constant). Ambas as oficinas realizadas auxiliaram a equipe na definição dos cenários exploratórios a serem simulados pelo modelo.

Infelizmente, devido a restrições orçamentárias, já que o projeto BIODAM foi encerrado e não havia outros recursos para financiar um novo trabalho de campo, não foi possível retornar a Benjamin Constant para realizar as simulações com os atores locais envolvidos na elaboração do modelo. Portanto, os cenários definidos para simulações expressam aquilo que os cientistas desejavam obter com as simulações do modelo. Com os cenários exploratórios definidos, foram realizadas as simulações, as quais tiveram os seus comportamentos e resultados analisados.