UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM DE SISTEMAS
COMPLEXOS

VITOR HIRATA SANCHES

**Modelagem Baseada em Agentes para o estudo da Agrobiodiversidade em
Sistemas Agrícolas Tradicionais**

São Paulo

2019

VITOR HIRATA SANCHES

**Modelagem Baseada em Agentes para o estudo da Agrobiodiversidade em
Sistemas Agrícolas Tradicionais**

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Modelagem de Sistemas Complexos.

Área de concentração: Sistemas Complexos

Versão corrigida contendo as alterações solicitadas pela comissão julgadora em 14 de Outubro de 2019. A versão original encontra-se em acervo reservado na Biblioteca da EACH-USP e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP (BDTD), de acordo com a Resolução CoPGr 6018, de 13 de outubro de 2011.

Orientador: Profa. Dra. Cristina Adams

Coorientador: Prof. Dr. Fernando Fagundes Ferreira

São Paulo

2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

(Universidade de São Paulo. Escola de Artes, Ciências e Humanidades. Biblioteca)

CRB 8 - 4936

Sanches, Vitor Hirata

Modelagem Baseada em Agentes para o estudo da
Agrobiodiversidade em Sistemas Agrícolas Tradicionais / Vitor Hirata
Sanches ; orientadora Cristina Adams ; coorientador, Fernando
Fagundes Ferreira – 2019.

175 p. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-
Graduação em Modelagem de Sistemas Complexos, Escola de
Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo.
Versão corrigida.

1. Agricultura - Simulação computacional. 2.
Agrobiodiversidade. 3. Biodiversidade. 4. Sistemas
dinâmicos. I. Adams, Cristina, oriente. II. Ferreira, Fernando
Fagundes, coorient. III. Título.

CDD 22.ed.– 630.131

Dissertação de autoria de Vitor Hirata Sanches, sob o título “**Modelagem Baseada em Agentes para o estudo da Agrobiodiversidade em Sistemas Agrícolas Tradicionais**”, apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Modelagem de Sistemas Complexos, aprovada em 14 de Outubro de 2019 pela comissão julgadora constituída pelos doutores:

Profa. Dra. Cristina Adams

Escola de Artes, Ciências e Humanidades - Universidade de São Paulo
Presidente

Prof. Dr. Eduardo Neves

Museu de Arqueologia e Etnologia - Universidade de São Paulo

Profa. Dra. Laure Emperaire

Département Sociétés et Santé - Institut de Recherche pour le Développement

Prof. Dr. Renato Mendes Coutinho

Centro de Matemática, Computação e Cognição - Universidade Federal do ABC

Agradecimentos

Agradeço imensamente à Profa. Cristina Adams, minha orientadora, por sua atenção e dedicação. Suas revisões detalhadas melhoraram muito a qualidade do texto. Sou muito grato por todo seu auxílio em me introduzir à área de Ecologia Humana e me guiar ao longo deste mestrado.

Agradeço à meu coorientador, Prof. Fernando Fagundes Ferreira, seu modo de pensar os modelos e as discussões que tivemos sobre como encaminhar as simulações foram de grande ajuda.

Agradeço à Prof. Laure Emperaire, pela conversa que tivemos no Congresso Brasileiro de Mandioca e por sua participação nas bancas de qualificação e de defesa. Seus comentários foram essenciais para trazer mais realismo a este trabalho e sou muito grato por sua paciência e notas cuidadosas. Agradeço ao Prof. Renato Coutinho, que participou da minha banca de qualificação e de defesa. Seus comentários me fizeram perceber que caminhos eram mais promissores e quais os problemas do modelo que tinha. Agradeço também ao Prof. Eduardo Neves, seus comentários durante a defesa me apontaram caminhos interessantes para explorar o modelo futuramente.

Agradeço também à equipe da USP e UNICAMP do Projeto Pró-Restaura: Célia Regina Tomiko Futemma, Cristina Adams, Gabriela Silva Santa Rosa Macêdo, Jordano Roma Buzati, Luciana Gomes de Araújo, Rosely Alvim Sanches. Com vocês todos aprendi muito sobre o fazer científico e o trabalho em conjunto.

Agradeço à Profa. Carla Goldman, minha orientadora no projeto de Iniciação Científica, por todas suas orientações e conversas quando ainda estava na graduação.

Agradeço à Universidade de São Paulo, onde fiz minha graduação e este mestrado, e à CAPES, pela bolsa concedida para a realização deste mestrado.

Agradeço à minha família, minha mãe Inez Hirata Sanches, meu pai Oduvaldo Sanches e minha irmã Letícia Hirata Sanches, pelo apoio durante a realização deste mestrado.

Por fim, agradeço à meu companheiro Pedro Ribeiro de Almeida, que me auxiliou discutindo sobre esse trabalho nos mais diversos momentos, sugeriu mudanças no modelo que foram de grande importância e também auxiliou revisando o texto. Te amo, e espero que continuemos a nos apoiar sempre que necessário.

Resumo

SANCHES, Vitor Hirata. **Modelagem Baseada em Agentes para o Estudo da Agrobiodiversidade em Sistemas Agrícolas Tradicionais**. 2019. 175 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

A agrobiodiversidade é uma das bases dos sistemas agrícolas tradicionais, tendo grande importância ambiental e cultural, além de ser essencial para a segurança e soberania alimentar de populações tradicionais e indígenas. Contudo, desde a segunda metade do século XX a agrobiodiversidade vem declinando globalmente, trazendo riscos para estes povos. Tendo em vista este contexto, foi elaborado um modelo baseado em agentes para estudar a agrobiodiversidade em sistemas agrícolas tradicionais. O propósito do trabalho foi estudar o papel das dinâmicas biológica, social e de seleção de sementes na manutenção e circulação da agrobiodiversidade em uma comunidade rural. O modelo se baseou em artigos de revisão sobre agrobiodiversidade e em uma revisão bibliográfica de estudos de caso envolvendo dados quantitativos e qualitativos sobre a diversidade agrícola de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), batata (*Solanum tuberosum*) e milho (*Zea mays*). No modelo, a dinâmica biológica é representada pela heterogeneidade do ambiente, pela proporção de cultivos que vingam a cada ciclo de colheita e pela quantidade de surgimento de novas variedades. A dinâmica social inclui a rede de troca de sementes, a principal forma pela qual os agricultores adquirem novas variedades. A dinâmica de seleção de sementes engloba quais critérios são utilizados para a seleção e o quão restritivo os agricultores são na seleção. Variando estes parâmetros se analisou o papel dessas três dinâmicas em influenciar positivamente ou negativamente a agrobiodiversidade. O modelo foi capaz de gerar resultados compatíveis com os índices de diversidade da revisão bibliográfica. Além disso, fatores como a importância de variedades raras, a forma como a diversidade se distribui na comunidade rural e fatos estilizados sobre o que pode favorecer a agrobiodiversidade também foram obtidos no modelo.

Palavras-chaves: Agrobiodiversidade. Sistemas Agrícolas Tradicionais. Modelagem Baseada em Agentes. Análise de Redes Sociais.

Abstract

SANCHES, Vitor Hirata. **Agent-Based Modeling for the study of Agrobiodiversity in Traditional Agroecosystems**. 2019. 175 p. Dissertation (Master of Science) – School of Arts, Sciences and Humanities, University of São Paulo, São Paulo, 2019.

Agrobiodiversity is one of the basis of traditional agroecosystems, having great environmental and cultural importance, and is essential for the food security and sovereignty of traditional and indigenous people. However, since the second half of the twentieth century agrobiodiversity has been declining globally, bringing risks to these peoples. In this context, an agent-based model was developed to study agrobiodiversity in traditional agricultural systems. The purpose of this work was to study the role of biological, social and seed selection dynamics in the maintenance and circulation of agrobiodiversity in a rural community. The model was based on review articles on agrobiodiversity and a literature review of case studies involving quantitative and qualitative data on the agricultural diversity of cassava (*Manihot esculenta* Crantz), potato (*Solanum tuberosum*) and maize (*Zea mays*). In the model, the biological dynamics are represented by the heterogeneity of the environment, the proportion of crops that thrive at each harvest cycle and the amount of arising of new varieties. Social dynamics include the seed exchange network, the main way farmers acquire new varieties. Seed selection dynamics encompass which criteria are used for selection and how restrictive farmers are in selection. By varying these parameters we analyzed the role of these three dynamics in positively or negatively influencing agrobiodiversity. The model was able to generate results compatible with the diversity indices of the literature review. In addition, factors such as the importance of rare varieties, the way diversity is distributed in the rural community, and stylized facts about what might favor agrobiodiversity were also obtained in the model.

Keywords: Agrobiodiversity. Tradicional Agroecosystem. Agent-based Modeling. Social Network Analysis.

Lista de figuras

Figura 1 – Produção (toneladas) de mandioca por país em 2017. Fonte: FAO, 2019.	32
Figura 2 – Produção de batata e milho (toneladas) por país em 2017. As escalas são diferentes, com a legenda contida na imagem. Fonte: FAO, 2019. . .	32
Figura 3 – Exemplo de redes de mundo pequeno, redes livre de escala e redes aleatórias. Adaptado de Huang et al. (2005).	72
Figura 4 – Processo de formação de redes de mundo pequeno, um intermediário entre redes regulares e redes aleatória. Adaptado de Watts e Strogatz (1998).	72
Figura 5 – Localização dos estudos de caso levantados. Cada ponto representa o local do estudo de caso. Artigos com mais de uma comunidade apresentam mais de um ponto quando este dado foi disponibilizado pelo autor.	77
Figura 6 – Número de variedades de mandioca por comunidade X Número médio de variedades de mandioca por unidade doméstica (na mesma comunidade).	79
Figura 7 – Histograma da agrobiodiversidade de mandioca.	79
Figura 8 – Diagrama de caixas do número variedades de mandioca cultivado por unidade doméstica.	80
Figura 9 – Diagrama de caixas da presença das variedades de mandioca nas UD's. Uma presença de 100% significa que a variedade está em todas UD's da comunidade.	81
Figura 10 – Índices de diversidade de mandioca na escala da unidade doméstica. . .	82
Figura 11 – Índices de diversidade de mandioca na escala da comunidade.	82
Figura 12 – Número de variedades de batata na comunidade X Número médio de variedades de mandioca por unidade doméstica.	84
Figura 13 – Histogramas da agrobiodiversidade de batata (<i>Solanum</i> sp.).	85
Figura 14 – Diagrama de Caixa da agrobiodiversidade de batata (<i>Solanum</i> sp.). . .	85
Figura 15 – Número de variedades de milho na comunidade X Número médio de variedades de milho por unidade doméstica.	88
Figura 16 – Histograma da agrobiodiversidade de milho.	88

Figura 17 – Diagrama de caixas da presença das variedades de milho nas UD.	
Uma presença de 100% significa que a variedade está em todas UD da comunidade.	89
Figura 18 – Índices de diversidade de milho.	90
Figura 19 – Número de variedades por comunidade X Número médio de variedades por unidade doméstica. Dados sobre Mandioca (<i>Manihot esculenta</i> Crantz.), Milho (<i>Zea mays</i> L.) e Batata (<i>Solanum</i> sp.).	92
Figura 20 – Diagrama das escalas do modelo.	95
Figura 21 – Fluxograma das etapas do modelo.	99
Figura 22 – Função de seleção em função da diferença da pontuação da variedade v e a pontuação média. As linhas representam diferentes valores do parâmetro S e linha preta representa o valor utilizado nas simulações. .	102
Figura 23 – Estágio inicial, intermediário e final em uma execução da simulação considerando apenas a seleção interna à unidade doméstica. Na imagem cada cor indica uma variedade.	108
Figura 24 – Evolução da Riqueza de variedades na comunidade e riqueza média de variedades por UD. Resultado de uma simulação, contendo apenas a seleção interna à unidade doméstica.	109
Figura 25 – Estágio inicial, intermediário e final em uma execução da simulação considerando apenas a seleção interna à unidade doméstica e a ocorrência de mortes. Na imagem cada cor indica uma variedade.	109
Figura 26 – Evolução da Riqueza de variedades na comunidade e riqueza média de variedades por UD. Resultado de uma simulação, contendo apenas a seleção interna à unidade doméstica e a ocorrência de mortes.	110
Figura 27 – Evolução da Riqueza de variedades na comunidade e riqueza média de variedades por UD. Contendo apenas a seleção interna à unidade doméstica, a ocorrência de mortes e a realização de trocas entre as UD.	110
Figura 28 – Evolução da Riqueza de variedades na comunidade e riqueza média de variedades por UD.	111
Figura 29 – Evolução de seis métricas de diversidade, na escala da comunidade e na escala da UD.	112

Figura 30 – Riqueza de Variedades na Comunidade X Riqueza Média de Variedades por UD. Resultado de 200 simulações, com cada ponto representando uma simulação.	112
Figura 31 – Evolução da pontuação total média na comunidade e decomposição deste valor em pontuação da produtividade e pontuação cultural. . . .	113
Figura 32 – Histograma da riqueza de variedades por UD.	114
Figura 33 – Histograma da presença das variedades nas UD. 100% indica que a variedade está em todas as UD da comunidade.	114
Figura 34 – Histograma da presença das variedades nos <i>fragmentos de terra</i> da comunidade. 100% indica que a variedade está em todos os <i>fragmentos de terra</i> da comunidade. O eixo x encontra-se em escala logarítmica. . .	115
Figura 35 – Histograma da <i>qualidade</i> e <i>produtividade</i> das variedades em termos da área percentual ocupada na comunidade.	115
Figura 36 – Seis estágios da evolução do sistema em uma execução da simulação. Na imagem cada cor indica uma variedade.	116
Figura 37 – Evolução da Riqueza Média de Variedades por UD segundo variações no número de Variedades Inicial máximo de variedades por UD, parâmetro v . . .	117
Figura 38 – Evolução da Riqueza de Variedades na comunidade segundo variações no número de Variedades Inicial máximo de variedades na comunidade, parâmetro V	117
Figura 39 – Evolução da Riqueza de variedades na comunidade e riqueza média de variedades por UD utilizando a inicialização das <i>constantes de meia saturação</i> e <i>qualidade</i> das variedades a partir de uma distribuição uniforme.	118
Figura 40 – Histograma da <i>qualidade</i> e <i>produtividade</i> das variedades em termos da área percentual ocupada na comunidade utilizando a inicialização das <i>constantes de meia saturação</i> e <i>qualidade</i> das variedades a partir de uma distribuição uniforme.	118
Figura 41 – Evolução da Riqueza de Variedades na comunidade e Riqueza Média de Variedades por UD segundo variações na heterogeneidade do ambiente, parâmetro H	119

Figura 42 – Valor ao Final da Simulação da Riqueza de Variedades na Comunidade e Riqueza Média de Variedades por UD para variações na probabilidade de surgimento de novas variedades, parâmetro N.	120
Figura 43 – Valor ao Final da Simulação da Riqueza de Variedades na Comunidade e Riqueza Média de Variedades por UD para variações na probabilidade de morte, parâmetro M.	121
Figura 44 – Histograma segundo variações na probabilidade de surgimento de novas variedades, parâmetro N.	121
Figura 45 – Evolução da Riqueza de Variedades na comunidade e Riqueza Média de Variedades por UD segundo variações no limite para a ocorrência de trocas, parâmetro T.	122
Figura 46 – Histograma da presença das variedades nos <i>fragmentos de terra</i> da comunidade segundo variações no limite para a ocorrência de trocas, parâmetro T. 100% indica que a variedade está em todos os <i>fragmentos de terra</i> da comunidade. O eixo x encontra-se em escala logarítmica. . .	122
Figura 47 – Evolução da Riqueza de Variedades na comunidade e Riqueza Média de Variedades por UD segundo variações na topologia da rede, parâmetro R.	123
Figura 48 – Evolução da Riqueza de Variedades na comunidade e Riqueza Média de Variedades por UD segundo variações no grau de aleatoriedade da rede de mundo pequeno, parâmetro β (b).	123
Figura 49 – Histograma da presença das variedades nos <i>fragmentos de terra</i> da comunidade segundo variações no grau de aleatoriedade da rede de mundo pequeno, parâmetro β (b). 100% indica que a variedade está em todos os <i>fragmentos de terra</i> da comunidade. O eixo x encontra-se em escala logarítmica.	124
Figura 50 – Evolução da Riqueza de Variedades na comunidade e Riqueza Média de Variedades por UD segundo variações na importância dada à produtividade, parâmetro α (a).	125
Figura 51 – Histograma segundo variações na importância dada à produtividade, parâmetro α (a).	125
Figura 52 – Evolução da Riqueza de Variedades na comunidade e Riqueza Média de Variedades por UD segundo variações na intensidade de seleção, parâmetro S.	126

Figura 53 – Histograma da riqueza de variedades por UD segundo variações na intensidade de seleção, parâmetro S.	126
Figura 54 – Evolução da Riqueza de variedades na comunidade e riqueza de variedades média por UD com a extinção da variedade mais dominante ocorrendo no ciclo agrícola 2.500.	128
Figura 55 – Seis estágios da evolução do sistema em uma execução da simulação. Na imagem cada cor indica uma variedade, e a cor preta indica que não há uma variedade no local. A variedade mais difundida é extinta no ciclo agrícola 2.500.	128
Figura 56 – Evolução da Riqueza de Variedades na comunidade e Riqueza Média de Variedades por UD segundo variações na importância dada à produtividade, parâmetro α (a). A variedade mais difundida é extinta ocorre no ciclo agrícola 2.500.	129
Figura 57 – Evolução da Riqueza de variedades na comunidade e riqueza média de variedades por UD. Uma redução na quantidade disponível de um recurso ocorre do ciclo agrícola 2500 a 2505.	130
Figura 58 – Evolução da Riqueza de Variedades na comunidade e Riqueza Média de Variedades por UD segundo variações na heterogeneidade dos recursos (H). Um aumento na probabilidade de morte ocorre do ciclo agrícola 2500 a 2503.	130
Figura 59 – Evolução da Riqueza de variedades na comunidade e riqueza média de variedades por UD. A cor clara indica o resultado com diversidade de α entre as UD's e a cor escura o modelo padrão.	132
Figura 60 – Evolução da Riqueza de variedades na comunidade e riqueza média de variedades por UD. A cor clara indica o resultado com diversidade de M entre as UD's e a cor escura o modelo padrão.	133
Figura 61 – Evolução do número de <i>fragmentos de terra</i> ocupados por uma variedade introduzida em UD's segundo diferentes critérios. Resultado para 1000 médias e utilizando uma Rede Aleatória.	135
Figura 62 – Evolução do número de <i>fragmentos de terra</i> ocupados por uma variedade introduzida em UD's segundo diferentes critérios. Resultado para 1000 médias e utilizando uma Rede de Mundo Pequeno.	135

Figura 63 – Evolução do número de <i>fragmentos de terra</i> ocupados por uma variedade introduzida em UD's segundo diferentes critérios. Resultado para 1000 médias e utilizando uma Rede Livre de Escala.	136
---	-----

Lista de tabelas

Tabela 1 – Métricas de centralidade utilizadas na simulação (BUCKINGHAM et al., 2018; NEWMAN, 2010; WASSERMAN e FAUST, 1994).	71
Tabela 2 – Métricas de diversidade (p_i é a proporção da variedade i) (BUCKINGHAM et al., 2018; NEWMAN, 2010; WASSERMAN e FAUST, 1994).	74
Tabela 3 – Número de artigos produzidos pela busca e número de artigos utilizados por espécie.	77
Tabela 4 – Informações qualitativas sobre a agrobiodiversidade de mandioca (<i>Manihot esculenta</i> Crantz). Dados de artigos selecionados do levantamento bibliográfico.	83
Tabela 5 – Informações qualitativas sobre a agrobiodiversidade de batata (<i>Solanum tuberosum</i>). Dados de artigos selecionados do levantamento bibliográfico.	86
Tabela 6 – Informações qualitativas sobre a agrobiodiversidade de milho (<i>Zea mays</i>). Dados de artigos selecionados do levantamento bibliográfico.	91
Tabela 7 – Índices de Diversidade coletados nos estudos de caso envolvendo Mandioca (<i>Manihot esculenta</i> Crantz.), Milho (<i>Zea mays</i> L.) e Batata (<i>Solanum</i> sp.).	92
Tabela 8 – Explicação resumida das etapas do modelo.	105
Tabela 9 – Explicação Resumida dos elementos do modelo.	106
Tabela 10 – Parâmetros utilizados no modelo. Com sua explicação e valores utilizados.	107
Tabela 11 – Resultado do modelo e da Revisão Bibliográfica para oito métricas de diversidade. Os números entre parênteses indicam o desvio padrão do dado.	113
Tabela 12 – Dados da agrobiodiversidade de mandioca.	164
Tabela 13 – Dados da agrobiodiversidade de batata.	171
Tabela 14 – Dados da agrobiodiversidade de milho.	173

Sumário

1	Introdução	17
1.1	<i>Justificativa</i>	19
1.2	<i>Objetivos</i>	20
1.3	<i>Metodologia de pesquisa</i>	21
1.4	<i>Estrutura do documento</i>	22
2	Uma Introdução ao Tema: Sistemas Agrícolas Tradicionais e Agrobiodiversidade	24
2.1	<i>Sistemas Agrícolas Tradicionais</i>	24
2.1.1	Estrutura Social e as Redes de Parentesco e Compadrio	25
2.1.2	Modelos de Desenvolvimento no Meio Rural: Modelo Industrial, Modelo Conservacionista e Modelos Tradicionais	26
2.1.3	Mudanças no Sistema Agrícola Tradicional	29
2.2	<i>O Cultivo da Mandioca</i>	31
2.2.1	Modos de Reprodução	33
2.2.2	O Processo de Domesticação da Mandioca	34
2.2.3	Importância para Comunidades Tradicionais e Indígenas	35
2.3	<i>Agrobiodiversidade: um problema global</i>	36
2.3.1	In situ vs Ex situ	37
2.3.2	Segurança Alimentar Global	38
2.3.3	Importância Ambiental e Cultural da Agrobiodiversidade	40
2.3.4	Redução da Agrobiodiversidade	41
3	Agrobiodiversidade em Sistemas Agrícolas Tradicionais	43
3.1	<i>Variedades Nomeadas</i>	43
3.2	<i>Soberania alimentar</i>	44
3.3	<i>Risco, Resiliência e Agrobiodiversidade</i>	45
3.4	<i>O que motiva e influencia a agrobiodiversidade em Sistema Agrícolas Tradicionais?</i>	47
3.4.1	Dinâmica Biológica	48
3.4.2	Dinâmica Social	50

3.4.3	Dinâmica de Seleção de Sementes	53
4	Modelos simulados, Sistemas Sócio-Ecológicos e Sistemas Complexos	55
4.1	<i>Interdisciplinaridade</i>	55
4.2	<i>Sistemas Complexos</i>	56
4.3	<i>Diálogos e Colaborações (potenciais) da Ciência da Complexidade e Sistemas Sócio-Ecológicos</i>	59
4.4	<i>Modelos Existentes sobre o Tema</i>	63
4.5	<i>Modelos e Teorias Ecológicas</i>	65
5	Metodologia	67
5.1	<i>A Modelagem Baseada em Agentes</i>	68
5.2	<i>A Análise de Redes Sociais</i>	70
5.3	<i>Como medir a diversidade?</i>	73
5.4	<i>Validação do Modelo</i>	75
6	Estudos de Caso	77
6.1	<i>Mandioca</i>	78
6.2	<i>Batata</i>	84
6.3	<i>Milho</i>	87
6.4	<i>Dados agrupados</i>	91
7	O Modelo	94
7.1	<i>Visão Geral do Modelo</i>	94
7.2	<i>Pressupostos</i>	98
7.3	<i>Etapas e Elementos do Modelo</i>	98
7.4	<i>Parâmetros</i>	106
8	Resultados e Discussão	108
8.1	<i>Interação das etapas do modelo</i>	108
8.2	<i>Resultados do Modelo Completo</i>	111
8.3	<i>Variação das condições iniciais</i>	116
8.4	<i>Variação das Dinâmicas Fundamentais da Agrobiodiversidade</i>	118
8.4.1	<i>Dinâmica Biológica</i>	118

8.4.2	Dinâmica Social	121
8.4.3	Dinâmica de Seleção de Sementes	124
8.5	<i>Modificações no Modelo</i>	126
8.5.1	Adversidades	127
8.5.2	Heterogeneidade das UD's	131
8.5.3	Difusão de variedades	133
8.6	<i>Discussão e Conclusão</i>	136
8.6.1	O papel das dinâmicas biológicas, sociais e de seleção de sementes no modelo	137
8.6.2	Métricas de diversidade e escalas espaciais	141
8.6.3	Limitações e sugestões futuras	142
8.7	<i>Conclusão</i>	143
Referências		145
Anexo A – Dados da Revisão Bibliográfica de Estudos de Caso		163

1 Introdução

Os sistemas agrícolas tradicionais têm um longo processo histórico de coevolução com os ecossistemas locais (ADAMS, 2000b) e suas práticas e modos de vida associados são um importante patrimônio cultural, servindo de base para que populações locais garantam sua segurança e soberania alimentar (ALTIERI 2012; NAZAREA, 2005). Contudo, desde a segunda metade do século XX, estes sistemas têm passado por intensas transformações, causadas principalmente pela rápida expansão da economia de mercado a regiões antes de difícil acesso e pela introdução de novas tecnologias agrícolas (BRANDEMBURG, 2010; SANTILLI, 2009). A rápida alteração dos modos de vida e da subsistência de populações tradicionais têm provocado problemas relacionados à sua segurança alimentar, danos ao meio ambiente e perdas culturais (ALTIERI, 2012; SANTILLI, 2009; THRUPP, 1998).

Um dos elementos centrais dos sistemas agrícolas tradicionais é a diversidade agrícola, também chamada de agrobiodiversidade (MARTINS, 2005; PEDROSO-JÚNIOR et al., 2008; SANTILLI, 2009). A agrobiodiversidade será definida de modo mais adequado posteriormente e, por hora basta saber que é um conceito que inclui a variabilidade de todo ser vivo que contribui para a agricultura, em um sentido amplo - microorganismos, animais e os próprios cultivos -, abrangendo também a diversidade na composição da paisagem e as práticas culturais de manejo do sistema agrícola por parte das populações locais (CBD, 2000; FAO, 1999a). A diversidade é um importante elemento destes sistemas para lidar com o risco inerente à atividade agrícola, tornando a roça mais resiliente a eventos como pragas, doenças, ou adversidades climáticas e, assim, garantindo maior segurança à provisão de alimentos (FOLKE, 2006; LIN, 2011; MARSTON, 2011). Ela também fornece serviços ecossistêmicos como polinização, fertilização, aprimoramento dos nutrientes, manejo de insetos e doenças e retenção de água (THRUPP, 1998; JACKSON et al., 2007). Ademais, a agrobiodiversidade se constitui como parte das práticas culturais e de reconhecimento identitário dessas comunidades, que historicamente se constituíram e se organizaram segundo suas práticas agrícolas, sendo inclusive um traço do processo de domesticação agrícola por elas realizada (CUNHA, 2012; PERREAULT, 2005).

Uma das tendências que tem sido observada com as mudanças ocorridas nos sistemas agrícolas tradicionais é a redução da agrobiodiversidade, com o abandono de uma ampla quantidade de variedades crioulas em troca do cultivo de poucas variedades

comerciais (THRUPP, 1998; VAN-VLIT, 2012). A rápida redução da quantidade de espécies e variedades agrícolas cultivadas globalmente e as consequências deste fato têm levado a uma crescente preocupação tanto na literatura científica, como por parte de organizações internacionais de desenvolvimento (FAO, 1999a; THRUPP, 1998). Efeitos desta redução já são sentidas: uma grande quantidade de variedades tradicionais já foi perdida (FAO, 1997; THRUPP, 1998) e ameaças à segurança alimentar de comunidades tradicionais e indígenas foram reportadas (ALTIERI, 2012; FRISON et al., 2011; SANTILI, 2009; THRUPP, 1998). Segundo o Painel Intergovernamental para Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (IPBES, 2019), globalmente o número de variedades locais de plantas domesticadas e seus parentes selvagens decresceu rapidamente nos últimos anos, como resultado de mudanças no uso do solo, perda de conhecimento, preferências de mercado e comércio de longa distância. Em termos de espécies cultivadas em escala mundial, é apontado que existem aproximadamente 7000 espécies de plantas que são ou foram cultivadas em algum momento por seres humanos, mas destas, apenas 30 representam 90% do consumo alimentar em termos de calorias ou proteínas, e apenas três - arroz, trigo e milho - são responsáveis por 60% das calorias consumidas pelos seres humanos (FAO, 1997; THRUPP, 1998). Estes números demonstram a dimensão da homogeneização agrícola mundial.

Enquanto parte de um todo integrado, a agrobiodiversidade se relaciona com diversas dinâmicas presentes nos sistemas agrícolas tradicionais. Aqui consideramos três dinâmicas fundamentais para a agrobiodiversidade: a dinâmica biológica, a dinâmica social e a dinâmica de seleção de cultivos feita pelos agricultores. As dinâmicas biológicas se referem às condições ambientais, à seleção natural e aos modos de reprodução dos cultivos agrícolas. A seleção natural e a adaptabilidade dos cultivares ao ambiente são elementos básicos sobre os quais outras dinâmicas mais complexas atuam. A diversidade de paisagens e as adversidades ambientais podem gerar pressões para a adoção de sistemas mais agrobiodiversos (FRASER et al., 2012; MARSTON, 2011). De modo semelhante, o modo de reprodução dos cultivos agrícolas afeta o manejo e seleção dos mesmos, e portanto afeta também a dinâmica da agrobiodiversidade (JARVIS et al., 2008).

Dentre as dinâmicas sociais relacionadas à agrobiodiversidade, podemos destacar a rede de trocas de sementes e materiais propagativos. Ela tem sido apontada na literatura como um mecanismo fundamental para a manutenção e a circulação de agrobiodiversidade (COOMES et al., 2015; PAUTASSO et al., 2012; THOMAS et al., 2011). As trocas de sementes são a forma como a diversidade agrícola gerada localmente é distribuída no grupo

social, sendo a principal forma para os agricultores adquirirem novas variedades e, portanto, fundamental para a agrobiodiversidade (COOMES et al., 2015; PAUTASSO et al., 2012; THOMAS et al., 2011). Estas redes se formam baseadas nas relações sociais existentes no local, principalmente nas redes de parentesco, compadrio e vizinhança (DELÊTRE et al., 2011; MINTZ, 2010). Por fim, a dinâmica de seleção individual de cultivares é outro fator que possibilita a existência da agrobiodiversidade. As populações tradicionais possuem um amplo conhecimento sobre o sistema agrícola e sobre cada variedade - o chamado etnoconhecimento -, no qual se baseiam para sua tomada de decisões sobre quais espécies e variedades plantar, levando em consideração fatores que englobam aspectos ecológicos, econômicos, sociais e culturais (BRUSH, 2004; NAZAREA, 2005; VETETO e SKARBØ, 2009). Estes critérios abarcam tanto fatores mais utilitários, como a produtividade, quanto critérios de ordem culturais ou estéticos (BRUSH, 2004; NAZAREA, 2005; VETETO e SKARBØ, 2009).

1.1 Justificativa

Dada a crescente preocupação quanto ao rápido declínio da agrobiodiversidade e suas consequências, tem sido apontada a urgência na adoção de políticas para que esta tendência possa ser revertida (PAUTASSO et al., 2012; THRUPP, 1998). As consequências dessas perdas atingem a todos: a segurança do sistema de produção alimentar fica prejudicada, a possibilidade do estudo das variedades perdidas deixa de existir e a base alimentar fica mais estreita (FRISON et al., 2011; SANTILI, 2009; THRUPP, 1998). Contudo, as mais afetadas são as populações rurais, que dependem diretamente da agrobiodiversidade para sua segurança alimentar, e onde já estão documentados casos de fome pela sua perda (ALTIERI, 2012; SANTILLI, 2009; THRUPP, 1998). Assim sendo, é essencial o melhor entendimento das dinâmicas que possibilitam a geração, manutenção e circulação da agrobiodiversidade nestas comunidades, bem como sua ligação com a dinâmica social e ecológica, de modo a contribuir com a formulação de estratégias e programas de manutenção *in situ* da mesma.

A rede de trocas de sementes é apontada como um dos principais elementos para a existência da agrobiodiversidade (COOMES et al., 2015; PAUTASSO et al., 2012; THOMAS et al., 2011), contudo, ainda entendemos pouco sobre seu funcionamento, suas estruturas, e como diferentes topologias da rede podem afetar a produção e a circulação

da agrobiodiversidade (COOMES et al., 2015; PAUTASSO et al., 2012). Neste estudo pretendemos tratar desta questão, estudando a importância das redes de troca de sementes na manutenção da diversidade agrícola.

A interdisciplinaridade é apontada na literatura como essencial para que se possa compreender as múltiplas facetas da agrobiodiversidade (COOMES et al., 2015; LECLERC e COPPENS D'EECKENBRUGGE, 2012; MALÉZIEUX et al., 2009; PAUTASSO et al., 2011). Só através da integração dos conhecimentos disciplinares, com a colaboração entre pesquisadores de áreas distintas, e com a consideração do conhecimento das populações locais, poderemos contribuir para entender este complexo problema. Neste sentido, a perspectiva da ciência da complexidade (NEWMAN, 2011; MITCHELL, 2009), utilizada neste estudo, têm potenciais contribuições a dar sobre os estudos de agrobiodiversidade, já que os sistemas agrícolas tradicionais são um sistema complexo, e conceitos e metodologias utilizados na investigação de sistemas complexos podem trazer novas informações e complementações aos estudos envolvendo agrobiodiversidade.

Será utilizado neste estudo um modelo computacional, mais especificamente um Modelo Baseado em Agentes (MBA), metodologia que progressivamente tem conquistado mais espaço no estudo de sistemas sócio-ecológicos (AN, 2012; FILATOVA et al., 2013). A utilização de modelos matemáticos ainda é recente na área e foi pouco aplicado em estudos sobre a agrobiodiversidade. Sua utilização tem potencial de acessar outros tipos de informações, produzindo *insights*, sugerindo analogias e iluminando as dinâmicas centrais para a existência da agrobiodiversidade (EPSTEIN, 2008; MACY e WILLE 2002; WALKER et al., 2006).

1.2 Objetivos

Objetivo geral:

Construir um modelo computacional para simular a geração, a manutenção e a circulação da agrobiodiversidade em sistemas agrícolas tradicionais.

Objetivos específicos:

1. Realizar levantamento bibliográfico sobre estudos de caso envolvendo a agrobiodiversidade de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), batata (*Solanum tuberosum*) e milho (*Zea mays*).
2. Verificar se dinâmicas biológicas, sociais e de escolhas individuais observados em sistemas agrícolas tradicionais levam à geração de agrobiodiversidade como propriedade emergente.
3. Avaliar a importância das dinâmicas biológicas, sociais e de escolhas individuais para a manutenção e a circulação da agrobiodiversidade em sistemas agrícolas tradicionais.

1.3 Metodologia de pesquisa

Para atingir os objetivos aqui propostos nos utilizaremos de modelos computacionais, partindo do paradigma da ciência da complexidade (NEWMAN, 2011; MITCHELL, 2009). Utilizaremos modelos teóricos ou generativos, com foco em estudar questões mais abstratas e com a intenção de gerar resultados generalizáveis, produzindo *insights* sobre dinâmicas complexas, estudando comportamentos emergentes através de princípios simples. Em especial, utilizaremos a Modelagem Baseada em Agentes (MBA) em conjunto com a análise de redes sociais.

A modelagem baseada em agentes é caracterizada por sistemas com muitos agentes, com três elementos fundamentais: os próprios agentes, o ambiente, e as regras de interação (RAMALINGAM et al., 2008; SAYAMA, 2015). Para isto, são definidos agentes dotados de atributos e são estabelecidas regras de interação entre eles, dos agentes com o ambiente e de evolução do ambiente *per se*. O sistema é então simulado, observando-se os resultados *macro* (como a agrobiodiversidade) surgidos das interações no nível *micro* que foram previamente definidas. Ou seja, os comportamentos dos sistemas surgem *bottom-up*, o que transformou a MBA na principal ferramenta para a investigação de fenômenos emergentes (BONABEAU, 2002). Estes modelos permitem a geração de regularidades comunitárias a partir de interações entre agentes locais (MACY e WILLE 2002), que interagem e trocam informações de uma forma descentralizada (BERGER 2001). As simulações com os agentes permitem compreender como uma agregação de comportamentos individuais

leva ao surgimento de comportamentos e propriedades complexos numa escala mais ampla (BERGER 2001).

Outra metodologia utilizada conjuntamente à MBA será a análise e dinâmica de redes sociais, que permite modelar como ocorrem as interações entre os agentes, trazendo mais realidade ao modo como ocorrem as interações (BONABEAU, 2002; MACAL e NORTH, 2005). A análise de redes sociais é utilizada para perguntas de cunho social e comportamental, através do estudo direto de como as relações sociais entre os indivíduos se apresentam (WASSERMAN e FAUST, 1994). Nestas análises serão calculadas métricas locais e globais, que darão informações sobre a rede como, por exemplo, sobre quais agentes são mais centrais ou quão densa e clusterizada é a rede (NEWMAN 2010; WASSERMAN e FAUST, 1994). No caso deste trabalho, estas métricas trarão informações importantes para entender como as redes sociais de agricultores tradicionais atuam e como diferentes formatos das redes afetam a agrobiodiversidade.

Neste estudo será dado um foco no nível local - na dinâmica e circulação da agrobiodiversidade localmente -, tendo como principal unidade de análise a comunidade. Para a construção e validação do modelo serão utilizados dados secundários de estudos de caso sobre a agrobiodiversidade em sistemas agrícolas tradicionais, com foco em três espécies amplamente cultivadas na América Latina: a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), a batata (*Solanum tuberosum*) e o milho (*Zea mays*). As três espécies têm seu centro de domesticação na América Latina, são fontes alimentares de base (*staple food*) onde foram domesticadas, têm grande importância cultural e são caracterizadas por uma elevada diversidade intraespecífica (ADAMS et al., 2006; JARVIS et al., 2008).

1.4 Estrutura do documento

Nos capítulos 2, 3, 4 é apresentada uma revisão bibliográfica, realizada com o objetivo de permitir uma compreensão geral dos temas trabalhados nas seções seguintes. Especificamente, no capítulo 2 é feita uma revisão teórica sobre os sistemas agrícolas tradicionais, uma primeira visão da agrobiodiversidade e sua importância de um ponto de vista mais amplo, bem como sobre o cultivo da mandioca, fornecendo uma base sobre a qual os capítulos seguintes, mais diretamente relacionados com o objetivo do trabalho, se apoiarão. No capítulo 3 continuamos a discussão sobre a agrobiodiversidade, porém

agora com um foco local, apresentando as dinâmicas fundamentais que influenciam a agrobiodiversidade. No capítulo 4, é apresentada a perspectiva que fundamenta esta pesquisa, a da ciência da complexidade; também discutimos a utilidade e a contribuição desta perspectiva no estudo de sistemas sócio-ecológicos, e apresentamos uma revisão dos modelos existentes na área. No capítulo 5, apresentamos a metodologia utilizada nesta pesquisa, apresentando a modelagem baseada em agentes, a análise de redes sociais e também como foi realizada a validação do modelo. No capítulo 6 são apresentados estudos de caso sobre a agrobiodiversidade de mandioca, batata e milho, com dados quantitativos e qualitativos que guiaram a produção e validação do modelo. No capítulo 7, é apresentado o modelo desenvolvido, explicando sua dinâmica de funcionamento. No capítulo 8 são apresentados e discutidos os resultados e interpretações do modelo, bem como feita a conclusão do trabalho.

2 Uma Introdução ao Tema: Sistemas Agrícolas Tradicionais e Agrobiodiversidade

2.1 *Sistemas Agrícolas Tradicionais*

A expressão Sistema Agrícola Tradicional começa a ser utilizada nas décadas de 1960-1970 e pode adquirir diferentes significados. Pode ser utilizado para se referir à agricultura familiar ou agricultura camponesa (SANTILLI, 2009; WANDERLEY, 1996), termos muito utilizados no Brasil. Também pode adquirir uma conotação mais técnica, como um modo de produção alimentar com baixa utilização de tecnologia, ou ainda se referir às práticas agrícolas de povos tradicionais¹ ou indígenas², assim se baseando em critérios históricos para tal nomeação.

Apesar de nos referirmos durante o texto aos povos indígenas e comuniades tradicionais, já que são os povos que desenvolvem sistemas agrícolas tradicionais, seguiremos outros autores que a partir de uma perspectiva mais ampla optam por defini-lo de modo mais holístico e enfatizam o aspecto cultural deste sistema. Em Santonieri (2015) temos a seguinte definição: “por sistema agrícola tradicional ou territorializado entendemos o conjunto formado pelas práticas e saberes de manejo dos espaços e dos recursos biológicos vinculados a uma certa base territorial e a certos grupos culturais, incluindo-se os conceitos e normas, bem como a cultura material e sistema alimentar” (SANTONIERI, 2015, p. 8 apud PACTA II, 2008). De modo semelhante, Emperaire et al. (2010, p. 9) no dossiê do Sistema Agrícola Tradicional do Rio Negro, definem o Sistema Agrícola Tradicional como “um conjunto de campo de expressões de saberes diferenciados que tratam do manejo do espaço, do manejo das plantas cultivadas, da cultura material associada e das formas de alimentar-se decorrentes”. Ressalta-se, assim, o caráter interligado dos processos envolvidos neste sistema e sobretudo que estes processos vão além de objetivos materiais, possuindo também importância cultural e simbólica. Também é válido ressaltar que o termo Sistema

¹ O conceito de povos tradicionais é foco de debate, principalmente devido a heterogeneidade cultural abarcada pelo termo e pela possibilidade de exclusão de populações que não se enquadram como tal e, portanto, não são beneficiadas por certas políticas públicas (BARRETTO FILHO, 2006; PERONI, 2004). O Estado brasileiro entende povos e comunidades tradicionais como grupos que se auto reconhecem como tais, que possuem estruturas sociais particulares, e usam do território e recursos naturais de modo próprio para assegurar seu desenvolvimento a partir de conhecimentos tradicionais (BRASIL, 2007).

² Povos indígenas são os povos originários de uma região. Índios, para Viveiros de Castro (2016) “são os membros de povos e comunidades que têm consciência — seja porque nunca a perderam, seja porque a recobram — de sua relação histórica com os indígenas que viviam nesta terra antes da chegada dos europeus”.

Agrícola Tradicional não designa um único sistema agrícola, ao contrário, ele se assenta em sistemas de conhecimento distintos e envolvem também práticas de manejo distintas (CUNHA, 2012).

2.1.1 Estrutura Social e as Redes de Parentesco e Compadrio

As comunidades rurais brasileiras são bastante heterogêneas e existem diferenças nos seus modos de vida e na maneira como se estruturam (WANDERLEY, 1996). Contudo, existem também pontos em comum: as comunidades rurais brasileiras tiveram uma gênese similar, se formando às margens dos grandes engenhos e empreendimentos coloniais, em situações de precariedade estrutural (BRANDEMBURG, 2010; WANDERLEY, 1996). Para superar estas condições, elas se basearam em fortes laços sociais e em relações de reciprocidade, principalmente baseado nas relações familiares (BRANDEMBURG, 2010; WINTERHALDER, 1997). Atividades como mutirões, trocas não simétricas e doações são características de comunidades do meio rural tradicional e mostram como as relações de cooperação são presentes (BRANDEMBURG, 2010; WINTERHALDER, 1997).

A família é central na organização das comunidades rurais tradicionais. É a partir da família que se organizam as unidades domésticas, que se transmite o conhecimento tradicional acumulado e que se determina o direito informal ao uso dos recursos naturais (BRANDEMBURG, 2010; LIMA, 2006; WANDERLEY, 1996). O casamento tem grande importância dentro desta lógica, já que é através dele que as relações de parentesco são forjadas: é com o casamento que diferentes famílias podem se unir, formando novas unidades domésticas e estreitando relações de proximidade. Desta forma, o casamento é responsável pela reprodução dos grupos domésticos e, portanto, fundamental para entender a organização do meio rural. Lima (2006) discutindo sobre a importância dos laços de parentesco para a reprodução dos grupos domésticos em comunidades caboclas da Reserva de Desenvolvimento Sustentável de Mamirauá, aponta que:

“Nem a herança da terra, nem a transmissão de bens materiais de uma geração à outra desempenham um papel importante na reprodução dos grupos domésticos. O legado mais importante que o casal recebe de seus pais são os laços de parentesco. As relações horizontais entre parentes vivos formam uma

rede de ajuda e concedem o direito de usufruto coletivo de recursos naturais.”

(LIMA, 2006: p. 147)

Assim, a determinação sobre o uso dos recursos naturais comuns é feita através de acordos informais, determinados principalmente pelos laços familiares. O parentesco também é importante em situações de crise, seja quando um parente está doente – e, portanto, impedido de trabalhar –, ou em adversidades climáticas como secas e enchentes. Nestes casos, a família irá atuar de modo a garantir a subsistência de todos seus membros, assim como irá auxiliá-los após as adversidades, durante o processo de recuperação. Este mecanismo é o principal responsável pela garantia de que estas comunidades continuem sendo capazes de assegurar sua segurança alimentar e de que consigam se adaptar às perturbações externas (CRABTREE, 2012; VIOLON et al., 2016; WINTERHALDER, 1997).

Também tem grande papel na estruturação social das comunidades rurais as relações de compadrio, formadas a partir do ritual católico de batismo (MINTZ, 2010). O apadrinhamento, também chamado de parentesco fictício, espiritual ou simbólico (BOTELHO, 1997; VENÂNCIO et al., 2006), desempenha um papel similar às redes de parentesco, servindo de apoio em situações de crise (MINTZ, 2010; VENÂNCIO et al., 2006). A escolha do padrinho é extremamente importante para o prosseguimento da vida dos indivíduos a serem batizados, influenciando suas oportunidades durante a vida (MINTZ, 2010; VENÂNCIO et al., 2006). Os padrinhos são escolhidos tanto de modo a buscar por padrinhos mais ricos e com mais poder localmente, quanto pela vontade de estreitar laços de amizade ou parentesco já existentes (MINTZ, 2010; VENÂNCIO et al., 2006).

2.1.2 Modelos de Desenvolvimento no Meio Rural: Modelo Industrial, Modelo Conservacionista e Modelos Tradicionais

As visões sobre o desenvolvimento agrícola e o manejo florestal são foco de grandes debates, principalmente em países onde ainda há grande cobertura vegetal. De um lado, há o modelo agroindustrial, com foco na produtividade, de elevado custo ambiental e socioeconômico local. De outro, há o modelo conservacionista defendendo a preservação ambiental num sentido estrito, também ignorando, muitas vezes, as populações tradicionais e indígenas que vivem nestes locais (ADAMS, 2000b; BARRETTO FILHO, 2006). E, por fim, há o modelo de valorização das populações locais, dando importância para

aspectos econômicos, ambientais e sociais e ressaltando a importância do diálogo com as comunidades locais para a implantação de modelos de desenvolvimento mais justos e responsáveis socialmente (CUNHA, 2009; OSTROM, 2015).

O modelo agroindustrial, predominante territorialmente e enquanto política de estado, trabalha com foco único em aumentar a produtividade a curto prazo, de modo a promover lucro e acumulação de capital. O sistema de produção agroindustrial se caracteriza por ser altamente mecanizado, pela produção homogênea e em larga escala, pelo grande aporte de insumos agroquímicos externos, e pelo cultivo de monoculturas melhoradas por seleção artificial ou, mais recentemente, pelas culturas modificadas geneticamente - os chamados Organismos Geneticamente Modificados (OGM) (ALTIERI, 2012; MAZOYER e ROUDART, 1998; SANTILLI, 2009).

A agricultura industrial foi impulsionada pela Revolução Verde com base nos avanços da ciência do início do século XX, principalmente a síntese de produtos químicos e o crescimento da genética. Estas mudanças trouxeram avanços para a produção alimentar, aumentando a produtividade agrícola para a crescente população mundial e gerando aumento da renda para parte da população rural (MAZOYER e ROUDART, 1998; SANTILLI, 2009). O acesso a esta produção, contudo, não foi uniforme (SANTILLI, 2009), as desigualdades no meio rural se acentuaram e os problemas provocados foram inúmeros (ALTIERI, 2012; SANTILLI, 2009). Alguns dos mais relevantes são: (1) o grave desequilíbrio ecológico, alterando drasticamente a paisagem, os ciclos naturais e a cadeia trófica; (2) a homogeneidade dos cultivos, que torna o sistema produtivo altamente instável, vulnerável a pragas, doenças e adversidades climáticas; (3) a alteração dos modos de vida tradicionais, prejudicando a segurança e soberania alimentar destas populações (ALTIERI, 2012).

Apesar das inúmeras evidências contra esta visão, ela segue sendo largamente aplicada. Especificamente sobre o caso brasileiro, no ano de 2009 o país se tornou o maior consumidor mundial de agrotóxicos e se tornou também o segundo maior utilizador de OGMs em termos de área plantada (ALTIERI, 2012). Como resultado temos uma ampla devastação de vegetações nativas e secundárias para o plantio de grandes monoculturas (ALTIERI, 2012), e uma forte pressão sobre as populações tradicionais e indígenas, gerando conflitos de terra e uma intensa desestruturação dos modos de vida tradicionais (CUNHA, 2009; VAN VLIET et al., 2012).

Por sua vez, o modelo conservacionista surge a partir de uma preocupação crescente do meio científico com os efeitos das atividades antrópicas no meio ambiente: a emissão de gases de efeito estufa, a destruição da camada de ozônio, o desmatamento da vegetação nativa. Baseado neste tipo de pensamento e preocupação, os governos atuaram de modo a impor medidas restritivas com relação ao manejo florestal, incluindo os sistemas agrícolas. No Brasil, assim como na maior parte dos países latino-americanos, houve uma importação do modelo norte-americano de preservação, baseado em unidades de conservação de uso restritivo, com locais destinados integralmente à preservação (BARRETTO FILHO, 2006; BRASIL, 2014; TEIXEIRA, 2005).

O posicionamento da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) em meados do século passado, quando a Revolução Verde estava em pleno andamento (FAO, 1957), é um símbolo deste modo de pensar. Com uma preocupação voltada ao aumento da produtividade agrícola, por um lado, e à preservação dos ambientes naturais, por outro, a instituição recomendava a substituição ou eliminação do sistema de agricultura itinerante, um sistema agrícola tradicional amplamente utilizado em florestas tropicais (HEINIMANN et al., 2017; PEDROSO-JÚNIOR et al., 2008), resultando assim em graves impactos sobre os modos de vida das populações (MERTZ et al., 2009).

O histórico de implementação de unidades de conservação no Brasil e os impactos por elas gerados evidenciam os problemas deste paradigma conservacionista, e a necessidade de ouvirmos as populações locais tendo em vista um modelo de desenvolvimento mais justo, que dialogue com quem será mais impactado por estas políticas (BRASIL, 2014; CUNHA e ALMEIDA, 2009; EMPERAIRE et al., 2010). Tanto em termos da produção agrícola, quanto da conservação ambiental, as populações tradicionais se apropriaram de conhecimentos que podem ser fundamentais para solucionar problemas globais que temos enfrentado, considerando seu longo processo de coevolução com as florestas e os conhecimentos acumulados (ALTIERI, 2012; CUNHA, 2009).

As populações tradicionais são marginalizadas e vulneráveis a mudanças políticas e econômicas, dependendo de modo muito íntimo do meio onde vivem. Por este fato, as políticas e modelos de desenvolvimento devem dialogar com estas populações (ADAMS et al., 2013; CUNHA, 2009), pois seja na implementação do modelo agrícola moderno, seja na implementação do modelo conservacionista estrito estas medidas impactam profundamente o modo de vida tradicional, provocando situações de insegurança alimentar, perda

identitária e desestabilização individual e coletiva (ADAMS et al., 2013; BRASIL, 2014; CUNHA, 2009).

2.1.3 Mudanças no Sistema Agrícola Tradicional

Conforme tratado na seção anterior, o modelo de desenvolvimento agrícola moderno e o modelo conservacionista têm impactado o sistema de agricultura tradicional. Além das consequências vindas de políticas públicas, outros fatores como a inserção de comunidades indígenas e tradicionais na economia de mercado, obras de infraestrutura próximas a comunidades antes mais isoladas, mudanças demográficas e mudanças climáticas também vêm alterando as dinâmicas de adaptação tradicionais (ADAMS et al., 2013; JAKOVAC et al., 2016 VAN-VLIET et al., 2012).

Em estudos sobre a agricultura itinerante - um tipo de sistema agrícola tradicional amplamente utilizado em florestas tropicais -, sua redução em termos de área cultivada foi confirmada de modo claro, sendo detectada na maioria dos continentes (HEINIMANN et al., 2017; VAN-VLIET et al., 2012). Em uma revisão global sobre as mudanças no sistema itinerante, Van Vliet et al. (2012) indicam que a agricultura itinerante tem sido substituída principalmente por pastos, cultivos comerciais, áreas de proteção ambiental e áreas urbanizadas. Especificamente no caso das Américas a agricultura itinerante é principalmente substituída por pastos para a criação de gado, estabelecimento de cultivos anuais ou árvores frutíferas e extração de carvão (VAN-VLIET et al., 2012). Ainda de acordo com os autores, os maiores causadores destas mudanças são a integração ao mercado e políticas que incentivam a pecuária e cultivos comerciais através de créditos e subsídios financeiros (VAN-VLIET et al., 2012).

A mudança no sentido de se encaminhar para o modelo agroindustrial, seja através da pecuária ou de cultivos comerciais, pode trazer um rápido aumento na renda média destas populações, melhorando também o acesso à saúde e educação, contudo os impactos negativos também ocorrem e são relatados aumentos no número de conflitos por terra, aumento das desigualdades, perda da identidade cultural e impactos ambientais (ALTIERI, 2012). No aspecto ambiental, estas mudanças têm levado à uma redução da área de cobertura florestal, piora na qualidade do solo, perda de biodiversidade e perda de agrobiodiversidade (ALTIERI, 2012; VAN-VLIET et al., 2012). A perda de agrobiodiversidade decorrente

destas mudanças, por si só, também causa impactos na maior parte dos Sistema Agrícolas Tradicionais, já que estes têm como uma de suas bases a diversidade agrícola, e sua erosão causa abalos estruturais em seu funcionamento, tornando-o menos sustentável produtivamente e ambientalmente (MARTINS, 2005; SANTILLI, 2009).

Ressaltamos aqui que os sistemas agrícolas tradicionais e a cultura dos povos indígenas e tradicionais não são estáticos, eles se adaptam constantemente conforme mudanças ambientais, novas configurações e contatos externos (CUNHA, 2009). Existem poucas comunidades de fato isoladas e desde os séculos XVI e XVII a maioria dos sistemas agrícolas tradicionais são afetados pela economia de mercado e outros elementos modernos. Além disso, essas transformações nem sempre causam mudanças negativas do ponto de vista ambiental, cultural ou de qualidade de vida das populações tradicionais. As mudanças também podem vir na forma de adição de novos elementos que tornam possível a manutenção de certas práticas tradicionais - como a própria agrobiodiversidade - em novas configurações.

Por exemplo, em estudo realizado na região do alto e médio Rio Negro, na Amazônia, Emperaire e Eloy (2008) mostram que mesmo havendo o deslocamento de famílias de agricultores - parcial ou total - para os centros urbanos, as populações tradicionais e indígenas continuaram mantendo parte de suas tradições, por exemplo mantendo em seus quintais urbanos uma elevada diversidade de espécies e variedades. Neste caso, as autoras atestam que houve mudanças e adaptações nas práticas tradicionais e que existem problemas nesta transposição; contudo mostram que é possível que as práticas tradicionais coexistam com elementos ocidentais modernos (EMPERAIRE e ELOY, 2008). De forma semelhante, Brush et al. (1992), em estudo sobre a diversidade de variedades de batata nos Andes peruano, e Major et al. (2005), em estudo sobre a diversidade de espécies na região de Manaus, mostram respectivamente que a adoção de variedades de alta produtividade e a orientação para a economia de mercado, acarretaram, em média, em uma queda na agrobiodiversidade, mas que isto não ocorre sempre, e que é possível manter a agrobiodiversidade tradicional mesmo com a adoção destes elementos modernos.

2.2 O Cultivo da Mandioca

A mandioca foi escolhida dentre as três espécies focalizadas no trabalho, pela ampla quantidade de estudos existentes na literatura e também por ser uma das espécie com maior diversidade intraespecífica já relatada (JARVIS et al., 2008). Ao longo de todo o trabalho foi dado um foco maior em estudos sobre a mandioca, e a seguir faremos uma revisão bibliográfica sobre o cultivo e importância desta espécie.

A mandioca é um cultivo perene, arbustivo e que tem como principal produto suas raízes tuberosas, com grandes quantidades de amido (DUFOUR, 1988). Sua importância na alimentação humana é, e foi, enorme. Atualmente, ela é largamente produzida em regiões tropicais menos desenvolvidas, e é a principal fonte de carboidratos para centenas de milhões de pessoas (ADAMS et al., 2006; ALVES-PEREIRA et al., 2018; CLEMENT et al., 2010). Em todo o mundo, no ano de 2017, foram produzidas 291.992.646 toneladas de mandioca em uma área total de 26.342.330 ha. O continente Africano foi seu maior produtor (60,9%), seguido pela Ásia (29,4%), Américas (9,6%) e Oceania (0,1%) (FAO, 2019). Na Figura 1 é possível observar a produtividade por país no ano de 2017 e, para efeito de comparação, a Figura 2 mostra o mesmo dado para a batata e o milho. As imagens estão com escalas distintas, com a legenda sendo apresentada na própria imagem. Apesar de apresentarem valores semelhantes quanto à produtividade por região, a mandioca apresenta uma presença mais restrita às regiões tropicais, enquanto o milho e a batata têm uma presença grande em todo mundo.

Figura 1 – Produção (toneladas) de mandioca por país em 2017. Fonte: FAO, 2019.

Figura 2 – Produção de batata e milho (toneladas) por país em 2017. As escalas são diferentes, com a legenda contida na imagem. Fonte: FAO, 2019.

As raízes, cascas e folhas da mandioca possuem dois glicosídeos cianogênicos, o linamarin (mais abundante) e o lotaustralin (menos abundante); estes glicosídeos levam à liberação de cianeto de hidrogênio (HCN), um composto volátil e que é extremamente tóxico para seres humanos e animais (DUFOUR, 1988; DUFOUR, 2006; MCKEY et al., 2010b). A quantidade de cianetos nas raízes é um critério utilizado para a classificação da mandioca em dois tipos: as mandiocas bravas (também chamadas de amargas, ou simplesmente mandioca) que contém mais de 100 ppm de massa fresca de cianeto, e as mandiocas mansas (também chamadas de doce, macaxeira ou aipim), que têm menos de 100 ppm. A presença de cianeto faz com que seja necessário processar a mandioca brava,

reduzindo sua toxicidade, para que esta possa ser utilizada na alimentação humana. Os processos que reduzem a quantidade de cianetos são principalmente: a raspagem (ralagem) das raízes, que possuem grandes quantidades de cianetos, e a imersão em água, que hidrolisa os glicosídeos (precursor do HCN). Este processo faz com que os glicosídeos se tornem solúveis em água e que, assim, possam ser eliminados através de prensas e do tipiti, e também através do cozimento e da evaporação (MCKEY et al., 2010b; WILSON e DUFOUR, 2002). Estes processos removem mais de 90% dos cianetos (WILSON e DUFOUR, 2002).

Os glicosídeos cianogênicos são um mecanismo de defesa contra herbívoros e patógenos e estão presentes em muitas espécies silvestres (MCKEY et al., 2010b; WILSON e DUFOUR, 2002). No caso da mandioca, as variedades amargas são relatadas como tendo maior produtividade, devido principalmente à sua maior resistência a patógenos e por ser menos atacada por herbívoros (MCKEY et al., 2010b; WILSON e DUFOUR, 2002), sendo esta uma possível explicação para a seleção intencional de variedades mais tóxicas durante o processo de domesticação, uma das poucas espécies em que isto ocorreu (WILSON e DUFOUR, 2002).

A preferência por variedades amargas ainda ocorre e, principalmente na região amazônica, ela é mais presente em diversas regiões (ELIAS et al., 2000; WILSON e DUFOUR, 2002). Por exemplo entre os Makushi as variedades amargas são tipicamente plantadas nas roças, em maior quantidade, enquanto as variedades doces são plantadas nos jardins domésticos ou quintais, em menor quantidade e próximas à moradia (ELIAS et al., 2000).

2.2.1 Modos de Reprodução

O principal modo de reprodução da mandioca é através da propagação vegetativa, um modo de reprodução assexuado onde a planta herda o mesmo código genético da planta que a gerou (MCKEY et al., 2010a). A reprodução se dá através das ramas (também chamadas de estacas ou manivas), pedaços do caule da mandioca cortados durante a colheita ou retirados de indivíduos vivos, que geralmente são plantadas dias após sua retirada (ELIAS et al., 2000).

O outro modo de reprodução é a sexuada, quando ocorre o cruzamento entre duas variedades de mandioca. A mandioca é uma planta monóica, com uma mesma planta desenvolvendo os órgãos sexuais masculinos e femininos; e protogínica, com o desenvolvimento dos órgãos femininos ocorrendo anteriormente aos masculinos, uma forma de evitar a autofecundação, prejudicial para a planta devido à depressão por endogamia³ (MARTINS, 2005). A reprodução sexuada se dá sem a intervenção humana: após a floração, as flores são polinizadas por insetos, principalmente abelhas, e então as sementes são dispersas e enterradas por formigas (RIVAL e MCKEY, 2008). Após serem enterradas, as sementes ficam dormentes por longos períodos de tempo - normalmente abrangendo o período de pousio das roças - podendo ficar por volta de 15 anos neste estado (relatos anedóticos dos Makushi mencionam que podem durar até 50 anos) (PUJOL et al., 2007). Com a nova abertura de uma roça na região e a subsequente queima da biomassa da floresta regenerada, as sementes saem da dormência por conta do calor e, brotam pouco tempo antes do nascimento das variedades propagadas vegetativamente (ELIAS et al., 2000).

Variedades vindas da reprodução assexuada têm diferenças morfológicas e surgem antes de variedades plantadas através das manivas, sendo portanto claramente distinguidas pelos agricultores (LIMA et al., 2012). As novas variedades podem ou não ser selecionadas pelos agricultores conforme sua aparência, qualidade e produtividade. Quando isto ocorre elas são propagadas vegetativamente e entram para o conjunto de variedades plantadas pelos agricultores (ELIAS et al., 2000). A reprodução sexual tem um papel essencial de constantemente levar a novas variedades, trazendo variabilidade genética ao conjunto de variedades cultivadas. Por este fato, ela tem grande importância para a dinâmica da agrobiodiversidade de mandioca, fazendo com que sempre surjam novas variedades dentro do sistema (ELIAS et al., 2000; MARTINS, 2005; RIVAL e MCKEY, 2008).

2.2.2 O Processo de Domesticação da Mandioca

Após um longo debate sobre qual seria o centro de origem mandioca, atualmente, com o avanço de técnicas moleculares, há um consenso de que este processo se deu no sudoeste amazônico, principalmente na região onde atualmente fica o estado de Rondônia,

³ A depressão por endogamia ainda pode ocorrer, pois duas unidades idênticas geneticamente podem florescer em períodos diferentes e desta forma ocorrer uma fecundação entre duas variedades iguais.

partes dos estados do Acre e Mato Grosso e, possivelmente, o norte da Bolívia (ALVES-PEREIRA et al., 2018). A mandioca foi domesticada a partir da *Manihot esculenta* spp. *flabellifolia*, há 10.000 anos BP (*before present*), se disseminando rapidamente através dos rios amazônicos e, posteriormente, para a região dos Andes e a meso-América (ALVES-PEREIRA et al., 2018; CLEMENT et al., 2010).

Um dos debates correntes na literatura sobre o tema é se as mandiocas amargas ou as doces foram domesticadas primeiro, e se a espécie originária pertence ao primeiro ou segundo grupo (ALVES-PEREIRA et al., 2018; CLEMENT et al., 2010). Uma das hipóteses atuais é de que a mandioca foi domesticada a partir de um ancestral de mandioca amarga, devido a estudos que indicam que as atuais variedades de *Manihot esculenta* spp. *flabellifolia* possuem alto teor de glicosídeos cianogênicos (ALVES-PEREIRA et al., 2018). Esta variedade teria sido domesticada reduzindo-se sua toxicidade, pois as sociedades amazônicas da época estariam iniciando o processo de sedentarização e ainda não havia tecnologia suficiente para o processamento da mandioca, resultando assim em uma primeira domesticação no sentido de torná-las menos tóxicas, ou mais doces. As variedades amargas só teriam sido selecionadas depois, para sustentar sociedades sedentárias maiores e mais desenvolvidas tecnologicamente, trazendo maior produtividade para sociedades que tinham tecnologias para o processamento da mandioca amarga (ALVES-PEREIRA et al., 2018).

Este caso ilustra como tanto elementos culturais quanto biológicos realizaram pressões evolutivas durante a dinâmica de evolução da mandioca. Tanto a seleção natural, através da não sobrevivência de variedades pouco adaptadas ao seu entorno, quanto a seleção artificial feita pelos agricultores, buscando plantas com menor toxicidade, com maior produtividade, com determinadas características (como cor, tempo de maturação), ou mesmo pelas práticas de manejo que de modo não intencional afetam os cultivos, realizam pressões evolutivas e têm um importante papel para a agrobiodiversidade e para a sobrevivência de determinadas variedades (ELIAS et al., 2000; RIVAL e MCKEY, 2008).

2.2.3 Importância para Comunidades Tradicionais e Indígenas

A mandioca é principalmente cultivada por pequenos agricultores, através de processos com baixo uso de insumos tecnológicos, e é muito presente em sistemas agrícolas tradicionais (ADAMS et al., 2006; EMPERAIRE e PERONI, 2007; MARTINS, 2005).

Este fato se deve principalmente à sua grande resistência e versatilidade, podendo se adaptar a diferentes solos e condições climáticas, e ser produzida mesmo em solos pobres em termos de nutrientes (ADAMS et al., 2006; MCKEY et al., 2010b). Além disso, a possibilidade de armazenamento pré-colheita, deixando as raízes embaixo da terra após o período de maturação, se constitui numa grande vantagem do cultivo, sendo importante para a garantia da provisão de alimentos durante todo o ano (MARTINS, 2005).

Atualmente, o principal produto derivado da mandioca é a farinha de mandioca, presente em diversas formas, texturas e gostos, sendo utilizada em conjunto com outros pratos ou mesmo comida pura (ADAMS et al., 2006). Além dela, outros produtos importantes são a goma, o tucupi, a tapioca, o beiju, bebidas fermentadas (como o caxiri) e as folhas da mandioca (utilizadas, por exemplo, na maniçoba).

Além de sua utilização na alimentação, a mandioca também faz parte da mitologia indígena (EMPERAIRE E PERONI, 2007; GALVÃO e GALVÃO, 2004). A mandioca tem não só uma importância prática, como alimento base da dieta de comunidades tradicionais e indígenas, mas tem também uma enorme importância cultural, nas mitologias de origem indígenas e na forma como estas comunidades se formaram e se vêm (VAN VELTHEM e EMPERAIRE, 2016). A casa de farinha, os instrumentos utilizados no processamento da mandioca, a culinária, todos estes elementos da cultura material são associados ao cultivo e uso da mandioca, e são parte integrante das culturas de povos que cultivam a planta (GALVÃO e GALVÃO, 2004; VAN VELTHEM e EMPERAIRE, 2016). A abrangência da presença da mandioca, especialmente no Brasil, fez com que ela tivesse grande importância na constituição das comunidades tradicionais e indígenas, sendo parte do processo histórico de formação destas, influenciando na formação de seus modos de vida (ADAMS et al., 2006; CUNHA, 2012).

2.3 Agrobiodiversidade: um problema global

A agrobiodiversidade, ou biodiversidade agrícola, é uma categoria da biodiversidade que envolve a diversidade encontrada em sistemas agrícolas, englobando múltiplos elementos que afetam a agricultura. A Convention on Biological Diversity (CBD) define-a nos seguintes termos:

“Agricultural biodiversity is a broad term that includes all components of biological diversity of relevance to food and agriculture, and all components of biological diversity that constitute the agricultural ecosystems, also named agro-ecosystems: the variety and variability of animals, plants and micro-organisms, at the genetic, species and ecosystem levels, which are necessary to sustain key functions of the agro-ecosystem, its structure and processes”
(CBD, 2000: p. 100).

Outros autores definem a agrobiodiversidade de forma semelhante, também considerando tanto a diversidade planejada (cultivares e animais), quanto a diversidade associada (e.g. microorganismos) e destacando os níveis a qual essa diversidade pode ser referir (diversidade genética intraespecífica, diversidade de espécies e diversidade de ecossistemas) (FAO, 1999a; JACKSON et al., 2007; SANTILLI, 2009).

É importante ressaltar que a agrobiodiversidade depende do conhecimento e das práticas de manejo locais para continuar existindo, sendo assim, possui necessariamente uma dimensão social e cultural. Segundo a CBD a dimensão socio-econômica e cultural da agrobiodiversidade inclui o conhecimento tradicional e local da diversidade agrícola, fatores culturais, processos participativos e o turismo associado a paisagens agrícolas (CBD, 2000).

2.3.1 In situ vs Ex situ

Uma distinção feita correntemente na literatura é quanto à agrobiodiversidade *in situ* e *ex situ*. Historicamente, os esforços de pesquisadores concentraram-se inicialmente nas estratégias de conservação *ex situ*, tendo início nas décadas de 1920 e 1930 (THOMAS et al., 2011). A conservação *ex situ* tem como principal modalidade os bancos de sementes locais, nacionais ou globais, de modo a preservar a diversidade genética existente, protegendo-a da erosão genética (DULLOO et al., 2010). O debate internacional sobre a importância de estratégias de conservação *in situ* da agrobiodiversidade surgiu posteriormente - tendo início nas décadas de 1970 e 1980 e ganhando força somente no final da década de 1990 (EMPERAIRE e PERONI, 2007; THOMAS et al., 2011) -, estimulando estratégias que focam em conservar a biodiversidade dentro dos próprios sistemas agrícolas, abrangendo a agrobiodiversidade no sentido mais geral. Neste sentido, preocupa-se também com a preservação cultural dos saberes e práticas de cultivo, além do ambiente onde está o

sistema de produção alimentar, não se resumindo à preservação do código genético dos cultivos (ALTIERI e MERRICK, 1987; DULLO et al., 2010).

Atualmente, predominam na literatura estudos sobre a agrobiodiversidade *in situ*, principalmente após o entendimento de que a abordagem *ex situ*, quando aplicada isoladamente, negligencia os aspectos culturais e sociais envolvidos na questão, focando a diversidade enquanto produto e não enquanto um processo complexo, construído historicamente em comunidades locais (ALTIERI e MERRICK, 1987; EMPERAIRE e PERONI, 2007; THOMAS et al., 2011). Além disso, há uma preocupação pragmática quanto à possibilidade de utilização de sementes conservadas em bancos de sementes, pois os cultivos agrícolas tradicionais estão em constante processo de coevolução com o ecossistema, se adaptando a mudanças ambientais, a novas pragas e doenças, o que não acontece com variedades armazenadas em laboratório. Neste caso, garante-se que o propágulo conservado *ex situ* esteja em condições de germinar, porém não é possível garantir que o ambiente de onde a variedade foi retirada possa receber novamente esta semente (CUNHA, 2012).

2.3.2 Segurança Alimentar Global

A FAO estima que em 2017 existiam 821 milhões de pessoas subnutridas em todo o mundo, ou 11% da população mundial (FAO, 2018). Estes casos se concentram na África, Ásia e América Latina. Nos anos anteriores, houve uma tendência de redução deste número. Contudo, pela primeira vez desde o início das projeções (em 2005), no ano de 2016 foi feita uma previsão de crescimento da fome (FAO, 2018). Este dado mostra que mesmo com o aumento na produtividade agrícola mundial, o problema da fome não foi resolvido e revela o caráter político e socioeconômico que envolve a questão (TSCHARNTKE et al., 2012).

O termo segurança alimentar teve origem no período pós grandes-guerras (a partir de 1945), tendo como referência os sistemas agrícolas europeus, com o objetivo de assegurar a produção abundante de alimento a baixo preço, apoiando-se na revolução agrícola em curso (MARQUES, 2010). Apenas posteriormente o conceito de segurança alimentar passou a ser questionado por seu foco exclusivo na produtividade agrícola, na abundância de alimentos e, principalmente, devido aos impactos socioambientais provocados por este modelo (MARQUES, 2010). Ganhou força, então, a ideia do direito à alimentação adequada,

ressaltando suas dimensões étnicas e culturais e, dessa forma, valorizando os sistemas agrícolas tradicionais.

Na Europa, devido à existência de uma estrutura fundiária sólida e de intervenções do Estado, a revolução agrícola e a defesa da segurança alimentar atingiram seus principais objetivos, garantindo alimentos à maior parte da população (MARQUES, 2010). Já nos países subdesenvolvidos, onde a agricultura familiar é responsável por boa parte da produção alimentar consumida regionalmente (ALTIERI, 2010), apesar do aumento geral da produtividade agrícola, mesmo na concepção mais simplista de segurança alimentar o modelo agroindustrial não foi capaz de atingir seus objetivos mas, ao contrário, acentuou problemas como a desigualdade social no meio rural (ALTIERI, 2012; SANTILLI, 2009; THRUPP, 1998).

Além do problema na escala das comunidades locais, a segurança alimentar também é ameaçada pelo sistema de monoculturas por outro motivo: com a crescente redução da diversidade agrícola, a alimentação mundial depende de poucas variedades, o que ameaça a produção alimentar de um colapso geral caso um problema ocorra com elas. Existem exemplos históricos recentes de situações de colapso do sistema agrícola que provocaram situações catastróficas, sendo os casos mais conhecidos: o colapso da produção de batata na Irlanda devido à requeima da batata (*Phytophthora infestans infestans*), em 1845, responsável pelo morte de 2 milhões de irlandeses; a perda de 15% de toda a produção de milho dos EUA, dos quais 70% eram variedades de alto rendimento, ocorrida na década de 70; a perda de quatro milhões de hectares de variedades geneticamente uniformes de uva durante o século XIX na França; e a perda de 30 a 40% da lavoura de trigo na União Soviética, em 1971 (ALTIERI, 2012; SANTILLI, 2009).

A Organização das Nações Unidas (ONU) atesta a importância da agrobiodiversidade para a segurança alimentar em seus Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecido em 2015. Na segunda meta - acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável - consta a necessidade da conservação da diversidade agrícola e do conhecimento tradicional associado (ONU, 2015).

Os sistemas monoculturais prejudicam também a nutrição da população mundial - que é dependente dos alimentos vindos deste sistema - resultando numa alimentação menos diversificada e provocando deficiências de micronutrientes (FRISON et al., 2011). A dependência de poucas espécies para a alimentação, somada ao consumo de produtos

processados, têm intensificado epidemias de doenças crônicas relacionadas à alimentação, como obesidade, diabetes, doenças cardiovasculares e algumas formas de câncer, afetando tanto populações rurais como urbanas (FRISON et al., 2011; KHOURY et al., 2014; SANTILI, 2009).

Um último fator que mostra o risco trazido à produção alimentar mundial devido à baixa diversidade de cultivos são as mudanças climáticas, que já são apontadas como fonte de problemas para os sistemas de produção alimentar (DWIVEDI et al., 2013; MERCER e PERALES, 2010). A agrobiodiversidade é um elemento dos sistemas agrícolas apontado como essencial para a adaptabilidade dos cultivos, permitindo a seleção de espécies e variedades a partir de uma base mais ampla (DWIVEDI et al., 2013).

Assim, a agrobiodiversidade é um elemento essencial na garantia da segurança alimentar, para que todos tenham acesso a uma alimentação saudável e de qualidade, produzida de modo descentralizado, respeitando a diversidade e o conhecimento local, e com soberania alimentar (FRISON et al., 2011; KHOURY et al., 2014; MARQUES, 2010; THRUPP, 1998).

2.3.3 Importância Ambiental e Cultural da Agrobiodiversidade

A agrobiodiversidade presente nos sistemas agrícolas tradicionais é um elemento importante para tornar estes sistemas mais sustentáveis. Através da diversificação agrícola é possível tornar mais complexas as relações do sistema agrícola com os ecossistemas naturais, tornando-o mais integrado com o solo, os microorganismos e as plantas e animais nativos (ALTIERI, 2012). A maior diversidade de cultivares favorece ainda a ocupação de nichos ecológicos distintos, atuando como mais um mecanismo para tornar o sistema mais resiliente. O controle de herbívoros e parasitas também é favorecido pela diversidade, já que seus inimigos naturais igualmente encontram *habitat* no agroecossistema (ALTIERI, 2012).

Os serviços ecossistêmicos, cuja importância foi internacionalmente reconhecida com a publicação do Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005), também podem ser relacionados à agrobiodiversidade. Serviços ecossistêmicos são benefícios que pessoas obtém do ecossistema, abrangendo desde funções como a provisão de alimentos até serviços culturais, por exemplo religiosos, e também serviços ecológicos como a fotossíntese e a

ciclagem de nutrientes (MEA, 2005). A agrobiodiversidade, especificamente, é reconhecida como importante para o fornecimento de serviços ecossistêmicos como a polinização, a fertilização, o aprimoramento de nutrientes, o manejo de insetos e doenças, e a retenção de água (THRUPP, 1998; JACKSON et al., 2007).

Culturalmente a agrobiodiversidade tem grande importância enquanto uma das bases do sistema agrícola tradicional, se constituindo como parte das práticas culturais e de reconhecimento identitário das comunidades indígenas e tradicionais (CUNHA, 2012; MARTINS, 2005). Elementos culturais são apontados como uma das possíveis explicações para a existência da diversidade agrícola (CUNHA, 2012), e é inegável que elementos culturais afetam a diversidade dos sistemas agrícolas (EMPERAIRE e PERONI, 2007; PERREAULT, 2005). Em suma, cultura e agrobiodiversidade estão fortemente interrelacionados, e a agrobiodiversidade pode ser explicada e explica parte da cultura tradicional. Deste modo, a redução da diversidade nos sistemas agrícolas tradicionais, além de provocar a precarização dos meios de sobrevivência destas populações, também leva a uma perda cultural e identitária em comunidades indígenas e tradicionais (EMPERAIRE e PERONI, 2007; PERREAULT, 2005; VAN VELTHEM e EMPERAIRE, 2016).

2.3.4 Redução da Agrobiodiversidade

Desde o final do século XX, tem se acentuado o processo de perda da agrobiodiversidade, principalmente em sistemas agrícolas tradicionais. Em escala mundial, é apontado que existem aproximadamente 7.000 espécies de plantas que são ou foram consumidas em algum momento da história por seres humanos. Todavia, destas, apenas 30 representam 90% do consumo alimentar em termos de calorias ou proteínas, e apenas três - arroz, trigo e milho - são responsáveis por 60% das calorias consumidas pelos seres humanos (FAO, 1997; THRUPP, 1998). Estes números são alarmantes e mostram a dimensão da homogeneização agrícola mundial.

É difícil monitorar a perda de agrobiodiversidade global (DULLOO et al., 2010; JARVIS et al., 2008), contudo estima-se que aproximadamente 75% da diversidade genética de plantas tenha se perdido no século XX, principalmente com a substituição de variedades locais e crioulas por variedades melhoradas, de alta produtividade (FAO, 1999b). Estudos locais conseguem quantificar melhor a intensidade do processo de redução da agrobiodi-

versidade. Na China, entre 1949 e a década de 70, aproximadamente 9.000 variedades de trigo foram perdidas, com as variedades locais caindo de 81% para 5% da produção total (FAO, 1997). No México, apenas 20% das variedades locais de milho reportadas em 1930 estavam sendo utilizadas em 1997, principalmente devido à uma redução na área plantada (FAO, 1997). Em Bangladesh, foram perdidas aproximadamente 7.000 variedades tradicionais de arroz, devido à promoção de variedades de alta produtividade (THRUPP, 1998) e, nas Filipinas, 300 variedades tradicionais foram perdidas com a introdução de variedades melhoradas (THRUPP, 1998).

As principais causas apontadas para este declínio de agrobiodiversidade são relacionadas à expansão da agricultura industrial e de suas técnicas, que têm se tornado economicamente mais acessíveis (ALTIERI, 2012). Isso ocorre principalmente devido a incentivos financeiros - públicos e privados - realizados através do oferecimento de crédito, de insumos, ferramentas agrícolas e sementes de alta produtividade (ALTIERI, 2012; FAO, 1997; THRUPP, 1998). A inserção de comunidades indígenas e tradicionais no mercado deixam-nas sujeitas às pressões externas, como a demanda por espécies e variedades pré-determinadas, cultivos uniformes e produzidos em maior quantidade, e a oferta de pacotes tecnológicos atrelados ao crédito agrícola. Além disso, a desestruturação das redes sociais e as mudanças nos modos de vida tradicionais podem levar os agricultores a trabalharem de forma mais individual e com menos experimentações de novas variedades (PEREIRA et al., 2005; THRUPP, 1998). Esta situação é agravada pelas mudanças climáticas globais, que são responsáveis por alterar rapidamente as condições ambientais, dificultando a adaptação natural das variedades e do etnoconhecimento local (ECHEVERRI, 2009; LABEYRIE et al., 2014; MERCER e PERALES, 2010).

Mesmo assim, alguns autores fazem um contraponto ao papel da agricultura moderna na redução da agrobiodiversidade, sugerindo que é necessária a realização de mais estudos sobre a forma como as inovações agrícolas recentes têm sido incorporadas nas populações rurais locais, para se chegar a resultados mais conclusivos sobre a perda de diversidade (FU, 2015; VAN-DE-WOUW et al., 2010). Estes autores (*op. cit.*) indicam que após um primeiro período de redução da variedade genética intraespecífica na agricultura, com a substituição de variedades tradicionais por variedades modernas, não é possível afirmar que a diversidade continuará em níveis reduzidos, sugerindo que as técnicas modernas de cruzamento poderiam levar a um aumento da diversidade genética intraespecífica (FU, 2015; VAN-DE-WOUW et al., 2010).

3 Agrobiodiversidade em Sistemas Agrícolas Tradicionais

A agrobiodiversidade, enquanto um elemento cultural e parte de um sistema agrícola tradicional, não pode ser entendida quando analisada no nível do agricultor individual. É somente quando estes indivíduos se juntam e interagem que surgem as dinâmicas complexas características deste fenômeno. Por outro lado, em escalas mais amplas, facetas e detalhamentos essenciais para se compreender a agrobiodiversidade também não podem ser observados. Assim, aqui utilizaremos a comunidade como principal unidade de análise, por entender que esta possibilita a compreensão de elementos importantes para a dinâmica de produção e manutenção da agrobiodiversidade, além disso é nesta escala que são feitos a maior parte dos estudos de caso envolvendo a agrobiodiversidade. O conceito de comunidade é há muito tempo debatido, principalmente dentro da sociologia (COTTERRELL, 1997), aqui adotamos uma visão mais simples, de forma a abranger o modo como é utilizado em diversos estudos de caso, entendendo comunidade enquanto uma organização social caracterizada pelo compartilhamento de interesses, valores e uma localização geográfica comum.

3.1 Variedades Nomeadas

A diversidade agrícola pode ser avaliada e quantificada segundo duas lógicas principais: 1) a partir de etnovariedades, variedades crioulas ou *landraces* - que se referem a variedades nomeadas e reconhecidas pelas comunidades locais por suas características específicas (EMPERAIRE e PERONI, 2007; SADIKI et al., 2007); 2) a partir de estudos eco-genéticos, através de análises no nível genético e molecular (PEREIRA, 2008; SADIKI et al., 2007). Neste estudo utilizaremos a primeira abordagem, pois deste modo coloca-se um foco nos agricultores como atores centrais para a conservação da agrobiodiversidade e, também, porque as variedades nomeadas são um importante elemento no manejo e seleção dos cultivos agrícolas: é segundo esta categoria analítica que muitos agricultores atuam (JARVIS et al., 2008; PERALES et al., 2005; SADIKI et al., 2007).

Existem críticas e dúvidas quanto à validade da utilização de variedades nomeadas para estimar a agrobiodiversidade *in situ*, com problemas sendo levantados quanto a consistência da nomeação entre agricultores e também quanto à própria quantidade de variedades nomeadas variar culturalmente (ver SADIKI et al., 2007 para uma revisão sobre o

assunto). Contudo, dentro de uma mesma comunidade a consistência na nomeação é grande, diminuindo apenas com um maior distanciamento geográfico ou em cultivos realizados por povos distintos (SADIKI et al., 2007). Além disso, quando as etnovariedades coincidem com a unidade de diversidade manejada pelos agricultores, elas são um importante elemento para compreender o manejo da agrobiodiversidade *in situ*, e permanecem como um indicador relevante de agrobiodiversidade. Como utilizaremos esta medida apenas internamente à escala de comunidade e, em muitos dos estudos de caso levantados, as variedades nomeadas apareceram como importantes para o manejo, optamos por seguir utilizando esta métrica como uma estimativa da agrobiodiversidade.

A utilização de variedades nomeadas e medições genéticas - como a presença de alelos - pode levar a resultados bastante distintos (SADIKI et al., 2007). As variedades podem ser nomeadas tendo como base suas características morfológicas, agronômicas, de uso, de origem, dentre outros fatores (BOSTER, 1985; ELIAS et al., 2001; SADIKI et al., 2007), apresentando considerável variabilidade genética intra-variedade, mesmo para cultivos propagados vegetativamente (ELIAS et al., 2001; ELIAS et al., 2004). Por exemplo, em dois estudos de caso envolvendo o cultivo de mandioca pelos Makushi, destacaram-se entre as características morfológicas utilizadas para a nomeação a importância de elementos como a cor, principalmente a cor do pecíolo, dos galhos e da raiz. Já nas características agronômicas, incluem-se fatores como a produtividade, resistência a encharcamento, e a resistência a pestes e doenças (BOSTER, 1985; ELIAS et al., 2000).

3.2 Soberania alimentar

Grande parte das comunidades indígenas e tradicionais tem como principal modo de subsistência a agricultura, dependendo da produção agrícola para sua alimentação (BATES, 1998; SANTILLI, 2009). Por este motivo, políticas públicas que possam alterar os sistemas produtivos de subsistência devem ser pensados com extremo cuidado. Alterar suas bases pode afetar severamente sua capacidade de produzir alimentos e provocar situações de insegurança alimentar, o que já vem ocorrendo.

Em paralelo ao movimento por segurança alimentar detalhado na seção 2.3.2, o termo soberania alimentar foi cunhado para lidar com a ambivalência do termo segurança alimentar e sua utilização em discursos conflitantes (MARQUES, 2010). Altieri (2010)

define o conceito de soberania alimentar enquanto “o direito da cada nação ou região a manter e desenvolver sua capacidade de produzir colheitas de alimentos básicos com a diversidade de cultivos correspondente” (ALTIERI, 2010 p. 24). A defesa da existência de soberania alimentar para determinada população apoia-se na garantia do acesso à terra, sementes e água, o que permite a autonomia local, ciclos de produção e consumo locais, baixo aporte de insumos externos e fortalecimento da agricultura camponesa (ALTIERI, 2010; MARQUES, 2010).

Assim, o conceito de soberania alimentar descola o debate da fome para o âmbito local, reafirmando também a importância dos pequenos agricultores (ALTIERI, 2010). Isto é necessário, pois as populações rurais mais pobres são justamente as mais afetadas pelas mudanças nos sistemas agrícolas e onde se concentra a ocorrência de fome e casos de subnutrição aguda e crônica (ALTIERI, 2012; THRUPP, 1998). As mudanças trazidas pela revolução verde, que prometia maior produção de alimentos e a resolução de problemas relacionados à fome, teve consequências distintas para estas populações, chegando a agravar situações de insegurança alimentar (ALTIERI, 2012). Isto se deu principalmente através da utilização de monoculturas com variedades melhoradas, que trouxe a necessidade de um maior aporte de insumos externos, de modo a garantir um controle rígido das condições ambientais necessárias para o desenvolvimento destas variedades (ALTIERI, 2012). Deste modo, ocorreu uma ampliação da dependência de capital para que os sistemas continuassem produzindo e, dada a já existente situação econômica dessas populações, poucos indivíduos tiveram condições de arcar com os custos da aquisição destas tecnologias (ALTIERI, 2012).

Além do problema trazido pela ampliação da dependência da economia de mercado globalizada para a compra de insumos agrícolas, esta redução de autonomia ocorreu também na venda da produção agrícola (ALTIERI, 2010). Fatores como a redução da agrobiodiversidade e a intensificação do uso do solo têm desequilibrado ecossistemas locais e prejudicando a produção de alimentos a médio e longo prazo, acarretando em perdas principalmente para populações rurais marginalizadas economicamente (ALTIERI, 2010).

3.3 Risco, Resiliência e Agrobiodiversidade

Devido à ampla e reconhecida presença de fatores estocásticos no meio ambiente, a incerteza na produção alimentar é uma grande preocupação em qualquer sistema agrícola

e, mais ainda, nos sistemas agrícolas tradicionais, onde não há um controle artificial da natureza tão intenso (MOSCHINI e HENNESSY, 2001; HALSTEAD e O'SHEA, 1989; MARSTON, 2011). Existem diversas definições sobre o que seria e como medir o risco de uma produção agrícola. A mais comum é ver o risco como uma probabilidade de perda na produção alimentar, contudo esta definição torna mais difícil a medição do risco, e em muitas disciplinas, o risco é definido como uma variância na produção (MARSTON, 2011).

A diversificação de espécies e variedades cultivadas foi uma das estratégias encontradas por agricultores tradicionais para reduzir o risco associado à atividade agrícola. Existem também outras estratégias evolutivas que foram elaboradas para lidar com o risco, como o armazenamento de excedentes, o espaçamento geográfico e temporal dos cultivos, as trocas de alimentos e o nomadismo (HALSTEAD e O'SHEA, 1989; MARSTON, 2011; WONG e GODOY, 2003). Estas estratégias podem resultar em uma diminuição da produtividade, contudo, tornam as comunidades menos vulneráveis a choques vindos de fatores estocásticos (WONG e GODOY, 2003).

Sistemas monoculturais ou com rotação de monoculturas são extremamente vulneráveis a pragas, doenças e adversidades climáticas. Basta uma espécie predadora do cultivo se instalar na produção para esta se alastrar devido à grande presença de alimento, afetando toda a produção em largas porções de terra (LIN, 2011). O mesmo se dá com as adversidades climáticas, secas e enchentes severas ou mudanças de temperatura, que podem afetar toda a produção.

Existem diversos modelos e teorias para se estudar o risco e a tomada de decisão em situações de risco. Estes modelos, surgidos da economia e da biologia comportamental, se utilizam de distribuições de probabilidade e funções de utilidade para modelar a tomada de decisão e a análise de sensibilidade ao risco (WINTERHALDER, 1999). Foi através do uso de modelos deste tipo que se chegou ao entendimento de que a minimização do risco pode favorecer o aparecimento de estratégias de diversificação, já que estas trazem consigo uma menor variância anual na produção alimentar (WINTERHALDER, 1999; HALSTEAD e O'SHEA, 1989).

A resiliência é um conceito que vem ganhando importância dentro do estudo de sistemas sócio-ecológicos e traz outra perspectiva importante para o estudo da agrobiodiversidade (BERKES et al., 2002; FOLKE, 2006; WALKER et al., 2004). O conceito de resiliência pode ser entendido como a capacidade de um sistema de se adaptar a choques ou distúrbios mantendo suas funções e estruturas principais (BERKES et al., 2002; FOLKE,

2006). Inicialmente utilizado com exclusividade para se referir à ecologia e com foco em uma visão simplista de estabilidade, o conceito foi ressignificado pela visão de sistemas complexos, passando a ser também utilizado em sistemas sociais e ganhando uma nova face, sua capacidade de gerar renovação e reorganização (BERKES et al., 2002; FOLKE, 2006). A resiliência tem sido amplamente estudada por sua importância em um mundo em constante mudança e, onde é necessário que os sistemas tenham alguma garantia de manutenção de suas funções principais, mesmo em casos de choques ou mudanças socioeconômicas e ambientais.

A capacidade da diversidade de espécies e variedades de reduzir a variância da produção, advém, parcialmente, do fato de que sistemas com alta diversidade conseguem absorver distúrbios e impactos, rearranjando-se e, de modo geral, mantendo sua função primordial, a produção alimentar. Assim, sistemas com alta agrobiodiversidade possuem também alta resiliência, permitindo que os sistemas agrícolas continuem exercendo sua função de prover alimentos mesmo quando ocorrem distúrbios e adversidades (FOLKE, 2006; LIN, 2011), tornando possível ao sistema se adaptar frente a mudanças mais permanentes (FOLKE, 2006).

A agrobiodiversidade pode também funcionar como um *buffer*, com o armazenamento *in situ* de diferentes espécies e variedades servindo para tornar o sistema agrícola adaptável a mudanças ambientais e sociais (DWIVEDI et al., 2013). Mudanças como o aquecimento global, surgimento de novas pragas, e a reestruturação social dentro das comunidades, podem fazer com que determinados cultivos deixem de ser interessantes e outros passem a se tornar mais adaptados e viáveis. Contudo, estas mudanças só podem ocorrer em sistemas agrobiodiversos, onde existe um conjunto de variedades diferentes previamente adaptadas ao ambiente - seja nas mãos de um agricultor individual, seja dentro de uma rede de agricultores, podendo ser adquirida através de trocas - que podem ser utilizadas para se adaptar às mudanças (DWIVEDI et al., 2013).

3.4 O que motiva e influencia a agrobiodiversidade em Sistema Agrícolas Tradicionais?

As motivações para a existência da alta agrobiodiversidade são diversas, variam localmente e provavelmente atuam de modo conjunto sobre os sistemas agrícolas tradicionais. Os principais fatores motivadores para a existência da agrobiodiversidade encontrados

na literatura são: uma resposta à variabilidade do meio ambiente (ELIAS et al., 2000; FRASER et al., 2012), uma estratégia para lidar com o risco, trazer resiliência ao sistema e assegurar a segurança alimentar (LIN; 2011; MARSTON, 2011), uma consequência da diversidade de usos de um cultivo agrícola (OROZCO-RAMÍREZ e ASTIER, 2017; NAZAREA, 2005), a diversidade cultural e linguística (LECLERC e COPPENS D'EECKENBRUGGE, 2012; PERALES et al., 2005), e o prazer por colecionar e experimentar novas variedades (CUNHA, 2012; ELIAS et al., 2000). A seguir estes conceitos serão abordados, discutindo como estes e outros fatores afetam e estão relacionados com a agrobiodiversidade.

Os Sistemas Agrícolas Tradicionais são sistemas integrados e a agrobiodiversidade, um de seus pilares, não deve ser estudada de maneira isolada. A agrobiodiversidade é interpretada enquanto um *processo*, alterando e sendo alterada pelos outros elementos dos sistemas agrícolas tradicionais. Aqui agrupamos as dinâmicas fundamentais para a agrobiodiversidade – biológica, social e de escolhas individuais. É com base nestas categorias que a análise da agrobiodiversidade nos sistemas agrícolas tradicionais será realizada. A seguir apresentamos os fatores que influenciam a dinâmica da agrobiodiversidade localmente. A dinâmica biológica, para os quais já se tem uma quantidade maior de conhecimento sistematizado, constitui a base do sistema agrícola onde elementos mais complexos se assentam. A dinâmica social, principalmente na forma das redes de trocas de sementes, ajuda a explicar a circulação de cultivares. Por fim, há a dinâmica de seleção individual de cultivares, que abarcam fatores biológicos, sociais e culturais, centrando-se na tomada de decisão individual e seguindo a perspectiva local das próprias comunidades.

3.4.1 Dinâmica Biológica

Na análise da dinâmica biológica foram elencados os principais elementos que interagem com a agrobiodiversidade: 1) a adaptação dos cultivos ao ambiente local e o processo de seleção natural; 2) o papel da variabilidade espacial e temporal dos recursos; 3) os modos de reprodução dos cultivos.

Os cultivos agrícolas, assim como qualquer espécie vegetal, dependem do meio onde estão para crescerem, se desenvolverem e reproduzirem. Assim, um primeiro fator que influencia a agrobiodiversidade é a seleção natural e a capacidade de adaptação das espécies e variedades ao ambiente onde se encontram (RIDLEY, 2004). A adaptabilidade

é responsável tanto pela sobrevivência ou não dos cultivos, quanto pela produtividade dos indivíduos que chegam à etapa agrícola produtiva.

Variações nas condições ambientais, tanto espaciais quanto temporais, afetam os recursos¹ que são disponibilizados aos cultivos agrícolas e são importantes elementos para a dinâmica da agrobiodiversidade. As condições climáticas, de um modo geral, alteram as condições físico-químicas do ambiente - como temperatura e disponibilidade hídrica -, contribuindo para a seleção de determinados cultivares mais adaptados ecologicamente ao local. O caráter variável destas condições de ano para ano geram uma pressão para a adoção de sistemas mais agrobiodiversos pelos agricultores (MERCER e PERALES, 2010; NORDHAGEN e PASCUAL, 2013). Igualmente, a diversidade de ambientes na paisagem - por exemplo diferentes tipos de solo ou altitudes - faz com que variedades diferentes sejam selecionadas em locais diferentes, gerando uma pressão para o aumento da diversidade (ELIAS et al., 2000; FRASER et al., 2012). Por exemplo, no caso da mandioca, uma distinção comum na Amazônia é entre variedades de várzea e variedades de terra firme. Devido ao alagamento provocado por cheias sazonais, a várzea é mais fértil, mas também apresenta maior limitação no calendário agrícola, desta forma são cultivadas variedades com tempo de maturação curto, que são colhidas rapidamente; já na terra firme, como não há esta limitação temporal, são cultivadas variedades com maior tempo de maturação e que ficam longos períodos armazenadas no solo (ADAMS et al., 2005; LIMA et al., 2012). Assim, a diversidade de paisagens e de condições ambientais é uma importante pressão para selecionar uma maior agrobiodiversidade, dado que, como evidenciam Elias et al. (2000: p. 260), “since the environment is highly variable and unpredictable, natural selection will not always favour the same genotypes”.

Outro fator que afeta a agrobiodiversidade é o modo de reprodução das espécies cultivadas: cultivares propagados de modo assexuado ou sexuado apresentam manejos distintos, afetando assim a dinâmica da agrobiodiversidade *in situ* (MCKEY et al., 2010a). Dentre as espécies utilizadas neste estudo, a mandioca, assim como a batata, se propaga principalmente através da reprodução assexuada. Contudo, para ambas as espécies, a ocorrência de reprodução sexuada, mesmo que em uma baixa proporção de indivíduos, é de grande importância, pois é o principal elemento responsável por gerar variabilidade genética (ELIAS et al., 2001b; MCKEY et al., 2010a). McKey et al. (2010a) ainda apontam

¹ A palavra recursos está aqui sendo utilizada em um sentido amplo, abrangendo todos os elementos que afetam o desenvolvimento da planta, tais como água, temperatura, luz solar, nutrientes do solo.

que a propagação clonal - de surgimento mais recente - foi uma importante estratégia evolutiva, tornando mais fácil a fixação de genótipos agronomicamente valiosos, o controle do fluxo gênico de variedades silvestres para as variedades domesticadas e o próprio processo de propagação. Já o milho é uma planta monóica, que se propaga através da reprodução sexuada e com polinização aberta, realizada principalmente pelo vento. Na reprodução sexuada a recombinação sexual atua aumentando a geração de variabilidade genética, contudo a seleção de genótipos agrônômicos é mais difícil (MCKEY et al., 2010a).

Apesar da provável importância deste fator na agrobiodiversidade, as consequências concretas do tipo de reprodução sobre a agrobiodiversidade ainda são pouco conhecidas. Em um dos poucos estudos que abordam esta questão, Jarvis et al. (2008), ao realizar um estudo global sobre a agrobiodiversidade de 27 espécies, observa que espécies de reprodução clonal em geral apresentam uma maior riqueza de variedades no nível de comunidades, enquanto no nível da unidade doméstica pouca diferença é observada. Já Dyer et al. (2011), em uma análise comparativa das práticas de manejo e do fluxo gênico de dois sistemas agrícolas tradicionais onde ocorre o cultivo de mandioca e milho, consideram que a reprodução assexuada torna mais fácil a manutenção de variedades raras. Estas podem ser mantidas em pequenas quantidades para a mandioca, enquanto para o milho é necessário a polinização cruzada de populações relativamente grandes. Os autores também avaliam que variedades não locais têm maior importância para a mandioca, sendo importantes fontes de diversidade, enquanto para o milho muitas vezes são prejudiciais para a diversidade local (DYER et al., 2011). Além disso, indicam que a população de mandioca é mais dinâmica e aberta que o milho, se baseando para tal em estimativas da difusão e taxa de introdução gênica para ambas espécies (DYER et al., 2011).

3.4.2 Dinâmica Social

A rede de troca de sementes é um elemento que tem sido apontado pela literatura recente como um mecanismo fundamental para a manutenção e, principalmente, a circulação de agrobiodiversidade, sendo responsável pela distribuição da diversidade gerada localmente e contribuindo para que o conjunto de cultivares utilizado seja mais adaptado às condições locais (COOMES et al., 2015; PAUTASSO et al., 2012; THOMAS et al., 2011). As redes de trocas formam um complexo sistema de distribuição, constituindo-se na principal forma

de os agricultores adquirirem novas variedades (COOMES, 2015). A troca de sementes é aqui entendida em um sentido amplo, envolvendo qualquer tipo de transferência (doações, trocas e compras locais) de materiais propagativos, como sementes, estacas ou mudas (DELÊTRE et al., 2011 e THOMAS et al., 2011).

As redes de troca podem ser mais restritas ou mais abertas. Elas dependem fortemente de relações de confiança, uma forma dos agricultores garantirem a qualidade da semente, se estruturando portanto sobre relações sociais existentes, principalmente nas redes de parentesco, compadrio e vizinhança (ABIZAID et al., 2016; DELÊTRE et al., 2011; LABEYRIE et al., 2014; LECLERC e COPPENS D'EECKENBRUGGE, 2011). Dentro das redes de parentesco e compadrio, também ocorre a troca de informações sobre as variedades e sobre os conhecimentos tradicionais envolvendo o plantio e processamento de cultivos agrícolas. Delêtre et al. (2011) discutem, ainda, como as variedades são transmitidas através de laços familiares e apontam que a manutenção das redes familiares de troca é essencial não só para a agrobiodiversidade, mas também para a estruturação social das sociedades tradicionais. Também ressaltando a importância das trocas para a estruturação social, Carneiro da Cunha (2012), em fala sobre a troca de manivas no Rio Negro, considera que “as manivas são, portanto, produtoras e produtos de relações sociais” (CUNHA, 2012, p. 449).

Em diversas comunidades tradicionais observa-se um processo de desestruturação social, com jovens emigrando para regiões urbanas em busca de melhores condições de vida, ou deixando de seguir as técnicas agrícolas tradicionais por pressão de vetores de mudança diversos (políticas ambientais, incorporação ao mercado, indicação de serviços de extensão rural, entre outros) (ADAMS et al., 2013; RUDEL et al., 2002). Este processo causa uma redução ou interrupção no fluxo intergeracional de conhecimento e pode causar uma redução da agrobiodiversidade, já que pode fazer com que atores que desempenhavam um importante papel dentro da rede de troca de sementes se desliguem dela. Cavechia et al. (2014) em um estudo de modelagem a partir de dados coletados sobre a mandioca nas cidades de Imbituba (Santa Catarina) e Parati (Rio de Janeiro), demonstram a importância da remoção de atores na desestruturação da rede de trocas: removendo progressivamente os atores mais influentes da rede e comparando quantas variedades deixariam de existir no sistema, os autores mostram que nos casos estudados a rede é bastante centralizada, e a retirada dos atores mais ativos afeta consideravelmente a agrobiodiversidade do sistema.

O uso da análise de redes em trocas de sementes para avaliar a agrobiodiversidade em sistemas agrícolas é uma área de pesquisa recente. Assim, ainda há pouco conhecimento sistematizado sobre o funcionamento das redes, suas dinâmicas, como elas se adaptam a distúrbios, qual o papel dos atores centrais, qual é sua estrutura em situações tradicionais e após choques, e quais seriam as melhores estruturas para conservar agrobiodiversidade (PAUTASSO et al., 2012; SALPETEUR et al., 2017). Todavia, dada a importância das redes sociais na formulação de estratégias para a conservação de agrobiodiversidade, tem havido um crescente interesse em compreendê-las melhor (PAUTASSO et al., 2012; THOMAS et al., 2011).

Alguns autores relatam que as redes de troca de sementes tradicionais se organizam em sistemas de recebedores-doadores (*source-sink*), onde certos atores têm um papel central muito importante enquanto vários outros têm um papel mais marginal, recebendo as doações dos atores centrais (ALVAREZ et al., 2005; ELIAS et al., 2000; KAWA et al., 2013). Diversos elementos influenciam quem são os atores mais centrais na rede, dependendo principalmente da comunidade em questão, sendo que as mais apontadas são: gênero (DELÊTRE et al., 2011; RICCIARDI, 2015; WENCÉLIUS et al., 2016), riqueza (RICCIARDI, 2015; WENCÉLIUS et al., 2016), idade (ABIZAID et al., 2016; ALVAREZ et al., 2005), prestígio social na comunidade (ABIZAID et al., 2016), nível de agrobiodiversidade que possui (ABIZAID et al., 2016; ALVAREZ et al., 2005), conhecimento agrícola (KAWA et al., 2013) e área cultivada (KAWA et al., 2013). Kawa et al. (2013) indica, ainda, que quando os atores mais centrais possuem poucas variedades, a rede de troca de sementes pode favorecer uma redução na agrobiodiversidade dentro da comunidade.

As redes de troca também variam com o tempo. Violon et al. (2016), em um estudo longitudinal de dois anos sobre a aquisição de sementes na comunidade Tupuri, no norte do Camarões, observam que em períodos mais difíceis as redes de troca se expandem geograficamente. As redes que nos períodos de estabilidade eram baseadas principalmente em relações de vizinhança, em um período de adversidade climática se expandiu e os atores passaram a depender mais das relações familiares para adquirir novas variedades (VIOLON et al., 2016). Este estudo também mostra que as redes são dinâmicas, se reorganizando conforme as pressões sociais e ambientais sobre o sistema agrícola.

Em outro estudo, mostrando a influência do ambiente sobre as redes de troca, Clark e Crabtree (2015) indicam que ambientes com condições mais severas tendem a favorecer relações de cooperação e trocas mais abundantes. As autoras estudaram

comunidades pastoralistas da Mongólia, onde é comum a ocorrência de tempestades de inverno severas. Durante estes eventos críticos e, principalmente, logo após sua ocorrência, os habitantes se apoiam em redes de trocas e laços de cooperação para se sustentarem e se recompoem, mostrando como as redes de troca podem se reestruturar e adaptar-se às pressões ambientais.

3.4.3 Dinâmica de Seleção de Sementes

As populações tradicionais possuem um amplo conhecimento sobre o sistema agrícola e suas variedades, no qual se baseiam para sua tomada de decisões sobre quais espécies e variedades plantar (BRUSH, 2004; NAZAREA, 2005). Os critérios de seleção envolvem considerações de múltiplos fatores, que englobam aspectos ecológicos, econômicos, sociais e culturais (BRUSH, 2004; VETETO e SKARBØ, 2009).

Um critério apontado em praticamente todos os levantamentos sobre os critérios de seleção de variedades é a produtividade (BELLON, 1996; BRUSH, 2004). A produtividade é influenciada pela adaptabilidade da variedade às condições ambientais locais e pelas características biológicas de crescimento da espécie. Devido à sua importância para a produção alimentar (autoconsumo e eventual venda), a produtividade agrícola é um fator fundamental para as populações indígenas e tradicionais (BELLON, 1996; BRUSH, 2004).

O risco percebido pelo agricultor é outro fator que interfere na seleção de variedades a serem cultivadas. Neste caso, a seleção envolve principalmente o uso de variedades com tolerância ou resistência a pragas e doenças, e adversidades climáticas como secas e enchentes (BELLON, 1991; BRUSH, 2005). Outros critérios de origem agrônoma levados em consideração pelo agricultor são o tempo de maturação, e a forma e o tempo de armazenamento que a produção agrícola tolera. Estes critérios influem na disponibilidade de alimentos durante todo o ano, um fator fundamental para populações diretamente dependentes da produção agrícola para sua alimentação (MARTINS, 2005; MORENO et al., 2006).

Os diferentes usos de cada espécie também influenciam na escolha de variedades a serem cultivadas. Cada variedade é avaliada quanto à sua qualidade para determinado uso, considerando-se, por exemplo, seu gosto e sua aparência (BOSTER, 1985; ELIAS et al., 2000; LIMA et al., 2012; PEREIRA, 2008). No caso da mandioca, por exemplo, qualidades

da mandioca mais “aguadas” (também chamadas de fracas) produzem mais goma, em comparação às variedades “secas” (também chamadas de fortes), mais adequadas para a produção de farinha (LIMA et al., 2012). Já para o milho, algumas variedades são consideradas melhores para a produção de tortilhas, por terem melhor sabor e processamento mais simples que as demais (SMALE, 2001).

A diversidade de usos é apontada como um importante fator para a existência da agrobiodiversidade (BELLON, 1991; NAZAREA, 2005). A fala de um agricultor da província de Bukidnon, nas Filipinas, sobre o cultivo de batata doce, é um relato da importância das diversas formas de uso da agrobiodiversidade:

“We plant different varieties so we can have different tastes. When we have coffee, we eat the bland ones. When we have only water to drink, we pick the sweet ones. If we don’t have the appetite for one kind, then we use the other kind. We never get hungry.”

“Traditional varieties are small but sweet. We plant different kinds. With different varieties, one has a choice. If we get tired of dry, powdery ones, then you can harvest the wet kind. If you get tired of sweet ones, then you can have the bland ones.”

(NAZAREA, 2005: p. 68)

Existem variedades que são cultivadas por motivação social, pois são plantadas há gerações, tendo sido presenteadas pelos pais, padrinhos ou obtidas através do casamento. Assim, há uma motivação sócio-cultural para continuar a cultivá-las, devido ao seu valor simbólico e afetivo, sendo uma forma de cultivar a memória (DELEÛTRE et al., 2011; EMPERAIRE e PERONI, 2007; HECKLER e ZENT, 2008).

Há ainda, variedades cultivadas pelo prazer de colecionar ou por curiosidade de experimentar novas variedades, como indicam Elias et al. (2000, p. 252) “the Makushi seem to enjoy diversity for its own sake, and more for aesthetic and recreational reasons, or out of scientific curiosity, than for security purposes”. Neste caso, como também em outras regiões, foi observado que possuir grandes coleções é algo bem visto e valioso por si só (ELIAS et al., 2000; EMPERAIRE et al., 2010; HECKLER E ZENT, 2008), podendo inclusive trazer prestígio às famílias com roças mais diversas (ELIAS et al., 2000; HECKLER E ZENT, 2008).

4 Modelos simulados, Sistemas Sócio-Ecológicos e Sistemas Complexos

4.1 Interdisciplinaridade

A interdisciplinaridade tem sido apontada unanimemente como um importante elemento para o desenvolvimento científico atual (CHOI e PAK, 2006; MORILLO, 2003). Uma característica importante da interdisciplinaridade é a quebra das barreiras disciplinares, aqui entendidas como áreas do conhecimento e instrução caracterizadas por um conhecimento altamente especializados e um modo de trabalhar já concretizado (CHOI e PAK, 2006). Esta quebra precisa ser feita de modo a se compreender e atuar sobre os problemas atuais, que demandam a cooperação entre áreas distintas de modo a serem trabalhados de modo mais efetivo (MORILLO, 2003). São apontados como motivos para se trabalhar em equipes multidisciplinares a resolução de problemas reais e complexos, as diferentes perspectivas para analisar um problema, e a formulação de hipóteses de pesquisa com maior potencial (CHOI e PAK, 2006).

Especialmente na área de Ecologia Humana e no estudo de sistemas que lidam com interações homem-ambiente, a interdisciplinaridade é bastante ressaltada (BINDER et al., 2013; FILOTAS et al., 2014; FOLKE, 2006). Uma das abordagens possíveis para o estudo de interações homem-ambiente é o *framework* de sistemas sócio-ecológicos (SES, a partir dos termos em inglês), elaborado por Ostrom e colaboradores como uma forma de orientar o diagnóstico e a pesquisa, formulando um arcabouço conceitual básico para o estudo de questões sócio-ecológicas (OSTROM, 2009; MCGINNIS e OSTROM, 2014). Os sistemas sócio-ecológicos abrangem dimensões ecológicas, políticas, econômicas e sociais e, assim sendo, a necessidade de colaborações interdisciplinares é evidente (OSTROM, 2009).

Ostrom (2009) pontua que os conhecimentos de ecologia e ciências sociais não são facilmente conciliáveis. Para os estudos de sistemas sócio-ecológicos múltiplas escalas e níveis hierárquicos estão envolvidos, e os vários conhecimentos específicos precisam ser rearranjados para entender o sistema de modo integrado (OSTROM, 2009). Uma das contribuições dadas para a consolidação deste *framework* e da integração entre as matrizes disciplinares é a visão sistêmica dos sistemas complexos. Muitos dos fenômenos e características dos sistemas sócio-ecológicos podem ser abordados pela perspectiva de sistemas complexos. Entre eles temos os *feedbacks* não lineares entre os agentes e o sistema,

a heterogeneidade espacial e temporal, a abordagem multinível, e os processos de adaptação e aprendizagem (LEVIN et al., 2013; MANSON, 2008; WALKER et al., 2004).

Nos debates sobre a agrobiodiversidade, a necessidade de colaborações interdisciplinares também é ressaltada (COOMES et al., 2011; LECLERC e COPPENS D'EECKENBRUGGE, 2012; MALÉZIEUX et al., 2009; PAUTASSO et al., 2011). Salienta-se também, a necessidade do rompimento das barreiras disciplinares e da integração dos conhecimentos (PAUTASSO et al., 2011), além da necessidade de se criar uma linguagem comum: “for agrobiodiversity conservation to be possible, efforts are needed to help these diverse groups find a common language and ways of working together” (PAUTASSO et al., 2011: p. 13). Novamente a perspectiva de sistemas complexos se constitui como uma das áreas que têm contribuições a dar sobre os estudos de agrobiodiversidade, já que muitos dos termos e metodologias utilizados no estudo da agrobiodiversidade são utilizados em sistemas complexos. Algumas das contribuições vindos do estudo de sistemas complexos são trabalhados na seção 4.3.

4.2 *Sistemas Complexos*

O conceito de complexidade é referido em dicionários como algo “que encerra muitos elementos ou partes, de difícil compreensão” ou “que pode ser considerado sob vários pontos de vista” (MICHAELIS, 2015). Contudo, aqui nos referimos à complexidade enquanto um termo científico específico. A partir das décadas de 1950 e 60 começou a surgir um campo de pesquisa dedicada ao estudo dos chamados sistemas complexos, uma área eminentemente interdisciplinar, formada através do trabalho conjunto de pesquisadores vindos de áreas como a física, matemática, ciência da computação, biologia, economia, ciências sociais, entre outras (NEWMAN, 2011). Desde então, a área vem se consolidando enquanto uma ciência através da busca por princípios simples e gerais que resultem numa sistematização de conhecimentos mais difusos e particulares sobre os sistemas complexos (NEWMAN, 2011; MITCHELL, 2009). Resultando, assim, em uma abordagem integrada para estudar os chamados sistemas complexos, entendendo suas similaridades e regularidades (KWAPIENÍ e DROZDZ, 2012; MITCHELL, 2009).

Sistemas complexos são basicamente sistemas constituídos de muitos agentes que interagem entre si, normalmente de modo não linear (MITCHELL, 2009; SAYAMA,

2015). Apesar de existirem outras definições de sistemas complexos, a principal forma de identificá-los é através de suas propriedades (BAR-YAM, 1997). Estas propriedades não estão necessariamente presentes em todos os sistemas complexos, contudo todo sistema dito complexo possui algumas destas características. Algumas das propriedades mais importantes são:

1. **Emergência:** a emergência é entendida como uma relação não trivial entre as escalas microscópicas e macroscópicas de um sistema. Em fenômenos ditos emergentes, o comportamento do sistema em um nível maior não pode ser explicado pelo estudo de suas partes isoladamente. É só com o estudo de como as partes individuais se integram e interagem que isto se torna possível. Isto ocorre principalmente devido aos feedbacks que ocorrem entre os dois níveis hierárquicos, com ações individuais integradas causando mudanças em níveis maiores, e estas por sua vez afetando a dinâmica individual. As ações individuais são essenciais para a existência do fenômeno emergente, contudo, como dito mais corriqueiramente, o comportamento do todo não pode ser reduzido ao de suas partes isoladas (BAR-YAM, 1997; DEGUET et al., 2006; FROMM, 2005).
2. **Auto-organização e ausência de controlador central:** a auto-organização consiste na formação de comportamentos coletivos organizados, mesmo na ausência de um controlador central. A partir das dinâmicas e interações dos agentes individualmente o sistema se auto gerencia, formando estruturas e organizações não triviais. Um exemplo clássico deste fato é o comportamento de bandos de aves que, mesmo sem ter um agente externo ou interno controlando a direção do bando, este se move de forma extremamente ordenada (KWAPIEŃ e DROZDZ, 2012; SAYAMA, 2015).
3. **Adaptação:** a adaptação se refere a mudanças de comportamento que ocorrem conforme a interação do sistema com o ambiente ao seu entorno, de modo a melhorar suas chances de sobrevivência ou sucesso. Esta adaptação ocorre principalmente através da aprendizagem ou de processos evolucionários. A adaptabilidade também resalta outra característica de sistemas complexos que é sua abertura, ou seja, estes são afetados por fatores externos ao sistema. A capacidade de adaptação gerou inclusive uma diferenciação feita por alguns autores, que utilizam o termo sistemas complexos adaptativos (CAS, a partir dos termos em inglês) para se referir a sistemas

complexos onde a adaptação tem um papel importante (MILLER e PAGE, 2009; MITCHELL, 2009).

4. **Interações através de Redes Complexas:** o modo como os agentes interagem em um sistema complexo não é totalmente regular, com todos agentes interagindo da mesma forma, nem totalmente irregular, com as interações se dando de modo aleatório. Há uma estrutura particular e não trivial definindo como os agentes interagem entre si: uma rede complexa. Redes sociais em sites como facebook e twitter são um exemplo de rede complexa onde há alguns atores com uma grande quantidade de conexões e outros com pouquíssimas conexões, resultando numa distribuição de interações de topologia particular e não-trivial (MITCHELL, 2009; NEWMAN, 2010).
5. **Dinâmica não-linear:** fenômenos lineares ocorrem quando a mudança de uma variável ou comportamento resulta numa mudança direta e proporcional em outra variável. Por exemplo, ao se dobrar a quantidade (volume) de água em um copo, sua massa também dobrará. Já quando os fenômenos não são lineares a solução de como os comportamentos se relacionam é mais complicada, muitas vezes não podendo ser resolvida em termos de funções conhecidas. Esta não linearidade ocorre principalmente devido aos feedbacks entre os diversos níveis hierárquicos e é responsável por tornar os sistemas complexos difíceis de serem previstos (BAR-YAM, 1997; MITCHELL, 2009).
6. **Resiliência:** a resiliência, já definida anteriormente, se refere à capacidade do sistema de absorver impactos mantendo sua função primordial. A resiliência de um sistema complexo faz com que este se torne menos vulnerável a choques e perturbações. A capacidade de adaptação e as propriedades de redes complexas livre de escala são os principais mecanismos que tornam um sistema complexo resiliente (BERKES et al., 2002; FOLKE, 2006; MITCHELL, 2009; WALKER et al., 2004).

Outra distinção que auxilia na compreensão do que são sistemas complexos é a separação entre sistemas simples, complicados e complexos (GRABOWSKI e STRZALKA, 2008; CILLIERS, 2002). Sistemas simples são sistemas compostos de poucos elementos, com uma função clara, com uma relação de causa e efeito direta e que podem ser descritos e analisados completamente (GRABOWSKI e STRZALKA, 2008; CILLIERS, 2002). Exemplos de sistemas simples incluem um pêndulo simples, uma mola e uma bicicleta. Já

sistemas complicados são sistemas constituídos de mais elementos e envolvem a utilização de conhecimentos mais elaborados (GRABOWSKI e STRZALKA, 2008). Eles, contudo, ainda desempenham uma função específica e, principalmente, ainda são previsíveis deterministicamente quando se tem conhecimento suficiente (GRABOWSKI e STRZALKA, 2008; CILLIERS, 2002). Como exemplos de sistemas complicados temos máquinas de um modo geral como, por exemplo, uma locomotiva a vapor. Já os sistemas complexos quebram o determinismo, não sendo completamente previsíveis mesmo quando se têm conhecimento completo sobre o sistema, além de não possuírem uma única função pré-determinada (GRABOWSKI e STRZALKA, 2008; CILLIERS, 2002). A principal causa destas diferentes características são as interações entre os agentes e dos agentes com o ambiente, bem como o modo não linear como estas interações ocorrem. São exemplos de sistemas complexos bandos de animais, sistemas socio-econômicos, o corpo humano e uma cidade.

Os temas estudados em sistemas complexos são bastante variados, passando de modelos epidemiológicos, estudos da difusão de opinião, modelos econométricos, modelos neurológicos e estudos de conflitos, por exemplo (NEWMAN, 2011). Sua expansão têm acontecido de modo bastante rápido, com a publicação de resultados em diversas áreas. Alguns dos mais célebres são o modelo baseado em agentes Sugarscape criado por Epstein e Axtell (EPSTEIN e AXTELL, 1996), o modelo baseado em agentes para estudar a segregação racial (SCHELLING, 1971), o Jogo da Vida de Conway, utilizando autômatos celulares (CONWAY, 1970) e os estudos de Albert e Barabási sobre redes complexas (ALBERT e BARABÁSI, 2002) (ver NEWMAN, 2011 para uma revisão de temas e modelos de Sistemas Complexos).

Os sistemas sócio-ecológicos também são um Sistema Complexo, seguindo as definições e possuindo todas as propriedades trabalhadas no começo desta seção. É através do olhar e das metodologias de sistemas complexos que se estudarão os Sistemas Agrícolas Tradicionais e a problemática da agrobiodiversidade neste trabalho.

4.3 Diálogos e Colaborações (potenciais) da Ciência da Complexidade e Sistemas Sócio-Ecológicos

Muitos conceitos tratados anteriormente são estudados pelo viés da complexidade, tais como a resiliência, as redes complexas, a análise de riscos, a adaptação, a aprendizagem, a descentralização dos sistemas e o próprio conceito de diversidade. A colaboração das

abordagens e o modo de trabalhar estes conceitos entre as áreas de Sistemas Sócio-ecológicos e Sistemas Complexos têm grandes potencialidades. Algumas colaborações concretas já existem, conforme indicado a seguir, contudo em um estágio ainda muito inicial e pouco exploradas.

Uma primeira aproximação da área de modelagem matemáticas com a ecologia ocorreu durante as décadas de 1960 e 1970 (FOLKE, 2006). Havia um crescimento da visão sistêmica nas ciências e, com a recém surgida área de modelos computacionais, esta aproximação entre as duas áreas se concretizou, resultando em uma visão com foco em modelos determinístico, na previsibilidade e no equilíbrio (FOLKE, 2006). Contudo, com novos estudos e uma maior quantidade de dados sendo coletados este paradigma ruiu: a estabilidade e previsibilidade completa pretendida não era observada na realidade e percebeu-se que a maior parte dos ecossistemas têm influência humana, com populações manejando e alterando o ecossistema (BERKES et al., 2002; FOLKE, 2006). Ambas áreas passaram por grandes mudanças de paradigma, e novas possibilidades de cooperação surgiram.

A busca por princípios que regem os diversos sistemas complexos tem levado à conclusão de que regras simples podem levar a comportamentos complexos, um interessante resultado teórico que têm influenciado muito o modo de pensar a complexidade (MITCHELL, 2009; SAYAMA, 2015). Ressaltando esta busca por princípios simples, Walker et al. (2006), se apoiam em conceitos de sistemas complexos para propor heurísticas para o estudo da resiliência em sistemas sócio-ecológicos. Uma das heurísticas propostas se refere justamente à identificação de variáveis fundamentais para os sistemas, que seriam as poucas variáveis responsáveis pela maior parte das suas mudanças críticas (WALKER et al., 2006).

De forma semelhante, Berkes et al. (2002) analisam em um livro estudos de caso em sistemas sócio-ecológicos, tendo como framework a teoria de sistemas complexos. O livro tem como objetivo estudar como nos sistemas sócio-ecológicos as sociedades humanas lidam com a mudança e se adaptam, com grande destaque ao conceito de resiliência. Os autores colocam que “o modo de pensar de sistemas complexos é assim utilizado para ligar ciências sociais e biofísicas” (BERKES et al., 2002 p. 2, tradução livre)¹, assim apresentado a teoria da complexidade como mais uma teoria integrativa capaz de trazer novas reflexões e conhecimentos para o estudo de sistemas sócio-ecológicos.

¹ “Complex systems thinking is therefore used to bridge social and biophysical sciences”

Também Page (2010), no livro *'Diversity and Complexity'*, parte da abordagem de Sistemas Complexos e faz uma análise integrada do papel da diversidade em alguns sistemas complexos, abrangendo principalmente sistemas ecológicos, sistemas sociais e sistemas econômicos. O objetivo é buscar por regularidades nesses sistemas, estudando métricas de diversidade, como ela é criada, porque é maior ou menor em cada situação, e quais suas funções e efeitos - positivos ou negativos - nesses sistemas. O autor analisa especialmente o papel da diversidade de trazer robustez, ou resiliência, ao sistemas, talvez o principal elemento apontado para indicar a importância de sistemas diversos. Esta abordagem interdisciplinar traz a possibilidade de avanços, fazendo com que teorias e técnicas utilizadas em outros sistemas possam ser utilizadas em sistemas sócio-ecológicos, por exemplo, auxiliando na compreensão e análise da diversidade e aprimorando a compreensão dos elementos centrais da diversidade.

Além de potencialidades teóricas, há potencialidades no campo metodológico. Na área de sistemas complexos, a utilização de ferramentas matemáticas e computacionais é muito presente. Epstein (2008) aponta os diversos motivos para se utilizar modelos computacionais, sublinhando que além de produzir previsões, o motivo normalmente apontado, modelos computacionais podem ter inúmeras outras funções. Particularmente, em sistemas complexos predominam modelos explicativos, com foco em melhorar o entendimento de um fenômeno, sugerir analogias, e não modelos preditivos, que têm como objetivo descrever e representar a realidade com precisão. Modelos explicativos são construídos a partir de princípios e premissas simples e tem como maior objetivo iluminar as dinâmicas centrais de um problema, sugerir analogias, apontar *insights* sobre as dinâmicas e comportamentos e levantar novos problemas (EPSTEIN, 2008). É nesta direção que os modelos serão utilizados neste trabalho.

O uso de modelos simulados computacionalmente tem uma grande potencialidade quando utilizados de forma complementar a estudos de caso e trabalhos de campo, pois possibilita o estudo de questões que não podem ser tratadas diretamente na realidade, seja por motivos éticos ou práticos. Por exemplo, através de modelos é possível estudar como seria a dinâmica da agrobiodiversidade por longos períodos de tempo, abordando deste modo a escassez de estudos diacrônicos sobre agrobiodiversidade apontada na literatura, (EMPERAIRE, 2016), ou então, realizar experimentações que seriam eticamente problemáticas de serem realizadas com população reais. Não supomos aqui que estes tipos de estudo tenham a mesma validade que estudos empíricos, contudo, devido a sua facilidade

de processar grandes quantidades de informação, modelos conseguem avaliar múltiplos fatores e dinâmicas, permitindo assim a geração de conhecimentos teóricos iniciais que podem depois ser estudados e analisados em profundidade através de estudos empíricos - assim atuando de modo complementar com abordagens empíricas.

Em particular, duas metodologias têm ganhado bastante atenção na literatura, tanto no estudo de sistemas sociais de um modo geral, como de sistemas sócio-ecológicos: a modelagem baseada em agentes (MBA, ou ABM em inglês) e a análise de redes sociais. Comentaremos sucintamente sobre estas abaixo, e no Capítulo 5, destinado à metodologia do trabalho, elas serão melhor descritas. A metodologia de modelos multi-agente ou baseada em agentes têm sido considerada como uma importante ferramenta para o estudo de interações homem-ambiente (FILATOVA et al., 2013; FILOTAS et al., 2014). A utilização de modelos baseados em agentes têm grande potencial na exploração e validação de teorias, permitindo que sejam avaliadas as consequências da adoção de certas premissas ou dinâmicas, desafiando e refinando nossa lógica; deste ponto de vista, atuando como um intermediário entre suposições ou analogias e estudos experimentais. Além disso, a metodologia de modelos baseados em agentes permite que a partir da modelagem e descrição de dinâmicas individuais ou locais surjam comportamentos e propriedades complexos numa escala maior (BERGER, 2001; MACY e WILLE 2002). Assim, permite-se que os feedbacks, interações e não-linearidades tenham espaço e que se estude como se estruturam os fenômenos complexos.

O estudo da formação, das propriedades e da dinâmica de redes complexas é outra metodologia utilizada em sistemas complexos, e que pode auxiliar no estudo da agrobiodiversidade. A análise de redes sociais já é aplicada em diversos estudos sobre a agrobiodiversidade (EMPERAIRE e PERONI, 2007; KAWA et al., 2013; VIOLON et al., 2016; WENCÉLIUS et al., 2016), contudo pouco ainda se compreende sobre sua estrutura e como diferentes topologias podem afetar a agrobiodiversidade como um todo (COOMES et al., 2015; PAUTASSO et al., 2012). Como um retrato destas dificuldades, Pautasso et al. (2013: p. 13) apontam especificamente dois desafios para o estudo das redes de troca de sementes: “How to use network analysis to model seed exchange?” e “Which seed exchange network structure(s) would be best to maintain agrobiodiversity?”. Duas questões que podem ser trabalhadas a partir da perspectiva de sistemas complexos.

Todavia, também existem problemas e limitações na forma como esta colaboração interdisciplinar se dá. Comumente, este tipo de abordagem matemática aplicada em

sistemas sociais é apontada como reducionista, simplificando excessivamente a realidade, ignorando os aspectos holísticos e a importância dos detalhes do sistema. Especificamente sobre sistemas complexos, Horgan (1995) critica a busca por princípios universais que seriam subjacentes a todos sistemas complexos, indicando que esta busca é inoportuna e improfícua, apontando também para o distanciamento dos modelos com relação à realidade, o que estaria gerando uma ciência livre de fatos (*fact-free science*) (veja MITCHELL, 2009 para uma crítica a estes argumentos). Além disso, como apontado anteriormente, a validação de modelos tem limitações e os resultados dos modelos, por melhores e mais robustos que sejam, nunca valerão tanto quanto uma verificação empírica. Por fim, algumas das contribuições mencionadas ainda estão em estágios iniciais, e, portanto, ainda são potenciais e necessitam que os resultados se provem significativos.

4.4 Modelos Existentes sobre o Tema

Dado o surgimento recente de técnicas computacionais e, mais ainda, de sua aplicação em sistemas sociais, existem poucas tentativas de se trabalhar com modelos matemáticos e simulações para se entender especificamente a agrobiodiversidade. Alguns dos modelos existentes na área (ver por exemplo BERGER, 2001; TOPPING et al., 2003) estudam os sistemas agrícolas sob uma perspectiva indutiva e empírica, construídos a partir de estudos de caso aprofundados e com uma preocupação maior em modelar com precisão a realidade (HEATH et al., 2009; WINTERHALDER, 2002). Em oposição a este modo de modelar, aqui utilizaremos modelos com características teóricas, explicativas e generativas (EPSTEIN, 1999; HEATH et al., 2009; WINTERHALDER, 2002), focando no estudo de novas relações e interações, em entender como os comportamentos dos agentes levam a comportamentos globais do sistema (EPSTEIN, 1999; MACY e WILLE 2002). Há, portanto, um foco em gerar resultados generalizáveis e menor preocupação em modelar com precisão toda a realidade de um local específico (EPSTEIN, 1999). Serão listados abaixo modelos existentes na área que se enquadram neste tipo de abordagem.

Dada a importância que é dada à rede de troca de sementes, uma das abordagens existentes é o estudo da propagação de uma variedade na rede de trocas de sementes, de modo semelhante a modelos epidemiológicos de propagação de doenças ou modelos de difusão de inovação. Por exemplo, Pautasso (2015) tem como objetivo estudar a propagação

de uma variedade na rede de trocas de sementes e o alcance de uma variedade recém inserida. Para isto, trabalha com um modelo que possui apenas uma variedade e onde cada agente tem uma proporção de sua plantação ocupada pela variedade - inicialmente este valor é nulo. Então, em cada passo os agentes que estão conectados com um agente que possui a variedade tem uma certa probabilidade de adquirir a variedade; além disso os agentes que já possuem a variedade tem uma probabilidade de persistência, que regula se estes continuam a ter a variedade. Posteriormente, o autor aplica este modelo utilizando dados coletados sobre o fluxo de sementes de cevada em seis comunidades no norte da Etiópia.

Barbillon et al. (2015), em outro trabalho para estudar a difusão de sementes, faz um trabalho semelhante, porém mais matemático, se baseando para isto também em modelos epidemiológicos. O objetivo declarado do estudo é medir o impacto da rede interações no comportamento do modelo. Em seu modelo, também há apenas uma variedade, contudo, cada agente possui ou não a variedade, ao contrário do modelo de Pautasso (2015), onde este valor é contínuo. Partindo de uma condição inicial com a semente em alguns dos sítios, a probabilidade de um sítio ser colonizado por cada um dos sítios que possuem a variedade e estão ligados a ele (através da rede de trocas) será a chamada probabilidade de colonização. Cada sítio ocupado pode ainda perder a variedade conforme uma probabilidade de extinção. Os autores então realizam diversas análises com o modelo, verificando até que ponto este pode ser aproximado por um modelo determinístico, a importância da rede (influências de seu tamanho, densidade e topologia) e das taxas de extinção e colonização. Posteriormente, é realizada uma aplicação deste modelo para estudar o Réseau Semences Paysannes, uma rede de organizações francesa onde ocorrem trocas de sementes.

O modelo que mais se aproxima do realizado neste trabalho é o produzido por um grupo de pesquisadores franceses que estudou a diversidade intraespecífica de sorgo no Mali (BAZILE e SOUMARE, 2004; BAZILE et al., 2005; BELEM et al., 2018). Um primeiro protótipo foi formulado a partir de uma equipe multidisciplinar de pesquisadores e então o modelo foi testado, complementado e validado a partir de modelagem participativa nas comunidades malinesas (BAZILE et al., 2005). Ele é construído para englobar a agrobiodiversidade de modo geral e, portanto, é generalizável para outros contextos, além de considerar múltiplos níveis - porções da plantação, fazenda e território² - e integrar aspectos sociais, econômicos, ambientais e políticos. Especialmente no último

² Plot, farm and territory.

artigo publicado, o modelo é utilizado para avaliar a mudança na agrobiodiversidade segundo a ocorrência de diferentes cenários climáticos e de intervenções políticas sobre o sistema agrícola (BELEM et al., 2018).

4.5 Modelos e Teorias Ecológicas

Modelos focados apenas no aspecto ecológico - abordando a dinâmica da biodiversidade - são mais abundantes e recentemente, com o avanço da capacidade computacional houve um crescimento de modelos mecanicistas na ecologia (CABRAL et al., 2017). Além disso, há teorias e *frameworks*, que, embora amplamente debatidos e não consensuais, são melhor consolidados que os relativos à agrobiodiversidade. Aqui não será realizada uma revisão dos modelos e teorias ecológicos e, nos limitamos a apresentar a perspectiva utilizada neste trabalho.

Cabral et al. (2017) lista 13 teorias e *frameworks* clássicos na ecologia, e o modelo ecológico utilizado aqui é embasado teoricamente em uma delas, a teoria de nichos. Segundo a teoria de nichos, o principal determinante para a existência e crescimento de uma espécie são os recursos do ambiente e a competição por estes (MAY e MCLEAN, 2007). Assim, as espécies se organizam em nichos ecológicos, que compreendem todas as condições necessárias para o ser vivo existir, incluindo os recursos e a competição com outras espécies (CABRAL et al., 2017; MAY e MCLEAN, 2007). Nesta teoria, têm grande papel na distribuição das espécies a competição pelos recursos ambientais, bem como a diversidade espacial do ambiente, um dos principais formadores de novos nichos (CABRAL et al., 2017; SOUZA JÚNIOR et al., 2014). Ela foi escolhida pois traz uma forma simples de acoplar as espécies com o ambiente, dando ênfase para a espacialização. Além disso, é uma das teorias mais antigas da ecologia ainda utilizadas (CABRAL et al., 2017), tendo sido amplamente debatida e, apesar das inúmeras críticas, segue com importância na área (MAY e MCLEAN, 2007).

Especificamente, utilizaremos o modelo mecanicista dado pela equação de Monod (MONOD, 1949; LEGOVIĆ e CRUZADO, 1997). Este modelo foi formulado para prever o crescimento populacional de bactérias, contudo, seu escopo foi ampliado e hoje também é utilizada em outros contextos. A equação surgiu independentemente da teoria de nichos, contudo têm princípios teóricos bastante similares a esta, que dá sustentação teórica à

utilização da equação. O modelo proposto por Monod se utiliza da Lei de Liebig, segundo a qual o crescimento populacional de uma espécie depende somente do recurso limitante (LEGOVIĆ e CRUZADO, 1997; SOUZA JÚNIOR et al., 2014). A equação de Monod atesta que o crescimento de uma espécie será:

$$f = f_M \frac{R_L}{K_L + R_L}, \quad (1)$$

onde f é o crescimento real da população, f_M é o crescimento máximo da população, R_L a quantidade do recurso limitante e K_L a constante de meia-saturação do recurso limitante - ou seja, caso a quantidade de recurso seja K o crescimento será a metade do máximo valor possível.

Seguindo-se puramente este modelo se chegará ao chamado Princípio da Exclusão Competitiva, um resultado da teoria de nichos (MAY e MCLEAN, 2007). Segundo este princípio a quantidade de espécies que podem coexistir é igual ao número de diferentes recursos limitantes no ambiente. Apesar de haverem críticas acerca da validade deste princípio (MAY e MCLEAN, 2007), o modelo de Monod traz uma modelagem simples da competição entre múltiplas populações, com resultados validados empiricamente para certos ambientes (MONOD, 1949; LEGOVIĆ e CRUZADO, 1997).

No modelo baseado em agentes desenvolvido, a equação de Monod será utilizada como um *proxy* para a produtividade agrícola das variedades, já que esta equação pode ser interpretada como a adaptabilidade do cultivo ao ambiente.

5 Metodologia

Conforme apresentado brevemente nos capítulos anteriores, neste estudo partiremos de uma abordagem exploratória, utilizando modelos simulados computacionalmente de modo a responder às perguntas de pesquisa definidas na seção 1.2. Em especial, utilizaremos a modelagem baseada em agentes (MBA) e a análise de redes sociais. Além disso, teremos duas unidades de análise, a unidade doméstica, caracterizada como um tipo de organização social formada por um grupo doméstico co-residente, que é responsável pela produção (mobilização e alocação de trabalho) e reprodução (biológica, da força de trabalho, do conhecimento ecológico) do próprio grupo (NETTING, 1993); e a comunidade, definida no início do Capítulo 3. No modelo, a unidade doméstica é o espaço onde são tomadas a maior parte das decisões, já a comunidade é a unidade onde são feitas a maior parte das análises.

Modelos - em especial modelos baseados em agentes - têm ganhado grande importância na literatura sobre sistemas que envolvem interações homem-ambiente, permitindo que dinâmicas individuais e processos de tomada de decisão sejam modelados diretamente (AN, 2012; FILATOVA et al., 2013; SUN et al., 2016). Existem algumas tipologias utilizadas para se referir aos modelos (AN, 2012; HEATH et al., 2009; EPSTEIN, 1999; WINTERHALDER, 2002), principalmente se referindo aos diferentes paradigmas de modelagem e seus objetivos. Normalmente, há a referência a dois tipos de modelos principais: de um lado existem modelos teóricos, generativos e simples, com foco em estudar questões mais abstratas e com a intenção de gerar resultados generalizáveis; e, de outro, há os modelos empíricos, complicados, com foco em gerar resultados concretos, fazer previsões e tentar modelar com precisão os aspectos de uma realidade local (SUN et al., 2016; EPSTEIN, 1999).

Cada categoria de modelo tem suas potencialidades e problemas. Os modelos empíricos têm ganhado muita importância desde o início do século XXI, com o aumento da capacidade computacional e a maior disponibilidade de dados empíricos (HEATH et al., 2009; JANSSEN e OSTROM, 2006). Estes modelos têm gerado resultados práticos, muitas vezes sendo utilizados por tomadores de decisão para fundamentar escolhas. Contudo, problemas são apontados no seu uso, como a dificuldade de se analisar os resultados, sua reprodutibilidade e o *overfitting* (SUN et al., 2016). Já os modelos generativos, pre-

ponderantes de modo geral há poucos anos atrás, ainda são prevaletentes na ciência da complexidade (EPSTEIN, 1999; SAYAMA, 2015). Este tipo de modelo tem iluminado dinâmicas centrais e produzido *insights* sobre dinâmicas complexas; contudo, seus problemas, como a dificuldade de se captar a complexidade da realidade em termos simples e a conexão destes com a realidade, também têm sido enfatizados (SUN et al., 2016). Aqui utilizaremos modelos teóricos, pois consideramos que a busca por novos *insights*, o melhor entendimento de dinâmicas centrais e a compreensão de como as diversas dinâmicas dos sistemas sócio-ecológicos interagem, podem trazer importantes contribuições para o entendimento dos mecanismos que tornam possível a existência da agrobiodiversidade enquanto um fenômeno emergente (MACY e WILLE 2002; EPSTEIN, 1999; WALKER et al., 2006).

Como resultado principal deste trabalho, será obtida a evolução da riqueza de variedades agrícolas na comunidade e na unidade doméstica. Com isso, será avaliada a capacidade das três dinâmicas - biológica, social e seleção individual de sementes - de obter de modo emergente a agrobiodiversidade. Além disso, variando parâmetros chave em cada uma das três dinâmicas espera-se entender melhor como estas atuam e como se interrelacionam, avaliando também como diferentes cenários podem favorecer o aumento ou diminuição da agrobiodiversidade.

5.1 A Modelagem Baseada em Agentes

A modelagem baseada em agentes (MBA) é caracterizada por três elementos fundamentais: agentes, ambiente, e regras de interação (RAMALINGAM et al., 2008; SAYAMA, 2015). Os agentes serão uma unidade doméstica de agricultores, possuindo atributos e regras de como interagem. O ambiente é a paisagem, que no caso engloba uma comunidade, e também possui atributos e regras de interação. Os atributos e características dos agentes e do ambiente podem tanto ser homogêneos ou heterogêneos, fixos ou variáveis, podendo variar tanto espacialmente quanto temporalmente. Já as regras de interação, um elemento central da MBA, devem definir como os agentes interagem entre si, como os agentes interagem com o ambiente e como se dá a evolução do ambiente *per se*. Com estes três elementos definidos, o sistema é então simulado computacionalmente, observando-se

os resultados complexos num nível *macro* surgidos a partir da modelagem realizada num nível *micro* (BONABEAU, 2002; MACY e WILLE 2002).

A modelagem baseada em agentes é muito utilizada em estudos exploratórios, com o objetivo de melhorar o entendimento de um fenômeno através de experimentações com regras e propriedades (WILENSKY e RAND, 2015). Os mesmos autores desenvolvem uma analogia entre a transição dos sistemas de numeração romanos para indo-arábicos ou o desenvolvimento da álgebra com a potencialidade da modelagem baseada em agentes. Os números indo-arábicos e a álgebra trouxeram inúmeros avanços à ciência, principalmente por trazer uma possibilidade de estudar os problemas de outra forma, trazendo uma nova perspectiva de representar nossos pensamentos e lógicas. A modelagem baseada em agentes ainda está em um estágio bastante inicial, mas é esta mesma potencialidade que ela e os modelos computacionais trazem (WILENSKY e RAND, 2015).

A principal potencialidade é que, neste tipo de modelagem, os comportamentos do sistema surgem *bottom-up*, ou seja, a partir da modelagem em um nível mais baixo se obtém os resultados finais, de modo emergente. É por este motivo que a MBA tem sido a principal ferramenta para se estudar e obter fenômenos emergentes (BONABEAU, 2002). E este é também um dos motivos pelo qual ela será utilizada neste estudo, já que a agrobiodiversidade é um fenômeno emergente, que é melhor entendida e analisada no nível comunitário ou de paisagem.

Uma das características da MBA é sua grande flexibilidade, possibilitando a inclusão de dinâmicas complicadas e bastante próximas da realidade. Este fator tem sido levantado como uma vantagem e um problema para a MBA (BONABEAU, 2002; SUN et al., 2016; WINDRUM et al., 2007). O grande desafio em sua utilização é encontrar a quantidade de parâmetros adequada, de modo que as dinâmicas sejam simples o suficiente para poderem ser entendidas em plenitude e complexas o suficiente para gerar comportamentos emergentes interessantes (SUN et al., 2016). Ou, dito de outra forma, seguindo a chamada Navalha de Einstein, “models should be as simple as possible but not simpler” (EVANS et al., 2012; SUN et al., 2016).

Segundo Bonabeau (2002), as principais situações onde a MBA é mais adequada e útil são: quando as interações entre os agentes são não lineares, complexas e discretas; quando a espacialidade tem um papel importante no sistema; quando a população é heterogênea; e quando a rede de interações é complexa (BONABEAU, 2002). Todas estes fatores estão presentes em sistemas agrícolas tradicionais e serão incorporados ao modelo:

as interações entre os agentes não são simples e lineares; a espacialidade afeta a rede de troca de sementes e há heterogeneidade de recursos no ambiente; os indivíduos têm características distintas como o prestígio e a habilidade na agricultura; a rede de troca de sementes é uma rede com topologia complexa, dependendo de diversos fatores e não se aproximando de uma rede regular ou aleatória.

5.2 *A Análise de Redes Sociais*

A outra metodologia utilizada conjuntamente à MBA será a análise e dinâmica de redes sociais. A utilização de redes juntamente com a MBA tem sido usada para modelar como ocorrem as interações entre os agentes, trazendo mais realidade ao modo como ocorrem as interações e possibilitando interessantes resultados (MACAL e NORTH, 2005; BONABEAU, 2002). A análise de redes sociais surgiu a partir de estudos matemáticos de grafos e têm sido muito utilizada em ciências sociais devido a sua importante contribuição a perguntas de cunho social e comportamental, trazendo novos conhecimentos através do estudo direto de como as relações sociais entre os indivíduos se apresentam (WASSERMAN e FAUST, 1994).

Uma rede é um conjunto de nós, ligações e uma função que mapeia as ligações a pares de nós (LEWIS, 2011; NEWMAN, 2010). No caso deste modelo serão utilizadas duas redes: a rede social local e a rede de troca de sementes. Na rede social local - utilizada aqui para se referir às redes de parentesco, compadrio e vizinhança internas à uma comunidade - cada nó será representado por uma unidade doméstica, já as ligações são as relações entre os agentes - relações de parentesco, compadrio e vizinhança. Nas redes de troca de sementes, os nós serão igualmente representados por uma unidade doméstica, e uma ligação representa uma troca de variedades - entendida aqui como a doação de material propagativo (maniva, semente), partindo de uma unidade doméstica e chegando em outra. Assim trabalharemos com uma rede não-direcionada - a rede social local -, que ocorre quando as ligações não têm um sentido preferencial e uma rede direcionada - a rede de troca de sementes -, que ocorre quando as ligações têm uma direcionalidade (NEWMAN, 2010; WASSERMAN e FAUST, 1994). Além disso a rede de troca de sementes também será dinâmica, ou seja, a rede é alterada com o tempo (LEWIS, 2011).

O principal modo de analisar as redes sociais formadas é através do cálculo de métricas que trarão informações sobre quais são os atores mais centrais e qual o tipo de topologia das redes (NEWMAN, 2010; WASSERMAN e FAUST, 1994). As métricas de centralidade indicam quais são os atores mais centrais na rede (Tabela 1). Cada métrica mede uma forma como esta centralidade se manifesta e, pode ser pensada como possuindo uma função distinta na rede (BUCKINGHAM et al., 2018). No modelo, as métricas de centralidade serão exploradas estudando o papel de cada métrica na difusão de variedades, estudando se atores mais centrais - segundo alguma das métricas - podem favorecer a difusão de novas variedades.

Tabela 1 – Métricas de centralidade utilizadas na simulação (BUCKINGHAM et al., 2018; NEWMAN, 2010; WASSERMAN e FAUST, 1994).

Métricas de Centralidade	Função	Descrição
Grau (<i>degree</i>)	Conectores	Mede o número de ligações do ator com outros nós da rede. Atores com maior número de ligações são considerados mais centrais.
Proximidade (<i>closeness</i>)	Divulgadores	Indica os atores que, com menos ligações, conseguem chegar aos outros atores e, portanto, disseminam recursos na rede com mais facilidade.
Intermediação (<i>betweenness</i>)	Ator-ponte	Identifica atores-chave que atuam como pontes, ligando componentes distintos das redes.
Auto-vetor (<i>eigenvector</i>)	Agente de mudança	Aponta os atores mais conectados aos nós centrais da rede. Atores que estão conectados com os atores mais importantes são mais centrais.

No modelo baseado em agentes utilizaremos três topologias na rede social local, variando entre três redes bastante utilizadas na análise de redes sociais, com seus respectivos algoritmos de construção (a) rede de mundo pequeno (*small-world*) e algoritmo de *Watts-Strogatz*, (b) rede livre de escala (*scale-free*) e algoritmo de *Barabási-Albert*, (c) rede aleatória e algoritmo de *Erdős-Rényi* (Figura 3). A rede aleatória será utilizada como comparativo e consiste simplesmente de uma rede com nós formados de forma aleatória. A rede de mundo pequeno têm como principal característica ser uma rede onde os nós estão próximos (em termos de quantidade de ligações) uns dos outros, também apresentando formação de *clusters*. Já a rede livre de escala, é caracterizada por possuir atores com centralidade muito elevada, com a distribuição de graus seguindo uma lei de potência. A

Figura 3 contém um exemplo das três redes utilizadas, e os algoritmos de construção das redes podem ser consultados em NEWMAN (2010) e WASSERMAN e FAUST (1994).

Figura 3 – Exemplo de redes de mundo pequeno, redes livre de escala e redes aleatórias. Adaptado de Huang et al. (2005).

Especificamente a rede de mundo pequeno têm sido largamente utilizada para modelar sistemas sociais (NEWMAN, 2010) e alguns autores indicam que a rede de trocas de semente têm propriedades de mundo-pequeno, apresentando grande conexão local, com algumas conexões de longa distância (COOMES et al., 2015; PAUTASSO et al., 2012). Assim, nas simulações apresentadas no capítulo 8 utilizamos principalmente redes de mundo-pequeno. O algoritmo de *Watts-Strogatz*, que produz redes de mundo pequeno, é construído a partir de uma rede regular e, variando um parâmetro (β), um indicador da aleatoriedade da rede, obtém-se a própria rede regular, a rede de mundo pequeno ou uma rede aleatória (Figura 4). Variações neste parâmetro também serão utilizadas no modelo para avaliar a influência da topologia das redes na agrobiodiversidade.

Figura 4 – Processo de formação de redes de mundo pequeno, um intermediário entre redes regulares e redes aleatória. Adaptado de Watts e Strogatz (1998).

5.3 Como medir a diversidade?

Para medir a diversidade agrícola, utilizaremos índices como indicadores da agrobiodiversidade local em uma comunidade. Estes índices foram formulados inicialmente em estudos ecológicos sobre a diversidade de espécies, contudo aqui serão adaptados e utilizados para se referir à diversidade de variedades nomeadas.

Cada índice foca um determinado aspecto da diversidade, e uma distinção entre categorias de medida são as chamadas medidas de riqueza (*richness*), equitatividade (*evenness*) e dominância (*dominance*) (MAGURRAN, 2013; MAURER e MACGILL, 2011). Medidas de riqueza quantificam de modo mais simples a quantidade de variedades, sem se preocupar em como está distribuída. O índice chamado simplesmente de riqueza é a métrica mais utilizada e consiste na contagem de variedades em um determinado ambiente. Métricas de riqueza são mais sensíveis à existência de variedades raras e não trazem informações sobre como ela está distribuída espacialmente. Medidas de equitatividade dão foco na diferença de abundância de cada espécie, sendo menores se a proporção n_i/N (onde n_i a quantidade da espécie i e N o espaço amostral) é mais desigual entre as espécies e maiores se ela é mais uniforme. Já medidas de dominância são de certa forma o oposto da categoria anterior, indicando o quanto as variedades mais abundantes dominam o sistema, sendo maiores quanto maior esta dominância.

Além do índice de riqueza, as outras duas métricas mais presentes na literatura são o índice de Simpson e o índice de Shannon, que avaliam tanto a riqueza quanto a equitatividade de variedades (MAGURRAN, 2013; MAURER e MACGILL, 2011). O índice de Simpson é mais sensível à equitatividade das variedades e parte da ideia de medir a variância da amostra, já o índice de Shannon vem da teoria da informação, e é também chamado de entropia de Shannon (MAURER e MACGILL, 2011).

As principais métricas são apresentadas na Tabela 2; estas métricas foram utilizadas na revisão bibliográfica, e algumas delas serão utilizadas também no modelo. Utilizaremos a mesma notação, onde p_i indica a proporção da variedade i , e N o número de indivíduos na amostra. Esta proporção é utilizada de diferentes formas na literatura, podendo significar a proporção de indivíduos dentro da amostra coletada, a área proporcional do cultivo e também a proporção de UDs cultivando uma variedade. Além disso, uma mesma métrica

pode ser utilizada em diferentes escalas, por exemplo em uma comunidade rural ou em uma unidade doméstica.

Tabela 2 – Métricas de diversidade (p_i é a proporção da variedade i) (BUCKINGHAM et al., 2018; NEWMAN, 2010; WASSERMAN e FAUST, 1994).

Nome	Categoria	Expressão	Descrição
Riqueza	Riqueza	S	Quantidade de variedades
<i>Simpson</i> ¹	Riqueza e equitatividade	$D_{Simpson} = 1 - D$, com $D = \sum_{i=1}^S p_i$	Valor complementar da probabilidade de sortear duas vezes a mesma variedade.
<i>Shannon</i>	Riqueza e equitatividade	$D_{Shannon} = -\sum_{i=1}^S p_i \log(p_i)$	Incerteza na previsão da variedade em um sorteio aleatório.
<i>Shannon Evenness</i>	Equitatividade	$D_{ShannonEv} = D_{Shannon}/\log(S)$	Valor normalizado do índice de <i>Shannon</i> .
<i>Berger-Parker</i>	Dominância	$D_{Berger-Parker} = p_1$ (maior p_i)	Dominância da variedade mais abundante.

No modelo, serão utilizados como indicadores principais de diversidade a riqueza de variedades na comunidade rural, e a riqueza média de variedades por unidade doméstica. Além disso, serão também utilizados o Índice de *Simpson*, o Índice de equitatividade de *Shannon* (*Shannon Evenness*) e o Índice de *Berger-Parker* - utilizados tanto na escala da comunidade como na unidade doméstica.

Há ainda uma outra divisão entre as métricas de diversidade, comumente utilizada na ecologia, as chamadas diversidade α , β e γ (MAGURRAN, 2013). A diversidade γ é a diversidade total de um sistema e pode ser decomposta em duas componentes independentes, a diversidade α , que é uma medida da diversidade local (uma escala espacial menor do que o sistema), e a diversidade β , que mede a diferença das espécies ou variedades entre os locais (MAGURRAN, 2013). Neste estudo a diversidade γ pode ser entendida como a diversidade na escala da comunidade, a diversidade α como a diversidade média na escala da UD e a diversidade β como uma medida de quão diferentes são as variedades presentes em cada UD.

Há um grande debate na literatura sobre a representatividade de cada um destes índices, bem como em qual situação usar cada um deles (MAGURRAN, 2013). Os índices

¹ O índice de *Simpson* foi originalmente utilizado como o número D , contudo, como esse valor cresce quando a distribuição é mais desigual, é necessário inverter esta relação. Na literatura, por vezes utiliza-se $1/D$ ou $-\ln(D)$, contudo, na maioria dos artigos citados neste trabalho é utilizado o valor $1-D$, sendo esta a definição aqui utilizada.

acima foram selecionados pois trazem diferentes informações a respeito da diversidade no sistema e também porque são os índices mais presentes na literatura, favorecendo a validação dos resultados do modelo.

5.4 *Validação do Modelo*

Dada a enorme flexibilidade da modelagem baseada em agentes, diversos modelos, com resultados bastante distintos podem ser produzidos, e estes não necessariamente trazem informações relevantes. Por este motivo é essencial que os resultados do modelo sejam validados teórica e empiricamente (SAYAMA, 2015; WINDRUM et al., 2007). Contudo, as dificuldades de validação são muitas, e normalmente faltam dados para calibrar o modelo e, em alguns casos, não existe uma situação exata que represente o modelo. A validação do modelo neste trabalho será realizada através de dois métodos principais: validação teórica, avaliando a consistência e coerência interna do modelo e uma comparação com dados secundários de estudos de caso coletados na literatura, abrangendo dados qualitativos e quantitativos. Assim, a validação será feita de modo similar ao nomeado por Windrum et al., (2007) como abordagem de calibração indireta.

A revisão bibliográfica de estudos de caso de sistemas agrícolas tradicionais envolveu artigos que investigam a agrobiodiversidade das três espécies consideradas neste estudo: mandioca, milho e batata. O objetivo da revisão foi fornecer dados qualitativos e quantitativos para a produção e calibração do modelo, bem como trazer subsídios para a validação do mesmo. Envolveu, assim, tanto dados quantitativos da riqueza de variedades, quanto fatos estilizados, representações simplificadas de relações e resultados empíricos.

Os estudos de caso foram coletados através de uma revisão realizada através de buscas no banco de dados do Web of Knowledge, sem restrições no ano de publicação. Foram utilizadas como palavras-chave: “(cassava OR manioc) AND (landrace OR local variety OR folk) AND (diversity OR agrobiodiversity)”, “(potato) AND (landrace OR local variety OR folk) AND (diversity OR agrobiodiversity)” e “(maize) AND (landrace OR local variety OR folk) AND (diversity OR agrobiodiversity)”. Foram então selecionados artigos que continham informações sobre a diversidade de cultivos, na escala de comunidades em povos agricultores, e com dados de variedades nomeadas. Além disso, foram utilizados somente artigos que trouxeram dados sobre sistemas agrícolas tradicionais e no continente

Americano, envolvendo principalmente: Amazônia para a mandioca, Andes para a batata, e a região Mesoamericana para o milho.

As informações buscadas nos artigos foram: localização e nome das comunidades, etnia, data de coleta, número de informantes, número de variedades na comunidade, número de variedades médio por UD, desvio padrão do número de variedades médio por unidade doméstica (UD), número de variedades mínimo por UD, número de variedades máximo por UD, índices de *Shannon*, *Simpson* e *Berger-Parker*. Além disto, quando disponibilizado, foi coletado o número de unidades domésticas cultivando cada variedade e o número de variedades que cada unidade doméstica cultivava. Ressaltamos porém, que apesar de havermos focado em informações por comunidade, alguns artigos apresentaram somente dados agrupados de várias comunidades e, neste caso, eles foram igualmente considerados para a construção do banco de dados. Além dos artigos levantados através da revisão sistemática, a bibliografia que já havia sido trabalhada no relatório de qualificação foi incluída quando se adequava aos critérios estabelecidos acima e apresentava as informações buscadas. Por fim, foram colhidas informações qualitativas de alguns artigos, com o objetivo de identificar dinâmicas, feedbacks e correlações entre elementos dos sistemas sócio-ecológicos e a quantidade de variedades existentes. Estes dados foram utilizados tanto para a construção, quanto para a validação do modelo.

6 Estudos de Caso

O número de artigos levantado e o número de artigos utilizados são mostrados na Tabela 3. A maior parte dos artigos envolve locais com comunidades indígenas (21), 11 tratam de comunidades tradicionais, 4 tratam de populações mistas (tradicional e indígena) e 32 não informaram. Todos os casos levantados estão no continente Americano, com relativa proximidade ao centro de origem em questão, conforme mostra a Figura 5, com os locais aproximados dos estudos de caso levantados.

Tabela 3 – Número de artigos produzidos pela busca e número de artigos utilizados por espécie.

Espécie	Número de artigos produzidos pela busca	Número de artigos utilizados
Milho	521	32
Mandioca	80	22
Batata	145	9

Figura 5 – Localização dos estudos de caso levantados. Cada ponto representa o local do estudo de caso. Artigos com mais de uma comunidade apresentam mais de um ponto quando este dado foi disponibilizado pelo autor.

Entre os artigos de revisão que sistematizaram dados coletados em diversos sistemas agrícolas, destacamos Jarvis et al. (2008), que apresentam dados coletados por colaboradores em 25 comunidades, em 8 países, e abrangendo a agrobiodiversidade de 27 espécies. Além disto, Dyer et al. (2014) e Dyer et al. (2018) sistematizaram 37 artigos com dados sobre a agrobiodiversidade de milho. Os dados apresentados nestes dois últimos artigos foram incluídos no banco de dados, sendo que dos 32 artigos coletados sobre a agrobiodiversidade de milho, 19 vieram de Dyer et al. (2014) e Dyer et al. (2018). Emperaire (2001) realizou uma revisão bibliográfica sobre a agrobiodiversidade de mandioca, sistematizando informações sobre 45 artigos, muitos deles mais antigos e baseados em estudos antropológicos.

A seguir são mostrados os resultados por espécie e posteriormente os dados agrupados envolvendo as três espécies. Os dados brutos são apresentados no Anexo A.

6.1 *Mandioca*

Os estudos de caso utilizados têm como base principalmente pesquisas realizados na Amazônia, abrangendo territórios no Brasil, Peru, Venezuela, Colômbia, Guiana e Guiana Francesa. Além disso, há um artigo no Cerrado (no estado do Mato Grosso) e dois na Mata Atlântica (envolvendo populações caiçaras no litoral brasileiro). Para a mandioca foi encontrado o maior número de artigos que possuíam todas as informações buscadas.

A Figura 6 mostra a relação entre o número de variedades na comunidade e o número médio de variedades por unidade doméstica. A maior parte das comunidades apresentou um número de variedades menor do que 15. Já o número médio de variedades por UD foi menor do que 6 na maioria dos casos. Como era de se esperar, o número de variedades na comunidade está positivamente correlacionado com o número médio de variedades por unidade doméstica, com um coeficiente de correlação de 0,69. Foi realizado um ajuste linear entre os dados, resultando em um coeficiente linear de $3,03 \pm 0,17$, com significância dado pelo *p-valor* de $Pr(> |t|) < 1e - 28$. Este coeficiente linear é uma medida da diversidade β do sistema (a razão da diversidade total γ e a diversidade local α), quanto maior o seu valor maior a diferença entre as variedades presentes em cada UD. Destacam-se pela grande quantidade de variedades os casos coletados em Pinton e Emperaire (2001)

em comunidades indígenas no médio e alto Rio Negro, e o caso estudado em Elias et al. (2000), entre indígenas Makushi em Rewa, na Guiana.

Histogramas do número de variedades na comunidade e do número médio de variedades por unidade doméstica são apresentados na Figura 7. Neles pode-se perceber a grande dispersão dos dados, indicados pelo desvio padrão da mesma ordem de grandeza que a média.

Figura 6 – Número de variedades de mandioca por comunidade X Número médio de variedades de mandioca por unidade doméstica (na mesma comunidade).

Figura 7 – Histograma da agrobiodiversidade de mandioca.

- (a) Número de Variedades na Comunidade. Média = $22,06 \pm 21,38$ (b) Número Médio de Variedades por UD. Média = $6,42 \pm 6,28$

O diagrama de caixas com a quantidade de variedades cultivadas por unidade doméstica é apresentado na Figura 8. O diagrama de caixas mostrado na Figura 9, mostra a porcentagem de UD's cultivando cada variedade. Esta figura confirma o indicado na

literatura (EMPERAIRE E PERONI, 2007; LIMA et al., 2012) sobre uma grande quantidade de variedades ser cultivada por poucas unidades domésticas e algumas variedades presentes na maior parte delas.

Figura 8 – Diagrama de caixas do número variedades de mandioca cultivado por unidade doméstica.

Figura 9 – Diagrama de caixas da presença das variedades de mandioca nas UD. Uma presença de 100% significa que a variedade está em todas UD da comunidade.

Os índices de diversidade na escala da unidade doméstica e da comunidade são mostrados na Figura 10 e Figura 11. A média do índice de *Simpson* por unidade doméstica foi de $0,44 \pm 0,17$, enquanto a média para o índice de Shannon foi de $0,81 \pm 0,36$. Já no nível da comunidade, o valor do índice de *Simpson* foi $0,80 \pm 0,12$, enquanto o índice de *Shannon* normalizado (*Shannon Evenness*) foi de $0,75 \pm 0,11$ e o índice de *Berger-Parker* $0,30 \pm 0,02$. Em todos os casos a incerteza mostrada foi calculada pelo desvio padrão da amostra. Alguns destes valores foram calculados a partir de poucos artigos, portanto sua validade é limitada.

Figura 10 – Índices de diversidade de mandioca na escala da unidade doméstica.

Figura 11 – Índices de diversidade de mandioca na escala da comunidade.

Os dados qualitativos sobre a diversidade de mandioca são mostrados na Tabela 4. Com destaque para a importância de variedades raras, mantidas por poucos ou apenas um agricultor, a importância e a forma de funcionamento da rede de troca de sementes e como elementos biológicos e culturais se relacionam com a agrobiodiversidade.

Tabela 4 – Informações qualitativas sobre a agrobiodiversidade de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Dados de artigos selecionados do levantamento bibliográfico.

Fonte	Informações Qualitativas
Elias et al. (2000)	As variedades raramente são descartadas, mesmo sendo pouco produtivas; neste caso elas são cultivadas em menor quantidade. Uma variedade “ruim” pode virar “boa” no futuro.
	Secas, enchentes severas ou insetos (formigas por exemplo) são situações recorrentes que levam à perda de variedades, principalmente aquelas plantadas em menor quantidade ou por poucas UD.
	Variedades são também selecionadas por seu valor culinário, estético ou de processamento, mas isto varia bastante de agricultor para agricultor.
	Há dois tipos de trocas: massiva e ocasional. Na massiva são trocadas várias estacas de poucas variedades para a abertura de uma nova roça. Na troca ocasional, quando visitando vizinhos, amigos ou parentes são trocadas uma ou duas estacas.
	Algumas UD atuam como fonte (<i>source</i>) de variedades, fornecendo para diversos agricultores e outras como receptoras (<i>sink</i>), sempre dependendo das trocas.
	Alguns agricultores são mais propensos a fazer trocas e outros são receosos e não realizam trocas.
Emperaire e Peroni (2007)	Importância da dimensão individual: 30 a 65% das variedades são mantidas por apenas um agricultor no alto e médio Rio Negro, e 37 a 53% no litoral de São Paulo.
	Diversidade não pode ser interpretada somente em termos da estabilidade na produção, elementos culturais também são fundamentais (sucessão geracional por exemplo).
Fraser et al. (2012)	Foram examinados 4 tipos de solo em 6 localidades e foram observadas diferenças significativas nas variedades cultivadas em cada tipo de solo.
	Principais variedades têm produtividade diferente em cada tipo de solo.
Lima et al. (2012)	Dentre as variedades coletadas a porcentagem de variedades cultivada por apenas um agricultor foi de 7% em 2003-2005 e 26% em 2010-2011.
	As comunidades com maior riqueza de variedades são aquelas onde há mais variedades cultivadas exclusivamente por um agricultor.
	Mantendo a mesma riqueza média, as variedades são trocadas e há períodos de popularidade para algumas variedades.
	A força que mais leva agricultores a renovar seu estoque de manivas é a ocorrência de enchentes grandes, que destroem os estoques de manivas.
	A maioria das variedades é plantada apenas em terra firme ou várzea.
	Não há correlações significativas entre número de variedades cultivadas e o tamanho da roça, idade do agricultor ou rendimento agrícola.
Kawa et al. (2013)	Agricultores percebidos como mais habilidosos e conhecedores de mandioca são mais centrais na rede de troca e plantam roças maiores de mandioca.
	Não há correlação entre centralidade na rede e plantar mais variedades: maior doador pode ter poucas variedades e doar sempre as mesmas, reduzindo a diversidade.
Peña-Venegas et al. (2014)	Há alta coincidência de variedades nomeadas e análise genética, com 87% dos morfotipos sendo considerados geneticamente diferentes.
	Foram observadas diferenças entre os grupos étnicos estudados. A dinâmica social é apontada como principal explicação. A relação de identidade de certas variedades com certos grupos étnicos ajuda a explicar isto.

6.2 Batata

Para este cultivo foi encontrado um número bem menor de artigos que atendia aos critérios utilizados. Isto dificultou a extração de informação e a obtenção de um panorama geral mais significativo. Para a batata há uma separação menos clara entre as espécies, sendo que diversas espécies são denominadas pelo nome comum batata. A mais conhecida e utilizada espécie é a *Solanum tuberosum*, porém outras também se destacam, como a *Solanum stenotomum*, *Solanum phureja* e *Solanum chaucha* (BRUSH et al., 1981). Alguns dos estudos levantados consideram somente a *Solanum tuberosum*, enquanto outros incluem outras espécies que também são chamadas de batatas pelos agricultores. Na Figura 12 pode-se notar uma grande quantidade de variedades, tanto por comunidade quanto valor médio por unidade doméstica. Devido à menor quantidade de dados não foi realizado o cálculo do coeficiente de correlação ou a tentativa de ajuste linear nos dados.

Figura 12 – Número de variedades de batata na comunidade X Número médio de variedades de mandioca por unidade doméstica.

Pode-se notar na Figura 13, onde são apresentados os histogramas do número de variedades na comunidade e do número de variedades médio por unidade doméstica, que há uma grande quantidade de variedades de batata, maior que para as outras duas espécies estudadas (mandioca e milho). Velásquez-Milla et al. (2011), estudando a região de Cajamarca e Huánuco, no Peru, chegaram a contabilizar unidades domésticas com até

289 variedades de batata e uma média de 132 variedades na comunidade. Contudo, estes números se referem a dados agregados de quatro anos, e não são apresentados os dados brutos (portanto, este artigo não foi incluído no banco de dados).

A Figura 14 apresenta os diagramas de caixa para a agrobiodiversidade de batata. A pequena quantidade de dados dificulta a retirada de informações mais precisas sobre a agrobiodiversidade da batata, mas pode-se notar uma menor dispersão nos dados quando comparado ao milho e a mandioca.

Figura 13 – Histogramas da agrobiodiversidade de batata (*Solanum* sp.).

- (a) Número de Variedades na Comunidade. Média = $102,71 \pm 114,91$ (b) Número Médio de Variedades por UD. Média = $9,66 \pm 6,81$

Figura 14 – Diagrama de Caixa da agrobiodiversidade de batata (*Solanum* sp.).

- (a) Diagrama de caixas do número variedades cultivado por unidade doméstica. (b) Diagrama de caixas da presença das variedades de batata nas UD's. Uma presença de 100% significa que a variedade está em todas UD's da comunidade.

Os artigos do levantamento bibliográfico para a batata não utilizavam índices de diversidade além da riqueza, assim estes dados não são apresentados. Na Tabela 5 são mostradas as informações qualitativas sobre a diversidade de batata, com destaque para a importância da altitude, a existência de variedades raras, cultivadas por poucos ou um agricultor e relações da agrobiodiversidade com a quantidade de terra disponível.

Tabela 5 – Informações qualitativas sobre a agrobiodiversidade de batata (*Solanum tuberosum*). Dados de artigos selecionados do levantamento bibliográfico.

Fonte	Informações Qualitativas
Brush et al. (1981)	A seleção de variedades está relacionada primariamente com características culinárias, mas questões biológicas e agronômicas também têm importância.
	Há distinção entre variedades cultivadas em locais de altitudes elevadas e mais baixas.
	Existem variedades bastante populares, cultivadas numa área de milhares de quilômetros quadrados, por praticamente todos agricultores.
Brush et al. (1992)	Variedades cultivadas em menor frequência têm maior chance de serem perdidas.
	Nos dois locais estudados, 29% e 57% das unidades domésticas realizaram trocas de sementes nos últimos 5 anos.
	Certos agricultores atuam como reservatórios da diversidade, intencionalmente conservando variedades raras.
	Quantidade de variedades decresce com a área destinada a variedades melhoradas.
	Grande quantidade de variedades são incomuns ou raras.
Haan (2009)	A hipótese de variedades adaptadas para um nicho ecológico específico não foi observada, em geral as variedades eram versáteis em muitos ambientes. Contudo, em altas altitudes algumas variedades específicas estão melhor adaptadas.
	Possivelmente a grande quantidade de variedades é utilizada para lidar com o stress abiótico (por exemplo geadas e granizo).
	Diferença no manejo e agrobiodiversidade entre comunidades é relacionada principalmente à quantidade de terra disponível, densidade populacional, nível de integração ao mercado e tradição no cultivo de batata.
	Diferenças no manejo e na agrobiodiversidade intra-comunidade estão relacionados à capacidade do agricultor de mobilizar e acessar recursos como trabalho, terra e capital financeiro.
	Misturas de cultivares (<i>chagru</i>) são intencionalmente utilizadas em ambientes de risco devido à sua tolerância e resistência a ambientes extremos.
	Em anos sem eventos regionais extremos as trocas são menos frequentes e, quando ocorrem, são trocados menos materiais.
Velásquez-Milla et al. (2011)	Comunidades em regiões altas ou com muitas variedades atuam como exportadoras de sementes para a região.
	Pestes, mudanças climáticas e degradação do solo foram consideradas pelos agricultores como os principais fatores ecológicos limitando a manutenção da diversidade de variedades tradicionais.
	Grande assimetria no número de variedades cultivadas por UD e muitas variedades cultivadas por apenas uma ou por poucas unidades domésticas.
	Maior diversidade de batata associada com área cultivada, identificação cultural com elementos tradicionais, grau de auto-suficiência, existência de maior diversidade de altitude e tamanho da família.

6.3 Milho

O milho se diferencia das outras duas espécies estudadas por se propagar de modo sexuado (BELLON E BRUSH, 1994). A planta do milho é monóica, isto é, possui os dois sexos na mesma planta, separados em inflorescências diferentes. A morfologia das inflorescências evita que ocorra autofecundação, de forma que a polinização é cruzada, e ocorre por anemocoria, principalmente (BELLON E BRUSH, 1994). O milho possui, além da divisão em variedades, uma divisão de raças, que é uma categoria mais ampla e vinda da ciência. As raças são “‘well-defined’ entities with a significant number of genes in common” (DYER et al., 2018, p. 3), incluindo diversas variedades. Alguns estudos de caso sobre o milho se focam sobre a diversidade de raças (ver DYER et al., 2018 para uma discussão deste ponto), contudo, aqui seguiremos utilizando a noção de variedades nomeadas.

Da mesma forma como ocorre com a mandioca, pode-se notar na Figura 15 que na maioria dos locais investigados na literatura existem poucas variedades por unidade doméstica (1-2) e na comunidade (< 10). Foi observado uma correlação positiva de 0,67 entre o número de variedades na comunidade e o número de variedades por unidade doméstica. No ajuste linear aos dados, foi obtido a diversidade β de $4,65 \pm 0,34$, com a significância do ajuste dada pelo p -valor de $Pr(> |t|) < 1e - 13$. Os números por comunidade e por unidade doméstica são menores que as duas outras espécies (mandioca e batata), que são propagadas principalmente de forma assexuada.

Figura 15 – Número de variedades de milho na comunidade X Número médio de variedades de milho por unidade doméstica.

Os histogramas mostrados na Figura 16 mostram uma grande dispersão, embora menor a da mandioca e, assim como já se observa na Figura 15, os valores e a média de variedades por comunidade e por UD são também menores.

Figura 16 – Histograma da agrobiodiversidade de milho.

(a) Número de Variedades na Comunidade. Média = $12,03 \pm 6,49$.

(b) Número Médio de Variedades por UD. Média = $2,03 \pm 0,75$

Para o milho não foi encontrado nenhum artigo que apresentasse os dados integrais do número de variedades cultivadas por unidade doméstica. Já os dados sobre a porcentagem de unidades domésticas que cultivava cada variedade é mostrado na Figura 17, mostrando novamente que a maior parte das variedades é cultivada por poucas unidades domésticas.

Além disto, neste caso também existem menos variedades que têm uma ocorrência ampla, sendo cultivadas na maior parte das unidades domésticas.

Figura 17 – Diagrama de caixas da presença das variedades de milho nas UD. Uma presença de 100% significa que a variedade está em todas UD da comunidade.

Apenas dois artigos do levantamento bibliográfico apresentaram os índices de diversidade da forma procurada, Gómez et al. (2000) calculou estes índices, porém utilizou raças e não variedades nomeadas para tal, assim não sendo considerado. Os índices de diversidade na escala da unidade doméstica e da comunidade são mostrados na Figura 18. A média do índice de Simpson por unidade doméstica foi de $0,29 \pm 0,12$, enquanto o único índice de Shannon foi de 0,74, ambos números menores do que os encontrados para a mandioca. Já no nível da comunidade, o valor do índice de *Simpson* foi $0,53 \pm 0,14$, igualmente menor que o valor encontrado para mandioca. Todos estes valores foram calculados a partir de amostras pequenas, portanto sua validade é limitada.

Figura 18 – Índices de diversidade de milho.

Na Tabela 6 são mostradas as informações qualitativas relativas à agrobiodiversidade de milho, com destaque para a conexão entre diversidade agrícola e diversidade étnico-cultural, a relação de elementos biológicos e culturais com a agrobiodiversidade e estudos sobre a introdução de variedades melhoradas geneticamente.

Tabela 6 – Informações qualitativas sobre a agrobiodiversidade de milho (*Zea mays*). Dados de artigos selecionados do levantamento bibliográfico.

Fonte	Síntese
Bellon e Brush (1994)	Em um único local de trabalho, vários tipos de solo podem estar presentes, e diversas raças e variedades de milho são cultivados em cada um deles.
	A adição de novas variedades ocorre por dois fatores: incorporação de híbridos que ocorrem naturalmente ou aquisição por troca de variedades de locais distantes.
	Variedades são perdidas quando: agricultores deixam de plantar a variedade, há necessidade de vender todo o milho ou é feito um cálculo errado da quantidade a ser guardada.
	Apesar da perda de variedades antigas com a chegada das variedades melhoradas, o processo não foi simples e as variedades novas convivem com as antigas na maioria dos locais.
Perales et al. (2005)	Como em outros estudos no México, diversos critérios de seleção são utilizados, mas a produtividade é o principal fator.
	Foram observadas diferenças morfológicas e agrônômicas das variedades cultivadas pelos dois grupos étnicos. Hipótese apresentada: devido à necessidade de obtenção de informação confiável sobre as sementes, os agricultores acabam preferindo variedades locais internas à etnia, contribuindo para separar as variedades por grupos etnolinguísticos.
Orozco-Ramirez et al. (2016) e Orozco-Ramirez e Astier (2017)	A manutenção da utilização de variedades locais está principalmente relacionada ao auto-consumo e a fortes preferências culturais por características não presentes nas variedades melhoradas.
	De acordo com os agricultores, a manutenção de uma grande quantidade de variedades acontece principalmente devido ao uso específico de cada variedade.
	Agricultores gostam de experimentar novas variedades e a maior parte delas entram nas vilas através de vilas vizinhas.
	Para a estruturação da agrobiodiversidade a diferença etnolinguística é igualmente ou mais importante que a diferença no ambiente.
	A altitude não foi observada como um estruturante da diversidade.
Fenzi et al. (2017)	Houve crescimento no número de variedades de ciclo curto.
	Grande dependência entre o tipo de solo e a distribuição de variedades cultivadas.
	Apesar da introdução de variedades melhoradas a 12 anos, a agrobiodiversidade não se reduziu e as variedades tradicionais continuam sendo cultivadas com grande diversidade.

6.4 Dados agrupados

A batata apresentou os maiores níveis de agrobiodiversidade no nível da comunidade e UD (Tabela 7), contudo o número de artigos coletado sobre a batata foi bem menor que as duas outras espécies e pode não ser representativo da realidade. Segundo o levantamento

da literatura, o milho apresentou uma quantidade menor de variedades tanto no nível de comunidade, quanto no nível da unidade doméstica, concordando com Jarvis et al. (2008) sobre a ocorrência de uma menor diversidade de variedades em espécies de reprodução sexuada. A mandioca foi a espécie que apresentou mais estudos de caso, e os dados mostram uma grande quantidade de variedades por comunidade e por unidade doméstica. Para os outros índices de diversidade há menos informação, contudo, segundo os dados coletados, a diversidade de mandioca é melhor distribuída que a diversidade de milho, tanto na escala da comunidade, quanto na escala da unidade doméstica (Tabela 7). Na Figura 19, é mostrada em um mesmo plano a riqueza nas duas escalas, para as três espécies coletadas.

Tabela 7 – Índices de Diversidade coletados nos estudos de caso envolvendo Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz.), Milho (*Zea mays* L.) e Batata (*Solanum* sp.).

Índice	Mandioca	Batata	Milho
Riqueza na Comunidade	22 (21)	102 (114)	12,0 (65)
Riqueza Média por UD	6,4 (63)	9,7 (68)	2,03 (75)
Riqueza - Diversidade β	3,03 (17)	—	4,65 (34)
Berger-Parker Comunidade	0,30 (2)	—	—
Simpson Comunidade	0,80 (12)	—	0,53 (14)
Shannon Evenness Comunidade	0,75 (11)	—	—
Simpson UD	0,44 (17)	—	0,29 (12)
Shannon Evenness UD	0,81 (36)	—	0,74

Figura 19 – Número de variedades por comunidade X Número médio de variedades por unidade doméstica. Dados sobre Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz.), Milho (*Zea mays* L.) e Batata (*Solanum* sp.).

Para as três espécies, foram relatados como importantes na dinâmica da agrobiodiversidade alguns elementos comuns, com destaque para três fatores bastante citados: (1) a existência de diferentes variedades para diferentes altitudes, tipos de solo e grupos etnolinguísticos, (2) a grande quantidade de variedades raras, mantidas por poucos, ou um, agricultor, chegando a até 65,2% das variedades presentes em uma comunidade (EMPÉRAIRE e PERONI, 2007) e (3) o papel de eventos adversos como enchentes, secas, pestes e doenças. Há divergências quanto a estes elementos e não são todos lugares que apresentam estas relações, contudo, a presença destes para três espécies de regiões distintas é um indicativo de que estes podem ser generalizáveis em algum grau.

7 O Modelo

O objetivo do modelo desenvolvido é elaborar dinâmicas simples baseadas na revisão bibliográfica apresentada nos capítulos anteriores - principalmente o subcapítulo 3.4 e 6 - e que possuam resultados similares aos estudos de caso mostrados no capítulo 6. A partir do modelo foram estudadas variações nos seus parâmetros e mecanismos, de modo a explorar o papel das dinâmicas biológicas, sociais e de seleção de cultivos na agrobiodiversidade.

O modelo foi construído principalmente através da literatura referente ao manejo e diversidade de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), milho (*Zea mays*) e batata (*Solanum tuberosum*). Apesar disso, ele foi pensado como um modelo generalista (SUN et al., 2016), que pode ser aplicado em outros contextos através da alteração de parâmetros ou de pequenas modificações no modelo. Os termos utilizados no contexto do modelo são pensados apenas como analogias com conceitos da realidade ou de teorias da literatura, e assim, não devem ser interpretados em um sentido estrito. Utilizaremos palavras em *itálico* quando se tratarem de termos utilizados dentro do contexto do modelo.

O modelo foi desenvolvido em C++ e os gráficos foram feitos em Julia. O código do modelo está disponível no GitHub, e pode ser acessado no endereço: <https://github.com/vitorhirata/project-agrobio>.

7.1 Visão Geral do Modelo

No modelo, trabalhamos no contexto de uma comunidade rural. Nesta comunidade existem unidades domésticas (UDs) que controlam quais variedades são cultivadas em cada *fragmento de terra* e que trocam variedades entre si. O *fragmento de terra*, a menor escala do modelo, representa uma área da roça. Em cada *fragmento de terra* há uma certa quantidade de *recursos bioquímicos*, necessários para o desenvolvimento do cultivar, e pode haver apenas um indivíduo do cultivar, portanto apenas uma variedade. A Figura 20 mostra um diagrama destas escalas.

Figura 20 – Diagrama das escalas do modelo.

Os agricultores têm amplo conhecimento sobre as variedades cultivadas e possuem preferência por determinadas variedades do cultivar em questão. A listagem e ranqueamento das variedades segundo um determinado critério de seleção é uma das práticas presentes na literatura para avaliar o manejo e seleção de variedades (BELLON, 1996; JACKSON et al., 1980). Brush (2004) agrupa os critérios de seleção de variedades em três categorias: produtividade, qualidade (que engloba gosto, qualidades para cozimento e processamento, armazenamento, cor, aparência e demanda do mercado), e risco percebido. Neste modelo partiu-se da ideia que os agricultores ranqueiam as variedades que preferem segundo um determinado critério. Além disso, utilizamos os dois primeiros critérios propostos por Brush - produtividade e qualidade - para definir como as UD's selecionam as variedades que vão plantar.

O primeiro elemento, a produtividade, é um elemento essencial para a seleção de sementes (BELLON, 1996; BRUSH, 2004). A produtividade é determinada principalmente pela adaptabilidade do cultivo ao ambiente e pelas características próprias do cultivar. No modelo a *produtividade* será calculada através da Equação de Monod, apresentada na seção 4.5. A Equação de Monod estabelece que o crescimento populacional de uma espécie em um dado ambiente depende apenas do recurso limitante para o crescimento desta espécie (LEGOVIĆ e CRUZADO, 1997; DE SOUZA JÚNIOR et al., 2014). Aqui utilizamos esta equação para as variedades agrícolas, e consideramos seu crescimento populacional como equivalente à produtividade, já que ambos são uma medida da adaptabilidade ao ambiente e da necessidade de recursos do cultivar em questão.

O critério que envolve a qualidade da variedade foi aqui nomeado de *adequação da qualidade*. Este critério foi implementado de uma maneira simples: uma *qualidade* é representada por um número entre 0 e 1, e ao calcular a distância entre a *qualidade da variedade* e a *qualidade desejada pela UD*, também um número entre 0 e 1, tem-se uma quantificação da *adequação da qualidade*. No modelo considerou-se que uma variedade tem apenas uma *qualidade* e a UD têm apenas uma *qualidade desejada*.

Estes critérios são então agrupados no que denominamos *pontuação da variedade*. A pontuação é calculada através de uma ponderação entre a *produtividade* e a *adequação da qualidade*. É através desta pontuação que as UD's decidem qual variedade plantar; ela também será importante na dinâmica de troca entre as UD's.

A seleção de variedades ocorre internamente à UD, que se utiliza da pontuação para fazer sua escolha, e foi feita de modo similar ao indicado por Elias et al. (2000) ao estudarem a diversidade de mandioca entre o povo Makushi, na Guiana. Segundo Elias et al. (2000, p. 254) “a variety is rarely discarded, even if it is not very productive. Low-yielding, rare varieties are simply kept at low density (i.e. one or two mounds per farm)”. As autoras complementam dizendo que os Makushi preferem não descartar uma variedade apenas por ser “ruim” no momento, já que ela pode se tornar “boa” em outras condições. Apesar disso, as autoras reconhecem que variedades raras são mais vulneráveis à perda, seja intencional ou não intencional. Desta forma, no modelo, variedades com alta *pontuação* são mantidas em maior quantidade, enquanto variedades de *pontuação* baixa são mantidas em menor quantidade, sendo eventualmente descartadas caso sua *pontuação* seja substancialmente mais baixa.

Bellon e Brush (1994), em estudo sobre o milho no Chiapas Central, apontam que uma das fontes de perda de variedades são erros de cálculos com relação a quantas sementes guardar. Também Elias et al. (2000) indicam que secas, enchentes severas ou insetos são situações recorrentes que levam à perda de variedades, e que, além disso, também podem ocorrer perdas por escolha deliberada ou um manejo ruim do espaço. Assim, a morte de variedades é influenciada por fatores ambientais e pelas habilidades do agricultor, estando também fortemente influenciada por fatores estocásticos. No modelo, simplificando-se os fatos acima, foi considerado que a morte ocorre de modo estocástico, não dependendo de qualquer outro fator. Apesar disso, a influência do agricultor na ocorrência de perdas será brevemente discutida em uma modificação do modelo.

A *troca*, por sua vez, ocorre sobreposta à uma *rede social prévia*, já que em sistemas agrícolas tradicionais ela se dá dentro de estruturas sociais preexistentes, principalmente dentro de redes de parentesco, compadrio e vizinhança (ABIZAID et al., 2016; LECLERC e COPPENS D'EECKENBRUGGE, 2012). A extensão geográfica das redes de troca varia de local para local. As trocas podem ocorrer majoritariamente dentro da comunidade (PERALES et al., 2003b; ELIAS et al., 2000; EMPERAIRE e PERONI, 2007) ou a troca intercomunidades pode ter uma importância maior (ABIZAID et al., 2016; EMPERAIRE e PERONI, 2007). Como esse trabalho foca na escala da comunidade, a troca foi modelada diretamente apenas dentro da comunidade.

Na dinâmica de troca partimos da ideia que certas UD's são buscadas por agricultores de outras UD's para realizar uma troca. Essas UD's possuem mais prestígio social na comunidade e atuam como fonte (*source*) de variedades. Isto foi feito devido a estudos da centralidade de algumas famílias em redes de trocas de sementes, o que indica que certas UD's são significativamente mais procuradas (ABIZAID et al., 2016; KAWA et al., 2013), e também devido à existência de uma organização em *sink-source* relatadas em alguns estudos de caso (ALVAREZ et al., 2005; ELIAS et al., 2000; KAWA et al., 2013). Conforme tratado no subcapítulo 3.4.2, são inúmeros os motivos apontados para certas UD's serem mais centrais na rede de troca de sementes. Aqui optamos por considerar um princípio simples, considerando que o prestígio está relacionado ao sucesso da UD em atingir seus critérios de seleção, ou seja, a *pontuação da UD*. Esta *pontuação* é baseada na média de *pontuação* das variedades presentes na UD, considerando também quanto é cultivado de cada variedade. A *pontuação da UD* torna então UD's com maior *pontuação* fontes de variedades na comunidade, enquanto UD's com menor pontuação atuam principalmente como receptoras.

Além disso, o modelo admite o surgimento de novas variedades, de modo a considerar a troca de variedades com pessoas de fora da comunidade (ABIZAID et al., 2016; EMPERAIRE e PERONI, 2007) e novas variedades produzidas através da reprodução sexuada (BELLON e BRUSH, 1994; ELIAS et al., 2001b; MCKEY et al., 2010a). Estes dois elementos são de grande importância para o sistema e são as principais formas de introdução de novas variedades na comunidade. No modelo, a introdução de novas variedades se dá de modo estocástico - há uma probabilidade de surgir uma nova variedade em um determinado local.

7.2 Pressupostos

Abaixo são listados os pressupostos que estão contidos no modelo elaborado. Eles podem parecer limitantes quando comparados com a realidade, contudo foi avaliado que eram capazes de sintetizar aspectos centrais sobre a dinâmica da agrobiodiversidade em Sistemas Agrícolas Tradicionais.

1. As unidades domésticas selecionam seus cultivos e realizam trocas com base em um ranqueamento de variedades mais adequadas.
2. O ranqueamento (*pontuação*) leva em conta a produtividade e o quão adequada a qualidade da variedade é, de acordo com o desejado pela UD.
3. As unidades domésticas cultivam (proporcionalmente) mais variedades com maior *pontuação*, mantendo em menor quantidade variedades com *pontuação* baixa.
4. As unidades domésticas realizam trocas dentro das redes de parentesco, compadrio e vizinhança, que são fixas.
5. As UD's trocam buscando UD's com maior prestígio, com este sendo dado pelo sucesso da UD em atingir seus critérios de seleção.
6. O surgimento de novas variedades e a morte de cultivares se dão de modo estocástico.

7.3 Etapas e Elementos do Modelo

A figura 21 mostra um fluxograma do que ocorre em cada iteração do modelo. Uma iteração representa um ciclo agrícola, abrangendo um ciclo completo de plantio e colheita, por exemplo para a mandioca este ciclo pode durar de 4 meses a 2 anos (ELIAS et al, 2000; EMPERAIRE e PERONI, 2007). O modelo se inicia avaliando se os cultivos vingaram (Sobrevivência dos Cultivos) e após isso é feito o cálculo da pontuação das variedades e das unidades domésticas. Então, nas quatro etapas seguintes é determinado quais variedades serão cultivadas naquele ciclo. Por fim, é feito o cálculo dos índices de diversidade do sistema - riqueza e uniformidade de variedades - e então o sistema volta ao início da iteração. Cada uma dessas etapas será detalhada abaixo.

Figura 21 – Fluxograma das etapas do modelo.

Sobrevivência dos Cultivos

A *morte* é a principal forma como variedades são perdidas no sistema. Ela representa tanto a perda em ambientes mais difíceis, onde as condições naturais são mais severas e os cultivos podem não prosperar, quanto fatores humanos como menor habilidade enquanto agricultor ou problemas de planejamento. A morte é avaliada para cada *fragmento de terra* em uma iteração, havendo uma probabilidade M , um parâmetro do modelo, dela ocorrer. Caso ocorra, a variedade existente no *fragmento de terra* é removida.

Pontuação

A *pontuação* é calculada através de uma ponderação entre a *produtividade*, que no modelo foi utilizada como a adaptabilidade do cultivo ao ambiente, e a *adequação da qualidade* do cultivo, que é calculada tendo como base a *qualidade da variedade* e a *qualidade desejada pela UD*. Assim, a pontuação utiliza-se das informações da variedade, dos *recursos bioquímicos* presentes no *fragmento de terra*, e da UD onde está a variedade. A equação da pontuação de uma variedade v , em uma UD U é mostrada abaixo:

$$p_{v,U} = \alpha P_{v,U} + (1 - \alpha) Q_{v,U}, \quad (2)$$

onde α é um fator de ponderação, um parâmetro fixo do modelo, $P_{v,U}$ a *produtividade* da variedade v na UD U e $Q_{v,U}$ a *adequação da qualidade* entre a variedade v e a UD U .

A *produtividade* é dada pela Equação de Monod, apresentada na seção 4.5. A *produtividade* de uma variedade v calculada em um *território* t será:

$$P_{t,v} = \min_i \left(\frac{R_t^i}{R_t^i + K_v^i} \right), \quad (3)$$

onde R_t^i é a quantidade do i -ésimo recurso no *fragmento de terra* t , e K_v^i a *constante de meia saturação* da variedade v referente ao i -ésimo recurso.

Encontrando o valor de i que minimiza esta fração pode-se escrever:

$$P_{t,v} = \frac{R_{t,v}^L}{R_{t,v}^L + K_v^L}, \quad (4)$$

onde $R_{t,v}^L$ e K_v^L são os mesmos valores definidos anteriormente, para o recurso limitante (L) da variedade v .

Como tanto R_t^i quanto K_v^i são valores dentro do intervalo $[0; 1]$, igualmente a *produtividade* também será. A *produtividade* da variedade internamente à UD será então a média da *produtividade* em todos *fragmentos de terra* da UD onde a variedade está presente. De modo geral, no modelo considerou-se que os recursos bioquímicos estão distribuídos uniformemente. Assim, a *produtividade* de uma mesma variedade é igual em qualquer *fragmento de terra* e, portanto, a média será o valor da *produtividade* em um *fragmento de terra* qualquer.

Já a *adequação da qualidade* é calculada com base na distância entre a *qualidade da variedade* e a *qualidade desejada pela UD*. Sendo que se considerou que a *qualidade* 0 e a *qualidade* 1 são iguais, de modo cíclico. Assim, a distância é o menor caminho entre a *qualidade da variedade* e a *qualidade desejada pela UD*. Isto foi feito com o objetivo de evitar um viés para certas *qualidades*. Caso isto não fosse adotado haveria menor possibilidade de uma *adequação da qualidade* alta para variedades com *qualidades* próximas dos extremos (0 e 1). Além disso, como esta distância está contida no intervalo $[0; 0,5]$, ela foi multiplicada por 2, de modo a tornar a *adequação da qualidade* um número que fique também no intervalo $[0; 1]$. A *adequação da qualidade* é calculada então tomando-se o complementar deste valor. Assim, a variedade possui *adequação da qualidade* máxima (1) quando a distância entre a *qualidade desejada pela UD* e a *qualidade da variedade* é zero, e possui *adequação da qualidade mínima* (0), quando a distância é 0,5. Portanto, a *adequação da qualidade* de uma variedade v , em uma UD U pode ser escrita como:

$$Q_{v,U} = 1 - 2D(q_v, q_U), \quad (5)$$

onde q_v é a *qualidade da variedade* v , q_U a *qualidade desejada pela UD* U , e D a distância entre esses dois valores.

Considerando que o recurso está distribuído de modo homogêneo dentro da UD, podemos escrever:

$$p_{v,U} = \alpha \frac{R_{v,U}^L}{R_{v,U}^L + K_v^L} + (1 - \alpha)(1 - 2D(q_v, q_U)), \quad (6)$$

onde $R_{v,U}^L$ denota a quantidade do recurso limitante para a variedade v , nos *fragmentos de terra* da UD U .

A pontuação da UD U (p_U), que será utilizada no processo de trocas, é dada pela média de pontuação em cada *fragmento de terra*, ou, de modo análogo, a pontuação da variedade ($p_{v,U}$) ponderada pela quantidade de *fragmentos de terra* ocupado pela variedade ($n_{v,U}$).

$$p_U = \sum_{v=0}^{r_U} p_{v,U} n_{v,U}, \quad (7)$$

onde r_U é a riqueza de variedades na UD U .

Seleção Interna à Unidade Doméstica

A cada etapa é realizada apenas uma troca, cultivando mais um *fragmento de terra* da variedade com maior valor na função $\Delta A_{v,U}$ e cultivando um *fragmento de terra* a menos da variedade com menor valor nesta mesma função. $\Delta A_{v,U}$ é a diferença entre a área ideal de uma dada variedade ($A_{v,U}^i$), a área que a UD deseja possuir da variedade, e a área atual desta variedade ($A_{v,U}^a$), com ambos valores sendo proporções. Esta função varia entre $[-1; 1]$ e o módulo dela é uma medida da propensão da unidade doméstica de alterar a quantidade cultivada de uma variedade. Um baixo valor da função $\Delta A_{v,U}$ indica uma propensão a reduzir a quantidade cultivada e um valor alto indica uma propensão a aumentar a quantidade cultivada. As UD's atuam de forma a minimizar (em módulo) o valor de $\Delta A_{v,U}$. Sua equação pode ser escrita como:

$$\Delta A_{v,U} = A_{v,U}^i - A_{v,U}^a, \quad (8)$$

A área proporcional ideal é medida através da contribuição da variedade para a pontuação da unidade doméstica. Como as pontuações normalmente têm valores muito próximos, esta contribuição passa por uma função s , que têm como objetivo ampliar a diferença entre variedades de baixa ou alta pontuação. Ela é uma função do tipo sigmoidal, e é medida com relação à pontuação média entre as variedades ($\overline{p_{v,U}}$), de modo que variedades com pontuação maior que a pontuação média tenham maior contribuição à pontuação geral, e variedades com pontuação menor que a pontuação média tenham menor contribuição à pontuação geral. A área ideal de uma variedade v , em uma UD U , é:

$$A_{v,U}^i = \frac{s(p_{v,U} - \overline{p_{v,U}})}{\sum_{v=0}^{r_U} s(p_{v,U} - \overline{p_{v,U}})}, \quad (9)$$

onde $\overline{p_{v,U}} = \frac{\sum_{v=0}^{r_U} p_{v,U}}{r_U}$ é a pontuação média entre as variedades da UD e s a função de seleção.

A função de seleção (s) utilizada é mostrada na equação abaixo, e a Figura 22 mostra seu gráfico variando o parâmetro S . Este parâmetro, como pode ser observado na Figura 22, atua tornando a curva mais ou menos abrupta, e foi chamado aqui de *intensidade de seleção*. A função de seleção amplifica a diferença de pontuação, que normalmente fica no intervalo $[-0,1; 0,1]$, assim, atua de modo a reescalar a pontuação.

$$s(p_{v,U} - \overline{p_{v,U}}) = \frac{S(p_{v,U} - \overline{p_{v,U}})}{1 + (2S(p_{v,U} - \overline{p_{v,U}}))^2} + 0,5 \quad (10)$$

Figura 22 – Função de seleção em função da diferença da pontuação da variedade v e a pontuação média. As linhas representam diferentes valores do parâmetro S e linha preta representa o valor utilizado nas simulações.

Por fim, a área proporcional atual de uma variedade é simplesmente a razão entre o número de *fragmentos de terra* ocupados pela variedade ($n_{v,U}$) e a área da unidade doméstica (A_U), ou a quantidade de *fragmentos de terra* da unidade doméstica, um valor fixo. Desta forma a função completa que determina a seleção interna é dada por:

$$\Delta A_{v,U} = \frac{s(p_{v,U} - \overline{p_{v,U}})}{\sum_{v=0}^{r_U} s(p_{v,U} - \overline{p_{v,U}})} - \frac{n_{v,U}}{A_U} \quad (11)$$

Substituição de Indivíduos Mortos

A substituição dos indivíduos mortos é feita de modo simples, colocando a variedade com maior valor de $\Delta A_{v,U}$ em todos os *fragmentos de terra* vazios, onde ocorreram *mortes* na primeira etapa da iteração. Esta etapa é responsável por acelerar a seleção interna à UD e tornar a chegada a uma região de estabilidade mais rápida.

Troca entre Unidades Domésticas

A troca entre unidades domésticas ocorre tendo como base a *rede social prévia*, fixa para cada simulação. Para uma dada unidade doméstica sua pontuação é comparada com a *pontuação* da maior unidade doméstica com quem ela está ligada na *rede social prévia*. Se esta diferença foi maior que um limite T a troca é realizada, com esta unidade doméstica recebendo uma variedade aleatória - sorteando-se um *fragmento de terra* - da unidade doméstica com maior pontuação e colocando-a em um *fragmento de terra* também aleatório, substituindo assim a variedade anteriormente presente. Dessa forma, a UD que cede a variedade normalmente fornece variedades de maior pontuação, já que estas ocupam maior área, contudo variedades de baixa pontuação também são trocadas em menor quantidade. Abaixo apresentamos a desigualdade que determina se ocorrerá uma troca na UD U .

$$\max(p_{U_{ig}}) - p_U > T, \quad (12)$$

onde $p_{U_{ig}}$ é o conjunto de pontuação das UD's com a qual a UD U está ligada e T o limite para trocas, uma parâmetro do modelo.

Surgimento de Novas Variedades

O surgimento de novas variedades se dá de modo estocástico. Em uma iteração, para cada unidade doméstica, há uma probabilidade de surgir uma nova variedade. Caso o surgimento ocorra, é colocada uma variedade em um *fragmento de terra* aleatório, substituindo a variedade anteriormente existente. A nova variedade tem sua *constante de meia saturação* e *qualidade* definidas a partir da mesma distribuição utilizada na condição inicial, a ser apresentada a seguir.

Elementos do modelo

A menor unidade do modelo foi nomeada como *fragmento de terra*. Um *fragmento de terra* contém a quantidade existente de cada *recurso bioquímico* - eles envolvem fatores ecológicos como os nutrientes, o pH e a umidade presentes no solo. Estas quantidades estão no intervalo $[0; 1]$. Além disso, um *fragmento de terra* pode conter apenas uma variedade do cultivar.

Uma variedade é definida no modelo por sua *qualidade* - englobando fatores como a cor, textura, adequação a certos usos - e pelas *constantes de meia saturação* - que mede a necessidade da variedade por cada um dos *recursos bioquímicos*. Ambos são números no intervalo $[0; 1]$. Estes números são utilizados para determinar o “nome” das variedades, com diferenças maiores que 0,2 em algum dos K_v^i ou de 0,04 na *qualidade* indicando que duas variedades são diferentes uma da outra.

A unidade doméstica é responsável por cuidar de uma certa quantidade de *fragmentos de terra*, controlando quais variedades estarão presentes nestes locais. Ela também possui uma *qualidade desejada*, que representa as *qualidades* pelas quais tem preferência. Além disso, há também uma *rede social prévia*, que emula as redes de parentesco e compadrio. Desta forma, cada UD está ligada à uma determinada quantidade de outras UD's.

Condições Iniciais

O modelo é iniciado sorteando-se variedades para cada *fragmento de terra*. Parte-se de um conjunto de variedades na comunidade (tamanho V), em seguida, para cada UD é

sorteado um novo conjunto (com tamanho v) a partir deste primeiro. Então, para cada *fragmento de terra* é sorteado uma variedade a partir do subconjunto de variedades da UD à qual o *fragmento de terra* pertence. Desta forma, o modelo se inicia com ‘V’ o número máximo de variedades na comunidade, e ‘v’ o número máximo de variedades em cada UD.

As variedades são inicializadas com a *qualidade* e as *constantes de meia saturação* sorteadas a partir de uma distribuição normal centrada em 0,5 e com variância 0,15. Isso foi feito a partir da ideia de que as variedades iniciais têm características próximas das variedades desejadas pelas UD. Os recursos do ambiente são sorteados a partir de uma distribuição normal centrada em 0,6 e com variância 0,2. Já a *qualidade desejada pela UD* é sorteada a partir de uma distribuição normal centrada em 0,5 e com variância 0,1. Isso foi utilizado pois considerou-se que há um certo consenso sobre qual a qualidade desejada. Como todos são valores que devem ficar no intervalo $[0; 1]$, quando um número sorteado fica fora deste intervalo ele é sorteado novamente.

Resumo

Abaixo estão presentes uma tabela resumindo as dinâmicas do modelo (Tabela 8) e uma tabela resumindo os elementos do modelo (Tabela 9).

Tabela 8 – Explicação resumida das etapas do modelo.

Etapas	Explicação
Sobrevivência dos Cultivos	Há uma probabilidade de <i>morte</i> M por <i>fragmento de terra</i> . Quando isso ocorre a variedade presente é removida do <i>fragmento de terra</i> .
Seleção interna à Unidade Doméstica	A seleção interna à unidade doméstica ocorre com base na diferença entre área ideal e atual de uma dada variedade. Adicionando variedades que têm uma diferença alta e subtraindo variedades que têm esta diferença pequena.
Substituição de Indivíduos Mortos	Em <i>fragmentos de terra</i> onde ocorreu uma morte é colocada a variedade onde a diferença entre área ideal e atual é maior.
Troca entre Unidades Domésticas	A <i>troca</i> ocorre com base na <i>rede social prévia</i> . A UD realiza <i>troca</i> se a UD com maior pontuação com quem ela está ligada tiver uma pontuação maior que um limite T . Nesse caso, ela recebe uma variedade aleatória da UD e substitui uma variedade aleatória sua por essa variedade.
Surgimento de Nova Variedade	Uma nova variedade pode surgir, com probabilidade P , em uma UD, substituindo um <i>fragmento de terra</i> aleatório da UD.

Tabela 9 – Explicação Resumida dos elementos do modelo.

Elementos	Descrição
Terreno	Contém uma quantidade de cada recurso bi-químico e uma variedade.
Unidade Doméstica	Controla quais variedades estarão nos <i>fragmentos de terra</i> que possui. Têm uma <i>qualidade desejada</i> . Está ligada à certas UD's, com quem pode realizar <i>trocas</i> .
Comunidade	Conjunto de todos os <i>fragmentos de terra</i> e UD's.
Variedade	É definida por suas <i>constantes de meia saturação e qualidade</i> .

7.4 Parâmetros

Os parâmetros do modelo, sua explicação e seus valores são mostrados na tabela 10. A não ser quando explicitamente citado estes foram os valores utilizados.

Os últimos dez parâmetros representam fatores da dinâmica biológica, social e de seleção de cultivos, e foram variados nas simulações realizadas. As topologias de redes utilizadas foram as redes de mundo pequeno, rede aleatória e rede livre de escala. Os algoritmos de construção foram, respectivamente, o algoritmo de Watts-Strogatz, com grau inicial dos nós da rede regular 4, e a probabilidade de reconexão β (presente na tabela acima); o algoritmo de Erdős-Rényi com probabilidade de conexão 0,15; e o algoritmo de Barabási-Albert, iniciando com 2 nós e quantidade de ligações inicial para cada nó também 2. Para mais detalhes do algoritmo de construção destas redes consultar Newman (2010) ou Wasserman e Faust (1994).

Tabela 10 – Parâmetros utilizados no modelo. Com sua explicação e valores utilizados.

Parâmetro	Explicação	Valor
Tamanho do Grid	Número de <i>fragmentos de terra</i> na comunidade	2401 (49x49)
Tamanho da UD (A_U)	Número de <i>fragmentos de terra</i> na unidade doméstica	49 (7x7)
Número de Unidades Domésticas	Número de unidades domésticas na comunidade	49
Tempo de simulação	Número de ciclos agrícolas em uma simulação	5000
Número de execuções	Número de execuções de uma simulação. Os resultados do modelo são médias entre as simulações	100
Número de recursos	Número de recursos em um <i>fragmento de terra</i>	3
Heterogeneidade do ambiente (H)	Distribuição dos recursos na comunidade. 1 significa que todos os <i>fragmentos de terra</i> têm os mesmos recursos e 2401 significa que cada <i>fragmento de terra</i> têm um conjunto de recurso	1
Número de Variedades Inicial por UD (v)	Número de variedades inicial máximo (por UD) a partir de onde ocorre o sorteio	3
Número de Variedades Inicial na Comunidade (V)	Número de variedades inicial máximo (na Comunidade) a partir de onde ocorre o sorteio	10
Topologia da rede social prévia (R)	Formato/estrutura da <i>rede social prévia</i> . Foram utilizadas três topologias na <i>rede social prévia</i> : Aleatória, Mundo Pequeno e Livre de Escala	Mundo Pequeno
Grau de aleatoriedade da rede de mundo pequeno (β)	Parâmetro da modelo de Watts-Strogatz. Válido somente na rede de mundo pequeno. 0 significa uma rede regular e 1 uma rede aleatória	0,2
Limite para trocas (T)	Diferença de pontuação necessária para que seja realizada uma troca	0,01
Intensidade de seleção (S)	Quanto maior a intensidade de seleção maior a diferença entre área ideal de variedades com pontuação alta/baixa e variedades com pontuação média. Este parâmetro torna a função sigmoideal s mais abrupta	15
Importância da produtividade (α)	Quando a importância da <i>produtividade</i> é 1 a pontuação só considera a <i>produtividade</i> e quando é 0 só considera a <i>adequação da qualidade</i> .	0,6
Probabilidade de nova variedade (N)	Probabilidade de surgir uma nova variedade por unidade doméstica por iteração	0,003
Probabilidade de morte (M)	Probabilidade de ocorrer uma morte por <i>fragmento de terra</i> por iteração	0,16

8 Resultados e Discussão

Abaixo apresentamos os resultados do modelo. Na seção 8.1 é apresentado como cada dinâmica contribui para os resultados, na seção 8.2 são apresentados os resultados do modelo completo, com os parâmetros indicados na seção 7.4. Na seção 8.2 são feitas variações nas condições iniciais do modelo. Na seção 8.3 são explorados os papéis das dinâmicas biológicas, sociais e de seleção individuais. Na seção 8.4 são exploradas pequenas variações nos mecanismos de funcionamento do modelo. Por fim, é feita uma discussão dos resultados do modelo e a conclusão do trabalho.

8.1 Interação das etapas do modelo

A *seleção interna* é uma etapa que não depende de fatores estocásticos. Ela atua fazendo com que as variedades com pontuação maior que a média sejam cultivadas em maior quantidade, enquanto variedades com pontuação menor que a média sejam cultivadas em menor quantidade. Na Figura 23 há um exemplo de como isto ocorre, onde foram desativadas as outras 5 etapas do modelo e mantidas apenas a *seleção interna*. A riqueza de variedades na comunidade e a riqueza média por UD praticamente não se alteram, mudando pouco comparativamente à condição inicial (Figura 24).

Figura 23 – Estágio inicial, intermediário e final em uma execução da simulação considerando apenas a seleção interna à unidade doméstica. Na imagem cada cor indica uma variedade.

Figura 24 – Evolução da Riqueza de variedades na comunidade e riqueza média de variedades por UD. Resultado de uma simulação, contendo apenas a seleção interna à unidade doméstica.

Acrescentando a morte o sistema continua a ir rapidamente para uma região de estabilidade, contudo, ao contrário do caso anterior, não há - em um espaço temporal curto - um estado estacionário, onde não ocorrem mais mudanças no sistema. Mesmo com a ocorrência das mortes há pouca perda de variedades na escala da comunidade; contudo, na escala da UD há uma homogeneização maior (Figura 25). Esta perda de variedades na escala da UD ocorre principalmente no período inicial, todavia continua a acontecer lentamente e tende, com uma grande quantidade de ciclos agrícolas, para um cenário com apenas uma variedade por UD, este sim estacionário. A Figura 26 mostra a evolução deste sistema em uma simulação.

Figura 25 – Estágio inicial, intermediário e final em uma execução da simulação considerando apenas a seleção interna à unidade doméstica e a ocorrência de mortes. Na imagem cada cor indica uma variedade.

Figura 26 – Evolução da Riqueza de variedades na comunidade e riqueza média de variedades por UD. Resultado de uma simulação, contendo apenas a seleção interna à unidade doméstica e a ocorrência de mortes.

Somente com essas dinâmicas, não há qualquer interação entre as UD's sendo, portanto, um sistema bastante distante da realidade. Ao adicionar a troca entre as UD's, passa a haver uma relação entre elas, causando um acoplamento do sistema. No modelo, isso faz com que variedades mais adaptadas (maior pontuação) sejam disseminadas, se tornando mais presentes na comunidade. Isso tem como consequência a redução da *área ideal* de variedades com pontuação baixa, que têm assim sua sobrevivência prejudicada. Assim, há uma diminuição na riqueza de variedades na comunidade. Ao mesmo tempo, variedades de pontuação intermediária e baixa passam a circular entre as UD's, proporcionando desta forma um aumento na riqueza média de variedades por UD. A Figura 27 mostra a evolução deste sistema, desta vez para uma média de simulações.

Figura 27 – Evolução da Riqueza de variedades na comunidade e riqueza média de variedades por UD. Contendo apenas a seleção interna à unidade doméstica, a ocorrência de mortes e a realização de trocas entre as UD's.

Por fim, acrescentando o surgimento de novas variedades, há um aumento tanto na riqueza de variedades na comunidade, quanto na riqueza média de variedades por UD. Este é o caso completo, que será explorado a seguir.

8.2 Resultados do Modelo Completo

A evolução da riqueza de variedades na comunidade e riqueza média por UD pode ser vista na Figura 28, onde é apresentada a versão completa do modelo. Foi utilizada uma grande quantidade de ciclos agrícolas com a intenção de mostrar que o sistema se estabiliza, contudo, como pode-se observar nesta figura e nas figuras a seguir, as principais mudanças acontecem em até 1.000 ciclos agrícolas. Além disso, inicializando o sistema com condições mais próximas da realidade atual, este tempo diminui, sendo a intenção da simulação, e das condições iniciais escolhidas mostrar que o sistema se adapta, incorporando novas variedades.

Figura 28 – Evolução da Riqueza de variedades na comunidade e riqueza média de variedades por UD.

A Figura 29 mostra a evolução de seis índices de diversidade ao longo da simulação. Nele é possível perceber, novamente, que a maior parte das mudanças, desta vez na distribuição da diversidade, também ocorre nos estágios iniciais. Também é notável, a grande diferença entre os Índices de Simpson e Shannon Evenness na UD, sendo que, o índice de Simpson é mais sensível às variedades mais abundantes, enquanto o índice de Shannon é mais sensível à riqueza de variedades, ou seja, é mais influenciado por variedades raras (MAGURRAN, 2013).

Figura 29 – Evolução de seis métricas de diversidade, na escala da comunidade e na escala da UD.

A Figura 30 mostra uma imagem parecida à mostrada no capítulo 6. Na imagem cada ponto representa uma simulação, e estão presentes 200 simulações. Pelo ajuste linear obteve-se uma diversidade β na riqueza de variedades de 4,06 (4), com a significância do ajuste dada pelo p-valor de $Pr(> |t|) < 1e - 99$.

Figura 30 – Riqueza de Variedades na Comunidade X Riqueza Média de Variedades por UD. Resultado de 200 simulações, com cada ponto representando uma simulação.

A Tabela 11 apresenta um resumo dos índices de diversidade e seu desvio padrão, contendo os dados do modelo e os dados da revisão bibliográfica do Cap. 6. Os parâmetros do modelo foram ajustados com relação às informações referentes à mandioca, para o

qual foram coletadas mais informações no levantamento da literatura, e foram ajustados apenas a riqueza na comunidade e a riqueza média por UD. Comparando-se os dados do modelo com os dados da revisão, pode-se notar que os resultados estão de acordo com a literatura. Consultando-se os dados secundários referentes à diversidade mandioca coletados na literatura, observa-se que os índices de diversidade de Simpson médio por UD e Berger-Parker na comunidade - os índices que mais diferiram - apresentaram valores maiores em sistemas reais do que o do modelo. Os demais índices foram semelhantes.

Tabela 11 – Resultado do modelo e da Revisão Bibliográfica para oito métricas de diversidade. Os números entre parênteses indicam o desvio padrão do dado.

Índice	Modelo	Revisão Mandioca	Revisão Batata	Revisão Milho
Riqueza na Comunidade	24,48 (43)	22 (21)	102 (114)	12,0 (65)
Riqueza Média por UD	6,204 (68)	6,4 (63)	9,7 (68)	2,03 (75)
Riqueza - Diversidade β	4,06 (4)	3,03 (17)	—	4,65 (34)
Berger-Parker Comunidade	0,167 (5)	0,30 (2)	—	—
Simpson Comunidade	0,8944 (38)	0,80 (12)	—	0,53 (14)
Shannon Evenness Comunidade	0,8240 (46)	0,75 (11)	—	—
Berger-Parker UD	0,2929 (38)	—	—	—
Simpson UD	0,1806 (32)	0,44 (17)	—	0,29 (12)
Shannon Evenness UD	0,8203 (10)	0,81 (36)	—	0,74

A Figura 31 mostra a evolução da pontuação média na comunidade. Para estes valores, as mudanças são ainda mais concentradas no início da simulação. Além disso, pode-se perceber que os dois critérios de seleção utilizados têm valores proporcionais semelhantes dentro da pontuação total.

Figura 31 – Evolução da pontuação total média na comunidade e decomposição deste valor em pontuação da produtividade e pontuação cultural.

O histograma da Figura 32 mostra a distribuição do número de variedades por UD. Como pode-se observar, a distribuição segue uma gaussiana com um centro em torno de 6 variedades, e variando entre 1 a 13 variedades. Este histograma, assim como os outros abaixo, são resultado da média de 200 simulações.

Figura 32 – Histograma da riqueza de variedades por UD.

No histograma da Figura 33 pode-se observar a presença das variedades nas UD's da comunidade. O resultado do modelo segue o indicado na literatura, com grande parte das variedades presentes em poucas UD's. No modelo, 20,1% das variedades ficam restritas a 1 UD e 32,5% ficam restritas a até 3 UD's.

Figura 33 – Histograma da presença das variedades nas UD's. 100% indica que a variedade está em todas as UD's da comunidade.

O histograma da Figura 34 mostra a área ocupada por cada variedade do cultivar. Pode-se notar que a maioria das variedades ocupa por volta de 2% a 5% da área da comunidade, havendo uma variância considerável na distribuição.

Figura 34 – Histograma da presença das variedades nos *fragmentos de terra* da comunidade. 100% indica que a variedade está em todos os *fragmentos de terra* da comunidade. O eixo x encontra-se em escala logarítmica.

Os histogramas da Figura 35 mostram a composição inicial e final da *produtividade* e *qualidade* das variedades, indicando a área que ocupam na comunidade. É possível notar que ocorre uma seleção nestas características, com o sistema iniciando com distribuições de maior variância e finalizando com condições mais delimitadas.

Figura 35 – Histograma da *qualidade* e *produtividade* das variedades em termos da área percentual ocupada na comunidade.

Na Figura 36 é mostrado a evolução do sistema para uma simulação, onde pode-se notar como as variedades ficam distribuídas entre as UD's e como isto varia temporalmente.

Figura 36 – Seis estágios da evolução do sistema em uma execução da simulação. Na imagem cada cor indica uma variedade.

8.3 Variação das condições iniciais

A riqueza de variedades na comunidade e a riqueza média de variedades por UD não dependem da condição inicial de quantas variedades o sistema começa. Este fenômeno pode ser observado nas Figuras 37 e 38, tanto mudando-se o número inicial máximo de variedades por UD, quanto o número máximo de variedades na comunidade com que o sistema inicia. Isso significa que os resultados macroscópicos do sistema estão sendo determinados pelas condições impostas pelo modelo. Além disso, é interessante notar que o processo de perda de variedades ocorre de modo mais rápido do que o processo de adição de variedades, conforme pode-se observar na Figura 38.

Figura 37 – Evolução da Riqueza Média de Variedades por UD segundo variações no número de Variedades Inicial máximo de variedades por UD, parâmetro v .

Figura 38 – Evolução da Riqueza de Variedades na comunidade segundo variações no número de Variedades Inicial máximo de variedades na comunidade, parâmetro V .

Iniciar o sistema com variedades que possuem *qualidade* e *constantes de meia saturação* calculados a partir de uma distribuição uniforme, não altera significativamente o sistema, contanto que as novas variedades sejam inicializadas com distribuições normais (Figura 39). Quando as novas variedades são inicializadas com maior variância ou a partir de uma distribuição uniforme, o sistema demora um tempo consideravelmente maior para se estabilizar. Os histogramas da Figura 40 mostram a distribuição inicial e final da *qualidade* e *produtividade* das variedades, mostrando que há uma seleção a partir das

distribuições originais. Como o recurso é calculado a partir de uma distribuição normal, mesmo com as constantes de meia saturação sendo calculadas a partir de uma distribuição uniforme, a *produtividade* segue aparentando uma distribuição normal.

Figura 39 – Evolução da Riqueza de variedades na comunidade e riqueza média de variedades por UD utilizando a inicialização das *constantes de meia saturação* e *qualidade* das variedades a partir de uma distribuição uniforme.

Figura 40 – Histograma da qualidade e *produtividade* das variedades em termos da área percentual ocupada na comunidade utilizando a inicialização das *constantes de meia saturação* e *qualidade* das variedades a partir de uma distribuição uniforme.

8.4 Variação das Dinâmicas Fundamentais da Agrobiodiversidade

8.4.1 Dinâmica Biológica

Ambientes mais heterogêneos são um dos fatores que influenciam positivamente a diversidade. Abaixo variamos como os recursos são distribuídos na comunidade. Quando o valor de H é igual a 1 o recurso está distribuído de forma homogênea, sendo o mesmo em

toda comunidade. Quando $H=2$ a metade superior da comunidade possui um conjunto de recursos e a metade inferior outro conjunto. Por fim, quando é 2401, significa que cada *fragmento de terra* possui um conjunto de recursos distintos. O resultado mostra que quando se aumenta a heterogeneidade do ambiente, a riqueza de variedades na comunidade aumenta (Figura 41a), indicando um resultado compatível com a teoria de nichos (CABRAL et al., 2017) e de acordo com o observado em estudos de caso em sistemas agrícolas tradicionais (BRUSH et al., 1981; FENZI et al., 2017; FRASER et al., 2012). Já a riqueza média de variedades por UD praticamente não se altera, sendo levemente reduzida com o aumento da heterogeneidade do ambiente (Figura 41b).

É possível observar que a partir de um certo patamar ($H \approx 10$), a heterogeneidade deixa de favorecer uma maior diversidade na comunidade. Por exemplo, quando o recurso é totalmente heterogêneo ($H=2401$) deixa de haver variedades melhores em cada região e o sistema depende menos do ambiente. Assim, o sistema atua selecionando apenas as variedades que têm menor valor de K^i (variedades que dependem menos dos recursos) e desta forma diminuindo a diversidade de variedades na comunidade e UD. Este resultado foi o mesmo obtido em Souza Júnior et al. (2014), em um modelo biológico.

Figura 41 – Evolução da Riqueza de Variedades na comunidade e Riqueza Média de Variedades por UD segundo variações na heterogeneidade do ambiente, parâmetro H .

O surgimento de novas variedades e a morte de outras atuam de modo a renovar as variedades existentes no sistema; ou seja, fazem com que variedades existentes sejam perdidas e novas passem a ser adotadas, dando o caráter dinâmico da agrobiodiversidade.

Sua origem é principalmente biológica, contudo, diferentes práticas de manejo também podem influenciar estes fatores. Como esperado, em ambas escalas (comunidade e UD), aumentar a probabilidade de surgimento de novas variedades (N) faz aumentar a diversidade, e aumentar a probabilidade de morte de variedades (M) reduz a diversidade no sistema (Figuras 42 e 43). Além disso, o surgimento de novas variedades é um dos elementos que faz o sistema demorar para se estabilizar, com este efeito sendo maior quando a probabilidade de surgimento de novas variedades é menor.

Quando o valor de N é baixo, as variedades ocupam maior quantidade de *fragmentos de terra*, já que há menor competição com novas variedades. Já quando N é grande, muitas variedades passam a ocupar menor quantidade de *fragmentos de terra* (Figura 44a), e a ficarem restritas a apenas uma UD (Figura 44b). A morte causa um efeito parecido, contudo em um sentido oposto.

Figura 42 – Valor ao Final da Simulação da Riqueza de Variedades na Comunidade e Riqueza Média de Variedades por UD para variações na probabilidade de surgimento de novas variedades, parâmetro N.

Figura 43 – Valor ao Final da Simulação da Riqueza de Variedades na Comunidade e Riqueza Média de Variedades por UD para variações na probabilidade de morte, parâmetro M .

Figura 44 – Histograma segundo variações na probabilidade de surgimento de novas variedades, parâmetro N .

- (a) Histograma da presença das variedades nos *fragmentos de terra* da comunidade. (b) Histograma da presença das variedades nas UD's. 100% indica que a variedade está em todas as UD's da comunidade.

8.4.2 Dinâmica Social

No modelo, o limite para realização de trocas (T) é outro fator que altera a diversidade no sistema. Diminuir este valor significa que o limite é menor e, portanto, ocorrem mais trocas. Aumentar a quantidade de trocas resultou em um aumento na riqueza média de variedades por UD (Figura 45b). Já na escala da comunidade, para valores intermediários de T não há um efeito significativo, enquanto para valores maiores de T ($T > 0,1$) ocorre uma quantidade consideravelmente menor de trocas e a riqueza de variedades na comunidade aumenta (Figura 45a). Este último resultado foi inesperado

e será explorado posteriormente durante a discussão. A troca altera principalmente a forma como as variedades estão distribuídas, com poucas trocas há maior quantidade de variedades ocupando por volta de 0,7% da área da comunidade, enquanto quando há mais trocas o pico passa a ser por volta de 5% (Figura 46).

Figura 45 – Evolução da Riqueza de Variedades na comunidade e Riqueza Média de Variedades por UD segundo variações no limite para a ocorrência de trocas, parâmetro T.

Figura 46 – Histograma da presença das variedades nos *fragmentos de terra* da comunidade segundo variações no limite para a ocorrência de trocas, parâmetro T. 100% indica que a variedade está em todos os *fragmentos de terra* da comunidade. O eixo x encontra-se em escala logarítmica.

Variações na topologia de *rede social prévia* não alteraram a riqueza de variedades na comunidade (Figura 47a). Na escala da UD o impacto não foi grande, contudo, foi o suficiente para poder ser notado. A rede aleatória foi a que proporcionou maior

riqueza média de variedades. Na rede aleatória, há menor quantidade de variedades raras, comparativamente às duas outras redes.

Figura 47 – Evolução da Riqueza de Variedades na comunidade e Riqueza Média de Variedades por UD segundo variações na topologia da rede, parâmetro R .

Variando-se o parâmetro β do modelo de Watts-Strogatz também se obteve poucas mudanças (Figura 48). De modo geral, redes mais regulares favorecem a riqueza na comunidade e redes mais aleatórias favoreceram a riqueza média por UD. Além disso, em redes mais aleatórias, há maior presença de variedades raras, indicando que é desta forma que a riqueza é aumentada na comunidade (Figura 49).

Figura 48 – Evolução da Riqueza de Variedades na comunidade e Riqueza Média de Variedades por UD segundo variações no grau de aleatoriedade da rede de mundo pequeno, parâmetro β (b).

Figura 49 – Histograma da presença das variedades nos *fragmentos de terra* da comunidade segundo variações no grau de aleatoriedade da rede de mundo pequeno, parâmetro β (b). 100% indica que a variedade está em todos os *fragmentos de terra* da comunidade. O eixo x encontra-se em escala logarítmica.

8.4.3 Dinâmica de Seleção de Sementes

Variações na importância que as UD's dão para cada um dos critérios utilizados no cálculo da pontuação foram bastante significativos no modelo. Quando é dada maior importância para a produtividade, a riqueza de variedades na comunidade e a riqueza média por UD é menor (Figura 50), com as variedades restantes presentes na maior parte das UD's (Figura 51a) e ocupando maior área na comunidade (Figura 51b). Este cenário muda levemente quando há maior heterogeneidade no ambiente, tornando o foco na produtividade menos impactante na diversidade do sistema; contudo, as relações das imagens aqui mostradas permanecem iguais.

Figura 50 – Evolução da Riqueza de Variedades na comunidade e Riqueza Média de Variedades por UD segundo variações na importância dada à produtividade, parâmetro α (a).

(a) Escala da Comunidade.

(b) Escala da UD.

Figura 51 – Histograma segundo variações na importância dada à produtividade, parâmetro α (a).

(a) Histograma da presença das variedades nos *fragmentos de terra* da comunidade. (b) Histograma da presença das variedades nas UD. 100% indica que a variedade está em todas as UD da comunidade.

A intensidade de seleção fornece uma medida de quando será dado de importância para variedades com *pontuação* maiores que a média ou menores que a média, sendo que, quanto maior este valor maior foco será dado às variedades com maior pontuação. Quando este parâmetro aumenta, a riqueza de variedades na comunidade e riqueza média na UD diminuem (Figura 52). Além disso, a forma como a distribuição da riqueza de variedades por UD muda pode ser observada na Figura 53: valores maiores de S alteram a média da distribuição para baixo e aumentam sua variância.

Figura 52 – Evolução da Riqueza de Variedades na comunidade e Riqueza Média de Variedades por UD segundo variações na intensidade de seleção, parâmetro S.

Figura 53 – Histograma da riqueza de variedades por UD segundo variações na intensidade de seleção, parâmetro S.

8.5 Modificações no Modelo

Algumas modificações pequenas podem ser feitas no modelo para explorar aspectos da realidade. Adversidades são uma parte importante dos Sistemas Agrícolas Tradicionais, sendo apontados como um dos motivadores da existência de agrobiodiversidade. Na seção 8.5.1 analisamos como o modelo se comporta frente a eventos extremos. Isso permite estudar como estes eventos podem impactar o sistema e também como uma forma de verificar a resiliência do sistema. A heterogeneidade das UD's é outro fator importante para dar maior realismo ao modelo e também parte do processo de se construir modelos

baseados em agentes. Com o intuito de simplificar o modelo esse fator não apareceu significativamente no modelo completo, contudo, na seção 8.5.2 isto será melhor explorado. Na seção 8.5.3 é feito um estudo de como as variedades se difundem no modelo para cada tipo de topologia, verificando também o impacto de atores mais centrais nesta difusão.

8.5.1 Adversidades

Adversidades como pestes, doenças ou secas e enchentes, são relatados por autores que investigaram sistemas agrícolas tradicionais como possuindo atuação relevante na agrobiodiversidade, sendo grandes causadores da perda de variedades (ELIAS et al., 2000; SALICK et al., 1997). Com o intuito de analisar os impactos que adversidades causam no modelo foram implementados dois tipos de adversidades. No primeiro caso é calculado a variedade com maior presença no modelo - em termos da área ocupada na comunidade - e então todos indivíduos desta variedade morrem. Isto foi utilizado de forma a simular o colapso de variedades muito presentes, mais vulneráveis a pestes e doenças. Já no segundo caso, foi feita uma variação na probabilidade de morte, aumentando abruptamente este valor por uma certa quantidade de ciclos agrícolas. Isto foi feito com o intuito de simular períodos de seca ou enchentes, que podem inviabilizar muitos cultivos e reduzir a produção agrícola dos sistemas.

No primeiro caso, no ciclo agrícola 2.500 ocorre a adversidade, com a variedade mais presente sendo perdida. Neste caso, além da perda no período de tempo especificado, o sistema se altera, causando uma diminuição no ponto estável da riqueza de variedades na comunidade e riqueza média por UD (Figura 54). Na Figura 55 pode-se ver a evolução do sistema para uma simulação, com destaque para as imagens do instante anterior e posterior à perda da variedade. Nesta imagem também é possível notar como a perda da variedade resulta em uma grande reorganização do sistema.

Figura 54 – Evolução da Riqueza de variedades na comunidade e riqueza de variedades média por UD com a extinção da variedade mais dominante ocorrendo no ciclo agrícola 2.500.

Figura 55 – Seis estágios da evolução do sistema em uma execução da simulação. Na imagem cada cor indica uma variedade, e a cor preta indica que não há uma variedade no local. A variedade mais difundida é extinta no ciclo agrícola 2.500.

Alguns parâmetros tornam o sistema mais ou menos vulnerável a esta adversidade. Um deles é a importância dada à produtividade (α). Quanto maior o valor de α , mais o sistema é afetado, com isso ocorrendo apenas no nível da UD (Figura 56). Quando α é

maior, existem variedades com grande presença entre as UD's (Figura 51b), portanto a extinção de uma variedade popular reduz o número de variedades da maior parte das UD's e modifica consideravelmente a riqueza média de variedades por UD.

Figura 56 – Evolução da Riqueza de Variedades na comunidade e Riqueza Média de Variedades por UD segundo variações na importância dada à produtividade, parâmetro α (a). A variedade mais difundida é extinta ocorre no ciclo agrícola 2.500.

No segundo caso, um dos três recursos presentes em cada *fragmento de terra* foi reduzido a 1% do valor original para toda comunidade, permanecendo neste patamar por 5 ciclos agrícolas e então voltando à condição anterior. Nesse caso o ponto de equilíbrio não é significativamente alterado, contudo, é interessante observar o impacto causado no sistema, bem como quais são as situações mais vulneráveis às adversidades. A redução no recurso causa uma diminuição significativa na riqueza de variedades na comunidade e na riqueza média de variedades por UD (Figura 57). Posteriormente, quando o sistema volta à quantidade anterior de recursos, a riqueza de variedades em ambas as escalas volta a patamares semelhantes.

Figura 57 – Evolução da Riqueza de variedades na comunidade e riqueza média de variedades por UD. Uma redução na quantidade disponível de um recurso ocorre do ciclo agrícola 2500 a 2505.

Variando-se a heterogeneidade do ambiente observou-se que o impacto do aumento da probabilidade de mortes de variedades na comunidade é maior para os sistemas com maior diversidade. Para a riqueza de variedades na comunidade, parece ocorrer uma perda proporcional à riqueza de variedades (Figura 58a). Já na escala da UD, o sistema vai para um mesmo patamar de modo praticamente independente da riqueza média de variedades por UD (Figura 58b). A escala mais afetada é a escala da UD, ocorrendo uma diminuição proporcionalmente maior nesta escala.

Figura 58 – Evolução da Riqueza de Variedades na comunidade e Riqueza Média de Variedades por UD segundo variações na heterogeneidade dos recursos (H). Um aumento na probabilidade de morte ocorre do ciclo agrícola 2500 a 2503.

(a) Escala da Comunidade.

(b) Escala da UD.

8.5.2 Heterogeneidade das UD

Uma das potencialidades da modelagem baseada em agentes é possibilitar a modelagem de atores heterogêneos (BONABEAU, 2002). Todavia, no modelo há pouca diferença entre as UD: as únicas características diferentes são que elas podem ter mais ou menos ligações com outras UD, e o fato de cada UD possuir uma *qualidade desejada*. Contudo, é possível aumentar a heterogeneidade das UD fazendo com que parâmetros globais passem a ser diferentes para cada UD, parâmetros como α (importância da produtividade), S (intensidade de seleção), T (limite para realização de trocas), M (probabilidade de morte) e N (probabilidade de surgimento de nova variedade). Todos estes parâmetros são, em maior ou menor medida, consequência do manejo realizado pela UD e dos critérios de seleção da UD. Aqui analisaremos o impacto da variação de α e M. A variação de α significa que diferentes UD dão maior ou menor importância à produtividade, enquanto a variação de M significa que diferentes UD possuem habilidades agrícolas distintas, com mais mortes ocorrendo em UD com menor habilidade agrícola.

Na variação de α , o parâmetro foi definido em cada UD a partir de uma distribuição gaussiana centrada em 0,6 (o valor do parâmetro utilizado para todas UD anteriormente), e variância de 0,15. O resultado foi uma diversidade maior na escala da comunidade - 32,94 (62) em comparação à 24,48 (43) no caso anterior - e uma diversidade média menor na escala da UD - 5,652 (67) em comparação à 6,204 (68) (Figura 59). Isto vem principalmente do fato que há um aumento na quantidade de variedades raras, que ocupam uma área pequena na comunidade e estão restritas a poucas UD.

Figura 59 – Evolução da Riqueza de variedades na comunidade e riqueza média de variedades por UD. A cor clara indica o resultado com diversidade de α entre as UDs e a cor escura o modelo padrão.

Já no caso da variação da probabilidade de morte, o parâmetro foi definido para cada UD a partir de uma distribuição gaussiana com média 0,16 e desvio padrão 0,05. Isto resultou em uma diversidade maior na escala da comunidade - 28,54 (55) - e uma diversidade inalterada na escala UD, considerando-se a margem de erro - 6,09 (0,07) (Figura 60). Com algumas UDs tendo menor probabilidade de morte de seus cultivares, estas passam a ter maior riqueza de variedades, aumentando assim a diversidade no sistema. Por outro lado, o fato de outras UDs terem maior probabilidade de morte de seus cultivares não afeta significativamente o sistema na escala da comunidade; apenas a riqueza de variedades por UD das UDs mais agrobiodiversas é contrabalanceada, fazendo com que a riqueza média por UD fique no mesmo patamar anterior.

Figura 60 – Evolução da Riqueza de variedades na comunidade e riqueza média de variedades por UD. A cor clara indica o resultado com diversidade de M entre as UDs e a cor escura o modelo padrão.

8.5.3 Difusão de variedades

A difusão de variedades é um dos elementos discutidos quando se analisa redes de trocas de sementes (DYER et al., 2011). Através de estudos da difusão de variedades busca-se entender de que forma a difusão ocorre e que critérios afetam essa dinâmica. Uma das aplicações de modelos de difusão é investigar como variedades contaminadas se propagam, ou então, o impacto da introdução de variedades transgênicas, analisando o quão rápido poderiam ser difundidas. Ambas são preocupações relatadas na literatura e poderiam causar problemas aos sistemas agrícolas tradicionais (DYER et al., 2011), sendo que no caso dos transgênicos há uma preocupação quanto aos problemas que poderiam ser causados pela introgressão de genes artificiais em variedades tradicionais ou silvestres (DYER et al., 2011).

Aqui apresentamos resultados de como diferentes métricas de centralidade podem afetar a difusão de variedades. Isto foi feito introduzindo uma nova variedade no ciclo agrícola 500 e acompanhando a difusão da variedade, registrando quantos *fragmentos de terra* a variedade ocupou e com qual velocidade. A variedade foi inicializada com os mesmos parâmetros utilizados na inicialização de novas variedades no modelo - qualidade e constantes de meia saturação sorteadas a partir de uma distribuição normal centrada em 0,5 e com variância 0,15 - e foi introduzida em UDs com diferentes medidas de centralidade,

com o intuito de observar se alguma métrica seria mais relevante. Além disso, essa análise foi feita para as três topologias utilizadas.

Os resultados para a *rede social prévia* sendo uma rede aleatória (Figura 61), rede de Mundo Pequeno (Figura 62) e Rede Livre de Escala (Figura 63) são mostrados abaixo. Pode-se perceber que o impacto é muito maior na rede livre de escala, que têm uma distribuição de graus mais desigual. Na rede aleatória UD's com maior centralidade de intermediação e de auto-vetor facilitam a difusão inicialmente, contudo posteriormente todas métricas levam a um resultado semelhante à seleção aleatória. Na rede de mundo pequeno, a diferença no início da difusão é ainda menor comparativamente à rede aleatória, contudo, ao final da simulação há uma diferença maior entre as centralidades, com a quantidade final sendo maior para a centralidade de proximidade e intermediação. Possivelmente o impacto na rede de mundo pequeno é menor, pois há uma distribuição de grau ainda mais equilibrada que a rede aleatória, sem UD's muito mais centrais que outros. Por fim, na rede livre de escala obteve-se que UD's com maior centralidade de grau e de proximidade facilitam a difusão inicial e também a fixação destas variedades. Já UD's com maior centralidade de intermediação e auto-vetor facilitam a difusão inicialmente, contudo posteriormente o resultado se iguala ao caso aleatório.

A centralidade de proximidade foi a mais relevante na rede de mundo pequeno e a segunda mais relevante na rede livre de escala. Este é um resultado esperado, uma vez que UD's com maior centralidade de proximidade conseguem ter acesso às outras UD's da comunidade com menor quantidade de ligações, estando mais próximas das outras UD's na rede e necessitando de menos intermediações. Assim, conseguiu-se difundir a variedade para outras UD's mais rapidamente. A centralidade de grau, por sua vez, significa que a UD têm mais ligações; assim, no ciclo agrícola seguinte à introdução da variedade, a UD com maior grau têm maior possibilidade de difundir a variedade para as demais UD's. É interessante notar que as métricas de centralidade influenciaram não somente a difusão da variedade, como também a probabilidade que a variedade se fixe na comunidade.

Figura 61 – Evolução do número de *fragmentos de terra* ocupados por uma variedade introduzida em UD_s segundo diferentes critérios. Resultado para 1000 médias e utilizando uma Rede Aleatória.

Figura 62 – Evolução do número de *fragmentos de terra* ocupados por uma variedade introduzida em UD_s segundo diferentes critérios. Resultado para 1000 médias e utilizando uma Rede de Mundo Pequeno.

Figura 63 – Evolução do número de *fragmentos de terra* ocupados por uma variedade introduzida em UD's segundo diferentes critérios. Resultado para 1000 médias e utilizando uma Rede Livre de Escala.

8.6 Discussão e Conclusão

Sistemas agrícolas tradicionais apresentam uma grande diversidade de práticas de manejo e são assentados em sistemas de conhecimento distintos (CUNHA, 2012). Ainda assim, grande parte deles apresentam uma regularidade, que é uma elevada agrobiodiversidade. Aqui foi proposto um modelo generativo (EPSTEIN, 1999) com a intenção de analisar a agrobiodiversidade nos sistemas agrícolas tradicionais. A intenção neste tipo de modelo é entender “como interações locais descentralizadas de atores autônomos e heterogêneos podem gerar uma dada regularidade” (EPSTEIN, 1999, p.41, tradução livre¹). Assim, buscou-se entender porque a agrobiodiversidade existe, que dinâmicas podem levar a este fenômeno, bem como entender que conjunto de condições ambientais, sociais e culturais pode favorecer uma maior ou menor diversidade de variedades agrícolas.

Para isso foi construído um modelo baseado em agentes que acopla fatores biológicos, sociais e culturais, em um modelo espacialmente explícito e que utiliza redes sociais para determinar a interação entre esses agentes. Como todo modelo, partiu-se de simplificações sobre a forma como as UD's atuam selecionando variedades, interagem entre si, e como lidam com os fatores ambientais. As dinâmicas e a parametrização do modelo foi baseada

¹ “How could the decentralized local interactions of heterogeneous autonomous agents generate the given regularity?” (EPSTEIN, 1999, p.41)

em artigos de revisão e estudos de caso da agrobiodiversidade de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), batata (*Solanum tuberosum*) e milho (*Zea mays*) (ex. BRUSH, 2004; ELIAS et al., 2000; JACKSON et al., 1980; KAWA et al., 2013; VETETO e SKARBØ, 2009), com maior foco dado à primeira espécie (Capítulo 6).

Conforme demonstrado na seção anterior, o modelo desenvolvido foi capaz de obter, enquanto uma propriedade emergente do sistema, a diversidade agrícola, apresentando índices de diversidade semelhantes aos citados nos estudos de caso na literatura. Olhando-se somente para a riqueza, foi obtido pelo modelo uma riqueza na comunidade de 24,48 (43), uma riqueza média por UD de 6,204 (68) e uma diversidade β calculada pela riqueza de 4,06 (4), enquanto nos estudos de caso sobre a diversidade de mandioca estes valores foram 22 (21), 6,3 (62) e 3,03 (17), respectivamente. Além disso, o modelo corroborou a importância de variedades raras para a riqueza de variedades, um fator apontado pela literatura (BRUSH et al., 1992; ELIAS et al., 2000; EMPERAIRE e PERONI, 2007; MARCHETTI et al., 2013). No modelo um terço (32,5%) das variedades da comunidade ficaram restritas a até três UD.

O modelo também demonstrou não depender de condições iniciais, chegando a uma região de equilíbrio que é determinada pelos parâmetros do modelo. O sistema demora uma quantidade consideravelmente grande de ciclos agrícolas (aproximadamente 4 a 5 mil) para chegar em um patamar estável, contudo, pequenas modificações poderiam acelerar as dinâmicas do modelo sem grandes prejuízos aos resultados.

8.6.1 O papel das dinâmicas biológicas, sociais e de seleção de sementes no modelo

O acoplamento de dinâmicas biológicas, sociais e culturais é um dos fatores que torna possível a existência da agrobiodiversidade no modelo. Modelos ecológicos apresentam diversos mecanismos para explicar a diversidade biológica (biodiversidade) da natureza, independente da ação humana (CABRAL et al., 2017), e no modelo apresentado, alguns deles também foram importantes. Contudo, a inclusão da dimensão humana, bem como a interação desta com as dinâmicas ecológicas, é um ponto fundamental dentro do modelo. A diversidade também é mantida devido à seleção intencional de variedades pelos agricultores, e pelas trocas entre as UD, responsáveis por socializar as variedades presentes em algumas UD para a comunidade.

Têm-se bastante conhecimento acumulado na literatura sobre o funcionamento da dinâmica biológica para a manutenção da diversidade de espécies, sendo esta a área que possui modelos mais consolidados (CABRAL et al., 2017). Aqui, foi analisado o papel da diversidade ambiental no favorecimento de uma maior diversidade de variedades agrícolas, obtendo-se um resultado compatível com a teoria de nichos (CABRAL et al., 2017), estando a heterogeneidade positivamente relacionada com a riqueza de variedades na comunidade. A probabilidade de perda de variedades e de incorporação de novas variedades são dois fatores que resultam de causas biológicas, mas também das práticas de manejo das UD's. Esses dois fatores se mostraram impactantes nos resultados do modelo e o equilíbrio deles produz diferentes valores finais para a riqueza nas UD's e na comunidade.

Adversidades como pestes, doenças, secas e enchentes ocorrem comumente em sistemas agrícolas tradicionais (ELIAS et al., 2000; SALICK et al., 1997), e neste trabalho dois tipos de adversidades foram implementadas. No primeiro caso, uma adversidade que causa a extinção da variedade que ocupa a maior área na comunidade - o que poderia ser causado por uma doença por exemplo - causou uma grande reorganização do sistema, levando a uma diversidade levemente menor do que a anteriormente existente, no longo prazo. Além disso, em sistemas com menor diversidade o impacto desta adversidade foi maior, causando uma redução da riqueza média de variedades por UD mais intensa conforme o nível de diversidade no sistema. Já no segundo caso, foi implementado uma adversidade que causou um aumento da probabilidade de morte de variedades por um curto período de tempo - o que poderia ser causado por secas ou enchentes que inviabilizam grande parte da produção agrícola. Apesar de causar uma brusca diminuição na riqueza de variedades na UD e comunidade, esta adversidade não causou efeitos duradouros no sistema.

A dinâmica social, representada aqui pela rede de troca de sementes, é um fator fundamental nos sistemas agrícolas tradicionais. Trocas são a principal forma das UD's adquirirem novas variedades em muitas comunidades tradicionais (PAUTASSO et al., 2012; THOMAS et al., 2011), chegando a ser a fonte original de 89% das variedades em um estudo sobre as práticas de manejo do milho em Sierra de Santa Marta, no México (RICE et al., 1998), e cerca de 58% em um estudo sobre as redes de troca de sementes em vilas Achuar, no Peru (ABIZAID, 2016). No presente modelo, a troca é o elemento que acopla as UD's e torna o sistema mais integrado. Ela foi responsável por aumentar a agrobiodiversidade no nível das UD's, o que ocorreu principalmente devido à difusão de novas variedades.

No nível da comunidade, seu efeito foi pequeno para valores intermediários de trocas e um resultado incongruente com a literatura foi que a partir de um certo patamar, um sistema mais fechado (com poucas trocas) levou a uma maior riqueza de variedades na comunidade.

Um caminho que pode auxiliar no entendimento dessa questão é o fato de que em alguns casos as trocas podem causar uma redução da diversidade β do sistema, fazendo com que as UD's possuam as mesmas variedades. Isso é observado concretamente quando se analisa a influência da diversidade etnolinguística na agrobiodiversidade (LECLERC e COPPENS D'EECKENBRUGGE, 2012; PERALES et al., 2005). Nesse caso, com a restrição de trocas criam-se conjuntos distintos de variedades em cada grupo social (maior diversidade β) e assim, aumenta-se a diversidade total. Pelos estudos de caso coletados, no nível da comunidade esse efeito não é predominante e é necessário a continuação de estudos para determinar porque no modelo este efeito está sendo superior a seus efeitos positivos.

A topologia da *rede social prévia*, a rede base onde ocorreram as interações, não foi significativamente impactante no modelo. Esperava-se que variações nesta topologia alterassem os resultados macroscópicos do modelo (índices de diversidade da comunidade), contudo isso não foi observado. Duas explicações principais foram elaboradas. A primeira, é que a topologia é mais relevante em redes maiores, onde a estrutura da rede se manifesta mais plenamente e questões como a dificuldade de fluxo entre determinados atores são mais relevantes (NEWMAN, 2010). A segunda, é que há um problema no processo de trocas do modelo, neste caso, esse processo poderia ser aperfeiçoado testando dinâmicas que produzissem resultados mais próximos do esperado.

Apesar disso, no estudo sobre a difusão de uma variedade inserida artificialmente no sistema, a topologia se mostrou relevante. Na rede livre de escala, o papel de atores mais centrais foi bastante significativo, e a inserção da variedade nestas UD's contribuiu para que ela se difundisse mais rapidamente, e também influenciou a probabilidade da variedade se fixar no sistema. Na rede de mundo pequeno e na rede aleatória, o papel da centralidade de atores foi menor. Contudo, sobretudo no período de tempo inicial da difusão, atores mais centrais causaram uma difusão mais rápida da variedade.

Uma métrica de centralidade que se mostrou especialmente importante na rede de mundo pequeno e na rede livre de escala foi a centralidade de proximidade. Atores com maior centralidade de proximidade conseguem ter acesso à maior parte das outras

UDs com menor quantidade de ligações (NEWMAN, 2010; WASSERMAN e FAUST, 1994), contribuindo assim de forma evidente para uma rápida difusão. A centralidade de proximidade harmônica (uma modificação da centralidade de proximidade) também foi a métrica de centralidade utilizada por Ricciardi (2015) na tentativa de identificar atores centrais em duas comunidades do norte de Gana. O autor concluiu que a métrica e a abordagem de análise de redes sociais requerem cautela quanto aos seus resultados, mas aponta que os mesmos foram relevantes e avalia positivamente a metodologia de análise de redes sociais (RICCIARDI, 2015).

Como mencionado anteriormente, a dinâmica de seleção de variedades pelas UD é um ponto essencial do modelo. A modelagem baseada em agentes admite uma maior flexibilidade nos princípios que definem o comportamento dos agentes, permitindo que se utilizem modelos que vão além da teoria econômica de agente racional, um elemento frequentemente criticado na análise de sistemas que envolvem tomadas de decisão em sociedades tradicionais (LECLERC e COPPENS D'EECKENBRUGGE, 2011). Conforme foi mostrado nos resultados, a utilização da produtividade isoladamente não foi capaz de produzir resultados próximos aos da revisão da literatura, mesmo alterando-se os parâmetros. Foi somente com o acoplamento da produtividade com uma forma simples de considerar a adequação da qualidade que os resultados passaram a ser mais coerentes com os estudos de caso. Assim, uniu-se um critério que relaciona propriedades da variedade com propriedades do ambiente - tornando o modelo espacialmente explícito - e um critério que relaciona as propriedades da variedade com as propriedades das UDs - que adiciona um aspecto cultural.

A forma como a seleção do agricultor atua também é importante. Outras dinâmicas foram testadas durante a construção do modelo. Em uma primeira versão deste modelo foi feita uma otimização direta da *pontuação*, com variedades de maior *pontuação* substituindo as de menor *pontuação*. Neste caso o sistema não foi capaz de produzir resultados compatíveis com os dados da revisão bibliográfica. O principal problema foi que, mesmo fazendo variações nos parâmetros do modelo, quase sempre a simulação resultava em uma pequena riqueza média por UD.

A presença de maior heterogeneidade entre as UDs é um fator importante para trazer mais realismo ao modelo e ele foi explorado variando-se dois parâmetros. Como resultado, observou-se que seja fazendo com que UDs deem importâncias diferentes para a *produtividade* (parâmetro α), seja fazendo com que tenham diferentes probabilidades de

morte associadas (parâmetro M), a riqueza de variedades na comunidade foi maior. Isso ocorre principalmente porque essa mudança faz com que existam UD's com maior riqueza de variedades, levando a um aumento da riqueza de variedades na comunidade devido, principalmente, ao aumento de variedades raras.

8.6.2 Métricas de diversidade e escalas espaciais

Durante a análise do modelo pode-se observar que alguns parâmetros atuam principalmente alterando como a diversidade está distribuída pelas UD's, seja a riqueza média de variedades na UD ou os histogramas de presença de variedades, mas afetam pouco a riqueza no nível da comunidade. Além disso, os índices de diversidade revelam diferentes aspectos sobre o sistema agrícola tradicional e alguns deles podem ser mais sensíveis às mudanças recentes nesses sistemas, podendo assim servir como indicadores de que está ocorrendo um problema no sistema ou de que a agrobiodiversidade está correndo maior risco no local. Isso levanta questões interessantes, algumas delas também presentes na revisão de estudos de caso. Quais índices são mais relevantes para medir a diversidade dos sistemas agrícolas? Qual será a relevância da forma como a diversidade está distribuída na comunidade? A existência de variedades raras representa uma ameaça a estes sistemas?

Sobre a importância de variedades raras, há opiniões distintas na literatura. Para Brush et al. (1992), as variedades raras, que existem em poucas UD's, são um problema para os sistemas, já que são vulneráveis e têm um maior risco de serem extintas. Já Emperaire e Peroni (2007) e Elias et al. (2000) parecem considerar a presença de variedades raras como uma característica destes sistemas e não problematizam a questão. Variedades raras certamente são mais vulneráveis à extinção, contudo, talvez estas sejam parte da dinâmica comum a estes sistemas. Como ressaltam diversos autores (ELIAS et al., 2000; EMPERAIRE e PERONI, 2007), a agrobiodiversidade é dinâmica, e variedades são constantemente extintas e criadas. Ainda assim, é importante avaliar se em comunidades tradicionais que estão sofrendo processos de mudança ambiental e/ou social, a dependência da agrobiodiversidade mantida por poucas UD's que cultivam muitas variedades, poderia causar problemas à manutenção da diversidade.

Outra questão relevante para este debate é a distribuição da diversidade agrícola em diversos níveis na escala espacial, bem como em qual nível os estudos sobre agrobi-

odiversidade em sistemas agrícolas tradicionais devem se centrar - unidade doméstica, comunidade, localidades, regiões ou bacias hidrográficas. Dyer e Taylor (2008) afirmam que a diversidade do milho é mantida no nível da localidade e não das UD's, sendo esta última apenas uma consequência do manejo local. Já Jackson et al. (2010) consideram que todas as escalas espaciais são relevantes e que o foco deve estar na questão de como a integração entre elas se dá. Os autores afirmam também que é necessário sair do foco exclusivo no nível da unidade doméstica, e dar mais atenção às escalas de paisagem e bacias (JACKSON et al., 2008).

Ainda sobre a medição da agrobiodiversidade, uma melhor definição de qual nível e quais índices deveriam ser usados para medir a agrobiodiversidade poderia resultar em uma maior comparabilidade dos dados, auxiliando numa melhor compreensão destes sistemas e também no aprimoramento de futuros modelos.

8.6.3 Limitações e sugestões futuras

Todo modelo apresenta limitações e algumas limitações foram notadas no caso abordado nesta dissertação. Primeiramente, modelos teóricos como este não têm a intenção de produzir previsões ou modelar com precisão a realidade, havendo assim, uma limitação quanto à aplicabilidade prática do modelo. A principal função de modelos desse tipo é contribuir para o avanço do conhecimento teórico sobre o assunto, buscando entender como diferentes dinâmicas levam a diferentes resultados e indicando questões de pesquisa interessantes para serem exploradas. Além disso, há uma limitação dada pela quantidade de dados existentes e que foram coletados na revisão da literatura. Uma maior quantidade de dados possibilitaria um ajuste mais preciso do modelo, além de contribuir impondo mais restrições aos seus comportamentos e, assim, auxiliando na produção de comportamentos mais próximos da realidade.

Outra questão que deve ser considerada ao analisar a validade de modelos teóricos é qual a complexidade que o modelo deve possuir, ou qual deve ser a quantidade de parâmetros utilizados (SUN et al., 2016). O ideal é buscar um equilíbrio fazendo com que o sistema possua os comportamentos desejados com o mínimo de parâmetros livres possível (SUN et al., 2016). Uma crítica constante à utilização de modelos baseados em agentes é que, devido à grande flexibilização deste tipo de modelo, podem ser produzidos modelos muito

complexos, havendo também uma super parametrização. Isto leva à produção de modelos que conseguem gerar qualquer comportamento desejado, variando-se seus parâmetros.

Especificamente neste modelo, foram percebidos como problemas ou incongruências a dinâmica de troca e a questão da escala de tempo. A relação entre a quantidade de trocas e a riqueza de variedades na comunidade, bem como a pouca importância da topologia da *rede social prévia* foram resultados inesperados do modelo, possivelmente indicando que o mecanismo de trocas precisa ser aprimorado. O sistema também demorou consideravelmente para se estabilizar, algo que não era esperado. A possibilidade de mudar mais de uma variedade em cada ciclo agrícola ou utilizar condições iniciais mais próximas da realidade poderiam diminuir esse fator consideravelmente.

Por fim, algumas possibilidades futuras de melhorias foram pensadas, elas não foram implementadas devido ao limite de tempo de uma pesquisa de mestrado. Uma melhoria é a adição de um modelo epidemiológico simples, como um modelo SIS (BRAUER e CASTILLO-CHAVEZ 2001). Dessa forma poder-se-ia analisar como doenças se propagam entre as variedades, o que permitiria um estudo mais robusto do papel das adversidades e de quais sistemas seriam mais vulneráveis a ela. Outra modificação possível é a inclusão de um modelo de dinâmica de opinião, que fizesse a qualidade desejada pelas UD's variar de acordo com a interação entre as UD's. Isto possibilitaria o estudo de como surgem e decaem tendências de preferências por determinadas variedades, ou seja, de explicar como, de tempos em tempos, surgem variedades que ficam mais populares, mas que depois são abandonadas, um fenômeno observado em estudos de caso (LIMA et al., 2012). Modelos bayesianos como o de Deffuant et al. (2000) implementam a dinâmica de opinião de uma forma simples e com a necessidade de poucos parâmetros adicionais. Por fim, uma última modificação possível seria permitir a aprendizagem no nível da UD. Isso traria uma complexidade consideravelmente maior ao modelo, contudo, daria maior importância ao risco, algo que não foi abordado neste modelo.

8.7 Conclusão

Foi realizado um levantamento bibliográfico onde foram coletados índices de diversidade, histogramas de distribuição da diversidade nas comunidades e informações qualitativas sobre a diversidade para a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), a batata

(*Solanum tuberosum*) e o milho (*Zea mays*). Estes resultados possibilitaram a construção e validação do modelo desenvolvido, contribuindo para o ajuste de parâmetros e produzindo fatos estilizados que foram tomados como referência na construção do modelo.

O modelo se baseou nos dados coletados na literatura, com suas mecânicas sendo definidas a partir de simplificações de estudos de caso das espécies acima mencionadas. Foram acopladas dinâmicas biológicas, sociais e culturais na tentativa de captar os elementos explicativos essenciais que permitem a manutenção da agrobiodiversidade em sistemas agrícolas tradicionais, bem como as condições que propiciam uma maior ou menor diversidade. A diversidade foi obtida de modo emergente na comunidade, partindo da definição - em uma escala espacial menor - de como as UD's atuam sob as variedades, interação entre si e com o ambiente. O modelo não depende das condições iniciais e chega em uma região de estabilidade após certa quantidade de ciclos agrícolas. Os resultados foram congruentes com os dados do levantamento bibliográfico, satisfazendo assim os objetivos propostos. Foram produzidos resultados compatíveis para a riqueza de variedades na comunidade, riqueza média de variedades por UD e índices de Simpson, Shannon e Berger-Parker nas escalas da UD e comunidade, além de comportamentos semelhantes quanto à forma como a variedade está distribuída na comunidade.

Dentro da dinâmica biológica obteve-se um resultado compatível com os estudos de caso, com ambientes mais heterogêneos propiciando uma maior riqueza de variedades na escala da comunidade e UD. Além disso, a probabilidade de morte e surgimento de novas variedades atuam se contrabalanceando e são importantes para determinar a região de estabilidade do modelo. Na dinâmica social, a riqueza de variedades se mostrou pouco sensível à topologia das redes, enquanto a troca atua aumentando a diversidade no nível da UD. As topologias foram mais importantes na difusão de sementes, com UD's com maior centralidade de proximidade na rede sendo uma das que têm maior capacidade de difundir variedades. Na dinâmica de seleção de sementes, a ponderação entre dois critérios, um de origem biológica-agronômica, e um de origem cultural, se mostrou importante para a obtenção do resultado final do modelo. Além disso, a forma como a seleção foi construída, levando variedades de maior pontuação a serem cultivadas em maior quantidade e variedades de menor pontuação em menor quantidade, foi fundamental para produzir os resultados obtidos.

Referências

- ABIZAID, Christian e COOMES, Oliver T. e PERRAULT-ARCHAMBAULT, Mathilde. **Seed Sharing in Amazonian Indigenous Rainforest Communities: a Social Network Analysis in three Achuar Villages, Peru**. *Human Ecology*, v. 44, n. 5, p. 577–594, Out 2016.
- ADAMS, Cristina. **Caçaras na Mata Atlântica: pesquisa científica versus planejamento e gestão ambiental**. São Paulo: Annablume: FAPESP, 2000b.
- ADAMS, Cristina; MURRIETA, Rui Sérgio S.; SANCHES, Rosely Alvim. **Agricultura e alimentação em populações ribeirinhas das várzeas do Amazonas: novas perspectivas**. *Ambiente & Sociedade*, v. 8, n. 1, 2005.
- ADAMS, C., SIQUEIRA, A., MURRIETA, R. S. S. & SANCHES, R. A., 2006. **O Pão da Terra. Da Invisibilidade da Mandioca na Amazônia**. In: ADAMS, C; MURRIETA, R. S. S.; NEVES, W. A. (eds.), *Sociedades Caboclas Amazônicas: Modernidade e Invisibilidade*. São Paulo: Annablume, p. 291-317, 2006.
- ADAMS, Cristina et al. **Diversifying Incomes and Losing Landscape Complexity in Quilombola Shifting Cultivation Communities of the Atlantic Rainforest (Brazil)**. *Human Ecology*, v. 41, n. 1, p. 119–137, 2013.
- ALBERT, Réka; BARABÁSI, Albert-László. **Statistical mechanics of complex networks**. *Reviews of modern physics*, v. 74, n. 1, p. 47, 2002.
- ALTIERI, Miguel A. **Agroecologia, agricultura camponesa e soberania alimentar**. p. 11, 2010.
- ALTIERI, Miguel A. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. 3ª Edição. Editora Expressão Popular, AS-PTA, São Paulo, Rio de Janeiro. 2012.
- ALTIERI, Miguel A. e MERRICK, Laura. **In situ conservation of crop genetic resources through maintenance of traditional farming systems**. *Economic Botany*, v. 41, n. 1, p. 86–96, Jan 1987.
- ALVAREZ, Nadir et al. **Farmers' practices, metapopulation dynamics, and conservation of agricultural biodiversity on-farm: a case study of sorghum among the Duupa in sub-sahelian Cameroon**. *Biological Conservation*, v. 121, n. 4, p. 533–543, Fev 2005.

- ALVES-PEREIRA, Alessandro et al. **Patterns of nuclear and chloroplast genetic diversity and structure of manioc along major Brazilian Amazonian rivers.** *Annals of Botany*, v. 121, n. 4, p. 625–639, 2018.
- AN, Li. **Modeling human decisions in coupled human and natural systems: Review of agent-based models.** *Ecological Modelling*, v. 229, p. 25–36, 2012.
- BARRETTO FILHO, Henyo T. **Populações tradicionais: introdução à crítica da ecologia política de uma noção.** In: ADAMS, C; MURRIETA, R. S. S.; NEVES, W. A. (eds.), *Sociedades Caboclas Amazônicas: Modernidade e Invisibilidade*. São Paulo: Annablume, p. 291-317, 2006.
- BAZILE, Didier; SOUMARE, Mamy. **Gestion spatiale de la diversité variétale en réponse à la diversité écosystémique: le cas du sorgho [*Sorghum bicolor* (L) Moench] au Mali.** *Cahiers Agricultures*, v. 13, n. 6, p. 480-487 (1), 2004.
- BAZILE, D; PAGE, CL; DEMBELE, S; ABRAMI, G. **Perspectives of modelling the farmer' seed system for in situ conservation of sorghum varieties in Mali.** In : Cunha JB, Morais R, eds. *Fifth Conference of the EFITA and 3rd World Congress on computers in agriculture and natural resources*. Vila Real (Portugal) : European Federation for Information Technologies in Agriculture, Food and the Environment (EFITA), 2005.
- BELLON, Mauricio R. **The ethnoecology of maize variety management: A case study from Mexico.** *Human Ecology*, v. 19, n. 3, p. 389–418, Set 1991.
- BELLON, Mauricio R. e BRUSH, Stephen B. **Keepers of maize in Chiapas, Mexico.** *Economic Botany*, v. 48, n. 2, p. 196–209, Abr 1994.
- BELLON, Mauricio R. **The dynamics of crop infraspecific diversity: A conceptual framework at the farmer level.** *Economic botany*, v. 50, n. 1, p. 26–39, 1996.
- BERGER, T. **Agent-based spatial models applied to agriculture: a simulation tool for technology diffusion, resource use changes and policy analysis.** *Agricultural Economics*, v. 25, p. 245-260. 2001.
- BERKES, Fikret; COLDING, Johan; FOLKE, Carl (Ed.). **Navigating social-ecological systems: building resilience for complexity and change.** Cambridge University Press, 2008.
- BINDER, Claudia R. et al. **Comparison of Frameworks for Analyzing Social-ecological Systems.** *Ecology and Society*, v. 18, n. 4, 2013.

BONABEAU, Eric. **Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems**. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 99, n. suppl 3, p. 7280-7287, 2002.

BOSTER, James. **Inferring Decision Making from Preferences and Behavior: An Analysis of Aguaruna Jivaro Manioc Selection**. p. 16, 1984.

BOSTER, James. **Selection for Perceptual Distinctiveness: Evidence from Aguaruna Cultivars of Manihot esculenta L.** ECONOMIC BOTANY, v. 39, p. 16, 1985.

BOTELHO, Tarcísio Rodrigues. **Batismo e compadrio de escravos: Montes Claros (MG), século XIX**. Locus-Revista de História, v. 3, n. 1, 1997.

BRANDEMBURG, Alfio. **Do rural tradicional ao rural socioambiental**. Ambiente & Sociedade, v. 13, n. 2, 2010.

BRASIL. **Decreto no 6.040, de 7 de fevereiro de 2007**. Institui a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Povos e Comunidades Tradicionais. Brasília, DF, 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/decreto/d6040.htm. Acesso em: 30 abr. 2018.

BRASIL, Ministério Público Federal. **Territórios de Povos e Comunidades Tradicionais e as Unidades de Conservação de Proteção Integral: Alternativas para o Asseguramento de Direitos Socioambientais**. Brasília: MPF, 2014. 121 p. (Manual de Atuação). Disponível em: <http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr6/documentos-e-publicacoes/manual-de-atuacao/docs/manual-de-atuacao-territorios-de-povos-e-comunidades-tradicionais>. Acesso em: 26 abr. 2018.

BRAUER, Fred; CASTILLO-CHAVEZ, Carlos. **Mathematical models in population biology and epidemiology**. New York: Springer, 2001.

BRUSH, Stephen B. **Cultural research on the origin and maintenance of agricultural diversity**. Nature Knowledge: Ethnoscience, Cognition, and Utility, p. 379–385, 2005.

BRUSH, Stephen B. **Farmers' bounty: locating crop diversity in the contemporary world**. New Haven: Yale University Press, Yale agrarian studies series, 2004.

BRUSH, S.B. e PERALES, Hugo R. **A maize landscape: Ethnicity and agrobiodiversity in Chiapas Mexico**. Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 121, n. 3, p. 211–221, Jul 2007.

- BRUSH, Stephen B. e TAYLOR, J. Edward e BELLON, Mauricio R. **Technology adoption and biological diversity in Andean potato agriculture.pdf**. Journal of Development Economics, v. 39, n. 2, p. 365–387, Out 1992.
- BRUSH, Stephen B. e CARNEY, Heath J. e HUMÁN, Zósimo. **Dynamics of Andean potato agriculture**. Economic Botany, v. 35, n. 1, p. 70–88, Jan 1981.
- BUCKINGHAM, K. et al. **Mapping Social Landscapes: A Guide to Identifying the Networks, Priorities, and Values of Restoration Actors**. World Resources Institute. Dez, 2018.
- CABRAL, Juliano Sarmento; VALENTE, Luis; HARTIG, Florian. **Mechanistic simulation models in macroecology and biogeography: state-of-art and prospects**. Ecography, v. 40, n. 2, p. 267–280, 2017.
- CAVECHIA, Laura A. et al. **Resource-Use Patterns in Swidden Farming Communities: Implications for the Resilience of Cassava Diversity**. Human Ecology, v. 42, n. 4, p. 605–616, Ago 2014.
- CBD, Convention on Biological Diversity. **Fifth Ordinary Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity**. Nairobi, Kenya. Maio, 2000.
- CHAMBERS, Kimberlee J. e MOMSEN, Janet Henshall. **From the kitchen and the field: Gender and maize diversity in the Bajío region of Mexico: Gender and maize diversity in the Bajío, Mexico**. Singapore Journal of Tropical Geography, v. 28, n. 1, p. 39–56, Mar 2007.
- CHERNELA, Janet M. **Os cultivares de mandioca na área do Uaupés (Tukâno)**. Suma etnológica brasileira, v. 1, p. 151–158, 1986.
- CHOI, Bernard C K e PAK, Anita W P. **Multidisciplinarity, interdisciplinarity and transdisciplinarity in health research, services, education and policy: 1. Definitions, objectives, and evidence of effectiveness**. Clin Invest Med, v. 29, n. 6, p. 14, 2006.
- CILLIERS, Paul. **Complexity and postmodernism: Understanding complex systems**. routledge, 2002.
- CLEMENT, Charles R. et al. **Origin and Domestication of Native Amazonian Crops**. Diversity, 00185, v. 2, n. 1, p. 72–106, 6 2010.
- COLLADO, Luiz A. et al. **Experiencias sobre la diversidad en los cultivos y aspectos económicos de la conservación in situ en la Amazonia central peruana**.

in Manejo de la Diversidad de los Cultivos en los Agroecosistemas Tradicionales eds Chavez-Servia J-L, Tuxill J, Jarvis DI. Cali, Colombia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, 2004. p. 188–198.

CONWAY, John. The game of life. **Scientific American**, v. 223, n. 4, p. 4, 1970.

COOMES, Oliver T. et al. **Farmer seed networks make a limited contribution to agriculture? Four common misconceptions**. Food Policy, v. 56, p. 41–50, 2015.

COTTERRELL, Roger. **A legal concept of community**. Canadian Journal of Law & Society/La Revue Canadienne Droit et Société, v. 12, n. 02, p. 75-91, 1997.

CRABTREE, Stefani. **Why Can't We be Friends? Exchange, alliances and aggregation on the Colorado Plateau**. Master of arts in anthropology. Washington State University, 203p, 2012.

CUNHA, Manuela Carneiro da. **Cultura com aspas e outros ensaios**. 1. ed. São Paulo: Cosac Naify, 2009.

CUNHA, Manuela Carneiro da; ALMEIDA, Mauro William Barbosa. Populações tradicionais e conservação ambiental. In: **Cunha, Manuela Carneiro da. Cultura com aspas e outros ensaios**. São Paulo. 1. ed. São Paulo: Cosac Naify, 2009.

CUNHA, Manuela Carneiro da. **Questões suscitadas pelo conhecimento tradicional**. Revista de Antropologia, v. 55, n. 1, p. 439–464, 2012.

DE HAAN, Stef. **Haan, 2009. Potato diversity at height multiple dimensions of farmer-driven in-situ conservation in the Andes**. International Potato Center, 2009.

DEFFUANT, Guillaume et al. **Mixing beliefs among interacting agents**. Advances in Complex Systems, v. 3, n. 01n04, p. 87-98, 2000.

DEGUET, Joris; DEMAZEAU, Yves; MAGNIN, Laurent. **Elements about the emergence issue: A survey of emergence definitions**. Complexus, v. 3, n. 1-3, p. 24-31, 2006.

DELÊTRE, Marc e MCKEY, Doyle B. e HODKINSON, Trevor R. **Marriage exchanges, seed exchanges, and the dynamics of manioc diversity**. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 108, n. 45, p. 18249–18254, 2011.

DUFOUR, Darna L. **Cyanide content of cassava (Manihot esculenta, Euphorbiaceae) cultivars used by Tukanoan Indians in Northwest Amazonia**. Economic Botany, v. 42, n. 2, p. 255–266, 1988.

DUFOUR, Darna L. **“Bitter” cassava: toxicity and detoxification**. In: Ortiz R, Nassar N (org). Proceedings of first international meeting on cassava breeding, biotechnology and ecology, University of Brasília, Brasília, pp 171–184, 2006.

DULLOO, Mohammad Ehsan e HUNTER, DANNY e BORELLI, TEREZA. **Ex situ and in situ conservation of agricultural biodiversity: major advances and research needs**. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, v. 38, n. 2, p. 123, 2010.

DUPUTIÉ, A. et al. **Traditional Amerindian cultivators combine directional and ideotypic selection for sustainable management of cassava genetic diversity**. Journal of Evolutionary Biology, v. 22, n. 6, p. 1317–1325, Jun 2009.

DWIVEDI, Sangam et al. **Food, nutrition and agrobiodiversity under global climate change**. In: SPARKS, Donald L (org.). **Advances in agronomy**. Academic Press, 2012.

DYER, G. A. e LÓPEZ-FELDMAN, A. e YÚNEZ-NAUDE, A. **Maize (*Zea mays* L.) management in Yaxcaba, Yucatan, during the twenty first century’s first decade is consistent with an overall loss of landrace diversity in southeast Mexico**. Genetic Resources and Crop Evolution, v. 65, n. 1, p. 29–54, Jan 2018.

DYER, George A. et al. **Genetic erosion in maize’s center of origin**. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 111, n. 39, p. 14094–14099, 30 Set 2014.

DYER, George A. e GONZÁLEZ, Carolina e LOPERA, Diana Carolina. **Informal “Seed” Systems and the Management of Gene Flow in Traditional Agroecosystems: The Case of Cassava in Cauca, Colombia**. PLoS ONE, v. 6, n. 12, p. e29067, 12 Dez 2011.

DYER, George A.; TAYLOR, J. Edward. **A crop population perspective on maize seed systems in Mexico**. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 105, n. 2, p. 470–475, 2008.

ECHEVERRI, Juan Álvaro. **Pueblos indígenas y cambio climático: el caso de la Amazonía colombiana**. Bulletin de l’Institut français d’études andines, n. 38 (1), p. 13–28, 1 Abr 2009.

ELIAS, Marianne e RIVAL, Laura e MCKEY, Doyle. **Perception and management of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) diversity among Makushi Amerindians of Guyana (South America)**. Journal of ethnobiology, v. 20, n. 2, p. 239–265, 2000.

ELIAS, Marianne et al. **Unmanaged sexual reproduction and the dynamics of genetic diversity of a vegetatively propagated crop plant, cassava (*Manihot***

esculenta Crantz), in a traditional farming system. *Molecular Ecology*, v. 10, n. 8, p. 1895–1907, Ago 2001.

ELIAS, Marianne et al. **Genetic Diversity of Traditional South American Landraces of Cassava (*Manihot Esculenta* Crantz): An Analysis Using Microsatellites.** *Economic Botany*, 00093, v. 58, n. 2, p. 242–256, Abr 2004.

EMPERAIRE, Laure et al. **Approche comparative de la diversité génétique et de la diversité morphologique des maniocs en Amazonie (Brésil et Guyanes).** *Les Actes du BRG*, v. 4, p. 247-267, 2003.

EMPERAIRE, Laure e PERONI, Nivaldo. **Traditional Management of Agrobiodiversity in Brazil: A Case Study of Manioc.** *Human Ecology*, v. 35, n. 6, p. 761–768, 2007.

EMPERAIRE, Laure e ELOY, Ludivine. **A cidade, um foco de diversidade agrícola no Rio Negro (Amazonas, Brasil)? The urban area, a center of agrobiodiversity in the Negro River region (Amazonas, Brazil)?** *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, 2008.

EMPERAIRE, Laure et al.. **Dossiê de registro do sistema agrícola tradicional do Rio Negro.** Brasília: ACIMRN/IRD/IPHAN/Unicamp–CNPq. , 2010

EPSTEIN, Joshua M. **Why model?.** *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, v. 11, n. 4, p. 12, 2008.

EPSTEIN, Joshua M. **Agent-based computational models and generative social science.** *Complexity*, v. 4, n. 5, p. 41-60, 1999.

EPSTEIN, Joshua M.; AXTELL, Robert. **Growing artificial societies: social science from the bottom up.** Brookings Institution Press, 1996.

FAO, Food and Agriculture Organization. **Shifting Cultivation.** *Unasylva* 11:1, 1957.

FAO, Food and Agriculture Organization. **The state of the world's plant genetic resources for food and agriculture.** Rome, 1997.

FAO, Food and Agriculture Organization. **Agricultural Biodiversity.** Netherlands Conference on the Multifunctional Character of Agriculture and Land, Background Paper 1, Maastricht, Netherlands, 1999a.

FAO. **Women: users, preservers and managers of agrobiodiversity.** Rome, 1999b.

FAO. **The state of food security and nutrition in the world 2018: Building climate resilience for food security and nutrition.** Rome: FAO, 2018.

- FAO, FAOSTAT. **Food and agriculture data**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/>. Acesso em: 7 jul. 2019.
- FENZI, Marianna et al. **Longitudinal analysis of maize diversity in Yucatan, Mexico: influence of agro-ecological factors on landraces conservation and modern variety introduction**. *Plant Genetic Resources*, v. 15, n. 1, p. 51–63, Feb 2017.
- FILATOVA, Tatiana et al. **Spatial agent-based models for socio-ecological systems: Challenges and prospects**. *Environmental Modelling & Software*, v. 45, p. 1–7, 2013.
- FILOTAS, Elise et al. **Viewing forests through the lens of complex systems science**. *Ecosphere*, v. 5, n. 1, p. art1, Jan 2014.
- FOLKE, Carl. **Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses**. *Global environmental change*, v. 16, n. 3, p. 253–267, 2006.
- FRASER, James Angus et al. **Convergent Adaptations: Bitter Manioc Cultivation Systems in Fertile Anthropogenic Dark Earths and Floodplain Soils in Central Amazonia**. *PLoS ONE*, v. 7, n. 8, p. e43636, 2012.
- FRISON, Emile A. e CHERFAS, Jeremy e HODGKIN, Toby. **Agricultural Biodiversity Is Essential for a Sustainable Improvement in Food and Nutrition Security**. *Sustainability*, v. 3, n. 1, p. 238–253, 2011.
- FROMM, J. **Types and forms of emergence**. eprint arXiv:nlin0506028, 2005.
- FU, Yong-Bi. **Understanding crop genetic diversity under modern plant breeding**. *Theoretical and Applied Genetics*, v. 128, n. 11, p. 2131–2142, Nov 2015.
- GALVÃO, Wenceslau Sampaio; GALVÃO, Raimundo Castro. **Livro dos Antigos Desana: Guahari Diputiro Porã**. São João Batista do Rio Tiquié, São Gabriel da Cachoeira. Federação das Organizações Indígenas do Rio Negro (FOIRN), 2004.
- GÓMEZ, José Alfonso Aguirre e BELLON, Mauricio R. e SMALE, Melinda. **A Regional analysis of Maize Biological Diversity in Southeastern Guanajuato, México**. *Economic Botany*, v. 54, n. 1, p. 60–72, Jan 2000.
- GRABOWSKI, Franciszek; STRZALKA, Dominik. **Simple, complicated and complex systems-the brief introduction**. In: *Conference on Human System Interactions*. IEEE, p. 570–573, 2008.
- HALSTEAD, P. e O'SHEA, J. (Org.). **Bad Year Economics: Cultural Responses to Risk and Uncertainty**. *New Directions in Archaeology*, Cambridge University Press, 1989.

- HEATH, Brian; HILL, Raymond; CIARALLO, Frank. **A survey of agent-based modeling practices (January 1998 to July 2008)**. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, v. 12, n. 4, p. 9, 2009.
- HECKLER, Serena; ZENT, Stanford. **Piaroa manioc varietals: hyperdiversity or social currency?**. *Human Ecology*, v. 36, n. 5, p. 679-697, 2008.
- HEINIMANN, Andreas et al. **A global view of shifting cultivation: Recent, current, and future extent**. *PLOS ONE*, v. 12, n. 9, p. e0184479, 2017.
- HORGAN, John. **From complexity to perplexity**. *Scientific American*, v. 272, n. 6, p. 104-109, 1995.
- HUANG, Chung-Yuan; SUN, Chuen-Tsai; LIN, Hsun-Cheng. **Influence of local information on social simulations in small-world network models**. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, v. 8, n. 4, 2005.
- IPBES. **Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services**. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (editors). IPBES Secretariat, Bonn, Germany. 2019.
- ISAKSON, S. Ryan. **Market Provisioning and the Conservation of Crop Biodiversity: An Analysis of Peasant Livelihoods and Maize Diversity in the Guatemalan Highlands**. *World Development*, v. 39, n. 8, p. 1444–1459, Ago 2011.
- JACKSON, Louise et al. **Biodiversity and agricultural sustainability: from assessment to adaptive management**. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 00115, v. 2, n. 1–2, p. 80–87, Maio 2010.
- JACKSON, L. E. e PASCUAL, U. e HODGKIN, T. **Utilizing and conserving agrobiodiversity in agricultural landscapes**. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 121, n. 3, p. 196-210, 2007.
- JACKSON, M. T. e HAWKES, J. G. e ROWE, P. R. **An ethnobotanical field study of primitive potato varieties in Peru**. *Euphytica*, v. 29, n. 1, p. 107–113, Fev 1980.
- JAKOVAC, Catarina C. et al. **Swiddens under transition: Consequences of agricultural intensification in the Amazon**. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 218, p. 116–125, 2016.
- JARVIS, D. I. et al. **A global perspective of the richness and evenness of traditional crop-variety diversity maintained by farming communities**. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 105, n. 14, p. 5326–5331, 2008.

- KAWA, Nicholas C. e MCCARTY, Christopher e CLEMENT, Charles R. **Manioc Varietal Diversity, Social Networks, and Distribution Constraints in Rural Amazonia**. *Current Anthropology*, v. 54, n. 6, 2013.
- KHOURY, C. K. et al. **Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security**. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 111, n. 11, p. 4001–4006, 18 Mar 2014.
- KWAPIEŃ, Jarosław e DROŹDŹ, Stanisław. **Physical approach to complex systems**. *Physics Reports*, v. 515, n. 3–4, p. 115–226, Jun 2012.
- LABEYRIE, Vanesse e RONO, Bernard e LECLERC, Christian. **How social organization shapes crop diversity: an ecological anthropology approach among Tharaka farmers of Mount Kenya**. *Agriculture and Human Values*, v. 31, n. 1, p. 97–107, Mar 2014.
- LECLERC, Christian e COPPENS D'EECKENBRUGGE, Geo. **Social Organization of Crop Genetic Diversity. The G x E x S Interaction Model**. *Diversity*, v. 4, n. 4, p. 1–32, 21 2012.
- LEGOVIĆ, Tarzan e CRUZADO, Antonio. **A model of phytoplankton growth on multiple nutrients based on the Michaelis-Menten-Monod uptake, Droop's growth and Liebig's law**. *Ecological Modelling*, v. 99, n. 1, p. 19–31, 1997.
- LEVIN, Simon et al. **Social-ecological systems as complex adaptive systems: modeling and policy implications**. *Environment and Development Economics*, v. 18, n. 02, p. 111–132, Abr 2013.
- LIMA, Deborah. **A economia doméstica em Mamirauá**. In: ADAMS, C; MURRIETA, R. S. S.; NEVES, W. A. (eds.), *Sociedades Caboclas Amazônicas: Modernidade e Invisibilidade*. São Paulo: Annablume, p. 291–317, 2006.
- LIMA, Deborah; STEWARD, Angela e RICHERS, Bárbara Trautman. **Exchange, experimentation and preferences: A study on the dynamics of manioc diversity in the Middle Solimões, Amazonas**. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, v. 7, n. 2, p. 371–396, 2012.
- LIN, Brenda B. **Resilience in Agriculture through Crop Diversification: Adaptive Management for Environmental Change**. *BioScience*, v. 61, n. 3, p. 183–193, 2011.
- LOUETTE, Dominique e CHARRIER, André e BERTHAUD, Julien. **In Situ conservation of maize in Mexico: Genetic diversity and Maize seed management in a traditional community**. *Economic Botany*, v. 51, n. 1, p. 20–38, Jan 1997.

- MACAL, Charles M.; NORTH, Michael J. **Tutorial on agent-based modeling and simulation**. In: Simulation Conference, 2005 Proceedings of the Winter. IEEE, p. 14, 2005.
- MACY, M. W.; WILLE, R. **From Factors to Actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling**. Annual Review of Sociology, v. 28, n.1, p. 143-166. 2002.
- MAGURRAN, Anne E. **Measuring biological diversity**. John Wiley & Sons, 2013.
- MAJOR, Julie e CLEMENT, Charles R. e DITOMMASO, Antonio. **Influence of Market Orientation on Food Plant Diversity of Farms Located on Amazonian Dark Earth in the Region of Manaus, Amazonas, Brazil**. Economic Botany, v. 59, n. 1, p. 77-86, Jan 2005.
- MALÉZIEUX, E. et al. **Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review**. Agronomy for Sustainable Development, v. 29, n. 1, p. 43-62, 2009.
- MANSON, Steven M. **Does scale exist? An epistemological scale continuum for complex human-environment systems**. Geoforum, v. 39, n. 2, p. 776-788, Mar 2008.
- MARCHETTI, Fábio Frattini et al. **Maintenance of Manioc Diversity by Traditional Farmers in the State of Mato Grosso, Brazil: A 20-Year Comparison**. Economic Botany, v. 67, n. 4, p. 313-323, Dez 2013.
- MARQUES, Paulo Eduardo Moruzzi. **Embates em torno da segurança e soberania alimentar: estudo de perspectivas concorrentes**. Segurança Alimentar e Nutricional, v. 17, n. 2, p. 78, 9 Fev 2010.
- MARSTON, John M. **Archaeological markers of agricultural risk management**. Journal of Anthropological Archaeology, v. 30, n. 2, p. 190-205, 2011.
- MARTINS, Paulo Sodero. **Dinâmica evolutiva em roças de caboclos amazônicos**. Estudos Avançados, v. 19, n. 53, p. 209-220, 2005.
- MAURER, Brian A.; MCGILL, Brian J. Measurement of species diversity. **Biological diversity: frontiers in measurement and assessment**, p. 55-65, 2011.
- MAY, Robert M. e MCLEAN, Angela R. (Org.). **Theoretical ecology: principles and applications**. Oxford; New York: Oxford University Press, 2007.
- MAZOYER, Marcel e ROUDART, Laurence. **História das agriculturas no mundo: do Neolítico à crise contemporânea**. Editora UNESP, 2008.
- MCGINNIS, Michael D. e OSTROM, Elinor. **Social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges**. Ecology and Society, v. 19, n. 2, 2014.

- MCKEY, Doyle et al. **The evolutionary ecology of clonally propagated domesticated plants**. *New Phytologist*, v. 186, n. 2, p. 318–332, 2010a.
- MCKEY, Doyle et al. **Chemical ecology in coupled human and natural systems: people, manioc, multitrophic interactions and global change**. *Chemoecology*, v. 20, n. 2, p. 109–133, 2010b.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). **Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis**. Island Press, Washington. 155 pp, 2005.
- MELDRUM, Gennifer et al. **Climate change and crop diversity: farmers' perceptions and adaptation on the Bolivian Altiplano**. *Environment, Development and Sustainability*, v. 20, n. 2, p. 703–730, Abr 2018.
- MERCER, Kristin L. e PERALES, Hugo R. **Evolutionary response of landraces to climate change in centers of crop diversity: Climate change and crop diversity**. *Evolutionary Applications*, v. 3, n. 5–6, p. 480–493, Set 2010.
- MERTZ, Ole et al. **Swidden Change in Southeast Asia: Understanding Causes and Consequences**. *Human Ecology*, v. 37, n. 3, p. 259–264, 2009.
- MICHAELIS. **Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa**. Editora Melhoramentos, 2015. Disponível em: <http://michaelis.uol.com.br>. Acesso em: Maio, 2018.
- MILLER, John H.; PAGE, Scott E. **Complex adaptive systems: an introduction to computational models of social life: an introduction to computational models of social life**. Princeton university press, 2009.
- MINTZ, Sidney W. **Cultura: uma visão antropológica**. *Tempo*, v. 14, n. 28, 2010.
- MITCHELL, Melanie. **Complexity: A guided tour**. Oxford University Press, 2009.
- MONOD, Jacques. **The growth of bacterial cultures**. *Annual Reviews in Microbiology*, v. 3, n. 1, p. 371–394, 1949.
- MORENO, Luis Latournerie et al. **Traditional Maize Storage Methods of Mayan Farmers in Yucatan, Mexico: Implications for Seed Selection and Crop Diversity**. *Biodiversity and Conservation*, v. 15, n. 5, p. 1771–1795, Maio 2006.
- MORILLO, Fernanda e BORDONS, María e GÓMEZ, Isabel. **Interdisciplinarity in science: A tentative typology of disciplines and research areas**. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, v. 54, n. 13, p. 1237–1249, Nov 2003.

- MOSCHINI, Giancarlo e HENNESSY, David A. **Uncertainty, risk aversion, and risk management for agricultural producers**. Handbook of agricultural economics. North-Holland, 2001. v. 1A. p. 87–153.
- NAZAREA, Virginia D. **Cultural memory and biodiversity**. University of Arizona Press, 2005.
- NETTING, Robert McC. **Smallholders, householders: farm families and the ecology of intensive, sustainable agriculture**. Stanford University Press, 1993.
- NEWMAN, Mark. **Networks: an introduction**. Oxford university press, 2010.
- NEWMAN, Mark EJ. **Complex systems: A survey**. arXiv preprint arXiv:1112.1440, 2011.
- NORDHAGEN, Stella e PASCUAL, Unai. **The Impact of Climate Shocks on Seed Purchase Decisions in Malawi: Implications for Climate Change Adaptation**. World Development, v. 43, p. 238–251, Mar 2013.
- ONU. **17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em <https://nacoesunidas.org/pos2015/>. Acesso em: Maio 2018.
- OROZCO-RAMÍREZ, Q. et al. **Maize diversity associated with social origin and environmental variation in Southern Mexico**. Heredity, 00010, v. 116, n. 5, p. 477–484, 2016.
- OROZCO-RAMÍREZ, Quetzalcóatl e ASTIER, Marta. **Socio-economic and environmental changes related to maize richness in Mexico's central highlands**. Agriculture and Human Values, v. 34, n. 2, p. 377–391, Jun 2017.
- OSTROM, E. **A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems**. Science, v. 325, n. 5939, p. 419–422, 24 Jul 2009.
- OSTROM, Elinor. **Governing the commons**. Cambridge university press, 2015.
- PAGE, Scott E. **Diversity and Complexity**. Princeton: Princeton University Press, 2010.
- PAUTASSO, Marco et al. **Seed exchange networks for agrobiodiversity conservation. A review**. Agronomy for Sustainable Development, v. 33, n. 1, p. 151–175, 2012.
- PAUTASSO, Marco. **Network simulations to study seed exchange for agrobiodiversity conservation**. Agronomy for Sustainable Development, v. 35, n. 1, p. 145–150, Jan 2015.

- PEDROSO-JÚNIOR, Nelson Novaes; MURRIETA, Rui Sérgio Sereni; ADAMS, Cristina. **A agricultura de corte e queima: um sistema em transformação.** Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Humanas, v. 3, n. 2, p. 153-174, 2008.
- PEÑA-VENEGAS, Clara et al. **Differences in Manioc Diversity Among Five Ethnic Groups of the Colombian Amazon.** Diversity, v. 6, n. 4, p. 792–826, 9 Dez 2014.
- PERALES, Hugo R. e BENZ, Bruce F. e BRUSH, Stephen B. **Maize diversity and ethnolinguistic diversity in Chiapas, Mexico.** Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 102, n. 3, p. 949–954, 2005.
- PERALES R., Hugo e BRUSH, S. B. e QUALSET, C. O. **Landraces of Maize in Central Mexico: An Altitudinal Transect.** Economic Botany, v. 57, n. 1, p. 7–20, Jan 2003a.
- PERALES, Hugo R. e BRUSH, S. B. e QUALSET, C. O. **Dynamic Management of Maize Landraces in Central Mexico.** Economic Botany, v. 57, n. 1, p. 21–34, Jan 2003b.
- PEREIRA, K. J. C. **Agricultura tradicional e manejo da agrobiodiversidade na Amazônia Central: um estudo de caso nos roçados de mandioca nas Reservas de Desenvolvimento Sustentável Amanã e Mamirauá, Amazonas.** Tese de Doutorado em Ecologia Aplicada. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2008.
- PERONI, Nivaldo. **Ecologia e genética da mandioca na agricultura itinerante do litoral sul paulista: uma análise espacial e temporal.** Tese de Doutorado em Biologia Vegetal. Universidade Estadual de Campinas, 2004.
- PERREAULT, Thomas. **Why chacras (swidden gardens) persist: agrobiodiversity, food security, and cultural identity in the Ecuadorian Amazon.** Human Organization, 00063, v. 64, n. 4, p. 327–339, 2005.
- PINTON, F e EMPERAIRE, Laure. **Le manioc en Amazonie brésilienne: diversité variétale et marché.** p. 23, 2001.
- PUJOL, Benoît et al. **The unappreciated ecology of landrace populations: Conservation consequences of soil seed banks in Cassava.** Biological Conservation, v. 136, n. 4, p. 541–551, Maio 2007.
- QUIROS, C. F et al. **Biochemical and folk assessment of variability of andean cultivated potatoes.** Economic Botany, v. 44, n. 2, p. 254–266, Abr 1990.

- RAMALINGAM, Ben et al. **Exploring the science of complexity: Ideas and implications for development and humanitarian efforts**. London: Overseas Development Institute, 2008.
- RAMOS, Fabricio Tomaz et al. **Sistemas de produção de mandioca em comunidades locais de Cáceres, MT: um estudo de caso**. p. 14, 2011.
- RICCIARDI, Vincent. **Social seed networks: Identifying central farmers for equitable seed access**. *Agricultural Systems*, v. 139, p. 110–121, Out 2015.
- RICE, Elizabeth e SMALE, Melinda e BLANCO, José-Luis. **Farmers' use of improved seed selection practices in Mexican maize: Evidence and issues from the Sierra de Santa Marta**. *World Development*, v. 26, n. 9, p. 1625–1640, Set 1998.
- RIDLEY, Mark. **Evolution**. Blackwell Publishing, 3a ed, 2004.
- RIVAL, Laura e MCKEY, Doyle. **Domestication and diversity in manioc (*Manihot esculenta* Crantz ssp. *esculenta*, Euphorbiaceae)**. *Current anthropology*, v. 49, n. 6, p. 1119–1128, 2008.
- RUDEL, Thomas K. e BATES, Diane e MACHINGUIASHI, Rafael. **A Tropical Forest Transition? Agricultural Change, Out-migration, and Secondary Forests in the Ecuadorian Amazon**. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 92, n. 1, p. 87–102, Mar 2002.
- SADIKI, M. et al. **Variety names: an entry point to crop genetic diversity and distribution in agroecosystems**. *Managing biodiversity in agricultural ecosystems*, v. 34, p. 76, 2007.
- SALICK, Jan e CELLINESE, NICOLETA e KNAPP, SANDRA. **Indigenous diversity of Cassava: Generation, maintenance, use and loss among the Amuesha, Peruvian upper Amazon**. *ECONOMIC BOTANY*, v. 51, p. 14, 1997.
- SALPETEUR, Matthieu et al. **Networking the environment: social network analysis in environmental management and local ecological knowledge studies**. *Ecology and Society*, v. 22, n. 1, 2017.
- SANTILLI, Juliana. **Agrobiodiversidade e direitos dos agricultores**. Editora Peirópolis LTDA, 2009.
- SANTONIERI, Laura Rodrigues. **Agrobiodiversidade e Conservação ex situ: reflexões sobre conceitos e práticas a partir do caso da Embrapa Brasil**. 2015. Universidade de Campinas, Campinas, 2015.

- SAYAMA, Hiroki. **Introduction to the modeling and analysis of complex systems**. Open SUNY Textbooks, 2015.
- SCHELLING, Thomas C. **Dynamic models of segregation**. Journal of mathematical sociology, v. 1, n. 2, p. 143-186, 1971.
- SEIXAS, Ana Carolina Pinto De Souza. **Entre terreiros e roçados: a construção da agrobiodiversidade por moradores do rio croá, vale do juruá (AC)**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. 2008.
- SMALE, M. (Org.). **Valuing crop biodiversity: on-farm genetic resources and economic change**. Wallingford: CABI, 2005.
- SOUZA JÚNIOR, Misael B. de e FERREIRA, Fernando F. e DE OLIVEIRA, Viviane M. **Effects of the spatial heterogeneity on the diversity of ecosystems with resource competition**. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 00005, v. 393, p. 312–319, Jan 2014.
- SUN, Zhanli e colab. **Simple or complicated agent-based models? A complicated issue**. Environmental Modelling & Software, v. 86, p. 56–67, Dez 2016.
- TAMAQUIZA, Pedro Pablo Pomboza et al. **Ancestral practices in potato (*Solanum tuberosum* L.) crop of two rural communities in the Tungurahua, province of Ecuador**. Acta Agronómica, v. 66, n. 2, 1 Abr 2017.
- TEIXEIRA, Cristina. **O desenvolvimento sustentável em unidade de conservação: a naturalização**. Revista Brasileira de ciências sociais, v. 20, n. 59, 2005.
- THOMAS, Mathieu et al. **Seed exchanges, a key to analyze crop diversity dynamics in farmer-led on-farm conservation**. Genetic Resources and Crop Evolution, v. 58, n. 3, p. 321–338, 2011.
- THRUPP, Lori Ann. **Cultivating diversity: agrobiodiversity and food security**. Washington, DC. World Resources Institute, 1998.
- TOPPING, Chris J. et al. **ALMaSS, an agent-based model for animals in temperate European landscapes**. Ecological Modelling, v. 167, n. 1-2, p. 65-82, 2003.
- TSCHARNTKE, Teja et al. **Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification**. Biological Conservation, v. 151, n. 1, p. 53–59, Jul 2012.
- VAN DE WOUW, Mark et al. **Genetic erosion in crops: concept, research results and challenges**. Plant Genetic Resources, v. 8, n. 1, p. 1-15, 2010.

- VAN VELTHEM, L. H. e EMPERAIRE, L (orgs.). **Manivas aturás beijos: o Sistema Agrícola Tradicional do Rio Negro: Patrimônio Cultural do Brasil**. Santa Isabel do Rio Negro, ACIMRN, 2016.
- VAN VLIET, Nathalie et al. **Trends, drivers and impacts of changes in swidden cultivation in tropical forest-agriculture frontiers: A global assessment**. *Global Environmental Change*, v. 22, n. 2, p. 418–429, Maio 2012.
- VELÁSQUEZ-MILLA, Dora et al. **Ecological and socio-cultural factors influencing in situ conservation of crop diversity by traditional Andean households in Peru**. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, v. 7, n. 1, p. 40, 2011.
- VENÂNCIO, Renato Pinto; SOUSA, Maria José Ferro de; PEREIRA, Maria Teresa Gonçalves. **O Compadre Governador: redes de compadrio em Vila Rica de fins do século XVIII**. *Revista brasileira de História*, v. 26, n. 52, p. 273-294, 2006.
- VETETO, James R. e SKARBØ, Kristine. **Sowing the Seeds: Anthropological Contributions to Agrobiodiversity Studies**. *Culture & Agriculture*, v. 31, n. 2, p. 73–87, 2009.
- VINCENT, Thomas L.; BROWN, Joel S. **Evolutionary game theory, natural selection, and Darwinian dynamics**. Cambridge University Press, 2005.
- VIOLON, Chloé e THOMAS, Mathieu e GARINE, Eric. **Good year, bad year: changing strategies, changing networks? A two-year study on seed acquisition in northern Cameroon**. *Ecology and Society*, v. 21, n. 2, 2016.
- VIVEIROS DE CASTRO, Eduardo. **Os involuntários da pátria**. ARACÊ–Direitos Humanos em Revista, p. 187-93, 2016.
- WALKER, Brian et al. **Resilience, adaptability and transformability in social–ecological systems**. *Ecology and society*, v. 9, n. 2, 2004.
- WALKER, Brian et al. **A Handful of Heuristics and Some Propositions for Understanding Resilience in Social-Ecological Systems**. *Ecology and Society*, v. 11, n. 1, 2006.
- WANDERLEY, Maria de Nazareth Baudel. **Raízes históricas do campesinato brasileiro**. In: XX Encontro Anual Da ANPOCS, Caxambú, 1996.
- WASSERMAN, Stanley; FAUST, Katherine. **Social network analysis: Methods and applications**. Cambridge university press, 1994.

- WENCÉLIUS, Jean et al. **Interhousehold variability and its effects on seed circulation networks: a case study from northern Cameroon.** *Ecology and Society*, v. 21, n. 1, 2016.
- WILENSKY, Uri; RAND, William. **An introduction to agent-based modeling: modeling natural, social, and engineered complex systems with NetLogo.** MIT Press, 2015.
- WILSON, Warren M. e DUFOUR, D. L. **Why “Bitter” Cassava? Productivity of “Bitter” and “Sweet” Cassava in a Tukanoan Indian Settlement in the Northwest Amazon.** *Economic Botany*, v. 56, n. 1, p. 49–57, 2002.
- WINDRUM, Paul e FAGIOLO, Giorgio e MONETA, Alessio. **Empirical Validation of Agent-Based Models: Alternatives and Prospects.** p. 30, 2007.
- WINTERHALDER, Bruce. **Gifts given, gifts taken: the behavioral ecology of nonmarket, intragroup exchange.** *Journal of Archaeological Research*, v. 5, n. 2, p. 121–168, 1997
- WINTERHALDER, Bruce e LU, Flora e TUCKER, Bram. **Risk-sensitive adaptive tactics: models and evidence from subsistence studies in biology and anthropology.** *Journal of Archaeological Research*, 00192, v. 7, n. 4, p. 301–348, 1999.
- WINTERHALDER, Bruce. **Models.** In: HART, John P.; TERRELL, John (Ed.). *Darwin and archaeology: a handbook of key concepts.* Greenwood Publishing Group, 2002.
- WONG, Grace Y.; GODOY, Ricardo. **Consumption and vulnerability among foragers and horticulturalists in the rainforest of Honduras.** *World Development*, v. 31, n. 8, p. 1405-1419, 2003.

Anexo A – Dados da Revisão Bibliográfica de Estudos de Caso

Tabela 12 – Dados da agrobiodiversidade de mandioca.

Referência	Local	Etnia	Data Coleta	Comunidade	N	Riqueza Comu- nidade	Riqueza UD	Hist. Va- riedade	Hist. UD	Idx Di- versidade
Boster (1984)	Norte Peru Cen- tral	Indígena: Jivaros	1977-1978	Aguaruna Jívaro	74			Parcial		
Cavechia et al. (2014)	Imbituba, SC	Pop. Tradicional: Caiçara	2009-2010	5 comuni- dades	37	26		Sim		
	Paraty, RJ	Pop. Tradicional: Caiçara	2010	6 comuni- dades	46	33		Sim		
Chernela (1986)	Médio Uapés	Indígena: Diver- sos	1978-1981	Aldeia no Rio Uapés	77	59				
	Médio Uapés	Indígena: Diver- sos	1978-1981	Aldeia no Rio Tiquié	34	75				
	Alto Ucayali (Peru)	Indígena: Shipibo-Conibo	2001	Nuevo Ceylán	8	7	1,8			Sim
	Alto Ucayali (Peru)	Indígena: Shipibo-Conibo	2001	Santa Elisa	7	5	2,8			Sim
	Alto Ucayali (Peru)	Indígena: Shipibo-Conibo	2001	Vista Ale- gre	7	6	3,8			Sim
Collado et al. (2004) e Jarvist et al. (2008)	Alto Ucayali (Peru)	Indígena: Shipibo-Conibo	2001	Nuevo Ahuaypa	8	7	4,8			Sim
	Valle del Aguaytía (Peru)	Indígena: Shipibo-Conibo	2001	Santa Rosa	15	3	1,7			Sim
	Valle del Aguaytía (Peru)	Indígena: Cashibo-Cacataibo	2001	Sinchi Roca	10	9	2,7			Sim
	Valle del Aguaytía (Peru)	Indígena: Asháninka	2001	San José de Tunuya	7	7	3,7			Sim
	Valle del Aguaytía (Peru)	Indígena: Shipibo-Conibo	2001	Panaillo	8	5	4,7			Sim

Tabela 12 – Dados da agrobiodiversidade de mandioca (cont.).

Referência	Local	Etnia	Data Coleta	Comunidade	N	Riqueza Comunitária	Riqueza UD	Hist. Variabilidade	Hist. UD	Idx diversidade
Collado et al. (2004) e Jarvist et al. (2008)	Valle del Aguaytía (Peru)	Indígena: Shipibo-Conibo	2001	Santa Clara Uchunya	10	8	5,7			
	Valle del Aguaytía (Peru)	Indígena: Shipibo-Conibo	2001	Santa Clara	8	8	7,7			Sim
	Valle del Pichis-Pachitea (Peru)	Indígena: Asháninka	2001	Santa Teresa	7	12	12,7			Sim
	Valle del Pichis-Pachitea (Peru)	Indígena: Asháninka	2001	Nueva Gálilea	7	9	13,7			Sim
	Valle del Pichis-Pachitea (Peru)	Indígena: Asháninka	2001	Cahuapanas	8	9	14,7			Sim
Duputie et al. (2009)	Alto Oyapock (Guiana Francesa)	Indígena: Wayãpi	20007	Trois Sauts	10	61	20,9	Sim	Sim	
Elias et al. (2000)	Norte Rupununi (Guiana)	Indígena: Makkushi	1997-1998	Rewa	24	76	16	Sim	Sim	Sim
Emperaire et al. (2003)	Médio Rio Negro	Indígenas e Caboclos	1995-2001	Barcelos	5	18	9			
	Sudoeste Guiana Francesa	Indígena: Wayana	1995-2001	Litanie	8	62	11			
	Sudoeste Guiana Francesa	Pop. Tradicional: Aluku	1995-2001	Lawa	6	62	17			
	Sul Guiana	Indígenas: Makkushi	1995-2001	Rewa	14	60	16			
	Médio Rio Madeira	Pop. Tradicional: Caboclo	2006-2008	Água Azul	24	9	3,2	Sim	Sim	
Fraser et al. (2012)	Médio Rio Madeira	Pop. Tradicional: Caboclo	2006-2008	Barro Alto	94	12	2,5	Sim	Sim	

Tabela 12 – Dados da agrobiodiversidade de mandioca (cont.).

Referência	Local	Etnia	Data Coleta	Comunidade N	Riqueza Comu- nidade	Riqueza UD	Hist. Va- riedade	Hist. UD	Idx Di- versiade
Fraser et al. (2012)	Médio Rio Ma-deira	Pop. Tradicional: Caboclo	2006-2008	Água Azul floodplain	24	14	3,1	Sim	Sim
	Médio Rio Ma-deira	Pop. Tradicional: Caboclo	2006-2008	Genipapo floodplain Barreira do Ca-panã/Boa Vista	35	14	3,2	Sim	Sim
Friel (1959)	Médio Rio Ma-deira	Pop. Tradicional: Caboclo	2006-2008	Vista Alegre	40	19	3,8	Sim	Sim
	Bacia dos Rios Cururú e Tapajós	Indígena: Mundurucu	1957		32	21	3,9	Sim	Sim
Hames (1983)	Padama, sul da Venezuela	Indígena: Yanomami	1980?	Toropoteri	7 gar-dens 23	6			
	Padama, sul da Venezuela	Indígena: Ye'kwana	1980?	Toki	gar-dens	15			
Kawa et al. (2013)	Borba, Amazonas	Pop. Tradicional: Caboclo	2010	3	45	28	3,5	Sim	Sim
	Amazônia	Indígena: Pau-marí	1987?			12			
Kerr (1989)	Amazônia	Indígena: Palikúr	1984?			14			
	Amazônia	Indígena: Galibí	1985?			14			
	Amazônia	Indígena: Tukúna	1986?			14			
	Amazônia	Indígena: Yama-madí	1983?			17			
	Amazônia	Indígena: Kayapó	1983	Gorotire		21			
	Amazônia	Indígena: Desâna				40			

Tabela 12 – Dados da agrobiodiversidade de mandioca (cont.).

Referência	Local	Etnia	Data Coleta	Comunidade	N	Riqueza Comunitade	Riqueza UD	Hist. Variabilidade	Hist. UD	Idx Diversidade
Lima et al. (2012)	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2003-2005	Maguari	7	3	1,6			Sim
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2003-2005	Barroso	5	4	1,6			Sim
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2010-2011	Matusalem	7	5	1,3			Sim
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2003-2005	São Paulo do Coraci	12	5	1,6			Sim
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2003-2005	Monte Sinai	10	5	1,8			Sim
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2010-2011	São João do Ipecaçu	22	5	2,1			Sim
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2003-2005	Vila Alencar	19	7	1,3			Sim
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2010-2011	Calafate	10	8	3,0			Sim
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2010-2011	Nogueira	9	9	2,6			Sim
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2010-2011	Jarauá	9	9	2,9			Sim
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2010-2011	Vila Alencar	8	9	2,9			Sim
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2003-2005	Aiucá	22	11	2,7			Sim
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2003-2005	Boa Esperança	31	11	2,7			Sim
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2010-2011	Boa Esperança	45	12	2,9			Sim
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2003-2005	São João do Ipecaçu	25	13	2,8			Sim
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2003-2005	Jarauá	22	14	2,9			Sim

Tabela 12 – Dados da agrobiodiversidade de mandioca (cont.).

Referência	Local	Etnia	Data Coleta	Comunidade	N	Riqueza Comunitade	Riqueza UD	Hist. Variabilidade	Hist. UD	Idx Diversidade
Lima et al. (2012)	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2003-2005	Calafate	8	16	5,0			Sim
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2003-2005	Nova Olinda	17	17	3,0			Sim
Marchetti et al. (2013)	Santo Antônio do Leverger, MA	Pop. Tradicional (não detalhado)	2011	3	30		5,4	Parcial	Sim	Sim
	Santo Antônio do Leverger, MA	Pop. Tradicional (não detalhado)	1992	4	27		9,4	Parcial	Sim	Sim
Peña-Venegas et al. (2014)	Médio Caquetá (Colômbia)	Indígena: Muinane	2011-2013	Villazul	6	27	12,0			
	Médio Caquetá (Colômbia)	Indígena: Andoke	2011-2013	Aduche	9	32	12,0			
	Médio Caquetá (Colômbia)	Indígena: Uitoto	2011-2013	Guacamayo	10	35	12,0			
	Médio Caquetá (Colômbia)	Indígena: Nounya	2011-2013	Peña Roja	8	46	12,0			
Pereira (2008)	San Martín de Amacayacu (Colômbia)	Indígena: Tikuna	2011-2013	San Martín	20	33	12,0			
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2004-2006	Monte Sinai	10	3	2,1		Sim	Sim
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2004-2006	Vila Alencar	5	4	2,0		Sim	Sim
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2004-2006	São João do Ipecaçu	8	5	1,3		Sim	Sim
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2004-2006	Marirana	3	7	4,0		Sim	Sim

Tabela 12 – Dados da agrobiodiversidade de mandioca (cont.).

Referência	Local	Etnia	Data Coleta	Comunidade	N	Riqueza Comunitária	Riqueza UD	Hist. Variabilidade	Hist. UD	Idx. Diversidade
Pereira (2008)	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2004-2006	Nova Samaria	3	9	4,3		Sim	Sim
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2004-2006	São Paulo do Coraci	10	10	2,5		Sim	Sim
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2004-2006	Boa Vista do Calafate	7	10	2,6		Sim	Sim
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2004-2006	Boa Esperança	32	12	2,1		Sim	Sim
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2004-2006	Aiucá	20	13	1,9		Sim	Sim
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2004-2006	Nova Olinda	21	15	1,9		Sim	Sim
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2004-2006	Nova Colômbia	5	15	4,2		Sim	Sim
	RDS Mamirauá e Amanã	Pop. Tradicional: Ribeirinhos	2004-2006	Jaraú	19	19	3,1		Sim	Sim
Peroni (2004) e Emperaire e Peroni (2007)	Litoral Norte São Paulo	Pop. Tradicional: Caiçara	2001 (?)	Ubatuba, São Sebastião	17	53	6,8			
Pinton e Emperaire (2001)	Litoral Sul São Paulo	Pop. Tradicional: Caiçara	2001 (?)	17	34	58	7,0		Sim	
	Alto Rio Negro	Indígena: Baré	1995-1997	Tabocal dos Pereira, Iábi	9	60	21			
	Alto Rio Negro	Indígena: Pluriétnico	1995-1997	São Gabriel da Cachoeira	7	69	16			
	Alto Rio Negro	Indígena - Banwa	1995-1997	Rio Içana	6	74	26			

Tabela 12 – Dados da agrobiodiversidade de mandioca (cont.).

Referência	Local	Etnia	Data Coleta	Comunidade	N	Riqueza Comu- nidade	Riqueza UD	Hist. Va- riedade	Hist. UD	Idx Di- versidade
Pinton e Emperaire (2001)	Alto Rio Negro	Indígena: Tukano	1995-1997	Rio Uaupés	12	89	19,0			
	Amazonia Oriental	Misto	1995-1997	Rio Xingu	26	41	4			
	Médio Amazonas	Indígena: Satéré-Mawé	1995-1997	Rio Marau	16	13	3			
	Médio Amazonas	Pop. Tradicional: Caboclos	1995-1997	Rio Maués-Açu	15	51	7			
	Médio Rio Negro	Misto: Indígenas e Caboclos	1995-1997	Santa Isabel	5	66	33			
	Sudoeste Amazônia	Pop. Tradicional: Seringueiros	1995-1997	Rio Juruá	29	16	2,5			
Pujol et al. (2007)	Nordeste Guiana Francesa e Guiana	Indígena: Palikur e Makushi	2002	3	4	7	3,75	Sim	Sim	Sim
	Nordeste Guiana Francesa e Guiana	Indígena: Palikur e Makushi	1998	3	4	10	5,75	Sim	Sim	Sim
Ramos et al. (2011)	Cáceres (Sudoeste Mato Grosso)		2008	Porto Limão	5	7	3,1	Sim		Sim
	Cáceres (Sudoeste Mato Grosso)		2008	Facão	22	11	3,1	Sim		Sim
Salick et al. (1997)	Vale Rio Palcazu (Peru)	Indígena: Amuesha	1986	16	27		5,9	Sim		
	Vale do Juruá (AC)	Pop. Tradicional: Caboclos	2007	Croá	19	18	2,95	Sim	Sim	

Tabela 13 – Dados da agrobiodiversidade de batata.

Referência	Local	Etnia	Data Coleta	Comunidade N	Riqueza Comu- nidade	Riqueza UD	Hist. Va- riedade	Hist. UD	Idx Di- versidade
Brush (1995)	Paucartambo (Andes Peru-ano)		1992?			9,6			
	Tulumayos (Andes Peruano)		1992?			12,8			
Brush e Taylor (1992)	Paucartambo (Peru)	População Tradicional: mestizos	1985-1986	10-12 Vilas	227	10,1			
	Tulumayos (Andes Peruano)	Indígena – Quechua	1985-1986	10-12 Vilas	297	9,7			
Brush et al. (1981)	Mantaro Valley e Vilcanota Valley (Peru)		1979?	10		14,3	Sim		
	Norte Peru (Peru)	Indígena: Quechua e Aymara	2004-2005	Huayta Corral	15	3,2			
	Sudeste Peru	Indígena: Quechua e Aymara	2004-2005	Libertadores	15	8,3			
de Haan et al. (2009)	Norte Peru	Indígena: Quechua e Aymara	2004-2005	Tupac Amaru	16	9,0			
	Peru Central	Indígena: Quechua e Aymara	2004-2005	Dos de Mayo	15	9,8			
	Sul Peru	Indígena: Quechua e Aymara	2004-2005	Pongos Grande	15	13,7			
	Sul Peru	Indígena: Quechua e Aymara	2004-2005	Allato	15	14			
	Peru Central	Indígena: Quechua e Aymara	2004-2005	Pucara	15	16,6			
	Peru Central	Indígena: Quechua e Aymara	2004-2005	Villa Hermosa	16	32,0			
Jackson et al. (1980)	Puno, Southern Peru	Indígena: Quechua	1978?	Cuyo-Cuyo	2	16,5	Sim	Sim	Sim

Tabela 13 – Dados da agrobiodiversidade de batata (cont.).

Referência	Local	Etnia	Data Coleta	Comunidade	N	Riqueza Comu- nidade	Riqueza UD	Hist. Va- riedade	Hist. UD	Idx Di- versidade
Meldrum et al. (2018)	Norte do Alti-plano Boliviano	Indígena: mara	Ay-2011-2012	Suriquina	24		3			
	Norte do Alti-plano Boliviano	Indígena: mara	Ay-2011-2012	Erbenkalla	15		3			
	Norte do Alti-plano Boliviano	Indígena: mara	Ay-2011-2012	Antaquira	31		3			
	Norte do Alti-plano Boliviano	Indígena: mara	Ay-2011-2012	Corqueamaya	19		4			
	Norte do Alti-plano Boliviano	Indígena: mara	Ay-2011-2012	Rosapata	25		4			
	Norte do Alti-plano Boliviano	Indígena: mara	Ay-2011-2012	Pucamaya	23		4			
	Norte do Alti-plano Boliviano	Indígena: mara	Ay-2011-2012	Cachilaya	27		5			
	Norte do Alti-plano Boliviano	Indígena: mara	Ay-2011-2012	Coromata Media	28		6			
	Paucartambo, Cuzco (Peru)		1987?	5	10	100	17,1	Sim		
Tamaquiza et al. (2017)	Quero and Ambato cantons (Ecuador)		2015-2016	Apatug	34	8			Sim	
Winters et al. (2005)	Quero and Ambato cantons (Ecuador)		2015-2016	Puñachisag	29	12			Sim	
	San Miguel Province (Peru)		1999	13	486	50	3,1	Sim		

Tabela 14 – Dados da agrobiodiversidade de milho.

Referência	Local	Etnia	Data Coleta	Comunidade	N	Riqueza Comu- nidade	Riqueza UD	Hist. Va- riedade	Hist. UD	Idx Di- versidade
Bellon e Brush (1994)	Vicente Guerrero (México)		1988-1989		31	15	4,2		Sim	
	Low mi- dlands, Chiapas (México)	Indígena e Mesti- zos	2003	10	218		1,32			
Brush e Perales (2007)	Highlands Chia- pas (México)	Indígena e Mesti- zos	2003	12	301		1,9			
	High mi- dlands Chiapas (México)	Indígena e Mesti- zos	2003	28	514		1,63			
Chamber e Momsen (2007)	Lowland Chiap- pas (México)	Indígena e Mesti- zos	2003	69	1040		1,21			
	Bajío region (Mexico)		2004	Plains	35	10	2,0		Sim	
	Bajío region (Mexico)		2004	Valley	35	6	2,0		Sim	
	Bajío region (Mexico)		2004	Mountain	35	8	2,0		Sim	
	Bajío region (Mexico)		2004	Mesa	35	9	2,0		Sim	
Fenzi et al. (2017)	Yaxcaba (Yuca- tan, Mexico)		1999		61	13	2,21		Sim	Sim
	Yaxcaba (Yuca- tan, Mexico)		2011		71	13	2,42		Sim	Sim
Gómez et al. (2000)	Southeastern Guanajuato (Mexico)		1995-1996	low prod. and low infra.	40	23				Sim
	Southeastern Guanajuato (Mexico)		1995-1996	hight prod. and low in-fra.	40	20				Sim

Tabela 14 – Dados da agrobiodiversidade de milho (cont.).

Referência	Local	Etnia	Data Coleta	Comunidade	N	Riqueza Comu- nidade	Riqueza UD	Hist. Va- riedade	Hist. UD	Idx Di- versidade
Gómez et al. (2000)	Southeastern Guanajuato (Mexico)		1995-1996	low prod. and hight infra.	40	16				Sim
	Southeastern Guanajuato (Mexico)									
Jarvis et al. (2008)	Yaxcaba (Yucatan, Mexico)		1995-1996	hight prod. and hight infra.	40	16				Sim
	Sahcaba, Yucatan, México									
	Ichmul, Yucatan, México									
	Cuautitlán, Jalisco, México									
Louette (1997)	Indígena		1989-1991	Cuzalapa	39	26	2,6		Sim	
	Yaxcaba, Yucatan (México)									
Moreno et al. (2006)	Lake Pátzcuaro Region (México)		2001-2002		61	15	2,5			
	Lake Pátzcuaro Region (México)									
Orozco-Ramirez et al. (2017)	Indígena e Mestizos		2008	29 vilas	22	4	3,14			Sim
	Lake Pátzcuaro Region (México)									
	Indígena e Mestizos		2010	29 vilas	24	4	2,42			Sim
	Lake Pátzcuaro Region (México)									
	Indígena e Mestizos		2015	29 vilas	54	4	2,1			Sim
	Lake Pátzcuaro Region (México)									
	Indígena e Mestizos		2012	29 vilas	59	7	2,86			Sim
	Lake Pátzcuaro Region (México)									
	Indígena e Mestizos		2005	29 vilas	74	7	2,26			Sim
	Lake Pátzcuaro Region (México)									

Tabela 14 – Dados da agrobiodiversidade de milho (cont.).

Referência	Local	Etnia	Data Coleta	Comunidade	N	Riqueza Comu- nidade	Riqueza UD	Hist. Va- riedade	Hist. UD	Idx Di- versiade
Perales et al. (2003)	Chalco and Cuautla (Mexico)		1995	Lopez Mateos	20	6	1,4			
	Chalco and Cuautla (Mexico)		1995	Tecajec	21	9	1,5			
	Chalco and Cuautla (Mexico)		1995	Tlaltetelco	32	5	1,8			
	Chalco and Cuautla (Mexico)		1995	Ayapango	46	5	1,6			
Perales et al. (2005)	Tzotzil of Chimala (Chiapas, México)	Indígena: Tzotzil (Maya)	1999-2002	4	112	13	2,2			
	Tzeltal of Oxchuc (Chiapas, México)	Indígena: Tzeltal (Maya)	1999-2002	5	156	12	1,9			
Rice et al. (1998) e Rice et al. (1997)	Sierra de Santa Marta (Mexico)	Indígena: Popoluca	1994	Soteapan and Ocotal Chico	16	25	4,8			
	Sierra de Santa Marta (Mexico)	Indígena: Popoluca	1995	Soteapan and Ocotal Chico	16	25	4,2			
	Sierra de Santa Marta (Mexico)	Indígena: Popoluca	1996	Soteapan and Ocotal Chico	16	20	3,9			
	Sierra de Santa Marta (Mexico)	Indígena: Popoluca	1995	Soteapan and Ocotal Chico	16	9	1,8			
	Sierra de Santa Marta (Mexico)	Indígena: Popoluca	1996	Soteapan and Ocotal Chico	16	9	1,5			
	Sierra de Santa Marta (Mexico)	Indígena: Popoluca	1994	Soteapan and Ocotal Chico	16	9	1,1			