



RANULFO PAIVA SOBRINHO

**Apoio à decisão em sistemas socioecológicos complexos:
uma proposta metodológica aplicada na avaliação ex-ante de
políticas públicas utilizando moeda complementar.**

**Campinas
2014**



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE ECONOMIA

RANULFO PAIVA SOBRINHO

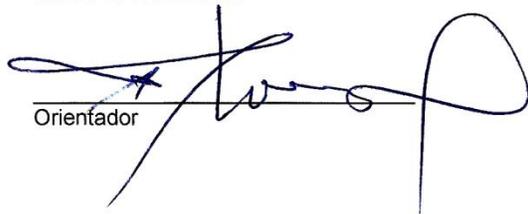
Apoio à decisão em sistemas socioecológicos complexos: uma proposta metodológica aplicada na avaliação ex-ante de políticas públicas utilizando moeda complementar.

Prof. Dr. Ademar Ribeiro Romeiro – Orientador

Prof. Dr. Carlos António Bana e Costa – Coorientador

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Econômico, área de concentração: Desenvolvimento Econômico, Espaço e Meio Ambiente, do Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento Econômico, na área de concentração: Desenvolvimento Econômico, Espaço e Meio Ambiente.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE DEFENDIDA PELO ALUNO RANULFO PAIVA SOBRINHO E ORIENTADA PELO PROF. DR. ADEMAR RIBEIRO ROMEIRO.

Orientador 

**CAMPINAS
2014**

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Economia
Maria Teodora Buoro Albertini - CRB 8/2142

P166a Paiva Sobrinho, Ranulfo, 1970-
Apoio à decisão em sistemas socioecológicos complexos : uma proposta metodológica aplicada na avaliação ex-ante de políticas públicas utilizando moeda complementar / Ranulfo Paiva Sobrinho. – Campinas, SP : [s.n.], 2014.

Orientador: Ademar Ribeiro Romeiro.
Coorientador: Carlos António Bana e Costa.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia.

1. Moeda. 2. Processo decisório por critério múltiplo. 3. Dinâmica de sistemas. 4. Difusão - Modelos matemáticos. 5. Sustentabilidade. I. Romeiro, Ademar Ribeiro, 1952-. II. Bana e Costa, Carlos António, 1955-. III. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Economia. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Decision support in complex socio-ecological systems : a methodological proposal applied in ex-ante evaluation of public policies using complementary currency

Palavras-chave em inglês:

Currency
Multicriteria decision making
System dynamics
Difusion - Mathematical models
Sustainability

Área de concentração: Desenvolvimento Econômico

Titulação: Doutor em Desenvolvimento Econômico

Banca examinadora:

Ademar Ribeiro Romeiro [Orientador]
João Alfredo de Carvalho Mangabeira
Pedro Augusto Pinheiro Fantinatti
André Munhoz de Argollo Ferrão
Ivette Raymunda Luna Huamani

Data de defesa: 11-02-2014

Programa de Pós-Graduação: Desenvolvimento Econômico



TESE DE DOUTORADO

RANULFO PAIVA SOBRINHO

**Apoio à decisão em sistemas socioecológicos complexos:
uma proposta metodológica aplicada na avaliação ex-ante de
políticas públicas utilizando moeda complementar.**

Defendida em 11/02/2014

COMISSÃO JULGADORA



Prof. Dr. ADEMAR RIBEIRO ROMEIRO
Instituto de Economia / UNICAMP



Prof. Dr. JOÃO ALFREDO DE CARVALHO MANGABEIRA
EMBRAPA



Prof. Dr. PEDRO AUGUSTO PINHEIRO FANTINATTI
IFSP



Prof. Dr. ANDRÉ MUNHOZ DE ARGOLLO FERRÃO
Faculdade de Engenharia Civil / UNICAMP



Profa. Dra. IVETTE RAYMUNDA LUNA HUAMANI
Instituto de Economia / UNICAMP

[DEDICATÓRIA]

Dedico às pessoas criativas e corajosas que querem construir soluções para os problemas socioecológicos deste século XXI

[AGRADECIMENTOS]

Em primeiro lugar a Deus por ter me apresentado pessoas que, sem as quais, seria impossível desenvolver a presente tese. Perdoem-me as que esquecerei de mencionar, pois estou escrevendo isso na correria.

Ao Prof. Dr. Ademar Ribeiro Romeiro pela amizade, por ter auxiliado durante todo o processo e, principalmente, por estar aberto a novas ideias, mostrando que seu espírito de estudante está mais vivo do que nunca.

Ao Prof. Dr. Carlos António Bana e Costa pela amizade, pelo auxílio com a metodologia MACBETH e aprendizado com a metodologia multicritério.

À minha companheira Karla Córdoba pelo companheirismo, atenção e paciência.

Ao Prof. Dr. Sérgio Gomes Tosto e Prof. Dr. João Alfredo de Carvalho Mangabeira, pesquisadores da EMBRAPA Monitoramento por Satélite. Agradeço pela disponibilização dos dados referentes à Machadinho d'Oeste, bem como, por terem participado ativamente durante a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Pedro Augusto Pinheiro Fantinatti, pelos comentários e discussão sobre a organização da tese. Aos demais professores que participaram da banca de defesa, pelas suas valiosas contribuições.

Aos funcionários do Instituto de Economia, principalmente, os da biblioteca, que sempre me atenderam bem e eficientemente.

Aos meus colegas Armandão, Evaldo, Felipe, Lucas, João pelas conversas intelectuais e, as nada intelectuais (kkk), que tivemos durante esse período. Assim, como os demais que em momentos permitiram momentos agradáveis durante esse período interessante que foi o doutoramento.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e CAPES, pelo auxílio financeiro através de bolsa de doutoramento, sem as quais seria difícil realizar essa pesquisa.

RESUMO

O trabalho tem dois objetivos teórico-metodológicos: 1) propor um protótipo de um sistema de moeda complementar (Sustento), mostrando que este pode ser um instrumento efetivo para solucionar problemas socioecológicos. 2) Integrar três metodologias, até então usadas separadamente, (a) processo MACBETH de apoio à decisão, (b) dinâmica de sistemas e (c) modelo baseado em agentes (ABM). Essa integração multimetodológica objetiva dar suporte aos tomadores de decisões, especificamente, realizar avaliação ex-ante de suas ações. O processo MACBETH, através da fase de estruturação, permitiu identificar os elementos que compõe o modelo de dinâmica de sistemas. Este último, associado com ABM permitiu que os decisores avaliassem, ex-ante, o impacto de ações propostas pela análise multicritério. Para mostrar a viabilidade da integração das metodologias, a adoção do Sustento pelos potenciais usuários foi avaliada antes de sua aplicação usando as referidas metodologias. O Sustento objetiva incentivar a revegetação de propriedades rurais e fortalecer economia local ao servir como meio de troca. A moeda complementar tem o potencial de aumentar as chances de implementação de soluções aos problemas sócio-ambientais ao reduzir a limitação das mesmas frente aos recursos financeiros tradicionais. Testou-se o impacto da opinião negativa de alguns proprietários quanto à implantação do Sustento sobre os demais agricultores familiares. Conclui-se que os objetivos propostos pela tese foram alcançados e que a integração das metodologias mostrou-se útil para apoiar os decisores e possui potencial de aplicação em casos reais.

Palavras-chaves: MACBETH, dinâmica de sistemas, modelos baseados em agentes, moeda complementar.

ABSTRACT

. The work has two theoretical and methodological objectives: 1) to propose a prototype of a system of complementary currency (Sustento), showing that this can be an effective tool to solve socio-ecological problems. Integrate three methods hitherto used separately, (a) MACBETH decision support process, (b) system dynamic and (c) agent based model (ABM). This multimethodology integration aims to support decision makers, specifically undertake ex-ante assessment of their actions. The MACBETH process by its structuring phase, identified the elements that compose the system dynamics model. The latter, associated with ABM allowed decision makers assess, ex-ante, the impact of proposed actions by multiple criteria analysis. To show the feasibility of integrating methodologies, the adoption of the Sustento by potential users was evaluated before its application using these methodologies. The objective of the Sustento was to encourage the revegetation of farms and strengthen the local economy by serving as a medium of exchange. The complementary currency has the potential to increase the chances of implementing solutions to social and environmental problems by reducing the restriction of the same front to traditional financial resources. We tested the impact of the negative view of some owners as to implementation of Sustento on other farmers. It is concluded that the objectives proposed by the thesis have been achieved and that the integration of methodologies was useful to support decision-makers and has potential application to real cases.

Keywords: MACBETH, system dynamics, agent based model, complementary currency

Lista de Tabelas

Tabela 1.1 – Matriz de julgamento com categorias semânticas	34
Tabela 1.2 - Matriz de juízos de valor para exemplificar a violação da condição 2. Adaptado Lourenço (2002)	36
Tabela 2.1 – Diferentes propostas para explicar o processo de criação de modelos que representem a dinâmica de sistemas	49
Tabela 2.2 – Métodos qualitativos e seu uso durante o processo de modelagem	53
Tabela 3.1 – Protocolo ODD	68
Tabela 4.1 – Diferenças entre dinâmica de sistemas e modelos baseados em agentes	78
Tabela 4.2 - Situações problemáticas para a dinâmica de sistemas quanto modelos baseados em agentes	79
Tabela 4.3 – Diferentes métodos para criar modelos de simulação híbridos	81
Tabela 4.4 – Parâmetros do modelo de Deffuant	83
Tabela 4.5 - Comparação dos experimentos com linhas fatoriais completa e fracionada usando o método de Taguchi	87
Tabela 4.6 – Delineamento L ₉ de Taguchi (3 ⁴)	87
Tabela 7.1 – Descritor de impacto relacionado ao critério ‘reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café’	129
Tabela 7.2 – Descritor de impacto relacionado ao critério ‘aumentar a quantidade biomassa no solo área de uso agrícola’	129
Tabela 7.3 – Descritor de impacto relacionado ao critério ‘ter baixa, ou não ter, renda extra agrícola’	129
Tabela 7.4 – Descritor de impacto relacionado ao critério ‘garantir o autoconsumo alimentar e aumentar a capacidade de troca na comunidade com mercadorias advindas do lote’	130
Tabela 7.5 – Descritor de impacto relacionado ao critério ‘participar de atividades sociais na comunidade’	130
Tabela 7.6 – Descritor de impacto relacionado ao critério ‘aumentar a diversidade renda monetária oriunda produção agropecuária familiar’	130
Tabela 7.7 – Descritor de impacto relacionado ao critério ‘aumentar o valor do patrimônio da propriedade rural’	131
Tabela 7.8 – Descritor de impacto relacionado ao critério ‘aumentar renda proveniente madeira legalmente explorada do lote’	131
Tabela 7.9 – Pontuações de cada nível de impacto oriunda da função de valor, associada ao critério ‘reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café’	132
Tabela 7.10 – Pontuações de cada nível de impacto oriunda da função de valor, associada ao critério ‘aumentar a quantidade biomassa no solo área de uso agrícola’	133
Tabela 7.11 – Pontuações de cada nível de impacto oriunda da função de valor, associada ao critério ‘ter baixa, ou não ter, renda extra agrícola’	134

Tabela 7.12 – Pontuações de cada nível de impacto oriunda da função de valor, associada ao critério ‘garantir o autoconsumo alimentar e aumentar a capacidade de troca na comunidade com mercadorias advindas do lote’	135
Tabela 7.13 – Pontuações de cada nível de impacto oriunda da função de valor, associada ao critério ‘participar de atividades sociais na comunidade’	136
Tabela 7.14 – Pontuações de cada nível de impacto oriunda da função de valor, associada ao critério ‘aumentar a diversidade renda monetária oriunda produção agropecuária familiar’	136
Tabela 7.15 – Pontuações de cada nível de impacto oriunda da função de valor, associada ao critério ‘aumentar o valor do patrimônio da propriedade rural’	137
Tabela 7.17 – Síntese da avaliação global dos agricultores obtidas pelo índice multicritério.....	140
Tabela 7.19 – Dados para calcular a necessidade de Sustento para cada agente.....	155
Tabela 7.21 – Delineamento L ₉ de Taguchi utilizado para a simulação.....	160
Tabela 7.22 – Número de agentes que adotaram o Sustento em cada simulação.....	161
Tabela 7.23 – Tabela resposta das simulações	163

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Árvore de objetivos fundamentais. Fonte: Keeney (1992)	19
Figura 1.3 – Alternativas fictícias criadas para auxiliar na determinação de pesos.	33
Figura 1.4. – Representação das diferenças de atratividade FORTE e MODERADA, em escala de intervalo.....	35
Figura 1.5 – Ilustração da geração de escala de valores a partir de julgamento qualitativo de valor referente às diferenças de atratividade entre alternativas.	36
Figura 1.6 – Exemplo de determinação de pesos usando o software M-MACBETH.....	37
Figura 1.7 (a-c) – Determinação das pontuações de alternativas em um critério.....	39
Figura 2.1 – Processo de criação de um modelo que represente a dinâmica de um sistema. Adaptado de FORRESTER (1992, p. 59).....	48
Figura 2.2 – Bases de dados usadas para construção de modelos de dinâmica de sistemas	51
Figura 2.4 - Feedback loop.....	55
Figura 2.5 – Componentes que representam uma política	58
Figura 4.1 – Três mundos de Habermas.....	72
Figura 4.2 – Níveis de abstração simulados por dinâmica de sistemas e modelos baseados em agentes	80
Figura 5.1 – Fragmento de mapa cognitivo referente ao estudo de caso de Machadinho d’Oeste	90
Figura 5.2 – Integração entre o processo MACBETH e a dinâmica de sistemas.....	93
Figura 5.3 – Uso do mapa cognitivo na construção do modelo multicritério	94
Figura 5.4 – Uso do mapa cognitivo na construção do modelo dinâmica de sistemas	95
Figura 7.1 - Localização da área de estudo	120
Figura 7.2 – Dois tipos de projetos de assentamentos em Rondônia	121
Figura 7.3 – Projeto de Assentamento Machadinho d’Oeste, RO.....	122
Figura 7.4 – Fragmento 1 de mapa cognitivo construído a partir de alguns objetivos expressos pelos pesquisadores da EMBRAPA. (Mapa cognitivo gerado pelo software VENSIM).....	125
Figura 7.5 – Fragmento 2 de mapa cognitivo construído a partir de alguns objetivos expressos pelos pesquisadores da EMBRAPA. (Mapa cognitivo gerado pelo software VENSIM).	126
Figura 7.6 – Árvore de critérios que compõe o índice multicritério para Machadinho d’Oeste	128
Figura 7.7 – Função de valor associada ao critério ‘reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café’	132
Figura 7.8 – Função de valor associada ao critério ‘aumentar a quantidade biomassa no solo área de uso agrícola’.....	133
Figura 7.9 – Função de valor associada ao critério ‘ter baixa, ou não ter, renda extra agrícola’	134

Figura 7.10 – Função de valor, associada ao critério ‘garantir o autoconsumo alimentar e aumentar a capacidade de troca na comunidade com mercadorias advindas do lote’	135
Figura 7.11 – Função de valor associada ao critério ‘participar de atividades sociais na comunidade’ ...	136
Figura 7.12 – Função de valor associada ao critério ‘aumentar a diversidade renda monetária oriunda produção agropecuária familiar’	137
Figura 7.13 – Função de valor associada ao critério ‘aumentar o valor do patrimônio da propriedade rural’	137
Figura 7.14 – Função de valor associada ao critério ‘aumentar renda proveniente madeira legalmente explorada do lote’	138
Figura 7.15 – Estoques representando, respectivamente, a quantidade de agricultores com desempenho abaixo do mínimo aceitável no critério ‘Reduzir efeito da bianualidade...’ (Q_Agr_BiAnual_140neg) e a quantidade de agricultores com desempenho mínimo aceitável no referido critério (Q_Agr_BiAnual_0).	148
Figura 7.16 – Representação dos estados que um agente (agricultor) pode se encontrar durante a simulação.....	150
Figura 7.17 – Estoques representando, respectivamente, a quantidade de agricultores com desempenho no critério ‘aumentar a quantidade de biomassa no solo ...’, abaixo do mínimo aceitável (Q_Agr_Biom_50neg); acima do nível neutro (Q_Agr_Biom_50pos) e no nível bom (Q_Agr_Biom_100pos).....	151
Figura 7.18 – Código em Java no campo ‘Startup code’ em Main.	152
Figura 7.19 – ‘Stateflow’ relacionado ao cálculo da necessidade de Sustentos de cada agente.....	156
Figura 7.20 – Representação da criação, circulação e eliminação do Sustento.....	157
Figura 7.21 – Representação das atividades de revegetação de espécies nativas e comerciais, corte, lucro e pagar destas últimas.....	158
Figura 7.22 – Distribuição temporal de adeptos ao Sustento.	165

Lista de Quadros

Quadro 7.1 – Pesos associados aos critérios que compõem o índice multicritério	139
Quadro 7.2 – Código em Java no campo ‘Startup code’	152
Quadro 7.3 – Código do modelo modificado de Deffuant et al (2002), implementado na função Interactuar	154

Lista de Equações

Eq. 1	11
Eq. 4.1	84
Eq. 4.2	84
Eq. 4.3	84
Eq. 4.4	84
Eq. 4.5	88
Eq. 4.6	88
Eq. 4.7	88
Eq. 4.8	88
Eq. 7.5A	155
Eq. 7.5B.....	155

Sumário

Introdução	1
Capítulo 1 - Metodologia de Apoio Multicritério à Decisão.....	7
1.1. Análise de Decisão	7
1.1.1. Modelo ajustado	13
1.1.2. Raciocínio focado em valores	14
Propriedades dos objetivos fundamentais	20
Descritores de impacto	21
1.1.3. Estruturação de problemas mal definidos	24
1.1.4. Conferência de decisão.....	27
1.2. Processo sociotécnico MACBETH	28
1.2.1. MACBETH	30
Procedimento MACBETH para determinação dos pesos	32
1.3. Expandindo o conceito de valor	39
1.3.1. Análise do conceito de valor sob diferentes perspectivas	42
Capítulo 2 - Dinâmica de sistemas	45
2.1. Princípios sistêmicos	53
Princípio 1 – Modelos abstratos	54
Princípio 2 – A validade do modelo	54
Princípio 3 – Soluções por simulação.	54
Princípio 4 – Closed boundary	54
Princípio 5 – “Feedback loop”: o elemento estrutural dos sistemas.	55
Princípio 6 – As decisões são realizadas dentro dos ‘feedback loops’	56
Princípio 7 – Estoques e fluxos são as subestruturas do ‘feedback loop’.	57
Princípio 8 – Estoques são integrações.	58
Princípio 9 – Os estoques são alterados somente por variáveis fluxos.	59
Princípio 10 – Os estoques e os fluxos não são diferenciáveis pelas unidade de medida.	59
Princípio 11 – As variáveis fluxos não são mensuradas instantaneamente.	59
Princípio 12 – Os valores das variáveis fluxos dependem somente dos estoques e das constantes.	59
Princípio 13 – As variáveis estoques e de fluxos devem alternar.	60
Princípio 14 – Os estoques descrevem completamente a condição do sistema.	60
Princípio 15 – Meta, observação, discrepância, e ação – subestruturas do fluxo.....	60

Capítulo 3. Modelos baseados em agentes	63
3.1. Desenvolvendo modelos baseados em agentes.....	65
3.2 Protocolo ODD de delineamento e comunicação de modelos baseados em agentes	67
3.2.1. Descrição dos ‘ <i>design concepts</i> ’	69
Capítulo 4. Multimetodologia.....	71
4.1. Iniciativas visando integrar MCDA e dinâmica de sistemas	74
4.2. Integração entre dinâmica de sistemas e modelos baseados em agentes	78
4.3. Modelos de dinâmica de opinião	82
4.3.1. Interação de opinião.....	84
4.4. Método de Taguchi de delineamento de experimentos	84
Capítulo 5 - Mapa cognitivo: identificando elementos para integração de metodologias	89
Capítulo 6 - Moedas complementares	97
6.1. O que é dinheiro (moeda)?	97
6.2. O WIR	100
6.3. Outras experiências com ‘ <i>people money</i> ’	102
6.4. Moedas complementares com finalidades ecológicas	102
6.4.1. Pontos Prêmios Verdes: NU Spaarpas (Holanda)	103
6.4.2. E-portemonnee (Bélgica).....	103
6.4.3. Banco Comunitário Verde Vida (Brasil)	104
6.4.4. Restauração do Lago Biwa (Japão)	104
6.5. Delineamento de sistemas de moedas complementares	106
6.5.1. Meio de suporte	107
6.5.2. Função da moeda.....	107
6.5.3. Procedimentos de emissão.....	108
a) Moedas lastreadas.....	109
b) Empréstimos com garantia legal	109
c) Vouchers para compra e troca	109
d) Voucher comercial	109
e) Moedas de fidelização	110
f) Crédito mútuo compensatório.....	110
g) Empréstimos sem garantia legal.....	110
h) Central de distribuição	110
i) Processos mistos	110

6.5.4. Mecanismos de recuperação de custos.....	111
a) Não utilizar mecanismo de recuperação de custos.....	111
b) Taxa fixa	111
c) Taxa de transação.....	111
6.6. Sustento (\$T).....	112
6.6.1. Principais características do Sustento (\$T)	112
6.6.2. Descrição das principais características do Sustento.....	113
6.6.3. Relação entre os proprietários de terras e a administração do ‘Sustento’	115
6.6.4. Estabelecimento da entidade responsável pela administração do Sustento.....	116
Capítulo 7 – Resultados	119
Localização da área de estudo.....	119
Arquitetura de ocupação do espaço rural em Machadinho d’Oeste.....	120
7.1. Resultados da aplicação do processo MACBETH.....	122
7.1.1. Contextualização e estruturação.....	122
Descritores de impactos relacionados aos critérios referentes ao aspecto ambiental.....	129
Descritores de impactos relacionados aos critérios referentes ao aspecto social	129
Descritores de impactos relacionados aos critérios do aspecto econômico.....	130
7.1.2. Fase de avaliação.....	131
Funções de valores associados aos critérios referentes ao aspecto ambiental.....	132
Funções de valores associados aos critérios referentes ao aspecto social	134
Funções de valores associados aos critérios referentes ao aspecto econômico.....	136
Pesos associados aos critérios	138
Classificação das propriedades segundo o índice multicritério.....	139
7.2. Resultados da integração multimetodológica.....	142
7.2.1. Protocolo ODD para descrever o modelo adaptado de Deffuant	142
7.2.2. Simulação de componentes do Sustento	145
7.2.3. Integrando as três metodologias.....	146
7.2.4. Resultados das simulações	159
8. Conclusões	167
9. Referências bibliográficas	169
Apêndice 1 - Propriedades com pontuação global (P.G.), ou, valor global (VG) maior que 0 (zero) ...	179
Apêndice 1 (continuação).....	180
(continua)	180

Apêndice 1 (continuação).....	181
(continua).....	182
Apêndice 1 (continuação).....	182
Apêndice 2 (continuação).....	186
Apêndice 3 - Propriedades com pontuação global, ou, valor global (VG) inferior a -50.....	187
Apêndice 3 (continuação).....	188
Apêndice 3 (continuação).....	189
Apêndice 4 – Valor global (VG) das propriedades após recomendações nos critérios ambientais.....	191
Apêndice 4 (continuação).....	192
Apêndice 4 (continuação).....	193
Apêndice 5 - Valor global (V.G.) das propriedades com a adoção da ação A do Sustento.....	195
Apêndice 5 (continuação).....	196
Apêndice 5 (continuação).....	197
Apêndice 6 - Valor global (V.G.) das propriedades com a adoção da ação B do Sustento.....	199
Apêndice 6 (continuação).....	200
Apêndice 6 (continuação).....	201

Introdução

Complexidade origina-se da palavra latina ‘plexus’, que significa entrelaçado. Um sistema é considerado complexo quando seus elementos interagem e afetam uns e outros, de modo que é difícil separar os comportamentos dos elementos individualmente. As células, a internet, os ecossistemas são exemplos de sistemas complexos (GERSHENSON, 2008). Da mesma forma, a época geológica que a humanidade está vivendo, o Antropoceno (CRUTZEN, 2002), também é um sistema complexo que resulta do entrelaçamento das inter-relações entre ecossistemas e as atividades humanas. Tais inter-relações formam um conjunto de diversos sistemas socioecológicos, os quais estão se modificando em resposta a mudanças do ambiente externo, bem como em resposta às mudanças internas ao sistema, fazendo que tais relações variem ao longo do espaço e tempo tornando mais difícil a tarefa de decidir diante desses contextos (GUNDERSON; HOLLING, 2002).

Nesse sentido, é urgente que os agentes decisores tomem decisões de forma mais acertadas, principalmente, no que se refere aos contextos decisórios em que ações possam ter consequências ambientais e sociais, pois se errarmos em nossas decisões o efeito de nossas ações sobre os sistemas socioecológicos pode gerar reações que acentuem ainda mais os problemas que se quer solucionar, podendo inclusive ter consequências desastrosas como as que já ocorreram no passado em outras civilizações (TAINTER, 1988).

Vários resultados de pesquisas mostram que o ser humano possui limitações para decidir corretamente quando diante de situações complexas. Forrester (1968) cita que os seres humanos possuem dificuldades para lidar com situações complexas sem o apoio de metodologias apropriadas, pois seu raciocínio não consegue captar as relações entre diferentes variáveis que operam em escalas temporais distintas uma das outras. Por outro lado, pesquisadores de disciplinas relacionadas ao estudo de como os seres humanos decidem, *behavioral science*, mostram que quando os decisores estão diante de situações de decisão complexas eles tendem a basear suas preferências em experiências prévias, as quais podem ser mais simples a que eles estão lidando e conseqüentemente podem leva-los a adotar decisões equivocadas (BAZERMAN, 2002; LICHSTENSTEIN; SLOVIC, 2006).

Infelizmente, apesar da existência de evidências teóricas e práticas quanto às dificuldades acima mencionadas, ainda é preciso capacitar os decisores para lidar com sistemas

complexos, principalmente, os sistemas socioecológicos que devido a ações equivocadas vem levando ao aumento da alteração, de forma algumas vezes irreversíveis, de vários ecossistemas ocasionando perda de diversidade em vários níveis (espécies, habitats, paisagens) e, principalmente, diversidade cultural.

Para exemplificar, citamos a crítica realizada por Muradian *et al.* (2013) sobre as iniciativas desenvolvidas para reverter os problemas relacionados à perda de serviços ecossistêmicos e biodiversidade. Os autores afirmam que desde a década de 1990 os pesquisadores de várias partes do mundo estiveram focados no estudo e implementação de alguns instrumentos de políticas, como os ICDPs (Integrated Conservation and Development Projects), e, mais recentemente, o PES (Payment for Ecosystem Services), os quais foram propostos e implementados com o ideal de construir soluções ‘ganha-ganha’ para os problemas relacionados à perda de biodiversidade e serviços ecossistêmicos.

Os autores afirmam que os pesquisadores assumiram que instrumentos de políticas simples como o ICDPs ou pagamentos por serviços ecossistêmicos poderiam solucionar problemas complexos, o que infelizmente, não vem ocorrendo apesar de algumas iniciativas com êxito. Além disso, os autores recomendam que se devem buscar novas soluções diferentes das propostas até o momento, porém, sem apresentar direções, ao contrário, reafirmam também que se deve continuar usando os mecanismos de mercado para tentar solucionar os problemas.

Nesse contexto, esta tese apresenta uma possível solução diferente de todos os instrumentos de políticas propostas até o momento, isto é, apresenta o protótipo de uma moeda complementar que será descrito no capítulo 6 e mais detalhadamente na seção 6.6.

Existem algumas metodologias que foram desenvolvidas a partir da década de 1960, como a dinâmica de sistemas (FORRESTER, 1968), processo sociotécnico MACBETH (BANA e COSTA *et al.*, 2013) e modelos baseados em agentes (LATTILA *et al.*, 2010) que buscam auxiliar os decisores a decidirem mais acertadamente diante de problemas complexos. Tais metodologias têm sido tratadas de formas independentes uma das outras, salvo raras exceções apresentadas no capítulo 4.

Cada uma das referidas metodologias possuem características apropriadas para diferentes problemas, e vem sendo praticadas em situações reais com sucesso. O processo sociotécnico MACBETH permite aos decisores estruturarem seus problemas, isto é, entendê-los

melhor e avaliá-los sob múltiplas perspectivas via diferentes critérios, assim como, avaliar o ‘trade-off’ entre eles. Além disso, permite avaliar quais são as melhores opções considerando os múltiplos critérios, e, também, permite fazer recomendações de melhoras. Detalhes sobre o processo MACBETH, ver capítulo 1, seção 1.2.

Apesar dessas características, uma vez identificadas as ações, o processo MACBETH não possui elementos para avaliar o impacto de tais ações ao longo do tempo. Para superar essa limitação realiza-se a integração da referida metodologia com dinâmica de sistemas e modelos baseados em agentes, as quais permitem estimar o impacto das ações ao longo do tempo. Com isso, fornece elementos para avaliar o impacto das mesmas na solução do problema que está sob análise. Essa integração é uma das contribuições desta tese.

A dinâmica de sistemas possui os elementos que permitem avaliar as consequências das ações ao longo do tempo, porém, uma das dificuldades é a seleção dos componentes do modelo (capítulo 2). O processo MACBETH, através da fase de estruturação, auxilia na identificação desses componentes (capítulo 5). Por sua vez, o modelo baseado em agentes permite simular o comportamento de agentes em nível de abstração superior ao da dinâmica de sistemas (capítulo 3 para mais detalhes).

Diante das suposições apresentadas, a hipótese desta tese de doutoramento é que a integração das três referidas metodologias auxilia os decisores no processo decisório diante de tais contextos, ao permitir avaliar o impacto, ex-ante, das ações destinadas a solucionar o problema analisado.

A tese tem como objetivo desenvolver a fundamentação teórica para realizar a integração das três metodologias: processo sociotécnico MACBETH, dinâmica de sistemas e modelos baseados em agentes. Possui como objetivos específicos: 1 - testar a integração das referidas metodologias durante a análise ex-ante da implantação de moeda complementar para fins socioecológicos em município amazônico; 2 - delinear a estrutura de uma moeda complementar para incentivar a revegetação em propriedades particulares.

Visando testar a operacionalidade da presente proposta de integração das metodologias o doutorando, através dos contatos do orientador, Prof. Dr. Ademar Ribeiro Romeiro, obteve a colaboração de dois pesquisadores doutores da EMBRAPA (Empresa Brasileira Agropecuária) Monitoramento por Satélite, localizada no município de Campinas, para

desenvolver um trabalho cujo objetivo inicial era avaliar a sustentabilidade de sistemas de produção agrícola em Machadinho d' Oeste, Rondônia, segundo as dimensões sociais, econômicas e ambientais utilizando o processo MACBETH para construir um índice multicritério.

Essa demanda se originou dos referidos pesquisadores da EMBRAPA, os quais trabalharam na referida área e possuem um conjunto de dados de aproximadamente vinte anos de monitoramento da experiência e que necessitavam desenvolver um sistema de avaliação da sustentabilidade de aproximadamente 213 propriedades rurais que permaneceram no assentamento rural desde a década de 1980 até 2008. Trata-se de propriedades cujo nível de capitalização não é elevado, e que predomina a agricultura familiar.

Após a aplicação do processo MACBETH foi possível identificar quais agricultores precisavam melhorar sua performance quanto ao índice multicritério e o próximo passo foi identificar possíveis soluções que pudessem melhorar o desempenho dos agricultores nos critérios. Para isso foi desenvolvido o protótipo de uma moeda complementar, o Sustento (seção 6.8), que foi objeto de conexão entre as referidas metodologias, principalmente, ao se avaliar ex-ante, o impacto de agricultores com opiniões negativas quanto à adesão da referida moeda sob os demais agricultores (seção 7.2).

A tese está organizada da seguinte forma. No capítulo 1 e suas respectivas seções, descrevem-se os fundamentos da metodologia de apoio multicritério à decisão (MCDA), bem como, os fundamentos do processo sociotécnico MACBETH (que será denominado de processo MACBETH de aqui em diante).

Na seção 1.2.4, apresenta-se a abordagem de raciocínio focado em valores que serve para a estruturação de problemas no âmbito da análise multicritério. Essa abordagem é considerada, após a revisão da literatura, como sendo essencial, neste trabalho, para auxiliar a integração do processo MACBETH com a dinâmica de sistemas. Em outras palavras, a formulação de modelos de dinâmica de sistemas depende em grande parte da obtenção de conhecimentos oriundos da base de dados cognitiva. Assim, a integração entre o processo MACBETH e dinâmica de sistemas ocorre através da fase de estruturação do referido processo.

No capítulo 2, apresentam-se os fundamentos da dinâmica de sistemas, bem como, seus princípios sistêmicos. No capítulo 3, apresentam-se sinteticamente as principais

características de modelos baseados em agentes. No capítulo 4 e respectivas seções, apresenta-se a multimetodologia, bem como, a revisão de uma literatura ainda incipiente quanto à integração, tanto de metodologias multicritério com dinâmica de sistemas (seção 4.1), bem como, desta última com modelos baseados em agentes (seção 4.2).

Há maior esforço em apresentar os fundamentos do processo MACBETH e da dinâmica de sistemas, pelo fato de inexistir tentativas prévias em integrá-las. Com relação à integração com a dinâmica de sistemas e modelos baseados em agentes já há relativos avanços nesse sentido (ver seção 4.2).

Conforme será mostrado no capítulo 4, seção 4.1, as abordagens que os autores utilizaram para obter as variáveis para incorporar no modelo de dinâmica de sistemas, nenhuma delas utilizou a de raciocínio focado em valores. Também será mostrado que a tendência é de os autores criarem inicialmente o modelo de dinâmica de sistemas para posteriormente utilizar algum método multicritério para auxiliar a decidir qual das simulações é mais adequada segundo diferentes critérios.

Neste trabalho, parte-se de uma perspectiva diferente, pois se acredita que o processo de decisão envolve inicialmente a identificação dos valores que os atores envolvidos no referido processo possuem, conforme mostrado na seção 1.2.4, explicitação de tais valores por meio de objetivos fundamentais e respectivos descritores de impacto (seção 1.2.4.2), para posteriormente quantificar seu valor (seção 1.2.5).

Com relação a ‘valor’, na seção 1.2.5 apresenta-se o conceito operacional utilizado dentro do processo MACBETH, bem como sua quantificação a partir de dados qualitativos, e nas seções 1.3 e 1.3.1, se apresentam conceitos adicionais que, se acredita, neste trabalho, serem importantes para justificar teoricamente a conexão entre o processo MACBETH com a dinâmica de sistemas.

Na seção 4.3 é apresentada uma breve descrição dos modelos de opiniões, pois, um desses modelos será utilizado para demonstrar a integração entre as metodologias, seção 7.2. Na seção 4.4, descreve-se a metodologia de delineamento de experimentos, especificamente, o método de Taguchi (1987). Essa metodologia foi utilizada para determinar o menor número de combinações entre variáveis e fatores para realizar a simulação que mostra a integração das metodologias que são alvo desta tese.

No capítulo 5 descreve-se o mapa cognitivo e as formas de integração entre a abordagem multicritério e dinâmica de sistemas, proposta pela tese. No capítulo 6, descrevem-se os fundamentos sobre moeda complementar e seu delineamento, os quais servem de subsídio para o desenvolvimento do protótipo da moeda complementar Sustento, descrita na seção 6.6. Na seção 6.5 são apresentados os principais fatores para o delineamento de moedas complementares.

No capítulo 7 apresentam-se vários resultados oriundos da pesquisa. Na seção 7.1 apresentam-se os resultados referentes à aplicação do processo MACBETH. Na seção 7.2, os resultados referentes à integração multimetodológica. Finalmente, no capítulo 8, apresentam-se as conclusões desta tese.

Capítulo 1 - Metodologia de Apoio Multicritério à Decisão

MCDA, originalmente do inglês, é a abreviação de *Multiple Criteria Decision Aid*, sendo seu correspondente em português, apoio multicritério à decisão. Adotamos a seguinte tradução, Metodologia de Apoio Multicritério à Decisão, para tornar explícito uma das principais características que diferem a MCDA de outras abordagens existentes na área de pesquisa operacional. Tal característica é a seguinte: os resultados que emergem da MCDA servem para apoiar os decisores a encontrar melhores soluções para seus problemas e não tem o caráter prescritivo no sentido de indicar ser aquela a decisão que o decisor deve tomar. Na MCDA o decisor é auxiliado durante a fase de entendimento do seu problema, via um processo interativo e de aprendizagem sobre o mesmo, e participa da construção do modelo multicritério com o apoio de um facilitador, de modo que o resultado da avaliação de seu problema sobre a luz do modelo criado pode ou não ser a solução que ele irá adotar. Basicamente o processo de apoio multicritério à decisão é composto pelas fases: enquadramento do contexto de decisão; estruturação do problema; avaliação; recomendações (BELTON; STEWART, 1992; BANA e COSTA *et al.* 2009).

Segundo Belton e Stewart (2002) entende-se por método de apoio multicritério à decisão um conjunto de abordagens formais, as quais consideram explicitamente os múltiplos critérios durante o apoio, a indivíduos ou grupos de pessoas, na análise e avaliação das decisões relevantes.

A seguir, será apresentada uma visão sucinta da análise de decisão visando encontrar em seus fundamentos elementos que possam justificar teoricamente o elo com a dinâmica de sistemas.

1.1. Análise de Decisão

A MCDA está inserida no contexto da análise de decisão, que por sua vez, deriva da teoria da decisão (RAMSEY, 1931; Von NEUMANN; MORGENSTERN, 1947; SAVAGE, 1951; FRENCH, 1986). Miles Jr (2007) apresenta uma síntese da evolução histórica que resultou no surgimento da análise de decisão e distingue-a da teoria da decisão pelo fato de buscar aplicar o conhecimento oriundo desta última na solução de problemas reais. O termo análise de decisão

(decision analysis) foi usado pela primeira vez por Ronald A. Howard em 1966, em texto posteriormente revisado e consta em Howard (2007).

Nesse texto Howard enfatiza um ponto importante na análise de decisão que se trata da distinção entre boa decisão e bom resultado. Da distinção entre boa decisão e bom resultado pode-se supor que Howard vislumbrava que os bons resultados dependem de diversos fatores que atuam durante a fase de implementação de uma decisão, isto é, a ação, mesmo que esta última tenha sido derivada de uma boa decisão no sentido acima exposto.

Trata-se de uma combinação de fatores como atrasos nas implementações das ações independentes ou interdependentes, fato comum que emerge na própria dinâmica dos sistemas que se está intervindo, conforme veremos na seção 3, que trata da metodologia dinâmica de sistemas. Essa suposição, possivelmente, resulta do fato de o referido autor ter conhecimento da análise sistêmica, quando este expõe os pilares que fundamentam a análise de decisão.

Howard cita os quatro pilares que alicerçam a análise de decisão: (1) análise de sistemas; (2) teoria da decisão; (3) probabilidade epistêmica; (4) psicologia cognitiva.

Keeney e Raiffa (1976) apresentaram os fundamentos para analisar problemas envolvendo múltiplos objetivos, e avaliar alternativas (opções) segundo diferentes critérios, assumindo que tanto as alternativas como os critérios já estão dados. A partir dessa obra foi que a análise de decisão passou a considerar os múltiplos critérios e que, com o tempo, passou a ser chamada de análise multicritério de decisão.

A análise de decisão pode empregar diferentes modelos dependendo da característica do problema, isto é, se o problema é dominado por incerteza ou não, ou é caracterizado pela existência de diferentes objetivos que podem conflitar entre si, necessitando-se ponderá-los.

Segundo Keeney e von Winterfeldt (2007, p. 232) na análise de decisão, os modelos de valor são chamados algumas vezes de ou funções de utilidade, ou funções de valores ou funções de preferências. Eles empregam o termo modelo de valor que é mais genérico e afirmam que o processo para construí-lo é o mesmo processo usado para construir outro tipo de modelo, isto é, o analista decide quais variáveis utilizar na construção do modelo de valor, seleciona e ou verifica as relações entre tais variáveis para obter uma representação matemática de interesse

(preferências neste caso), e, então quantifica os parâmetros para o modelo usando a informação que está disponível e/ou pode ser obtida.

O modelo de valor é construído de forma tal que um número, denominado valor, pode ser calculado para cada uma das alternativas consideradas em uma decisão. Esses números fornecem ordenamento da desejabilidade de cada alternativa, fornecendo assim uma base comparativa para seleção das mesmas. Em vários casos, os modelos de valores envolvem múltiplos objetivos conflitantes. Keeney e von Winterfeldt (2007, p. 232-233).

O foco dos referidos autores é como criar um modelo de valor que seja apropriado e prático para solucionar um problema de decisão específico, e chamam-no de ‘modelo de valor prático’. Explicam que o termo ‘prático’ sugere que nem sempre é necessário ou útil construir um modelo de valor que reflita o estado da arte, mesmo que seja totalmente justificado em bases teóricas, ou usar procedimentos de avaliação teoricamente justificáveis.

Segundo os referidos autores, há dois tipos de modelos de valor: funções de utilidade e funções de valor. A fundamentação teórica das funções utilidade encontra-se em von Neumann e Morgenstern (1947) e Keeney e Raiffa (1976). A fundamentação teórica das funções de valores são encontradas em Krantz *et al.* (1971) e Dyer e Sarin (1979). Segundo Keeney e von Winterfeldt (2007), Krantz e colaboradores desenvolveram as funções de valor com base na noção de “*strength of preferences*” e, por outro lado, Dyer e Sarin referem-se a funções de valor como ‘funções de valor mensuráveis’.

Keeney e von Winterfeldt (2007) apresentam recomendações práticas para a construção de modelos de valores práticos. Afirmam que uma vez que o analista se depara com um problema de decisão a questão é saber qual modelo construir? Partem de algumas notações e suposições que serão apresentadas a seguir.

Supor que:

- Haja um conjunto de alternativas A_j , $j=1,\dots,k$ que foram identificadas.
- Tenha sido identificado um conjunto de objetivos fundamentais, O_i , $i=1,\dots,n$ (a definição de objetivo fundamental e como obtê-lo será apresentada na seção 1.2.4).

- Tenha sido definido um atributo (critério) apropriado, X_i , $i=1,\dots,n$ para cada objetivo fundamental, respectivamente, a fim de mensurar o impacto que cada alternativa exercerá sobre cada objetivo (ver seção 1.2.5, descritores de impacto).

Os autores afirmam que com tais notações, podem-se representar as possíveis consequências que qualquer alternativa poderá exercer sobre o conjunto de critérios, e representá-las pela notação (X_1,\dots,X_n) , ou de forma mais compacta X , em que x_i é um nível específico de X_i .(ibid., p.234)

Uma vez que o conjunto de objetivos fundamentais e respectivos critérios estejam definidos, o próximo passo para construir um modelo de valor é obter uma estrutura geral para representar a relação de preferência entre os vários x 's. Para combinar os atributos em um modelo de valor, usa-se o conceito de independência entre os critérios.

Bana e Costa e Beinat (2011) afirmam que ao se construir um modelo multicritério de avaliação a condição de independência dos critérios é uma hipótese de trabalho essencial. O referido autor cita que ao construir um modelo aditivo admite-se implicitamente querer modelar compensação entre impactos em diferentes critérios, isto é, o modelo aditivo estabelece em que medida um impacto menos atrativo em um critério pode ser compensado por impactos mais atrativos em outros critérios, o que exige uma condição mais exigente de independência, a independência aditiva.

Os principais tipos de conceitos sobre independência são: (1) independência de utilidade; (2) independência preferencial; (3) independência aditiva. Serão explorados os tipos 2 e 3 de condições de independência, por serem de maior relevância ao tratar com os modelos de valores alvo deste trabalho, funções de medida de valores.

Segundo Bana e Costa (2011), o não entendimento do conceito de independência preferencial é razão de vários praticantes dos métodos multicritérios cometerem equívocos ao associar a independência acima mencionada, com independência estatística entre impactos. O autor cita os seguintes exemplos para auxiliar no entendimento do tipo de independência preferencial:

Por exemplo, custos de regulação e impactos ambientais são correlacionados estatisticamente, no sentido em que maior proteção geralmente requer medidas mais onerosas. No entanto, podem ser tomados como critérios independentes, porque pequenos impactos ambientais são sempre mais atrativos do que maiores, qualquer que

seja o custo de regular, e, vice-versa, é sempre preferível que os custos sejam menores, sejam os impactos ambientais mais ou menos reduzidos. Assim, a correlação entre impactos não implica necessariamente dependência em termos de preferências. (BANA e COSTA, 2011)

Segundo von Winterfeldt e Edwards dois critérios podem ter a independência preferencial mesmo que tenham correlação estatística, a menos que eles indiquem redundância. Bana e Costa e Beinat (2011) explicam a independência aditiva; o termo PVF (ponto de vista fundamental) é correlato ao critério ou atributo:

Para que a avaliação das opções se possa basear numa comparação dos seus impactos em cada um dos PVF, estes devem ser eixos de avaliação independentes, o que só será possível se as opções puderem ser comparadas por um PVF independentemente dos seus impactos em qualquer dos outros PVF. Esta condição de independência ordinal nas preferências é muitas vezes uma hipótese de trabalho aceitável. No entanto, se o objectivo da avaliação for não só hierarquizar as opções, ou seja, não só analisar se entre cada duas opções uma é mais atractiva do que outra, mas também medir se a diferença de atractividade entre elas é pequena ou grande, então um PVF deve respeitar a propriedade mais estrita de independência entre as diferenças de atractividade (ou valor). Esta condição de independência cardinal é necessária para a construção de um modelo aditivo de avaliação multicritério e é uma das razões pelas quais, muitas vezes, alguns PV devem ser agrupados para formar um PVF único. (BANA e COSTA, 2011, p. 618)

Ao discorrer sobre entre escolher uma função de utilidade ou uma função de valor, Keeney e von Winterfeldt argumentam que esta depende das características do problema. Se o problema está dominado em grande parte por incertezas então uma função de utilidade é teoricamente mais apropriada. Se as incertezas possuem menor importância e o problema envolve a ponderação entre múltiplos objetivos, então teoricamente a função de valor é mais apropriada.

O modelo de valor que será utilizado é o modelo compensatório aditivo de valor que possui a seguinte forma:

$$V(a) = \sum_{j=0}^n w_j * v_j (a), \text{ em que } \sum_{j=0}^n w_j = 1, \text{ e } 0 < w_j < 1 \text{ (j=1,...,n)}, \quad \text{Eq. 1}$$

Sendo,

$V(a)$, o valor global da performance da alternativa “a” diante dos ‘n’ critérios.

$v_j (a)$, o valor da performance da alternativa “a” diante do critério ‘j’. A obtenção deste valor, neste trabalho, é feita utilizando o método MACBETH (seção 1.2.5).

w_j , constantes de escalas ou coeficientes de ponderação dos ‘n’ critérios que permitem que as diferentes alternativas ‘a’, em cada critério, serem adicionáveis. Esses coeficientes também são conhecidos por ‘pesos’ (LOURENÇO, 2002). Lourenço cita as

condições exigidas para que se possa utilizar o modelo aditivo, condições essas apontadas por GOODWIN e WRIGHT (1991) e que são:

- 1) **Capacidade de decisão:** para cada critério, assume-se que o decisor é capaz de decidir qual de duas alternativas é que prefere, ou se é indiferente perante a escolha de qualquer uma delas.
- 2) **Transitividade:** se em um determinado ponto de vista a alternativa A é preferida à alternativa B e a alternativa B é preferida à alternativa C, então segundo este axioma terá de se preferir a alternativa A à alternativa C.
- 3) **Aditividade:** se o decisor preferir a alternativa A à alternativa B e a alternativa B à alternativa C, então a intensidade de preferência da alternativa A sobre a alternativa C terá de ser superior à intensidade de preferência da alternativa A sobre a alternativa B (ou da alternativa B sobre a alternativa C).
- 4) **Monotonia:** as funções que operacionalizam os pontos de vista ou são crescentes ou decrescentes.
- 5) **Limites superior e inferior com valores finitos:** quando se determinam valores para as alternativas segundo os vários pontos de vista, assume-se que a melhor alternativa não é tão boa e que a pior alternativa não é tão má que lhes possam ser atribuídos respectivamente valores de $+\infty$ ou de $-\infty$.

Além dessas condições apontadas por Goodwin e Wright (1991 *apud* LOURENÇO, 2002), é importante entender o significado dos pesos e como estima-los corretamente, a fim de evitar interpretações inadequadas e evitar usar métodos sem sólida fundamentação teórica. Existem vários problemas relacionados à inadequada interpretação e mensuração dos coeficientes de ponderação e que foram discutidas por vários autores (Von WINTERFELD; EDWARDS, 1986; LOURENÇO, 2002), e segundo Keeney (1992) dentre os vários equívocos existe o que ele considera ser o “**erro crítico mais comum**” que se baseia na incorreta interpretação dos pesos intuitivamente segundo a noção de importância, descrito a seguir.

Infelizmente, o desconhecimento dos fundamentos da análise de decisão por alguns praticantes da análise multicritério tem levado a adoção de métodos que ao invés de alertar para evitar que se cometa o erro crítico mais comum, pelo contrário, incorpora-o em sua metodologia. É o caso do método AHP (*Analytical Hierarchical Process*) que além de estimular o equívoco

também possui outros problemas de base teórica conforme apontado por especialistas na análise de decisão (BANA e COSTA; VANSNICK, 2008). Fantinatti e Zuffo (2012) mostram que outros métodos, tais como PROMETHEE, ELECTRE, CGT e CP induzem a erros por não respeitarem a cardinalidade estruturada pelos valores dos decisores e distorcem os resultados sendo a avaliação nos desempenhos máximos e mínimos das alternativas em cada critério e não de acordo com as cardinalidades estabelecidas por escalas padronizadas baseadas nos valores dos decisores.

A apresentação do procedimento para determinar corretamente os pesos consta na seção 1.2.5, e faz parte do processo sociotécnico MACBETH, descrito na próxima seção.

1.1.1. Modelo ajustado

Os modelos ajustados (do inglês, *requisite models*) (PHILLIPS, 1984) são modelos suficientes quanto à forma e conteúdo para auxiliar a encontrar a solução para um problema de decisão. É um modelo que pode ser construído com a participação de vários atores, por exemplo, via processo de conferência de decisão, e que resulta em entendimento compartilhado, compromisso para ação. Phillips afirma que o modelo pode ser considerado suficiente quando nenhuma nova intuição surge sobre o problema.

Isso implica que o processo de construção do modelo deve procurar explicitar o quanto possível os pontos de vistas, valores dos decisores envolvidos no processo decisório. E nesse caso, a abordagem de raciocínio focado em valores (seção 1.2.4) é adotada para alcançar esse propósito.

A construção do modelo ajustado envolve a interação entre especialistas e os donos do problema, em que, os primeiros contribuem para dar a forma ao problema, enquanto os últimos o seu conteúdo. Os especialistas podem auxiliar a direcionar o conteúdo para que estejam situados dentro da problemática enfrentada pelos detentores do problema. O processo de construção de um modelo ajustado é algumas vezes conduzido em grupo, e outras vezes, via discussões sucessíveis entre especialistas e os donos do problema individualmente. Em ambos os casos, o processo é consultivo e iterativo, com o especialista agindo como um facilitador (PHILLIPS, 1984).

Phillips (1984) afirma que o modelo ajustado pode ser, mas, não necessariamente, prescritivo, no sentido de que fornece meios para os donos do problema alcançar um

entendimento comum sobre o problema e desenvolver novos ‘insights’ sobre ele. Além disso, o foco dos modelos ajustados é a análise, e raramente são descritivos, normativos, conforme destaca o autor.

O papel do facilitador é vital para a construção do modelo ajustado. Como se trata de uma intervenção em um contexto de decisão é importante que o facilitador conheça e siga recomendações apontadas por Schein (1999), recomendações essas que são utilizadas na abordagem sociotécnica MACBETH. São conhecidas como princípios de intervenção do facilitador:

- Tente sempre auxiliar
- Tente estar sempre em contato com a realidade atual
- Avalie o seu desconhecimento
- Tudo o que faz é uma intervenção
- O problema e a solução pertencem ao cliente. (SCHEIN, 1999)

1.1.2. Raciocínio focado em valores

Keeney (1992) apresenta os princípios do raciocínio focado em valores e aponta-o como de fundamental importância para dar suporte na busca de soluções para problemas complexos envolvendo interesses privados e/ou públicos. Segundo o autor, basicamente o raciocínio focado em valores consiste de duas atividades: primeiro, decidir o que se quer alcançar; e segundo, encontrar os meios para alcançar o que se quer. Nesse processo, o autor enfatiza a importância dos valores que deveriam ser a força direcionadora em nossas decisões.

Para Keeney (1992), valores também são princípios utilizados para avaliar as consequências atuais ou potenciais de uma ação, de alternativas propostas e decisões. O autor afirma que podemos identificar nossos valores por meio de um processo árduo de raciocínio e os tornamos explícitos através de declarações expressando julgamentos de valores, os quais para que sejam úteis na tomada de decisão, devem ser precisos sobre seu significado, e que podemos articular esse significado estabelecendo objetivos.

Conforme se pode observar a explicitação do significado qualitativo dos valores se dá através dos objetivos, e, conforme Keeney (2006), estipular objetivos não é uma tarefa fácil, pois os decisores confundem objetivos meios com fins; entre outros. Para facilitar nessa tarefa árdua

de identificar objetivos é necessário definir o que se entende por tal. A definição de objetivo proposta por Keeney (1992, p. 34) é “uma afirmação de algo que se deseja alcançar. Caracteriza-se por três características: um contexto de decisão, um objeto e uma direção de preferência”.

Por exemplo, reproduzindo o exemplo apresentado pelo autor, em um contexto de decisão envolvendo uma empresa que deseja escolher um local para implantar sua planta geradora de energia com base em carvão mineral, os objetivos fundamentais podem incluir saúde e segurança, preocupações quanto aos aspectos ambientais, sociais e econômicos (ibid., p.35). Nesse contexto de decisão um objetivo poderia ser reduzir o volume de emissões de poluentes na atmosfera durante o período de operação da planta. O volume de emissões de poluentes na atmosfera seria o objeto e reduzir o verbo, sendo o contexto de decisão já caracterizado.

É comum encontrar conceitos correlatos ao de objetivo proposto por Keeney, como o conceito de ponto de vista Bana e Costa (1993); dimensão de valor (von WINTERFELDT; EDWARDS, 1986), entretanto, ao longo desse trabalho utilizaremos os termos objetivo e ponto de vista. Define-se ponto de vista:

Um ponto de vista representa todo o aspecto da decisão real apercebido como importante para a construção de um modelo de avaliação de ações existentes ou a criar. Um tal aspecto, que decorre do sistema de valores e ou da estratégia de intervenção de um ator no processo de decisão, agrupa elementos primários que interferem de forma indissociável na formação das preferências desse ator. (BANA e COSTA, 1993)

A questão chave passa a ser como criar um conjunto de objetivos que sejam apropriados à situação de decisão que está sendo analisada e que reflitam os valores dos decisores? Segundo o autor, os objetivos pertinentes a uma situação de decisão deveriam emergir dos indivíduos interessados e que detêm conhecimentos sobre a situação (BANA e COSTA, 1993, p. 56).

Keeney (2006) sugere alguns procedimentos para auxiliar na identificação de objetivos e recomenda dividir o processo de identificação dos objetivos em duas fases: a primeira é solicitar aos envolvidos na situação de decisão que escrevam qualquer coisa que eles consideram importante (valores), no contexto de decisão que está sendo analisado, gerando assim uma listagem de valores. O segundo passo é avaliar cuidadosamente cada valor expresso nessa listagem e converter esses valores em objetivos. Conforme cita o autor, na primeira fase é de se

esperar que surjam pontos de vistas de forma desorganizada, e “deve-se estimular a criatividade para obter tantas informações quantas forem possíveis a partir do intelecto dos indivíduos relativos ao contexto de decisão” (KEENEY, 2006, p.109).

A partir da lista de valores é fácil convertê-los em objetivos, para isso é necessário um verbo e um objeto. O verbo indica a orientação das preferências que, frequentemente, podem ser minimizar ou maximizar. Por exemplo, aumentar a reconexão de fragmentos de mata atlântica; diminuir o número de desempregados na faixa etária entre 18 a 30 anos etc.

Uma vez de posse de uma listagem de objetivos a etapa seguinte é estrutura-los de forma lógica. Nesse processo os objetivos podem ser classificados segundo quatro categorias:

- **Objetivos fundamentais:** também conhecidos por objetivos fins, constituem os valores mais importantes na situação de decisão, a partir dos quais as consequências das diferentes alternativas serão avaliadas.
- **Objetivos meios:** objetivos que são importantes somente devido a sua influência para alcançar os objetivos fins.
- **Objetivos de processo:** objetivos relacionados sobre como é o processo como a decisão é feita, ao invés, de se ocupar qual decisão foi tomada.
- **Objetivos estratégicos:** objetivos influenciados por todas as decisões feitas ao longo do tempo pela organização ou indivíduo que é responsável pela decisão em mãos. (KEENEY, 2007, p. 113)

Um conceito correlato ao objetivo fundamental é o conceito de ponto de vista fundamental (BANA e COSTA, 1992), o qual também será utilizada nesse trabalho junto com o objetivo fundamental:

Um ponto de vista fundamental (PVF) é um ponto de vista individual, ou um conjunto de pontos de vistas, nos termos do qual os atores concordam em que sejam analisados os impactos e avaliada a atratividade das opções, independentemente dos impactos noutros pontos de vistas. (BANA e COSTA, 1992)

Uma vez de posse de um conjunto de objetivos que refletem os valores dos decisores o próximo passo é diferencia-los entre objetivos meios e fundamentais para se construir uma árvore de objetivos fundamentais, também chamada de família de pontos de vistas fundamentais (BANA e COSTA; BEINAT, 2011). Nesse processo, podem-se utilizar ferramentas que servem

de apoio à estruturação de problemas mal estruturados e complexos, como o mapa cognitivo (EDEN; ACKERMAN, 1998; EDEN, 2004).

Segundo Keeney, para identificar tanto os objetivos meios como os fundamentais, parte-se de uma série de questões que segue a lógica de qual objetivo influencia o alcance de outro objetivo. O autor recomenda que se tome um objetivo e questione “por que esse objetivo é importante nesse contexto de decisão?” Duas respostas podem surgir: uma é que o objetivo reflete o interesse principal naquela situação de decisão, sendo, portanto, um candidato a objetivo fundamental. Ou seja, o objetivo é importante por si só somente. Diz-se candidato a objetivo fundamental porque para sê-lo é necessário que alguns requisitos sejam atendidos (seção 1.2.4).

A outra resposta é que o objetivo é importante porque influencia algum outro objetivo, neste caso, trata-se de um objetivo meio. Neste caso, procede-se novamente com a mesma questão “por que esse objetivo é importante nesse contexto de decisão” até encontrar outro candidato a objetivo fundamental. O autor também recomenda questionar “como um dado objetivo pode ser alcançado”, pois isso pode fazer emergir outros valores, ou alternativas. As respostas a essa questão gera uma árvore de objetivos meios-fins.

Para tornar mais claro a diferenciação entre objetivos fundamentais e árvore de objetivos meios-fins, será reproduzido parcialmente um dos exemplos utilizados por Keeney (1992, p.73). Trata-se da estipulação de padrões de qualidade do ar relativo ao monóxido de carbono (CO). A hemoglobina sanguínea possui maior afinidade pelo CO do que pelo oxigênio, de modo que ao respirar CO se reduz a quantidade de oxigênio na corrente sanguínea, o que pode causar efeitos adversos no sistema cardiovascular, pulmonar, nervoso central, que dependem da quantidade de oxigênio no sangue.

A Figura 1.1 ilustra a árvore de objetivos fundamentais e a Figura 1.2 ilustra a árvore de objetivos meios-fins relativos ao problema do monóxido de carbono, ambas as figuras, relacionadas ao objetivo fundamental “Minimizar os impactos na saúde e minimizar os custos”. Na Figura 1.1, a especificação pelo que se entende por minimizar impactos na saúde é expressa mais claramente ao especificar que se trata de ataques cardíacos (fatal e não fatal), ataques de angina, ataques periféricos cardiovasculares. Por outro lado, a especificação do que se entende por minimizar custos está explícito nos custos de regulação (equipamentos e operacionais); ‘enforcement costs’; custos de saúde (diretos e indiretos).

Com a árvore de objetivos meios-fins (Figura 1.2), os meios para minimizar os impactos na saúde (objetivo fundamental) implicam na redução de doses ingeridas de CO e os meios para reduzir implicam em minimizar concentrações e dispersão de CO; além disso, a redução de doses de CO implica na redução de atividade respiratória que pode ser alcançada com a redução da atividade corporal quando houver emissões a quantidades elevadas de CO.

Por meio das redes de objetivos meios-fins se podem identificar alternativas para atingir os objetivos fundamentais. Por exemplo, aparelhos para controlar poluição dos automóveis auxiliam a reduzir a emissão de CO e conseqüentemente reduz a concentração do poluente no ar. Keeney ressalta que a condição climática pode afetar significativamente as concentrações de CO, porém, não é considerada como um objetivo meio (tal como, “maximizar o nível de inversão térmica”) porque não há alternativas que influenciem o tempo neste contexto de decisão. De forma similar, o condicionamento físico da população afeta a capacidade respiratória, entretanto, no contexto de decisão deste exemplo, que é estipular padrão nacional de qualidade do ar, aumentar a capacidade respiratório não é uma alternativa realista.

Essa consideração implica que o raciocínio focado no valor conduz o decisor a encontrar conjunto de objetivos (fundamentais e meios) que o auxiliam desde a determinar alternativas que podem não ter sido contempladas inicialmente no processo via a árvore de objetivos meios-fins, assim como, avaliar o conjunto de alternativas perante os aspectos realmente de relevância (objetivos fundamentais) no contexto de decisão.

Keeney (1992, p. 78) ressalta a importância em esclarecer as relações entre níveis adjacentes na estrutura de objetivos fundamentais e das árvores de objetivos meios-fins, as quais são distintas. Na hierarquia de objetivos fundamentais, os objetivos situados em nível inferior fazem parte do objetivo maior, em outras palavras, eles auxiliam a tornar mais entendível o significado do objetivo no nível superior.

Estes objetivos devem ser mutuamente exclusivos (independentes quanto a julgamento), e em conjunto devem fornecer uma caracterização exaustiva dos objetivos no nível superior, conforme se pode observar na Figura 1.1. O mesmo não ocorre com na árvore de objetivos meios-fins. Nesta, a relação entre níveis adjacentes é causal. O objetivo situado nível inferior é uma causa para o objetivo situado no nível superior (isto é, um fator causal).

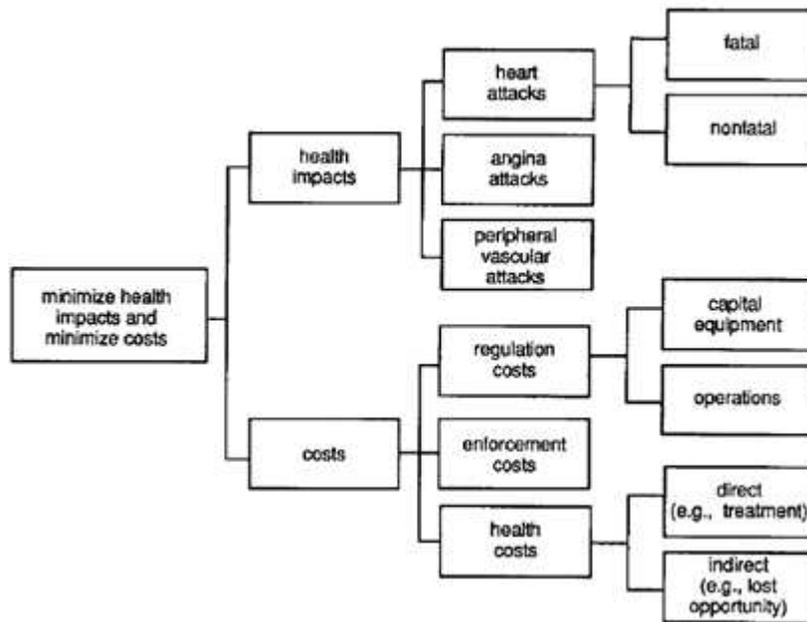


Figura 1.1 – Árvore de objetivos fundamentais. Fonte: Keeney (1992)

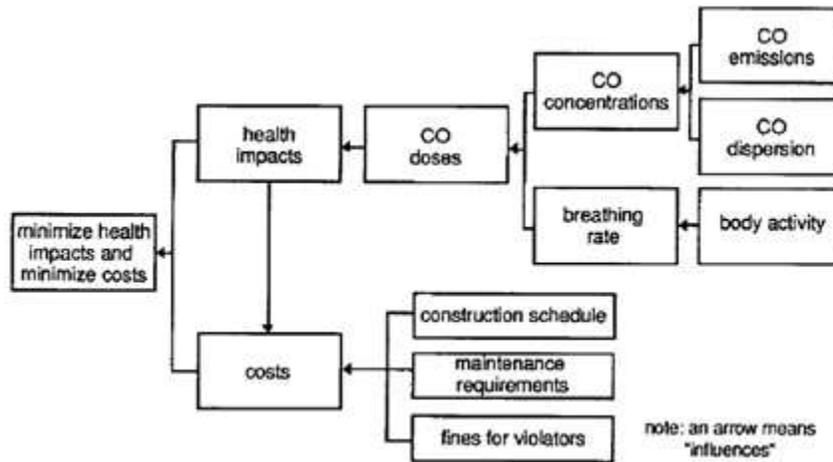


Figura 1.2 – Árvore de objetivos meios-fins. Fonte: KEENEY (1992)

Keeney novamente enfatiza que nem todos os fatores que afetam a concentração de poluição do ar são representados, como por exemplo, a condição climática (tempo), pois conforme discutido, não há alternativas que o afetem.

A natureza da relação da árvore de objetivos meios-fins tem afinidades com a fundamentação da dinâmica de sistemas, principalmente, relacionada à análise da endogeneidade do sistema que se está analisando (capítulo 2). E os resultados do processo de identificação de

objetivos fundamentais e redes de objetivos meios-fins podem auxiliar na fase de conceitualização da dinâmica de sistemas.

Durante o processo de hierarquização dos objetivos fundamentais deve-se ter sempre em mente a utilidade em se identificar atributos que indicarão o grau no qual esses objetivos são alcançados. Tais atributos irão clarear e aumentar ainda mais o entendimento sobre os objetivos fundamentais. Dessa forma a elaboração da árvore de objetivos em níveis menores deverá continuar até alcançar um nível no qual os atributos sejam encontrados. Por outro lado, com a árvore de objetivos meios-fins, o ponto natural para se parar o processo é quando se encontram alternativas ou conjuntos de alternativas.

Durante o processo de construção da árvore de pontos de vistas fundamentais é necessário que os decisores expressem juízos de valores, por exemplo, em situações de decisão envolvendo políticas públicas, Keeney aponta que é pertinente considerar os pontos de vista públicos; porém, quando se trata na construção da árvore de objetivos meios-fins é necessário o julgamento sobre fatos e nesse ponto dependendo da situação tais julgamentos devem ser feitos por especialistas, técnicos sobre o assunto em consideração.

Para que seja considerado um objetivo fundamental é preciso que certas propriedades sejam atendidas, as quais serão descritas a seguir.

Propriedades dos objetivos fundamentais

Keeney (2006) afirma que um objetivo fundamental deve possuir algumas propriedades sendo duas delas de maior importância: ser controlável e essencial. Para entender o significado de ‘controlável’ é importante destacar um aspecto relevante na pergunta “por que esse objetivo é importante nesse contexto de decisão?” O contexto de decisão é um dos filtros para auxiliar a identificar um objetivo fundamental, isto é, o objetivo será considerado fundamental se para alcançá-lo não é necessário adotar qualquer outra ação que esteja fora do contexto de decisão. Em outras palavras, as alternativas que influenciarão o nível em que o objetivo fundamental seja alcançado, estão sendo contempladas dentro do contexto de decisão. O significado de ‘essencial’, segundo Keeney, reside no fato de que todas as alternativas apropriadas ao contexto de decisão devem ter influência no objetivo fundamental. (KEENEY, 2006, p. 115)

Keeney (1992; 2006) aponta mais cinco propriedades desejáveis que os objetivos fundamentais devem ter:

- **Completo** – todas as principais consequências que derivam das alternativas inseridas em um determinado contexto de decisão podem ser adequadamente descritas pelo conjunto de objetivos fundamentais.
- **Não redundância** – os objetivos fundamentais não devem incluir preocupações que já foram contempladas.
- **Conciso** – o número de objetivos e sub-objetivos devem ser o mínimo suficiente para assegurar uma análise de qualidade.
- **Específico** – cada objetivo deve ser específico o suficiente de modo que as consequências mais relevantes sejam claras e que os atributos possam ser prontamente selecionados ou definidos.
- **Compreensível** – qualquer indivíduo interessado entende o significado do objetivo. (KEENEY, 1992, p. 117)

Uma vez que os objetivos fundamentais atendam a tais requisitos, além dos pertinentes à independência de julgamento (seção 1.1), eles podem compor o modelo aditivo de função de valor.

Descritores de impacto

A última etapa da estruturação é desenvolver descritores de impacto para cada ponto de vista fundamental, PVF. Keeney (1992, cap.4) apresenta discussão sobre esse tema, porém, nos basearemos em Bana e Costa e Beinart (2011) para a explanação sobre esse conceito:

Um ‘descriptor de impactos’ é um conjunto ordenado constituído por níveis de impacto plausíveis, segundo um dado PVF, que:

- Mede (quantitativa ou qualitativamente) em que medida o PVF é satisfeito;
- Descreve o mais objetivamente possível, os impactos das opções no PVF. Quanto mais objetivamente os impactos são descritos, mais bem compreendido (menos ambíguo) e, portanto, mais bem aceite (menos controverso) será o modelo de avaliação;
- Estabelece um domínio de plausibilidade para os impactos (de um nível mais atraente para um nível menos atraente), definido por eliminação de níveis de impacto (ou opções) que não são admissíveis ou estão fora de contexto. Dependendo de a estruturação ser individual ou em grupo, o domínio de plausibilidade pode ser definido para cada UP ou para todas em conjunto.
- Verifica a independência ordinal do PVF correspondente. Se for detectada alguma dependência, é necessário reestruturar a família de PV.

Um descritor tem a estrutura de uma escala ordinal de preferência que pode ser contínua ou discreta. (BANA e COSTA; BEINAT, 2011, p. 624).

Uma descrição detalhada sobre o assunto é dado em Bana e Costa e Beinat (2005; 2011) e Keeney e Gregory (2005).

Segundo Bana e Costa e Beinat (2011) os descritores se distinguem de duas formas: descritores diretos e indiretos. Os descritores indiretos, ou “proxy” indicam as causas, enquanto que os descritores diretos, ou naturais, medem diretamente os efeitos ou impactos em cada PVF.

Porém, segundo os autores, há situações em que não é possível encontrar um descritor de impacto direto ou indireto de um PVF, principalmente devido à sua natureza subjetiva ou pela presença de dependência de julgamentos. Nestes casos deve-se desenvolver um descritor construído dentro do contexto específico. Os autores citam que os descritores construídos podem ser caracterizados pelo número de PV envolvidos, distinguindo-se descritores unidimensionais e multidimensionais e pelo modo como seus níveis de impacto são descritos (descritor pictórico), verbalmente (escala qualitativa) ou numericamente (índices e fórmulas).

Segundo Bana e Costa e Beinat (2011, pg. 627):

- Escalas qualitativas unidimensionais são conjuntos de descrições verbais de impactos unidimensionais plausíveis;
- Descritores pictóricos são conjuntos finitos de representações visuais de impactos de referência;
- Descritores multidimensionais são conjuntos de níveis de impacto multidimensionais que descrevem cenários plausíveis. É útil distinguir entre escalas multidimensionais (discretas) e índices. As primeiras são construídas por meio de descrições individuais de cada um dos seus níveis de impacto multidimensionais, enquanto os últimos são definidos de forma exaustiva por uma fórmula que combina várias dimensões analiticamente.

Segundo esses autores um aspecto muito importante que deve ser evitado quando se constrói os descritores é a ambiguidade. Nos casos em que a informação é escassa, o analista deve pedir aos atores que descrevam as diferenças de níveis de impacto da forma mais clara possível, seja na forma de descrições verbais ou pictóricas.

Em suma, o descritor tem a função de tornar o PVF (objetivo fundamental) mais inteligível, permite a geração de ações de aperfeiçoamento e possibilita a mensuração dos impactos das ações em cada PVF. Estas ações serão analisadas através de uma ordem de preferência, onde serão balizadas entre dois níveis de referência, a saber: o nível Neutro (nível de impacto que não é nem atrativo nem repulsivo) e o nível Bom (nível de impacto satisfatório).

Segundo Bana e Costa e Beinat (2011, p. 627), existem três razões para recomendar a identificação de dois níveis de referência (neutro e bom) de valor intrínseco no descritor de cada PVF:

O esforço necessário para identificar os níveis de referência, bom e neutro, contribui significativamente para melhorar a inteligibilidade do PVF. Uma coisa é dizer que uma opção é melhor que a outra num PVF, por exemplo, em preço, outra completamente diferente é especificar o que se entende por um bom preço ou por preço neutro;

Uma definição explícita de dois níveis de referência, bom e neutro, torna possível objetivar a noção de atratividade intrínseca de cada opção, classificando-as como:

- Opção muito atrativa, quando é pelo menos tão atrativa quanto o perfil bom em todos os PVF;
- Opção atrativa, se é pelo menos tão atrativa como o perfil neutro em todos os PVF, mas menos atrativa do que o perfil bom em todos os PVF;
- Opção não atrativa, se é menos atrativa do que o perfil neutro em todos os PVF.

A definição dos níveis de referência bom e neutro permite determinar de forma explícita o valor intrínseco global de cada opção, o que permite evitar escolher uma opção inadequada, por ser a melhor de um conjunto de opções não atrativas.

Definir os dois níveis de referências, bom e neutro, permite a utilização de um processo de ponderação dos PVF que é simultaneamente válido no quadro teórico da aplicação de um modelo de agregação aditivo e evita as armadilhas dos procedimentos de ponderação clássicos.

Além disso, a identificação dos níveis de referência neutro e bom pode auxiliar a verificar se o modelo de dinâmica de sistemas está simulando adequadamente o comportamento do sistema. Essa suposição, a ser testada na próxima etapa da pesquisa, decorre do fato de que o

objetivo fundamental ser o equivalente ao estoque no contexto da dinâmica de sistemas (capítulo 2).

Uma vez que a fase de estruturação está concluída, tem-se início a fase de avaliação, dentro da qual se destacam duas tarefas essenciais para o emprego do modelo aditivo. A determinação da performance de uma opção diante de um critério e determinação dos pesos para cada um dos critérios. Neste trabalho, ambas serão realizadas com o apoio do método MACBETH, o qual será descrito na seguinte seção.

O método MACBETH (*Measuring Attractiveness through a Category Based Evaluation Technique*) está descrito exhaustivamente em várias publicações (BANA e COSTA *et al.* 2005; 2012; 2013). A seguir será apresentada uma síntese dos principais tópicos da metodologia, sendo que os detalhes podem ser encontrados na literatura recomendada. A descrição dada a seguir tem como base os seguintes trabalhos (BANA e COSTA *et al.* 2012; 2013).

1.1.3. Estruturação de problemas mal definidos

Bana e Costa e Beinat (2011) definem estruturação:

A estruturação é um processo iterativo de construção de um modelo mais ou menos formal de representação e integração de elementos de natureza objetiva, como as características factuais do problema, e elementos de natureza subjetiva, como os objetivos que explicitam os sistemas de valores dos atores são explicitados. (BANA e COSTA e BEINAT, 2011, p. 615)

Trata-se de um processo trabalhoso que requer criatividade, técnica e habilidades do facilitador para auxiliar os agentes de decisão a expressarem seus pontos de vistas, estruturar objetivos, identificar critérios e definir, quando necessário, seus descritores de impacto (seção 1.2.4). Trata-se de problemas não estruturados que são caracterizados pela existência de múltiplos atores; múltiplas perspectivas; interesses incomensuráveis e/ou conflitantes; elementos intangíveis importantes; incertezas (ROSENHEAD; MINGERS, 2001).

Franco e Montibeller (2010) apresentam um arcabouço similar ao processo sociotécnico para estruturação de problemas multicritérios e sugerem duas etapas distintas e complementares, sendo a primeira relacionada no enquadramento da situação do problema, que

envolve o entendimento claro, da parte dos agentes de decisão que deverão ser envolvidos no processo, sobre a natureza do problema a ser analisado. Na segunda etapa, se dá a estruturação do modelo multicritério que envolve o emprego da abordagem raciocínio focado no valor, tal qual utiliza o processo sociotécnico MACBETH, o desenvolvimento de árvores de critérios e identificação das alternativas apropriadas ao contexto de decisão.

Durante a fase de estruturação os atores a serem envolvidos no processo decisório podem ser os mais diversos, e, para generalizar o conceito de agente de decisão Bana e Costa e Beinat (2011) desenvolvem o conceito de unidade de política (UP) que serve para distinguir entre vários níveis de intervenção e/ou escalas espaciais:

A unidade política (UP) é definida como um indivíduo ou grupo com uma perspectiva coerente sobre o problema, caracterizada por defender um conjunto específico de pontos de vistas e estar interessada num conjunto específico dos impactos, parcial ou totalmente diferentes de outras UP. As UP podem ser decisores institucionais, grupos de interesse, órgãos administrativos ou políticos que representam áreas (por exemplo, nações, regiões, províncias, municípios, freguesias) e assim por diante. (BANA e COSTA e BEINAT, 2011, p. 613)

O processo sociotécnico MACBETH pode utilizar técnicas que auxiliam na estruturação, como o mapa cognitivo que serve para captar os pontos de vistas, valores dos decisores oriundas de seu cognitivo (EDEN; ACKERMANN, 2009). Esse processo de se fazer explicitar os valores e objetivos é feito segundo a abordagem de raciocínio focado em valores (KEENEY, 1992). O mapa cognitivo faz parte de um conjunto de técnicas de estruturação de problemas mal definidos ou não estruturados (ROSENHEAD; MINGERS, 1989; 2009). Conforme Mingers e Rosenhead (2004) elas partilham características comuns:

- Permitir que várias perspectivas alternativas sobre o problema sejam consideradas conjuntamente.
- Ser cognitivamente acessível para os atores com formações intelectuais distintas e sem treinamento especial, de modo que a representação em desenvolvimento possa consistir um processo participativo de estruturação de problemas.
- Operar iterativamente, de modo que a representação do problema se ajuste para refletir o estado e o estágio da discussão entre os atores, assim como, vice versa.

- Permitir a identificação de melhorias parciais ou locais, ao invés de exigir uma solução global, o que implicaria na fusão de interesses.

Ainda com relação aos métodos de estruturação de problemas mal definidos Mingers e Rosenhead (2009) citam que as duas metodologias estão relacionadas nessa etapa: dinâmica de sistemas e a conferência de decisão. Os autores descrevem as principais características dos referidos métodos sem avançar na forma como os mesmos estruturam os problemas. Conforme será analisado no capítulo 2, sobre dinâmica de sistemas, esta pode se beneficiar da abordagem de estruturação raciocínio focado em valores, sendo esta uma das formas que as metodologias podem contribuir para o aperfeiçoamento da outra.

Segundo Bana e Costa e Beinat (2011) se pode identificar três quadros operacionais realistas na qual a estruturação pode ocorrer:

- Quadro de grupo: estruturação e avaliação em grupo. O modelo de análise e avaliação é partilhado por todas as UP. As divergências de pontos de vista, juízos de valor, etc., entre UP devem ser resolvidas durante a construção interactiva do modelo. A falha na resolução de divergências levaria a uma interrupção do processo; enquanto, estando ultrapassadas, só poderão surgir conflitos entre as UP quando os impactos não forem os mesmos em todas as UP;
- Quadro individual: estruturação e avaliação individuais. O modelo de análise e avaliação é independente para cada UP, podendo ser parcial ou totalmente diferentes dos modelos de outras UP. Os conflitos entre UP podem ser causados por divergências nas componentes dos modelos ou nos impactos;
- Quadro misto: estruturação em grupo e avaliação individual. As UP estruturam o problema conjuntamente mas utilizam modelos de avaliação separados, isto é, os juízos de valor para a avaliação dos impactos das opções são expressos aos nível de cada UP. As discordâncias de pontos de vistas são resolvidas durante o processo de estruturação. Os conflitos podem surgir quando as UP são afectadas por impactos diferentes, ou por divergências nos juízos de valor subjacentes aos modelos de avaliação. (BANA e COSTA e BEINAT, 2011, p.615)

A estruturação de problemas pode ser via *bottom-up* ou *top-down* (BUEDE, 1986; von WINTERFELDT; EDWARDS, 1986). Buede (1986) define:

The top-down method is objective-driven; that is, the analyst begins by ascertaining the global objectives of the decision maker and proceeds to a value structure by subdividing the objectives, sub-objectives, and so forth until a final set of attributes is obtained. The

bottom-up approach, in contrast, is alternative-driven. In this case the analyst begins by questioning the decision maker for a reasonable set of alternatives, each of which might solve the problem. Once the alternatives are defined, the analyst generates a value structure by probing the decision maker for the major differences between the identified alternatives. The analyst then categorizes these differences into groups corresponding to objectives so that a hierarchical value structure can be systematically constructed. The identified differences comprise the set of attributes. (BUEDE, 1986, p. 56)

Dependendo das circunstâncias relativas ao problema o facilitador pode optar por uma ou outra, ou ambas ao longo do processo de estruturação (BANA e COSTA; BEINAT, 2011).

Dentre as várias contribuições que visam auxiliar na estruturação de problemas, especialistas em análise multicritério de decisão (BELTON; STEWART, 2002; BANA e COSTA, 2004; 2005) consideram como sendo a mais relevante a proposta denominada raciocínio focado nos valores (do inglês, *value focused thinking*) (KEENEY, 1992), a qual será adotada neste trabalho e será descrita a seguir. Esse raciocínio é utilizado como base no processo sociotécnico de apoio à decisão MACBETH, cujas raízes, serão apresentadas ao longo do texto.

1.1.4. Conferência de decisão

Segundo Bana e Costa (2011) uma conferência de decisão (PHILLIPS; PHILLIPS, 1993; PHILLIPS, 2007; PHILLIPS; BANA e COSTA, 2007) é um conjunto de sessões que decorrem normalmente durante dois a três dias, intercalada por trabalho de escritório, onde um grupo de atores chaves, representativos da diversidade de perspectivas sobre o problema em questão, participa ativamente na construção do modelo sob orientação de um facilitador. Exemplos de aplicação da conferência de decisão podem ser encontradas em (BANA e COSTA *et al.* 2009; PHILLIPS; BANA e COSTA, 2007).

No contexto do processo sociotécnico MACBETH a conferência de decisão envolve o apoio multicritério à decisão em grupo e contempla todas as fases do referido processo, isto é, contextualização do problema, sua estruturação, avaliação das opções e análise de sensibilidade e recomendações. Destas, a fase de estruturação é que mais consome tempo e esforços, pois geralmente trata-se de problemas mal definidos, também chamados de não estruturados ou mal estruturados. Devido a isso, será exposto com mais detalhes o processo de estruturação do

problema ao longo deste capítulo, pois, é de extrema relevância quando se analisa os problemas mal estruturados envolvendo sistemas socioecológicos.

Na prática do processo sociotécnico MACBETH, a estruturação é feita tendo como raciocínio norteador, o raciocínio focado em valores (seção 1.2.4).

1.2. Processo sociotécnico MACBETH

O processo sociotécnico MACBETH de apoio multicritério à decisão está inserido na análise de decisão e é composto das componentes social e técnica. A primeira implica na interação do(s) especialista(s) em apoio à decisão com os decisores, interação esta que está alicerçada em convicções e procedimentos expostos nesta seção. A componente técnica também é interativa e reside na avaliação das performances das opções diante dos critérios identificados durante a componente social. A análise técnica é realizada com o apoio do software MACBETH (do inglês, *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation TechNique*), (www.m-macbeth.com), detalhes na seção 1.2.5.

Neste trabalho, adota-se o processo sociotécnico MACBETH como método multicritério de apoio à decisão devido aos seguintes motivos:

- Sendo uma metodologia que se enquadra dentro da análise multicritério de decisão possui respaldo teóricos sólidos oriundos das teorias da decisão e medida (BANA e COSTA *et al.* 2005);
- Abrange metodologias, tais como, métodos de apoio à estruturação de problemas mal ou não estruturados (mapas cognitivos, entre outros);
- Adota procedimentos construtivos e durante a construção do modelo assume a participação dos decisores, seja individual ou grupo via conferência de decisão (BANA e COSTA, 1993);
- Tem sido aplicado com sucesso em várias situações reais (<http://web.ist.utl.pt/carlosbana/papers.htm>);
- O método de construção de funções de valores e pesos para os modelos multicritérios possui solidez matemática e é amigável ao usuário (BANA e COSTA *et al.* 2005; 2011);

- Auxilia o decisor a não cometer erros críticos como na determinação de pesos, entre outros (BANA e COSTA; CHAGAS, 2004).

O processo compõe-se das fases: (a) enquadramento da situação de decisão (identificação do problema e o contexto no qual a decisão se insere; os atores que participarão no processo decisório); (b) estruturação do problema (identificação dos pontos de vistas fundamentais; descritores de impactos; separação entre objetivos meios e fins); (c) estruturação do modelo multicritério aditivo de valor e avaliação das opções segundo esse modelo; (d) análise de sensibilidade do modelo e recomendações.

Três convicções (BANA e COSTA, 1993) norteiam o processo de intervenção social, entendendo por intervenção o ato, de um ou mais especialistas em análise multicritério de decisão, de apoiar um ou conjunto de decisores em alguma situação de decisão. São elas:

- Convicção da interpenetração de elementos objetivos e subjetivos e da sua inseparabilidade: um processo de decisão é um sistema de relações entre elementos de natureza objetiva próprios às ações e elementos de natureza subjetiva próprios aos sistemas de valores dos atores. Um tal sistema é indivisível e, portanto, um estudo de suporte à decisão não pode negligenciar nenhum destes tipos de aspectos. Se é verdade que a procura da objetividade é uma preocupação importante, é crucial não esquecer que a tomada de decisão é antes de tudo uma atividade humana, sustentada na noção de valor, e que, portanto, a subjetividade está onipresente e é o motor da decisão.
- Convicção do construtivismo: um problema de decisão apresenta-se, em geral, como uma entidade “mal definida” e de natureza vaga e pouco clara, não apenas para um observador externo, mas também aos olhos dos intervenientes no processo de decisão; o que tem por corolário que a via do construtivismo integrando a ideia de aprendizagem é a mais adequada para conduzir um estudo de apoio à decisão.
- Convicção da participação: a simplicidade e a interatividade devem ser as linhas de força da atividade de apoio à decisão, para abrir as portas à participação e à aprendizagem.

Em sintonia com as convicções apresentadas o processo sociotécnico MACBETH partilha da visão de que os modelos multicritérios a serem construídos devem ser considerados

suficiente quanto à forma e conteúdo (*requisite model*), (seção 1.2.1), e está em sintonia com os ‘*value practical models*’ descrito em Keeney e von Winterfeldt (2007). Da mesma forma, em consonância com tais princípios e sendo uma maneira de operacionalizar a criação de modelos suficientes envolvendo grupo de pessoas, o processo sociotécnico MACBETH utiliza da conferência de decisão (seção 1.2.2). É importante frisar que todo o processo de construção do modelo ajustado seja individual ou em grupo é conduzido pelo enfoque do raciocínio focado em valores (ver seção 1.2.4).

1.2.1. MACBETH

MACBETH é um método de apoio à decisão que permite avaliar opções levando em conta múltiplos critérios e que baseia tanto a ponderação dos critérios como a avaliação das opções em julgamentos qualitativos sobre diferenças de atratividade. Dadas duas opções (ou níveis de performance, desempenho ou impacto), com a primeira melhor do que a segunda, a diferença de atratividade entre elas é muito fraca, fraca, moderada, forte, muito forte ou extrema? (BANA e COSTA et al. 2013).

Segundo Bana e Costa *et al.* (2003), MACBETH também adota a abordagem humanista e interativa voltada a auxiliar a resolver o problema de se construir um modelo de valores quantitativos baseado em julgamentos qualitativos sobre diferença de atratividade opções (ou níveis de desempenho ou impacto ou performance).

Segundo Bana e Costa *et al.* (2005) a pesquisa original referente à abordagem MACBETH remonta ao início dos anos de 1990 (BANA e COSTA, 1992; BANA e COSTA; VANSNICK, 1993; 1997), motivada em fornecer resposta à seguinte questão:

Como pode uma escala de valores ser construída em X, tanto de forma qualitativa e quantitativamente significativo, sem forçar J a produzir representações numéricas diretas de preferências e envolvendo apenas dois elementos de X para cada julgamento exigido de J? (BANA e COSTA, 2005)

Em que, X, é um conjunto finito de elementos (alternativas, opções de escolhas, cursos de ação) que um indivíduo ou grupo, J, quer comparar em termos de sua atratividade relativa.

Para se construir tal escala numérica a partir de julgamentos qualitativos o método MACBETH utiliza as informações ordinal e cardinal.

Basicamente considerando X um conjunto finito de opções, medir ordinalmente a atratividade das opções x do conjunto X consiste em associar a cada x um número real $v(x)$ – em uma escala numérica que satisfaça as condições de preferência estrita (1), de indiferença (2) e de cardinalidade (3):

$$(1) \forall x, y \in X: [x \text{ é mais atrativa do que } y (xPy) \leftrightarrow v(x) > v(y)]$$

$$(2) \forall x, y \in X: [x \text{ e } y \text{ são igualmente atrativas } (xIy) \leftrightarrow v(x) = v(y)]$$

$$(3) \forall x, y, w, z \in X, \text{ com } x \text{ mais atrativo que } y \text{ e } w \text{ mais atrativo que } z: \text{ o quociente } [v(x) - v(y) / v(w) - v(z)] \text{ mede a diferença de atratividade entre } x \text{ e } y \text{ quando a diferença na atratividade entre } w \text{ e } z \text{ é tomada como unidade de medida.}$$

Essa nova escala numérica $v: X \rightarrow \mathbb{R} : x \rightarrow v(x)$ pode ser definida posicionando as opções de X sobre um eixo vertical de forma tal que:

$\forall x, y \in X: x$ é posicionado acima de y se e somente se x é mais atrativa do que y (informação de valor ordinal)

As distâncias relativas entre as opções no eixo vertical reflitam as diferenças relativas de atratividade entre elas (informação de valor cardinal) (BANA e COSTA *et al.* 2013).

Conforme já mencionado, ao tomar par a par dois elementos, em que um é mais preferido ao outro, segundo o julgamento de um decisor em um dado momento, o método MACBETH trata de questionar ao avaliador, a partir do elemento mais preferível, qual a diferença de atratividade deste em relação ao segundo elemento. Para isso, o avaliador tem à sua disposição algumas categorias semânticas, sete no total, proposta por MACBETH que o auxilia a expressar a diferença de atratividade. Em caso de dúvida, o avaliador pode usar duas ou mais categorias semânticas. Designa-se por C_k , $k=0, \dots, 6$, as seguintes categorias semânticas:

- C0 Nenhuma diferença de atratividade
- C1 Diferença de atratividade muito fraca
- C2 Diferença de atratividade fraca
- C3 Diferença de atratividade moderada
- C4 Diferença de atratividade forte

C5 Diferença de atratividade muito forte

C6 Diferença de atratividade extrema

Ao comparar os elementos de X, par-a-par, preenche-se uma matriz de julgamentos qualitativos na totalidade ou no mínimo com $n * (n-1)/2$ comparações feitas por J, sendo 'n'.

Na medida em que o decisor expressa seus julgamentos sobre a diferença de atratividade entre as opções par-a-par, o método identifica se existe consistência entre eles de modo a existir representação numérica na escala de intervalos. Havendo inconsistência o software apresenta sugestões para corrigi-las.

Os algoritmos matemáticos que operacionalizam a verificação de consistências, bem como, a construção da escala de intervalos consistente com os juízos de valores expressos usando-se as categorias semânticas são apresentados detalhadamente em Bana e Costa *et al.* (2005).

Na seção seguinte será explicado como a determinação dos pesos e da escala de valores é realizada utilizando o software MACBETH.

Procedimento MACBETH para determinação dos pesos

Essa descrição é baseada em Lourenço (2002). O procedimento MACBETH de determinação dos coeficientes de ponderação (pesos) somente exige do decisor que este expresse juízos de valor qualitativos quanto à diferença de atratividade entre diferentes alternativas tomadas par-a-par.

Considere uma situação de decisão em que uma vez finalizada a fase de estruturação conclui-se que as alternativas pertinentes ao contexto de decisão devam ser avaliadas segundo quatro critérios (PVF - pontos de vistas fundamentais). Para cada critério adotou-se a boa prática de estipular dois níveis de referência (neutro e bom). A partir de então se avançou para a fase de avaliação em que uma das tarefas é determinar os pesos de cada critério, procedendo-se da seguinte maneira:

I – Criar um número de alternativas fictícias igual ao número de critérios mais um. Nesse exemplo, uma vez que se têm quatro critérios, teremos quatro alternativas fictícias (Alternativa1 (A1),..., Alternativa4 (A4)) e a alternativa fictícia adicional é a que possui impacto

neutro em todos os critérios, {Neutro} (Figura 1.3). A Alternativa1 afeta o critério1 no nível de impacto Bom1, e afeta os demais critérios no nível de impacto neutro. A alternativa A2 afeta o critério 2 no nível de impacto Bom2 e neutro nos demais critérios; as alternativas A3, A4 seguem o mesmo raciocínio ().

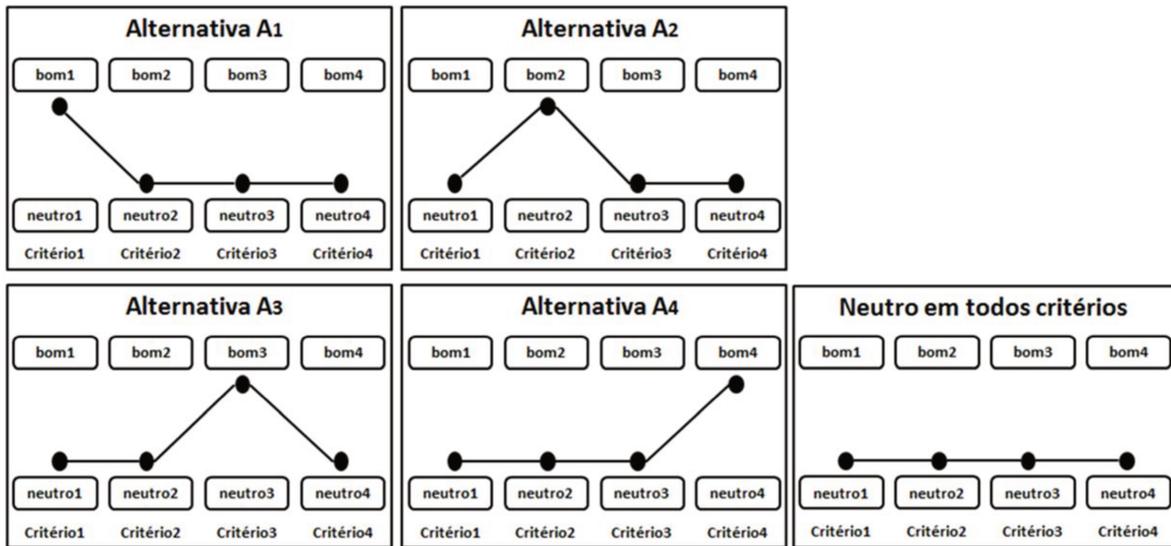


Figura 1.3 – Alternativas fictícias criadas para auxiliar na determinação de pesos.

A seguir solicita-se ao decisor que ordene as alternativas em ordem decrescente de atratividade global, isto é, supor que o decisor considere a A2 mais preferível que A3; e, A3 mais preferível à A1; e a A1 mais preferível em relação à A4; e A4 mais preferível à {Neutro}. Ou seja, a ordenação das alternativas em ordem decrescente de atratividade global neste caso é dada por:

$A2 > A3 > A1 > A4 > \{Neutro\}$, em que $X > Y$ indica que X é mais atrativo do que Y.

O fato de A2 ser mais preferível que A1, segundo a opinião do decisor, representa uma ordem de preferência (ordem preferencial), e é o mesmo que dizer que existe mais atratividade por A2 do que A3. Em outras palavras, existe uma diferença de atratividade entre A2 e A3, porém, sem informar quanto é essa diferença de atratividade. Para conhecê-la deve-se solicitar ao decisor que expresse essa diferença.

II - Solicita-se ao decisor que expresse a diferença de atratividade entre as alternativas previamente ordenadas, tomando-as par-a-par. O método MACBETH simplesmente exige do

decisor que expresse essa diferença de atratividade utilizando juízo de valor qualitativo, segundo uma das seguintes categorias semânticas (Ck, k=0,1,...,6):

- 1 – A diferença de atratividade entre x e y é muito fraca (C1);
- 2 - A diferença de atratividade entre x e y é fraca (C2);
- 3 - A diferença de atratividade entre x e y é moderada (C3);
- 4 - A diferença de atratividade entre x e y é forte (C4);
- 5 - A diferença de atratividade entre x e y é muito forte (C5);
- 6 - A diferença de atratividade entre x e y é extrema (C6).

Pode ocorrer que duas alternativas sejam julgadas como igualmente atraentes, de modo que inexistente diferença de atratividade entre elas, o que corresponde à categoria semântica nula (C0).

Para fins didáticos supor que o resultado final do julgamento de valor referente à diferença de atratividade entre as alternativas fictícias sejam as presentes na Tabela 1.1 (adaptado de LOURENÇO, 2002).

Tabela 1.1 – Matriz de julgamento com categorias semânticas

	A2	A3	A1	A4	{Neutro}
A2		Muito fraca	Moderada	Forte	Extrema
A3			Fraca	Forte	Muito forte
A1				Moderada	Forte
A4					Forte
{Neutro}					

Tendo em conta os juízos de valores presentes na Tabela 1.1, o método MACBETH verifica se é possível associar a cada alternativa x um valor $v(x)$ de modo que $v(x) > v(y)$, se e só se x é mais atrativa que y (condição 1). Também verifica se a diferença de atratividade entre x e y é maior que a diferença de atratividade entre w e z, de modo que $v(x)-v(y) > v(w)-v(z)$ (condição 2).

Por exemplo, na Tabela 1.1, segundo os juízos de valores do decisor, a diferença de atratividade entre A3 e A4 é forte (ler o quadro no sentido linha e coluna), e a diferença de atratividade entre A2 e A1 é moderada. O método MACBETH, por meio dos algoritmos matemáticos que o compõem, irá inicialmente julgar se é possível associar a tais julgamentos de valores semânticos, um número correspondente representado na escala de intervalos, de modo tal que, o intervalo correspondente à categoria semântica FORTE associada à diferença de atratividade entre A3 e A4 deve ser maior que o intervalo correspondente à categoria semântica MODERADA associada à diferença de atratividade entre A2 e A1.

A representação matemática desses números em escala de intervalo, correspondentes às categorias semânticas citadas, pode ser representado da seguinte forma:

$v(A3)-v(A4)$, associado à diferença de atratividade Forte entre A3 e A4.

$v(A2)-v(A1)$, associado à diferença de atratividade Moderado entre A2 e A1.

Conforme se pode observar da Figura 1.4, o intervalo $v(A3)-v(A4)$, $(90-40 = 50)$, é maior que o intervalo $v(A2)-v(A1)$, $(100-70 = 30)$. Esses valores foram gerados pelo software M-MACBETH, apenas com finalidade ilustrativa. A Figura 1.5, reproduz a matriz de julgamento desse exemplo, associada com sua respectiva escala de valores geradas pelo referido software.

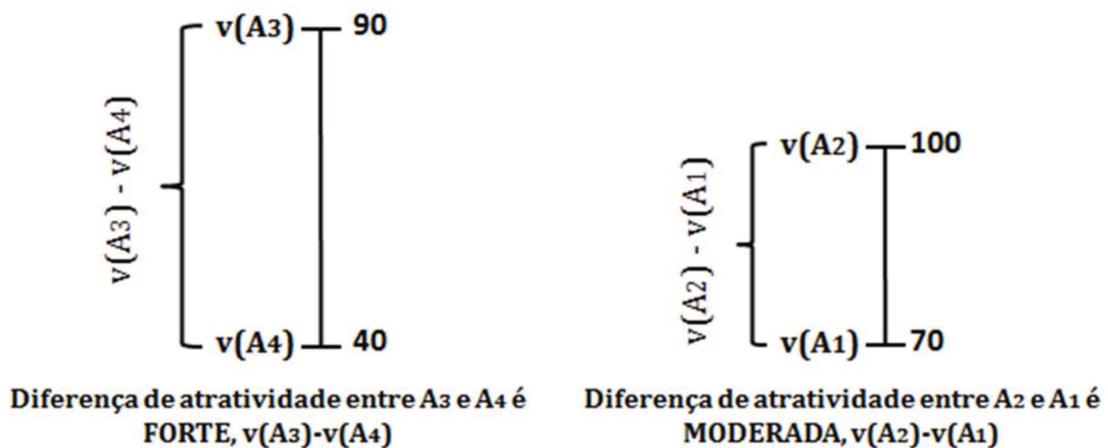


Figura 1.4. – Representação das diferenças de atratividade FORTE e MODERADA, em escala de intervalo.

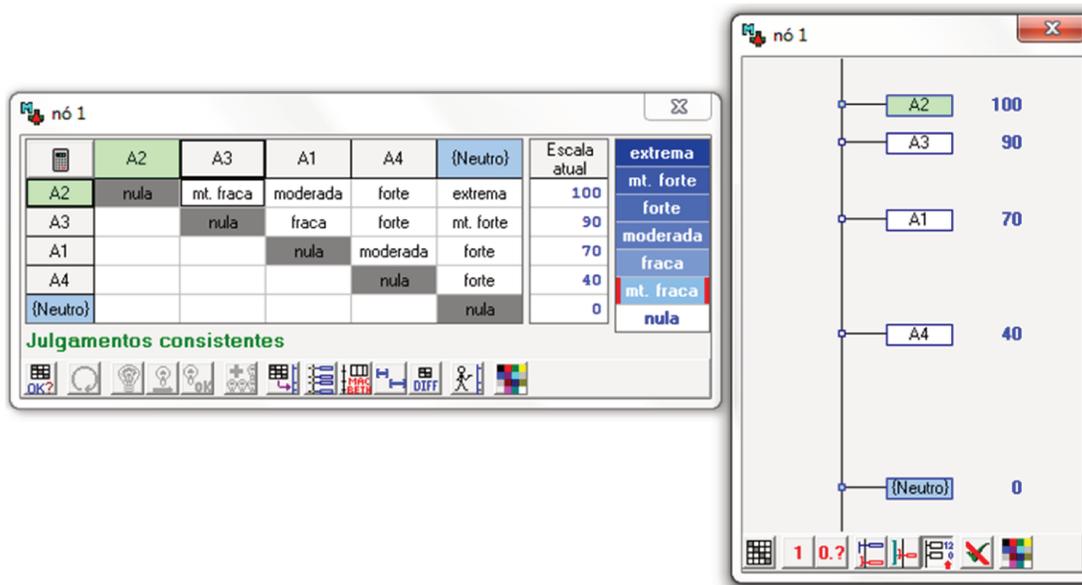


Figura 1.5 – Ilustração da geração de escala de valores a partir de julgamento qualitativo de valor referente às diferenças de atratividade entre alternativas.

A escala de valores relativa à matriz de julgamentos semânticos existirá somente se tais julgamentos forem consistentes. O método MACBETH permite a verificação de inconsistência em julgamentos, conforme se pode observar detalhadamente a matemática que dá suporte ao método (BANA e COSTA; 2005; 2011). Por exemplo, Lourenço cita a seguinte matriz (Tabela 1.2) que viola a condição 2, acima exposta, para mostrar uma das formas de verificação da inconsistência.

Tabela 1.2 - Matriz de juízos de valor para exemplificar a violação da condição 2. Adaptado Lourenço (2002)

	a	b	c	d	{Neutro}
a		Muito fraca	Forte	Forte	Extrema
b			Fraca	Moderada	Muito forte
c				Fraca	Forte
d					Forte
{Neutro}					

Segundo Lourenço (2002), apesar de a matriz satisfazer a propriedade de consistência semântica, isto é, as repostas do decisor devem possuir certa consistência, tais como, as diferenças de atratividade não decresçam em linha (da esquerda para a direita) e em coluna (de baixo para cima), a condição 2 é violada, de modo que não é possível atribuir uma escala v .

A atribuição de uma escala numérica intervalar à matriz de julgamentos implica que $v(c)-v(d) > v(a)-v(b)$, isto é, o intervalo correspondente à $v(c)-v(d)$ [fraca] deve ser maior que o intervalo $v(a)-v(b)$ [muito fraca]. Além disso, implica que $v(a)-v(c) > v(b)-v(d)$.

Ao somarmos tais desigualdades obtém-se que $v(a)-v(d) > v(a)-v(d)$, que é impossível. O método MACBETH testa passo a passo a consistência dos juízos inseridos na matriz e, oferece ao usuário sugestões para superar inconsistências quando existirem.

III – Uma vez que a matriz de juízos expressas pelo decisor seja consistente, o método MACBETH irá gerar os coeficientes de ponderação correspondente à tal matriz. A Figura 1.6 ilustra o resultado oriundo do referido software.

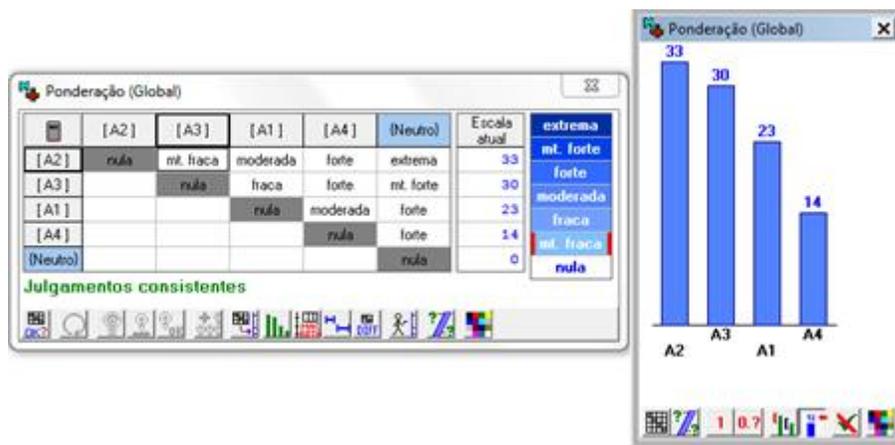


Figura 1.6 – Exemplo de determinação de pesos usando o software M-MACBETH

Os três passos descritos acima para a obtenção dos pesos com apoio do software MACBETH auxilia a evitar cometer o erro crítico mais comum (KEENEY, 1992). Esse mesmo procedimento é utilizado para obter os valores de impacto das alternativas perante cada critério.

Considere a árvore contendo quatro critérios da Figura 1.7(a). Se pode observar da Figura 1.7(b) que o critério 1 possui dois níveis de referência (Neutro e Bom) e que quatro alternativas foram avaliadas quanto aos seus impactos perante o referido critério. Os juízos relativos às diferenças de atratividade entre as alternativas são consistentes e a partir de então o

software MACBETH gera uma escala numérica em intervalos (Figura 1.7c). Observa-se que aos níveis de impacto Neutro e Bom, atribuiu-se os valores 0 e 100, respectivamente.

Esses são valores utilizados no modelo aditivo de valor (equação 1) que, considerando os coeficientes de ponderação de cada critério, permitirá fazer a avaliação do impacto global que cada alternativa possui sobre cada critério. Para avaliar o impacto das demais alternativas em cada critério, o procedimento é o mesmo, e supor que os resultados sejam dados a seguir. Genericamente, tem-se, que o valor da avaliação do impacto que a alternativa 'i' sobre cada critério 'j', seja, $(v(A_{ij}), i=\text{alternativa}, i=1,\dots,4; j=\text{critério}, j=1,\dots,4)$:

$$v(A_{11})= 60; v(A_{12})= 0; v(A_{13}) = 45; v(A_{14})=80$$

$$v(A_{21})= 80; v(A_{22})= 57; v(A_{23}) = 45; v(A_{24})=40$$

$$v(A_{31})= 110; v(A_{32})= 50; v(A_{33}) = 90; v(A_{34})=100$$

$$v(A_{41})= -60; v(A_{42})= 100; v(A_{43}) = -16; v(A_{44})=120$$

Supondo que os pesos de cada critério ($w_j, j=1,\dots,4$) sejam os seguintes:

$$w_1 = 0,30; w_2 = 0,25; w_3 = 0,10; w_4 = 0,35$$

A partir da combinação dos pesos para cada critério e dos valores oriundos da avaliação do impacto das alternativas em cada critério pode-se calcular o valor global de cada alternativa isoladamente, por exemplo, considere a alternativa 1.

$$V(A1) = [v(A_{11}) * w_1] + [v(A_{12}) * w_2] + [v(A_{13}) * w_3] + [v(A_{14}) * w_4]$$

$$V(A1) = (60 * 0,3) + (0 * 0,25) + (45 * 0,10) + (80 * 0,35)$$

$$V(A1) = 50,5$$

A avaliação do impacto global da alternativa 1 sobre os quatro critérios foi igual a 50,5. Procede-se da mesma maneira para as demais alternativas, e verifica-se qual delas teve a melhor avaliação global de impacto sobre os critérios.

Bana e Costa e Chagas (2004) desenvolvem exemplo completo mostrando passo a passo o procedimento para se determinar as pontuações de cada alternativa sobre cada um dos critérios, bem como, o peso. Bana e Costa *et al.* (2012; 2013) descrevem detalhadamente o processo de determinação da escala de intervalos, bem como, os pesos.

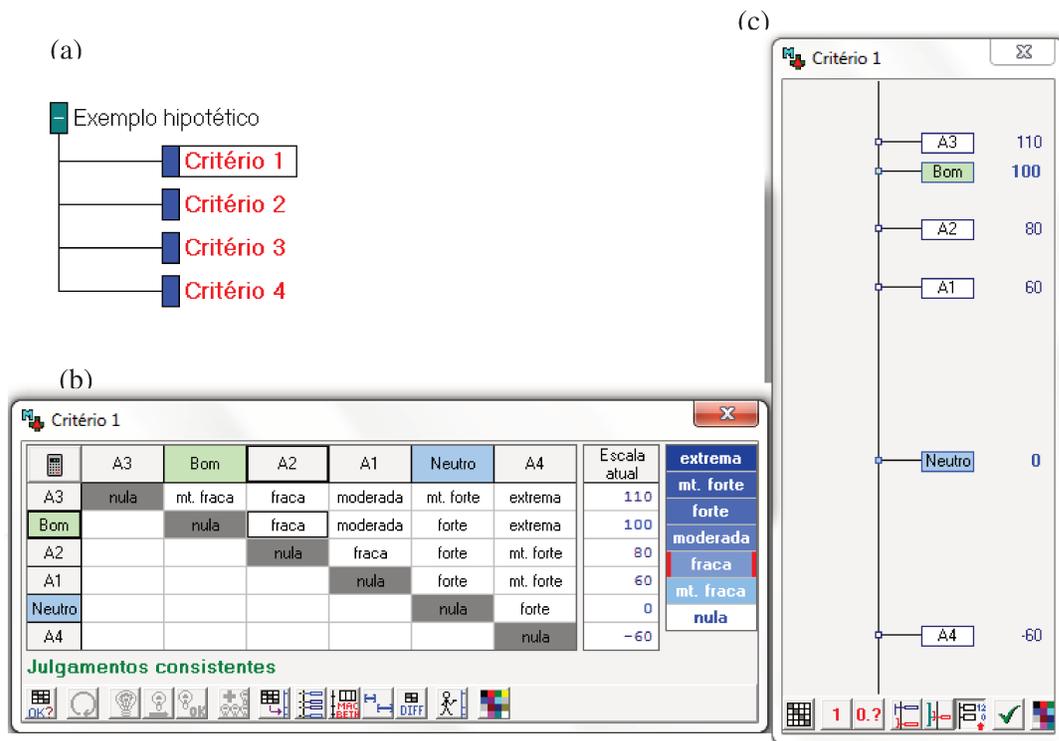


Figura 1.7 (a-c) – Determinação das pontuações de alternativas em um critério

1.3. Expandindo o conceito de valor

Uma vez que foi apresentado o raciocínio focado em valores, seção 1.2.4, assim como, o método MACBETH que serve para transformar valores expressos qualitativamente em valores quantitativos (seção 1.2.5), nesta seção será apresentada uma análise mais ampla do conceito de valor, a fim de mostrar como a dinâmica de sistemas pode auxiliar no aperfeiçoamento dos valores que os decisores possam ter diante de um problema de decisão.

Segundo Dietz *et al.* (2005), epistemologicamente, a palavra valor, deriva do latim, *valore*, que significa, entre outros, valer a pena. Os autores citam a definição apresentada no ‘*The New Shorter Oxford English Dictionary*’, em que valor significa:

- a. The worth, usefulness, or importance of a thing; relative merit or status according to the estimated desirability or utility of a thing.
- b. Estimate or opinion of, regard or liking for, a person or thing.
- c. The principles or moral standards of a person or social groups, the generally accepted or personally held judgment of what is valuable and important in life. (DIETZ *et al.*, 2005)

Essa definição abrange algumas contribuições desenvolvidas por pesquisadores de várias áreas, porém, ao realizarmos uma análise mais detalhada na literatura, encontramos

conceitos adicionais que são bastante relevantes para o entendimento da palavra ‘valor’. Antes, porém, descreveremos como os especialistas em análise de decisão abordam o conceito de valor.

Keeney (1992) argumenta em favor da adoção do raciocínio focado em valores quando é necessário tomar uma decisão e define valor com sendo o que nos importa.

Apesar destas definições serem operacionais e estarem em consonância com o uso popular da palavra valor, uma análise mais detalhada na literatura nos permite identificar conceitos adicionais que prestam auxílio na construção de um arcabouço mais amplo para abordar o tema ‘valor’, conforme nos mostram os trabalhos de Williams (1968), Rokeach (1973); Brown (1984), mencionados a seguir.

Williams (1968, p. 283) relata que existe pluralidade de definições e contextos em que a palavra valor é utilizada e alerta para as vantagens de usar uma definição mais ampla e o perigo em utilizar uma definição mais restrita. Em concordância com a afirmativa de Williams, buscamos uma definição mais ampla de ‘valor’ para que possamos empregar nos contextos decisórios envolvendo sistemas socioecológicos.

O autor já reconhecia a importância dos valores nas decisões ao afirmar que valores servem como critério para seleção de ação. Além disso, também reconhece a importância de identifica-los e torna-los explícitos.

Williams afirma que a noção de valor como critério é a mais importante diante do propósito da análise social científica (WILLIAMS, 1960, p. 401). Decorrente desta afirmação, Rokeach (1973) escreve:

One implication that follows from William's observation is that the number of values-as-criteria that a person possesses is likely to be reasonably small, surely much smaller than the many thousands of things that have reinforcing effects as a result of prior learning. If this number of values-as-criteria turns out to be small enough, the tasks of identifying them one-by-one and measuring them become considerably easier, and it also becomes easier to grapple with theoretical problems of measurement concerning the organization of values into systems of values. (ROKEACH 1973, p. 4)

O autor cita que o conceito de valor tem sido utilizado em duas maneiras distintas no discurso humano: "Dizemos, muitas vezes, que uma pessoa ‘tem um valor’, mas também que um objeto ‘tem valor’." (ROKEACH, 1973, p. 4)

Considerando a perspectiva de que uma pessoa possui valor, Rokeach apresenta a sua definição de valor e de sistema de valores:

A value is an enduring belief that a specific mode of conduct or end-state of existence is personally or socially preferable to an opposite or converse mode of conduct or end-state of existence. A value system is an enduring organization of beliefs concerning preferable modes of conduct or end-states of existence along a continuum of relative importance. (ROKEACH, 1973, p. 5)

É importante notar que Rokeach esclarece o sentido da palavra ‘*preferable*’ em sua definição, atribuindo o sentido de preferência de algo em relação a outro.

O autor também esclarece que a preferência que uma pessoa possui perante algo surge tanto da comparação deste algo com outros, bem como, da comparação deste algo com os valores de seu sistema de valores.

Outra implicação decorrente da definição de Rokeach está na diferenciação de valores entre pessoais e sociais. O autor se refere a esse tema afirmando que valor é uma concepção de algo que é preferível pessoal ou socialmente.

É importante ressaltar que segundo o autor, valor possui aspectos cognitivos, emocionais e comportamentais:

Values have cognitive, affective, and behavioral components: (1) a value is a cognition about the desirable... (2) A value is affective in the sense that he can feel emotional about it, be affectively for or against it, approve of those who exhibit positive instances and disapprove of those who exhibit instances of it. (3) A value has a behavioral component in the sense that it is an intervening variable that leads to action when activated. (ROKEACH, 1973, p.7)

Além disso, é importante considerar o fato de que os valores, assim como, o sistema de valores é passível de mudança ao longo do tempo, fato este reconhecido por vários autores, entre eles Rokeach (1973) e Williams (1968) conforme se pode observar:

(...) Values as empirical elements in human behavior certainly arise out of human experience and hence may be affected by any conditions, including social conditions that affect experience. Values may therefore be analyzed as dependent variables, subject to changes that are consequent to changes in population, technology, economic production, political organization, and so on. (WILLIAMS 1968, p. 286)

O referido autor, assim como Williams (1968), reconhece a importância dos valores nos processos decisórios. Ao lançar a questão “para que serve uma função de valor?”. E, responde: “... is to think of values as standards that guide ongoing activities, and of value systems as general plans employed to resolve conflicts and to make decisions...” (WILLIAMS 1968, p. 5).

Para Rokeach valores como padrões são entendidos como maneiras de conduta em várias situações e afirma que o papel dos sistemas de valores é importante na resolução de

conflitos e tomada de decisão e afirma que somente alguns valores são ativados e que dependem de cada situação de decisão.

Baseando-se ROKEACH (1973), SCHWARTZ (1992) desenvolveu uma taxonomia de dez conjuntos de valores: eles incluem um conjunto de valores relativos à autoreforço, poder (desejo por autoridade e riqueza), realização (ser ambicioso e bem sucedido), hedonismo (visando o prazer e alegria), e estimulação (querendo uma vida excitante e disposto a aceitar o risco). Outro grupo de valores envolve a autotranscendência: autodireção (que aspira a liberdade e criatividade), o universalismo (à procura de justiça social e de ser liberal) e benevolência (perdão e ser útil). Um grupo de valores está ligado com o conservadorismo inclui tradição (querendo humildade ou devoção), conformidade (sendo educado e autodisciplinado) e segurança (almejando a ordem social).

1.3.1. Análise do conceito de valor sob diferentes perspectivas

Até aqui abordamos a palavra ‘valor’ sob a perspectiva conceitual. Visando avançar no entendimento sobre o assunto e desenvolver um arcabouço cognitivo amplo para utilizar em processos decisórios envolvendo sistemas socioecológicos complexos é necessário expandir a análise considerando perspectivas adicionais.

Neste sentido, a contribuição que Brown (1984) faz ao analisar a palavra ‘valor’ segundo três perspectivas, que originalmente se refere por ‘*realms of value*’, merece ser destacada. As três perspectivas abordadas pelo referido autor são: conceitual, relacional e do objeto. Segundo Brown, tais perspectivas envolvem diretamente a preferência humana. A perspectiva conceitual trata com a base da preferência; a perspectiva relacional com o ato de preferir; e a perspectiva objeto com o resultado da preferência.

O autor desenvolve o trabalho com conceitos de valor relacionados à preferência. Preferência segundo Brown (1984): “Preference is used here to mean the setting by an individual of one thing before or above another thing because of a notion of betterness” (BROWN, 1984 p.232).

Brown cita von Wright para descrever o contexto no qual se dá a preferência:

“A preference for one thing over another can result because the individual considers the former better (because the former is thought or known to be better), or because the individual likes the former better” (Von Wright *apud* BROWN, 1984, p. 232).

Considerando as suposições expostas acima, na perspectiva conceitual, Brown adota a visão compartilhada pelos estudiosos de valor ao definir o termo como:

(...) an enduring conception of the preferable which influences choice and action. One can think of this conception of the preferable as a preference of the first order, which influences all subsequent, second-order preferences (and therefore, choice and action), or as that which underlies all preference. (BROWN, 1984, p. 232).

Esta visão é compartilhada por Rokeach (1973).

Conforme se pode observar na definição acima exposta, o que se está comparando são modos específicos de conduta ou estados finais de existência. Brown (1984) denomina tais modos de conduta ou estados finais de existência ou qualidades que possam ser desejadas de *'held values'*. O autor cita que os *'held values'* podem ser classificados em distintas categorias tanto em forma quanto critérios de agrupá-los por vários autores e, cita, uma maneira peculiar associada ao trabalho de Rescher (1969) que categoriza tais valores segundo temas, tais como, valores ambientais, valores individuais, valores de grupo, etc.

Na perspectiva relacional, os valores surgem a partir de uma relação de preferência entre um sujeito e um objeto, de modo que valor nem é um conceito dado por um sujeito nem algo atribuído a um objeto, mas simplesmente surge a partir da preferência de um sujeito perante um objeto em um dado contexto (BROWN, 1984).

Como consequência da perspectiva relacional, Brown coloca atenção ao objeto ao desenvolver a perspectiva objeto. Nesta perspectiva, valor é a importância relativa de um objeto expressado para um indivíduo ou grupo em um dado contexto. A importância relativa resulta de uma relação de preferência expressa pelo indivíduo ou grupo ao comparar o objeto perante outros em um dado contexto.

Brown (1984) denomina esse tipo de valor por *'assigned value'*:

Conforme se pode notar, segundo Brown os *'held values'*, pelo menos em parte, fornecem uma base para a relação de preferência, a qual resulta na importância relativa expressa de objetos, importância relativa esta denominada de *'assigned value'*.

O autor ao inserir o conceito de *'assigned value'* propicia dois desdobramentos importantes para a análise de decisão em sistemas socioecológicos complexos. A primeira foi desenvolvida pelo próprio autor ao mostrar a implicação que o *'assigned value'* possui para a

valoração dos bem naturais, principalmente, os que não são comercializados no mercado, que é o tema central do artigo do referido autor.

O segundo desdobramento é resultado de nossa reflexão, a partir da afirmativa feita por Brown (1984, p. 235), o qual alerta que o ‘valor atribuído’ a um objeto por uma pessoa depende de alguns fatores importantes:

- (1) Percepção da pessoa em relação ao objeto e todos os outros objetos relevantes;
- (2) Os valores pessoais e valores associados;
- (3) O contexto de avaliação. A percepção da pessoa é o que ela vê e entende sobre os objetos.

O ponto que ressaltamos a partir da afirmação feita por Brown é o seguinte: visto que as decisões envolvendo sistemas socioecológicos são complexas, o ‘*assigned value*’ de um decisor ou de um grupo pode ser modificada se a sua percepção sobre o problema for ampliada, como por exemplo, por meio de resultados oriundos de métodos computacionais de simulação, como a dinâmica de sistemas ou da interação desta última com modelos baseados em agentes.

A seguir será apresentada a metodologia de dinâmica de sistemas, seus fundamentos e princípios sistêmicos.

Capítulo 2 - Dinâmica de sistemas

A dinâmica de sistemas foi criada por Jay W. Forrester (FORRESTER, 1958) e desde o início foi utilizada no auxílio em resolver problemas práticos e complexos envolvendo sistemas sociais (FORRESTER, 1961; 1969;), socioecológicos (FORRESTER, 1971; MEADOWS *et al.* 1972), negócios e demais áreas sociais (STERMAN, 2000; RICHARDSON, 1991), e desde então as suas aplicações nas diversas áreas do conhecimento vem crescendo ano-a-ano, ver (<http://www.systemdynamics.org/>).

Entretanto, conforme aponta Richardson (2011, p.219), há aspectos fundamentais que merecem ser expostos e enfatizados referentes à essência da metodologia. O autor se refere ao ponto de vista endógeno (*endogenous point of view*), isto é, identificar as relações internas ao sistema que geram o seu comportamento.

Entender esse ponto é fundamental para obter melhores resultados ao utilizar essa metodologia, assim como, para identificar possíveis conexões com outras metodologias, como a avaliação multicritério de decisão. A seguir serão apresentados conceitos fundamentais que formam a base teórica para se construir os modelos de dinâmica de sistemas.

Segundo Forrester (1968, p. 1-1), sistema significa um agrupamento de partes que operam conjuntamente por um propósito comum. O referido autor classifica os sistemas em duas classes: sistemas abertos ou sistemas com *'feedback'*.

Em outro artigo, Forrester apresenta mais detalhes sobre os sistemas com *'feedback'* e denomina-os de sistemas causalmente fechados, isto é, sistemas que possuem relações de causa e efeito, responsáveis pelo comportamento do sistema. É importante entender que o sentido de *'closed systems'* no contexto de dinâmica de decisão, se refere a sistemas com *'feedback'* cujas relações internas geram o comportamento do sistema ao longo do tempo. O autor enfatiza também que sem compreender as causas endógenas ao sistema condicionantes os comportamentos indesejados não se podem passar dessas condições para condições melhores mais desejadas (FORRESTER, 1994, p.254)

Forrester (1968, p. 4-1) enfatiza que o foco da análise relativa à dinâmica de sistemas está nas interações dentro do sistema, decorrentes da sua estrutura, que produz diversos comportamentos ao longo do tempo, tais como, crescimento, flutuação, e demais mudanças.

Segundo o autor é grande a importância do entendimento das relações endógenas que geram o comportamento do sistema a ponto de se constituir um dos princípios sistêmicos (seção 2.1) e deve ser o passo inicial para a formulação de um modelo.

Conforme será mostrado na seção 3, existem dificuldades para realizar a fase inicial do processo de modelagem com dinâmica de sistemas. Da análise da literatura relacionada à conceitualização não se observou o uso da fase de estruturação com base no raciocínio focado em valores (seção 1.2.4). Dessa maneira, assume-se aqui que o raciocínio focado em valores, dentro do processo sociotécnico MACBETH, pode auxiliar na identificação dos componentes que sejam pertinentes ao sistema sob análise. Especificamente, a identificação do contexto de decisão e os objetivos fundamentais, pois, conforme Keeney (1992) somente se deve representar no modelo os objetivos fundamentais que permitam ser impactados por alternativas existentes dentro do contexto de decisão (ver caso do monóxido de carbono, seção 1.2.4).

Dentro do contexto do processo sociotécnico MACBETH, os pontos de referência neutro e bom também podem ser úteis para indicar na modelagem dinâmica de sistemas quais os valores que serão possíveis de encontrar, e se o resultado mostrar algo diferente é importante para checar se há que corrigir o modelo ou se há interações que não foram cogitadas, devendo assim pesquisar sobre o assunto.

Richardson (2011) ao ressaltar a importância de se identificar as causas endógenas expressa ser esse o fundamento da dinâmica de sistemas e do raciocínio sistêmico, também relata que o objetivo da dinâmica de sistemas é hipotetizar, testar e refinar as explicações endógenas que geram a mudança no sistema e para utilizar essas explicações para guiar políticas e a tomada de decisão é preciso entender quais são os procedimentos que a metodologia utiliza para alcançar tal objetivo. Tais procedimentos estão expressos na classificação das etapas de modelagem da dinâmica de sistemas.

Forrester (1992) apresenta o processo para se construir um modelo que represente o comportamento da dinâmica de um sistema qualquer (Figura 2.1). O processo é resumido nas seguintes etapas:

1. Informações cognitivas e escritas que servem de subsídios para definir o propósito do modelo (geralmente motivado por algum problema), bem como, para sua construção.

2. Aquisição de informações extras oriundas seja de séries temporais ou outras fontes da literatura, por exemplo.
 3. Todas as informações pertinentes e existentes são interpretadas à luz dos conceitos e princípios da teoria dos 'feedback loops' (seção 2.1) que irão gerar a estrutura do modelo.
 4. Os parâmetros são obtidos direta e individualmente da base de informação cognitiva, escrita e numérica. Os parâmetros devem possuir significado correspondente ao sistema da vida real que se está modelando e devem ser discutidos com as pessoas envolvidas na sua determinação.
 5. Uma vez determinados a estrutura, políticas e parâmetros é então gerada a primeira formulação do modelo a qual pode ser alterada ao comparar os resultados simulados com o comportamento do sistema real.
 6. A comparação dos comportamentos simulados e real revelarão discrepâncias que deverão ser avaliadas se o tempo e esforço a serem dispendidos justificam sua correção. As discrepâncias geram novas perspectivas a partir das quais se pode reavaliar a base de dados cognitiva, escrita e numérica, a fim de testar o efeito da mudança de parâmetros e/ou estrutura no comportamento do sistema simulado no sentido de verificar se ocorre melhor ajustamento ao comportamento dos dados reais.
 7. Após o modelo ser considerado satisfatório para seu propósito, ele pode ser usado para analisar políticas. Geralmente, altera-se uma política variando o valor de algum parâmetro na sua declaração e, então, uma nova simulação é feita, quando então se pode comparar o comportamento dessa mudança com o gerado pela antiga política e verificar qual desses comportamentos é mais desejável.
- (FORRESTER, 1992)

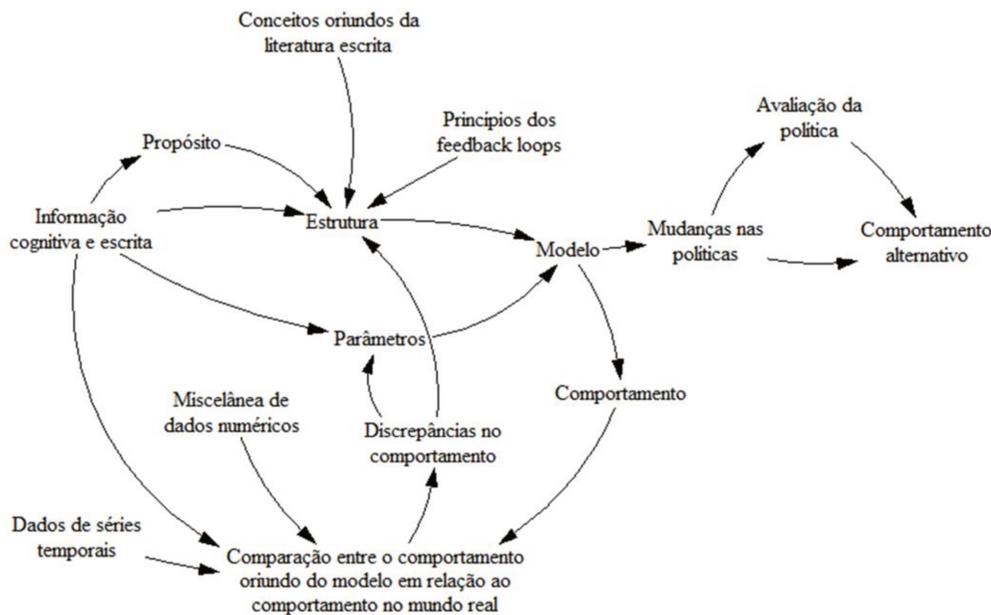


Figura 2.1 – Processo de criação de um modelo que represente a dinâmica de um sistema. Adaptado de FORRESTER (1992, p. 59)

O processo de construção de modelos para representar a dinâmica de um sistema proposto por FORRESTER tem correspondência com os apresentados por outros autores (RANDERS, 1980; ROBERTS *et al.* 1983; WOLTENHOLME, 1990; STERMAN, 2000), conforme se pode observar na Tabela 2.1.

De todas essas fases a mais importante é a conceituação, que reside em um desafio para os praticantes e estudiosos de dinâmica de sistemas. Esta fase consiste na análise dos dados qualitativos oriundos da base cognitiva e/ou escrita, visando entender o problema, assim como na seleção de quais variáveis deverão compor o modelo a ser criado. O termo foi originalmente proposto por Randers (1980) e é considerada a fase mais importante do processo de modelagem. No processo apresentado por Forrester (1992), a conceituação corresponde às etapas (1) e (2).

Randers aponta as principais características da fase de conceituação:

- Familiarização com o problema.
- Definição da questão a ser resolvida – ou, o que ocasionou determinado comportamento? Ou, quais são os efeitos prováveis de uma dada política?

- Descrição do horizonte de tempo de interesse (“the reference mode”) – definir o horizonte temporal.
- Descrição verbal dos ‘feedback loops’ que assume-se ter causado o ‘reference mode’ – definir o system boundary e o nível de agregação.

Tabela 2.1 – Diferentes propostas para explicar o processo de criação de modelos que representem a dinâmica de sistemas

RANDERS (1980)	RICHARDSON & PUG (1981)	ROBERTS et al. (1983)	WOLSTENHOLME (1990)	STERMAN (2000)
	Definição do problema	Definição do problema	Construção e análise de diagrama	Articulação do problema
Conceituação	Conceptualização do sistema	Conceptualização do sistema		Hipótese dinâmica
Formulação	Formulação do modelo	Representação do modelo		Formulação
Teste	Análise do comportamento do modelo	Comportamento do modelo	Fase da simulação (estágio 1)	Teste
	Avaliação do modelo	Avaliação do modelo		
	Análise das políticas	Análise de políticas e uso do modelo	Fase da simulação (estágio 2)	Formulação e avaliação de política
Implementação	Uso do modelo			

Fonte: Luna e Andersen (2002)

Vários autores buscaram auxiliar no aprimoramento da fase de conceituação, porém, ainda permanece uma área de pesquisa aberta para colaborações visando aprimorá-la. Nesse sentido, observa-se que os fundamentos da abordagem sociotécnica MACBETH podem ser úteis no aprimoramento da etapa de conceituação, especificamente a fase de estruturação baseada no raciocínio focado em valores (seção 1.2.4).

Segundo Luna-Reis (2003), pode-se encontrar duas vertentes com foco distintos para analisar a fase de conceituação. A primeira segue as ideias básicas propostas por Randers que é

buscar construir o modelo com foco no problema específico, ideia compartilhada por outros autores (RICHARDSON e PUGH, 1981; ROBERTS et al., 1983; SAEED, 1992; STERMAN, 2000) e a segunda busca auxiliar os atores envolvidos em um sistema a ter uma visão geral sobre a complexidade do mesmo, de forma similar à abordagem Soft System (WOLSTENHOLME, 1992).

Nesse trabalho, adota-se a visão expressa nos princípios sistêmicos propostos por FORRESTER (1968) e RICHARDSON (2011), sobre modelar o problema específico buscando analisar o sistema endogenamente, conforme discutido sobre os fundamentos da dinâmica de sistemas. Essa visão está expressa na forma de descrever o processo de modelagem proposta por Randers (1980) e demais autores que adotam a fase de conceituação descrita pelo autor.

Seguindo o processo de criação do modelo de dinâmica de sistemas citado por Forrester (1992) é importante discutir as diferentes bases de dados que a metodologia utiliza. O autor atribui grande importância à base de dados mental que é oriunda da observação, experiência das pessoas, ver Figura 2.2. Além disso, expressa claramente o papel decisivo que tal base cognitiva tem no processo de construção do modelo de dinâmica de sistemas.

A importância dos dados qualitativos como fonte de informação para a construção de modelos que visam representar a dinâmica de sistemas é corroborada por outros experts no tema (RANDERS, 1980; ROBERTS *et al.*, 1983; WOLSTENHOLME, 1990; STERMAN, 2000).

O processo sociotécnico MACBETH também partilha dessa afirmação (ver seção 1.2.4), na medida em que utiliza a abordagem de raciocínio focado em valores para explicitar os pontos de vistas fundamentais considerados relevantes dentro de um dado contexto de decisão a fim de auxiliar nas decisões.



Figura 2.2 – Bases de dados usadas para construção de modelos de dinâmica de sistemas. Adaptado de FORRESTER (1992)

Forrester (1992) ao analisar a confiança das informações oriundas da base de dados mental (cognitiva), mostra que para propósitos de construção de modelos, existem três classes de informações com diferentes níveis de confiança.

A primeira classe – informações sobre política e estrutura – pode ser usada diretamente para a construção dos modelos que representam a dinâmica de sistemas.

Forrester (1992) afirma que a segunda classe de informações - expectativas sobre o comportamento do sistema - não é confiável, pois, conforme já mencionara em outros trabalhos (FORRESTER, 1968; 1969) o raciocínio das pessoas é limitado e falham ao tentar antever a dinâmica de sistemas complexos.

Nesse sentido, tanto a análise de decisão quanto a dinâmica de sistemas partilham da idéia de que as heurísticas mentais podem levar a conclusões e a decisões equivocadas. Conforme mostrado na seção 1.1, o quarto pilar que compõe está relacionada à psicologia cognitiva (HOWARD, 2007).

A terceira categoria – comportamento observado do sistema real – é útil, pois se trata de informações sobre o comportamento passado do sistema atual.

Com relação ao processo de construção do modelo de dinâmica de sistemas, especificamente, na determinação dos parâmetros, Forrester (1992) afirma que se deve evitar o erro de não incorporar no modelo os parâmetros que não se tem dados disponíveis e afirma, também, que a análise de sensibilidade do modelo geralmente mostra que a escolha entre políticas alternativas provavelmente não são afetadas por mudanças nos parâmetros.

Ainda com relação às etapas 1 e 2, propostas por Forrester, vale ressaltar que vários esforços tem sido feitos para incorporar as informações qualitativas na construção do modelo. Luna e Andersen (2002) apresentam várias contribuições oriundas das pesquisas na área de ciências sociais que utilizam métodos para trabalhar com informações qualitativas, tais como entrevistas, grupos de foco, aplicação método Delphi em grupos, métodos de observação, observação participante. Tais métodos apresentados pelos autores servem para aumentar o conhecimento sobre um problema particular, porém, é necessário converter essas informações no formato do modelo de dinâmica de sistemas. Os autores apresentam sinteticamente vários métodos que podem vir a auxiliar nesse processo de converter as informações qualitativas no formato dos modelos dinâmicos de sistemas. A síntese desses métodos é apresentada na Tabela 2.2.

Diante da análise da literatura sobre esse tema, constata-se que a abordagem de raciocínio focada em valores não foi utilizada para identificar quais elementos devem ser incorporados no modelo. Nesse sentido, acredita-se que sua incorporação pode contribuir para a identificação das partes que comporão o modelo, bem como, identificar quais alternativas podem ser criadas, além das pré-existentes, caso haja alguma.

Para construir o elo de ligação entre a dinâmica de sistemas e o processo sociotécnico MACBETH apresenta-se a seguir os princípios sistêmicos criados por Forrester (1968). A partir desses princípios, também, se podem encontrar os pontos de ligação com o modelo baseado em agentes.

Tabela 2.2 – Métodos qualitativos e seu uso durante o processo de modelagem. Fonte: LUNA e ANDERSEN (2002)

Fases no processo de modelagem		Métodos qualitativos com potencial utilização
Conceptualização	Definição do problema	Técnicas que podem ser usadas para a identificação do problema e elaboração de hipótese sobre a dinâmica do sistema. <ul style="list-style-type: none"> • Entrevistas • História oral • Grupo de foco • Observação • Hermenêutica • Análise de discurso • Análise de conteúdo
	Conceptualização do sistema	
Formulação	Formulação do modelo	<ul style="list-style-type: none"> • Entrevistas (elicitar políticas e parâmetros com indivíduos) • Grupo de foco e Delphi (elicitar políticas e parâmetros com indivíduos) • Participação em grupo (observando as políticas e registrando dados para estimar parâmetros) • Teoria fundamentada (criando a estrutura e documentação do modelo) • Análise de conteúdo (Estimando parâmetros) • Modelos de decisão etnográficos (identificando políticas)
Teste do modelo	Análise do comportamento do modelo	Ferramentas para obter julgamento de experts sobre a estrutura e comportamento do modelo. <ul style="list-style-type: none"> • Entrevistas • Grupo de foco • Grupo Delphi • Abordagens experimentais • Teoria fundamentada
	Avaliação do modelo	
Implementação	Análise de políticas	Ferramentas para criar histórias para comunicar os resultados do modelo. <ul style="list-style-type: none"> • História oral • Teoria fundamentada
	Uso do modelo	Ferramentas para gerar discussão entre os atores sobre o problema <ul style="list-style-type: none"> • Grupo Delphi • Grupo de foco Teste para testar políticas <ul style="list-style-type: none"> • Abordagens experimentais

2.1. Princípios sistêmicos

Forrester (1968) em sua obra “*System principles*” apresenta quinze princípios sistêmicos fundamentais que compõe a estrutura do conhecimento da dinâmica dos sistemas. O

entendimento desses princípios é essencial para avançar no aprimoramento da metodologia dinâmica de sistemas e como unir outras metodologias para suprir algumas deficiências. Tais princípios serão apresentados a seguir junto com informações relevantes sobre o assunto oriunda da literatura relacionada.

Princípio 1 – Modelos abstratos

Forrester afirma que os modelos de simulação matemática pertencem a uma ampla classe de modelos abstratos, os quais incluem imagens mentais, descrições literárias, regras comportamentais para jogos e códigos legais; enfatiza que a mente humana é bem adaptada para construir modelos que relacionam objetos no espaço, associar palavras e idéias, porém, quando confrontada com os modernos sistemas sociais e tecnológicos, não é adequada para construir e interpretar modelos dinâmicos que representam mudanças de sistemas complexos ao longo do tempo. (FORRESTER, 1968, p.3-2)

Princípio 2 – A validade do modelo

A utilidade de um modelo de simulação matemática deveria ser julgada em comparação com a imagem mental ou outro modelo abstrato que poderia ter sido usado ao invés do modelo de simulação.

Forrester afirma que na medida em que criamos modelos que representam o comportamento das pessoas, suas decisões e reações às pressões de seus ambientes, é bom manter na memória a idéia da utilidade relativa do modelo.

Princípio 3 – Soluções por simulação.

A maioria dos comportamentos dinâmicos nos sistemas sociais somente podem ser representados por modelos que são não lineares e complexos, de modo que é impossível a solução matemática analítica. Aqui reside a importância dos modelos de simulação. (ibid., p. 3-6)

Princípio 4 – Closed boundary

Esse tema foi discutido ao tratar dos fundamentos da dinâmica de sistemas. Um sistema ‘feedback’ é um sistema fechado (closed system), no sentido de que o seu comportamento é decorrente de sua estrutura interna, e cabe ao analista identificar quais são as

variáveis que compõe essa estrutura interna, cujas relações geram o comportamento do sistema. Trata-se da fase de conceituação, descrita no capítulo 2. Conforme já mencionado, a abordagem do raciocínio focado em valores pode auxiliar na delimitação das fronteiras do sistema, uma vez que a fase de conceituação visa encontrar as variáveis que são pertinentes para se analisar um problema, e a fonte principal de informações é oriunda da base de dados cognitiva, ao se empregar o procedimento de enquadramento do problema (definindo o contexto de decisão e os valores que são pertinentes), isso permite encontrar as variáveis que irão compor o problema.

Princípio 5 – “Feedback loop”: o elemento estrutural dos sistemas.

Intrinsicamente relacionado à estrutura interna de um sistema está o conceito de ‘feedback loop’ que é o elemento básico e fundamental no entendimento de como a estrutura interna gera o comportamento do sistema.

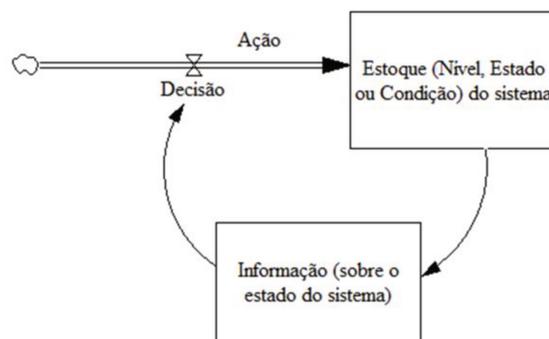


Figura 2.4 - Feedback loop. Adaptado Forrester (1968)

Os ‘feedback loops’ são as estruturas organizadoras sobre as quais os modelos de dinâmica de sistemas são construídos. Um problema é identificado, uma ação é proposta, com a expectativa de se obter um resultado, o qual geralmente não ocorre, fazendo com que haja nova ação e novo resultado, que pode estar convergindo ou não para solução do problema. Essa é a idéia básica do ‘feedback loop’, expressa na Figura 2.4.

Forrester (1992), cita que os comportamentos dos sistemas são gerados pelas relações expressas pelos ‘feedback loops’ e que as soluções, ações não são dadas isoladamente em uma relação linear de causa-efeito, mas sim dentro de uma estrutura circular e interligada de relações de ‘feedback loops’. Nessa estrutura, uma ação pode induzir não somente correção do sistema, mas, também flutuação e outros comportamentos.

Princípio 6 – As decisões são realizadas dentro dos ‘feedback loops’.

Esse princípio é decorrente do princípio anterior. Por meio desse princípio é que se acredita ser o ponto para conectar com o processo sociotécnico MACBETH. No processo de avaliação multicritério, as alternativas são avaliadas, ou seja, qual o impacto que terão nos diversos critérios (e que representam o estado do sistema e é o equivalente ao estoque, ver princípio 7). Assim, o enquadramento do problema de decisão visa identificar os pontos de vistas fundamentais, e esses constituem os estoques na metodologia dinâmica de sistemas. Ao explicitar os descritores de impacto para os critérios já se está auxiliando a encontrar os níveis de referencias que os resultados dos modelos de simulação poderão estar oscilando, caso os pontos estejam corretos.

O ‘feedback loop’ representa o processo de ‘decisão’, entendendo por processo de decisão o controle de alguma ação no sistema. A decisão ocorre com base em alguma informação disponível e controla uma ação que influencia o estado do sistema que, por sua vez, irá gerar nova informação, a qual pode ou não modificar o curso da decisão (FORRESTER, 1968, p.4-4).

Para Forrester (1992) o processo de tomada de decisão é composto por três partes: a formulação de um conjunto de conceitos indicando as condições desejadas; a observação do que aparenta ser a condição atual do sistema; geração de ações corretivas para trazer as condições aparentes em direção às condições desejadas. O modelo de simulação irá gerar resultados que estimam tais condições reais das variáveis importantes. O problema é que tais condições não estão disponíveis para as pessoas no sistema real devido a defasagens temporais, por exemplo, o resultado do PIB só é conhecido após um determinado tempo. Assim, as ações corretivas se baseiam em informações distorcidas e defasadas temporalmente, no sentido de serem estimativas das variáveis chaves no sistema.

O autor esclarece que tomada de decisão é o processo de converter informação em ação, processo que é controlado por várias políticas (policies) explícitas e implícitas através das quais as informações são interpretadas. Dentro do contexto de tomada de decisão para Forrester ‘*management*’ é o processo de converter informação em ação, e seu sucesso depende de qual informação é escolhida e como a conversão é executada. Segundo o autor no paradigma da dinâmica de sistemas o ‘*manager*’ é visto como conversor de informação em ação física.

Princípio 7 – Estoques e fluxos são as subestruturas do ‘feedback loop’.

Há dois tipos fundamentais de variáveis dentro de cada ‘feedback loop’ – os estoques, também chamados de níveis (*level*) e os fluxos (*rates*). Os fluxos podem ser de entrada no estoque e/ou saída do mesmo. A variável estoque descreve a condição do sistema em um dado instante no tempo. (ibid., p.4-5)

Após identificar um problema, se deve descrever inicialmente o estado atual das variáveis que é alvo de preocupação e que se deve alterar para uma situação melhor. Por exemplo, considerar para efeitos didáticos a situação hipotética. Há a necessidade de recuperar as matas ciliares de uma bacia hidrográfica. O objeto alvo são as matas ciliares que hoje se apresentam em área igual a 900 hectares, sendo que por lei deveriam ser igual a 2000 hectares. O estoque, nesse exemplo é a área de mata ciliar existente, medida em hectares.

Por outro lado, as variáveis fluxos (ações) são bastante distintas das variáveis estoques, pois informam a estas últimas quão rápido elas se modificam. Elas não determinam o valor presente das variáveis estoque, mas, sim, determinam a modificação dos estoques por unidade de tempo. As variáveis fluxos são definidas pelas ‘equações de fluxos’ e constituem a declaração da política que descreve a ação no sistema, isto é, as equações de fluxo ditam a ação em um ponto de decisão em função das informações fornecidas. O cálculo dos valores das variáveis fluxos depende dos valores das variáveis estoques e constantes. As variáveis fluxos independem de seu valor passado, independem do intervalo de tempo entre os cálculos e de outras variáveis fluxo. (ibid., p.4-5)

Ainda utilizando a situação hipotética da mata ciliar mencionada acima, considere que o horizonte de tempo para se reverter a situação atual para a situação desejada seja de 48 meses, e que o monitoramento sobre o estado da mata ciliar seja feito mensalmente. Nesse caso, a variável fluxo deve expressar o quanto está variando a área de mata ciliar por mês. Supor que sejam plantadas constantemente 1 hectare por mês, então esse será o valor do fluxo de entrada no estoque.

Segundo o princípio 6, as decisões ocorrem dentro dos ‘feedback loops’, e são decorrentes das políticas. As políticas por sua vez são declarações que relacionam as informações para conduzir ações a fim de alterar o estado do sistema. Nesse sentido, o estado do sistema é

representado pelo estoque e as políticas são expressas pelos fluxos. Os fluxos são uma representação algébrica dessas políticas e os valores dependem somente dos valores dos estoques e constantes (princípio 12). A representação algébrica da política, o fluxo, é expressa por variáveis auxiliares que podem ser constantes, ou não. Tais variáveis formam a subestrutura do fluxo e são elas: meta, observação do estado do sistema, e ação (princípio 15), Figura 2.5.

Um exemplo de representação da equação do fluxo qualitativamente pode ser como a seguinte expressão.

Fluxo = se a condição observada estiver longe da meta causará grande discrepância então se deve adotar tal ação corretiva.

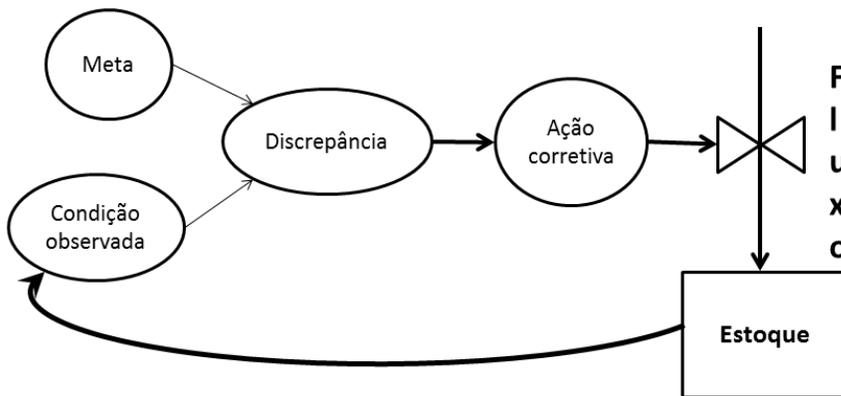


Figura 2.5 – Componentes que representam uma política

Princípio 8 – Estoques são integrações.

As variáveis estoques são representadas por equações de estoque e acumulam resultados das ações dentro do sistema (ações que resultaram de decisões passadas). O computo de um novo valor da variável estoque envolve: o seu valor prévio; os fluxos (ações) que causam mudanças no estoque, e o intervalo de tempo desde o computo anterior. O cálculo da nova variável estoque não envolve os valores de outras variáveis desse mesmo tipo. As variáveis estoques acumulam os fluxos descritos pelas variáveis fluxo. A equação do estoque realiza o processo de integração. (FORRESTER, 1968, p. 4-5)

Princípio 9 – Os estoques são alterados somente por variáveis fluxos.

O valor da variável estoque é calculado pela alteração causada pelas variáveis fluxos, que modificam o valor prévio do estoque. (FORRESTER, 1968, p. 4-7)

Princípio 10 – Os estoques e os fluxos não são diferenciáveis pelas unidade de medida.

A identificação deve ser reconhecida pela diferença entre uma variável criada por integração e uma que é uma declaração de política no sistema. Os fluxos são variáveis de ação que cessam quando a ação é interrompida. Os estoques são os acúmulos dos efeitos das ações passadas e continuam a existir e ser observados mesmo se inexistente atividade no presente. (FORRESTER, 1968, p. 4-8)

Princípio 11 – As variáveis fluxos não são mensuradas instantaneamente.

Nenhuma variação no fluxo pode ser medida instantaneamente, e sim como a média de um período de tempo. Nenhum fluxo pode, em princípio, controlar outro fluxo sem uma variável estoque interveniente. (FORRESTER, 1968, p. 4-9)

Princípio 12 – Os valores das variáveis fluxos dependem somente dos estoques e das constantes.

O valor de uma variável fluxo depende somente de constantes (também chamadas de variáveis auxiliares) e do valor presente da variável estoque. Nenhuma variável fluxo depende diretamente de qualquer outra variável fluxo. As equações de fluxo (políticas) de um sistema são somente uma representação algébrica de uma ação; não dependem de seu valor passado. (ibid., p.4-10)

Quando Forrester escreveu esses princípios a modelagem baseada em agentes (ABM) não era desenvolvida como nos dias atuais. Hoje, sabe-se que uma das formas de integrar a dinâmica de sistemas com ABM, se dá pela alimentação dos resultados dos comportamentos dos agentes. Conforme será mostrado em estudo de caso (seção 7) e análise da literatura, as variáveis fluxos podem ser influenciadas pelos resultados de decisões dos agentes.

Princípio 13 – As variáveis estoques e de fluxos devem alternar.

Qualquer caminho ao longo da estrutura de um sistema encontra variáveis estoques e de fluxo alternadas. Um fluxo determina quão rápido o estoque de um sistema está mudando, porém, o valor do fluxo presente não determina o valor do estoque atual, pois este último resulta do acúmulo oriundo dos fluxos de entrada e saída no passado. A variável estoque no sistema traz a continuidade do sistema a partir do passado para o presente. O estoque contém toda a história disponível sobre o sistema. Se os estoques são conhecidos, os fluxos podem ser determinados. Segue que os estoques determinam a condição do sistema. O modelo de um sistema deve conter um estoque para cada quantidade necessária para descrever a condição atual do sistema. (FORRESTER, 1968, p. 4-11)

Princípio 14 – Os estoques descrevem completamente a condição do sistema.

Somente os valores das variáveis estoques são necessários para descrever completamente a condição de um sistema. O início de uma simulação deve começar a partir de alguma condição específica do sistema. (FORRESTER, 1968, p. 4-12)

Princípio 15 – Meta, observação, discrepância, e ação – subestruturas do fluxo.

O significado associado a uma equação de fluxo é uma declaração de política (policy statement), em outras palavras, a equação de fluxo informa como a ação é gerada. ‘Equação de fluxo’ e ‘política’ são usadas com o mesmo significado. Uma política descreve como a informação disponível é usada para gerar decisões. ‘Fluxo de decisão’ e ‘fluxo de ação’ são equivalentes porque a decisão e a ação são uma e a mesma. A política, ou equação de fluxo, nos informa como calcular o fluxo tendo como base de informação os valores dos estoques e das constantes.

Uma política ou equação de fluxo reconhece uma meta local para a qual a decisão pontual converge, compara a meta com a condição aparente do sistema para detectar alguma discrepância, e usa a discrepância para guiar a ação (Figura 2.5). (FORRESTER, 1968, p. 4-14)

Conforme mencionado com relação ao princípio 12, as variáveis fluxos podem ser alimentadas pelos resultados dos agentes. E o mesmo vale para esse princípio em que a estrutura

apresentada contendo meta, condição observada do sistema, discrepância e ação reativa à discrepância, podem ser modelada pelos modelos baseados em agentes.

Em resumo, há quatro conceitos encontrados dentro de uma equação de fluxo (isto é, de uma declaração de política):

1. Uma meta.
2. Uma condição observada do sistema.
3. Uma forma de expressar a discrepância entre a meta e a condição observada.
4. Uma declaração de como a ação deve ser feita com base na discrepância.

Na seção seguinte serão apresentadas informações referentes aos modelos baseados em agentes.

Capítulo 3. Modelos baseados em agentes

No contexto de modelo baseado em agentes (ABM) (do inglês *Agent Based Model*), o termo agente designa uma construção abstrata de algo que se deseja modelar computacionalmente. É um conceito distinto do ‘agente’ utilizado no contexto da análise multicritério em que agentes podem ser os próprios decisores.

Segundo Abdou *et al.* (2012) um modelo baseado em agentes é um método computacional que permite ao pesquisador criar, analisar, e experimentar modelos compostos por agentes que interagem dentro de um ambiente. Nesse contexto, o método computacional representa um determinado processo que supostamente existe no mundo social. Por exemplo, se pode construir um modelo para estudar como amigos (agentes) influenciam uns aos outros nas escolhas de coisas para comprar. Tais processos não são facilmente representados usando equações matemáticas, porque o que um agente irá comprar influenciará a compra de outro amigo, e o que o amigo irá comprar influenciará a compra do primeiro agente. Esse tipo de mútua sinergia é relativamente fácil de modelar usando modelo baseado em agentes.

Os agentes são partes distintas de um programa que representa atores sociais (por exemplo, pessoas, organizações como partidos políticos, ou até mesmo nações estado), ou outros (animas, vegetais, por exemplo). São programados para reagir ao ambiente computacional no qual estão inseridos, onde o ambiente é uma representação (modelo) do ambiente real no qual os atores sociais operam. Podem incluir agentes passivos, como paisagens geográficas, estradas para os agentes viajarem, recursos para fornecer energia ou comida a outros agentes; podem representar espaços geográficos, como áreas residenciais, entre outros (ABDOU *et al.*, 2012). Para maiores detalhes (MACAL; NORTH, 2005).

Segundo os autores, o paradigma vigente nessa metodologia é que a complexidade do sistema emerge das interações entre os agentes. Segundo Macal e North (2005) inexiste um consenso relacionado à definição de agente, e tampouco, uma classificação quanto a seus usos. Segundo Tweedale *et al.* (2007) há várias aplicações dos agentes que torna-se difícil criar uma classificação. Entretanto, há características que os agentes possuem e que são compartilhadas entre os pesquisadores (WOOLDRIDGE; JENNINGS, 1995; MACAL; NORTH, 2006; CROOKS; HEPPESTALL, 2012), descritas a seguir:

- **Autonomia:** agentes são unidades autônomas (ou seja, governados sem a influência de controle centralizado), capazes de processar informações e trocar informações com outros agentes a fim de tomar decisões independentes. Eles são livres para interagir com outros agentes, pelo menos durante um número limitado de situações, e isso não (necessariamente) afeta a sua autonomia.
- **Heterogeneidade:** agentes permitem o desenvolvimento de indivíduos autônomos, por exemplo, um agente que representa um ser humano pode ter atributos como idade, sexo, emprego, etc.
- **Ativos:** agentes são ativos porque eles exercem influência independente em uma simulação. Os seguintes recursos ativos podem ser identificados:
 - Pró-ativos/orientados por metas: agentes muitas vezes considerados são dirigidos por metas, isto é, com metas a atingir (não necessariamente o de maximizar objetivos) em relação aos seus comportamentos.
 - Reativo/perceptivo: os agentes podem ser projetados para ter uma percepção ou sensação de seus arredores. Aos agentes também podem ser fornecidos conhecimentos prévios, por exemplo, um "mapa mental" de seu ambiente, proporcionando-lhes uma consciência de outras entidades, os obstáculos, ou destinos necessários dentro de seu ambiente.
 - Racionalidade limitada: ao longo das ciências sociais, a forma dominante da modelagem é baseada no paradigma da escolha racional (AXELROD, 2007). Modelos de escolha racional geralmente assumem que os agentes são perfeitamente racionais, otimizadores, com acesso irrestrito a previsão de informação, e capacidade analítica infinita (PARKER *et al.*, 2003). No entanto, os agentes podem ser configurados com racionalidade "limitada" (por meio de sua heterogeneidade). Isso permite que os agentes façam escolhas indutivas, discretas, e adaptáveis a fim de alcançarem suas metas.
 - Interativo/Comunicativo: os agentes têm a capacidade de se comunicar amplamente. Por exemplo, os agentes podem consultar outros agentes e/ou o ambiente dentro de uma determinada vizinhança.
 - Mobilidade: agentes podem "andar" no espaço dentro de um modelo. Justapostos com a capacidade de um agente de interagir e sua inteligência, o

que permite uma vasta gama de usos potenciais. No entanto, os agentes podem também ser fixos.

- Adaptação/Aprendizagem: os agentes podem também ser projetados para serem adaptáveis, produzindo sistemas adaptativos complexos. Os agentes podem ser projetados para alterar seu estado dependendo de estados anteriores, permitindo-lhes se adaptarem por meio de uma forma de memória ou aprendizagem. Os agentes podem adaptar-se individualmente (por exemplo, a aprendizagem altera a distribuição de probabilidade de regras que competem por atenção), ou em grupo (por exemplo, a aprendizagem altera a distribuição de frequência de agentes concorrentes para a reprodução).

As interações entre os agentes baseiam-se em regras. Conforme citam Crooks e Heppenstall (2012) as regras são baseadas tipicamente em torno de declarações do tipo "*if-else*" com os agentes executando uma ação, uma vez por condição especificada for satisfeita. Contudo, as regras também podem ser executadas independentemente das ações de outros agentes. Os agentes também podem ser encaixados com uma noção de aprendizagem e, portanto, a "inteligência" por meio de computação evolutiva. Mais recentemente tem havido um movimento no sentido de integrar os quadros de comportamento dentro de agente baseadas em modelos para representar melhor o comportamento humano. Por exemplo, Malleson *et al.* (2010) usou o quadro PECS (condições físicas, estados emocionais, capacidades cognitivas e status social) para representar as motivações e desejos dos criminosos. Este tipo de trabalho marca uma mudança para um tratamento mais sofisticado do comportamento do agente.

3.1. Desenvolvendo modelos baseados em agentes

Abdou *et al.* (2012) definem os seguintes passos:

- **Identificação da questão de pesquisa** – é essencial definir precisamente a questão (questões) de pesquisa logo no estágio inicial. Segundo os autores as típicas questões de pesquisa em que os ABM são utilizados explicam como as regularidades observadas no nível macro da sociedade emerge de interações de indivíduos (agentes) no nível micro.

- **Revisão da literatura relevante** – identificar a teoria subjacente na construção dos ABM. A revisão da literatura relacionada à questão de pesquisa é útil nessa etapa para identificar os fatores que são relevantes no modelo. Todos os ABM são construídos em base a suposições (usualmente no nível micro). Tais suposições necessitam ser claramente articuladas, respaldadas por teorias existentes e justificadas por informações disponíveis.
- **Delineamento do modelo** – essa etapa envolve a especificação dos agentes que serão envolvidos no modelo e o ambiente no qual irão agir. Para cada tipo de agente os atributos e regras de comportamento precisam ser especificados. Um atributo é uma característica do agente, e é ou algo que auxilia a diferenciá-lo de outros agentes no modelo e que não se altera, ou algo que se altera conforme ocorre a simulação. O comportamento do agente em várias circunstâncias também necessita ser especificado, frequentemente com um conjunto de regras que especificam condições e reações. A especificação pode ser de duas formas: (1) uma que mostra todas as diferentes maneiras nas quais o ambiente (incluindo outros agentes) pode afetar o agente, e (2) outra que mostra todas as formas nas quais o agente pode afetar o ambiente (novamente, incluindo outros agentes).
- **Implementação do modelo:** consiste em converter o delineamento em um programa de computador. A maioria dos ABM envolvem dois procedimentos principais:
 - Procedimento de configuração: esse inicializa a simulação (e chamado, também, de procedimento de inicialização). Especifica o estado do modelo no início da simulação e é executado uma vez no início. Essa parte do programa poderia, por exemplo, estabelecer o layout do ambiente e especificar os atributos iniciais dos agentes (por exemplo, sua posição, idade, condição financeira etc.).
 - Procedimento dinâmico: esse procedimento é executado repetidamente a fim de executar a simulação. Ele estimula os agentes a interagir com o ambiente e outros agentes de acordo com as regras de comportamento. Nessa fase, uma decisão importante é decidir escrever o programa computacional (usando uma linguagem como C++ ou Java, C#, ou Visual Basic) ou usar um software já desenvolvido

para auxiliar no desenvolvimento de simulações (MATLAB, ANYLOGIC, REPAST, NETLOGO).

- **Verificação e validação:** segundo Balci (1994), é comum cometer erros ao se escrever programas de computadores. O processo de checagem se o programa faz o que era planejado que fizesse é conhecido por ‘verificação’. No caso da simulação, as dificuldades de verificação são compostas pelo fato de que algumas simulações incluem geradores de números aleatórios, o que significa que a cada simulação são número aleatórios distintos e que é só a distribuição de resultados a qual pode ser antecipada pela teoria. É essencial fazer o ‘debug’ da simulação cuidadosamente, usando um conjunto de dados para teste, talvez situações extremas em que os resultados sejam facilmente previsíveis. Enquanto a verificação se ocupa em saber se o programa está operando conforme as expectativas do pesquisador, a validação se ocupa se a simulação é um bom modelo do sistema real, o objeto alvo de estudo. Um modelo, o qual possa ser considerado refletir o comportamento do objeto alvo é ‘válido’. Uma maneira comum de validar um modelo é comparar o resultado da simulação com dados reais. Quando os resultados da simulação não tem correspondência com os dados reais o pesquisador deve decidir quanta diferença entre ambos é aceitável para o modelo ser considerado válido (usando um teste estatístico, por exemplo).

3.2 Protocolo ODD de delineamento e comunicação de modelos baseados em agentes

Vários pesquisadores defendem a idéia de que os modelos baseados em agentes sejam construídos de forma que os leitores externos, isto é, as pessoas que não o desenvolveram, possam entender claramente sua estrutura e funcionamento (GRIMM *et al.*, 2010; RAILSBACK, 2001). Durante a década do ano 2000 várias publicações apontavam a necessidade de mais transparência, entendimento por parte dos modeladores que operavam com agentes, visando com isso aumentar a capacidade de reprodução dos modelos e testar sua performance em situações similares (RAILSBACK, 2001; GRIMM; RAILSBACK, 2005).

Especificamente essa discussão ocorreu com mais intensidade nas pesquisas ecológicas e culminou na apresentação de um protocolo denominado ODD (do inglês, *Overview*,

Design concepts, Details), o qual surgiu inicialmente com Railsback (2001), sendo detalhado e aprimorado por outros pesquisadores (GRIMM *et al.*, 2006; GRIMM; RAILSBACK, 2005; GRIMM *et al.*, 2010).

Tabela 3.1 – Protocolo ODD. Adaptado de GRIMM *et al.* (2010)

ODD	Elemento do protocolo ODD	Questões a serem respondidas
	Objetivo	Qual é o propósito do modelo?
Overview	Agentes, variáveis estado, escala Overview do processo e ordem de execução	Que tipo de agentes o modelo contém? Por quais variáveis estados, ou atributos, tais elementos são caracterizados? Qual a resolução espacial e temporal do modelo? O que fazem os agentes do modelo e em que ordem? A variável tempo é modelada discreta ou continuamente?
Design concepts	Design concepts	Existem dez design concepts que serão apresentados no original, em inglês: emergence; adaptation; objectives; learning; prediction; sensing; interaction; stochasticity; collectives; observation (detalhes na seção 3.2.1). Quais desses o modelo incorpora?
Detalhes	Inicialização Dados de entrada Submodelos	Qual é o estado inicial do modelo, $t=0$? Quais dados de entrada o modelo utiliza? Há submodelos, quais são os seus detalhes, isto é, parâmetros, dimensões, valores de referencias? Como os submodelos foram delineados ou escolhidos, testados?

O objetivo do protocolo ODD é apresentar inicialmente a visão geral da estrutura e processos no modelo ABM, seguido de detalhes referente ao processo inerente ao ABM. Esse protocolo visa facilitar o entendimento da estrutura do ABM, bem como, na comunicação com demais pesquisadores.

O protocolo ODD possui sete elementos, descritos na Tabela 3.1. Especificamente o elemento ‘design concepts’ é apresentado na seção 3.2.1. A referida tabela compila informações apresentadas em Grimm *et al.* (2010).

3.2.1. Descrição dos ‘*design concepts*’

Conforme citado na Tabela 3.1, o protocolo ODD possui dez ‘design concepts’: emergence; adaptation; objectives; ‘learning’; ‘prediction’; ‘sensing’; ‘interaction’; ‘stochasticity’; ‘collectives’; ‘observation’. A descrição dos mesmos dez ‘design concepts’ é adaptada de GRIMM *et al.* (2006; 2010):

- ‘Emergence’: quais os resultados do modelo ABM resultam do comportamento adaptativo emergente de seus agentes?
- ‘Adaptation’: quais são as regras que os agentes possuem para alterar o seu comportamento em resposta eles mesmos ou seu ambiente?
- ‘Objectives’: se o comportamento adaptativo é representado para atingir algum objetivo, qual é o objetivo e como é medido?
- ‘Learning’: os agentes alteram seu comportamento adaptativo ao longo do tempo como consequência de suas experiências? Como?
- ‘Prediction’: há modelos que são usados pelos agentes para estimar condições futuras ou consequências oriundas de suas decisões?
- ‘Sensing’: que informações os agentes consideram em suas decisões adaptativas? A forma como os agentes obtêm informações são modeladas explicitamente ou assume-se que os agentes as ‘conhecem’?
- ‘Interaction’: que tipo de interações entre os agentes contém o modelo? Como os agentes interagem com seu ambiente?
- ‘Stochasticity’: que processos são modelados assumindo que são total ou parcialmente aleatórios? Qual a razão de se usar a ‘stochasticity’?

- ‘Collectives’: há alguma agregação de agentes que afetam, ou são afetados, por agentes? Tais ‘collectives’ são representados como propriedades emergentes dos agentes?
- ‘Observation’: quais dados e padrões devem ser observados a partir do ABM para teste, compreensão, análise, e como são coletados?

Pretende-se utilizar o protocolo ODD para a construção do ABM referente ao caso de Machadinho d’Oeste. A utilização desse protocolo em pesquisas relacionadas a sistemas socioecológicos ainda é insipiente (BERT *et al.*, 2011; POLHILL *et al.*, 2008).

Capítulo 4. Multimetodologia

A arte de combinar um método, total ou de modo parcial, com diferentes metodologias oriundas de paradigmas distintos, vem sendo desenvolvida como um campo do conhecimento denominado multimetodologia (MINGERS; BROCKLESBY, 1997). A multimetodologia não é uma panacéia e é preciso analisar cuidadosamente as suposições que integram cada metodologia individualmente e identificar os pontos em que podem interagir (TOBIAS; JOST, 2006).

Mingers (2009) afirma que metodologias adotam suposições explícitas ou implícitas sobre a natureza do mundo e do conhecimento. A combinação dessas suposições é denominada de paradigma, e paradigma é um constructo que especifica um conjunto mais geral de suposições filosóficas abrangendo, ontologia (o que se assume existir), epistemologia (a natureza do conhecimento válido) e ética (o que é valorizado ou considerado certo). De forma simples, Mingers, afirma que a metodologia especifica o que fazer, um paradigma define porque deveria ser feito, e um método fornece uma forma particular de se fazer.

Segundo o autor a multimetodologia parte da idéia de diferentes paradigmas para enfatizar o desejo de combinar metodologias com suposições distintas, mas, que podem ir além aos limites dos paradigmas nas quais foram concebidas. Ao se adotar uma maneira de enxergar o mundo é como vê-lo sob a ótica de um instrumento particular, como raio-X, microscópio, telescópio, por exemplo. Cada instrumento proporcionará uma visão particular sobre diferentes aspectos do mundo, porém, devido às suas especificidades não irá captar outros aspectos. Assim, ao se adotar um único paradigma se está inevitavelmente obtendo somente uma visão limitada de uma situação particular sobre o mundo real.

Nesse sentido, justifica-se a existência da multimetodologia e o autor cita três argumentos em favor desta. O primeiro é que as situações problemas no mundo real são inevitavelmente multidimensionais, isto é, envolvem aspectos físicos ou materiais, sociais, políticos e pessoais em diferentes proporções. Diferentes abordagens focam atenção em diferentes aspectos da situação problema e a multimetodologia é necessária para tratar efetivamente com a riqueza do mundo real, principalmente quando se trata de problemas complexos. O segundo argumento é que uma intervenção não é um evento discreto único, mas é um processo que tipicamente se desenvolve através de várias fases, cada uma delas com tarefas e

problemas diferentes ao interventor. Nesse sentido, algumas metodologias tendem a ser mais úteis em algumas fases do que em outras. O terceiro argumento é que ao se combinar diferentes métodos, se pode obter novos insights sobre o problema.

Mingers utiliza o arcabouço desenvolvido por Habermas (1984; 1987) para explicar mais claramente as principais dimensões de uma situação problemática. O arcabouço teórico é conhecido pelos três mundos de Habermas (Figura 4.1). Esse arcabouço sugere ser útil distinguir as relações e intervenções em três mundos – (a) mundo material; (b) mundo social; (c) mundo pessoal.

Habermas segundo Mingers cita que o mundo material ou físico é independente do ser humano, pois sempre existiu antes do ser humano e existirá com ou sem ele. Podemos moldá-lo via nossas ações, mas em essência estamos sujeitos às suas leis naturais. Nossa relação com o mundo é de observação mais do que participação ou experiência, de modo que devemos estar cientes das limitações sobre as observações que fazemos do mundo real. Tais observações dependem de teorias e crenças que possuímos e dos instrumentos de medidas e processos de coleta de dados que empregamos. Pode-se caracterizar o mundo material como objetivo no sentido que é independente do observador, apesar do fato que nossas observações e descrições não são independentes.

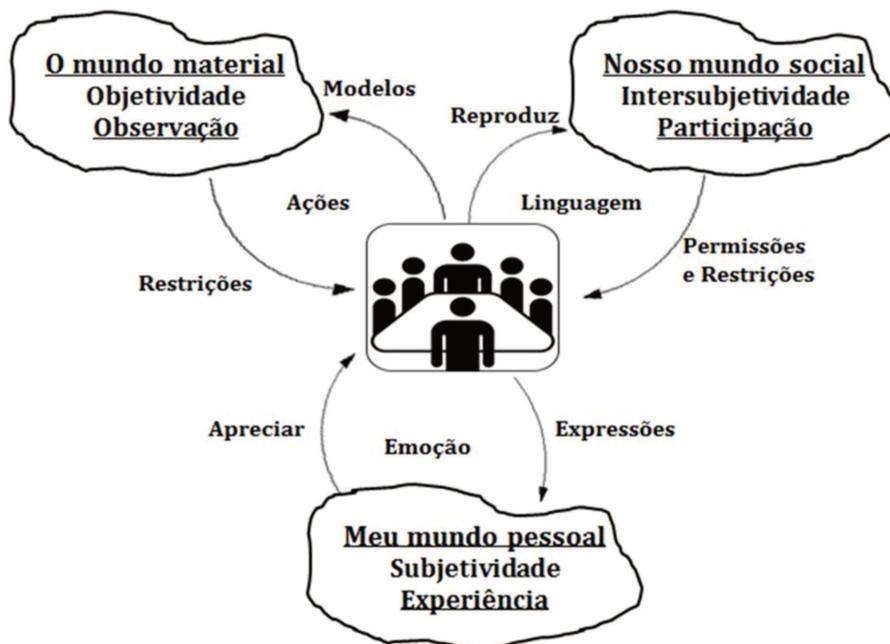


Figura 4.1 – Três mundos de Habermas Fonte: MINGERS (2009)

Mingers também afirma que segundo Habermas, a partir do mundo real, por meio do processo de evolução, os seres humanos desenvolveram a linguagem, comunicação e autorreflexão, o que gerou os mundos pessoal e social. O mundo pessoal é o mundo visto pelos nossos pensamentos individuais, emoções, experiências, valores e crenças. Não observamos o mundo real como pessoas externas a ele, mas vivenciando-o. Este mundo é subjetivo no sentido de que é gerado, e é acessível, somente pelo sujeito individual. E, finalmente, há o mundo social em que nós (como membros de um sistema social em particular) compartilhamos e participamos nele. No mundo social nossa relação é de intersubjetividade uma vez que, por um lado, se trata de uma construção humana, e por outro lado, vai além de qualquer indivíduo particular. O mundo social é constituído por uma intrincada relação entre linguagem, significado, práticas sociais, regras e recursos que incentivam e restringem nossas ações e é reproduzido por meio delas (MINGERS, 2009, p. 291).

As três metodologias que esse trabalho busca integrar, utilizam como matéria prima para a construção de seus modelos informações oriunda de cada um dos três mundos de Habermas, principalmente, as oriundas dos mundos pessoal e social, conforme visto no processo sócio-técnico MACBETH durante a fase de estruturação e avaliação; na dinâmica de sistemas no processo de construção do modelo a partir de informações oriundas do cognitivo das pessoas e no modelo baseado em agentes, ao se obter as informações relacionadas as regras que condicionam as inter-relações entre eles.

O autor aponta quatro formas de combinar metodologias e métodos:

- Combinação de metodologias: combinar duas ou mais metodologias em uma intervenção.
- Aprimoramento da metodologia: usar apenas uma metodologia, mas aprimorando-a ao incorporar diferentes métodos.
- Multimetodologia com único paradigma: combinar partes de várias metodologias todas do mesmo paradigma.
- Multimetodologia de múltiplos paradigmas: combinar partes de várias metodologias de paradigmas distintos, usando métodos também de diferentes paradigmas (MINGERS, 2009, p. 308).

Segundo Mingers (2010) a multimetodologia, quando aplicada, é um processo criativo de delineamento baseado na competência de um grupo de métodos. Cada intervenção é vista como uma situação única (embora possa ter características comuns a outras situações) para a qual uma combinação de métodos, ou partes dos mesmos, deve ser construída. O processo é interativo e composto por duas partes complementares: reflexão e delineamento. A reflexão envolve a revisão da situação corrente e determina quais áreas da situação do problema devem ser abordadas. O delineamento engloba o entendimento de quais métodos podem ser úteis e escolher o método mais apropriado para usar em relação ao contexto da intervenção.

Nesse trabalho adota-se a abordagem multimetodologia de múltiplos paradigmas, partindo-se da suposição de que o processo decisório pode ser aprimorado iniciando com o processo sociotécnico MACBETH, e incorporando a dinâmica de sistemas conjuntamente com o modelo baseado em agentes.

Na seção 4.1 serão apresentadas as iniciativas que buscaram integrar métodos dentro da MCDA com a dinâmica de sistemas. Na seção 4.2 serão apresentados resultados que integram a dinâmica de sistemas com modelos baseados em agentes. No capítulo 5 será apresentada a descrição de como se pretende integrar as três metodologias: processo sociotécnico MACBETH com a dinâmica de sistemas e esta última com modelos baseados em agentes.

4.1. Iniciativas visando integrar MCDA e dinâmica de sistemas

Hammond *et al.* (1977) visualizavam os potenciais benefícios da integração de modelos envolvendo processos cognitivos humanos e os referentes aos modelos de simulação de sistemas ambientais. Argumentavam que o desenvolvedor dos modelos de simulação de sistemas ambientais ignoravam a complexidade inerente ao sistema cognitivo humano (o processo de julgamento e decisão) que reage ao resultado do modelo ambiental. Por outro lado, o desenvolvedor de modelos relativos ao sistema cognitivo humano ignorava a complexidade do sistema ambiental com o qual o sistema cognitivo deve lidar. Entre esses dois extremos está a pessoa que é incumbida de fazer julgamentos sobre políticas que afetam os sistemas ambientais; essa pessoa está em uma posição em que o sistema cognitivo e o ambiental interagem.

Os autores argumentam que é necessário um elo simétrico entre ambos modelos, isto é, modelos computacionais interativos de sistemas cognitivos que interagem em tempo real com

modelos computacionais interativos de sistemas ambientais. Esse elo simétrico pode ser bastante útil para o processo de apoio à decisão. Os autores apontam duas assimetrias que os sistemas computacionais podem auxiliar a resolver e, desse modo, aprimorar o processo de decisão. A primeira é a assimetria entre sistemas ambientais e sistemas cognitivos. Por um lado, há os sistemas ambientais com suas equações e parâmetros, e, por outro lado, há o sistema cognitivo de quem irá julgar o modelo ambiental, isto é, que reagirá aos resultados do modelo ambiental, seja diante de um contexto de decisão envolvendo políticas públicas, ou outro qualquer. A assimetria reside no fato de que nesse sistema cognitivo os objetivos pelos quais ele reagirá aos resultados do modelo ambiental são desconhecidos. Uma vez que o modelo ambiental esteja construído e represente adequadamente o sistema real, os modeladores deixam nas mãos dos decisores a tarefa de fazer o uso dele de forma inteligente. Os autores afirmam que se há dúvida quanto à capacidade do ser humano em decidir sob as melhores circunstâncias, em que há informações disponíveis, por exemplo, então se faz necessário externalizar as propriedades do sistema cognitivo.

A segunda assimetria, que consideramos um problema, reside no fato de os estudiosos dos sistemas cognitivos desconsiderarem a complexidade dos sistemas ambientais quando estudam a forma que os seres humanos decidem diante de questões ambientais. Em síntese, os autores afirmam que os sistemas computacionais podem auxiliar na criação de um sistema simétrico, na medida que por meio de um processo interativo, o decisor pode checar o efeito de seu julgamento no sistema ambiental, observando o resultado que irá gerar sobre o mesmo.

Os autores propõem a seguinte forma de proceder: uma vez diante do modelo ambiental, os decisores irão testar seu julgamento ao questionar, 'e se' fizer tal interferência no sistema via uma ação que deriva de uma decisão, qual será o resultado? Ao proceder dessa forma os decisores podem aprimorar sua percepção sobre o problema e seu sistema cognitivo. Apesar destas pressuposições os autores não operacionalizam-nas, isto é, não mostram quais metodologias podem ser úteis e como integrá-las.

Por sua vez, Reagan-Ciricione *et al.* (1991) reportam o emprego combinado da dinâmica de sistemas e a teoria de utilidade multi-atributo (MAUT, do inglês *Multiattribute Utility Theory*) na avaliação de políticas públicas na área de saúde. Foram realizadas três

conferências de decisão, cada uma com duração de dois dias. Durante a primeira conferência o grupo de envolvidos analisou as implicações oriundas de diferentes políticas usando modelos de simulação via dinâmica de sistemas. Durante a segunda conferência foram determinados os critérios para utilizar o método multicritério e na terceira conferência de decisão eles compararam três opções de políticas utilizando ambas as metodologias.

Andersen e Rohrbaugh (1992) incorporaram os julgamentos sociais em uma função objetivo e aplicaram em um sistema dinâmico. Os autores testaram a integração entre os modelos cognitivos representados pela análise de julgamento social que emprega métodos de regressão múltipla e que uma vez identificados foram incorporados em um modelo previamente desenvolvido e um dos primeiros da dinâmica de sistemas, isto é, o *Urban Dynamics* (FORRESTER, 1969). Não há menção alguma sobre métodos de estruturação visando mostrar os julgamentos dos decisores, que foram representados por quatro estudantes de uma dada universidade.

Brans *et al.* (1998) adotaram o método PROMETHEE para avaliar estratégias para controlar um determinado sistema sócio-econômico. As estratégias foram geradas por meio do modelo criado a partir da percepção dos agentes decisores através da representação mental de como eles percebiam o sistema, sua estruturação e criação do diagrama '*causal-loop*'. A partir deste diagrama eles criaram o modelo dinâmica de sistemas.

Santos *et al.* (2002) apresentam um arcabouço teórico para utilizar conjuntamente a dinâmica de sistemas e o método multicritério de agregação em um contexto de avaliação de performance hospitalar. Os autores abordaram o problema inicialmente realizando um mapa cognitivo visando identificar como os decisores compreendiam o sistema hospitalar sob análise e a partir deste passaram para o diagrama causa e efeito. Esse resultado serviu posteriormente para o desenvolvimento do modelo que representa a dinâmica do sistema. Antes, porém, os autores passaram do diagrama causa e efeito para uma árvore de decisão utilizando procedimentos comuns à fase de estruturação durante uma análise de decisão. Tais procedimentos operaram sob a ótica da função de valor multi-atributo (KEENEY; RAIFFA, 1976), passando pela identificação dos trade-offs e funções de valores. A partir deste modelo multicritério foi possível avaliar o impacto de algumas políticas, cujos resultados mostram se a adoção de uma ação melhora o desempenho do sistema ou não. Porém, conforme explicam Santos e colaboradores, é preciso

visualizar o impacto desta ação ao longo do tempo. E para isso, a dinâmica de sistemas prestou bastante auxílio. Os autores utilizaram o software VISA para realizar a análise multicritério e o software Powersim para a análise de dinâmica de sistemas. Desenvolveram uma forma operacional de integrar os dois software. Em SANTOS et al. (2008) os pesquisadores apresentaram um estudo de caso, em contexto hospitalar, no qual aplicaram o arcabouço teórico metodológico exposto em SANTOS et al. (2002).

Antunes *et al.* (2006) mostram os benefícios que diferentes métodos multicritérios possuem em analisar simultaneamente objetivos diversos segundo distintos critérios e reconhecem a limitação desta metodologia em lidar com a natureza dinâmica de aspectos sociais e econômicos. Neste sentido, recomendam a adoção da dinâmica de sistemas como metodologia complementar. Entretanto, na aplicação do estudo de caso relatado no referido artigo, os autores mostram que foi desenvolvido inicialmente o modelo de simulação via dinâmica de sistemas, o qual contou com a participação de vários ‘stakeholders’, e em seguida utilizou-se o método multicritério para auxiliar nas escolhas das melhores opções. O modelo previamente criado para representar a dinâmica do sistema foi utilizado como base para identificar possíveis critérios a serem incorporados no modelo multicritério. De forma similar ao exposto cita-se o trabalho de Kallis *et al.* (2006).

Pruyt (2007) apresenta argumentos favoráveis à combinação de dinâmica de sistemas e a metodologia multi-atributo, alegando que esta última pode auxiliar a dinâmica de sistemas a tratar com determinados tipos de incerteza. O referido autor não apresenta detalhes sobre qual método multicritério utilizou.

Kunsch *et al.* (2009) defendem a ideia de utilizar várias metodologias para auxiliar no processo de modelagem de problemas envolvendo dimensões éticas presentes comumente em aspectos ambientais, sociais e econômicos. Os autores argumentam a favor do emprego da metodologia multicritério durante a fase de avaliação em complemento às análises realizadas pela dinâmica de sistemas. Também enfatizam o emprego dos modelos baseados em agentes, porém, sem mencionar durante qual parte do processo e tampouco citando se em combinação com outra metodologia.

Estes são os principais trabalhos de uma literatura ainda incipiente sobre a integração entre métodos multicritério de apoio à decisão e dinâmica de sistemas. Também, se pode notar da

que nenhum trabalho analisado visou integrar o processo sociotécnico MACBETH com a dinâmica de sistemas.

4.2. Integração entre dinâmica de sistemas e modelos baseados em agentes

A seguir, serão apresentados resultados relevantes da literatura que analisa a interação entre ambas as metodologias. Conforme apresentado, no paradigma da dinâmica de sistemas as relações endógenas expressas por estrutura de ‘feedback loop’ geram a complexidade do comportamento de um sistema ao longo do tempo (FORRESTER, 1968; RICHARDSON, 2011). Por outro lado, no paradigma do modelo baseado em agentes a complexidade emerge das interações entre os agentes. (MACAL; NORTH, 2010). Conforme apresenta-se nesta seção, vários autores identificaram potenciais complementariedades entre ambas as metodologias. Apesar disso, existem relativamente poucas publicações relacionadas à construção de modelos englobando dinâmica de sistemas e modelos baseados em agentes segundo a revisão bibliográfica feita por Latilla *et al.* (2010), os quais relatam que as primeiras publicações a propor a integração entre ambas apareceram no final da década de 1990. Os autores constataram que há consenso na literatura sobre as principais diferenças entre ambas as metodologias, conforme se pode observar na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Diferenças entre dinâmica de sistemas e modelos baseados em agentes

Componente	Dinâmica de sistemas	Modelo baseado em agentes
Nível de análise	Agregados/quantidades (homogeneidade)	Agentes individuais (heterogeneidade)
Unidade de análise	Estrutura do sistema	Regra dos agentes
Mecanismo chave	Feedback entre as diferentes partes do sistema	Comportamento emergente devido a interação
Building blocks	Equações, ‘feedback-loops’, diagrama de estoque e fluxos	Agentes individuais e suas decisões (lógica)
Estrutura do sistema	Fixa	Flexível
Aplicação	Solução de problemas	Exploração

Origem da dinâmica	'Feedback loops'	Eventos
Handling of time	Contínuo	Discreto ou contínuo

Fonte: adaptado de LATTILA *et al.* 2010

De acordo com Latilla, há situações em que tanto a dinâmica de sistemas quanto ABM apresentam dificuldades, e que o uso de modelos híbridos auxilia a superá-las criando modelos de simulação mais realistas. Tais situações são apresentadas na Tabela 4.2.

Da Tabela 4.2, se pode observar que o modelo baseado em agentes possui maior potencial de aplicação, porém, conforme alertam os autores, isso não invalida e nem diminui a importância da dinâmica de sistemas para simular sistemas complexos, uma vez que esta, diferentemente dos modelos baseados em agentes, é uma metodologia consolidada. A metodologia baseada em agentes é recente, da década de 1990, segundo Macal e North (2005) e ainda está em consolidação. Lattila e colaboradores citam que conforme a metodologia baseada em agentes for testada e aplicada em diferentes áreas do conhecimento pode-se verificar, se existir, possíveis limitações quanto sua aplicabilidade.

Tabela 4.2 - Situações problemáticas para a dinâmica de sistemas quanto modelos baseados em agentes

Situação	Método mais preferível
Atores não homogêneos	Modelo baseado em agentes
Dados não disponíveis	Modelo baseado em agentes ou dinâmica de sistemas
Estrutura flexível	Modelo baseado em agentes
Presença de eventos complexos	Modelo baseado em agentes
Seguindo uma política	Dinâmica de sistemas

Fonte: adaptado de LATTILA *et al.* 2010

Conforme mostram Borshchev e Filippov (2004), o modelo baseado em agentes possui ampla utilização em vários níveis de abstração no processo de modelagem (Figura 4.2).

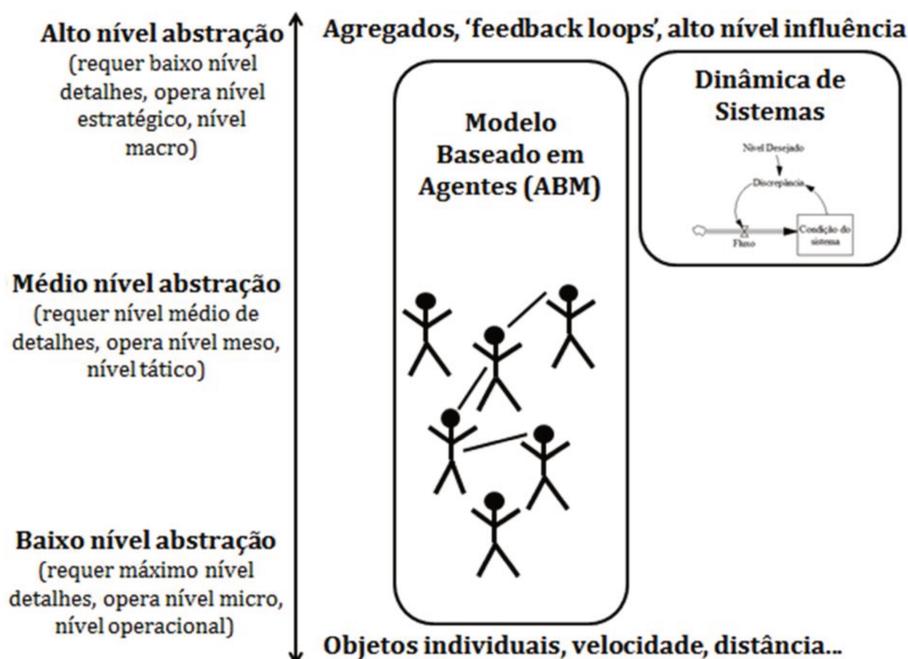


Figura 4.2 – Níveis de abstração simulados por dinâmica de sistemas e modelos baseados em agentes. Adaptado de BORSHCHEV e FILIPPOV (2004)

Latilla *et al.* (2010) constataram, também, que o desenvolvimento e operacionalização de modelos que combinem a dinâmica de sistemas e modelos baseados em agentes pode apresentar dificuldades dependendo do usuário. Por exemplo, se houver pessoas que dominem linguagem computacional e que tenham conhecimento é possível desenvolver formas de integração de acordo com a necessidade do usuário, porém, ao custo de o processo tomar várias horas. Por outro lado, há software que já integram as duas metodologias, porém, seu emprego depende de documentação suficiente e interface amigável ao usuário final (que não possua experiência em linguagem computacional) (ver Tabela 4.3).

Por exemplo, nesse trabalho inicialmente tentou-se utilizar o MIMES, utilizando o software SIMILE (www.similustics.com). Ocorre que durante o processo de análise do software não se observou a disponibilidade de documentação suficiente em quantidade e acessibilidade de entendimento para que fosse possível realizar a referida integração. Diante dessa dificuldade, buscou-se um software que fosse mais amigável ao usuário final e com documentação adequada. Dessa forma, adotou-se o software ANYLOGIC, o qual consiste de uma plataforma

computacional que permite a integração de modelos de dinâmica de sistemas com modelos baseados em agentes.

Tabela 4.3 – Diferentes métodos para criar modelos de simulação híbridos

Método	Vantagens	Desvantagens
Linguagem de programação baixo nível	Totalmente flexível	Consume bastante tempo; requer experiência em programação.
Programas de dinâmica de sistemas	-Relativamente fácil de usar. -Inclui todos os recursos necessários para criar e operacionalizar um modelo de dinâmica de sistemas.	-Estrutura do modelo geralmente é fixa. -Pode não ser capaz de incorporar eventos complexos.
Programa de dinâmica de sistemas com 'middleware'	- Inclui todos os recursos necessários para criar e operacionalizar um modelo de dinâmica de sistemas. -Flexibilidade em relação ao modelo baseado em agente.	- Requer programação para realizar a interface entre os programas. - Sincronização pode ser uma preocupação.
Conjuntos de ferramentas para construção de modelos híbridos de simulação	- Inclui os elementos básicos de dinâmica de sistemas e modelo baseado em agentes. - Fácil de integrar	Existem poucos
Construir software de simulação	Flexível	Consume bastante tempo; requer experiência em programação.

Fonte: adaptado de LATTILA et al. 2010

Referente ao emprego de dinâmica de sistemas e modelos baseados em agentes na avaliação de políticas, a literatura é escassa ainda. Zhao *et al.* (2011) desenvolveram um modelo de simulação híbrido em dois níveis para auxiliar os governos federal, estaduais e outras organizações a avaliar as performances das suas políticas que visam incentivar os usuários do setor residencial a utilizar energia solar. Os governos por um lado incentivam o uso da energia solar, por outro lado, devem estar atentos ao uso de mecanismos regulatórios visando evitar o

crescimento exagerado da adoção deste tipo de energia, pois pode levar a problemas se o nível de adoção superar a infraestrutura existente. Assim, o modelo desenvolvido visa avaliar a eficiência tanto dos incentivos quanto dos atos regulatórios dos governos diante do contexto exposto. O modelo une a dinâmica de sistemas e os modelos baseados em agente.

Conclui-se da análise dos poucos trabalhos que utilizam conjuntamente a dinâmica de sistemas e ABM que há grande potencial de aplicação, principalmente, na análise de ações para solucionar problemas antes de suas implementações.

Visando contribuir para o avanço de estudos desta integração (dinâmica de sistemas e ABM), nesta tese a utilizamos para testar um instrumento de política. O modelo aplicado ao ABM foi o modelo de opinião descrito a seguir.

4.3. Modelos de dinâmica de opinião

Os modelos de dinâmica de opinião podem ser classificados em discretos ou contínuos. Exemplos de modelos discretos em que a representação da opinião dos agentes é dada por valores discretos são modelo de impacto social (NOWAK *et al.*, 1990), modelo cultural de Axelrod (AXELROD, 1997). Nos modelos contínuos a representação da opinião dos agentes é dada por variáveis contínuas e são exemplos, o modelo da concordância relativa (*relative agreement*) Deffuant *et al.* (2002) e o modelo CODA (MARTINS, 2008).

O modelo mais simples, intuitivo e bem conhecido é o proposto por Deffuant *et al.* (2002), denominado de ‘concordância relativa’ (*relative agreement*, RA). O modelo de RA foi desenvolvido inicialmente para avaliar a dinâmica de opiniões em populações quando existem extremistas seja de caráter político, religioso e ideológico, e quais são as circunstâncias para que tais opiniões podem se tornar dominantes através da interação entre os membros de uma população, ao invés de influências exógenas como propagandas em massa emitidas por mídia.

Segundo Deffuant *et al.* (2002), as principais características do modelo de concordância relativa são:

- Durante as interações, os agentes não somente influenciam a opinião de outros, mas, também suas incertezas.

- A influência não é simétrica quando os agentes possuem diferentes incertezas, agentes confiantes (baixa incerteza) são mais influentes em relação aos que possuem maior incerteza. Isto corresponde às experiências reais do dia-a-dia, nas quais as pessoas mais confiantes (menor incerteza) tendem a convencer mais facilmente pessoas com opinião com alta incerteza.

Segundo os autores, o modelo RA se baseia na hipótese de que um agente leva em consideração a incerteza de seu interlocutor e que o agente será mais influenciado se o seu interlocutor está mais seguro de sua opinião do que o próprio agente.

O modelo proposto por Deffuant será adotado em parte, neste estudo de caso. A descrição do algoritmo utilizado é apresentada na seção 4.3.1. Especificamente, nos interessa saber a quantidade de agentes extremistas que levam a maior aceitação ou recusa do Sustento, moeda complementar descrita na seção 6.6. Para atender o propósito inserimos algumas modificações no modelo, o qual não compromete o seu funcionamento e que serão apresentadas no capítulo 7, ver seção 7.2.1, utilizando o protocolo ODD.

O modelo de Deffuant *et al.* (2002) possui alguns parâmetros, Tabela 4.4, que possibilitam diferentes combinações para serem simulados. Visando explorar de maneira mais eficiente tais combinações a fim de obter resultados conclusivos com menor tempo e menor quantidade de simulação, empregamos a metodologia de delineamento de experimentos, especificamente, o método de Taguchi (TAGUCHI, 1987), descrito na seção 4.4.

Tabela 4.4 – Parâmetros do modelo de Deffuant

Parâmetro	Descrição
N	Número de agentes na população
U	Incerteza inicial dos agentes moderados
MU	Velocidade de interação entre agentes
C_Extre	Quantidade inicial de extremistas
C_Extre_Neg	Quantidade inicial de extremistas negativos
C_Extre_Pos	Quantidade inicial de extremistas positivos
u_e	Incerteza inicial dos extremistas

4.3.1. Interação de opinião

Na interação de opinião, o agente j (denominado de agente influenciado) interage aleatoriamente com um agente i, denominado de agente influenciador. A sobreposição de ambos os segmentos de opinião, h_{ij} , é dada por:

$$h_{ij} = \min(x_i + u_i, x_j + u_j) - \max(x_i - u_i, x_j - u_j) \quad \text{Eq. 4.1}$$

Esta sobreposição determina se uma interação de opinião ocorrerá ou não: o agente j modificará sua opinião se $h_{ij} > u_i$.

Para as interações de opinião, a concordância relativa (relative agreement, RA) da opinião de dois agentes, RA, é calculada da seguinte forma:

$$RA = (h_{ij} - (2u_i - h_{ij})) / 2u_i = 2(h_{ij} - u_i) / 2u_i = (h_{ij} / u_i) - 1 \quad \text{Eq. 4.2}$$

A opinião e incerteza do agente j são atualizadas da seguinte forma:

$$x_{j*} = x_j - MU * RA (x_i + x_j) \quad \text{Eq. 4.3}$$

$$u_{j*} = u_j + MU * RA (u_i + u_j) \quad \text{Eq. 4.4}$$

4.4. Método de Taguchi de delineamento de experimentos

O método de Taguchi será descrito a seguir, após serem apresentadas algumas definições pertinentes ao jargão de delineamento de experimentos.

Segundo Condra (2001, p.18) delineamento de experimento é um conjunto de métodos voltados a obter e organizar sistematicamente conhecimentos de modo que possam ser utilizados para melhorar operações na maneira mais eficiente possível. O autor cita que um experimento delineado é definido como uma técnica para obter e organizar a quantidade máxima de informação conclusiva a partir da mínima quantidade de trabalho, tempo, energia, dinheiro ou outro recurso limitado.

Assim como outras disciplinas, o DoE (Design of Experiments), também possui nomenclatura própria, que será descrita a seguir, e que foi baseada em CONDRA (2001).

DoE pode adotar várias formas, entretanto, dois de seus mais destacados elementos são (1) variação e avaliação simultânea de vários fatores, e (2) eliminação sistemática de algumas das combinações dos possíveis de testes para reduzir tempo e custo dos experimentos.

Fatores (variáveis de entrada) são variáveis independentes em um experimento.

Níveis são os valores nos quais os fatores são explicitados em um experimento.

Uma combinação de tratamento é uma combinação única de níveis de vários fatores em uma linha (array). Também denominado de ‘run’.

Uma linha é o conjunto de todas as combinações de níveis de todos os fatores avaliados em um experimento. Pode ser ‘fatorial completa’, na qual todas as combinações possíveis são avaliadas, ou uma ‘fatorial fracionada’, na qual algumas combinações são eliminadas de acordo com regras estatísticas.

Efeitos (variáveis de saída) são as variáveis dependentes em um experimento, são os resultados de um experimento. Resposta é sinônimo de efeito. Os efeitos são apresentados em tabela de resposta, que é organizada de acordo com a combinação de tratamentos ou níveis de vários fatores.

Uma interação é a influência da variação de um fator nos resultados obtidos variando outro fator. Efeitos principais são os efeitos dos fatores em um experimento. Em alguns experimentos somente os efeitos principais são avaliados.

Fatores controláveis são os fatores que o pesquisador pode ou deseja controlar em um experimento. Fatores incontroláveis são aqueles que não se pode controlar; ou que o pesquisador não considera importante, ou, que são demasiados caros para controlar, ou são desconhecidos. Ruído é o efeito de todos os fatores incontroláveis em um experimento.

Há vários sistemas de DoE, sendo os dois principais o clássico e as linhas de Taguchi (Taguchi, 1987; Taguchi e Konishi, 1987). As diferenças entre eles são descritas em Goh (1993) entre outros. CONDRA (1995) cita que a diferença entre tais métodos se devem mais aos seus adeptos que aos métodos em si. Os adeptos da abordagem clássica enfatizam na análise de interações, enquanto que os adeptos do método de Taguchi na análise dos efeitos principais, ainda que o método permita analisar as interações entre fatores tão bem quanto a primeira abordagem.

Os métodos clássicos possuem mais rigor matemático em comparação com Taguchi, sendo o primeiro desenvolvido por estatístico e o segundo por engenheiro. Os métodos clássicos enfatizam o uso de experimentos complicados e análise estatística extensiva, enquanto que o método Taguchi enfatiza no uso de várias iterações de experimentos mais simples. Os usuários dos métodos clássicos tendem a ser mais orientados estatisticamente, sendo que os estatísticos participam mais ativamente nos experimentos. No método Taguchi, os donos do processo, do design etc., que geralmente não são estatísticos, tendem a serem as figuras dominantes no experimento. O método de Taguchi representa os seus níveis com números inteiros, enquanto que o método clássico por sinais (+, -, 0,...) (CONDRA, 1995).

Outra diferença entre os referidos métodos é que o método de Taguchi requer menos esforço amostral para analisar combinações de fatores e níveis em experimentos. Há três tipos de experimentos que são classificados pela quantidade de combinações de fatores analisados simultaneamente: 1) um fator por vez; 2) fatorial completo; 3) fatorial fracionado. A Tabela 4.5 mostra a quantidade do tamanho das amostras necessárias para analisar fatores e níveis em experimentos fatoriais completos e fracionados (CONDRA, 2001).

Se pode observar da Tabela 4.5 que o experimento fatorial fracionado permite obter resultados significativos com menos esforço, o que em situações onde recursos são limitados fazem muita diferença.

Conforme cita CONDRA (1995) uma característica crítica de qualquer ferramenta é que ela deve ser acessível e utilizável. A decisão de se adotar o método clássico ou de Taguchi é menos importante do que a capacidade de entender os método escolhido e aplicá-lo diretamente sem depender de terceiros.

O delineamento de experimentos ainda é pouco utilizado pelos praticantes de simulação de sistemas (SANCHEZ, 2005; KLEIJEN *et al.*, 2005) e seus adeptos argumentam a favor da utilização de delineamentos robustos como o método de Taguchi (SANCHEZ, 2000).

A Tabela 4.6 representa o delineamento Taguchi (3^4), isto é, quatro fatores com três níveis cada um. Esse delineamento também conhecido por L9. Os quatro fatores são representados pelas letras A, B, C, D, e estão inseridos nas colunas e os três níveis pelos números 1, 2, 3.

A simulação de número 1 possui a combinação dos quatro fatores, sendo que o nível analisado para todos é o de número 1. A simulação de número 2 possui a combinação do fator A com nível 1 e todos os demais com nível 2. O raciocínio se estende as demais simulações.

Tabela 4.5 - Comparação dos experimentos com linhas fatoriais completa e fracionada usando o método de Taguchi.

Número de fatores	Número de níveis	Delineamento fatorial completo	Delineamento fatorial fracionado de Taguchi	
		Número de simulações (runs)	Nome da linha (array)	Número de simulações
3	2	$2^3 = 8$	L ₄	4
7	2	$2^7 = 128$	L ₈	8
11	2	$2^{11} = 2048$	L ₁₂	12
15	2	$2^{15} = 32.768$	L ₁₆	16
4	3	$3^4 = 81$	L ₉	9
5	4	$4^5 = 1024$	L ₁₆	16

Fonte: CONDRA (2001)

Tabela 4.6 – Delineamento L₉ de Taguchi (3⁴)

Número da simulação	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Fonte: CONDRA (2001, p.373)

Segundo Azarang e Dunna (1996, p. 87) sugere-se que se deve ter de três a dez réplicas por simulação. Neste trabalho adotamos três réplicas por simulação, cada uma gerada aleatoriamente.

Para analisar os resultados dos experimentos o método de Taguchi utiliza, entre outros meios, a relação ‘signal-to-noise’ (S/N) que é uma medida tanto de localização e dispersão dos efeitos medidos e expressa em decibéis. É calculado pela equação:

$$S/N = - 10 * \log_{10} MSD \quad \text{Eq. 4.5}$$

MSD significa ‘mean square deviation’, a qual é também uma medida de dispersão dos dados similar à variância amostral. Seu cálculo diferencia-se segundo o tipo de efeito, em outras palavras, se o efeito é do tipo B (quanto maior melhor), ou do tipo S (quanto menor melhor), ou do tipo N (nominal é melhor). Este último pode ser entendido como a dispersão em relação a um valor alvo, por isso, a palavra nominal. As equações para calcular MSD segundo o tipo do efeito são:

Para efeito tipo-B:

$$MSD = \frac{\frac{1}{Y_1^2} + \frac{1}{Y_2^2} + \dots + \frac{1}{Y_n^2}}{n} \quad \text{Eq. 4.6}$$

Para efeito tipo-S:

$$MSD = \frac{Y_1^2 + Y_2^2 + \dots + Y_n^2}{n} \quad \text{Eq. 4.7}$$

Para efeito tipo-N:

$$MSD = \frac{(Y_1 - Y_0)^2 + (Y_2 - Y_0)^2 + \dots + (Y_n - Y_0)^2}{n} \quad \text{Eq. 4.8}$$

Tais equações foram construídas de modo que, em cada caso, quanto maior o valor de S/N melhor o resultado (CONDRA, 2001).

No capítulo 7 serão apresentados o estudo de caso e os resultados oriundos desta pesquisa.

Capítulo 5 - Mapa cognitivo: identificando elementos para integração de metodologias.

Mapa cognitivo é um método desenvolvido por KELLY (1955) e que possui embasamento na teoria do constructo pessoal, o qual pressupõe que os seres humanos constroem o significado de suas próprias vidas por meio da criação, teste e revisão de seus constructos pessoais que os auxiliam a encontrar sentido no mundo que estão envolvidos, assim como, tentar antecipar os resultados de experiências futuras.

O referido autor definiu constructo como sendo uma forma particular dos indivíduos verem, atribuírem sentido, ou interpretarem pessoas, eventos em suas vidas e o mundo a seu redor. Além disso, Kelly enxerga cada pessoa como um ‘cientista’ que classifica, categoriza e teoriza sobre seu mundo, construindo um sistema de constructos e sugere que para entender melhor como uma pessoa vê o seu mundo é preciso encontrar formas de questioná-la a fim de obter esses constructos e saber como eles se relacionam.

Kelly também afirma que ao longo do tempo os constructos são revistos e aprimorados de acordo com as novas experiências vivenciadas por uma pessoa ou grupo. Segundo Eden (1994) essa característica é importante para o processo de estruturação de problemas e está em consonância com a fundamentação construtivista do processo MACBETH.

A partir do trabalho de Kelly, outros autores desenvolveram o mapa cognitivo, a ponto de sua operacionalização e aplicação dentro da análise de decisão ser amplamente difundida e sendo utilizado em vários estudos de caso que aplicam o processo MACBETH (BANA e COSTA *et al.*, 1999; 2009). Fiol e Huff (1992) discutem diversos tipos de mapas cognitivos, dentre os quais destaca-se o mapa cognitivo de relações causais, também chamado de mapa causal, o qual será utilizado neste trabalho para conectar o processo sociotécnico MACBETH e dinâmica de sistemas, usando o arcabouço do raciocínio focado em valores (KEENEY, 1992), visando identificar os objetivos meios e fins.

A Figura 5.1 representa parte de um mapa causal oriundo do estudo de caso que será apresentado na seção 7.1. Conforme se pode observar esse mapa cognitivo possui ideias, constructos, valores expressos na forma de objetivos oriundos dos decisores que estão conectadas por setas direcionadas. Na Figura 5.1 se pode observar que o primeiro valor expresso na forma de

uma frase com objetivo é ‘ter propriedade próximo a reserva florestal em bloco’ e a seta está apontando para o próximo objetivo ‘Estabilizar a produção de café reduzindo o efeito da bianualidade’. Conforme se verá adiante, para o primeiro objetivo foi questionado qual a importância do mesmo naquele referido contexto, isto é, no contexto de Machadinho d’Oeste. A resposta é indicada pela seta ‘Estabilizar a produção...’.

Dessa mesma figura se pode observar que todos os objetivos convergem para um objetivo denominado ‘Reprodução sustentável (social, econômica e ambiental)’. Esse é o objetivo estratégico. A partir desses objetivos é importante identificar quem são os objetivos fins e os objetivos meios (KEENEY, 1992).

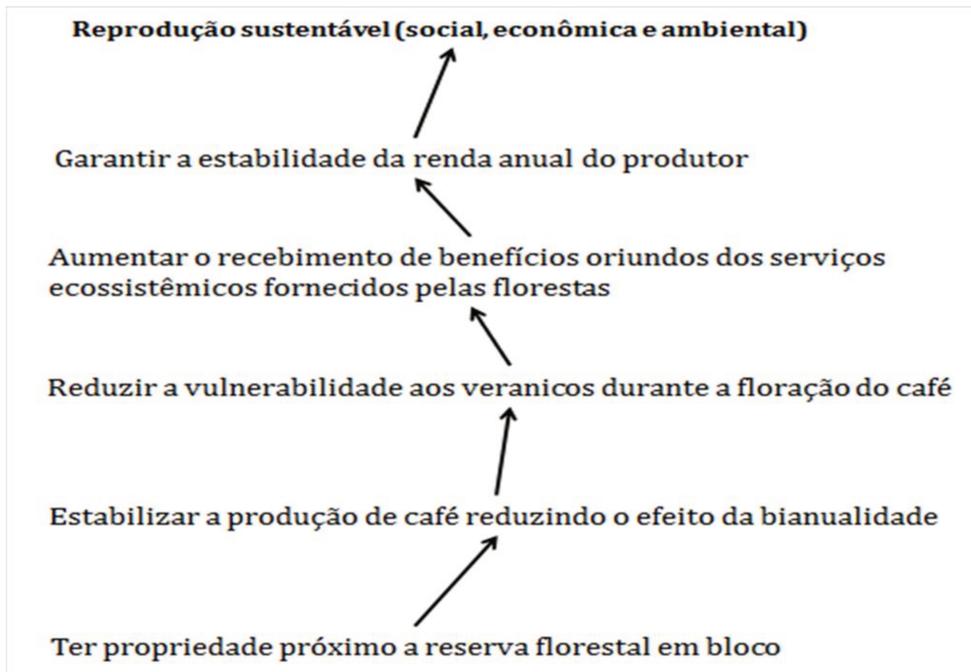


Figura 5.1 – Fragmento de mapa cognitivo referente ao estudo de caso de Machadinho d’Oeste.

No processo de construção do mapa cognitivo é de fundamental importância que o decisor ou grupo de decisores expressem suas ideias sobre o problema. Essas ideias constituem a base para a construção do mapa cognitivo. É importante esclarecer que não se trata de um mapa do intelecto da pessoa, mas sim da visualização de seu entendimento a respeito de um determinado assunto em dado contexto. Discussões sobre a interpretação do mapa cognitivo podem ser encontradas em (EDEN, 1988; 1989; 2004; EDEN; ACKERMANN; CROPPER,

1992). O mapa cognitivo também pode ser construído em grupos (EDEN; ACKERMANN, 2001; BANA e COSTA *et al.*, 2009)

Assim, para auxiliar os decisores a estruturarem seus problemas é fundamental que esses expressem seus valores a fim de visualizar como os mesmos se relacionam com outros que surgirão durante a fase de estruturação. E para isso é necessário identificar inicialmente suas ideias a respeito do problema.

Dessa forma, o primeiro passo para construir o mapa cognitivo individual ou de um grupo de pessoas é conduzi-las a expressar seus valores pertinentes ao contexto que se está analisando. Nesse sentido, Keeney (1992) sugere uma série de questões para auxiliar os decisores a expor seus valores.

O autor sugere questionar o decisor, ou decisores, sobre o que ele considera: (1) relevante diante do seu problema; (2) serem as maiores dificuldades para superar o problema diante do estado atual; (3) serem as restrições, metas e objetivos diante do problema enfrentado; (4) serem as ações que auxiliariam a solucionar seu problema, bem como as que o piorariam e, também, as inaceitáveis; (5) quais as melhores e piores consequências das ações expressas no item anterior (KEENEY, 1992). É importante ressaltar que esses são alguns exemplos de questões genéricas que podem ser feitas e a pertinência em escolher uma ou outra depende de cada contexto.

Conforme expressa Keeney o objetivo é obter a maior quantidade de informação e para isso se deve estimular o decisor e em hipótese alguma criar objeções frente a constructos já expressos, isto é, repetitivos. Após essa etapa inicial, o decisor irá transformar cada um dos valores expressos em um objetivo, visando com isso, proceder à fase de estruturação dos mesmos, isto é, identificar os objetivos meios dos fins e dos estratégicos. Para isso o facilitador questionará o decisor por que aquele objetivo é importante dentro daquele contexto de decisão? Duas respostas podem surgir: (1) esse objetivo é importante porque permite alcançar outro objetivo. Se esse for o caso, trata-se de um objetivo meio e se deve repetir a questão novamente até que a resposta seja a do item 2, apresentado a seguir; (2) esse objetivo é importante por si só, o que significa que se está diante de um objetivo fim, que é um candidato a critério.

Durante a construção do mapa cognitivo o decisor visualiza o relacionamento de suas ideias, e com o apoio do facilitador conseguirá analisar esse conjunto de objetivos organizando-

os de forma a passar de uma estrutura complexa para uma estrutura mais compreensível. Caso ocorram, durante a construção do mapa cognitivo, ‘feedbacks’ envolvendo os objetivos expressos pelos decisores é preciso verificar se isto ocorreu devido a um erro de raciocínio, e corrigi-lo se for o caso, ou se realmente são pertinentes ao contexto analisado e, portanto, devem ser levados em conta (se positivos ou negativos) (EDEN, 2004). No estudo de caso da seção 7, não foi encontrado nenhum ‘feedback’ no mapa cognitivo.

A partir da identificação dos objetivos meios e dos objetivos fins se procede a análise que irá auxiliar a identificar tanto os elementos que serão usados no processo MACBETH quanto na dinâmica de sistemas. O ponto central da análise é identificar objetivos que sejam essenciais e cujas ações para modificar seu estado sejam obrigatoriamente dependentes do contexto de decisão no qual o problema está inserido. Se o objetivo cumprir esses dois requisitos, além de atender parte dos requerimentos do processo MACBETH, também está atendendo a exigência fundamental para a construção de modelos segundo a perspectiva da dinâmica de sistemas que é o da endogeneidade (FORRESTER, 1968; RICHARDSON, 2011). Isso se dá devido ao fato de que na abordagem de raciocínio focado em valores somente são selecionados como critérios os elementos que sejam essenciais e, principalmente, as ações para influencia-los estejam dentro do contexto decisório analisado.

Uma vez identificados os objetivos que atendem esses requisitos é importante voltar ao mapa cognitivo e observar quais são os objetivos meios associados a cada um deles, pois é a partir desses que se podem visualizar alternativas a serem criadas, analisadas posteriormente com o método MACBETH e quando necessário analisadas com a dinâmica de sistemas. A Figura 5.2 representa como se pode fazer a integração entre processo MACBETH e a dinâmica de sistemas. Os objetivos fins são os critérios no modelo MACBETH e os estoques na dinâmica de sistemas. Os objetivos meios podem ser alternativas que influenciarão os objetivos fins no modelo multicritério MACBETH, e são modeladas pelas variáveis auxiliares e de fluxo em dinâmica de sistemas.

A abordagem expressa na Figura 5.2 é mais ampla que o procedimento comumente adotado na construção de modelo multicritério, conforme expresso na Figura 5.3, no sentido de se tratar do processo MACBETH em que na fase de estruturação cada critério terá no mínimo dois

níveis de referências, neutro e bom, além do que se pode avançar na análise via dinâmica de sistemas e desta última com modelos baseados em agentes.

O mesmo se pode dizer quanto a abordagem de construção de modelo de dinâmica de sistemas com mapas cognitivos. Por exemplo, Eden (1994) discute o emprego do mapa cognitivo na estruturação de problemas para construção de modelos de dinâmica de sistemas. O autor enfatiza a dificuldade de se definir qual é o sistema que se quer modelar, e aponta o mapa cognitivo como método para auxiliar as pessoas nesse processo. O autor também apresenta a maneira como construir o modelo de dinâmica de sistemas a partir do mapa cognitivo, sendo uma representação apresentada na Figura 5.4. Nessa abordagem, o raciocínio focado em valores não é empregado, e parte-se do mapa cognitivo para a identificação dos estoques, fluxos de entrada e saída, bem como demais componentes inerentes à construção do modelo de dinâmica de sistemas. O fato de não utilizar raciocínio focado nos valores pode tornar mais árduo o processo de identificar as variáveis do modelo dinâmica de sistemas.

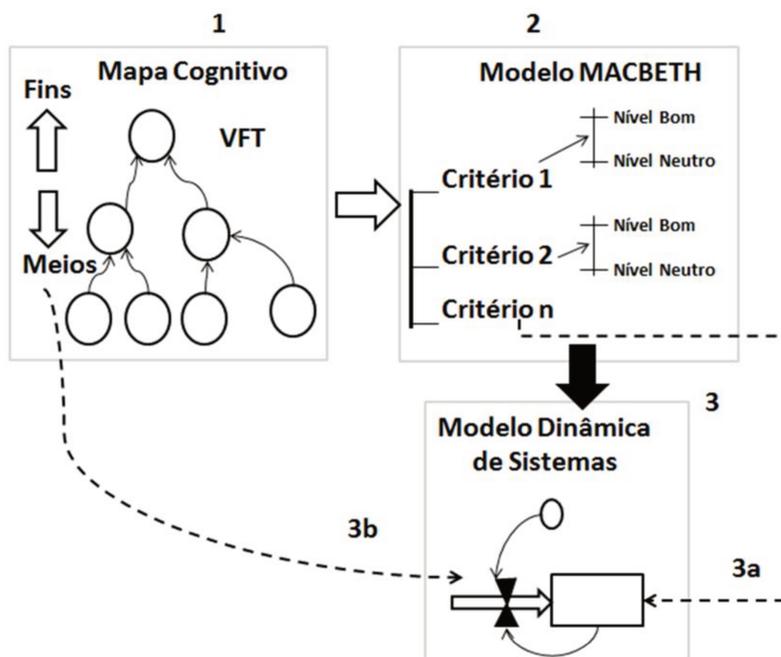


Figura 5.2 – Integração entre o processo MACBETH e a dinâmica de sistemas.

Explicando a Figura 5.2. Ao estruturar um problema de decisão aplicando o raciocínio focado em valores e utilizando o mapa cognitivo (1), se obtêm um conjunto de objetivos meios e

fins, ver a referida figura. Os objetivos fins são os critérios do modelo multicritério (2). Cada critério possui, no mínimo, dois níveis intrínsecos de referências (neutro e bom), conforme explicado no processo MACBETH. Os critérios são equivalentes os estoques no modelo de dinâmica de sistemas (3a), pois, representam o estado de algum critério, em dado momento.

Os objetivos meios podem ser as alternativas (ações), em muitos casos, para alcançar os objetivos fins. Através das ações se pode alterar o estado de um critério. Pelo princípio 8 de dinâmica de sistemas (FORRESTER, 1968), um estoque só pode ser alterado pelas variáveis fluxos. Assim, os objetivos meios são as variáveis fluxos (3b) em dinâmica de sistemas.

Essa abordagem é inovadora, pois, comumente se utiliza o mapa cognitivo para determinar os critérios em análise multicriterial, conforme se observa na Figura 5.3.

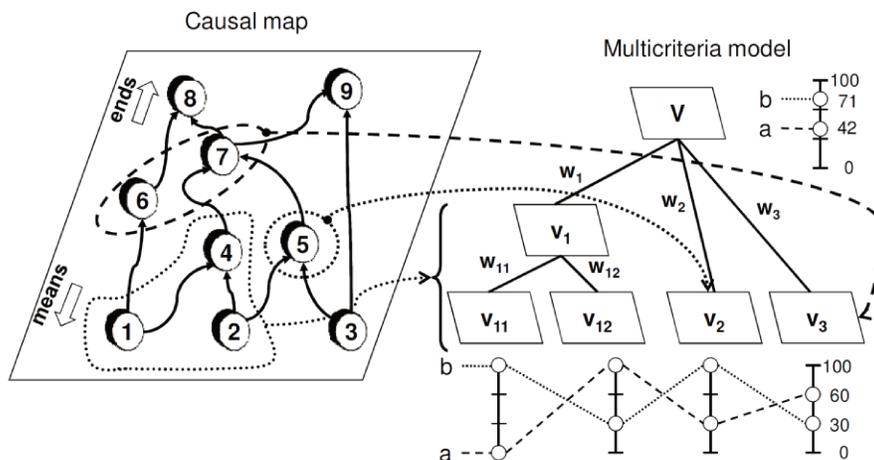


Figura 5.3 – Uso do mapa cognitivo na construção do modelo multicritério.
 Fonte: Montibeller e Belton (2006)

E também difere do uso que se dá ao mapa cognitivo em dinâmica de sistemas, conforme se observa na Figura 5.4. Através do mapa cognitivo se determina os ‘feedback loops’ para então determinar os estoques.

A abordagem adotada nesta tese permite que os decisores compreendam melhor seu problema ao identificarem os objetivos fins (critérios) e os meios para alcançá-los. Ao fazer, já estão identificados os estoques e as variáveis fluxos para modelar o impacto das alternativas ao longo do tempo. Conforme se mostrará no estudo de caso, essa modelagem é beneficiada pela integração da dinâmica de sistemas com os modelos baseados em agentes.

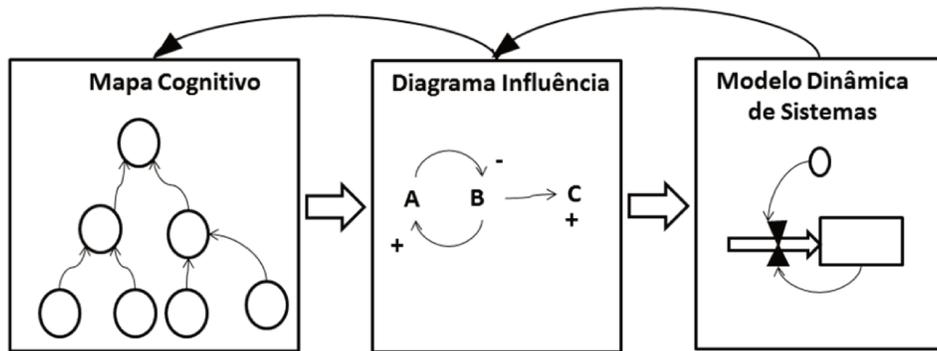


Figura 5.4 – Uso do mapa cognitivo na construção do modelo dinâmica de sistemas. Baseado em Eden (1994)

Capítulo 6 - Moedas complementares

O presente texto tem por objetivo explorar o conceito de moeda complementar como possível instrumento de política ambiental para auxiliar na solução de problemas socioecológicos complexos. O texto está estruturado da seguinte forma: na seção 6.1 são apresentadas algumas das principais definições sobre moeda (dinheiro), bem como, da definição de moeda complementar. Na seção 6.2 será apresentada uma síntese do sistema de moeda complementar WIR, por ser o mais exitoso e com maior tempo de existência; na seção 6.3 são apresentadas sucintamente uma visão de outras experiências com moedas complementares; na seção 6.4 é apresentado um resumo das experiências com moedas complementares delineadas para solucionar problemas ecológicos, as quais são de número reduzido. E por último, é apresentada na seção 6.5 uma síntese sobre o que vem a ser o delineamento de sistema de moeda complementar e que serve de subsídio teórico para o delineamento de novos sistemas com propósitos de solucionar problemas socioecológicos complexos como o que será apresentado na seção 6.6.

6.1. O que é dinheiro (moeda)?

Existem várias definições sobre dinheiro (moeda) que foram apresentadas em diferentes momentos da história.

Aristóteles, escreveu: “Em alguns aspectos, no entanto, o dinheiro é uma farsa pura, uma criatura de convenção estabelecida em lei” (Aristotle, *Nicomachean Ethics* V, 8)

Marx, em ‘O Capital’, descreve o que é dinheiro: “É dinheiro a mercadoria que serve para medir o valor e, diretamente ou através de representante, serve de meio de circulação. Por conseguinte, ouro (ou prata) é dinheiro” (MARX, 2003, p.156).

Para descrever o que é o dinheiro moderno utilizado na economia mundial, as raízes encontram-se na abordagem cartalista, os quais consideram que a moeda é criatura do Estado. Entre os pensadores da referida abordagem encontram-se economistas como Knapp (1924), Keynes (1930), Wray (1998), entre outros.

Knapp (1924), em sua obra ‘*The state theory of money*’, escreve que o governo determina por força da lei que uma moeda, que esteja sob controle do Estado, seja aceita em uma

sociedade, pois os cidadãos (operários, empresários, etc) necessitam desta moeda para pagar seus tributos ao governo.

Keynes no primeiro volume de sua obra *'Treatise on Money'*, utiliza os conceitos de *'money-of-account'* (moeda-de-conta) e *'money'* (moeda) e distingue-as da seguinte forma: “a moeda-de-conta é a descrição ou o título e que a moeda é o que responde à descrição” (KEYNES, 1930, p. 3-4).

Em concordância com as ideias de Knapp, Keynes afirma que o Estado determina o que serve como moeda-de-conta ao determinar ‘a coisa’ que é aceita como dinheiro. Wray (1998) também partilha da abordagem cartalista e escreve:

In all modern economies the government defines money by choosing what it will accept in the payment of taxes. Once it has required that the citizens must pay taxes in the form of particular money (for example dollars), the citizens must obtain that money to pay taxes. (WRAY, 1998, p. viii)

Concordamos que o Estado possui papel fundamental na definição do que é aceito como moeda, entretanto, diante das milhares de experiências com moedas complementares que vem sendo desenvolvidas ao longo da história, é preciso uma definição de dinheiro (moeda) mais ampla, como a fornecida por Bernard Lietaer: “Dinheiro (moeda) pode ser definido como um acordo, dentro de uma comunidade, para usar algum item padronizado como meio de troca” (LIETAER; BELGIN, 2012).

Lietaer (2001) esclarece a importância da palavra ‘acordo’ na definição de dinheiro, exposta acima, na medida em que assumir dinheiro como um acordo, enfatiza-se que o mesmo é um contrato social, assim como é, o matrimônio, uma nação, um partido político, os quais podem ser desfeitos. Tais contratos existem, ainda que somente no intelecto das pessoas que deles partilham (LIETAER; BELGIN, 2012, p. 41).

A frase ‘dentro de uma comunidade’ evidencia que o dinheiro como um contrato pode ser aceito por uma comunidade internacional, como é o caso do dólar que é aceito mundialmente como moeda; o euro na comunidade europeia, assim como, as moedas nacionais emitidas pelo Estado, bem como, aceito por uma comunidade de empresários e seus clientes, como é o caso do WIR (seção 6.2).

O economista Douthwaite (1999) descreve que o dinheiro pode ser criado por instituições, além do Estado, e mostra que existem três tipos de moeda:

- Commercially produced money – the commercial banks create almost all the money that we use and put it into circulation by allowing us to borrow it from them.
- People produced money – are currencies that people have created to use among themselves...The important feature about all these currencies is that they are only created when the society involved has resources, usually of human labour, which it wants to put to better use.
- Government produced money – a tiny percentage of money is in the form of notes and coins created by government.

Na literatura existem vários tipos de moedas criadas pela população (people created money), que se enquadram na classificação proposta por Douthwaite, por exemplo: moedas alternativas, moedas complementares, moedas sociais, moedas comunitárias. Freire (2011) sintetiza as principais características de cada uma das denominações acima.

Conforme mencionado, moeda complementar (*complementary currency*) é uma moeda do tipo moeda criada pelo povo (*people created money*) segundo a classificação de Douthwaite (LIETAER, 1998).

Conforme se pode observar da definição de LIETAER (1998) a moeda complementar é um acordo que funciona dentro de uma comunidade, a qual aceita uma moeda não nacional como um meio de troca. Conforme mencionado acima, esse acordo é um contrato social, o qual pode ser desfeito quando necessário.

Tais moedas são chamadas complementares porque seu objetivo não é substituir a moeda emitida pelo Estado, ao contrário, conforme se pode observar de milhares de experiências bem sucedidas de moedas complementares (MARTIGNONI, 2012), elas operam simultaneamente, sendo que a moeda complementar realiza funções sociais que a moeda governamental não foi designada para atender. Inclusive, é possível que pagamentos sejam realizados com ambas as moedas, moeda emitida pelo Estado e a moeda complementar, como é o caso da experiência do banco WIR, na Suíça, a qual será utilizada para exemplificar a experiência de moeda complementar mais bem sucedida desde o século XX até o presente.

Kennedy *et al.* (2012) explicam que o objetivo de uma moeda complementar é conectar recursos ociosos com necessidades existentes mesmo após transações com moeda

convencional terem sido realizadas. Exemplos de recursos ociosos variam desde pessoas com capacidade para executar tarefas manuais e/ou intelectuais; salas de aulas inoperantes; etc. Exemplos de necessidades são de plantio de árvores em propriedades rurais, cuidar das áreas revegetadas (fazer podas, roçagem etc.), entre outros.

Para que uma moeda complementar funcione, isto é, cumpra com o objetivo de conectar recursos ociosos com necessidades insatisfeitas é vital que as pessoas que desejem criá-las saibam como delinear o sistema adequadamente.

Felizmente, existe arcabouço teórico relacionado ao tema, construído a partir da observação e análise de experiências reais, que atualmente estão tendo êxito.

A seguir será apresentada uma síntese da experiência mais bem sucedida de moeda complementar, não somente no sentido de atingir os objetivos propostos, mas também pelo tempo que vem funcionando.

6.2. O WIR

O WIR nasceu em resposta à crise econômica vivenciada por cidadãos suíços na década de 1930. Devido à Grande Depressão ocasionada pela quebra do sistema financeiro dos EUA em 1929 (GALBRAITH, 1955), os negócios relacionados ao turismo e a exportação de produtos suíços diminuíram em 65% entre os anos de 1929 e 1934; além disso, devido a essa situação o sistema bancário praticamente não fornecia crédito (francos suíços) para os pequenos e médios empresários (STUDER, 1998, p. 10).

Nesse contexto, um grupo de dezessete empresários liderados por Werner Zimmermann e Paul Enz, inspirados pelas ideias de economistas como Silvio Gesell (GESELL, 1906), e nas experiências realizadas nos países bálticos e escandinavos, resolveram buscar soluções para a falta de crédito para os seus negócios e estagnação em que se encontrava a Suíça (DEFILA, 1994).

A solução encontrada foi a criação do circuito cooperativo econômico WIR, que com o passar do tempo tornou-se o banco WIR (<http://www.wir.ch>). O objetivo deste banco era permitir a seus membros realizarem compra e venda de produtos e serviços entre si, mesmo diante da ausência da moeda oficial, o franco suíço. Esse objetivo é alcançado até o presente, pois

segundo os referidos autores, o banco WIR atende atualmente, aproximadamente, 70.000 pequenos e médios empresários (STODDER; LIETAER, 2012).

Em essência, o WIR é um sistema centralizado de compensação de crédito em que inexistente moeda física, somente contas de seus clientes que podem ter crédito ou débito, administrado pelo referido banco (GRECO Jr, 2009). Inicialmente os membros integrantes do sistema WIR adquiriam o crédito em moeda complementar, WIR, depositando o equivalente em francos suíços, sendo a paridade $1 \text{ WIR} = 1 \text{ franco suízo}$, e não são conversíveis entre si. O sistema evoluiu ao longo dos anos e os cooperados puderam adquirir o WIR por meio de empréstimos, e para isso, bastava apresentar um colateral (hipoteca de casa ou outro ativo qualquer aceito pelo banco) como garantia. Esse empréstimo era isento de juros (zero de juros) e o dinheiro WIR somente podia circular dentro do sistema e ser usado pelos seus integrantes (GRECO Jr, 2009).

A moeda WIR cumpre a função de 'meio de troca'. Na prática, os estabelecimentos que participam do sistema WIR, apresentam um slogan WIR-Plus e possuem os preços dos produtos/serviços expressos em WIR e em francos suíços. Para que haja o processo de compra e venda, o banco WIR administra as contas de ambos os clientes (pessoa física) quanto os empresários (pessoa jurídica), no sistema de compensação de crédito ou débito. O alcance do banco WIR é nacional, em todos os cantões suíços, independentemente do idioma, visto que nesse país existem cantões com diferentes idiomas, italiano, alemão, francês (GRECO Jr, 2009).

Stodder (2009) e Stodder e Lietaer (2012) mostraram por meio de análises estatísticas que o banco WIR é altamente contra cíclico, isto é, em períodos de recessão econômica em que o franco suízo torna-se escasso, o uso do WIR pela população suíça aumenta, principalmente, entre os pequenos e médios empresários, que constituem a maior parte dos participantes do sistema WIR e que são mais afetados pela indisponibilidade de crédito durante períodos de recessão econômica.

O sucesso da experiência do WIR está motivando outras pessoas a se organizarem e adotar o modelo em seus locais, principalmente nos EUA através da American Trade System (www.americantradesystem.com), e Europa (KENNEDY; LIETAER, 2012).

Conforme se pode observar, o WIR foi criado para solucionar um problema comum atualmente em vários países, falta de crédito a pequenos e médios empresários e desemprego

ocasionados por recessões econômicas (ver EUA, e comunidade europeia). Trata-se de um exemplo de moeda criada pela população (people money), segundo a classificação proposta por Douthwaite (1999).

6.3. Outras experiências com ‘people money’

Da mesma forma que os dezessete empresários tomaram iniciativa para criar o WIR para solucionar seus problemas, atualmente existem mais de 5.000 experiências de moedas complementares (MARTIGNONI, 2012) para solucionar problemas desde cuidado com idosos, incentivo a aquisição de conhecimento, redução de desemprego (caso do Banco Palmas), conforme mostram Kennedy e Lietaer (2012) ao apresentarem uma síntese das principais experiências com ‘people money’ desenvolvidas em várias partes do mundo.

Conforme mostra Freire (2011), o Brasil possui várias experiências com moeda complementar, e se tornou referência internacional devido a incorporação de tais experiências pelos governos federal e outros, os quais vem apoiando as iniciativas locais, estaduais de criação de moedas sociais, e formalmente por meio da Secretaria Nacional de Economia Solidária (SENAES), especificamente na organização dos bancos comunitários. A autora cita França Filho e Silva Jr. (2008, p. 3) os quais mencionam:

Assim, sob a liderança da SENAES, o governo federal tem apoiado a organização dos bancos comunitários emissores de moedas sociais circulantes locais, por meio de políticas públicas de finanças solidárias nas três esferas de governo, por considera-los uma prática catalisadora das ‘ações de desenvolvimento territorial que articula – simultaneamente – produção, comercialização, financiamento e formação solidária’, pretendendo transformar essas políticas públicas de finanças solidárias em referência de política nacional de incentivo ao crédito para a produção, consumo e desenvolvimento local.

Conforme se pode notar existem várias experiências práticas e, principalmente, um corpo científico analisando-as, como se pode observar nas publicações do *International Journal of Community Currency Research* (IJCCR) (ver site www.ijccr.net).

6.4. Moedas complementares com finalidades ecológicas

É interessante notar que ainda são poucas as experiências com moedas complementares para solucionar problemas ecológicos (HALLSMITH; LIETAER, 2011). Lietaer (2001, p. 196) cita o programa ‘Lixo que não é lixo’ desenvolvido na cidade de Curitiba, como um exemplo de moeda complementar para atender objetivos ambientais. O autor cita que o

programa poderia ser chamado de ‘*Garbage which is your money*’ (Lixo que é seu dinheiro). Nesse programa a população era estimulada a separar os seus resíduos e troca-los por alimentos, outros utensílios que o programa ofertava.

Dentre as poucas experiências relatadas na literatura científica podemos citar as seguintes: NU Spaarpas; E-portemonnee; Biwa Kippu; Banco Comunitário Verde Vida. A seguir é apresentada uma síntese das referidas experiências.

6.4.1. Pontos Prêmios Verdes: NU Spaarpas (Holanda)

Segundo Joachain e Klopfert (2012) o sistema de moeda complementar NU Spaarpas foi fundado pela prefeitura de Rotterdam visando alcançar vários objetivos governamentais: reduzir o volume de resíduos destinados aos aterros sanitários, promover o uso de transporte público, e gerar o aumento da consciência ecológica e a prática do consumo sustentável.

Os autores mencionam que a moeda utilizada no sistema é o ‘green loyalty point’ desenvolvida na Holanda e criada para estimular que o consumidor tenha um comportamento ecológico, e opera como um cartão de recompensa ‘reward card’. “Pontos verdes” são ganhos quando os residentes da cidade separam seu lixo para reciclagem, usam transporte público, ou compram localmente, e esses pontos podem ser convertidos em bilhetes de transporte público, ou descontos na compra de produtos ecológicos.

Os pontos circulam em um sistema fechado, e o escaneamento dos cartões nas lojas participantes alimentam os dados em uma central de contas dos municípios que participam do sistema. A iniciativa é fruto de uma parceria entre o governo local (prefeitura), negócios locais, e organizações não governamentais. NU foi introduzido na cidade de Rotterdam em maio de 2002, na condição de projeto piloto que durou até outubro de 2003, e no final deste período 10.000 habitantes tinham o cartão, em torno de 100 estabelecimentos comerciais aderiram ao projeto, e 1,5 milhões de pontos tinham sido lançados (JOACHAIN; KLOPFERT, 2013).

6.4.2. E-portemonnee (Bélgica)

O E-portemonnee foi lançado no município de Overpelt, Bélgica, município que conta com aproximadamente 15.000 habitantes. O objetivo deste sistema de moeda complementar é promover que seus municípios adotem comportamentos sustentáveis. Para

alcançar isso, o sistema funciona com duas listas: uma lista de ações sustentáveis, por exemplo, adoção de eletricidade ecológica, participação em cursos de compostagem, e uma lista de prêmios (tíquetes de entrada para piscina municipal, tíquetes para transporte público, lâmpadas econômicas). Ao adotarem ações sustentáveis da primeira lista, os participantes ganham pontos que podem utiliza-los para obter os serviços ou produtos a partir da segunda lista.

Diferentemente do NU Spaarpas, no E-portemonnee inexistente programa de fidelidade (*green points*) e a ação das empresas limita-se a apoiar com incentivos. Para a divulgação e implementação desta experiência, a participação do governo municipal foi imprescindível.

O projeto está em funcionamento e em vias de expansão para outras cidades ao seu redor (JOACHAIN; KLOPFERT, 2013).

6.4.3. Banco Comunitário Verde Vida (Brasil)

A experiência do Banco Comunitário Verde Vida ocorre no Estado de Espírito Santo (ES), e segundo COIMEX (2013) o Banco Comunitário Verde Vida promove a circulação de uma moeda social baseada nos princípios da economia solidária, desde 2008, na região da Grande Aribiri, atingindo diretamente dez bairros. Sua proposta consiste em promover a troca de materiais recicláveis como óleo de cozinha, latinhas e garrafas pet pela Moeda Verde. Com ela, o morador pode fazer compras em alguns estabelecimentos comerciais da região ou trocar por alimentos diretamente no "Supermercado Solidário", abastecido pelo BCVV. Em 2010, foram 1.924 atendimentos, que resultaram na troca de 30 toneladas de garrafa pet, 4 mil litros de óleo e 480 quilos de latinhas. Todo o material é vendido para empresas de reciclagem. O valor arrecadado é usado para abastecimento do Supermercado Solidário, além de arcar com as despesas da sede do banco (COIMEX, 2013).

6.4.4. Restauração do Lago Biwa (Japão)

O relato dessa experiência reside no fato de seu delineamento, pois até o momento ainda não foi implementada, segundo Lietaer *et al.* (2012). O lago Biwa é um dos maiores lagos do Japão e um dos mais degradados antropicamente. Visando recupera-lo, a prefeitura de Shiga vem delineando um sistema de moeda complementar para revitaliza-lo e sem aumentar a sua

dívida pública, pois tal recuperação será feita com a moeda complementar, Biwa Kippu, a qual é inconversível com o iene.

A administração pública através de lei municipal obrigará aos seus habitantes da cidade (exceto os que possuem incapacitação física ou intelectual) a pagar um montante anual em Biwa Kippu, os quais deverão realizar atividades no referido lago, as quais variam desde retirar lixo, capturar espécies de peixes invasoras, coletar plantas aquáticas não endêmicas, entre outras (LIETAER *et al.*, 2012).

Segundo os autores, a prefeitura também fará parceria com organizações não governamentais para que estas auxiliem na execução e monitoramento das atividades realizadas pelos moradores da cidade. Em contrapartida, os Biwa Kippu poderão ser revertidos em favor das ONGs, as quais poderão ter mais pessoas para auxiliá-las em suas atividades no lago, bem como, utilizar os Biwa Kippu, para adquirir serviços e materiais que sejam comercializados na rede de negócios que o aceite.

Conforme já mencionado existem poucas iniciativas com moedas complementares cujos propósitos são alcançarem objetivos ecológicos. Entretanto, das poucas experiências se pode obter informações relevantes para o delineamento de futuros sistemas. Joachain e Klopfert, (2013) com base nas experiências E-portemonnee e do lago Biwa, destacam duas formas de delinear as moedas complementares, a recompensa (*rewarding*) e a regulatória (*regulatory*). A experiência de E-portemonnee (Bélgica) enquadra-se na primeira e a do lago Biwa (Japão) na segunda.

Os autores citam que o delineamento de um sistema de moeda complementar adotando ou sistema de recompensa ou regulatório, implica em estruturas distintas no sistema de moeda complementar e, conseqüentemente, com resultados distintos. Também mencionam que todo sistema de moeda complementar deve ter claro qual é o objetivo que se quer alcançar (pode haver mais de um objetivo) e saber quais são os meios que irão incentivar as pessoas a adotarem os comportamentos desejados. O segundo passo é delinear o funcionamento do sistema. E, por último, é o delineamento da moeda complementar.

Eles também delinham três sistemas de moedas complementares para incentivar as pessoas a adotarem comportamentos que favoreçam a redução do consumo de energia elétrica na Bélgica. Trata-se do '*smart meter*', em tais delineamentos foram utilizados os sistemas de

recompensa, o regulatório e um sistema híbrido. Tais sistemas foram delineados utilizando um arcabouço desenvolvido previamente (JOACHAIN; KLOPEFERT, 2012), e a análise é qualitativa, sem utilizar qualquer tipo de simulação.

A análise da literatura mostra que as propostas de moedas complementares, assim como, a análise das existentes até o momento não são tratadas com simulação integrando dinâmica de sistemas e modelos baseados em agentes. No capítulo 7, será apresentado o protótipo da moeda complementar (Sustento) e como é possível analisar com as referidas metodologias. Além disso, utilizando os resultados oriundos da avaliação multicritério de agricultores no estudo de caso que será apresentado no capítulo 7, também será mostrado como se pode fazer a integração entre o processo MACBETH, dinâmica de sistemas e modelos baseados em agentes.

Na seção 6.5 é apresentada os principais fatores para o delineamento de moedas complementares. Na seção 6.6 é apresentada uma breve descrição dos modelos de opiniões, pois, um desses modelos será utilizado para demonstrar a integração entre as metodologias, conforme será descrito ao longo do capítulo 7. As simulações serão analisadas por meio da metodologia de delineamento de experimentos apresentada por Taguchi (1987), a qual será descrita na seção 6.7.

6.5. Delineamento de sistemas de moedas complementares

Devido ao relativo escasso material nessa área de pesquisa, as informações contidas nessa seção baseiam-se em (HALLSMITH; LIETAER, 2011; KENNEDY *et al.*, 2012). Segundo os autores, o delineamento de um sistema de moeda complementar implica em responder às seguintes questões:

1. Quais são as necessidades não atendidas que se deseja atender?
2. Existem recursos subutilizados que podem ser utilizados?
3. Qual é o objetivo da moeda que se quer delinear?
4. Qual é o meio de suporte que será usado para fazer circular a moeda?
5. Qual função (ou quais funções) a moeda desempenhará?
6. Qual é o procedimento de emissão de moeda que se pretende empregar?
7. Qual será o mecanismo de recuperação de custo?

Para respondê-las é preciso considerar alguns mecanismos que auxiliarão a delinear o sistema:

1. Meio de suporte
2. Função da moeda
3. Processo de emissão da moeda
4. Mecanismo de recuperação de custo

6.5.1. Meio de suporte

Hallsmith e Lietaer explicam que se entende por meio de suporte ao objeto que representará a moeda: papel, moeda metálica, cartão plástico, digital, entre outros. Os meios podem ser enquadrados nas seguintes categorias: moeda commodity; papel e moedas; meio eletrônico; meios mistos.

6.5.2. Função da moeda

Hallsmith e Lietaer (2011), afirmam que são atribuídas basicamente três funções ao dinheiro (moeda): unidade de conta; meio de troca; reserva de valor. Lietaer (2001) mostra que as diferentes funções atribuídas ao dinheiro podem ser representadas por diferentes moedas, ao invés de uma somente, prática adotada secularmente por diferentes civilizações, segundo o autor.

A função de unidade de conta (medida de valor) permite que o usuário da moeda possa comparar quanto de sua moeda complementar equivale à moeda nacional, ou produto ou serviço. Geralmente as moedas complementares são delineadas de modo que essa função seja atribuída à moeda nacional devido à vantagem que as pessoas já estarem familiarizadas. Por exemplo, em economias estáveis como a Suíça, um WIR é igual a um franco suíço. Entretanto, em economias instáveis sujeita a inflação ou deflação, é conveniente adotar outros meios como unidade de referência, seja utilizando o tempo ou unidade física (milhas aéreas, por exemplo).

Segundo os autores há moedas complementares em que a unidade de referência é o tempo, como exemplo, o Time Bank e o sistema japonês Fureai Kippu. No sistema de milhas aéreas a unidade de referência é uma milha percorrida por viagem aérea. Os autores citam que para superar inconvenientes relacionados às múltiplas tabelas de preços, algumas moedas

complementares, adotam um sistema misto em que a unidade de referência (tempo ou unidade física), porém, apresentam a proporção de cada perante moeda nacional. Por exemplo, 1 Ithaca Hour equivale a 10 dólares.

Os autores citam que a moeda complementar que não exerce a função de unidade de referência, deve funcionar como meio de troca utilizando um dos meios de suporte citados na seção 6.5.1. Também mencionam que é conveniente que a moeda complementar não desempenhe a função de reserva de valor, pois, implica que as pessoas poderiam acumulá-las ao invés de utilizá-las como meio de troca. Explicam que classificar as moedas complementares em relação a reserva de valor é o mesmo que analisá-las quanto a forma como se relacionam com o tempo, isto é, taxa de juros (positivas, zero, ou negativas).

Exemplos de moedas com taxas de juros positivas são as moedas emitidas pelos governos, bancos, a citar alguns. Segundo os autores, um dos efeitos da incidência de juros positivos é que o possuidor do dinheiro possa mantê-lo sem circular ao depositá-lo em alguma instituição financeira para lucrar com os juros compostos. Esse tipo de prática é desestimulado no delineamento de moedas complementares.

Os autores mencionam que a maioria das experiências com moedas complementares operam sem a cobrança de juros, isto é, adotam juros iguais à zero. Em alguns casos, as moedas complementares operam com taxas de juros negativas, visando aumentar a sua circulação na economia, uma vez que com o tempo o seu poder de troca é reduzido. Também chamada de taxa demurrage, os juros negativos foram comumente praticados durante séculos na Europa; durante o século XX, o economista Silvio Gesell trouxe à tona esse conceito (GESELL, 1906). Atualmente existem várias moedas complementares que operam com taxa demurrage (KENNEDY *et al.*, 2012).

Lietaer e Belgin (2001) nos mostram que as moedas complementares podem ser delineadas de modo a terem prazo de validade, isto é, deixará de existir após determinado tempo ou condição pré-determinada.

6.5.3. Procedimentos de emissão

Hallsmith e Lietaer (2001) afirmam que o desconhecimento dos procedimentos de emissão constitui um dos principais fatores contribuintes para o fracasso das moedas

complementares. Assim, é fundamental que os delineadores de tais moedas estejam atentos aos diferentes tipos de procedimentos de emissão a fim de encontrar a melhor combinação entre eles a fim de atender os objetivos que a moeda complementar se propõe a alcançar.

a) Moedas lastreadas

Os autores afirmam que as moedas mais fortes são as lastreadas. O dólar esteve lastreado com ouro durante décadas, o que ocorreu até o fim do acordo de Bretton Woods. Algumas moedas complementares são lastreadas por produtos ou serviços, ou ainda, pela moeda nacional de seu país ou outro.

A moeda complementar desenvolvida nesta pesquisa se enquadra nesta categoria (ver seção 6.6).

b) Empréstimos com garantia legal

Moedas complementares como o WIR realizam empréstimos via o banco WIR exigindo dos solicitantes de empréstimos garantias, como hipoteca, ou outro meio aceito pela administração do WIR.

c) Vouchers para compra e troca

Algumas moedas complementares emitidas na forma de vouchers podem ser compradas com moeda local, circularem como forma de troca na economia local, para posteriormente, se desejável, serem convertidas novamente a moeda nacional, por preço pré-determinado. Exemplo são Save Australia.

d) Voucher comercial

Similar ao voucher para compra e troca, diferenciando-se pela não convertibilidade do voucher em moeda nacional, mas sim em produto ou serviço ofertado pelo emissor do voucher. O voucher comercial funciona como relação entre o seu emissor e o cliente; este último pode obtê-lo gratuitamente ou comprando-o com desconto.

e) Moedas de fidelização

As moedas de fidelização são moedas complementares comerciais que são emitidas de empresas para clientes em proporção a suas compras com moeda convencional. Exemplo, milhas aéreas.

f) Crédito mútuo compensatório

O dinheiro emitido simultaneamente entre débito e crédito entre participantes durante uma transação comercial cria moeda de crédito mútuo compensatório. O WIR opera pelo crédito mútuo. Maiores detalhes podem ser encontrados em GRECO Jr. (2009).

g) Empréstimos sem garantia legal

A moeda pode ser emitida como crédito, sem a necessidade formal de colateral (é suficiente uma declaração de que o empréstimo será quitado). Exemplo, Bia Kud Kum na Tailândia.

h) Central de distribuição

É uma das formas mais simples de emissão de moedas, isto é, através de uma central que distribui a moeda complementar às pessoas que atendem os requisitos para recebê-la. O banco WIR é a central de distribuição da moeda complementar WIR.

i) Processos mistos

Novamente, utilizamos a experiência do WIR que é delineado com diferentes características de procedimentos de emissão de moeda, apresentados anteriormente. O WIR possui uma central de distribuição (banco WIR); emite empréstimos com colateral; opera via crédito mútuo. A moeda complementar proposta nesta pesquisa também opera via processo misto (seção 6.6).

6.5.4. Mecanismos de recuperação de custos

Estabelecer um sistema de moeda complementar envolve custos (pessoal, infraestrutura, outros). Alguns desses custos ou sua totalidade pode ou não ser recuperados ao longo do tempo. No caso de recuperar os custos do sistema, é preciso definir:

- 1 - quais custos serão pagos com moeda nacional e quais com moeda complementar
- 2 - quais as opções para recuperar o custo.

A seguir apresentam-se algumas opções comumente utilizadas.

a) Não utilizar mecanismo de recuperação de custos

Esse caso pode ocorrer se os custos foram patrocinados, ou o sistema for delineado para não ter custos, ver Lietaer (2011) para maiores detalhes.

b) Taxa fixa

Essa pode ser taxa de entrada no sistema, assim como, taxa cobrada após tempo de ingresso (semestral, anual, outro). Os valores de tais taxas geralmente são diferenciadas entre empresas e indivíduos. Geralmente, tais taxas servem para recuperar os custos com moedas nacionais.

c) Taxa de transação

São cobradas pelas transações realizadas pelos usuários. Podem ser cobradas ou no momento da transação ou após uma quantidade acumulada em período de tempo estipulado (mensal, outro). Essas taxas são cobradas na mesma moeda que a transação é feita.

Na próxima seção descreve-se o protótipo de moeda complementar, Sustento, desenvolvida nesta tese. O Sustento foi inspirado no ‘Natural Savings’ descrito em Lietaer *et al.* (2012).

6.6. Sustento (\$T)

6.6.1. Principais características do Sustento (\$T)

A seguir apresentam-se as principais características do protótipo da moeda complementar denominada Sustento, cuja sigla é, \$T. Tais resultados surgiram de várias discussões com os pesquisadores da EMBRAPA.

Principal razão para sua criação: aumentar a revegetação de áreas privadas com sistemas agroflorestais compostos por espécies nativas e exógenas ao bioma que pertencem, a fim de que os agricultores se adequem ao Código Florestal brasileiro quando for necessário, e fortalecer a economia local ao servir como meio de pagamento nas atividades econômicas do local onde será implantado.

Benefícios

- **Para os biomas:** aumento da quantidade de área revegetada com espécies nativas
- **Para sociedade:** ganho de serviços ecossistêmicos em seu local oriundos da revegetação de áreas desmatadas; novo meio de troca (Sustento) para fortalecer a economia local, bem como, renda adicional devido a sua participação no sistema Sustento.
- **Para agricultores:** quando necessário, cumprir com legislação florestal; adquirir novo meio de troca e renda adicional pelo comércio de espécies exógenas.

Participantes: alguns dos potenciais participantes do Sustento são: os agricultores, comerciantes locais, população desempregada, profissionais autônomos, entidades governamentais, organizações não governamentais, entre outros.

Mecanismos chaves: neste protótipo adotou-se um processo de emissão misto. É importante saber que há outras formas de delinear o sistema, por exemplo, através de sistema de crédito mútuo compensatório. No processo misto adotado neste protótipo, a administração do Sustento é centralizada; o Sustento é moeda lastreada pela quantidade de área revegetada com espécies comercializáveis e nativas, sendo criado por meio de ‘backed fiat money’ e sem incidência de juros (positivos ou negativos). Visando incentivar que as pessoas utilizem-no em seu dia-a-dia, o Sustento também possui característica de ‘fidelização’, pois, a cada colheita do

ativo comercializável (por exemplo, madeira comercializável de espécie nativa e/ou exógena), partes dos recursos financeiros são revertidas para os participantes do sistema.

Neste protótipo adota-se como meio de suporte do Sustento, o meio digital, isto é, o Sustento é moeda digital.

Neste protótipo o Sustento deixa de existir quando a última espécie comercializável for cortada (no caso de ser madeira de corte). Poderá ser criado novamente somente se houver necessidade de revegetar áreas agrícolas com espécies nativas e/ou comerciais exógenas ao bioma.

Nome da moeda/medida de valor: Sustento / 1\$T = 1R\$, um Sustento igual a um Real. Isto é, a função de medida de valor é atribuída ao Real (R\$).

Governança: possíveis casos, governo local; governança mista (ONG junto com empresas e governos); empresas; sociedade civil organizada.

Recuperação de custo: estabelecimentos comerciais pagam taxa de adesão; dividendos pagos pelos agricultores oriundos da venda de produtos oriundos das espécies comercializáveis à administração do Sustento da comercialização exógenas; taxa anual para o agricultor; taxa anual para os clientes que utilizam o \$T.

6.6.2. Descrição das principais características do Sustento

A razão em criar o Sustento é aumentar as chances de recuperar os biomas brasileiros protegidos pelo Código Florestal Brasileiro (CFB), especificamente, ao incentivar os produtores rurais a cumprirem com as determinações da referida legislação, no que se refere principalmente, as áreas de preservação permanente e reserva florestal legal.

Em casos onde o Código Florestal não obrigue a averbação de reserva legal, o objetivo do Sustento é incentivar a revegetação com sistemas agroflorestais visando aumentar a oferta de serviços ecossistêmicos, diversidade de renda para os agricultores e, fortalecimento da economia local tornando-a mais resiliente, pois conforme Lietaer *et al.* (2012), a adoção de moedas complementares nas economias aumentam a sua resiliência, tornando-as menos suscetível às crises econômicas.

O Sustento possui características diferentes de iniciativas como o pagamento por serviços ambientais (PSA), sendo que a principal delas está relacionada à forma em que o Sustento é criado, isto é, seu delineamento. Conforme explica Lietaer e Belgin (2011), o delineamento de uma moeda envolve a forma como ela é criada, a qual irá determinar a forma como funcionará. Os autores citam que as moedas dos países são do mesmo tipo, isto é, são criadas através de dívida com pagamento de juros positivos.

Esse tipo de dinheiro é utilizado para financiar os vários instrumentos de políticas ambientais, o que os tornam dependentes de recursos financeiros escassos e que concorrem com outros objetivos sociais, isto é, dependem de dinheiro criado pelo banco central, seja do país onde o instrumento esteja sendo aplicado ou oriundo de outro país. O Sustento, ao contrário, é uma moeda complementar delineada de forma a não incidir sobre sua criação juros positivos, sendo esta a primeira diferença.

A segunda diferença está na governança do Sustento que diferentemente dos outros instrumentos de políticas ambientais que dependem de um governo local, regional ou nacional, o Sustento pode ser criado e administrado por uma ONG, sociedade civil organizada, ou grupo de empresários, ou um sistema de administração híbrido entre poder público, empresas, ONGs, o que o torna mais flexível e adaptável a diferentes contextos socioecológicos.

O Sustento funciona como um sistema e é composto pelas seguintes partes: o emissor e gerenciador do ‘Sustento’; os proprietários de terras que querem se adequar ao código florestal brasileiro (quando necessário) e/ou agricultores que desejem aumentar suas áreas florestais, a fim de obter lucros oriundos do comércio de espécies comercializáveis; empresas que possuam atividades relacionadas ao assunto como exemplo, negócios relacionados ao fornecimento de mudas de espécies nativas de biomas brasileiros e/ou espécies exóticas; moirões, arames para cerca, seguros agrícolas, entre outros; empresas que queiram participar do sistema ao aceitar o ‘Sustento’ como forma de pagamento pelos seus produtos; cidadãos que queiram utilizar o ‘Sustento’, seja como meio de troca no comércio local.

É importante envolver as instituições que estão mais próximas dos produtores rurais, como as instituições de extensão rural, pois, em teoria existe uma relação de confiança entre eles. Uma vez que tais instituições divulguem informações sobre o Sustento aos produtores rurais,

esses últimos podem confiar mais no sistema e serem motivados a participar ativamente do mesmo.

6.6.3. Relação entre os proprietários de terras e a administração do ‘Sustento’

Existem requisitos que cada proprietário rural deve cumprir para participar do sistema Sustento. Por exemplo, em locais onde haja a não obrigatoriedade em averbar reserva legal, o proprietário pode participar do sistema, caso contrário, deverá apresentar documento que comprove a averbação da reserva legal.

Deverá apresentar título da propriedade, e em situações onde este inexista, o proprietário deve apresentar documento que comprove sua permanência no local; por exemplo, no caso de Machadinho d’Oeste, o INCRA pode emitir tal documento comprobatório.

O proprietário deve mostrar quais são e as quantidades de espécies exóticas e nativas pretende usar na revegetação das áreas de sua propriedade. Deve concordar que irá aceitar, quando necessário, auxílio de outros proprietários para a implantação das áreas a serem revegetadas. Também deve aceitar que irá, seja pessoalmente ou com familiares, prestar auxílio na implantação de áreas a serem revegetadas em outras propriedades. Essa condição também se aplica em períodos onde haja necessidade de cuidados do tipo desbastes, corte de leguminosas, corte das madeiras comerciais. O objetivo deste requisito é estimular a cooperação entre os agricultores e reduzir os custos de mão-de-obra nas atividades de manutenção das áreas revegetadas.

Também deve aceitar que um percentual da madeira comercial produzida em sua propriedade após a adoção do Sustento deverá ser cedida aos demais participantes do sistema que são:

- a administração do Sustento
- pessoas e empresas que também participam do sistema aceitando o Sustento como meio de troca pelos seus produtos e/ou serviços

Supor que o proprietário já possua as áreas de preservação permanente (APP), reserva florestal. Ele pode apresentar a comprovação de que as possui e ir à administração do ‘Sustento’ para pleitear crédito para investir em atividades que sejam compatíveis com os objetivos

ambientais e sociais na área onde trabalha. Trata-se de um incentivo pelas suas práticas conservacionistas.

6.6.4. Estabelecimento da entidade responsável pela administração do Sustento

O Sustento pode ser estabelecido através de uma associação; cooperativa; grupo de empresários; associação mista entre ONGs, governos, empresas, banco, por exemplo. A entidade constituída será responsável pela criação e destruição do Sustento, pela emissão, entre outras tarefas. A entidade também será responsável pela cobrança de possíveis taxas que os participantes devem pagar, bem como, a administração das mesmas para a utilização correta.

A confiança no sistema é um fator crítico para que os agricultores e demais potenciais participantes possam participar do mesmo. A fim de garantir transparência, bem como, funcionamento adequado do sistema para atingir os objetivos propostos, algumas medidas são propostas, as quais não são modeladas.

São elas:

- Monitoramento das propriedades que participam do sistema, seja por atividade de campo, e/ou por meio de imagens de satélites. Visto que o Sustento prevê a distribuição de renda oriunda do comércio de produtos oriundos das espécies comercializáveis plantadas nas propriedades dos agricultores para os participantes do sistema, esses podem monitorar as áreas revegetadas, pois, elas constituem o lastro do Sustento.
- Monitoramento das atividades da administração do Sustento, seja por comissão fiscalizadora composta por agricultores, representantes ONGs, governos, bem como, se possível, auditoria externa. Junto com a atividade de monitoramento se busca garantir que a quantidade de Sustentos criadas sejam equivalente à quantidade de área revegetada.

Essas são algumas das ideias que emergiram de discussões com os pesquisadores da EMBRAPA e por meio da consulta da relativa escassa literatura já mencionada.

Um dos pontos considerados importantes pelos pesquisadores da EMBRAPA e que deveria ser simulado é a presença de pessoas que, por interesses econômicos, possam interferir

negativamente na formação de opinião dos agricultores quanto a aceitarem em participar do Sustento. Esta situação enquadra-se em um campo de estudo denominado ‘*opinion dynamics*’, cuja importância revela-se pelo desenvolvimento de vários modelos (DEFFUANT *et al.*, 2002; LORENZ, 2007) os quais buscam entender os fatores que influenciam a mudança de opinião dentro de uma sociedade sob influência de outras pessoas. A introdução a tais modelos foi feita na seção 6.6.

Na próxima seção serão apresentados os detalhes do modelo de Deffuant *et al.* (2002), bem como, as modificações realizadas para o propósito desta pesquisa.

Capítulo 7 – Resultados

Os resultados estão divididos em três partes. A primeira apresenta, respectivamente, a área de estudo e arquitetura de ocupação do assentamento de Machadinho d'Oeste.

A segunda parte se refere aos resultados da aplicação do processo sociotécnico MACBETH (seção 7.1). Os resultados da fase de estruturação constam em 7.1.1, enquanto que os relacionados à fase de avaliação em 7.1.2. Em 7.1.1 descreve-se a contextualização do problema e os descritores de impactos relacionados aos critérios referentes aos aspectos ambientais, sociais e econômicos. Em 7.1.2 apresentam-se, respectivamente, as funções de valores pertinentes aos descritores de impactos relacionados aos aspectos ambientais, sociais e econômicos. Também se apresentam os resultados referentes aos pesos dos critérios dos referidos aspectos, assim como, os resultados da avaliação global das 213 propriedades que estão nos Apêndices 1, 2 e 3.

A terceira parte (seção 7.2) refere-se aos resultados da integração multimetodológica. Em 7.2.1 descreve-se o modelo adaptado de Deffuant *et al.* (2002) utilizando o protocolo ODD. Em 7.2.2 apresenta-se a simulação dos componentes da moeda complementar Sustento. Em 7.2.3 utilizando os elementos apresentados nas seções anteriores, mostra-se a integração das três metodologias através da simulação dos componentes do Sustento. Finalmente, em 7.2.4, apresentam-se os resultados da simulação.

Localização da área de estudo

O Município de Machadinho d'Oeste está localizado entre os municípios de Ariquemes e Jaru, distantes aproximadamente 400 km de Porto Velho (Rondônia), entre as coordenadas geográficas 61°47'O e 63°00'O, 9°19'S e 10°00'S (Figura 7.1).

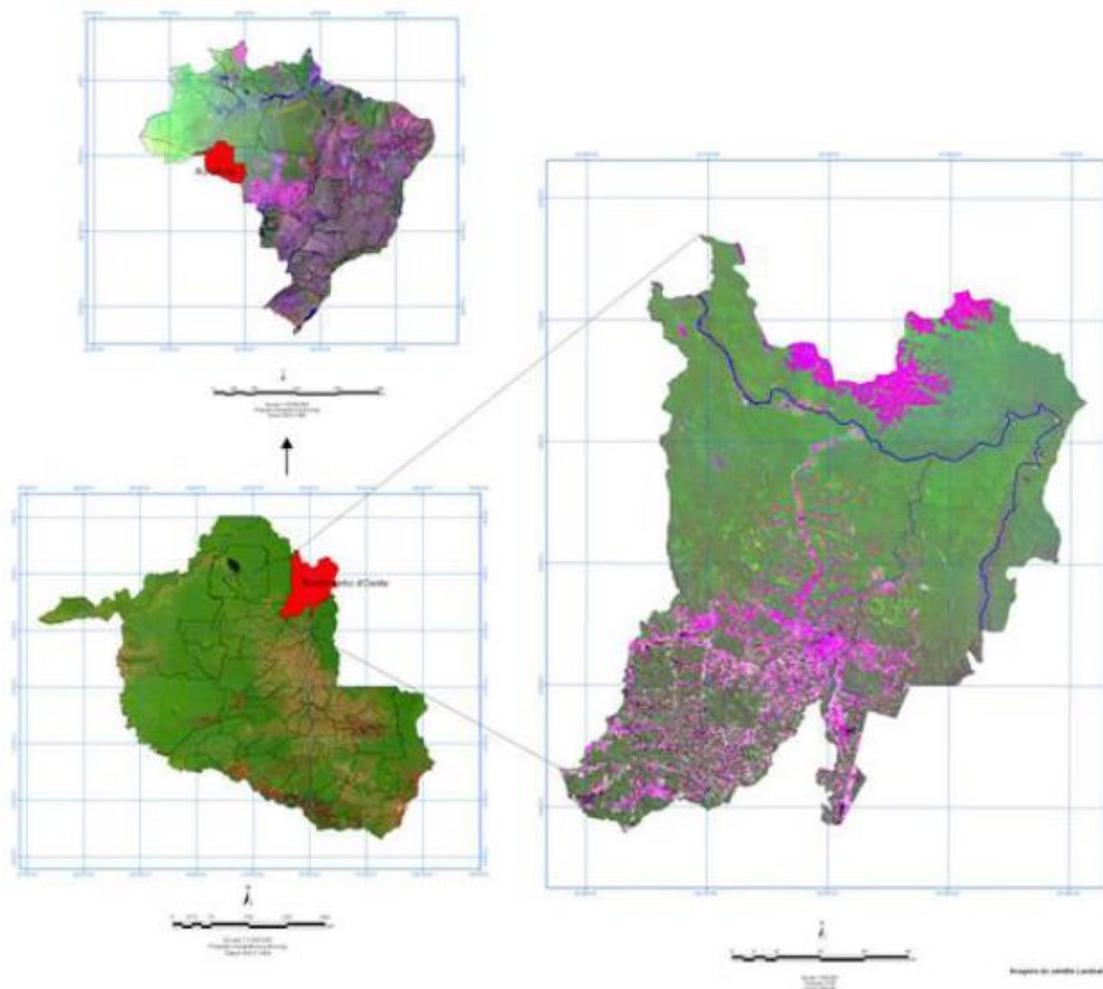


Figura 7.1 - Localização da área de estudo.

Arquitetura de ocupação do espaço rural em Machadinho d'Oeste

Batistella e Moran (2005) afirmam que a região da Amazônia apresenta diversas arquiteturas de assentamentos e complexos fundiários. Dentre essas arquiteturas está o padrão 'espinha de peixe', sistemas radiais e o padrão de reservas em blocos (Figura 7.2). As reservas em blocos são reservas florestais comuns com direito de uso pelas populações locais e são considerados pelos referidos autores como um instrumento eficaz na manutenção de menores índices de fragmentação da paisagem. Além disso, outros estudos de sistemas de produção e estrutura da paisagem em Machadinho d'Oeste sugerem que este seja um modelo mais apropriado de colonização da Amazônia (BATISTELLA *et al.*, 2003; MANGABEIRA *et al.*, 2002; 2011).

O Projeto Machadinho d'Oeste adotou a arquitetura de reservas em blocos (Figura 7.3), combinando lotes privados com reservas florestais comuns, contemplou os atores locais com um modelo institucional diferenciado e incorporou uma rede viária respeitando características de relevo e hidrografia, permitindo o acesso aos lotes mais remotos. Essa característica do sistema viário adotado em Machadinho auxilia a reduzir os custos de manutenção, pois no traçado octogonal (espinha de peixe) é necessário que sejam construídas pontes e que haja controle maior da erosão, o que geralmente não é feito nas regiões amazônicas. Como a sazonalidade é uma variável importante que afeta a locomoção, muitos agricultores ficam isolados no período das chuvas (BATISTELLA, 2001).

Além das características acima citadas, a arquitetura de reservas em blocos auxilia a reduzir o processo de fragmentação da floresta, ao contrário dos assentamentos no formato de “espinha de peixe”, os quais acentuam a fragmentação florestal, segundo (BATISTELLA *et al.*, 2003). As reservas florestais, em função de sua disposição em bloco e do arranjo institucional criado, têm-se mantido relativamente preservadas, criando a possibilidade de geração de serviços ambientais e mantendo rica fauna de vertebrados (MANGABEIRA, 2010).

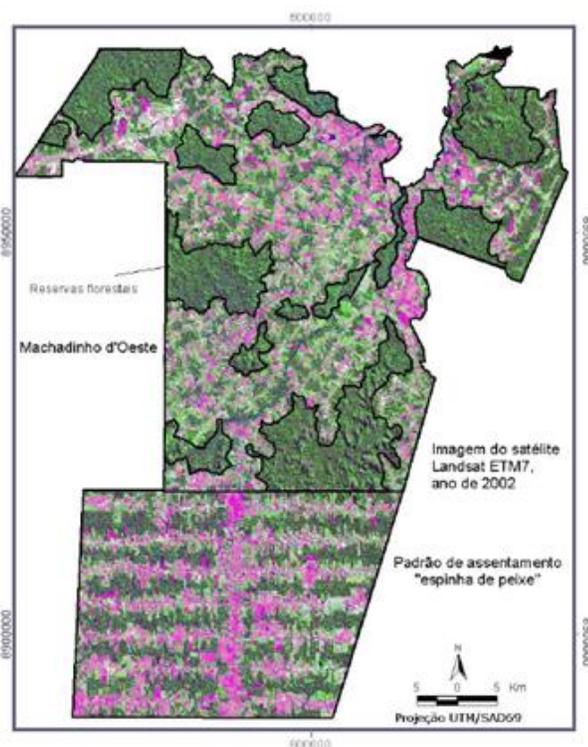


Figura 7.2 – Dois tipos de projetos de assentamentos em Rondônia. O primeiro, Machadinho d'Oeste, com desenho baseado na topografia e reservas florestais em bloco, e o segundo, Vale do Anari, com desenho ortogonal, também conhecido como “espinha de peixe”. Fonte: BATISTELLA (2001).

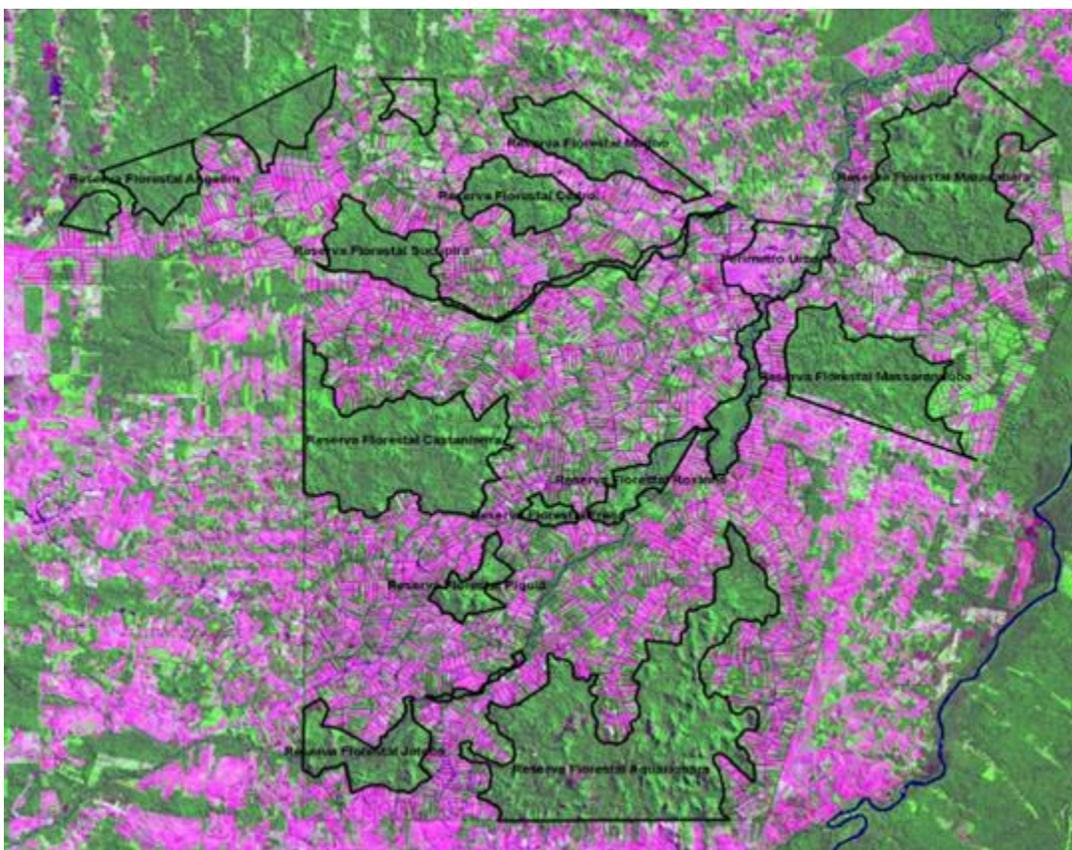


Figura 7.3 – Projeto de Assentamento Machadinho d’Oeste, RO, reservas florestais em blocos, imagens satélite Landsat : 09/08/2009. Fonte: MANGABEIRA *et al.* (2011)

As reservas em blocos estão representadas pelos polígonos de coloração verde. As áreas com coloração rosada são áreas sem vegetação.

7.1. Resultados da aplicação do processo MACBETH

7.1.1. Contextualização e estruturação

O facilitador, doutorando Ranulfo Paiva Sobrinho, junto com os pesquisadores da EMBRAPA iniciou o processo MACBETH com a contextualização da situação de decisão que foi assim caracterizada pelos referidos pesquisadores: avaliar a sustentabilidade de sistemas de produção agrícola em Machadinho d’Oeste em 213 propriedades segundo as dimensões sociais, econômicas e ambientais utilizando um índice multicritério.

Após o entendimento do contexto de decisão, iniciou-se a fase de estruturação. Nesta o facilitador questionou os pesquisadores sobre quais eram os elementos considerados relevantes

nesse contexto; além disso, solicitou que expressassem suas preocupações e demais pontos considerados importantes.

Cada um dos pesquisadores expressou seus pontos de vista, os quais foram esclarecidos quando surgiram dúvidas quanto ao significado e pertinência do mesmo no referido contexto. Esses pontos de vistas representam os valores dos referidos pesquisadores e seguindo os procedimentos sugeridos por Keeney (1992), foram transformados em objetivos, os quais foram utilizados para a construção do mapa cognitivo.

Os seguintes pontos de vista já transformados em objetivos foram considerados relevantes segundo a opinião dos dois pesquisares, isto é, eles consideraram que os agricultores de Machadinho d'Oeste deveriam:

- Ter sistemas agroflorestais (SAF) ou sistemas silvipastoris (SSP) na propriedade.
- Ter a propriedade próxima à reserva florestal em bloco.
- Ter baixa presença de área com pastagem e maior área com mata nativa na propriedade.
- Ter propriedade com titulação.
- Aumentar o número de ativo agrícola (mão de obra) por lote.
- Ter baixa ou não ter renda extra agrícola.
- Aumentar a produtividade do trabalho agrícola.
- Aumentar a renda não monetária (produtos para auto consumo).
- Aumentar a diversidade de renda monetária oriunda da produção agrícola.

Esses objetivos representam o entendimento dos dois pesquisadores que é reflexo de suas pesquisas e vivência na área de estudo. Conforme pode ser observado na Figura 7.4, vários desses objetivos não foram considerados critérios, mas sim, meios para alcançá-los. A explicação do significado de alguns dos objetivos acima mencionados é apresentada a seguir:

- Ter sistemas agroflorestais ou silvipastoris na propriedade: possuir além do café, outras espécies florestais plantadas na propriedade no caso do SAF ou um misto de SAF com pecuária (SSP).
- Ter a propriedade próxima à reserva florestal em bloco: significa possuir a propriedade colada ou a menos de 70 m da reserva florestal em bloco.

- Aumentar o número de ativo agrícola (mão de obra) por lote: ativo agrícola significa um homem ou mulher na faixa de 14 a 65 anos com condições para trabalhar na propriedade.
- Produtividade do trabalho agrícola refere-se ao número de ativo agrícola por lote dividido pela área agrícola.
- Aumentar a renda não monetária (produtos para autoconsumo): possuir em sua propriedade hortaliças, criação de galinhas, porcos, árvores frutíferas, por exemplo, de modo que evite gastos com supermercado.
- Aumentar a diversidade de renda monetária oriunda da produção agrícola: significa ter renda oriunda além do café e pecuária, por exemplo, venda de madeira oriunda de manejo florestal, entre outros meios.

A partir desses objetivos procedeu-se à fase de estruturação dos objetivos, buscando identificar quais eram os objetivos meios, os fins e os estratégicos. Construiu-se o mapa cognitivo, cujos resultados parciais são mostrados a seguir. O procedimento foi feito a partir das sugestões expressas em Keeney (1992).

A partir do mapa cognitivo apresentado nas Figuras 7.4 e 7.5, os pesquisadores conseguiram visualizar melhor o entrelaçamento de seus pontos de vistas expressos em objetivos e com isso aumentar o entendimento sobre o seu objeto de estudo. Perceberam que alguns dos pontos de vista expressos no início do processo de estruturação eram objetivos meios para alcançar outros objetivos e perceberam com mais clareza o objetivo estratégico. Além disso, o processo de identificar dentre esses objetivos quais eram essenciais e controláveis os auxiliou a perceber que alguns objetivos expressos para serem alcançados dependiam de decisões fora do contexto do estudo em questão, levando-os a reformular seus objetivos ou suprimi-los.

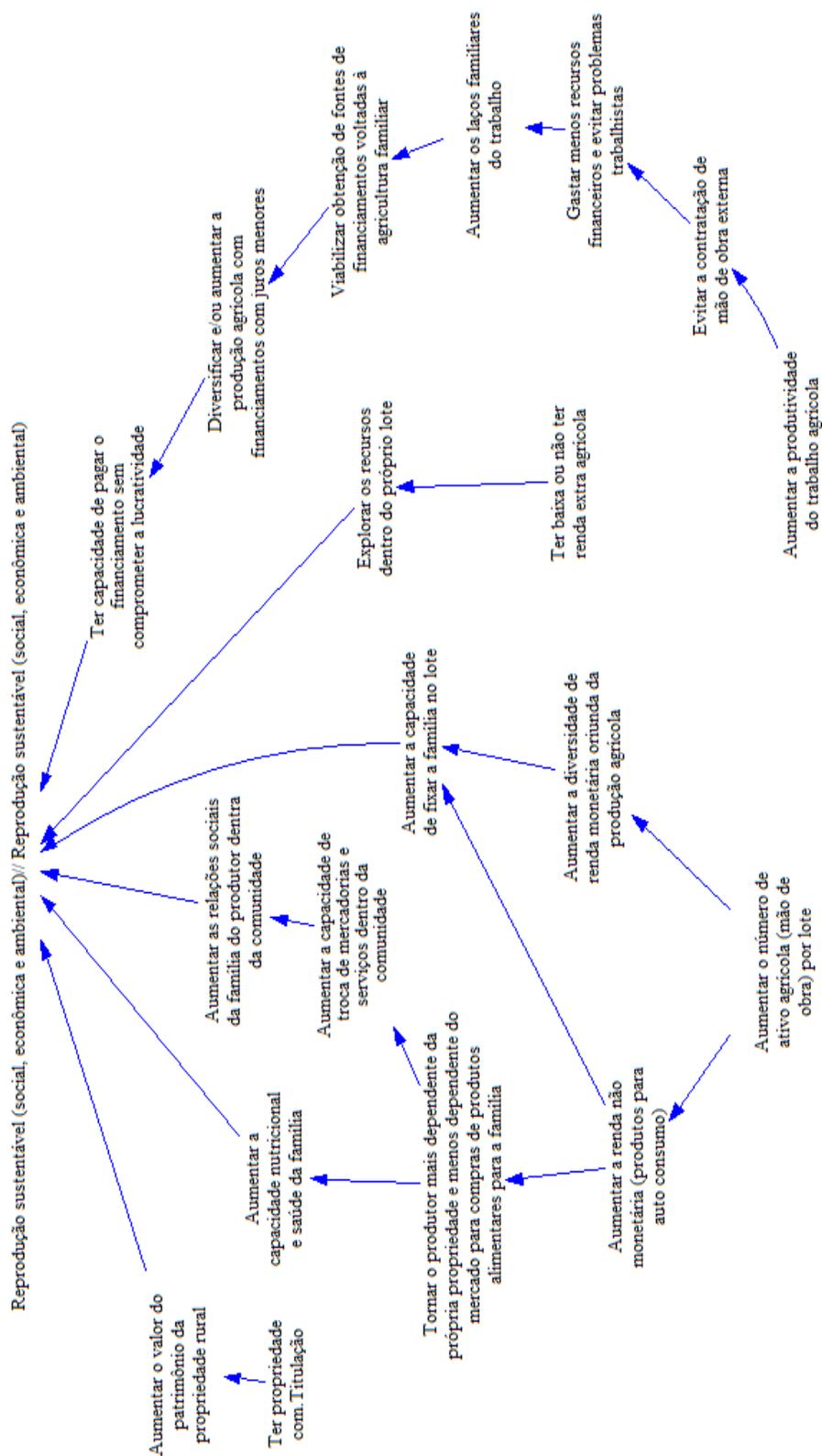


Figura 7.5 – Fragmento 2 de mapa cognitivo construído a partir de alguns objetivos expressos pelos pesquisadores da EMBRAPA. (Mapa cognitivo gerado pelo software VENSIM).

O objetivo estratégico nesse estudo foi identificado pelos pesquisadores da EMBRAPA como sendo ‘Garantir a reprodução sustentável (social, ambiental e econômica) dos agricultores em Machadinho d’Oeste’. Os pesquisadores da EMBRAPA entendem que, no contexto de agricultura familiar em Machadinho d’Oeste, para o agricultor e família poderem permanecer na propriedade ele deve ter condições para sobreviver a partir dos recursos oriundos do lote, ter relações sociais para no caso de problemas de saúde ou outro poder contar com o auxílio de vizinhos, por exemplo, e também, que o seu sistema de produção dependa o mínimo possível de insumos químicos e se beneficie o máximo possível de serviços ecossistêmicos ofertados pelas florestas naturais ou plantadas. A essas características os referidos pesquisadores denominaram de reprodução sustentável social, ambiental e econômica.

Esse objetivo significa que todos os demais objetivos convergem para alcançar um objetivo maior, o estratégico, e que este está relacionado à continuidade da atividade agrícola nas propriedades de Machadinho d’Oeste mantendo os objetivos fins ambientais, sociais e econômicos, que serão mostrados a seguir.

A identificação dos objetivos fins foi feita analisando o mapa cognitivo segundo o seu conteúdo. Basicamente, o facilitador auxiliou os decisores a identificarem os objetivos que eram controláveis e essenciais diante do contexto de decisão, conforme explica Keeney (1992).

Uma vez identificados tais objetivos controláveis e essenciais, os demais requisitos necessários para que um objetivo possa ser considerado fundamental também foram analisados. Para cada um dos candidatos a objetivos fundamentais foi criado um descritor de impacto com dois níveis de referências, a partir dos quais se procedeu ao teste da independência de julgamento o qual mostrou que os candidatos a critério eram independentes quanto a esse requisito. A Figura 7.6 mostra o resultado da análise.

Os critérios identificados e que constam na Figura 7.6, segundo as dimensões ambientais, social e econômica são os seguintes,

Dimensão ambiental:

- ✓ Reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café.
- ✓ Aumentar a quantidade de biomassa no solo na área de uso agrícola.

Dimensão social:

- ✓ Ter baixa, ou não ter, renda extra agrícola.
- ✓ Garantir o auto consumo e aumentar a capacidade de troca na comunidade com mercadorias advindas do lote.
- ✓ Participar de atividades sociais na comunidade.

Dimensão econômica:

- ✓ Aumentar a diversidade de renda monetária oriunda da produção agropecuária familiar.
- ✓ Aumentar o valor do patrimônio da propriedade rural.
- ✓ Aumentar a renda proveniente da madeira legalmente explorada no lote.

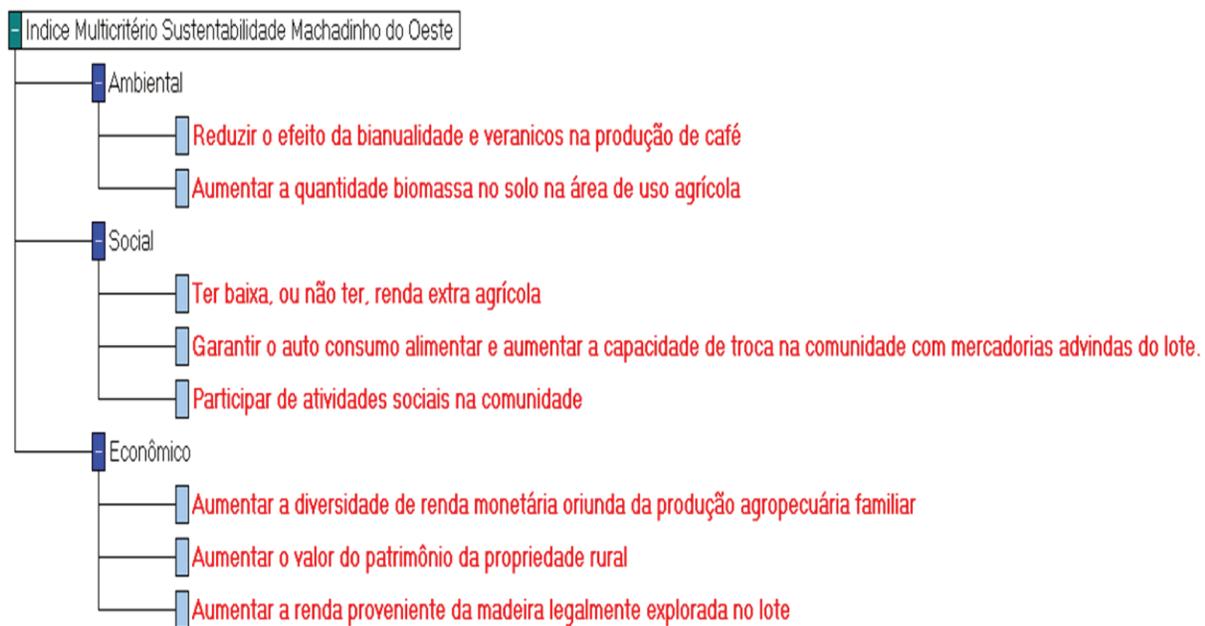


Figura 7.6 – Árvore de critérios que compõe o índice multicritério para Machadinho d’Oeste.
Fonte: resultado da pesquisa gerados pelo software M-MACBETH.

Os descritores de impactos para cada um dos critérios são apresentados a seguir.

Descritores de impactos relacionados aos critérios referentes ao aspecto ambiental

Tabela 7.1 – Descritor de impacto relacionado ao critério ‘reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café’

Bom	Estar colado na reserva florestal em bloco e ter SAF no lote
	Até 1000 metros longe da reserva em bloco e com SAF
Neutro	Estar colado a reservas florestais em bloco, ou, sem SAF e estar dentro raio 1000m da Reserva em Bloco, ou, ter SAF
	Distância acima de 1.000 metros da reserva em bloco e sem SAF

Nota: SAF significa sistema agro florestal.

Tabela 7.2 – Descritor de impacto relacionado ao critério ‘aumentar a quantidade biomassa no solo área de uso agrícola’

Bom	Ter SAF, ter leguminosa arbórea mais uma ou mais roçagens para aproveitar biomassa
	Ter duas ou mais roçagens; ou SAF sem roçagem
Neutro	Sem SAF e faz somente uma roçagem
	Sem SAF e Sem roçagem

Nota: a prática de roçagem reside em cortar a vegetação que nasce entre as espécies agrícolas. Após o corte dessas espécies não agrícolas, o agricultor mantém a matéria orgânica cortada na área para que haja a sua decomposição e incorporação da mesma no solo.

Descritores de impactos relacionados aos critérios referentes ao aspecto social

Tabela 7.3 – Descritor de impacto relacionado ao critério ‘ter baixa, ou não ter, renda extra agrícola’

Bom	O agricultor dedicar 100% do tempo no lote
	O agricultor dedicar 75% do tempo no lote
Neutro	O agricultor dedicar 50% do tempo no lote
	O agricultor dedicar 25% do tempo no lote

Tabela 7.4 – Descritor de impacto relacionado ao critério ‘garantir o autoconsumo alimentar e aumentar a capacidade de troca na comunidade com mercadorias advindas do lote’

Bom	Alimentação vem do lote e o produtor possui mais do que 0,5 no indicador de diversidade de plantios
	0,375 a 0,5 do indicador de diversidade de plantios
Neutro	Alimentação vem do lote e o produtor possui até 0,375 do valor de indicador de diversidade de plantios
	Sem diversidade de plantio

Nota: o indicador de diversidade de plantios

Tabela 7.5 – Descritor de impacto relacionado ao critério ‘participar de atividades sociais na comunidade’

Bom	Participar em três ou mais grupos sociais
	Participar em dois grupos sociais
Neutro	Participar em um grupo social
	Não participa grupo social

Descritores de impactos relacionados aos critérios do aspecto econômico

Tabela 7.6 – Descritor de impacto relacionado ao critério ‘aumentar a diversidade renda monetária oriunda produção agropecuária familiar’

Bom	Ter SAF, culturas agrícolas e pecuária bovina
	Ter só SAF ou SAF e cultura agrícola ou SAF e pecuária
Neutro	Ter culturas agrícolas e ter pecuária bovina
	Sem SAF; ou ter somente culturas agrícolas; ou somente pecuária; ou sem culturas agrícolas e sem atividade pecuária: vive da renda extra agrícola

Tabela 7.7 – Descritor de impacto relacionado ao critério ‘aumentar o valor do patrimônio da propriedade rural’

Bom	Ter titulação mais SAF
	Titulação e sem SAF
Neutro	Ter SAF e sem titulação
	Não ter SAF e nem titulação

Tabela 7.8 – Descritor de impacto relacionado ao critério ‘aumentar renda proveniente madeira legalmente explorada do lote’

Bom	Ter SAF e áreas de fragmentos existentes no lote maior do que 16,5 ha
	Somente com SAF ou com somente fragmentos florestais maiores do que 16,5 ha
Neutro	Com ou Sem SAF e com fragmentos no lote entre 9,6 a 16,5 ha
	Sem SAF e sem fragmentos no lote ou sem fragmento florestal no lote

7.1.2. Fase de avaliação

Para cada um dos critérios são apresentados, na forma de tabela, seus respectivos descritores de impactos, e a cada nível de impacto é atribuído a pontuação calculada pelo referido software, cuja matriz de julgamento é apresentada em figuras.

Funções de valores associados aos critérios referentes ao aspecto ambiental

Tabela 7.9 – Pontuações de cada nível de impacto oriunda da função de valor, associada ao critério ‘reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café’

		Abreviação	Pontuação
Bom	Estar colado na reserva florestal em bloco e ter SAF no lote	ColadoRF+SAF	100
	Até 1000 metros longe da reserva em bloco e com SAF	até1000m_semSAF	49
Neutro	Estar colado a reservas florestais em bloco, ou, sem SAF e estar dentro raio 1000m da Reserva em Bloco, ou, ter SAF	ColadoRF ou SAF	0
	Distância acima de 1.000 metros da reserva em bloco e sem SAF	+1000_semSAF	-140

Nota: SAF significa sistema agro florestal.

	ColadoRF+SAF	até1000m_semSAF	ColadoRF ou SAF	+1000_semSAF	Escala atual	
ColadoRF+SAF	nula	moderada	moderada	extrema	100	extrema
até1000m_semSAF		nula	fraca	extrema	49	mt. forte
ColadoRF ou SAF			nula	mt. forte	0	forte
+1000_semSAF				nula	-140	moderada
						fraca
						mt. fraca
						nula

Julgamentos consistentes

Figura 7.7 – Função de valor associada ao critério ‘reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café’

Tabela 7.10 – Pontuações de cada nível de impacto oriunda da função de valor, associada ao critério ‘aumentar a quantidade biomassa no solo área de uso agrícola’

		Abreviação	Pontuação
Bom	Ter SAF, ter leguminosa arbórea mais uma ou mais roçagens para aproveitar biomassa	SAF+Leg+1ouMais_Roç	100
	Ter duas ou mais roçagens; ou SAF sem roçagem	2_ou_Mais_Roç	50
Neutro	Sem SAF e faz somente uma roçagem	Sem_SAF_1_Roç	0
	Sem SAF e Sem roçagem	Sem SAF e Sem roçagem	-50

Nota: a prática de roçagem reside em cortar a vegetação que nasce entre as espécies agrícolas. Após o corte dessas espécies não agrícolas, o agricultor mantém a matéria orgânica cortada na área para que haja a sua decomposição e incorporação da mesma no solo.

	SAF+Leg+1ouMais_Roç	2_ou_Mais_Roç	Sem_SAF_1_Roç	NO_SAF_NO_Roç	Escala atual	
SAF+Leg+1ouMais_Roç	nula	moderada	mt. forte	extrema	100	extrema
2_ou_Mais_Roç		nula	moderada	mt. forte	50	mt. forte
Sem_SAF_1_Roç			nula	moderada	0	forte
NO_SAF_NO_Roç				nula	-50	moderada
Julgamentos consistentes						fraca
						mt. fraca
						nula

Figura 7.8 – Função de valor associada ao critério ‘aumentar a quantidade biomassa no solo área de uso agrícola’

Funções de valores associados aos critérios referentes ao aspecto social

Tabela 7.11 – Pontuações de cada nível de impacto oriunda da função de valor, associada ao critério ‘ter baixa, ou não ter, renda extra agrícola’

		Abreviação	Pontuação
Bom	O agricultor dedicar 100% do tempo no lote	Dedica100%Lote	100
	O agricultor dedicar 75% do tempo no lote	Dedica75%Lote	50
Neutro	O agricultor dedicar 50% do tempo no lote	Dedica50%Lote	0
	O agricultor dedicar 25% do tempo no lote	Dedica25%Lote	- 66

	Dedica100%Lote	Dedica75%Lote	Dedica50%Lote	Dedica25%Lote	Escala atual	
Dedica100%Lote	nula	moderada	forte	extrema	100	extrema
Dedica75%Lote		nula	moderada	mod-fort	50	mt. forte
Dedica50%Lote			nula	forte	0	forte
Dedica25%Lote				nula	-66	moderada
						fraca
						mt. fraca
						nula

Julgamentos consistentes

Figura 7.9 – Função de valor associada ao critério ‘ter baixa, ou não ter, renda extra agrícola’

Tabela 7.12 – Pontuações de cada nível de impacto oriunda da função de valor, associada ao critério ‘garantir o autoconsumo alimentar e aumentar a capacidade de troca na comunidade com mercadorias advindas do lote’

		Abreviação	Pontuação
Bom	Alimentação vem do lote e o produtor possui mais do que 0,5 no indicador de diversidade de plantios	>0,5 Div_Plant	100
	0,375 a 0,5 do indicador de diversidade de plantios	0,375A0,5_Div_Plant	50
Neutro	Alimentação vem do lote e o produtor possui até 0,375 do valor de indicador de diversidade de plantios	0,375 Div_Plant	0
	Sem diversidade de plantio	SemDivPlantio	-50

Nota: o indicador de diversidade de plantios

	>0,5 Div_Plant	0,375A0,5_Div_Plant	0,375 Div_Plant	SemDivPlantio	Escala atual	
>0,5 Div_Plant	nula	mod-fort	forte	extrema	100	extrema
0,375A0,5_Div_Plant		nula	moderada	forte	50	mt. forte
0,375 Div_Plant			nula	mod-fort	0	forte
SemDivPlantio				nula	-50	moderada
						fraca
						mt. fraca
						nula

Julgamentos consistentes

Figura 7.10 – Função de valor, associada ao critério ‘garantir o autoconsumo alimentar e aumentar a capacidade de troca na comunidade com mercadorias advindas do lote’

Tabela 7.13 – Pontuações de cada nível de impacto oriunda da função de valor, associada ao critério ‘participar de atividades sociais na comunidade’

		Abreviação	Pontuação
Bom	Participar em três ou mais grupos sociais	Partc_3_ou_+GS	100
	Participar em dois grupos sociais	Partc_2_GS	50
Neutro	Participar em um grupo social	Partc_1_GS	0
	Não participa grupo social	Não Partcp GS	- 37,5

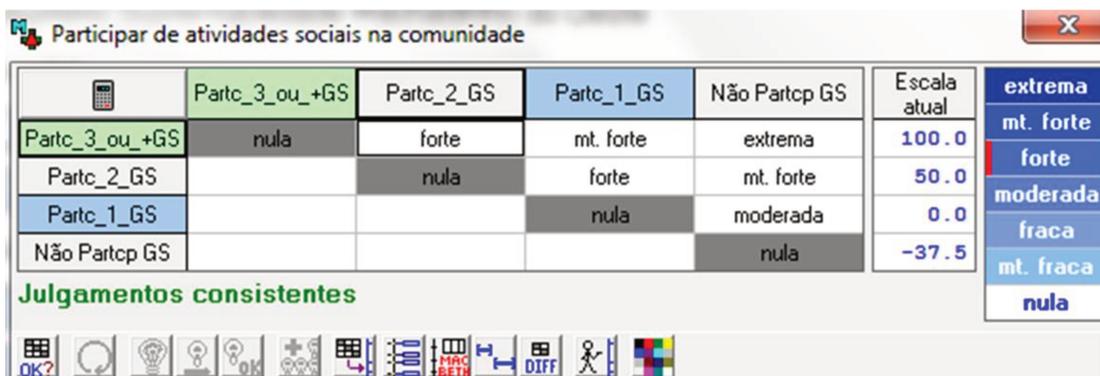


Figura 7.11 – Função de valor associada ao critério ‘participar de atividades sociais na comunidade’

Funções de valores associados aos critérios referentes ao aspecto econômico

Tabela 7.14 – Pontuações de cada nível de impacto oriunda da função de valor, associada ao critério ‘aumentar a diversidade renda monetária oriunda produção agropecuária familiar’

		Abreviação	Pontuação
Bom	Ter SAF, culturas agrícolas e pecuária bovina	SAF_C_Agr_Pec_Bov	100
	Ter só SAF ou SAF e cultura agrícola ou SAF e pecuária	SAF ou C_Agr_ou_PecB	50
Neutro	Ter culturas agrícolas e ter pecuária bovina	Cult_Agr_Pec_Bov	0
	Sem SAF; ou ter somente culturas agrícolas; ou somente pecuária; ou sem culturas agrícolas e sem atividade pecuária	-SAFouCAouPec-Agr	- 50

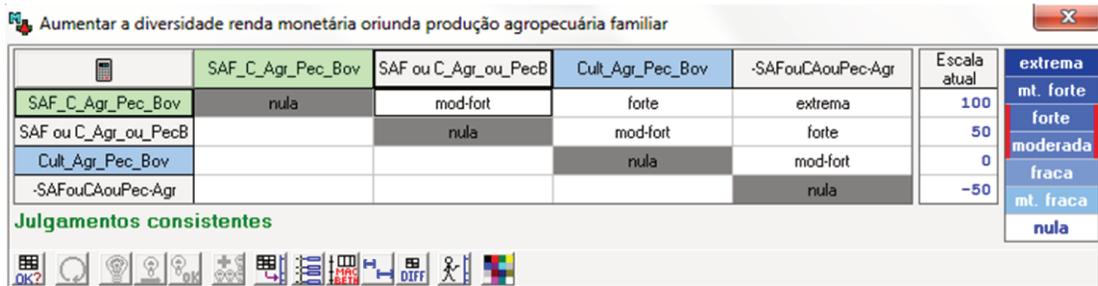


Figura 7.12 – Função de valor associada ao critério ‘aumentar a diversidade renda monetária oriunda produção agropecuária familiar’

Tabela 7.15 – Pontuações de cada nível de impacto oriunda da função de valor, associada ao critério ‘aumentar o valor do patrimônio da propriedade rural’

		Abreviação	Pontuação
Bom	Ter titulação mais SAF	Titulação_SAF	100
	Titulação e sem SAF	Titulação sem SAF	50
Neutro	Ter SAF e sem titulação	SAF sem Titulação	0
	Não ter SAF e nem titulação	SemSAFSemTitulação	-62,5



Figura 7.13 – Função de valor associada ao critério ‘aumentar o valor do patrimônio da propriedade rural’

Tabela 7.16 – Pontuações de cada nível de impacto oriunda da função de valor, associada ao critério ‘aumentar renda proveniente madeira legalmente explorada do lote’

		Abreviação	Pontuação
Bom	Ter SAF e áreas de fragmentos existentes no lote maior do que 16,5 ha	SAF+Frag>16,5ha	100
	Somente com SAF ou com somente fragmentos florestais maiores do que 16,5 ha	SAF ou Frag >16,5ha	43
Neutro	Com ou Sem SAF e com fragmentos no lote entre 9,6 a 16,5 ha	c-SAFrag_9,6_16,5ha	0
	Sem SAF e sem fragmentos no lote ou sem fragmento florestal no lote	AusenciaTotal	- 71

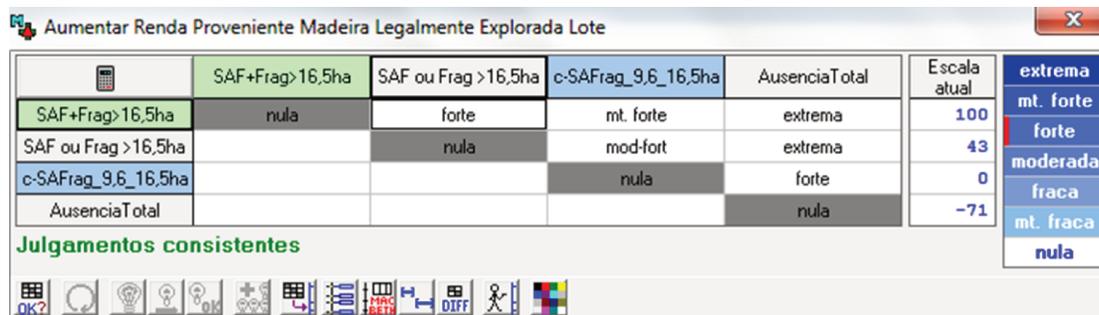


Figura 7.14 – Função de valor associada ao critério ‘aumentar renda proveniente madeira legalmente explorada do lote’

Pesos associados aos critérios

Os pesos dos critérios que compõe o índice multicritério foram determinados seguindo os procedimentos que constam seção 1.2.1. Os resultados constam no Quadro 7.1.

Quadro 7.1 – Pesos associados aos critérios que compõem o índice multicritério

- ✓ Reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café (34,7%).
- ✓ Aumentar a quantidade de biomassa no solo na área de uso agrícola (17,3%).
- ✓ Ter baixa, ou não ter, renda extra agrícola (12,0%).
- ✓ Garantir o auto consumo e aumentar a capacidade de troca na comunidade com mercadorias advindas do lote (1,5%).
- ✓ Participar de atividades sociais na comunidade (6,0%).
- ✓ Aumentar a diversidade de renda monetária oriunda da produção agropecuária familiar (16,2%).
- ✓ Aumentar o valor do patrimônio da propriedade rural (10,2%).
- ✓ Aumentar a renda proveniente da madeira legalmente explorada no lote (2,1%).

Classificação das propriedades segundo o índice multicritério

A avaliação das 213 propriedades do assentamento de Machadinho d'Oeste (RO) foi feita utilizando a equação 7.1, reproduzida a seguir, a qual gera a pontuação global de uma propriedade, considerando simultaneamente o desempenho que a propriedade apresenta em cada um dos critérios, ponderada pelo seu respectivo peso.

$$V(a) = \sum_{j=1}^n w_j * v_j(a), \text{ em que } \sum_{j=1}^n w_j = 1, \text{ e } 0 < w_j < 1 \text{ (j=1,...,n)}, \quad \text{Eq. 7.1}$$

Sendo,

$V(a)$, o valor global da performance da propriedade “a” diante dos ‘n’ critérios.

$v_j(a)$, o valor da performance da propriedade “a” diante do critério ‘j’.

A obtenção deste valor, neste trabalho, é feita utilizando o método MACBETH.

w_j , constantes de escalas ou coeficientes de ponderação dos ‘n’ critérios que permitem as diferentes alternativas ‘a’, em cada critério, serem adicionáveis.

A síntese dos resultados é apresentada na Tabela 7.17.

Tabela 7.17 – Síntese da avaliação global dos agricultores obtidas pelo índice multicritério

Pontuação global do índice multicritério	Número de propriedades
0 até 50	72
Maior que 50	24
Menor que 0 até -50	46
Inferior a -50	71

Para entender o significado das pontuações globais é importante lembrar que os valores iguais a 100 e zero (0), representam, respectivamente, níveis de impacto Bom e Neutro. Conforme se pode observar, 117 propriedades possuem pontuação global inferior a zero. Destas as propriedades que obtiveram pontuação global inferior a -50 possuem desempenhos abaixo do mínimo aceitável nos critérios ambientais, além de outros critérios sociais e econômicos.

O doutorando apresentou os resultados da avaliação MACBETH aos pesquisadores da EMBRAPA, os quais consideraram que os mesmos faziam sentido diante de seus conhecimentos da área de estudo (Ver Apêndices 1, 2 e 3). Durante a exposição dos resultados, chamou a atenção aos pesquisadores que há 70 propriedades que apresentam pontuações globais inferiores a - 50 (Apêndice 3). Diante disso, foi questionado o que se poderia fazer para que tais propriedades melhorem sua pontuação global.

O doutorando apresentou-lhes os resultados que constam no Apêndice 4, por meio o qual puderam observar que simplesmente, se cada propriedade tiver performance mínima aceitável nos critérios ambientais, 19 das que possuíam pontuação global abaixo de -50, passariam para o valor positivo. Além disso, conforme se observa no referido Apêndice, todas as demais teriam pontuação mais próxima ao mínimo aceitável, ainda que necessitem melhorar suas performances em outros critérios para alcançá-lo, ou, superá-lo.

Diante desses resultados, os pesquisadores puderam perceber, também, que a pontuação global de uma propriedade qualquer pode ser melhorada conforme melhore seu desempenho nos critérios que compõe o índice multicritério. Os pesquisadores entenderam que

pode haver um conjunto de ações a serem feitas pelos agricultores de Machadinho d'Oeste e que o desafio é saber como estimular que os proprietários as realizem na prática.

O doutorando explicou lhes que podem ser criadas políticas de incentivo para que tais ações sejam realizadas, e que se pode testá-las mesmo antes de implementá-las, utilizando a dinâmica de sistemas e modelos baseados em agentes. Os pesquisadores sugeriram realizar o teste utilizando os dados referentes ao conjunto de propriedades com pontuação global inferior a -50.

Também foi explicado que uma vez que se trata de decisões que pertencem aos proprietários, isto é, eles podem adotar ou não as ações propostas por uma dada política ambiental, é possível explorar por simulação o impacto que uma ou mais políticas de incentivo terá nas decisões dos proprietários das propriedades que possuem desempenho global inferiores a -50, sem ter a necessidade de ocupar recursos humanos, financeiros, infraestrutura para tal e que tal análise ex-ante pode permitir obter 'insights' para aperfeiçoar a referida política. Além disso, se explicou que tais simulações podem ser feitas utilizando a dinâmica de sistemas e modelos baseados em agentes, sendo este o próximo passo a ser feito, depois de concluída a fase de avaliação multicritério.

O doutorando questionou os pesquisadores sobre quais políticas de incentivos eles consideravam relevantes e que pudessem ser testadas ex-ante utilizando as referidas metodologias. Inicialmente se cogitou na aplicação de instrumentos de políticas ambientais como o pagamento por serviços ambientais (PSA) para estimular os proprietários a adotarem ações que possam melhorar suas performances diante dos referidos critérios. Entretanto, após discussão com os pesquisadores da EMBRAPA e refletindo sobre os resultados dos trabalhos científicos que analisam as experiências brasileiras mais bem sucedidas se constatou que tal instrumento de política não seria o mais apropriado tendo em conta as condições específicas do local.

São dois, principalmente, os motivos: o primeiro trata-se do fato de que os recursos para o pagamento dos produtores são oriundos do orçamento público (concorrem com outras prioridades governamentais) e que o sucesso de tais experiências dependeria da continuidade dos representantes públicos para continuar a incentivar e promover as iniciativas de PSA, como é o caso do município de Extrema –MG que possui a mesma administração há mais de 8 anos (PUGA; CHIODI, 2013). Infelizmente tal continuidade não se observa com frequência na maior

parte dos municípios. O segundo motivo refere-se a dificuldades burocráticas relacionadas ao repasse de verbas do poder público municipal para os proprietários que assinam o contrato para participar do programa de PSA.

Considerou-se, então, que esta seria uma oportunidade para um teste ex-ante de outros tipos de políticas de incentivo via modelo baseado em agentes e dinâmica de sistemas. Foi acordado, então, a realização de um teste de um novo instrumento de política que começa a ser usado, para solucionar problemas socioecológicos complexos, as moedas complementares (capítulo 6).

Foram apresentadas posteriormente aos pesquisadores da EMBRAPA detalhes sobre o que é moeda complementar, exemplos de aplicações, os quais após terem analisado o assunto e terem esclarecidos pontos duvidosos, concordaram e se comprometeram em fornecer informações adicionais para realizar a avaliação ex-ante do possível impacto que uma política de incentivo ambiental baseada em moeda complementar possa causar nos proprietários de Machadinho d'Oeste.

7.2. Resultados da integração multimetodológica

7.2.1. Protocolo ODD para descrever o modelo adaptado de Deffuant

Descreveremos o modelo de Deffuant utilizando o protocolo ODD (GRIMM *et al.*, 2010), cujas características foram apresentadas na seção 3.2.

Objetivo

O objetivo do modelo é adquirir ‘insights’ sobre quais condições as opiniões dos extremistas negativos e positivos influenciam na decisão dos demais agricultores (moderados) em aceitar ou recusar a moeda complementar Sustento.

Entidades, variáveis de estado e escalas

O modelo possui somente um tipo de entidade: agentes, neste caso, agricultores. Cada agente, i , é caracterizado por duas variáveis do tipo contínuo, opinião (x_i), e, incerteza, (u_i). O termo incerteza (u) dentro do modelo proposto pelos autores representa o quanto uma pessoa está propensa a ser influenciada pela opinião de outra pessoa. Quanto maior a incerteza mais

influenciada é o agente; quanto menor a incerteza mais influenciadora e menos influenciada é o agente, Deffuant *et al.* (2002).

A opinião do agente, x_i , é representada por valores contínuos cuja amplitude varia de +1 e -1; sua incerteza, u_i , é representada por valores que variam entre 0.0 e 2.0. Denominam-se ‘extremistas’, os indivíduos com valores de opinião próximo a $x = +1$ ou $x = -1$. Extremistas positivos são os indivíduos com valores de opinião, $0.8 \leq x \leq 1.0$. Os extremistas negativos são os indivíduos com valores de opinião, $-1 \leq x \leq -0.8$. Um agente moderado é aquele cuja opinião varia entre $-0.8 < x < 0.8$ com um maior valor de incerteza, o que o torna mais influenciável pelos demais agentes com menor incerteza, Deffuant *et al.* (2002).

No contexto do estudo de caso de Machadinho os extremistas positivos e negativos estariam, respectivamente, a favor da adoção e contra a adoção do Sustento. Com relação aos agentes moderados, que segundo Deffuant e colaboradores, possuem opiniões entre $-0.8 < x < 0.8$, fizemos uma modificação para os propósitos deste trabalho.

Interessa-nos saber qual a influência dos agentes extremistas na decisão dos agentes moderados em adotar ou se recusar a usar o Sustento. Adotamos dois valores limites a partir dos quais os agentes ou adotam ou se recusam a usar o Sustento. Após os agentes interagirem uns com outros, se $x < -0.55$, o agente se recusa a usar o Sustento; se $x > 0.55$, o agente aceita usar o Sustento. O valor inicial da opinião dos agentes moderados, neste caso, foi obtido por número aleatório entre -0.4, 0.4.

Um ‘*time step*’ representa o tempo no qual todos os indivíduos aleatoriamente escolheram outro indivíduo e possivelmente interagiram com ele. Neste caso, um ‘*time step*’ é igual a 1 mês. A simulação continua até que os agentes se posicionem em usar o Sustento; se recusar em usar o Sustento; ou indecisos.

Process overview and scheduling

A cada *time step* cada indivíduo escolhe aleatoriamente outro indivíduo para interagir, a partir desta interação a concordância de opinião (*agreement*) entre os dois agentes é avaliada, e tanto a opinião do agente i , (x_i) quanto incerteza (u_i) são imediatamente atualizadas como resultado da interação de opinião.

Design concepts

Emergence - a distribuição de opiniões na população emerge a partir de interações entre os indivíduos.

Sensing - durante a interação os indivíduos possuem informação completa a respeito da opinião e da incerteza de quem ele está interagindo.

Interaction - pares de indivíduos interagem se os seus segmentos de opinião, se sobrepõe.

Stochasticity - a interação entre indivíduos é um processo estocástico porque os agentes com quem cada indivíduo interagirá são selecionados aleatoriamente.

Initialization

As simulações são executadas com 70 agentes; destes uma proporção, p_- , são extremistas negativos, p_+ , são extremistas positivos, e p_m , são moderados. Durante a implementação do modelo, adotou-se a quantidade de extremistas e moderados, ao invés de sua proporção, pois, consideramos mais fácil pensar em números exatos (pessoas) do que frações (proporções).

A opinião inicial de cada agente moderado é obtida a partir de números aleatórios entre, $-0.4 \leq x \leq +0.4$. Os valores de incerteza (u) de opinião dos extremistas positivos e negativos são dados, neste caso, iguais a 0.1; e para os moderados o valor da incerteza é igual a 2. O valor da opinião dos agentes é obtida através de números aleatórios, a qual é maior para os moderados do que para os extremistas. Os valores de opinião para os extremistas positivos variam entre $0.8 \leq x \leq 1.0$; para os extremistas negativos variam $-1 \leq x \leq -0.8$; e para os moderados $-0.4 \leq x \leq 0.4$.

Input data

Os agricultores são representados pelo nome de suas propriedades, gleba e lote, que para simplificar a representação, tais gleba e lote, são representadas pelo rótulo P_i . Por exemplo, $g1L2, P1$; $g3L22, P2$, e assim por diante. Os dados de entrada também incluem a área de cada propriedade que falta revegetar para estarem de acordo com o código florestal.

Submodelos

Esses foram descritos na seção 4.3.1.

7.2.2. Simulação de componentes do Sustento

Conforme já mencionado, na avaliação das 213 propriedades rurais do assentamento de Machadinho d'Oeste, 70 proprietários obtiveram pontuação global inferior a -50, ao serem avaliados pelo índice multicritério desenvolvido com o apoio do software MACBETH.

Tais proprietários tinham como característica comum, desempenho abaixo do mínimo aceitável nos critérios: 1) reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café; 2) aumentar a quantidade de biomassa no solo de área de uso agrícola. As pontuações nos referidos critérios para tais descritores de impacto constam nas Tabelas 7.9 e 7.10, as quais são, respectivamente, -140 e -50.

Além disso, alguns possuíam desempenho abaixo do mínimo aceitável nos critérios 'renda extra agrícola'; 'participar de atividades sociais'; 'diversidade de renda monetária oriunda da produção agropecuária familiar' e 'aumentar renda de madeira proveniente do lote'. As pontuações de cada propriedade perante os referidos critérios constam no Apêndice 3.

Durante a análise dos resultados apresentados, mencionou-se que os pesquisadores da EMBRAPA questionaram como seria possível melhorar a pontuação global desses agricultores. Para responder essa questão, desenvolveu-se o protótipo da moeda complementar Sustento, o qual foi descrito na seção 6.6, o qual será simulado (ver seções 7.2.1 a 7.2.3), a fim de demonstrar como é feita a integração das metodologias objeto de estudo desta tese.

Discutindo com os pesquisadores da EMBRAPA, constatou-se que se o Sustento incentivasse os agricultores a adotarem algumas práticas, tais como, adotar sistemas agroflorestais, bem como, práticas que visam aumentar a biomassa na área de produção agrícola, tais ações, auxiliariam que a pontuação global dos agricultores fosse alterada de inferior ao mínimo aceitável (neutro), ou, outro nível superior. Assim, além das práticas mencionadas, acordou-se que os agricultores também deveriam participar de grupos sociais.

Assim, se o agricultor aceita participar no sistema Sustento ele deve obrigatoriamente inserir sistema agroflorestal (SAF) em sua propriedade. Para efeito de simplificação da modelagem, assume-se que o agricultor irá revegetar toda a área que falta para se adequar à legislação ambiental de uma vez só. Ao inserir SAF em sua propriedade, a pontuação do

proprietário perante o critério ‘reduzir o efeito da bianualidade...’ salta de -140 para o nível mínimo aceitável (0).

Com relação ao segundo critério ‘aumentar a quantidade de biomassa...’, optou-se por inserir duas opções ao agricultor. A primeira, opção A, seria que o agricultor adotasse a prática de realizar duas ou mais roçagens visando incorporar a matéria orgânica no solo de uso agrícola; com essa prática, sua pontuação passaria de -50 para +50 nesse critério. A segunda, opção B, seria adotar além das práticas de roçagem, também, o plantio de leguminosas, o que faria que a pontuação neste critério passaria de -50 para +100.

Além disso, considerou-se dar um bônus ao agricultor caso ele adote uma prática ou outra. Se adotar a primeira opção, receberá para cada hectare, Sustentos que serão usados no comércio local; se adotar a segunda opção, receberá para cada hectare, Sustentos.

A adoção das práticas de SAF e aumento de biomassa, impactam os critérios relacionados a ‘renda extra agrícola’, fazendo com que o agricultor com desempenho abaixo do mínimo aceitável passe a dedicar mais tempo dentro do lote, aumentando sua pontuação de -66 para zero (0). Também, impacta o critério ‘aumentar a diversidade de renda monetária oriunda da produção agropecuária familiar’. Os agricultores que tiveram desempenho abaixo do mínimo aceitável (-50) superariam tal nível mínimo, atingindo (50); e os agricultores que tinham alcançado o mínimo aceitável, com a combinação das referidas práticas passariam para o nível bom (100).

Os Apêndices 5 e 6, respectivamente, apresentam as pontuações de cada uma das 70 propriedades ao adotarem o Sustento com a opção A e opção B. Tais pontuações são potenciais, pois, somente serão realizadas a partir do momento que os agricultores adotarem alguma das duas opções. Como se está realizando análise ex-ante, o próximo passo foi simular a decisão de cada um dos agricultores em adotar a opção A ou opção B, ou se recusar a adotar o Sustento em situações com agricultores com opiniões negativas sobre a moeda complementar.

7.2.3. Integrando as três metodologias

A simulação foi realizada com o software Anylogic (www.anylogic.com) utilizando a versão educacional. O software permite realizar a integração em dinâmica de sistemas e modelos baseados em agentes utilizando interface gráfica e comandos em linguagem Java

(<http://www.oracle.com/technetwork/documentation/index.html#java>), o que implica que toda inicialização de simulação deve iniciar pelo Main, onde estão inseridos os estoques e fluxos do modelo deste estudo de caso.

No capítulo 5 mostrou-se que os critérios do modelo multicritério são os estoques em dinâmica de sistemas, e, também, que os estoques são modificados pelas ações, representadas por fluxos de entrada e/ou de saída, os quais quando integrados com modelos baseados em agentes, os valores de tais fluxos podem ser alimentados pelos comportamentos dos agentes.

No contexto dos 70 proprietários que possuem pontuação global inferior a -50, os critérios ‘reduzir efeito da bianualidade...’ e ‘aumentar biomassa...’, são estoques no modelo de dinâmica de sistemas. Mais especificamente, os estoques são representados por alguns dos níveis de seus descritores de impacto dos referidos critérios. Utilizaremos o critério ‘reduzir efeito da bianualidade...’ para exemplificar a integração entre as metodologias. O descritor de impacto do critérios mencionado, bem como sua função de valor, é apresentado na Tabela 7.9, reproduzida a seguir.

Tabela 7.9 – Descritores de impacto e respectivas pontuações oriundas da função de valor, associada ao critério ‘reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café’.

Nível	Descritor	Pontuação
Bom	Estar colado na reserva florestal em bloco e ter SAF no lote	100
	Até 1000 metros longe da reserva em bloco e com SAF	49
Neutro	Estar colado a reservas florestais em bloco, ou, sem SAF e estar dentro raio 1000m da Reserva em Bloco, ou, ter SAF	0
	Distância acima de 1.000 metros da reserva em bloco e sem SAF	-140

Conforme já mencionado, se o agricultor decidir adotar o Sustento ele obrigatoriamente deve implantar um sistema agroflorestal (SAF) em sua propriedade, e ao fazer isso, o seu desempenho no critério ‘reduzir efeito da bianualidade...’ se alterará de -140 para o nível neutro (0). A quantidade de agricultores com desempenho abaixo do mínimo aceitável no critério mencionado é igual a 70, e está representado na Figura 7.15 pelo estoque ‘Q_Agr_BiAnual_140neg’. Os agricultores que adotarem o Sustento, são representados pelo

estoque ‘Q_Agr_BiAnual_0’, na Figura 7.15; o valor deste estoque no início da simulação é igual a zero.

O fluxo de saída do estoque ‘Q_Agr_BiAnual_140neg’ da Figura 7.15 é o fluxo de entrada para o estoque ‘Q_Agr_BiAnual_0’, e representa a quantidade de agricultores por intervalo de tempo que decidiram adotar o Sustento. O nome do fluxo é ‘melhorar_condição’, isto é, melhorar o desempenho do agricultor no referido critério. Os valores de entrada desse fluxo são fornecidos pelo modelo baseado em agentes, os quais são captados pelo evento ‘atualize_melhorar_condição’. Esse evento obtém informações dos agentes, e constitui um ponto de conexão entre as metodologias dinâmica de sistemas e modelos baseado em agentes.

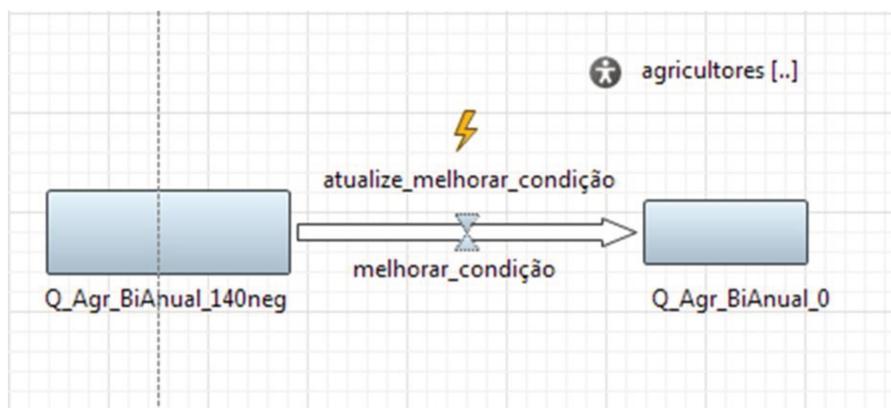


Figura 7.15 – Estoques representando, respectivamente, a quantidade de agricultores com desempenho abaixo do mínimo aceitável no critério ‘Reduzir efeito da bianualidade...’ (Q_Agr_BiAnual_140neg) e a quantidade de agricultores com desempenho mínimo aceitável no referido critério (Q_Agr_BiAnual_0).

No Anylogic os agricultores são representados por uma classe denominada Agricultor, a qual permite representar os estados que cada agente se encontra durante a simulação. Esses estados são representados em Anylogic pelos ‘stateflows’ (Figura 7.16). A partir dessa classe criou-se as representações dos 70 agricultores, que constam na Figura 7.15.

Por exemplo, na Figura 7.16, se pode observar alguns estados que os agentes agricultores podem se encontrar. Essa representação é feita por ‘stateflows’, caixas amarelas conectadas por setas, que são simplesmente ‘triggers’ (gatilhos) que condicionam a passagem de um estado para outro, uma vez que alguma condição seja cumprida. O conjunto dos diferentes

estados constituem as ações que cada agente pode realizar durante a simulação, de modo que o ‘stateflow’ é uma componente vital para a modelagem dos agentes no Anylogic.

Na Figura 7.16, o ‘stateflow’ se inicia com o estado ‘Pot_User_Sustento (potencial usuário do Sustento). A seta que segue esse estado, não apresenta nenhuma condição, indicando que após o início da simulação o agente pode passar para o próximo estado que é ‘Decidir_\$T’, isto é, irá decidir se adotará a moeda complementar ou se recusará em adotá-la. O agente não irá adotar se, após interação com outros agentes, a opinião for $x \leq -0.55$; e irá adotar o Sustento, se $x > 0.55$. A opinião de cada agente pode ser modificada após a interação entre os agentes, a qual é modelada pelo modelo adaptado de Deffuant *et al.* (2002).

Se pode observar no ‘state’ No_Adotar_\$T uma flecha em seu interior, a qual indica que o agente pode alterar seu estado para Adotar_\$T, após interagir com outros agricultores que já adotaram o Sustento. Se o agente adotar o \$T, ele deve decidir entre ação A e ação B. Relembrando, a ação A significa que o agricultor irá adotar prática de incorporação de biomassa no solo agrícola adotando duas ou mais roçagens. A ação B incorpora as características da ação A mais o plantio de leguminosas. Essas ações representam dois dos níveis de impactos do critério ‘aumentar a quantidade biomassa no solo área de uso agrícola’ (Tabela 7.10). As condições limites para adotar uma ação ou outra são dadas por números aleatórios, por exemplo, se a variável ‘adotar’ > 50 , o agente adota a ação B, caso contrário ação A.

A Figura 7.17 mostra os fluxos ‘adeptos_açãoA’ e ‘adeptos_açãoB’ que são alimentados pelas decisões dos agentes entre adotar, respectivamente, Ação A e Ação B, mostrados na Figura 7.16. Na Figura 7.17 também se observam três estoques que representam, respectivamente, a quantidade de agricultores com desempenho no critério ‘aumentar a quantidade de biomassa no solo na área de uso agrícola’, abaixo do mínimo aceitável (Q_Agr_Biom_50neg); acima do nível neutro (Q_Agr_Biom_50pos) e no nível bom (Q_Agr_Biom_100pos).

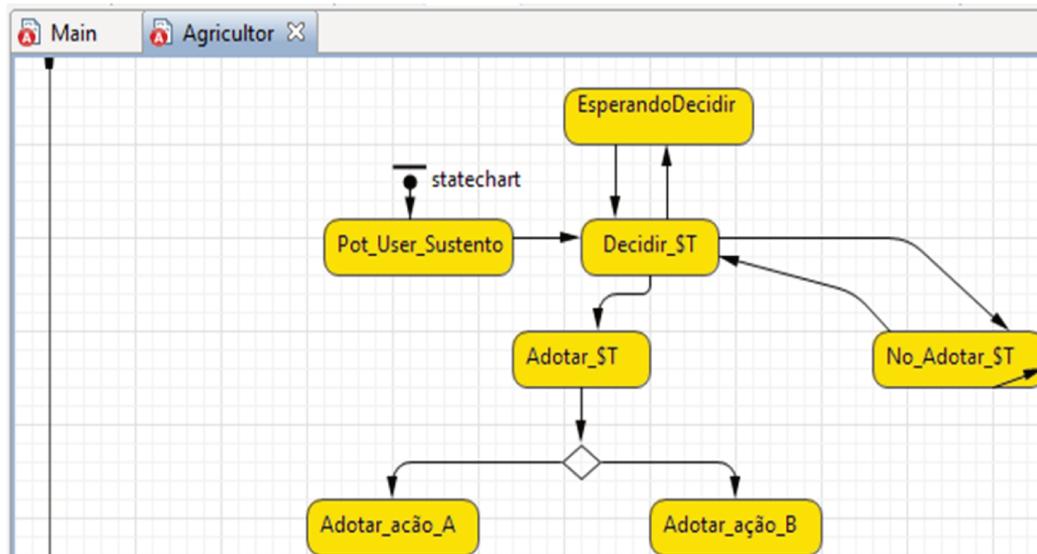


Figura 7.16 – Representação dos estados que um agente (agricultor) pode se encontrar durante a simulação.

Tabela 7.10 – Descritores de impactos e respectivas pontuações oriundas da função de valor, associada ao critério ‘aumentar a quantidade biomassa no solo na área de uso agrícola’

Nível	Descritores	Pontuação
Bom	Ter SAF, ter leguminosa arbórea mais uma ou mais roçagens para aproveitar a biomassa	100
	Ter duas ou mais roçagens; ou SAF sem roçagem	50
Neutro	Sem SAF e faz somente uma roçagem	0
	Sem SAF e Sem roçagem	-50

Também se pode observar no canto superior esquerdo a Figura 7.16, um ícone denominado ‘Main’. Em Main estão inseridos os fluxos e estoques de dinâmica de sistemas.

No início da simulação o estoque ‘Q_Agr_Biom_50neg’ possui o valor de 70, representando os agricultores que possuem desempenho abaixo do mínimo aceitável no referido critério. Com o passar do tempo, ao adotarem o Sustento, se espera que tais agricultores mudem para um dos dois estoques que são mostrados na Figura 7.17.

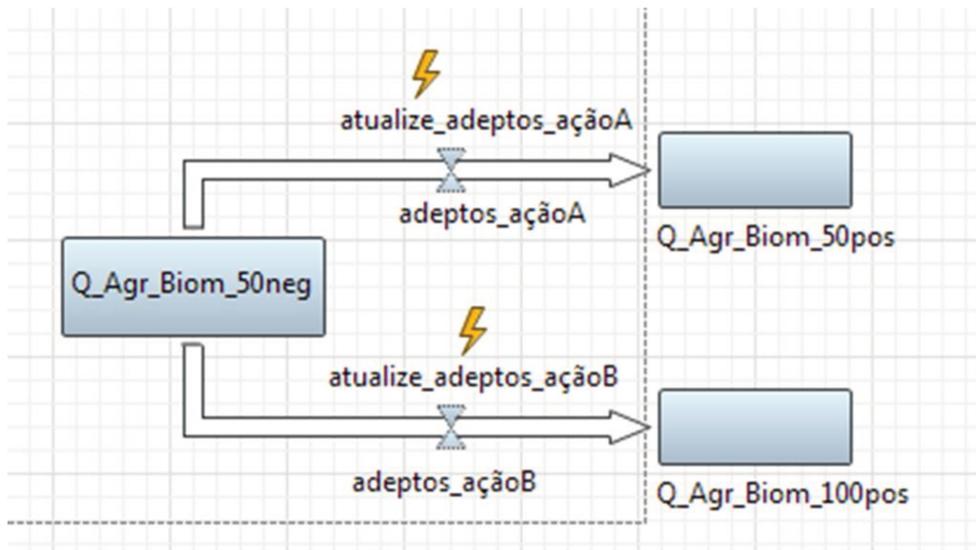


Figura 7.17 – Estoques representando, respectivamente, a quantidade de agricultores com desempenho no critério ‘aumentar a quantidade de biomassa no solo ...’, abaixo do mínimo aceitável (Q_Agr_Biom_50neg); acima do nível neutro (Q_Agr_Biom_50pos) e no nível bom (Q_Agr_Biom_100pos).

A decisão entre se recusar ou adotar o Sustento é simulada com o modelo adaptado de Deffuant et al (2002), descrito na seção 7.2.1. A seguir mostra-se como tal modelo é implementado de modo que seus resultados sejam utilizados no stateflow da Figura 7.16.

Como se deseja analisar qual a decisão dos agentes uma vez que estão expostas as influências dos agentes com opinião negativa ao Sustento, inseriu-se em ‘Main’, (Figura 7.18), um código escrito em Java para que toda vez que iniciar uma simulação, o software identifica qual é a quantidade de agentes com opinião extremista negativa (C_Extre_Neg), quantidade de agentes com opinião extremista positiva (C_Extre_Pos), e a partir destas obter a quantidade de agentes com opinião moderada. Além disso, o software irá identificar as incertezas de cada um dos agentes tanto extremistas como moderados. A opinião de cada agente será obtida a partir de números aleatórios extraídos dentro de determinados limites, discutidos na seção 7.2.1. O código está reproduzido no Quadro 7.2.

```

Main - Active Object Class
Agent Generic
General
Advanced
Agent
Preview
Description

Startup code:
Parsear(); //obtem os dados guardados no arquivo, dados.txt, e os assigna aos agricultores
C_Extre_Neg = 5; // é a quantidade de agentes extremistas negativos
C_Extre_Pos = 15; // é a quantidade de agentes extremistas Positivos

int maximoAgricultores = 70; //quantidade de agricultores

for(int i = 0; i < C_Extre_Neg; i++ ) // DETERMINA A QUANTIDADE DE EXTREMISTAS NEGATIVOS
{
    agricultores.get(i).setOpinion((random.nextDouble() *(1 -(0.8)) + (0.8))*-1 ); // Opinião de EXTREMISTAS NEGATIVOS
    agricultores.get(i).setUncertainty(0.1); // Incerteza dos EXTREMISTAS NEGATIVOS
}
for(int i = (C_Extre_Neg); i < (C_Extre_Neg) + (C_Extre_Pos); i++) // DETERMINA A QUANTIDADE DE EXTREMISTAS POSITIVOS
{
    agricultores.get(i).setOpinion((random.nextDouble() *(1 -(0.8)) + (0.8))); // Opinião EXTREMISTAS POSITIVOS
    agricultores.get(i).setUncertainty(0.1); // Incerteza dos EXTREMISTAS POSITIVOS
}
for(int i = (C_Extre_Neg) + (C_Extre_Pos); i < maximoAgricultores; i++ ) // MODERADOSs
{
    agricultores.get(i).setOpinion((random.nextDouble() *(0.4 -(-0.4)) + (-0.4) )); //Opinião dos MODERADOS
    agricultores.get(i).setUncertainty(1.5); // Incerteza dos MODERADOS
}

```

Figura 7.18 – Código em Java no campo ‘Startup code’ em Main.

Quadro 7.2 – Código em Java no campo ‘Startup code’

// São comentários, não possuem efeito

```

Parsear(); //obtem os dados guardados no arquivo, dados.txt, e os assigna aos agricultores (agentes)
C_Extre_Neg = 5; // quantidade de agentes extremistas negativos
C_Extre_Pos = 15; // quantidade de agentes extremistas Positivos

```

```

int maxiAgricultores = 70; // quantidade agricultores

```

```

for (int i = 0; i < C_Extre_Neg; i++) // Determina a quantidade de Extremistas Negativos

```

```

{
    agricultores.get(i).setOpinion((random.nextDouble() *(1 -(0.8)) + (0.8))*-1 ); // Opinião de Extremistas Negativos
    agricultores.get(i).setUncertainty(0.1); // Incerteza dos Extremistas Negativos
}

```

```

For (int i = (C_Extre_Neg); i < (C_Extre_Neg) + (C_Extre_Pos); i++) // Determina a quantidade de Extremistas Negativos

```

```

{
    agricultores.get(i).setOpinion((random.nextDouble() *(1 -(0.8)) + (0.8))); // Opinião de Extremistas Positivos
    agricultores.get(i).setUncertainty(0.1); // Incerteza dos Extremistas Positivos
}

```

```

For (int i = (C_Extre_Neg) + (C_Extre_Pos); i < maximoAgricultores; i++ ) // Determina a quantidade de Moderados

```

```

{
    agricultores.get(i).setOpinion((random.nextDouble() *(0.4 -(-0.4)) + (-0.4) )); //Opinião dos Moderados
    agricultores.get(i).setUncertainty(1.5); // Incerteza dos Moderados
}

```

Para simular o efeito que uma população com diferentes extremistas negativos, positivos, com suas respectivas incertezas exercem sobre a decisão de agentes moderados em adotar ou se recusar em aceitar o Sustento, basta inserir tais dados no código apresentado no Quadro 7.2, e o Anylogic irá simular mostrando quantos se recusaram em aceitar, quantos decidiram adotar o Sustento e quais ações, ação A ou B.

O modelo adaptado de Deffuant *et al.* (2002) está representado por uma função denominada Interatuar, cujo código está reproduzido no Quadro 7.3. A referida função está inserida na classe Agricultor. Assim que a simulação iniciar o Anylogic obtém as informações referentes aos agentes, incluindo as quantidades de extremistas e moderados, suas respectivas incertezas e atribui a cada agente uma opinião. Com essas opiniões aciona a função Interatuar e a interação entre os indivíduos dois a dois, escolhidos aleatoriamente, podem causar a alteração da opinião e incerteza de um dos agentes (denominado agente influenciado).

Se a mudança implicar que a opinião for maior que o valor limite para adotar o Sustento, então, o agente adota o Sustento e decide entre as ações A e B. Essas informações são captadas pelo modelo de dinâmica de sistemas, através dos fluxos e estoques descritos nesta seção.

Na seção 7.2.4, apresentam-se alguns resultados da combinação das variáveis que constituem o modelo Deffuant *et al.* (2002) adaptado para este trabalho.

Uma vez que o agente decide aceitar o \$T, o próximo passo seria a administração do Sustento, criar a referida moeda complementar. Apresenta-se a primeira tentativa em simular o funcionamento do Sustento, modelo este que deve ser aprimorado.

O modelo consiste de estoques, fluxos que interagem com o modelo baseado em agentes, tanto com as partes descritas até o momento como as que seguem nesta seção. Os dados de algumas variáveis são baseados em suposições e utilizados para demonstrar o funcionamento do modelo.

Uma vez que o agente decide adotar o Sustento, assumindo que ele cumpre com as exigências da administração do \$T, cria-se uma demanda para a criação da moeda. Essa demanda é igual à quantidade de \$T que cada agricultor necessita, representado pela equação 5.1A e 5.1B, cujos dados constam na Tabela 7.19.

Quadro 7.3 – Código do modelo modificado de Deffuant et al (2002), implementado na função Interactuar

```
double AgenteRandom = (random.nextDouble() * (70 - 1)+ 1) -1;
int selecionado = (int)AgenteRandom;

while(get_Main().agricultores.get(seleccionado).EmUso == true)
{
    AgenteRandom = (random.nextDouble() * (70 - 1)+ 1) -1;
    selecionado = (int)AgenteRandom;
}

get_Main().agricultores.get(seleccionado).EmUso = true;

double Temp_opinion = get_Main().agricultores.get(seleccionado).getOpinion();
double Temp_u = get_Main().agricultores.get(seleccionado).getUncertainty();

double Xi,Xj,Ui,Uj;
Xi = Temp_opinion;
Xj = this.getOpinion();
Ui = Temp_u;
Uj = this.getUncertainty();

double Hji = Math.min(Xj + Uj, Xi + Ui) - Math.max(Xj - Uj, Xi - Ui);
double Hij = Math.min(Xi + Ui, Xj + Uj) - Math.max(Xi - Ui, Xj - Uj);
double RAji = (Hji / Uj) - 1.0;
double RAij = (Hij / Ui) - 1.0;

if (Hji > Uj)
{
    get_Main().agricultores.get(seleccionado).setOpinion( Xi + (get_Main().MU * RAji * (Xj - Xi)) );
    get_Main().agricultores.get(seleccionado).setUncertainty( Ui + (get_Main().MU * RAji * (Uj - Ui)) );
}
else
{
    get_Main().agricultores.get(seleccionado).setOpinion(Xi);
}

if (Hij > Ui)
{
    this.setOpinion( Xj + (get_Main().MU * RAij * (Xi - Xj)) );
    this.setUncertainty( Uj + (get_Main().MU * RAij * (Ui - Uj)) );
}
else
{
    this.setOpinion(Xj);
}
get_Main().agricultores.get(seleccionado).EmUso = false;
```

Tabela 7.19 – Dados para calcular a necessidade de Sustento para cada agente

Variável	Símbolo	Unidade	Quantidade
Necessidade de Sustentos por cada agricultor	Y	\$T	Equação
Área para revegetar	X1	hectare (ha)	dados
Número de mudas de espécies nativas por hectare	X2	unidd.nat/ha	1000
Preço de cada muda de espécie nativa	X3	\$T	1
Número de mudas de espécies comerciais por hectare	X4	unidd.com/ha	1660
Preço de cada muda de espécie comercial	X5	\$T	1
Bônus A por hectare por adotar Ação A	X6	\$T	100
Bônus B por hectare por adotar Ação B	X7	\$T	200

$$Y = X1 * (X2*X3 + X4*X5 + X6), \text{ se agente adotar ação A} \quad \text{Eq. 7.5A}$$

$$Y = X1 * (X2*X3 + X4*X5 + X7), \text{ se agente adotar ação B} \quad \text{Eq. 7.5B}$$

A área para revegetar (X1) significa a quantidade de área que deve ser revegetada para se adequar ao Código Florestal brasileiro. Essas informações foram fornecidas pelos pesquisadores da Embrapa e representam os dados reais dos agricultores de Machadinho d'Oeste que tiveram pontuação global do índice multicritério inferior a -50.

Cada bônus é dado uma única vez ao agricultor, no momento que decide por uma ou outra ação. Na prática o bônus poderia ser fornecido ao agricultor na medida em que vai revegetando suas áreas. Neste modelo assume-se, por facilidade, que o agricultor irá revegetar todas as áreas que faltam de uma única vez.

As equações 7.5A e 7.5B estão incorporadas, respectivamente, nas setas que partem dos 'states' "Adotar_ação_A" e "Adotar_ação_B", sendo representadas por "requer_\$T_rev_A" e "requer_\$T_rev_B" (Figura 7.19). Nesta figura também são apresentadas as variáveis utilizadas pelas referidas equações, assim como, o 'state', "Tempo_Espera", que indica quanto tempo o

agricultor irá demorar para receber o \$T. Adotamos que não há tempo de espera nas simulações, porém, com o aprimoramento do modelo adotaremos diferentes tempos de espera.

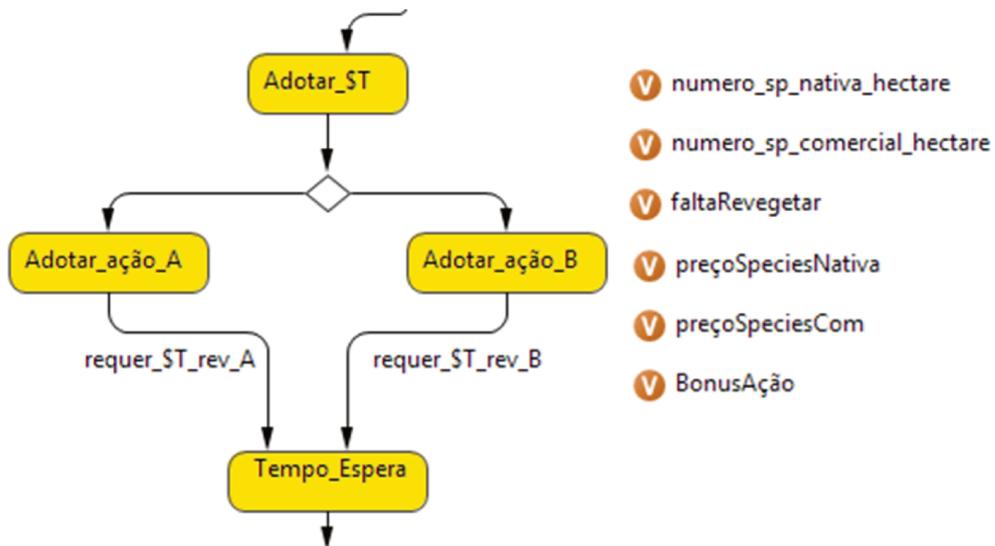


Figura 7.19 – ‘Stateflow’ relacionado ao cálculo da necessidade de Sustentos de cada agente.

A quantidade de Sustento demandadas pelos agentes é captada pelo fluxo Demanda_\$T_agr, o qual alimenta o estoque, Criação_\$T (Figura 7.20). Tal fluxo de entrada é atualizado pelo evento ‘atualize_Demanda_\$T_agr’.

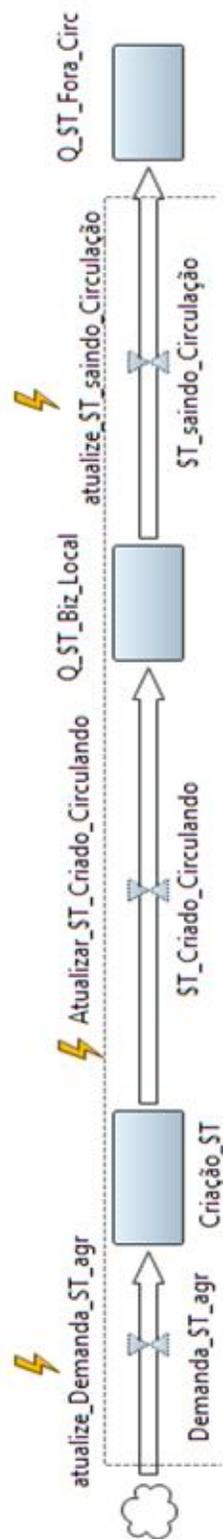


Figura 7.20 – Representação da criação, circulação e eliminação do Sustento.

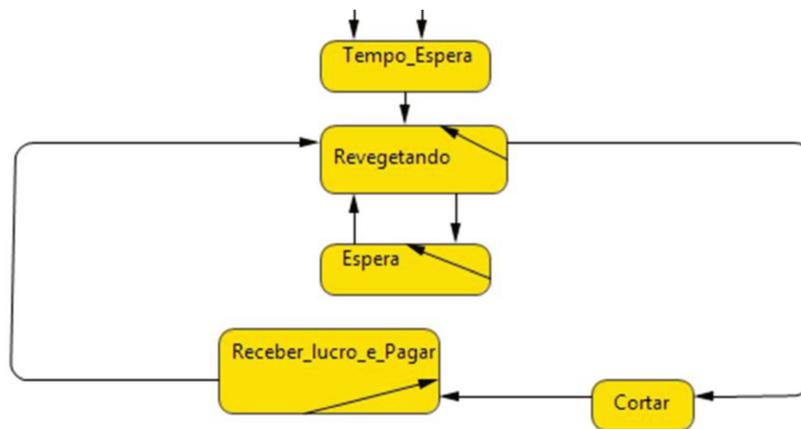


Figura 7.21 – Representação das atividades de revegetação de espécies nativas e comerciais, corte, lucro e pagar destas últimas

Uma vez que os agricultores recebem os \$T que necessitam, assume-se que com exceção ao bônus, os Sustentos restantes são destinados ao proprietário do viveiro de mudas. Assume-se que este participa do Sustento aceitando-o, 100%, isto é, todas as mudas vendidas aos agricultores que participam do sistema, podem ser pagas com \$T. Além disso, assume-se, também, que os demais estabelecimentos do local aceitam o Sustento como forma de pagamento.

Dessa forma, tanto o dono do viveiro como os agricultores que dispõem de Sustentos, usam-no no comércio local, ao invés de acumulá-lo, uma vez que o Sustento possui prazo de validade e que ao utiliza-lo, o usuário pode receber uma parte do lucro da venda das espécies comerciais correspondente à quantidade que circulou.

Uma vez que o Sustento é moeda digital, cada transação que o usuário realiza é automaticamente notificada ao banco de dados da administração do \$T, a qual irá sendo acumulada durante o tempo que o usuário participa do sistema e durante a existência do Sustento, que deixará de existir quando o último agente realizar a colheita das madeiras comercializáveis.

Neste primeiro modelo assume-se que o Sustento só é criado uma vez durante a solicitação das necessidades da moeda por cada agricultor. Após o fim do período de colheita da madeira comercial, assume-se que o agricultor pode utilizar parte do seu lucro, em reais, para comprar as mudas diretamente do viveiro. Esse modelo será aprimorado ao permitir que o agricultor possa comprar Sustentos, a fim de que uma nova criação da moeda seja feita.

A quantidade de Sustento que entra em circulação no comércio local é captado do ‘stateflow’ pelo fluxo “\$T_Criado_Circulando” que é acumulado no estoque “Q_\$T_Biz_Local”, que por sua vez é reduzido quando o Sustento sai de circulação, representado pelo fluxo “\$T_saindo_Circulação”. Os Sustentos que estão fora de circulação são armazenados no estoque “Q_\$T_Fora_Circ”. Todos os fluxos e estoques mencionados neste parágrafo constam na Figura 7.20.

A retirada de Sustento de circulação ocorre quando o último agente que aceitou o Sustento realiza o corte das árvores de espécies comerciais, que neste caso, considerou-se uma única espécie. Nos próximos modelos mais espécies comerciais poderão ser inseridas no modelo. Respectivamente, o corte das referidas árvores e a ação de receber lucro e pagar ocorrem nos ‘states’ “Cortar” e “Receber_lucro_e_Pagar”, Figura 7.21.

Não foi possível concluir a simulação com dados de espécies comerciais, cabendo aprimorar o modelo posteriormente, testando com diferentes espécies comerciais com distintos tempos de colheita. Na seção seguinte serão apresentados alguns resultados referente à adoção do Sustento e estimativa das quantidades criadas pelo sistema.

7.2.4. Resultados das simulações

Conforme citado na seção 4.4, o método de Taguchi foi utilizado para selecionar as combinações entre fatores e níveis, bem como, determinar o número de simulações e identificar as combinações mais relevantes para o objetivo da análise. Especificamente, o objetivo foi analisar diferentes combinações de agentes extremistas negativos (ExtNeg), extremistas positivos (ExtPos) e velocidade de interação entre agentes (M.U.), para identificar quais combinações geravam maior número de adeptos do Sustento (\$T). As três variáveis citadas constituem os fatores no delineamento de experimento e a cada um desses fatores foi identificado três níveis (Tabela 7.20).

Trata-se de um delineamento com 3 fatores, cada um com três níveis, o que geraria em delineamento fatorial completo 27 combinações. Entretanto, pelo método de Taguchi a linha L₉, permite analisa-los utilizando 9 combinações. Uma vez que temos 3 fatores a última coluna de L₉ é suprimida. Além disso, desconsiderou-se a análise das interações, pois o objetivo é

identificar as combinações dos fatores e níveis que levam a maior aceitação da moeda complementar Sustento na população de 70 agricultores.

Tabela 7.20 – Fatores e níveis utilizados na simulação

Fator		Nível 1	Nível 2	Nível 3
Número de extremistas negativos (ExtNeg)	(A)	7	14	21
Número de extremistas positivos (ExtPos)	(B)	3	10	17
Velocidade de interação entre agentes (M.U.)	(C)	0.5	0.7	1.0

A Tabela 7.21 mostra os fatores representados pelas letras A, B, C, seus respectivos níveis representados pela notação de Taguchi e entre parênteses seus valores reais, oriundos da Tabela 7.20.

Tabela 7.21 – Delineamento L₉ de Taguchi utilizado para a simulação

Número da simulação	A (ExtrNeg.)	B (ExtrPos.)	C (M.U.)
1	1 (7)	1 (3)	1 (0.5)
2	1 (7)	2 (10)	2 (0.7)
3	1 (7)	3 (17)	3 (1.0)
4	2 (14)	1 (3)	2 (0.7)
5	2 (14)	2 (10)	3 (1.0)
6	2 (14)	3 (17)	1 (0.5)
7	3 (21)	1 (3)	3 (1.0)
8	3 (21)	2 (10)	1 (0.5)
9	3 (21)	3 (17)	2 (0.7)

Três réplicas foram aplicadas a cada simulação, cujos resultados constam na Tabela 7.22. Cada um dos níveis dos fatores analisados possui 9 amostras, isto é, considerando o fator A com o nível 1, este é fixo nas simulações de números 1-3, e uma vez que cada simulação possui três réplicas, totaliza 9 amostras para o fator A com nível 1. O mesmo vale para os demais níveis desse fator. Esse raciocínio também se estende para os demais fatores e seus respectivos níveis.

Tais amostras servem para avaliar a variabilidade entre os níveis dentro de cada fator, por exemplo, na Tabela 7.22 se observa a variabilidade mensurada pelo S/N médio de cada fator e seu nível. Para o cálculo do S/N utilizou-se o MSD para efeito tipo-N, equação 6.4, sendo o alvo $Y_0 = 70$.

Tabela 7.22 – Número de agentes que adotaram o Sustento em cada simulação

Número da Simulação	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Média	S/N
1	5	7	4	5	-36.2
2	44	32	38	38	-30.2
3	59	60	67	62	-18.8
4	12	12	7	10	-35.5
5	30	26	37	31	-31.9
6	37	36	26	33	-31.4
7	10	3	6	6	-36.1
8	22	18	22	21	-33.9
9	35	30	27	31	-31.9

Uma forma simples de analisar os resultados da Tabela 7.22 é identificar dentro o conjunto de valores S/N, qual deles possui maior valor, o que indica que é a simulação cujos resultados estão mais próximos do valor alvo, neste caso, interpreta-se como o maior número de agricultores que aceitaram o Sustento.

A simulação 3 gerou melhores resultados, conforme se observa os valores das réplicas, bem como, a média de tais valores e o valor S/N. A combinação foi de 7 agentes extremistas, 17 agentes positivos e velocidade de interação igual a 1.

A simulação 2 gerou o segundo melhor resultado expresso conforme se observa pelos valores das réplicas e seu valor médio, assim como o respectivo S/N. A combinação foi de 7 agentes extremistas, 10 agentes positivos e velocidade de interação igual a 0.7.

Os dois piores resultados, isto é, os que geraram maior recusa de adeptos do Sustento foram as simulações 1 e 7. Na simulação 1, a combinação foi de 7 extremistas negativos, 3 extremistas positivos e velocidade de interação igual a 0.5. Na simulação 7, a combinação foi de 21 extremistas negativos, 3 extremistas positivos e velocidade de interação igual a 1.

Os resultados das simulações 5, 6 e 9 mostram que quando a quantidade de agentes extremistas negativos e positivos é próxima entre si, porém, com valores acima de 10 agentes, ocorre a polaridade entre os agentes que se recusam e os que aceitam o Sustento. Tais resultados são previstos pelo modelo de Deffuant *et al.* (2002).

Ainda que o valor da média das réplicas seja útil para visualizar os resultados, a variabilidade desses resultados em relação ao valor alvo (que é 70) é melhor visualizada pelos valores de S/N.

Para analisar quais fatores e seus respectivos níveis geraram maior número de adeptos do Sustento, criou-se a tabela resposta (Tabela 7.23), utilizando as 9 amostras para cada nível. Por exemplo, o nível 1 do fator A, possui 9 amostras, isto é, o nível 1 é simulado pelas simulações 1-3, sendo que cada simulação possui 3 réplicas, totalizando 9 amostras contendo o fator A fixo no nível 1 e os demais fatores e níveis variáveis.

O fator A é constante para as simulações 1-3, e também constante, porém com valores diferentes para os demais níveis, para as simulações 4-6 e 7-9. Entretanto, todos os outros fatores variam durante a análise; isto é, eles são considerados 'ruído' para a avaliação do fator A. Segundo CONDRA (2001) podemos estar confiantes que foi selecionado o melhor nível do fator A, apesar das contribuições de ruídos de todos os demais fatores. Isso fornece uma vantagem enorme em relação ao tipo de experimento que analisa um fator por vez, e resulta em um design robusto.

Tabela 7.23 – Tabela resposta das simulações

Fator	Nível	Média	S/N médio
Extremistas Negativos.	7	35	-28.4
	14	25	-32.9
	21	19	-34
Extremistas Positivos	3	27	-31.5
	10	29	-31.1
	17	28	-31.4
Velocidade interação entre agentes	0.5	26	-31.8
	0.7	29	-31.2
	1.0	28	-30.8

Da Tabela 7.23 se pode observar que o fator Extremistas negativos com nível 7 apresentou o melhor resultado, isto é, maior quantidade de agentes adotando o Sustento, enquanto que os níveis desse mesmo fator que geraram a menor quantidade de adeptos do Sustento foram os 14 e 21. Os demais fatores apresentam pouca variabilidade tanto para os valores médios quanto no S/N médio.

Esses resultados simplesmente corroboram a percepção dos pesquisadores da EMBRAPA que a presença de agricultores com opinião negativa podem representar risco de fracasso para a implantação da moeda complementar, Sustento. Ainda que sejam resultados oriundos de um modelo, se podem adquirir alguns ‘insights’ antes mesmo da experiência ser adotada na prática, isto é, através da análise ex-ante.

Um dos ‘insights’ é que se devem identificar quais são os possíveis agentes extremistas negativos, a fim de realizar uma campanha de divulgação e esclarecimento sobre a moeda complementar entre os demais agricultores, visando reduzir o nível de incerteza dos

mesmos e alertá-los sobre possíveis pessoas que possam simplesmente querer prejudicar a experiência.

Também, se percebe que é necessário identificar os agricultores que mais se identificam e confiam na ideia da moeda complementar proposta, a fim de lhes capacitar mais sobre o assunto visando com isso, possibilitar que tenham mais argumentos a fim de convencer os demais agricultores e reduzir as possíveis dúvidas ou mal interpretações.

Continuando com a análise dos resultados gerados pelas simulações apresenta-se na Figura 7.22 a distribuição temporal de agricultores que aceitaram o Sustento referente a simulação 3 (Tabela). Cada intervalo de tempo corresponde a um mês. Pode-se observar que a adesão ao Sustento nesta simulação ocorreu antes do décimo mês. Isso se deve ao fator velocidade de interação entre os agentes, M.U. igual a 1.0, que significa maior interação entre os agentes. Além disso, também se deve a maior quantidade de agentes extremistas positivos (17) em relação aos extremistas negativos (7).

Quando os valores de M.U. são menores, 0.5 e 0.7, o intervalo de tempo varia, respectivamente, entre 14 a 22 meses.

A Figura 7.22 também mostra a quantidade de agentes que adotaram a ação A e B, bem como, a quantidade de Sustentos criadas pela administração. Em menos de 10 meses foram criados aproximadamente \$T 2,5 milhões de Sustentos, os quais teoricamente entrariam em circulação na economia local de Machadinho d'Oeste. Esse é um caso extremo, porém, vale a pena explorá-lo, afinal trata-se de uma simulação parte de análise ex-ante.

Conforme cita LIETAER (2001), um dos objetivos de uma moeda complementar é conectar recursos subutilizados ou não utilizados, com necessidades não atendidas pela moeda corrente, isto é, a emitida pelo banco central. Tendo em vista que poderia haver um resultado como esse, a administração do Sustento, poderia planejar algumas ações caso ocorra.

Por exemplo, supondo que haja pessoas desempregadas aptas ao trabalho e existam necessidades não atendidas, tais como, cuidar de jardins públicos, cuidar de idosos, realizar hortas orgânicas em bairros urbanos visando reduzir os custos e melhorar a qualidade nutricional da população, entre outros. A administração do Sustento poderia conectar as pessoas relevantes para cada uma das situações mencionadas visando motivá-las a participar da rede de pessoas e

estabelecimentos comerciais que aceitam o Sustento como forma de pagamento por seus serviços e produtos. Com isso, o Sustento pode auxiliar a conectar os recursos disponíveis sub ou não utilizados com as necessidades não atendidas.

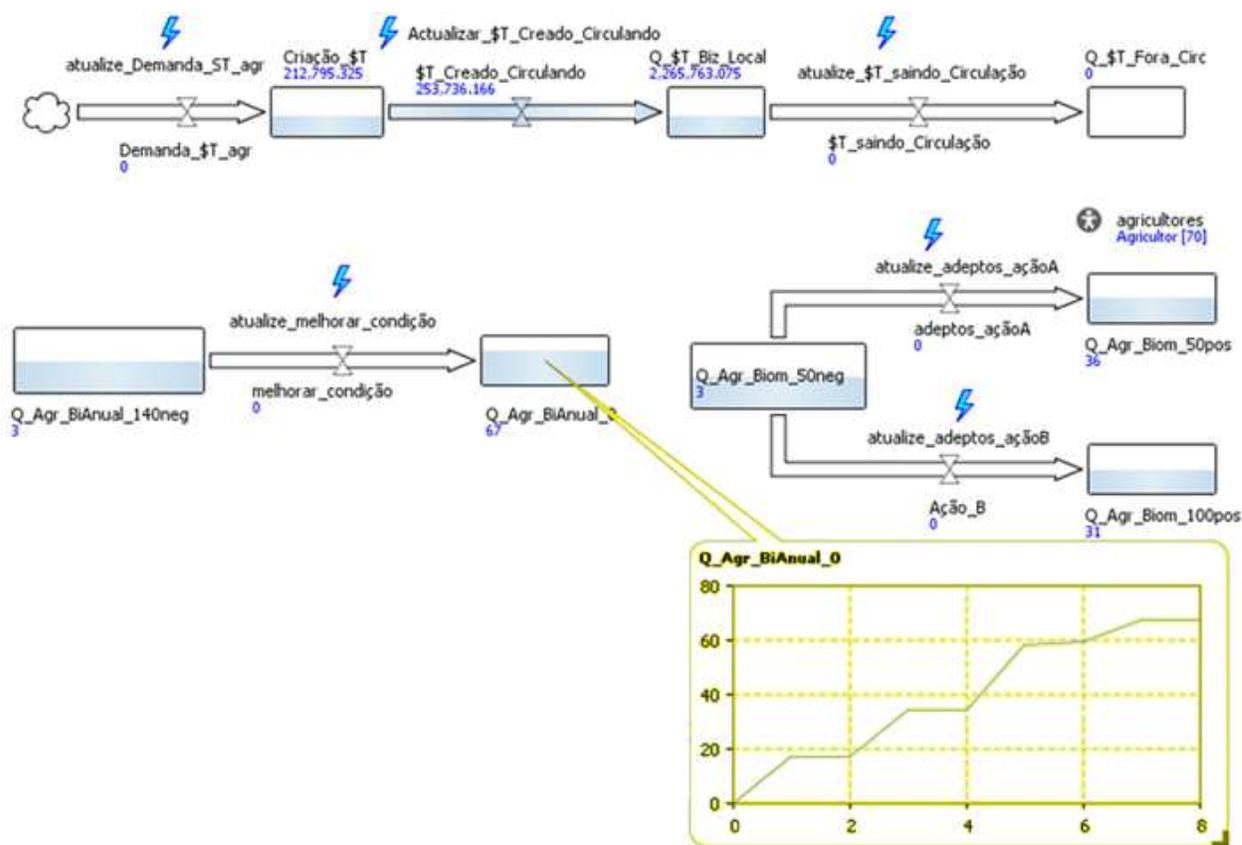


Figura 7.22 – Distribuição temporal de adeptos ao Sustento.

Um estabelecimento comercial pode utilizar o Sustento em determinados períodos durante seu horário comercial, por exemplo, um restaurante que tenha poucos clientes em determinados horários pode aumentar sua ocupação ao aceitar o Sustento, de modo que as pessoas possuidoras do mesmo possam utilizá-los. O mesmo é válido para outros estabelecimentos comerciais com características similares.

Conforme mencionado na seção 6.6, cada participante do sistema irá receber um percentual proporcional à quantidade utilizada de Sustentos quando houver venda dos produtos oriundos das espécies comerciais plantadas nas propriedades rurais participantes do sistema. Esse delineamento visa estimulá-las a aceitar o Sustento e, conseqüentemente, realizar as ações necessárias para obtê-lo.

Enfim os resultados apontam que se houverem pessoas dispostas a acordar em aceitar a moeda complementar Sustento, podem-se criar situações do tipo ‘ganha-ganha’ tanto para os ecossistemas como às pessoas. Os agricultores podem revegetar suas áreas, aumentar os serviços ecossistêmicos, obter maior renda através da comercialização dos produtos produzidos a partir da revegetação com espécies comerciais. A população urbana pode se beneficiar tanto dos serviços ecossistêmicos, bem como, pelo fato de ter maior resiliência com a presença de mais de um meio de troca, ou forma de pagamento, isto é, o Sustento, pois conforme mostra Lietaer *et al.* (2012), as moedas complementares aumentam a resiliência da economia onde está inserida.

8. Conclusões

Através do estudo de caso de Machadinho d'Oeste demonstrou-se a viabilidade da integração entre o processo MACBETH, dinâmica de sistemas e modelos baseados em agentes, cumprindo-se com os objetivos propostos pela tese.

Ainda com relação ao estudo de caso, também foi possível perceber os benefícios resultantes da referida integração ao permitir aos decisores obterem 'insights' sobre o comportamento do sistema analisado sob diferentes circunstâncias, conforme se mostrou na análise da influência de agentes extremistas negativos na aceitação do Sustento pelos demais agricultores.

A capacidade de decisão dos decisores pode ser aprimorada pelo uso das metodologias integradas na medida em que entendem melhor seu problema, analisam-no e testam via simulação, possíveis, soluções para os problemas antes mesmo de realizarem-na.

Com relação ao Sustento, moeda complementar, ainda que seja um protótipo, percebe-se que é possível criar soluções para os problemas que dependem de recursos financeiros, sem depender da moeda criada pelo banco central. Além disso, o exercício de simular o funcionamento do sistema permite avançar no entendimento do funcionamento do sistema e com isso aprimorá-lo. O Sustento possui potencial para auxiliar a resolver os problemas relacionados à adequação das áreas agrícolas particulares ao código florestal brasileiro.

Conclui-se, também, que o delineamento de experimentos (método de Taguchi) é uma metodologia adicional que permite explorar diferentes combinações de fatores e níveis em estudos de simulação de sistemas socioecológicos.

O uso de modelos de opinião é útil para auxiliar no entendimento da dinâmica de difusão de ideias em uma sociedade. Entretanto, é importante estar atento às suas limitações, como o fato de desconsiderar as redes de conexões entre as pessoas. Nesse sentido, o estudo pode ser aprimorado através do emprego de outras metodologias que incorporem tais fatores, como a análise de redes sociais.

O emprego de dinâmica de sistemas e modelos baseados em agentes no teste do funcionamento de moedas complementares pode auxiliar os delineadores das referidas moedas a aprimorarem suas ideias sobre o funcionamento do sistema das referidas moedas. Essa é uma área de pesquisa que requer mais esforços, pois, é grande o potencial das moedas complementares para solucionar os problemas socioecológicos deste século XXI são promissoras.

O arcabouço de integração deve ser testado em mais estudos de casos, principalmente, envolvendo delineamento de moedas complementares e testar, ex-ante, seu funcionamento.

9. Referências bibliográficas

- ABDOU, M.; HAMILL, L.; GILBERT, N. 2012. Cap. 8. Designing and building an agent-based model. In: HEPPENSTALL, A.J.; CROOKS, A.T.; SEE, L.M.; BATTY, M. (eds.) 2012. Agent-Based Models of Geographical Systems. Springer, Dordrecht. p.109-124.
- ANDERSEN, D.F.; ROHRBAUGH, J. 1992. Some conceptual and technical problems in integrating models of judgement with simulation models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 22(1): 21-34.
- ANSOFF, H.I.; SLEVIN, D.P. 1968. An appreciation of industrial dynamics. *Management Science*, 14 (7): 383-397.
- ANTUNES, P.; SANTOS, R.; VIDEIRA, N. 2006. Participatory decision making for sustainable development—the use of mediated modelling techniques. *Land Use Policy* 23: 44–52
- AXELROD, R. 1997. The dissemination of culture. *Journal of Conflict Resolution*, 41 (2): 203-226.
- AZARANG, M.R.; DUNNA, E.G. 1996. Simulación y análisis de modelos estocásticos. McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A., México.
- BALCI, O. 1994. Validation, verification, and testing techniques throughout the life cycle of a simulation study. *Annals of Operations Research*, 53 , 121–173.
- BANA e COSTA C.A.; De CORTE J.M.; VANSNICK, J.C. 2005. On the mathematical foundations of MACBETH. In: Figueira J, Greco S, Ehrgott M, editors. Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys. New York: Springer. p. 409–442.
- BANA e COSTA CA, ENSSLIN L, CORREA EC and VANSNICK JC. 1999. Decision Support Systems in action: integrated application in a multi-criteria decision aid process. *Eur J Opl Res* 113: 315–335.
- BANA e COSTA, C.A. 1992. Structuration, Construction et Exploitation d'un Mod`ele Multicrit`ere d'Aide `a la D`ecision. PhD thesis, Technical University of Lisbon, Lisbon.
- BANA e COSTA, C.A. 2011. Avaliação multicritério do impacto regulatório: Conceitos, erros críticos e boas práticas, Working Paper CEG-IST 1/2011.
- BANA e COSTA, C.A. and CHAGAS M. 2004. A career choice problem: An example of how to use MACBETH to build a quantitative value model based on qualitative value judgements. *Eur J Opl Res* 153: 323-331.
- BANA e COSTA, C.A., LOURENÇO, J.C., BANA e COSTA, J.C. 2009. Concepção de uma estratégia de desenvolvimento a médio prazo para Pernambuco. in Actas do 15º Congresso da APDR – Associação Portuguesa para o Desenvolvimento Regional, Cabo Verde, 6-11 Julho de 2009, APDR, pp. 1659-1681 URL: <http://www.apdr.pt/congresso/2009/>
- BANA e COSTA, C.A., LOURENÇO, J.C., BANA e COSTA, J.C. 2009. Concepção de uma estratégia de desenvolvimento a médio prazo para Pernambuco. in Actas do 15º Congresso da APDR – Associação Portuguesa para o Desenvolvimento Regional, Cabo Verde, 6-11 Julho de 2009, APDR, pp. 1659-1681 URL: <http://www.apdr.pt/congresso/2009/>
- BANA e COSTA, C.A.; BEINAT, E. 2011. Estruturação de Modelos de Análise Multicritério de Problemas de Decisão Pública. In: S. Costa, P. Nijkamp, T.P. Dentinho (eds.), *Compêndio de Economia Regional. Volume II: Métodos e Técnicas de Análise Regional*, Capítulo 20 (611-645).
- BANA e COSTA, C.A.; DE CORTE, J-M; VANSNICK, J.C. 2012. MACBETH. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 11(2): 359-387.

- BANA e COSTA, C.A.; MEZA, L.A.; OLIVEIRA, M.D. 2013. ENGEVISTA, 15(1): 3-27.
- BANA e COSTA, C.A.; VANSNICK, J.C. 1993. Sur la quantification des jugements de valeur: L'approche MACBETH. Cahiers du LAMSADE, 117, Université Paris-Dauphine, Paris.
- BANA e COSTA, C.A.; VANSNICK, J.C. 1997. A theoretical framework for measuring attractiveness by a categorical based evaluation technique (MACBETH), in CLÍMACO, J. (ed.), Multicriteria Analysis, Springer-Verlag, p.15-24.
- BANA e COSTA, C.A.; VANSNICK, J.C. 1997. The MACBETH approach: Basic ideas. In Proceedings of the International Conference on Methods and Applications of Multicriteria Decision Making, pages 86–88. FUCAM, Facultés Universitaires Catholiques de Mons.
- BANA e COSTA, C.A.; VANSNICK, J.C. 1999. The MACBETH approach: basic ideas, software and an application. In: MESKENS, N.; ROUBENS, M. (eds), Advances in decision analysis, Kluwer Academic Publishers, p. 131-157.
- BANA e COSTA, C.A.; VANSNICK, J.C. 2008. A critical analysis of the eigenvalue method used to derive priorities in AHP. European Journal of Operational Research 187: 1422–1428.
- BATISTELLA, M. Landscape change and Land-use/Land-cover dynamics in Rondônia, Brazilian, Amazon. 2001. 257 f. Dissertation (Masters) - Center for Study of Institutions, Population and Environmental Change, Indiana University. (Series, 7).
- BATISTELLA, M.; MORAN, E. F. Dimensões humanas do uso e cobertura das terras na Amazônia: uma contribuição do LBA. Acta Amazonica, v. 35, n. 2, p. 239-247, 2005.
- BATISTELLA, M.; ROBESON, S.; MORAN, E. F. 2003. Settlement design, forest fragmentation, and landscape change in Rondônia, Amazônia. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Bethesda, v. 69, n. 7, p. 805-812.
- Bazerman, M.H. 2002. Judgment in Managerial Decision Making. Wiley, New York.
- BELTON, V., STEWART, T.J. 2002. Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach. Kluwer Academic Publishers.
- BERT, FEDERICO E.; PODESTA, GUILLERMO P.; ROVERE, SANTIAGO L.; et al. 2011. An agent based model to simulate structural and land use changes in agricultural systems of the argentine pampas. Ecological modelling, 222 (19): 3486-3499.
- BORSHCHEV, A.; FILIPPOV, I. 2004. From system dynamics and discrete event to practical agent based modeling: reasons, techniques, tools - multimethod simulation software tool AnyLogic. In: The 22nd International Conference of the System Dynamics Society, July 25 - 29, , Oxford, England. <http://www.xjtek.com/anylogic/articles/33/>
- BRANS, J.P.; MACHARIS, C.; KUNSCH, P.L., CHEVALIER, A.; SCHWANINGER, M. 1998. Combining multicriteria decision aid and system dynamics for the control of socio-economic process. An iterative real-time procedure. European Journal of Operational Research, 109: 428-441.
- BROWN, T. C. 1984. The concept of value in resource allocation. Land Economics 60(3):23 1-246.
- BUEDE, D. M. 1986. Structuring value attributes. Interfaces, 16: 52-62.
- CHAPIN III, F.S., KOFINAS, G.P.; FOLKE, K. 2009. Principles of ecosystem stewardship: resilience-based natural resource management in a changing world.
- CHECKLAND, P. 1989. Soft system Methodology. In: Rosenhead, J. (ed). Rational Analysis for a Problematic World. Wiley, Chichester.

- CLIVILLÉ, V.; BERRAH, L.; MAURIS, G. 2007. Quantitative expression and aggregation of performance measurements based on the MACBETH multi-criteria method. *Int. J. Production Economics*, 105: 171-189.
- COIMEX (2013). Acessado em 5 de maio de 2013. http://www.coimex.com.br/index.php?id=/pt/noticias/materia.php&cd_matia=494.
- CONDRA, L.W. 1995. *Value-added management with design of experiments*. Springer, USA.
- CONDRA, L.W. 2001. *Reliability improvement with design of experiment*. Marcel Dekker Inc, USA.
- CROOKS, A.T.; HEPPENSTALL, A.J. 2012. In: HEPPENSTALL, A.J.; CROOKS, A.T.; SEE, L.M.; BATTY, M. (eds.) *Agent-Based Models of Geographical Systems*. Springer, Dordrecht. p. 85-105.
- CRUTZEN, P. 2002. The geology of mankind. *Nature*, 415 (3): 23.
- DEFFUANT, G., AMBLARD, F., WEISBUSCH, G., FAURE, T. 2002. How can extremist prevail? A study based on the relative agreement interaction model. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 5 (4): 1 <http://jassc.soc.surrey.ac.uk/5/4/1.html>
- DEFILA, H. (1994). Sixty years of the WIR economic circle cooperative: origins and ideology of the Wirtschaftsring, WIR Magazin (Translated from the German by Thomas Greco Jr).
- DIETZ, T.; FITZGERALD, A.; SHWOM, R. 2005. Environmental values. *Annual Review Environmental Resources*, 30: 335-372.
- DOUTHWAITE, R. 1999. The ecology of money. <http://www.feasta.org/documents/moneyecology/contents.htm>. Acessado 14 dezembro 2012.
- DYER, J. S. and SARIN, R. 1979. Measurable multiattribute value functions. *Operations Research*, 22, 810-822.
- EDEN C. 1994. Cognitive mapping and problem structuring for system dynamics model building. *Syst Dynam Rev* 10: 257-276.
- EDEN, C. 2004. Analysing cognitive maps to help structure issues or problems. *European Journal of Operational Research*, 159, 673-686.
- EDEN, C., 1988. Cognitive mapping: a review. *European Journal of Operational Research* 36, 1-13.
- EDEN, C., 1989. Strategic options development and analysis-SODA. In: Rosenhead, J. (Ed.), *Rational Analysis in a Problematic World*. Wiley, London, pp. 21-42.
- EDEN, C., ACKERMANN, F. 2001. Group decision and negotiation in strategy making. *Group Decision and Negotiation* 10 (2), 119-140.
- EDEN, C., ACKERMANN, F. 2004. Cognitive mapping expert views for policy analysis in the public sector. *European Journal of Operational Research*, 152, 615-630.
- EDEN, C., ACKERMANN, F., CROPPER, S., 1992. The analysis of cause maps. *Journal of Management Studies* 29, 309-324.
- EDEN, C.; ACKERMANN, F. 2009. SODA - the principles. In: ROSENHEAD, J.; MINGERS, J. (eds.) *Rational analysis for a problematic world revisited*. John Wiley & Sons, Ltd. p.21-42.
- ENSSLIN, L., MONTIBELLER Neto, G., NORONHA, S.M. 2001. Apoio à decisão: metodologia para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas. Florianópolis, ed. Insular.

- FANTINATTI, P.A.; ZUFFO, A.C. 2012. Mudança de paradigma no planejamento dos recursos hídricos por meio da abordagem MCDA: avaliação da bacia do ribeirão Anhumas, em Campinas, São Paulo, Brasil. *Revista Labor & Engenharia*, 6(3).
- FORRESTER, J. W. 1968. *Principles of Systems*. Wright-Allen Press, Cambridge, MA.
- FORRESTER, J. W. 1994. System Dynamics, System Thinking, and Soft OR. *System Dynamics Review*, 10 (2-3): 245-256.
- FORRESTER, J.W. 1971. *World Dynamics*. Wright-Allen Press: Cambridge, MA. (Now available from Pegasus Communication, Waltham, MA)
- FRANÇA FILHO, G.; SILVA JÚNIOR, J. 2008. Bancos comunitários de desenvolvimento (BCB). Disponível em: http://www.rgs.wiki.br/index.php/biblioteca/doc_download/25-verbetebancoscomunitariosvfinalgenautojeova.html.
- FRANCO, L.A.; MONTIBELLER, G. 2010. Problem structuring for multicriteria decision analysis interventions. In: COCHRAN, J. (ed.), p.1-14 *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*.
- FREIRE, M.V. 2011. Moedas sociais: contributo em prol de um marco legal e regulatório para as moedas sociais circulantes locais no Brasil. Tese de doutorado, Universidade de Brasília, UnB, Brasília, Brasil.
- FRENCH, S. 1986. *Decision theory: an introduction to the mathematics of rationality*. Ellis Horwood, Chichester.
- FRIEND, J.; HICKLING, A. 1987. *Planning under pressure*. Pergamon Press.
- GALBRAITH, J.K. 1955. *The great crash 1929*.
- GESELL, S. (1906) *The natural economic order*, (London: Peter Owen Ltd.)
- GERSHENSON, C. 2008. *Complexity: 5 questions*.
- GOH, T.N. 1993. Taguchi methods: some technical, cultural, and pedagogical perspectives. *Quality and Reliability Engineering International*, 9(3): 23-45.
- GOODWIN, P., and WRIGHT, G. 1991. *Decision Analysis for Management Judgment*. Chichester: John Wiley & Sons.
- GRECO, Jr., T.H. 2009. *The end of money and the future of civilization*. Chelsea Green Publication.
- GRIMM, V., & RAILSBACK, S. F. (2005). *Individual-based modeling and ecology*. Princeton: Princeton University Press.
- GRIMM, V., BERGER, U., DeAngelis, D. L., Polhill, G., Giske, J., & Railsback, S. F. (2010). The ODD protocol for describing individual-based and agent-based models: A first update. *Ecological Modelling*, 221 (23), 2760–2768.
- GUNDERSON, L. H., and C. S. HOLLING, ed. 2002. *Panarchy: understanding transformations in human and natural systems*. Island Press, Washington, D.C., USA.
- HABERMAS, J. 1984. *The theory of communicative action. Vol.1: Reason and rationalization of society*. London, Heinemann.
- HABERMAS, J. 1987. *The theory of communicative action. Vol.2: lifeworld and system, a critique of functionalism reason*. Oxford, Polity Press.

- HALLSMITH, G., LIETAER, B. 2011. *Creating wealth: growing local economies with local currencies*. New Society Publishers.
- HALLSMITH, G., LIETAER, B. 2011. *Creating wealth: growing local economies with local currencies*. New Society Publishers.
- HAMMOND, K.R.; MUMPOWER, J.L.; SMITH, T.H. 1977. Linking environmental models with models of human judgement: a symmetrical decision aid. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-7: 358-367.
- HEPPENSTALL, A.J.; CROOKS, A.T.; SEE, L.M.; BATTY, M. (eds.) 2012. *Agent-Based Models of Geographical Systems*. Springer, Dordrecht.
- HOWARD, R.A. 2007. The foundations of decision analysis revisited. In: EDWARDS, W.; MILLES JR, R.F.; von WINTERFELDT, D., p.13-31. *Advances in decision analysis: from foundations to applications*. Cambridge University Press, Cambridge.
- JOACHAIN, H., KLOPFERT, F. 2012. Emerging trend of complementary currencies systems for environmental purposes: changes ahead? *International Journal of Community Currency Research*, 16, Section D, p.156-168.
- JOACHAIN, H., KLOPFERT, F. 2013. Smart meters as an opportunity to motivate households for energy savings? Designing innovative policy instruments based on coupling of smart meters and non-financial incentives. CEB Working Paper, No. 13/008, Universidade Livre de Bruxelas, Bélgica.
- KAHNEMAN, D., and TVERSKY, A. (Eds.). 2000. *Choices, values, and frames*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- KEENEY, R. L. 1992. *Value-Focused thinking: A path to creative decision making*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- KEENEY, R.L. 2006. Eliciting knowledge about values for public policy decisions. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 5(4): 739-749.
- KEENEY, R.L. e GREGORY, R.S. 2005. Selecting attributes to measure the achievement of objectives. *Operations Research*, 53 (1): 1-11.
- KEENEY, R.L. e RAIFFA, H. 1976. *Decisions with multiple objectives*, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- KEENEY, R.L. e von WINTERFELDT, D. 2007. Practical value models. In: EDWARDS, W.; MILLES JR, R.F.; von WINTERFELDT, D., p.232-252. *Advances in decision analysis: from foundations to applications*. Cambridge University Press, Cambridge.
- KELLY, G.A. 1955. *The psychology of personal constructs*. NY, Norton.
- KENNEDY, M., LIETAER, B., ROGERS, J. 2012. *People money*.
- KEYNES, J.M. 1930. *A treatise on money*. New York: Harcourt, Brace & Company, v.1.
- KLEIJNEN, J.P.C.; SANCHEZ, S.M.; LUCAS, T.W.; CIOPPA, T.M. 2005. A user's guide to the brave new world of designing simulation experiments. *INFORMS Journal on Computing*, 17(3): 263-289.
- KNAPP, G.F. 1924. *The state theory of money*. Clifton, NY.
- KRANTZ, D. M., LUCE, R.D., SUPPES, P., and TVERSKY, A. 1971. *Foundations of Measurement (Vol. I: Additive and Polynomial Representations)*. New York: Academic Press, p. 12.
- KUNSCH, P.L.; KAVATHATZOPOULOS, I.; RAUSCHMAYER, F. 2009. Modelling complex ethical decision problems with operations research. 2009. *Omega*, 37: 1100-1108.

- LATTILA, L.; HILLETOFTH, P.; LIN, B. 2010. Hybrid simulation models – when, why, how? *Expert Systems with Application*, 37: 7969-7975.
- LICHTENSTEIN, S. e SLOVIC, P. (eds) 2006. *The Construction of Preference*. Cambridge University Press, New York.
- LIETAER, B. 1998. *The positive social impact of electronic money: a challenge to the European Union? A Report to the European Commission's Forward Studies Unit, Brussels and the Instituto de Prospectiva Tecnológica, Sevilla, Spain*.
- LIETAER, B. 2001. *The future of money: creating new wealth, work and a wiser world*. London, Random House.
- LIETAER, B., BELGIN, S. 2011. *New money for a new world*. Boulder: Qiterra Press.
- LIETAER, B.; ARNSPERGER, C.; GOERNER, S.; BRUNNHUBER, S. 2012. *Money and sustainability: the missing link*. Triarchy Press.
- LORENZ, J. 2007. Continuous opinion dynamics under bounded confidence: a survey. *International Journal of Modern Physics C* 18:1-20.
- LOURENÇO, J.C. 2002. Modelo Aditivo hierárquico: exemplo de métodos de ponderação e problemas associados. Artigo de investigação no 13/2002, CEG-IST, Lisboa.
- LUNA, L.F. e ANDERSEN, D.L. 2002. Using Qualitative Methods in the Conceptualization and Assessment of System Dynamics Models. <http://www.systemdynamics.org/conferences/2002/proceed/papers/Luna1.pdf>
- LUNA-REYS, L.F. 2003. Model conceptualization: a critical review. In: <http://www.systemdynamics.org/conferences/2003/proceed/PAPERS/236.pdf>
- MACAL, C. M.; NORTH, M. J. 2006. Tutorial on agent-based modeling and simulation. Part 2: How to model with agents. In: PERRONE, L. F.; WIELAND, F. P.; LIU, J.; LAWSON, B. G.; NICOL, D. M.; FUJIMOTO, R. M. (Eds.), *Proceedings of the 2006 winter simulation conference*, p. 73–83.
- MACAL, C. M.; NORTH, M. J. 2010. Tutorial on agent-based modelling and simulation". *Journal of Simulation*, 4:151–162.
- MANGABEIRA, J. A. de C. *Serviços ecossistêmicos e trajetória de capitalização agrícola: o caso de Machadinho d'Oeste - RO*. 2010. 162 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas.
- MANGABEIRA, J. A. de C.; MIRANDA, E. E. de; GOMES, E. G. *Perfil agrossocioeconômico dos produtores rurais de Machadinho d'Oeste (RO), em 2002*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005b. 114 p. (Documentos, 38).
- MANGABEIRA, J.A.C. 2010. *Serviços ecossistêmicos e trajetória de capitalização agrícola: o caso de Machadinho d'Oeste, RO*. Tese de doutorado, IE, Unicamp, Campinas.
- MANGABEIRA, J.A.C; GREGO, C.R.; TOSTO, S.G.; ROMEIRO, A.R. 2011. *Geoestatística aplicada à socioeconomia: estudos de caso em Machadinho d'Oeste, RO*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2011. 28 p.
- MARTIGNONI, J. 2012. A New Approach to a Typology of Complementary Currencies, *IJCCR*,16: A1-17.
- MARTINS, A. 2008. Continuous opinions and discrete actions in opinion dynamics problems. *International Journal of Modern Physics C* 19, 617-624.

- MARX, K. 2003. O dinheiro ou a circulação das mercadorias. In: Marx, K. O capital: crítica da economia política, p.: 120-172. Livro 1, volume1, O Processo de produção do capital. 21 ed. Tradução: Reginaldo Sant'Anna, Rio de Janeiro, Civilização Brasileira.
- MEADOWS, D.H.; MEADOWS, D.L.; RANDERS, J.; BEHRENS, W.W. 1972. The Limits to Growth. Universe: New York.
- MILES JR., R. F. 2007. The emergence of decision analysis. In: EDWARDS, W.; MILLES JR, R.F.; von WINTERFELDT, D., p.32-56. Advances in decision analysis: from foundations to applications. Cambridge University Press, Cambridge.
- MINGERS, J. 2009. Multimethodology – mixing and matching methods. In: ROSENHEAD, J.; MINGERS, J. (eds.) Rational analysis for a problematic world revisited. John Wiley & Sons, Ltd. p.289-310.
- MINGERS, J. 2010. Multimethodology. In: COCHRAN, J. (ed.), Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science.
- MINGERS, J., BROCKLESBY, J. 1997. Multimethodology: towards a framework for mixing methodologies. Omega, Int. J. Mgmt Sci., 25 (5): 489-509.
- MINGERS, J.; ROSENHEAD, J. 2004. Problem structuring methods in action. European Journal of Operational Research 152: 530–554.
- MONK, A.; HOWARD, S. 1998. The rich picture: a tool for reasoning about work context. Interaction, 5(2): 21-30.
- MONTIBELLER, G. e BELTON, V. 2006. Causal maps and the evaluation of decision options—a review. Journal of the Operational Research Society, 57, 779-791
- MUNRO, I; MINGERS, J. 2002. The use of multimethodology in practice - results of a survey of practitioners. J Oper Res Soc; 59(4):369–378.
- MURADIAN, R. et al. 2013. Payments for ecosystem services and the fatal attraction of win-win solutions. Conservation Letters, 6(4): 274-279.
- NEVES, L.P.; DIAS, L.C.; ANTUNES, C.H.; MARTINS, A.G. 2009. Structuring an MCDA model using SSM: A case study in energy efficiency. European Journal of Operational Research 199: 834–845.
- NOWAK, A., SZAMREJ, J., LATANE, B. 1990. From private attitude to public-opinion: a dynamic theory of social impact. Psychological Review, 97 (3): 362-376.
- OECD, 1997. Regulatory impact analysis: best practices in OECD countries. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, Washington.
- PHELAN, S. 1999. A note on the correspondence between complexity and systems theory. Systemic Practice and Action Research, 12 (3): 237-246.
- PHILLIPS, L. D. 1984. A theory of requisite decision models. Acta Psychologica, 56, 29–48.
- PHILLIPS, L. D., and BANA e COSTA, C. 2007. Transparent prioritisation, budgeting and resource allocation with multi-criteria decision analysis and decision conferencing. Annals of Operations Research, 154 (1): 51-68.
- PHILLIPS, L., PHILLIPS, M., 1993. Facilitated work groups: Theory and practice. Journal of the Operational Research Society 44, 533–549.
- PHILLIPS, L.D. 2005. Decision analysis in 2005. In: <http://pt.scribd.com/doc/86309595/Phillips-Decision-Analysis-in-2005>.

- PHILLIPS, L.D. 2007. Decision conferencing. In: EDWARDS, W.; MILLES JR, R.F.; von WINTERFELDT, D., p.375-399. *Advances in decision analysis: from foundations to applications*. Cambridge University Press, Cambridge.
- PHILLIPS, R.L. 2007. Decision conferencing. In: In: EDWARDS, W.; MILLES JR, R.F.; von WINTERFELDT, D. chapter 19, p.375-399. *Advances in decision analysis: from foundations to applications*. Cambridge University Press, Cambridge.
- POLHILL, J. G., BROWN, D. G., & GRIMM, V. (2008a). Using the ODD protocol for describing three agent-based social simulation models of land use change. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* , 11
- PRUYT, E. 2007. Dealing with Uncertainties? Combining System Dynamics with Multiple Criteria Decision Analysis or with Exploratory Modelling. www.systemdynamics.org/conferences/2007.
- PUGA, B.P.; CHIODI, R. 2013. Aspectos institucionais das políticas de Pagamento por Serviços ambientais no Sistema Cantareira.
- RAIFFA, H. 1968. *Decision analysis*. Addison-Wesley, Reading, MA.
- RAILSBACK, S. F. (2001). Concepts from complex adaptive systems as a framework for individual based modelling. *Ecological Modelling*, 139 , 47–62.
- RAMSEY, F. P. 1926. *Truth and Probability*. In R. B. Braithwaite, (Ed.). 1931. F. P. Ramsey, *The foundations of mathematics and other logical essays*. London: Routledge and Kegan Paul.
- RANDERS, J. 1980. "Guidelines for Model Conceptualization" in *Elements of the System Dynamics Method*. J. Randers, ed. Waltham, MA: Pegasus Communications.
- REAGAN-CIRICIONE P.; SCHUMAN, S.; RICHARDSON, G.P.; Dorf, S.A. 1991. Decision Modeling: Tools for Strategic Thinking. *Interfaces*, 21 (6): 52-65.
- RESCHER, N. 1969. *Introduction to Value Theory*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hal
- RICHARDSON, G.P. 1991. *Feedback Thought in Social Science and Systems Theory*. University of Pennsylvania Press: Philadelphia, PA. Reprinted by Pegasus Communications: Waltham, MA.
- RICHARDSON, G.P. 2011. Reflections on the foundations of system dynamics. *System Dynamics Review* vol 27, (3): 219–243.
- RICHARDSON, G.P.; PUGH, A.L. III. 1981. *Introduction to System Dynamics Modeling with Dynamo*. Productivity Press: Cambridge, MA.
- ROBERTS, N.H., et al. 1983. *Introduction to Computer Simulation: The System Dynamics Modeling Approach*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- ROKEACH, M. 1973. *The nature of human values*. New York: Free Press.
- ROSENHEAD, J. (Ed.), 1989. *Rational Analysis for a Problematic World*. Wiley, Chichester.
- ROSENHEAD, J., MINGERS, J. (Eds.), 2001. *Rational Analysis for a Problematic World Revisited*. Wiley, Chichester.
- ROSENHEAD, J.; MINGERS, J. (eds.) 2009. *Rational analysis for a problematic world revisited*. John Wiley & Sons, Ltd.
- SAEED, K. (1992). "Slicing a complex problem for systems dynamics modeling." *System Dynamics Review* 8(3): 251-262.

- SANCHEZ, S.M. 2000. Robust design: seeking the best of all possible worlds. In Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, ed. J.A. Joines, R.R. Barton, K.Kang, and P.A.Fishwick, 69-76. Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- SANCHEZ, S.M. 2005. Work smarter, not harder: guidelines for designing simulation experiments. In Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, ed. M.E. Kuhl, N.M. Steiger, F.B. Armstrong, and J.A. Joines, 69-82. Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- SANTOS, S.P.; BELTON, V.; HOWICK, S. 2002. Adding value to performance measurement by using system dynamics and multicriteria analysis. *Int. J. Opns. Prod. Mngt.*, 22: 1246–1272.
- SANTOS, S.P.; BELTON, V.; HOWICK, S. 2008. Enhanced performance measuring using OR: A case study. *J. Opl. Res. Soc.*, 59: 762–775.
- SCHEIN, E. H. 1988. *Process consultation*. Vol. 1 (Rev. Ed.). Reading, MA.: Addison-Wesley
- SCHOLL, H. J. 2001. Agent-based and system dynamics modeling: A call for cross study and joint research. In Proceedings of the 34th Hawaii international conference on system sciences, January 3–6, Maui, USA.
- SCHWARTZ, S. H. 1992. Universals in the content and structure of values: Theoretical advances and empirical tests in 20 countries. In M. P. Zanna (Ed.), *Advances in Experimental Social Psychology* (Vol. 25, pp. 1-65). New York: Academic Press.
- STERMAN, J.D. 2000. *Business Dynamics : Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Boston: Irwin/McGraw-Hill.
- STODDER, J. 2009. Complementary credit networks and macroeconomic stability: Switzerland's Wirtschaftsring. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 72: 79-95.
- STODDER, J., LIETAER, B. 2012. The macro-stability of Swiss WIR-Bank spending: balance, velocity and leverage. http://www.ewp.rpi.edu/hartford/~stoddj/WIR_Panel.pdf acessado em 12 de janeiro de 2013.
- STUDER, T. 1998. WIR and the Swiss national economy. Rohnert Park, CA: Sonoma State University.
- TAGUCHI, G. 1987. *System of experimental design*. American Supplier Institute, Dearborn, MI.
- TAGUCHI, G.; KONISHI, S. 1987. *Orthogonal arrays and linear graphs*, American Supplier Institute, Dearborn, MI.
- TAINTER, J.A. 1988. *The collapse of complex societies*. Cambridge University Press, UK.
- TOBIAS, L.; JOST, A. 2006. Towards an orientation framework in multi-paradigm modeling. <http://www.systemdynamics.org/conferences/2006/proceed/papers/LOREN178pdf>
- TWEEDALE, J., ICHALKARANJE, N.; SIOUTIS, C.; JARVIS, B.; CONSOLI, A.; PHILLIPS-WREN, G. 2007. Innovations in multi-agent systems. *Journal of Network and Computer Applications*, 30(3): 1089–1115.
- Von BERTALANFY, L. 1968. *General system theory*. New York: George Braziller, USA.
- von NEUMAN, J., and MORGENSTERN, O. 1947. *Theory of games and economic behavior* (2nd ed.). Princeton, NJ: Princeton University Press.
- von WINTERFELDT, D., e EDWARDS, W. 1986. *Decision analysis and behavioral research*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- WATSON, S., BUEDE, D., 1987. *Decision Synthesis: The Principles and Practice of Decision Analysis*. Cambridge University Press, Cambridge.

WATSON, S.R. e BUEDE, D.M. 1987. Decision synthesis: the principles of decision analysis. Cambridge University Press, Cambridge.

WILLIAMS, R. M., Jr. 1968. The concept of values. In D. Sills (Ed.), International encyclopedia of the social sciences (pp. 283-287). New York: Macmillan.

WOLSTENHOLME, E. 1990. System Enquiry: A System Dynamics Approach. NY: John Wiley & Sons, Inc.

WOOLDRIDGE, M.; e JENNINGS, N. R. 1995. Intelligent agents: theory and practice. The Knowledge Engineering Review, 10(2): 115-152.

WRAY, L. 1998. Understanding modern money: the key to full employment and price stability. Cheltenham: Edward Elgar.

ZHAO, J.; MAZHARI, E.; CELIK, N.; SON, Y.J. 2011. Hybrid agent-based simulation for policy evaluation of solar power generation systems. Simulation Modelling Practice and Theory 19: 2189-2205.

APÊNDICES

Apêndice 1 - Propriedades com pontuação global (P.G.), ou, valor global (VG) maior que 0 (zero)

gleba-Lote	V.G.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
g2L52	91.9	100	100	100	100	0	100	100	0
g2L154	86.8	100	100	100	100	0	100	50	0
g1L310	81.6	100	50	100	0	-37.5	100	100	100
g1L765	78.3	100	50	100	50	0	100	50	43
g2L933	75.0	100	50	100	100	-37.5	50	100	100
g1L700	74.6	100	50	100	0	0	50	100	43
g3L53	73.1	100	50	100	50	-37.5	50	100	43
g1L774	71.4	100	50	100	50	0	50	50	100
g1L707	71.0	100	50	100	100	0	50	50	43
g2L162	66.5	100	0	50	100	50	100	50	0
g1L61	64.4	100	0	100	50	-37.5	50	100	43
g2L222	63.7	100	0	100	0	-37.5	50	100	43
g1L578	58.9	100	100	-66	50	0	50	50	43
g1L552	57.9	100	-50	100	100	50	50	50	100
g1L127	57.4	0	100	100	50	0	100	100	43
g2L92	57.2	0	100	50	100	100	100	100	0
g2L145	57.2	0	100	100	100	0	100	100	0
g1L772	55.9	0	100	100	100	-37.5	100	100	43
g2L201	55.8	100	50	-66	0	0	50	100	100
g1L3	55.4	100	50	100	100	0	0	0	-71
g1L38	54.5	0	100	100	0	50	100	50	43
g2L1024	52.5	0	50	100	100	50	100	100	43
g2L655	50.7	100	-50	100	50	-37.5	50	50	43
g1L62	50.6	0	100	0	0	100	100	100	43
g2L785	46.3	0	100	100	0	-37.5	50	100	43

(continua)

Legenda

C1 - Reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café

C2 - Aumentar a quantidade biomassa no solo área de uso agrícola

C3 -Ter baixa, ou não ter, renda extra agrícola

C4 - Garantir o auto consumo alimentar e aumentar a capacidade de troca na comunidade com mercadorias advindas do lote.

C5 - Participar de atividades sociais na comunidade

C6 - Aumentar a diversidade renda monetária oriunda produção agropecuária familiar

C7 - Aumentar o valor do patrimônio da propriedade rural

C8 - Aumentar Renda Proveniente Madeira Legalmente Explorada Lote

Apêndice 1 (continuação)

gleba-Lote	V.G.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
g2L840	46.3	0	100	50	50	50	50	100	43
g1L758	46.2	100	-50	-66	50	0	100	100	43
g1L697	44.4	0	50	100	100	0	100	50	43
g1L777	44.4	0	50	100	100	0	100	50	43
g1L779	44.4	0	50	100	100	0	100	50	43
g3L501	44.4	0	50	100	100	50	50	100	43
g2L144	43.1	0	100	50	100	0	50	100	0
g2L303	42.9	0	50	100	0	50	50	100	43
g2L874	42.9	0	50	100	0	50	50	100	43
g3L321	39.6	0	50	100	50	-37.5	50	100	100
g2L14	38.6	0	100	50	0	0	50	50	100
g3L339	37.6	0	50	100	0	-37.5	50	100	43
g2L205	37.5	0	50	100	100	0	50	50	100
g2L202	36.0	0	50	100	0	0	50	50	100
g2L2	34.1	100	50	-66	50	0	-50	50	43
g1L20	33.9	0	0	100	100	0	50	100	100
g1L174	33.7	0	50	100	0	-37.5	50	50	100
g2L302	32.4	0	0	100	0	0	50	100	100
g1L250	31.4	0	-50	100	50	0	100	100	43
g2L1026	31.4	0	-50	100	50	0	100	100	43
g1L761	29.0	49	50	100	100	-37.5	0	-62.5	-71
g1L281	27.9	0	50	0	0	0	50	100	43
g2L1074	27.5	0	-50	100	50	0	100	50	100
g1L579	26.0	49	0	100	50	-37.5	0	0	-71
g2L819	25.4	0	0	100	100	-37.5	50	50	43

(continua)

Legenda

C1 - Reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café

C2 - Aumentar a quantidade biomassa no solo área de uso agrícola

C3 -Ter baixa, ou não ter, renda extra agrícola

C4 - Garantir o auto consumo alimentar e aumentar a capacidade de troca na comunidade com mercadorias advindas do lote.

C5 - Participar de atividades sociais na comunidade

C6 - Aumentar a diversidade renda monetária oriunda produção agropecuária familiar

C7 - Aumentar o valor do patrimônio da propriedade rural

C8 - Aumentar Renda Proveniente Madeira Legalmente Explorada Lote

Apêndice 1 (continuação)

gleba-Lote	V.G.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
g1L8	23.5	0	100	-66	0	0	50	50	43
g1L757	23.2	49	50	100	100	0	-50	-62.5	-71
g2L754	22.3	0	-50	100	50	-37.5	50	100	100
g2L175	22.1	49	50	50	0	0	-50	0	-71
g2L3	22.0	49	-50	100	50	0	0	0	43
g2L905	21.1	49	0	100	50	-37.5	0	-62.5	0
g2L310	20.9	49	0	100	0	0	-50	0	0
g1L71	19.2	0	50	100	0	0	0	0	-71
g2L177	19.0	0	-50	50	100	100	50	50	43
g3L79	17.9	49	0	100	50	-37.5	-50	0	-71
g2L513	17.5	0	-50	100	0	0	50	50	43
g2L133	17.4	49	-50	100	50	-37.5	0	0	-71
g2L928	16.7	0	-50	100	100	-37.5	50	50	43
g2L607	16.3	0	-50	50	50	-37.5	50	100	100
g2L1073	16.0	0	-50	100	50	-37.5	50	50	43
g2L589	15.8	0	-50	100	50	0	50	50	-71
g1L708	12.3	49	-50	100	0	0	-50	0	0
g1L63	12.0	0	50	100	0	-37.5	0	-62.5	0
g2L774	11.7	49	-50	100	0	-37.5	0	-62.5	0
g2L199	11.6	0	50	100	100	50	-50	-62.5	43
g2L229	11.4	0	0	50	100	50	0	0	43
g2L897	11.3	0	0	100	50	0	0	0	-71
g1L55	11.0	0	0	100	100	50	0	-62.5	43
g1L307	10.8	49	-50	100	0	0	-50	0	-71
g1L64	10.5	0	50	100	0	-37.5	0	-62.5	-71
g3L579	10.3	0	50	100	100	-37.5	-50	0	-71

(continua)

Legenda

C1 - Reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café

C2 - Aumentar a quantidade biomassa no solo área de uso agrícola

C3 -Ter baixa, ou não ter, renda extra agrícola

C4 - Garantir o auto consumo alimentar e aumentar a capacidade de troca na comunidade com mercadorias advindas do lote.

C5 - Participar de atividades sociais na comunidade

C6 - Aumentar a diversidade renda monetária oriunda produção agropecuária familiar

C7 - Aumentar o valor do patrimônio da propriedade rural

C8 - Aumentar Renda Proveniente Madeira Legalmente Explorada Lote

Apêndice 1 (continuação)

gleba-Lote	V.G.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
g1L773	9.9	49	-50	0	100	0	0	0	0
g1L73	9.8	0	50	50	100	0	0	-62.5	0
g6L122	9.6	49	0	-66	0	100	0	-62.5	43
g2L318	9.2	0	50	100	0	50	-50	-62.5	0
g2L1069	7.1	0	-50	-66	100	0	100	50	43
g2L224	7.1	0	50	100	0	0	-50	-62.5	43
g3L342	7.1	0	50	100	0	0	-50	-62.5	43
g1L324	6.6	49	-50	50	0	-37.5	0	-62.5	43
g2L331	6.4	0	0	100	50	0	0	-62.5	0
g1L50	6.2	0	0	100	50	50	-50	0	-71
g3L52	4.7	0	50	100	0	0	-50	-62.5	-71
g2L1047	4.6	0	-50	-66	50	0	50	100	100
g1L302	4.5	49	-50	100	0	-37.5	-50	-62.5	43
g1L314	4.4	49	-50	100	0	0	-50	-62.5	-71
g1L701	3.9	0	0	100	100	0	-50	0	-71
g2L42	2.6	0	0	50	100	50	0	-62.5	-71
g1L705	2.6	0	-50	100	50	0	0	0	-71
g1L59	0.9	0	0	100	50	-37.5	-50	0	-71
g2L1129	0.3	49	-50	0	0	0	-50	0	0
g1L780	0.1	0	50	-66	100	0	-50	50	43

Legenda

- C1** - Reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café
- C2** - Aumentar a quantidade biomassa no solo área de uso agrícola
- C3** -Ter baixa, ou não ter, renda extra agrícola
- C4** - Garantir o auto consumo alimentar e aumentar a capacidade de troca na comunidade com mercadorias advindas do lote.
- C5** - Participar de atividades sociais na comunidade
- C6** - Aumentar a diversidade renda monetária oriunda produção agropecuária familiar
- C7** - Aumentar o valor do patrimônio da propriedade rural
- C8** - Aumentar Renda Proveniente Madeira Legalmente Explorada Lote

Apêndice 2 - Propriedades com pontuação global, ou, valor global (VG) igual a 0 ou maior que -50.

gleba-Lote	V.G.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
g2L921	-1.7	0	-50	-66	50	0	50	50	43
g1L766	-4.7	0	-50	100	100	0	-50	0	-71
g2L961	-7.0	0	-50	100	0	-37.5	-50	0	0
g3L367	-9.5	0	-50	100	50	0	-50	-62.5	43
g2L783	-13.4	0	-50	100	0	-37.5	-50	-62.5	0
g2L332	-14.4	0	-50	0	100	0	-50	0	43
g2L681	-14.9	0	-50	100	0	-37.5	-50	-62.5	-71
g2L274	-18.5	49	-50	-66	-50	-37.5	-50	-62.5	-71
g2L932	-18.8	0	-50	-66	0	-37.5	0	0	0
g6L86	-19.0	0	-50	0	-50	0	-50	0	-71
g6L54	-20.1	0	-50	0	100	50	-50	-62.5	-71
g3L51	-21.2	0	-50	0	-50	-37.5	-50	0	-71
g1L70	-25.2	0	-50	0	-50	-37.5	-50	-62.5	43
g1L69	-26.0	0	-50	-66	0	-37.5	-50	0	43
g2L245	-26.0	0	-50	-66	0	-37.5	-50	0	43
g1L6	-26.3	-140	50	100	50	0	0	0	43
g6L363	-27.3	0	-50	-66	-50	100	-50	-62.5	-71
g6L365	-27.3	0	-50	-66	-50	100	-50	-62.5	-71
g2L827	-31.3	-140	50	100	100	50	0	-62.5	-71
g1L53	-31.8	0	-50	-66	-50	0	-50	-62.5	0
g6L72	-31.8	0	-50	-66	-50	0	-50	-62.5	0
g1L546	-34.3	-140	50	100	100	0	0	-62.5	-71
g2L80	-34.3	-140	50	100	100	0	0	-62.5	-71
g1L617	-35.1	-140	0	100	100	0	0	0	0
g1L690	-35.1	-140	50	100	0	0	-50	0	43
g1L645	-36.6	-140	0	100	0	0	0	0	0

(continua)

Legenda

C1 - Reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café

C2 - Aumentar a quantidade biomassa no solo área de uso agrícola

C3 -Ter baixa, ou não ter, renda extra agrícola

C4 - Garantir o auto consumo alimentar e aumentar a capacidade de troca na comunidade com mercadorias advindas do lote.

C5 - Participar de atividades sociais na comunidade

C6 - Aumentar a diversidade renda monetária oriunda produção agropecuária familiar

C7 - Aumentar o valor do patrimônio da propriedade rural

C8 - Aumentar Renda Proveniente Madeira Legalmente Explorada Lote

Apêndice 2 (continuação)

gleba-Lote	V.G.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
g1L82	-37.0	-140	0	100	100	100	0	-62.5	-71
g2L372	-37.3	-140	0	100	50	0	0	0	-71
g1L659	-39.4	-140	50	100	0	50	-50	-62.5	0
g2L192	-39.4	-140	50	100	0	50	-50	-62.5	0
g2L354	-40.6	-140	0	100	100	0	0	-62.5	43
g1L119	-43.0	-140	50	100	50	-37.5	-50	-62.5	43
g2L493	-45.4	-140	0	100	50	0	-50	0	-71
g3L612	-46.2	-140	50	100	0	-37.5	-50	-62.5	-71
g2L86	-46.2	-140	0	100	0	0	-50	0	-71
g2L875	-46.4	-140	-50	100	50	100	0	-62.5	-71
g2L694	-46.6	-140	-50	50	50	50	0	0	43
g2L996	-46.7	-140	-50	100	0	0	0	0	-71
g2L278	-46.9	-140	0	100	0	-37.5	-50	0	0
g2L884	-47.5	-140	-50	100	100	-37.5	0	0	-71
g2L856	-47.7	-140	50	0	0	-37.5	0	-62.5	43
g1L133	-48.0	-140	50	0	0	0	-50	0	0
g2L794	-48.4	-140	0	100	0	-37.5	-50	0	-71
g1L279	-49.0	-140	-50	50	50	50	0	0	-71

Legenda

C1 - Reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café

C2 - Aumentar a quantidade biomassa no solo área de uso agrícola

C3 -Ter baixa, ou não ter, renda extra agrícola

C4 - Garantir o auto consumo alimentar e aumentar a capacidade de troca na comunidade com mercadorias advindas do lote.

C5 - Participar de atividades sociais na comunidade

C6 - Aumentar a diversidade renda monetária oriunda produção agropecuária familiar

C7 - Aumentar o valor do patrimônio da propriedade rural

C8 - Aumentar Renda Proveniente Madeira Legalmente Explorada Lote

Apêndice 3 - Propriedades com pontuação global, ou, valor global (VG) inferior a -50

gleba-Lote	V.G.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
g2L920	-50.1	-140	-50	100	100	0	0	-62.5	0
g1L660	-50.3	-140	-50	100	100	50	-50	0	-71
g2L994	-51.6	-140	-50	100	0	0	0	-62.5	0
g2L849	-51.8	-140	50	0	0	-37.5	-50	0	-71
g2L797	-52.4	-140	-50	100	0	0	-50	0	43
g2L970	-53.0	-140	-50	100	0	-37.5	0	-62.5	43
g1L771	-53.1	-140	-50	100	0	0	0	-62.5	-71
g2L959	-53.3	-140	-50	100	0	0	-50	0	0
g2L755	-53.9	-140	-50	100	50	-37.5	-50	0	43
g2L642	-54.1	-140	-50	100	50	0	-50	0	-71
g2L688	-54.1	-140	-50	100	50	0	-50	0	-71
g6L2	-54.6	-140	-50	100	50	-37.5	0	-62.5	-71
g2L590	-54.8	-140	-50	100	0	0	-50	0	-71
g2L677	-54.8	-140	-50	100	50	-37.5	-50	0	0
g2L567	-55.4	-140	-50	100	0	-37.5	0	-62.5	-71
g1L350	-56.3	-140	-50	100	50	-37.5	-50	0	-71
g1L536	-57.1	-140	-50	100	0	-37.5	-50	0	-71
g2L301	-57.1	-140	-50	100	0	-37.5	-50	0	-71
g2L559	-57.1	-140	-50	100	0	-37.5	-50	0	-71
g2L591	-57.1	-140	-50	100	0	-37.5	-50	0	-71
g2L647	-57.1	-140	-50	100	0	-37.5	-50	0	-71
g2L967	-57.1	-140	-50	100	0	-37.5	-50	0	-71
g2L696	-58.1	-140	-50	100	50	0	-50	-62.5	43
g2L838	-58.1	-140	-50	100	50	0	-50	-62.5	43
g1L644	-58.2	-140	-50	100	0	50	-50	-62.5	-71
g2L91	-58.4	-140	-50	50	100	-37.5	0	-62.5	0

(continua)

Legenda

C1 - Reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café

C2 - Aumentar a quantidade biomassa no solo área de uso agrícola

C3 -Ter baixa, ou não ter, renda extra agrícola

C4 - Garantir o auto consumo alimentar e aumentar a capacidade de troca na comunidade com mercadorias advindas do lote.

C5 - Participar de atividades sociais na comunidade

C6 - Aumentar a diversidade renda monetária oriunda produção agropecuária familiar

C7 - Aumentar o valor do patrimônio da propriedade rural

C8 - Aumentar Renda Proveniente Madeira Legalmente Explorada Lote

Apêndice 3 (continuação)

gleba-Lote	V.G.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
g2L511	-58.8	-140	-50	100	0	0	-50	-62.5	43
g2L693	-59.7	-140	-50	100	100	0	-50	-62.5	-71
g2L649	-60.3	-140	-50	100	50	-37.5	-50	-62.5	43
g2L761	-60.3	-140	-50	100	50	-37.5	-50	-62.5	43
g2L546	-60.5	-140	-50	100	50	0	-50	-62.5	-71
g2L764	-61.1	-140	-50	100	0	-37.5	-50	-62.5	43
g2L760	-61.2	-140	-50	100	0	0	-50	-62.5	-71
g1L545	-62.0	-140	-50	100	-50	0	-50	-62.5	-71
g2L600	-62.0	-140	-50	100	-50	0	-50	-62.5	-71
g2L699	-62.0	-140	-50	100	0	-37.5	-50	-62.5	0
g3L83	-62.3	-140	-50	50	-50	-37.5	-50	0	0
g1L185	-62.7	-140	-50	100	50	-37.5	-50	-62.5	-71
g2L878	-62.7	-140	-50	50	0	50	-50	-62.5	0
g1L354	-63.1	-140	-50	50	0	-37.5	-50	0	-71
g2L501	-63.1	-140	0	-66	0	50	-50	0	-71
g2L212	-63.5	-140	-50	100	0	-37.5	-50	-62.5	-71
g2L601	-63.5	-140	-50	100	0	-37.5	-50	-62.5	-71
g2L643	-63.5	-140	-50	100	0	-37.5	-50	-62.5	-71
g1L339	-63.7	-140	0	-66	0	0	-50	0	43
g2L1094	-64.4	-140	-50	-66	50	0	0	0	0
g2L969	-65.3	-140	-50	0	0	0	-50	0	0
g2L491	-65.3	-140	0	-66	50	0	-50	0	-71
g6L139	-66.1	-140	0	-66	0	0	-50	0	-71
g1L78	-66.8	-140	50	-66	-50	-37.5	-50	-62.5	-71
g1L80	-66.8	-140	50	-66	-50	-37.5	-50	-62.5	-71
g2L771	-67.1	-140	-50	50	0	-37.5	-50	-62.5	43

(continua)

Legenda

C1 - Reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café

C2 - Aumentar a quantidade biomassa no solo área de uso agrícola

C3 -Ter baixa, ou não ter, renda extra agrícola

C4 - Garantir o auto consumo alimentar e aumentar a capacidade de troca na comunidade com mercadorias advindas do lote.

C5 - Participar de atividades sociais na comunidade

C6 - Aumentar a diversidade renda monetária oriunda produção agropecuária familiar

C7 - Aumentar o valor do patrimônio da propriedade rural

C8 - Aumentar Renda Proveniente Madeira Legalmente Explorada Lote

Apêndice 3 (continuação)

gleba-Lote	V.G.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
g2L1101	-67.4	-140	-50	0	-50	-37.5	-50	0	43
g2L1089	-68.0	-140	-50	50	0	-37.5	-50	-62.5	0
g2L430	-69.1	-140	-50	0	0	-37.5	-50	0	-71
g2L288	-71.7	-140	-50	0	0	0	-50	-62.5	0
g2L1126	-71.7	-140	-50	0	0	0	-50	-62.5	0
g3L533	-72.3	-140	0	-66	0	-37.5	-50	-62.5	43
g6L143	-72.5	-140	-50	-66	-50	50	-50	0	-71
g2L435	-73.8	-140	-50	0	-50	-37.5	-50	-62.5	43
g3L532	-74.6	-140	-50	-66	0	-37.5	-50	0	43
g2L1030	-75.5	-140	-50	-66	0	-37.5	-50	0	0
g1L631	-76.2	-140	-50	0	-50	-37.5	-50	-62.5	-71
g2L610	-76.2	-140	-50	0	-50	-37.5	-50	-62.5	-71
g2L443	-77.0	-140	-50	-66	0	-37.5	-50	0	-71
g2L945	-77.0	-140	-50	-66	0	-37.5	-50	0	-71
g3L11	-77.0	-140	-50	-66	0	-37.5	-50	0	-71
g2L413	-81.1	-140	-50	-66	0	0	-50	-62.5	-71
g1L341	-81.7	-140	-50	-66	-50	-37.5	-50	-62.5	43
g2L22	-81.9	-140	-50	-66	0	-37.5	-50	-62.5	0
g1L747	-83.4	-140	-50	-66	0	-37.5	-50	-62.5	-71
g2L391	-83.4	-140	-50	-66	0	-37.5	-50	-62.5	-71
g2L444	-83.4	-140	-50	-66	0	-37.5	-50	-62.5	-71

Legenda

C1 - Reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café

C2 - Aumentar a quantidade biomassa no solo área de uso agrícola

C3 -Ter baixa, ou não ter, renda extra agrícola

C4 - Garantir o auto consumo alimentar e aumentar a capacidade de troca na comunidade com mercadorias advindas do lote.

C5 - Participar de atividades sociais na comunidade

C6 - Aumentar a diversidade renda monetária oriunda produção agropecuária familiar

C7 - Aumentar o valor do patrimônio da propriedade rural

C8 - Aumentar Renda Proveniente Madeira Legalmente Explorada Lote

Apêndice 4 – Valor global (VG) das propriedades após recomendações nos critérios ambientais

gleba-Lote	V.G.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
g2L920	7.1	0	0	100	100	0	0	-62.5	0
g1L660	6.9	0	0	100	100	50	-50	0	-71
g2L994	5.6	0	0	100	0	0	0	-62.5	0
g2L849	-11.8	0	0	0	0	-37.5	-50	0	-71
g2L797	4.8	0	0	100	0	0	-50	0	43
g2L970	4.3	0	0	100	0	-37.5	0	-62.5	43
g1L771	4.1	0	0	100	0	0	0	-62.5	-71
g2L959	3.9	0	0	100	0	0	-50	0	0
g2L755	3.3	0	0	100	50	-37.5	-50	0	43
g2L642	3.2	0	0	100	50	0	-50	0	-71
g2L688	3.2	0	0	100	50	0	-50	0	-71
g6L2	2.6	0	0	100	50	-37.5	0	-62.5	-71
g2L590	2.4	0	0	100	0	0	-50	0	-71
g2L677	2.4	0	0	100	50	-37.5	-50	0	0
g2L567	1.9	0	0	100	0	-37.5	0	-62.5	-71
g1L350	0.9	0	0	100	50	-37.5	-50	0	-71
g1L536	0.2	0	0	100	0	-37.5	-50	0	-71
g2L301	0.2	0	0	100	0	-37.5	-50	0	-71
g2L559	0.2	0	0	100	0	-37.5	-50	0	-71
g2L591	0.2	0	0	100	0	-37.5	-50	0	-71
g2L647	0.2	0	0	100	0	-37.5	-50	0	-71
g2L967	0.2	0	0	100	0	-37.5	-50	0	-71
g2L696	-0.8	0	0	100	50	0	-50	-62.5	43
g2L838	-0.8	0	0	100	50	0	-50	-62.5	43
g1L644	-1.0	0	0	100	0	50	-50	-62.5	-71
g2L91	-1.1	0	0	50	100	-37.5	0	-62.5	0

(continua)

Legenda

C1 - Reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café

C2 - Aumentar a quantidade biomassa no solo área de uso agrícola

C3 -Ter baixa, ou não ter, renda extra agrícola

C4 - Garantir o auto consumo alimentar e aumentar a capacidade de troca na comunidade com mercadorias advindas do lote.

C5 - Participar de atividades sociais na comunidade

C6 - Aumentar a diversidade renda monetária oriunda produção agropecuária familiar

C7 - Aumentar o valor do patrimônio da propriedade rural

C8 - Aumentar Renda Proveniente Madeira Legalmente Explorada Lote

Apêndice 4 (continuação)

gleba-Lote	V.G.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
g2L511	-1.6	0	0	100	0	0	-50	-62.5	43
g2L693	-2.5	0	0	100	100	0	-50	-62.5	-71
g2L649	-3.1	0	0	100	50	-37.5	-50	-62.5	43
g2L761	-3.1	0	0	100	50	-37.5	-50	-62.5	43
g2L546	-3.2	0	0	100	50	0	-50	-62.5	-71
g2L764	-3.8	0	0	100	0	-37.5	-50	-62.5	43
g2L760	-4.0	0	0	100	0	0	-50	-62.5	-71
g1L545	-4.7	0	0	100	-50	0	-50	-62.5	-71
g2L600	-4.7	0	0	100	-50	0	-50	-62.5	-71
g2L699	-4.7	0	0	100	0	-37.5	-50	-62.5	0
g3L83	-5.1	0	0	50	-50	-37.5	-50	0	0
g1L185	-5.5	0	0	100	50	-37.5	-50	-62.5	-71
g2L878	-5.5	0	0	50	0	50	-50	-62.5	0
g1L354	-5.8	0	0	50	0	-37.5	-50	0	-71
g2L501	-14.5	0	0	-66	0	50	-50	0	-71
g2L212	-6.2	0	0	100	0	-37.5	-50	-62.5	-71
g2L601	-6.2	0	0	100	0	-37.5	-50	-62.5	-71
g2L643	-6.2	0	0	100	0	-37.5	-50	-62.5	-71
g1L339	-15.1	0	0	-66	0	0	-50	0	43
g2L1094	-7.2	0	0	-66	50	0	0	0	0
g2L969	-8.1	0	0	0	0	0	-50	0	0
g2L491	-16.8	0	0	-66	50	0	-50	0	-71
g6L139	-17.5	0	0	-66	0	0	-50	0	-71
g1L78	-26.9	0	0	-66	-50	-37.5	-50	-62.5	-71
g1L80	-26.9	0	0	-66	-50	-37.5	-50	-62.5	-71
g2L771	-9.8	0	0	50	0	-37.5	-50	-62.5	43

(continua)

Legenda

C1 - Reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café

C2 - Aumentar a quantidade biomassa no solo área de uso agrícola

C3 - Ter baixa, ou não ter, renda extra agrícola

C4 - Garantir o auto consumo alimentar e aumentar a capacidade de troca na comunidade com mercadorias advindas do lote.

C5 - Participar de atividades sociais na comunidade

C6 - Aumentar a diversidade renda monetária oriunda produção agropecuária familiar

C7 - Aumentar o valor do patrimônio da propriedade rural

C8 - Aumentar Renda Proveniente Madeira Legalmente Explorada Lote

Apêndice 4 (continuação)

gleba-Lote	V.G.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
g2L1101	-10.2	0	0	0	-50	-37.5	-50	0	43
g2L1089	-10.7	0	0	50	0	-37.5	-50	-62.5	0
g2L430	-11.8	0	0	0	0	-37.5	-50	0	-71
g2L288	-14.5	0	0	0	0	0	-50	-62.5	0
g2L1126	-14.5	0	0	0	0	0	-50	-62.5	0
g3L533	-23.7	0	0	-66	0	-37.5	-50	-62.5	43
g6L143	-15.3	0	0	-66	-50	50	-50	0	-71
g2L435	-16.6	0	0	0	-50	-37.5	-50	-62.5	43
g3L532	-17.4	0	0	-66	0	-37.5	-50	0	43
g2L1030	-18.3	0	0	-66	0	-37.5	-50	0	0
g1L631	-19.0	0	0	0	-50	-37.5	-50	-62.5	-71
g2L610	-19.0	0	0	0	-50	-37.5	-50	-62.5	-71
g2L443	-19.8	0	0	-66	0	-37.5	-50	0	-71
g2L945	-19.8	0	0	-66	0	-37.5	-50	0	-71
g3L11	-19.8	0	0	-66	0	-37.5	-50	0	-71
g2L413	-23.9	0	0	-66	0	0	-50	-62.5	-71
g1L341	-24.5	0	0	-66	-50	-37.5	-50	-62.5	43
g2L22	-24.6	0	0	-66	0	-37.5	-50	-62.5	0
g1L747	-26.1	0	0	-66	0	-37.5	-50	-62.5	-71
g2L391	-26.1	0	0	-66	0	-37.5	-50	-62.5	-71
g2L444	-26.1	0	0	-66	0	-37.5	-50	-62.5	-71

Legenda

C1 - Reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café

C2 - Aumentar a quantidade biomassa no solo área de uso agrícola

C3 -Ter baixa, ou não ter, renda extra agrícola

C4 - Garantir o auto consumo alimentar e aumentar a capacidade de troca na comunidade com mercadorias advindas do lote.

C5 - Participar de atividades sociais na comunidade

C6 - Aumentar a diversidade renda monetária oriunda produção agropecuária familiar

C7 - Aumentar o valor do patrimônio da propriedade rural

C8 - Aumentar Renda Proveniente Madeira Legalmente Explorada Lote

Apêndice 5 - Valor global (V.G.) das propriedades com a adoção da ação A do Sustento

gleba-Lote	V.G.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
g1L185	23.125	0	50	100	50	0	50	-62.5	0
g1L279	34.6	0	50	50	50	50	100	0	0
g1L341	10.528	0	50	0	-50	0	50	-62.5	43
g1L350	29.5	0	50	100	50	0	50	0	0
g1L354	22.75	0	50	50	0	0	50	0	0
g1L536	28.75	0	50	100	0	0	50	0	0
g1L545	21.625	0	50	100	-50	0	50	-62.5	0
g1L631	9.625	0	50	0	-50	0	50	-62.5	0
g1L644	25.375	0	50	100	0	50	50	-62.5	0
g1L660	33.25	0	50	100	100	50	50	0	0
g1L747	10.375	0	50	0	0	0	50	-62.5	0
g1L771	30.475	0	50	100	0	0	100	-62.5	0
g2L22	10.375	0	50	0	0	0	50	-62.5	0
g2L91	25.975	0	50	50	100	0	100	-62.5	0
g2L212	22.375	0	50	100	0	0	50	-62.5	0
g2L288	10.375	0	50	0	0	0	50	-62.5	0
g2L301	28.75	0	50	100	0	0	50	0	0
g2L391	10.375	0	50	0	0	0	50	-62.5	0
g2L413	10.375	0	50	0	0	0	50	-62.5	0
g2L430	16.75	0	50	0	0	0	50	0	0
g2L435	10.528	0	50	0	-50	0	50	-62.5	43
g2L443	16.75	0	50	0	0	0	50	0	0
g2L444	10.375	0	50	0	0	0	50	-62.5	0
g2L511	23.278	0	50	100	0	0	50	-62.5	43
g2L546	23.125	0	50	100	50	0	50	-62.5	0
g2L559	28.75	0	50	100	0	0	50	0	0

(continua)

Legenda

C1 - Reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café

C2 - Aumentar a quantidade biomassa no solo área de uso agrícola

C3 -Ter baixa, ou não ter, renda extra agrícola

C4 - Garantir o auto consumo alimentar e aumentar a capacidade de troca na comunidade com mercadorias advindas do lote.

C5 - Participar de atividades sociais na comunidade

C6 - Aumentar a diversidade renda monetária oriunda produção agropecuária familiar

C7 - Aumentar o valor do patrimônio da propriedade rural

C8 - Aumentar Renda Proveniente Madeira Legalmente Explorada Lote

Apêndice 5 (continuação)

gleba-Lote	V.G.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
g2L567	30.475	0	50	100	0	0	100	-62.5	0
g2L590	28.75	0	50	100	0	0	50	0	0
g2L591	28.75	0	50	100	0	0	50	0	0
g2L600	21.625	0	50	100	-50	0	50	-62.5	0
g2L601	22.375	0	50	100	0	0	50	-62.5	0
g2L610	9.625	0	50	0	-50	0	50	-62.5	0
g2L642	29.5	0	50	100	50	0	50	0	0
g2L643	22.375	0	50	100	0	0	50	-62.5	0
g2L647	28.75	0	50	100	0	0	50	0	0
g2L649	24.028	0	50	100	50	0	50	-62.5	43
g2L677	29.5	0	50	100	50	0	50	0	0
g2L688	29.5	0	50	100	50	0	50	0	0
g2L693	23.875	0	50	100	100	0	50	-62.5	0
g2L694	35.503	0	50	50	50	50	100	0	43
g2L696	24.028	0	50	100	50	0	50	-62.5	43
g2L699	22.375	0	50	100	0	0	50	-62.5	0
g2L755	30.403	0	50	100	50	0	50	0	43
g2L760	22.375	0	50	100	0	0	50	-62.5	0
g2L761	24.028	0	50	100	50	0	50	-62.5	43
g2L764	23.278	0	50	100	0	0	50	-62.5	43
g2L771	17.278	0	50	50	0	0	50	-62.5	43
g2L797	29.653	0	50	100	0	0	50	0	43
g2L838	24.028	0	50	100	50	0	50	-62.5	43
g2L875	37.225	0	50	100	50	100	100	-62.5	0
g2L878	19.375	0	50	50	0	50	50	-62.5	0
g2L884	38.35	0	50	100	100	0	100	0	0

(continua)

Legenda

C1 - Reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café

C2 - Aumentar a quantidade biomassa no solo área de uso agrícola

C3 -Ter baixa, ou não ter, renda extra agrícola

C4 - Garantir o auto consumo alimentar e aumentar a capacidade de troca na comunidade com mercadorias advindas do lote.

C5 - Participar de atividades sociais na comunidade

C6 - Aumentar a diversidade renda monetária oriunda produção agropecuária familiar

C7 - Aumentar o valor do patrimônio da propriedade rural

C8 - Aumentar Renda Proveniente Madeira Legalmente Explorada Lote

Apêndice 5 (continuação)

gleba-Lote	V.G.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
g2L920	31.975	0	50	100	100	0	100	-62.5	0
g2L945	16.75	0	50	0	0	0	50	0	0
g2L959	28.75	0	50	100	0	0	50	0	0
g2L967	28.75	0	50	100	0	0	50	0	0
g2L969	16.75	0	50	0	0	0	50	0	0
g2L970	31.378	0	50	100	0	0	100	-62.5	43
g2L994	30.475	0	50	100	0	0	100	-62.5	0
g2L996	36.85	0	50	100	0	0	100	0	0
g2L1030	16.75	0	50	0	0	0	50	0	0
g2L1089	16.375	0	50	50	0	0	50	-62.5	0
g2L1094	25.6	0	50	0	50	0	100	0	0
g2L1101	16.903	0	50	0	-50	0	50	0	43
g2L1126	10.375	0	50	0	0	0	50	-62.5	0
g3L11	16.75	0	50	0	0	0	50	0	0
g3L83	22	0	50	50	-50	0	50	0	0
g3L532	17.653	0	50	0	0	0	50	0	43
g6L2	31.225	0	50	100	50	0	100	-62.5	0
g6L143	19	0	50	0	-50	50	50	0	0

Legenda

C1 - Reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café

C2 - Aumentar a quantidade biomassa no solo área de uso agrícola

C3 -Ter baixa, ou não ter, renda extra agrícola

C4 - Garantir o auto consumo alimentar e aumentar a capacidade de troca na comunidade com mercadorias advindas do lote.

C5 - Participar de atividades sociais na comunidade

C6 - Aumentar a diversidade renda monetária oriunda produção agropecuária familiar

C7 - Aumentar o valor do patrimônio da propriedade rural

C8 - Aumentar Renda Proveniente Madeira Legalmente Explorada Lote

Apêndice 6 - Valor global (V.G.) das propriedades com a adoção da ação B do Sustento

gleba-Lote	V.G.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
g1L185	31.775	0	100	100	50	0	50	-62.5	0
g1L279	43.25	0	100	50	50	50	100	0	0
g1L341	19.178	0	100	0	-50	0	50	-62.5	43
g1L350	38.15	0	100	100	50	0	50	0	0
g1L354	31.4	0	100	50	0	0	50	0	0
g1L536	37.4	0	100	100	0	0	50	0	0
g1L545	30.275	0	100	100	-50	0	50	-62.5	0
g1L631	18.275	0	100	0	-50	0	50	-62.5	0
g1L644	34.025	0	100	100	0	50	50	-62.5	0
g1L660	41.9	0	100	100	100	50	50	0	0
g1L747	19.025	0	100	0	0	0	50	-62.5	0
g1L771	39.125	0	100	100	0	0	100	-62.5	0
g2L22	19.025	0	100	0	0	0	50	-62.5	0
g2L91	34.625	0	100	50	100	0	100	-62.5	0
g2L212	31.025	0	100	100	0	0	50	-62.5	0
g2L288	19.025	0	100	0	0	0	50	-62.5	0
g2L301	37.4	0	100	100	0	0	50	0	0
g2L391	19.025	0	100	0	0	0	50	-62.5	0
g2L413	19.025	0	100	0	0	0	50	-62.5	0
g2L430	25.4	0	100	0	0	0	50	0	0
g2L435	19.178	0	100	0	-50	0	50	-62.5	43
g2L443	25.4	0	100	0	0	0	50	0	0
g2L444	19.025	0	100	0	0	0	50	-62.5	0
g2L511	31.928	0	100	100	0	0	50	-62.5	43
g2L546	31.775	0	100	100	50	0	50	-62.5	0
g2L559	37.4	0	100	100	0	0	50	0	0

(continua)

Legenda

C1 - Reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café

C2 - Aumentar a quantidade biomassa no solo área de uso agrícola

C3 -Ter baixa, ou não ter, renda extra agrícola

C4 - Garantir o auto consumo alimentar e aumentar a capacidade de troca na comunidade com mercadorias advindas do lote.

C5 - Participar de atividades sociais na comunidade

C6 - Aumentar a diversidade renda monetária oriunda produção agropecuária familiar

C7 - Aumentar o valor do patrimônio da propriedade rural

C8 - Aumentar Renda Proveniente Madeira Legalmente Explorada Lote

Apêndice 6 (continuação)

gleba-Lote	V.G.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
g2L567	39.125	0	100	100	0	0	100	-62.5	0
g2L590	37.4	0	100	100	0	0	50	0	0
g2L591	37.4	0	100	100	0	0	50	0	0
g2L600	30.275	0	100	100	-50	0	50	-62.5	0
g2L601	31.025	0	100	100	0	0	50	-62.5	0
g2L610	18.275	0	100	0	-50	0	50	-62.5	0
g2L642	38.15	0	100	100	50	0	50	0	0
g2L643	31.025	0	100	100	0	0	50	-62.5	0
g2L647	37.4	0	100	100	0	0	50	0	0
g2L649	32.678	0	100	100	50	0	50	-62.5	43
g2L677	38.15	0	100	100	50	0	50	0	0
g2L688	38.15	0	100	100	50	0	50	0	0
g2L693	32.525	0	100	100	100	0	50	-62.5	0
g2L694	44.153	0	100	50	50	50	100	0	43
g2L696	32.678	0	100	100	50	0	50	-62.5	43
g2L699	31.025	0	100	100	0	0	50	-62.5	0
g2L755	39.053	0	100	100	50	0	50	0	43
g2L760	31.025	0	100	100	0	0	50	-62.5	0
g2L761	32.678	0	100	100	50	0	50	-62.5	43
g2L764	31.928	0	100	100	0	0	50	-62.5	43
g2L771	25.928	0	100	50	0	0	50	-62.5	43
g2L797	38.303	0	100	100	0	0	50	0	43
g2L838	32.678	0	100	100	50	0	50	-62.5	43
g2L875	45.875	0	100	100	50	100	100	-62.5	0
g2L878	28.025	0	100	50	0	50	50	-62.5	0
g2L884	47	0	100	100	100	0	100	0	0

(continua)

Legenda

C1 - Reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café

C2 - Aumentar a quantidade biomassa no solo área de uso agrícola

C3 -Ter baixa, ou não ter, renda extra agrícola

C4 - Garantir o auto consumo alimentar e aumentar a capacidade de troca na comunidade com mercadorias advindas do lote.

C5 - Participar de atividades sociais na comunidade

C6 - Aumentar a diversidade renda monetária oriunda produção agropecuária familiar

C7 - Aumentar o valor do patrimônio da propriedade rural

C8 - Aumentar Renda Proveniente Madeira Legalmente Explorada Lote

Apêndice 6 (continuação)

gleba-Lote	V.G.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
g2L920	40.625	0	100	100	100	0	100	-62.5	0
g2L945	25.4	0	100	0	0	0	50	0	0
g2L959	37.4	0	100	100	0	0	50	0	0
g2L967	37.4	0	100	100	0	0	50	0	0
g2L969	25.4	0	100	0	0	0	50	0	0
g2L970	40.028	0	100	100	0	0	100	-62.5	43
g2L994	39.125	0	100	100	0	0	100	-62.5	0
g2L996	45.5	0	100	100	0	0	100	0	0
g2L1030	25.4	0	100	0	0	0	50	0	0
g2L1089	25.025	0	100	50	0	0	50	-62.5	0
g2L1094	34.25	0	100	0	50	0	100	0	0
g2L1101	25.553	0	100	0	-50	0	50	0	43
g2L1126	19.025	0	100	0	0	0	50	-62.5	0
g3L11	25.4	0	100	0	0	0	50	0	0
g3L83	30.65	0	100	50	-50	0	50	0	0
g3L532	26.303	0	100	0	0	0	50	0	43
g6L2	39.875	0	100	100	50	0	100	-62.5	0
g6L143	27.65	0	100	0	-50	50	50	0	0

Legenda

C1 - Reduzir o efeito da bianualidade e veranicos na produção de café

C2 - Aumentar a quantidade biomassa no solo área de uso agrícola

C3 -Ter baixa, ou não ter, renda extra agrícola

C4 - Garantir o auto consumo alimentar e aumentar a capacidade de troca na comunidade com mercadorias advindas do lote.

C5 - Participar de atividades sociais na comunidade

C6 - Aumentar a diversidade renda monetária oriunda produção agropecuária familiar

C7 - Aumentar o valor do patrimônio da propriedade rural

C8 - Aumentar Renda Proveniente Madeira Legalmente Explorada Lote