

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar



Tese

**Análise multidimensional das pressões dos sistemas de produção agrícola na
Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé (Brasil/RS)**

Alexandre Troian

Pelotas, 2020.

ALEXANDRE TROIAN

**Análise multidimensional das pressões dos sistemas de produção agrícola na
Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé (Brasil/RS)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Dr. em Agronomia.

Orientador: Mário Conill Gomes

Pelotas, 2020.

Ficha Catalográfica

ALEXANDRE TROIAN

**Análise multidimensional das pressões dos sistemas de produção agrícola na
Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé (Brasil/RS)**

Tese **APROVADA**, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutor em Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 24 de agosto de 2020.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Mário Conill Gomes (Orientador)

Doutor em Engenharia da Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Ângelo Vieira dos Reis

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Leonardo Alvim Beroldt da Silva

Doutor em Desenvolvimento Rural pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dr. Lírio José Reichert

Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Tales Tiecher

Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Santa Maria

Dedico esse trabalho à Almenir Rheinhemer dos Santos, minha mãe, que não poupou esforços para minha formação pessoal e acadêmica.

Agradecimentos

Agradecimientos

A minha passagem, desde a entrada em março de 2016, pelo Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, será lembrada com muito apreço. Embora este trabalho seja resultado do desenvolvimento pessoal, uma tese de doutorado só se concretiza com o apoio de diversas pessoas. Neste sentido, gostaria de registrar meu agradecimento a algumas entidades e as pessoas especiais.

Agradeço à Universidade Federal de Pelotas e ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar por acolherem e oportunizar a construção de conhecimentos e qualificação profissional.

À CAPES, pelo precioso apoio financeiro, em particular, durante a estância doutoral realizada na Espanha.

Agradeço especialmente ao professor Dr. Mário Conill Gomes, por estimular e orientar esta investigação. Com tranquilidade e capacidade técnica conduziu o desenvolvimento desta tese.

Em nome do atual coordenador do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, professor Roberto Trintin, e de seus antecessores: professora Ana Cláudia Rodrigues de Lima e professor Ângelo Vieira dos Reis, agradeço os demais professores que colaboram com incalculável suporte técnico para a construção de conhecimento durante minha passagem pela Universidade Federal de Pelotas.

Agradezco el profesor Catedrático Julio Berbel Vecino y al profesor Carlos Gutiérrez-Martín del Departamento de Economía, Sociología y Política Agraria, de la Universidad de Córdoba (España), donde me dieron la bienvenida y han colaborado con mis actividades en la estancia del doctorado en el exterior. ¡Gracias por todo!

Agradeço aos professores do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, onde, ainda no ano de 2013, iniciei os trabalhos de investigação na Bacia Hidrográfica do Guaporé.

Agradeço aos colegas, especialmente a Viviane Capoane, Mohsin Zafar, Tales Tiecher, Marília Camotti Bastos, José Augusto Monteiro de Castro Lima, pelo convívio durante as longas jornadas no laboratório e na bacia hidrográfica.

Gratifico os atores da Bacia do Rio Guaporé, em especial, os agricultores que participaram diretamente da pesquisa, sob a forma de entrevista ou questionário, quais sem objeção, disponibilizaram tempo e informações, inclusive algumas confidenciais.

Também agradeço aos colegas do SPAF, amigos, e a todos que acompanharam minha evolução neste curso.

Acima de tudo, agradeço minha família, rede de solidariedade e de apoio. Tio Danilo, agradeço imensamente o apoio intelectual e amistoso que me proporcionou durante toda minha formação, mas acima de tudo, as contribuições prestadas para o desenvolvimento desta tese.

Obrigado à minha irmã Alessandra, por constantemente me incentivar e, sempre que possível, me instruir com sua experiência e conhecimento sobre as dinâmicas da pós-graduação.

Agradeço também minha parceira de todas as horas pela paciência, compreensividade e apoio prestado nesta jornada. Sibeles, o teu aporte científico e amparo humano tem sido fundamental para minha prosperidade. Obrigado pelos momentos que temos somados e pela inspiração que constantemente me estende. Estou entusiasmado para em breve saudarmos o nascimento da nossa bebê!

Por fim, agradeço minha mãe. Mais que especial, tu és o seio de minhas conquistas. O seu exemplo de luta, coragem e, principalmente, a sua crença de que investir em educação faz parte da melhor herança sempre se farão presentes nas minhas decisões. Mãe Nina muito obrigado por tudo!

Registro desculpas para os que partilharam deste momento e que porventura deixei de mencionar.

Só existe saber na invenção, na reinvenção, na busca inquieta, impaciente, permanente, que os homens fazem no mundo, com o mundo e com os outros.
Paulo Freire (Pedagogia do Oprimido, 1987, p. 38).

Resumo

TROIAN, ALEXANDRE. **Análise multidimensional das pressões dos sistemas de produção agrícola na Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé (Brasil/RS)**. 2020. 336f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas – RS.

As atividades agrícolas desenvolvidas para atender às necessidades humanas exercem tensões no meio ambiente, de forma que sua quantificação é uma tarefa complexa. Por conseguinte, o objetivo desta investigação é analisar as pressões dos sistemas de produção agrícola familiares sobre a dinâmica da água na Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé (RS). Para tanto, com base em pesquisa documental, bibliográfica e de campo, e com informações coletados junto a atores locais e peritos da área de recursos hídricos e gestão de bacias hidrográficas, estruturou-se um modelo multidimensional de avaliação que combina sete critérios e 25 subcritérios para duas grandes áreas: (i) ocupação da terra e manejo do solo e (ii) resíduos e descartes agrícolas. O modelo foi testado em 14 estabelecimentos agrícolas familiares, que representam quatro arranjos produtivos desenvolvidos na bacia hidrográfica: sistema produção de grãos de sequeiro, lavouras convencionais, integração animal e explorações perenes. Os resultados demonstram que, embora os sistemas de produção desenvolvidos tenham evoluído e se adaptado as novas conjunturas técnicas e socioeconômicas, ocupam ambientes frágeis ecologicamente, em particular no que se refere ao uso de terras com baixa aptidão agrícola e, muitas vezes, são executados com ausência de práticas conservacionistas e manejo inadequado dos recursos naturais. Com base no modelo elaborado, o cultivo de tabaco, escolhido para representar as lavouras convencionais, demonstra maior interferência negativa nos sistemas aquáticos. Esta performance é consequência das constantes remoções dos solos (rasos e com elevado potencial de erodibilidade) situados nas encostas (geralmente com declividade acima de 16 graus) associada à reduzida adoção de práticas conservacionistas. Em contraste, o sistema de explorações perenes, avaliado sob o cultivo de erva-mate, expressou os melhores resultados para manutenção dos recursos hídricos. Ajustes referentes à ocupação de terras podem levar este sistema a apresentar impactos ainda menos nocivos ao ambiente. Entre estes dois sistemas, encontram-se os desempenhos dos cultivos de grãos de sequeiro e a criação de animais. O primeiro deles, retratado pelo cultivo de soja, ocupa a região com características naturais do ambiente e do solo favoráveis para cultivos agrícolas, contudo, o consumo exacerbado de agrotóxico compromete o desempenho do sistema. Já no sistema que envolve a criação de suínos e bovinos, o uso contínuo de doses elevadas de dejetos animais, que aumenta a propensão de transferências de poluentes para os corpos hídricos, justifica o desempenho negativo perante o modelo de avaliação utilizado. É importante comunicar que se trata de uma avaliação inicial, sendo assim, da perspectiva metodológica, a investigação sinaliza um ponto de partida para estudos interessados em indicadores ambientais para as atividades agrícolas.

Palavras-chave: sistemas de produção; agricultura familiar; análise multicritério; recursos hídricos.

Abstract

TROIAN, ALEXANDRE. **Multidimensional analysis of pressures of agricultural production systems in the Guaporé River Basin (Brasil/RS)**. 2020. 336f. Tesis (Doctoral Degree). Post-Graduation Program in Family Farm Production System. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Rio Grande do Sul.

Agricultural activities developed to meet human needs exert stress on the environment, so quantifying them is a complex task. In this way, the aim of this research is to analyze the pressures of family agricultural production systems on water dynamics in the Guaporé River Basin (RS). For this, based on documentary, bibliographic and field research, and with information collected from local actors and experts in the area of water resources and river basin management, a multidimensional evaluation model was structured that combines seven criteria and 25 sub-criteria for two major areas: (i) land occupation and soil management and (ii) agricultural waste. The model was tested in 14 family farms, which represent the four productive arrangements developed in the watershed: grain production system, conventional crops, animal integration and perennial farms. The results show that, although the production systems developed have evolved and adapted to the new technical and socioeconomic environments, they occupy ecologically fragile environments, in particular as regards the use of land with low agricultural aptitude, and are often carried out with no conservationist practices and inadequate management of natural resources. Based on the elaborated model, tobacco cultivation, chosen to represent conventional crops, demonstrates greater negative interference in aquatic systems. This performance is a consequence of the constant removal of soils (shallow and with high erodibility potential) located on the slopes (generally with a slope above 16 degrees) associated with the reduced adoption of conservationist practices. In contrast, the system of perennial farms, evaluated under the cultivation of yerba mate (*Ilex paraguariensis*), expressed the best results for maintenance of water resources. Land use adjustments can make this system even less harmful to the environment. Between these two systems are the performance of rainfed grain crops and animal husbandry. The first of these, portrayed by soy cultivation, occupies the region with natural environmental and soil characteristics favorable for agricultural crops, however, the exacerbated consumption of pesticides compromises the performance of the system. In the system involving the raising of pigs and cattle, the continuous use of high doses of animal waste, which increases the propensity to transfer pollutants to the water bodies, justifies the negative performance in relation to the evaluation model used. It is important to communicate that this is an initial assessment, so from a methodological perspective, research signals a starting point for studies interested in environmental indicators for agricultural activities.

Keywords: production systems; family agriculture; *multicriteria analysis*; water resources.

Lista de Figuras

Figura 1 – Estrutura da tese	32
Figura 2 – Delimitação gráfica da área de drenagem correspondente a bacia e sub-bacia hidrográfica	39
Figura 3 – Processo de retroalimentação <i>Drivers-Pressures-State-Impact-Response</i>	44
Figura 4 – Elementos da cadeia DPSIR e fatores relacionados a agricultura e aos recursos hídricos	45
Figura 5 – Sistema decisional na unidade agrícola familiar	54
Figura 6 – Modelo de processo decisório na unidade agrícola familiar	56
Figura 7 – Representação gráfica da estrutura de preferências.....	63
Figura 8 – Representação gráfica das relações de dominância nos métodos mono e multicritério	66
Figura 9 – Matriz decisional de agregação aditiva	69
Figura 10 – Processo de construção de um modelo multicritério	72
Figura 11 – Classificação dos atores	74
Figura 12 – Mapa cognitivo como uma representação quádrupla.....	79
Figura 13 – Topologia de um mapa cognitivo.....	81
Figura 14 – Classificação dos descritores	83
Figura 15 – Expressão gráfica dos níveis de impacto de um descritor	87
Figura 16 – Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé-RS/Brasil.....	94
Figura 17 – Fluxograma das fases de desenvolvimento da pesquisa.....	96
Figura 18 – Etapas de orientação da pesquisa bibliométrica	98
Figura 19 – Força de associação dos termos mais frequentes nos títulos, palavras-chave e <i>abstracts</i> das 519 publicações pré-selecionadas.....	108

Figura 20 – A) Evolução da produção científica sobre MCDA e gestão da água no período de 2000 a 2017; (B) Meio de divulgação da produção científica	109
Figura 21 – Publicação e qualificação por periódico para os 30 artigos escolhidos	110
Figura 22 – Frequência de citação dos periódicos mais citados.....	111
Figura 23 – Frequência de citação dos artigos mais citados	111
Figura 24 – (A) Intervalo de tempo e (B) Local das publicações	112
Figura 25 – Fatos históricos na legislação dos recursos hídricos no Brasil	121
Figura 26 – Representação gráfica do modelo de gestão dos recursos hídricos no Brasil	124
Figura 27 – Grandes regiões hidrográficas do Rio Grande do Sul	128
Figura 28 – Unidades de Gestão da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas	129
Figura 29 – Problemas relacionados aos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé.....	136
Figura 30 – Causas dos problemas dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé.....	137
Figura 31 – Fatores relacionados aos problemas com os recursos hídricos da Bacia do Rio Guaporé.....	139
Figura 32 – Dificuldades com os problemas relacionados à água na Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé	141
Figura 33 – Ações não estruturais que poderiam melhorar as condições das águas do Rio Guaporé.....	142
Figura 34 – Ações estruturais que poderiam melhorar as condições das águas do Rio Guaporé.....	143
Figura 35 – Evolução e diferenciação dos sistemas agrários no Rio Grande do Sul	146
Figura 36 – Processo de ocupação do território gaúcho.....	150
Figura 37 – Rede de drenagem dos principais afluentes do Rio Guaporé.....	152
Figura 38 – (A) Litologia e (B) Tipos de solo da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé	154
Figura 39 – (A) Hipsometria; (B) Classes de declividade para a Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé.....	155
Figura 40 – (A) Índice topográfico de umidade; (B) Fator topográfico LS para a Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé	156

Figura 41 – A) Índice topográfico de potência de escoamento; B) Uso e cobertura da terra, para a Bacia Hidrográfica do Guaporé	157
Figura 42 – Estrato da situação do atendimento com serviços de esgotamento sanitário nos municípios que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé	163
Figura 43 – (A) Representação do Produto Interno Bruto a preços correntes por atividade econômica nos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé e (B) Respectivas participações por município.....	164
Figura 44 – Distribuição dos estabelecimentos agrícolas e da área apropriada segundo o tamanho do estabelecimento na Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé, no Rio Grande do Sul e no Brasil.	166
Figura 45 – Disposição da ocupação das terras agrícolas nos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé.....	167
Figura 46 – (A e B) Evolução da ocupação da área das principais explorações agrícolas nos municípios pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé	168
Figura 47 – Olericultura com fins de comercialização nos municípios pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé	172
Figura 48 – (A) Extrato de área irrigada por método de irrigação utilizado e (B) Estabelecimentos agrícolas <i>versus</i> a área irrigada nos municípios da BH do Rio Guaporé	173
Figura 49 – Distribuição de animais e área de pastagem por grupo de estabelecimentos agrícolas	174
Figura 50 – Distribuição do número de suínos por grupo de estabelecimentos agrícolas.....	175
Figura 51 – Representação gráfica do (A) Número de estabelecimentos agrícolas e da (B) Área dos estabelecimentos agrícolas dos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé.....	178
Figura 52 – Representação gráfica da (A) Área de Preservação Permanente e da (B) Área ocupada com florestas nos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé	179
Figura 53 – Representação gráfica da área ocupada por (A) Cultivos anuais e com (B) Explorações perenes dos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé	180

Figura 54 – Representação gráfica da área dos cultivos de (A) Soja, (B) Milho em grãos	181
Figura 55 – Representação gráfica do número de animais nas criações de (A) Bovinos, (B) Vacas ordenhadas, (C) Aves e (D) Suínos dos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé	182
Figura 56 – Representação gráfica da área dos cultivos de (A) Tabaco e (B) Feijão dos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé	183
Figura 57 – Representação gráfica das áreas com cultivos de (A) Eucalipto e Pinus, (B) Erva-mate, (C) Pastagens e (D) Fruticultura dos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé	184
Figura 58 – Representação dos diferentes tipos de agriculturas e criações da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé	187
Figura 59 – Representação dos sistemas de produção agrícola da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé.....	188
Figura 60 - Construção de um conceito a partir de um Elemento Primário de Avaliação	194
Figura 61 – Construção hierárquica dos conceitos	195
Figura 62 – Mapa cognitivo construído para avaliar os impactos dos sistemas de cultivos e criação na Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé	197
Figura 63 – Representação do enquadramento do ramo “uso e ocupação da terra” para identificar o ponto de vista fundamental.....	202
Figura 64 – Primeira versão da estrutura arborescente dos de Pontos de Vista do Problema.....	203
Figura 65 – Estrutura arborescente dos Pontos de Vista Fundamentais e Pontos de Vista Elementares da área de interesse <i>Ocupação da terra e manejo do solo</i>	206
Figura 66 – Combinações entre declividade do terreno e ocupação da área para formar os níveis do descritor	211
Figura 67 – Combinações entre o uso de barreiras físicas para a contenção da água da chuva e plantio em nível	218
Figura 68 – Estrutura arborescente dos Pontos de Vista Fundamentais e dos Pontos de Vista Elementares da área de interesse <i>Resíduos e descartes agrícolas</i>	220

Figura 69 – Combinações entre recomendações oficiais para o uso de agrotóxicos e conferência por parte do agricultor das descrições do produto na embalagem.....	232
Figura 70 – Apresentação gráfica das funções de valor dos critérios: A) <i>Uso da terra</i> ; B) <i>Práticas conservacionistas</i> ; C) <i>Características do ambiente e do solo</i> ; D) <i>Fertilizantes minerais</i> ; E) <i>Dejetos animais</i> ; F) <i>Agrotóxicos</i> ; e G) <i>Descartes</i>	238
Figura 71 – Estrutura arborescente dos critérios e subcritérios do modelo.....	240
Figura 72 – Determinação das taxas de compensação para os subcritérios alusivo ao uso da terra pelo método <i>Swing Weights</i>	242
Figura 73 – Representação gráfica do perfil de impacto dos critérios nos níveis máximos e mínimos.....	247
Figura 74 – Avaliação global dos sistemas de produção de grãos de sequeiro, lavouras convencionais, explorações perenes e criações animais	252
Figura 75 – Nível de pressão em cada critério para os sistemas de produção grãos de sequeiro, lavouras convencionais, explorações perenes e criações animais	254
Figura 76 – Avaliação parcial dos sistemas de produção de grãos de sequeiro, lavouras convencionais, explorações perenes e criações animais	256
Figura 77 – Análise de sensibilidade à variação das taxas de substituição nos sistemas de produção	263

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Atributos fisiográficos da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé	159
Tabela 2 – Perfil territorial, distribuição populacional e econômica dos municípios que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé	161
Tabela 3 – Panorama do uso da terra nos municípios da BH em 2017	170
Tabela 4 – Rebanho de bovinos, suínos e aves nos municípios da BH em 2017 ...	176
Tabela 5 – Descritor do Ponto de Vista Elementar <i>Razão entre a área cultivada e a área do estabelecimento agrícola</i>	207
Tabela 6 – Descritor do Ponto de Vista Elementar <i>Distribuição de cultivos e criação no estabelecimento agrícola</i>	208
Tabela 7 – Descritor do Ponto de Vista Elementar <i>Distância da lavoura até córregos ou nascentes</i>	209
Tabela 8 – Descritor do Ponto de Vista Elementar <i>Acesso à água para dessedentação animal</i>	210
Tabela 9 – Descritor do Ponto de Vista Elementar <i>Grau de declividade do terreno cultivado</i>	212
Tabela 10 – Descritor do Ponto de Vista Elementar <i>Potencial de erodibilidade do solo cultivado</i>	213
Tabela 11 – Descritor do Ponto de Vista Elementar <i>Profundidade média do solo cultivado</i>	214
Tabela 12 – Descritor do Ponto de Vista Elementar <i>Textura do solo</i>	215
Tabela 13 – Descritor do Ponto de Vista Elementar <i>Preparo do solo</i>	216
Tabela 14 – Descritor do Ponto de Vista Elementar <i>Cobertura do solo por resíduos</i>	217
Tabela 15 – Descritor do Ponto de Vista Elementar <i>Barreiras físicas de contenção da água da chuva</i>	218

Tabela 16 – Descritor do Ponto de Vista Elementar <i>Dose aplicada de fertilizante mineral</i>	222
Tabela 17 – Descritor do Ponto de Vista Elementar <i>Técnica utilizada para aplicar fertilizante mineral</i>	223
Tabela 18 – Descritor do Ponto de Vista Elementar <i>Condições climáticas para aplicar fertilizante mineral</i>	224
Tabela 19 – Descritor do Ponto de Vista Elementar <i>Volume de dejetos utilizado por ano agrícola</i>	226
Tabela 20 – Descritor do Ponto de Vista Elementar <i>Técnica utilizada para aplicar dejetos</i>	227
Tabela 21 – Descritor para o Ponto de Vista Elementar <i>Condições climáticas para aplicar dejetos</i>	228
Tabela 22 – Descritor para o Ponto de Vista Elementar <i>Sistema de armazenamento do dejetos</i>	229
Tabela 23 – Descritor para o Ponto de Vista Elementar <i>Volume de agrotóxico utilizado por ano agrícola</i>	231
Tabela 24 – Descritor do Ponto de Vista Elementar <i>Adoção de recomendações oficiais</i>	232
Tabela 25 – Descritor do Ponto de Vista Elementar <i>Condições climáticas para aplicar agrotóxico</i>	233
Tabela 26 – Descritor do Ponto de Vista Fundamental <i>Descarte de embalagens de agrotóxicos</i>	234
Tabela 27 – Descritor do Ponto de Vista Elementar <i>Descarte de animais mortos</i> ..	235
Tabela 28 – Descritor do Ponto de Vista Elementar <i>Descarte de produtos de logística reversa</i>	236
Tabela 29 – Descritor do Ponto de Vista Elementar <i>Descarte de resíduos agrossilvipastoris não perigosos</i>	237
Tabela 30 – Taxas de compensação brutas e normalizadas para os critérios e subcritérios.....	244
Tabela 31 – Ordenação dos critérios, taxas de compensação bruta e normalizada	245
Tabela 32 – Análise de sensibilidade do modelo à variação das taxas de compensação (com alterações em 10%) nos sistemas de produção em cada um dos critérios.....	260

Lista de Quadros

Quadro 1 – Diferentes conceitos de microbacia, sub-bacia e bacia hidrográfica	40
Quadro 2 – Procedimentos aplicados à construção da função de valor no modelo multicritério	86
Quadro 3 – Perfil dos atores informantes para caracterizar a problemática da água na Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé	101
Quadro 4 – Perfil dos atores informantes para validar o modelo multicritério	104
Quadro 5 – Análise dos artigos selecionados sobre a gestão dos recursos hídricos	114
Quadro 6 – Interesse <i>versus</i> influência dos atores pesquisados na Bacia Hidrográfica do Guaporé	192
Quadro 7 – Representação dos Elementos Primários de Avaliação em conceitos	194
Quadro 8 – Clusters, ramos e linhas de argumentação do mapa cognitivo	198
Quadro 9 – Níveis explicativos para a erodibilidade em características físicas do solo	212
Quadro 10 – Matriz de comparação de critérios e pontuação no modelo multicritério	243
Quadro 11 – Agregação aditiva para os níveis mínimos de máximos do modelo ...	246
Quadro 12 – Características dos estabelecimentos agrícolas em que foram aplicados os questionários para validar o modelo multicritério	250

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABPA	Associação Brasileira de Proteína Animal
ADSA	Análise e Diagnóstico de Sistemas Agrários
AHP	Analytic Hierarchy Process
ANA	Agência Nacional de Água
AMPBH	Área Municipal Pertencente à Bacia Hidrográfica
ANEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APP	Áreas de Preservação Permanente
ARH	Agências de Região Hidrográfica
BH	Bacia Hidrográfica
CAI	Complexo Agroindústrias
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBH	Comitês de Bacias Hidrográficas
CE	Comunidad Europea
CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica
CEEIBH	Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas
CERH	Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos
CERTEL	Cooperativa de Distribuição de Energia Teutônia
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
CPA	Comissão Permanente de Assessoramento
DPSIR	Drivers, Pressures, State, Impacts, Responses
DRH	Departamento de Recursos Hídricos
DTI	Desenvolvimento Tecnológico e Industrial
ELECTRE	Elimination et Choix Trafuisant la Realité
EMATER/RS- ASCAR	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Rio Grande do Sul
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	Elemento Primário de Avaliação
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
FARSUL	Federação da Agricultura do Rio Grande do Sul
FEE	Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
FETAG	Federação dos Trabalhadores na Agricultura no Rio Grande do Sul

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDESE	Índice de Desenvolvimento Socioeconômico
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
ITPE	Índice Topográfico de Potência de Escoamento
ITU	Índice Topográfico de Umidade
MACBETH	Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MAUT	Multiple Attribute Utility Theory
MCDA	Multicritéria Decision Aid
MCDM	Multicritéria Decision Making
MOLP	Multiple Objective Linear Programming
NPK	Nitrogênio, Fósforo e Potássio
OD	Oxigênio Dissolvido
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU	Organização das Nações Unidas
PBH	População da Bacia Hidrográfica
PH	Plano de Hidrográfico
PIB	Produto Interno Bruto
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PO	Pesquisa Operacional
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method of Enrichment Valuation
PRM	População Rural do Municipal
PVE	Ponto de Vista Elementar
PVF	Ponto de Vista Fundamental
RL	Reserva Legal
RS	Rio Grande do Sul
RS-RURAL	Programa de Manejo dos Recursos Naturais e de Combate à Pobreza
SC	Sistema de Cultivo/Sistema de Criação
SEMA	Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SP	Sistema de Produção
SPA	Sistema de Produção Agrícola
SPOG	Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão
SRHQ	Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
UFPEL	Universidade Federal de Pelotas
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UGs	Unidades de Gestão
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura
UNIJUÍ	Universidade Regional do Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul
USGS	United States Geological Survey

Lista de Símbolos

α	alfa
β	beta
K_c	coeficiente de compacidade
C	combinação
$\Re$	conjunto de número reais
$g(.)$	critério
K_f	fator de forma
P	fósforo
R	incompatibilidade
I	indiferença
L	linha
>	maior
$\geq$	maior igual
<	menor
$\leq$	menor igual
μg	micrograma
μm	micrômetro
NO_3	nitrato
N	nitrogênio
P_2O_5	pentóxido de difósforo
ϵ	pertence – quando um elemento pertence a um conjunto
W	taxa de compensação (peso)
%	porcentagem
P	preferência estrita
P. β	problemática da alocação em categorias
P. δ	problemática da descrição
P. α	problemática da escolha
P. γ	problemática da ordenação
P. β°	problemática da rejeição absoluta
R\$	símbolo da moeda brasileira
Σ	somatório
h	tempo de concentração
G(.)	valor global do modelo multicritério

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	23
1.1 Objetivos da pesquisa.....	28
1.1.1 Objetivo geral.....	28
1.1.2 Objetivos específicos.....	29
1.2 Justificativa	29
2 BASES CONCEITUAIS E REFERENCIAIS TEÓRICOS	33
2.1 Da abordagem cartesiana ao paradigma construtivista: contribuições ao entendimento dos fenômenos socioambientais.....	33
2.2 Externalidades agrícolas em bacias hidrográficas	38
2.3 Características dos sistemas de produção agrícolas familiares.....	49
3 REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO.....	61
3.1 Metodologia multicritério: caminhos para uma análise sistêmica.....	61
3.2 Identificação do contexto e delimitação do problema.....	73
3.2.1 Tipos de ações ou alternativas.....	75
3.2.2 Problemática de referência.....	77
3.2.3 Mapa cognitivo: uma representação de causa-efeito entre sistemas de cultivos e criações e os ecossistemas aquáticos	77
3.3 Estruturação do modelo multicritério	83
3.4 Avaliação das diferentes alternativas e dos resultados do modelo	90
3.5 Procedimentos metodológicos da pesquisa.....	92
4 MODELOS DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS: UMA PESQUISA EXPLORATÓRIA.....	107
4.1 Métodos multicritérios na perspectiva dos recursos hídricos	107

4.2 Governança brasileira e pontos críticos da problemática da água na Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé (RS)	118
4.2.1 Modelo de gestão dos recursos hídricos no Brasil e no Rio Grande do Sul.	120
4.2.2 Estrutura de governança da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé e desafios de gestão	128
5 EVOLUÇÃO E DIFERENCIAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GUAPORÉ (RS)	145
5.1 Formação histórica dos sistemas agrários do Rio Grande do Sul e da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé	146
5.2 Condições agroecológicas da região hidrográfica do Rio Guaporé.....	151
5.3 Perspectiva socioeconômica dos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé.....	160
5.4 Uso e ocupação da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé	166
5.5 Zoneamento regional dos sistemas de produção agrícola da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé	177
6 UMA ANÁLISE MULTICRITÉRIO DAS PRESSÕES DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA FAMILIARES SOBRE A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GUAPORÉ (RS)	191
6.1 Identificação do contexto e delimitação do problema relacionado à Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé	191
6.2 Estruturação do modelo de avaliação	203
6.2.1 Construção dos descritores e das funções de valor	204
6.2.2 Determinação das taxas de compensação	241
6.2.3 Perfil das pressões dos critérios nos níveis máximos e mínimos	246
6.3 Operacionalizando o modelo de avaliação	248
6.3.1 Avaliação global e perfil dos critérios e subcritérios.....	251
6.3.2 Análise de sensibilidade do modelo.....	259
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	265
REFERÊNCIAS	275
APÊNDICES	309

1 INTRODUÇÃO

A sociedade contemporânea tem experimentado significativos benefícios oriundos do avanço tecnológico e da expansão da produção de bens e serviços. Contudo, os modelos de progresso pautados em economia de escala e concentração de renda têm gerado fortes impactos sociais, econômicos e ambientais. Na natureza, essas consequências podem ser observadas na diminuição da biodiversidade e extinção de espécies, na elevada quantidade de emissão de gases na atmosfera, na poluição do solo e da água, no comprometimento dos valores paisagísticos e culturais, entre outras implicações negativas para os ecossistemas.

A capacidade de interferência das atividades humanas sobre os ecossistemas é pretérita, entretanto, as implicações se intensificaram e adquiriram consequências globais a partir do século XX. Segundo o relatório do ano de 2014 apresentado pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), a temperatura da superfície global está cerca de 0,8°C superior à média do último século, sendo que uma grande fração do aquecimento global é atribuído às ações antropogênicas. O aquecimento médio da superfície terrestre e dos oceanos deve se intensificar no século XXI, pois ao longo de cada uma das últimas três décadas a superfície terrestre tem sido sucessivamente mais quente (IPCC, 2014).

As tensões exercidas pelas atividades humanas sobre o meio ambiente incluem alterações do estado dos ecossistemas aquáticos. Essas alterações podem ocorrer em condições qualitativas e quantitativas. Em termos qualitativos, destacam-se os atributos biológicos, que se referem ao número e tipos de organismos presentes na água, características físicas, como temperatura e turbidez e substâncias presentes na água que caracterizam parâmetros químicos. As alterações quantitativas basicamente compreendem variações na disponibilidade da água, por efeito dos índices de precipitação, taxas de infiltração e deslocamento das massas de água no solo, teores

de evaporação de superfícies terrestres e marítimas, fatores que desequilibram os ciclos hidrológicos naturais (FAO, 2015).

Ressalta-se que os sistemas aquáticos reservam grande diversidade de espécies úteis ao homem e relevantes para a diversidade biológica do planeta. A água é um recurso natural essencial como componente bioquímico para os seres vivos e possui significativo papel para o desenvolvimento de atividades domésticas e econômicas. Além de suas funções vitais para a dinâmica da natureza e da sociedade, os recursos hídricos são utilizados em um grande conjunto de atividades, tais como: produção de energia, navegação, produção agrícola e desenvolvimento industrial (TUNDISI, 2003).

A redução no volume disponível de água (nos rios, lagos e na reserva de água subsuperficial) e o comprometimento da qualidade têm fomentado diversos fóruns de discussão em torno deste importante recurso natural. Por conseguinte, a preocupação com a gravidade dos problemas ambientais e seus reflexos sobre a utilização da água se manifesta em parte significativa das propostas de desenvolvimento discutidas nas últimas décadas. Sobretudo, por considerar que os serviços de abastecimento de água e saneamento são fundamentais para bilhões de famílias, os assuntos relacionados à água têm se inserido entre os principais temas na agenda internacional das últimas décadas.

O debate a respeito do estado dos recursos hídricos teve destaque em nível mundial na 1ª Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente, realizada em Estocolmo, no ano de 1972. Cinco anos mais tarde foi realizada em Mar de la Plata a 1ª Conferência Internacional da Água, para tratar sistematicamente dos recursos hídricos. Na década de 1980 a Organização das Nações Unidas (ONU), com apoio de governos e agências internacionais, estabeleceu um movimento universal para tratar do fornecimento de água potável e saneamento básico. Um dos aspectos positivos desta última iniciativa foi a redução no quadro de doenças endêmicas de veiculação hídrica, especialmente nos subúrbios urbanos e em áreas rurais de países em desenvolvimento (FAO, 2003).

Mais recentemente, em 2010, a ONU elencou um conjunto de objetivos globais que contemplam iniciativas de desenvolvimento sustentável. Dentre eles, cita-se o compromisso firmado pelas diferentes nações com destaque à disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para a população (ONU, 2014). A proposta de desenvolvimento sustentável orientada pela ONU relaciona a disponibilidade da

água e alimentação a uma possibilidade de ampliar a produção de alimentos com o uso eficiente dos recursos hídricos e com rigoroso controle de poluição.

A discussão sobre as formas de minimizar impactos de uso e manejo dos recursos naturais por meio da estratégia de conservação dos recursos hídricos é balizada pela equação de equilíbrio que ocorre entre o consumo e a renovação da água. A capacidade de reconstituição do estado inato da água vem sendo seriamente afetada pela crescente demanda do recurso e pela constante contaminação dos mananciais. Nos últimos 60 anos, a população do planeta mais que duplicou, enquanto o consumo de água cresceu sete vezes. O consumo de água per capita teve acréscimo superior a três vezes no mesmo período (PNUD, 2006). A demanda global da água tem aumentado em cerca de 1% por ano desde a década de 1980 e tende a continuar progredindo em ritmo similar até 2050. A crescente demanda é liderada pelos países em desenvolvimento e economias emergentes, logo, vem sendo impulsionado por uma combinação entre crescimento populacional, urbanização e desenvolvimento socioeconômico com ascensão nos padrões de consumo (UNESCO, 2019).

A disponibilidade hídrica mundial é estimada na ordem de 43 mil km³/ano, dos quais, cerca de 3,9 mil km³ de água são retirados para o desenvolvimento das atividades humanas. Do total extraído, 70% é usado para fins de irrigação agrícola, 19% para suprir a demanda das indústrias e 11% são destinados ao uso doméstico. Em linhas gerais, mesmo com o aumento do consumo registrado nos últimos anos, a captação total de água representa cerca de 9% dos recursos hídricos renováveis (FAO, 2011).

A disposição dos recursos hídricos no planeta é influenciada pelo clima e pelas estruturas fisiográficas do ambiente. Tais fatores naturais não garantem distribuição uniforme na geografia terrestre e entre os indivíduos. Em nível continental, a América é detentora da maior parte dos recursos mundiais de água doce (45%), seguida pela Ásia (28%), Europa (15,5%) e África (9%). (FAO, 2003). Os dados combinados a nível continental, ou até mesmo nacional, podem mascarar grandes variabilidades na disponibilidade de água entre distintas bacias hidrográficas regionais. Além da variabilidade espacial, a disponibilidade de água também pode oscilar no tempo, restringindo o acesso de parcela significativa da população. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (ONU, 2003), quatro bilhões de pessoas carecem de água durante pelo menos um mês do ano.

O Brasil, que possui o maior deflúvio global, em torno de 13,8% do escoamento superficial da água do mundo, retrata grandes discrepâncias geográficas quanto a distribuição dos recursos hídricos. A região Nordeste do Brasil, por exemplo, possui apenas 3,3% dos recursos hídricos para atender mais de 28% da população brasileira. Em contrapartida, a Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas possui 47% da área do território nacional, 4% da população e 73% da vazão média dos rios nacionais (REBOUÇAS, 2006).

É importante frisar que a disponibilidade abundante do recurso natural água não implica a garantia de oportunidades. A desigualdade no acesso à água e aos serviços básicos a ela relacionados pode ser tão ou mais grave em áreas onde a disponibilidade é adequada ou até mesmo farta, a exemplo do que ocorre nas extensões amazônicas (CASTRO; HELLER; MORAIS, 2015). Por isso, não somente os aspectos quantitativos da água são limitantes ao desenvolvimento, mas também os de ordem qualitativa, pois constituem importantes constrangimentos às sociedades.

Tendo em vista o exposto, um dos maiores desafios da sociedade contemporânea é implementar modelos de gestão dos recursos hídricos com duplo propósito: atender às crescentes demandas sociais e manter o estado de conservação dos ecossistemas naturais. No entanto, a gestão dos recursos hídricos demonstra ser uma tarefa complexa e que envolve incertezas, conflitos de valores e de objetivos.

No Brasil, a gestão das águas é regida pela Lei 9.433 de 1997, conhecida como a Lei das Águas, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). O SINGREH é representado pelo poder público, sociedade civil organizada e usuários da água que integram os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH) e estabelecem propostas de arranjo institucional sobre a gestão dos recursos hídricos de forma descentralizada, integrada e participativa, com objetivo de atender aos múltiplos interesses sobre a água, determinados na bacia hidrográfica (ANA, 2016).

Convém esclarecer que as bacias hidrográficas compreendem um conjunto de terras drenadas naturalmente por um sistema fluvial composto por cursos de água (CHRISTOFOLETTI, 1981). Os cursos de água possuem uma dinâmica muito específica se comparada aos demais recursos naturais: são elementos de comunicação entre os habitantes de uma mesma região ou território e, na maioria dos casos, desta ou deste com o exterior. Com isso, a interação de fatores reflete um

processo permanente e dinâmico que envolve a água, os sistemas físicos, os sistemas bióticos (flora e fauna) e o sistema socioeconômico (DOUROJEANNI; CHÁVEZ, 2002; HOLLANDA; CAMPANHARO; CECÍLIO, 2012).

A maioria das bacias hidrográficas é composta por arranjos produtivos locais pluriativos e multifuncionais, que combinam operações com atividades agrícolas e não agrícolas para a geração de trabalho e renda. A análise das ações humana sobre as bacias hidrográficas permite identificar diversos determinantes para o problema da qualidade da água: o lançamento de efluentes domésticos e agroindustriais sem tratamento adequado nos cursos de água; a erosão do solo pela agricultura; a inadequada destinação dos aterros e áreas de descartes (lixões); estradas mal alocadas; o uso abusivo de agrotóxicos e errôneo de fertilizantes, a criação intensiva de animais, entre outros.

No que diz respeito à agricultura, os diferentes cultivos, criações e fatores técnicos das unidades de produção interagem com o ambiente natural, provocando alterações nas características da bacia hidrográfica. Os sistemas de produção, a partir da dotação de diferentes medidas de superfície agrícola, conhecimentos e capital (DUFUMIER, 2007), muitas vezes têm negligenciado as externalidades da atividade econômica sobre a água.

Mesmo os sistemas de produção agrícola familiares, caracterizados pela produção em minifúndio e utilização da mão de obra essencialmente familiar, incorporaram mecanização, fertilizantes e o uso de agroquímicos para controle de organismos indesejados em suas dinâmicas produtivas. A modernização agrícola iniciada na década de 1950 gerou incrementos significativos na produção de bens primários, alimentos, fibras e, mais recente, na bioenergia (DELGADO, 2010), entretanto, tem pressionado direta e indiretamente os recursos naturais.

As pressões que os sistemas de produção exercem em nível de bacia hidrográfica são verificadas por meio da ocorrência de eventos, processos e emprego de produtos, que podem provocar alterações no estado natural dos recursos, e consequentemente, comprometer a capacidade de regeneração dos agroecossistemas. Em particular, esta parece ser a situação detectada na área em estudo que integra a Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé (2.488Km²), localizada no Nordeste do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, na qual estão presentes diversos usos da terra: agricultura, criação de suínos e aves, agroindústrias e pequenos aglomerados urbanos (CAPOANE; TROIAN, 2018).

Pesquisas realizadas nesta BH (TIECHER; 2015; ZAFAR, 2015; BASTOS 2015; CASTRO LIMA, 2017) mostraram aumento da degradação e poluição da água devido às atividades agrícolas. Se, por um lado, a mecanização e o uso de fertilizantes e agrotóxicos geraram aumento significativo na produção regional (de soja, milho, aves e suínos), por outro estimularam a exploração de recursos naturais para um nível além daquele que o meio ambiente pode suportar. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, as unidades de produção agrícola familiares são predominantes na região, sendo que 86,3% dos estabelecimentos possuem menos de 50 hectares (IBGE, 2017a).

Mesmo ciente de que as bacias hidrográficas são caracterizadas por ambientes físico-territoriais dotados de relações sociais, econômicas, políticas e institucionais – e que por isso, os recursos hídricos não são departamentalizados em posição de setores, como agricultura, indústria e serviços – o recorte analítico da presente tese de doutorado versa sobre os fatores agropecuários que interferem nas características do ambiente natural, em particular da água. A investigação está focada na área rural da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé, de forma que as principais preocupações estão atreladas à análise das possíveis relações construídas entre os sistemas de produção da agricultura familiar e a qualidade ambiental da água. Logo, há interesse em compreender como os sistemas de produção agrícolas familiares pressionam a Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé (RS)?

1.1 Objetivos da pesquisa

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar as pressões que os sistemas de produção agrícolas familiares exercem sobre os ecossistemas aquáticos da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé (RS/Brasil).

1.1.2 Objetivos específicos

- (a)** Descrever o modelo de gestão dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé.
- (b)** Caracterizar os sistemas produção agrícolas desenvolvidos na Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé.
- (c)** Elaborar um modelo multidimensional de indicadores capaz de comparar as pressões dos principais sistemas de produção agrícola familiares sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé.

1.2 Justificativa

A temática de pesquisa justifica-se, sobretudo, pela importância que os recursos hídricos possuem para todas as formas de vida do planeta. A água é um elemento natural que expressa valores biológicos e socioeconômicos para diferentes culturas. Embora a água doce esteja inserida em um processo de constante reciclagem natural, não necessariamente é inesgotável e de qualidade permanente.

Os problemas em relação aos recursos hídricos aumentaram e se diversificaram pelos efeitos das pressões antropogênicas. Em linhas gerais, os impactos sociais, econômicos e ambientais da perda de qualidade dos mananciais são percebidos com o aumento de doenças de veiculação hídrica (como a diarreia, segunda maior causa de morte no mundo entre crianças com menos de cinco anos), a diminuição da produtividade agropecuária, o comprometimento dos valores turísticos, culturais, paisagísticos e outras implicações negativas (ANA, 2017a).

Embora no Brasil tenha ocorrido uma reorganização no modelo de gestão e planejamento dos recursos hídricos por meio da Lei Federal nº 9.433/97, que regulamenta a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, a descrição e compreensão dos principais fenômenos que coordenam a disponibilidade e a qualidade da água ainda é insatisfatória. Há necessidade substancial de refletir sobre alguns princípios do planejamento ambiental e hídrico, buscando harmonizar os interesses e a dinâmica

da sociedade com as condições e a dinâmica do meio ambiente.

A poluição dos recursos hídricos se dá basicamente por duas formas. A primeira ocorre pela contaminação pontual, ou seja, quando poluentes são emitidos de forma constante, individualizada e em locais específicos, como o lançamento de esgotos sanitários ou de efluentes industriais. Neste caso, a poluição atinge diretamente os cursos de água, provocando alterações imediatas no ambiente aquático. A segunda ocorre por meio da contaminação difusa, que não possui um ponto específico de lançamento ou geração de poluente. Assim, a contaminação acontece de forma superficial e subsuperficial espalhada ao longo da bacia hidrográfica (BRASIL, 2012). Em geral, os efluentes dos aglomerados urbanos e das indústrias são caracterizados por fontes pontuais de contaminação da água. Evidencia-se que a maior parcela das contaminações provenientes da atividade agropecuária ocorre via escoamento superficial, isto é, de forma difusa (TIECHER et al., 2017; ZAFAR et al., 2017).

Vale destacar que a identificação e o controle dos poluentes difusos são bem mais complexos que os pontuais, pois os poluentes difusos afetam tanto os locais manejados como outros locais ao longo da bacia hidrográfica. A contaminação difusa não tem um ponto específico de lançamento ou geração de poluente, sendo difícil de ser identificada e mensurada. Este padrão de contaminação dos recursos hídricos está fortemente associado à agricultura, com interface sobre problemas físicos, químicos e biológicos, reduzindo a qualidade da água e do ambiente (BASTOS et al., 2017).

Apesar da existência de pesquisas e ações realizadas por órgãos governamentais, como se verifica através da atuação da Agência Nacional das Águas e de distintos órgãos de ensino e pesquisa brasileiros sobre disponibilidade e qualidade da água, ainda perduram lacunas a serem exploradas. Permanecem carências de estudos para avaliar as fontes de poluição e o impacto das atividades antrópicas em bacias hidrográficas de escala regional, por exemplo. No sentido de contribuir com esta particularidade, a presente investigação propõe uma avaliação preliminar das pressões agrícolas em escala local.

A geração de poluente pode variar muito de uma bacia hidrográfica para outra e, até mesmo, em diferentes locais dentro da mesma bacia hidrográfica. Por isso, os diagnósticos para a identificação de pontos críticos que mais contribuem para a degradação da água são de fundamental importância para implementar remediações

(políticas de controle). O recorte espacial dos municípios que integram a Bacia do Rio Guaporé, excetuando o município de Marau, que é considerado um polo do setor agroindustrial, possui 49% da população habitando áreas rurais (IBGE, 2018). Basicamente a ocupação da população rural é atrelada às atividades agrícolas, com prevalência da produção de grãos, de tabaco, cultivos perenes e a criação no sistema integrado de animais.

Em especial, comunica-se que a Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé possui agricultura praticada de modo intensivo, caracterizada pela elevada utilização de insumos. A criação de animais em confinamento é expressiva (suínos, aves e pecuária de leite) e tem potencial para gerar grandes quantidades de resíduos, ricos em nitrogênio, fósforo e medicamentos de uso veterinário. Somando-se a essa configuração, os sistemas de produção agrícolas são praticados em ambientes ecologicamente frágeis, áreas declivosas, com a presença de nascentes e recarga de aquíferos (MERTEN; MINELLA, 2002). Nesse sentido, considera-se relevante examinar as especificidades regionais no tocante ao uso, gestão e planejamento ambiental em um local em que os sistemas agropecuários são praticados em situações proeminentes de riscos de poluição.

Sendo assim, esta investigação pretende contribuir com o desenvolvimento de um modelo metodológico capaz de avaliar perturbações ambientais de origem agrícola que possam prejudicar as características naturais dos recursos hídricos. Várias ferramentas e abordagens têm sido experimentadas em todo o mundo para tratar de processos de avaliação ambiental. O procedimento clássico de avaliação – a análise custo-benefício – tem se mostrado limitado, por não incluir outros critérios além da minimização dos custos ou da maximização dos benefícios. Por outro lado, a abordagem multicritério tem se destacado em análises de situações complexas, pois parte da lógica multidimensional para identificar e ordenar problemas.

Portanto, por meio deste estudo, busca-se identificar os componentes dos processos produtivos e também das características do meio ambiente que mais contribuem para a geração de externalidades decorrentes das atividades agrícolas sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé. A proposta é construir um sistema de avaliação das pressões que os sistemas produção agrícolas exercem sobre os ecossistemas aquáticos, capaz de produzir informações para subsidiar os processos de gestão da BH. Com os resultados gerados, espera-se obter informações capazes de auxiliar na definição de estratégias e práticas agronômicas que visem diminuir a

poluição difusa e a degradação dos ecossistemas aquáticos e terrestre.

Considera-se que entender e relacionar a utilização dos recursos hídricos na agricultura, além de identificar caminhos para mitigar os efeitos negativos dos sistemas de produção agrícolas sobre os ecossistemas aquáticos, é um dos componentes essenciais deste trabalho. Desta forma, busca-se também cooperar com debates acadêmicos sobre a temática do desenvolvimento rural e a preservação dos recursos naturais, revendo modelos de desenvolvimento e padrões de agricultura. Almeja-se que as informações aqui geradas possam contribuir para orientar mecanismos de fortalecimento da agricultura familiar e do desenvolvimento rural sustentável e que a pesquisa apresente elementos que auxiliem na orientação de estratégias com vistas à diminuição da poluição e da degradação dos agroecossistemas investigados. Para tanto, a estrutura de redação está organizada em sete seções, conforme sistematização na Figura 1.

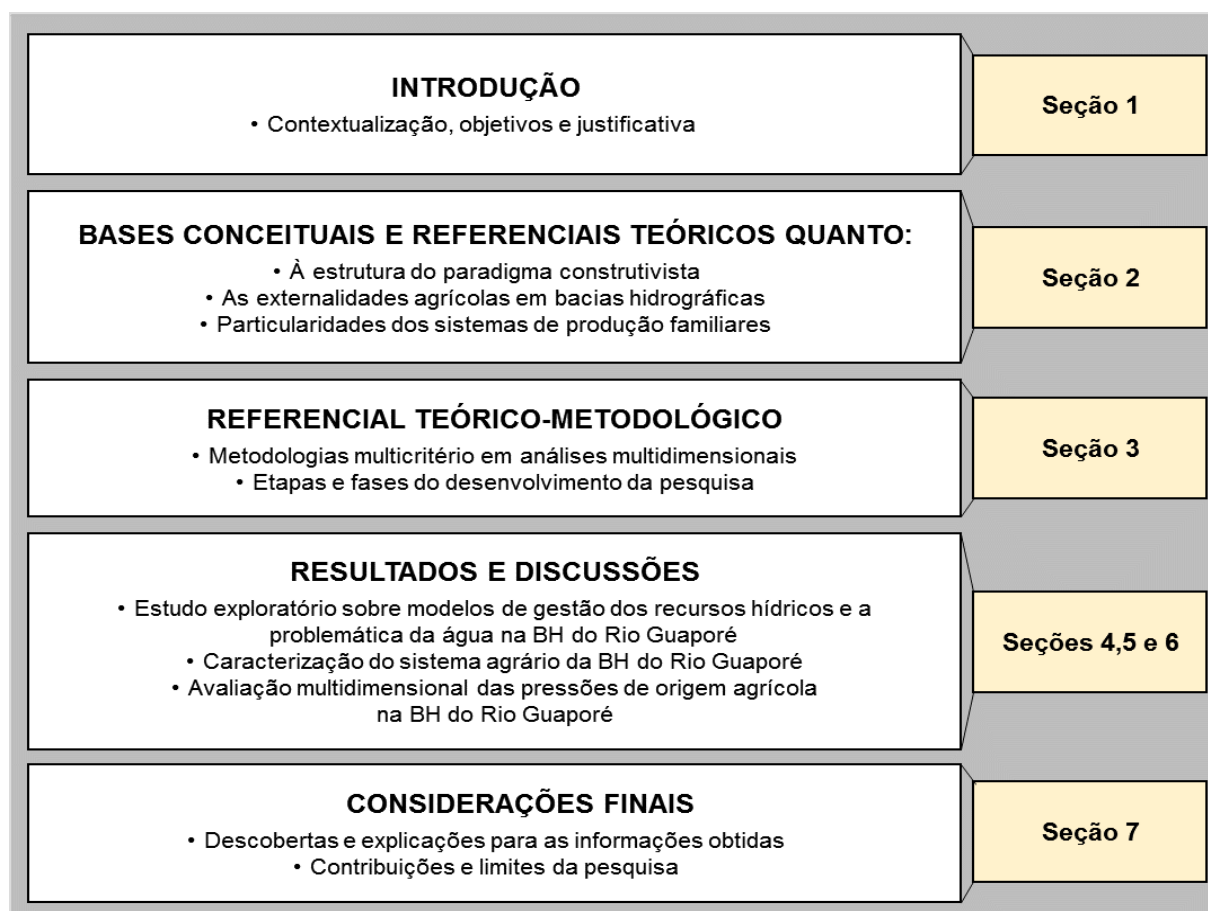


Figura 1 – Estrutura da tese

2 BASES CONCEITUAIS E REFERENCIAIS TEÓRICOS

O presente capítulo está organizado em três tópicos, sendo que o objetivo é aportar algumas noções e conceituações importantes para o desenvolvimento desta investigação. Para tanto, inicialmente é apresentado: i) um resgate dos processos históricos de construção, interpretação e validação de paradigmas científicos; na sequência ii) são caracterizados conceitos elementares ao problema das externalidades agrícolas em bacias hidrográficas; e finalmente iii) são analisadas as especificidades da condução dos sistemas de produção e da conservação dos recursos naturais, por parte da agricultura familiar.

2.1 Da abordagem cartesiana ao paradigma construtivista: contribuições ao entendimento dos fenômenos socioambientais

O pensamento científico ocidental é marcado por quatro grandes momentos em que as reflexões sobre a relação da sociedade com a natureza ganharam relevo. O primeiro momento foi a visão da ciência natural dos gregos. Eles viam a natureza como corpos em movimento ordenados por inteligência, de tal maneira que a natureza participaria materialmente (física) e psiquicamente (mente) da organização do mundo (COLLINGWOOD, 1986).

A fissura do juízo grego de ciência aconteceu com a visão de natureza do período pós-renascente (XVI e XVII). Nele, a questão central foi a negação da natureza como um organismo. A concepção renascentista vê o mundo natural como mecânico, ordenado para um fim específico, definido por uma inteligência que lhe é exterior e derivada de um criador divino (COLLINGWOOD, 1986).

A ciência mecanicista, conforme destaca o filósofo francês René Descartes no livro *Discurso do Método*, considera o todo como a soma das partes. Para compreender algo complexo, é necessário separá-lo em partes menores e aplicar os princípios da evidência, da redução, da causalidade e da exaustão (DESCARTES, 1996). O postulado mecanicista estabelece analogias entre máquinas e natureza, e pressupõe a existência de um ser superior que determina os movimentos do universo (deísmo).

A visão moderna da ciência, que se consolida na revolução industrial, é centrada na concepção de processo, mudança e evolução. Esta constatação põe em cheque a matéria, as leis das composições e ordenações do mundo e os problemas humanos, até então considerados imutáveis – do ciclismo ao progressismo. Por conseguinte, contrapõe a natureza como obra de Deus e, desde o século XVII, reconhece a abordagem analítica como seu pensamento hegemônico. Os princípios da disciplinaridade, do reducionismo, da validação experimental e da priorização dos aspectos quantitativos orientam os processos científicos (COLLINGWOOD, 1986).

Ao longo do século XX, emergia a visão contemporânea, conforme a qual diferentes áreas do conhecimento apontam pressupostos para uma possível mudança de paradigma¹ – da singularidade para a complexidade. Esta abordagem tem por concepção o estudo de conjuntos/objetos amplos e complexos, o que não significa contrapor ou negar a abordagem analítica, mas propõe organizar os conhecimentos a partir de estruturas fenomenológicas em movimento consideradas complexas analiticamente para o método cartesiano.

Conforme Edgar Morin (2005), na natureza o comportamento de um objeto pode ser diferente da soma de comportamentos dos elementos que o compõem. A interação constante e dinâmica dos elementos é organizada pela funcionalidade da estrutura subdividida em diferentes níveis hierárquicos. Na biologia, por exemplo, uma célula, um tecido, um órgão; na sociologia, os diversos níveis de organização social, tais como: familiar, cultural, econômico e político.

A concepção de ciência fragmentada em impérios isolados entre si (física, biologia, química, entre outros), que só podem ser conectados pela redução do mais complexo ao mais simples, segundo Morin (2005), não forneceram teorias que deem conta de explicar os fenômenos na plenitude. Embora a visão linear e racionalista do

¹ O conceito de paradigma é obra de Thomas Kuhn (1996). Um paradigma científico serve para legitimar os problemas e os métodos em determinada pesquisa.

homem e da natureza permitiu inegáveis avanços no campo científico, excepcionalmente ao prever e explicar elementos importantes para o estudo e a compreensão de fenômenos com impacto pontual e localizado, os experimentos possuem limitações no tratamento de fenômenos universais e sociais (MORIN, 2005).

Nem os mais avançados sistemas computacionais, baseados em importantes modelos matemáticos, conseguem explicar as preocupações contemporâneas individuais, comunitárias e ambientais (FUNTOWICZ; RAVETZ, 1997). Portanto, são evidentes os limites desta visão linear da ciência para compreender fenômenos naturais complexos que ganharam destaque na contemporaneidade, por exemplo, adversidades ambientais como o aquecimento global, ou ainda, restrições que o método apresenta em análises no campo social, ao tratar de fatos como pobreza e desigualdade.

A visão contemporânea de ciência, além de chamar atenção para as estruturas organizacionais e suas funcionalidades, apresenta mudanças em sua constituição e princípios estruturantes. Um expressivo grupo de autores advoga em prol de uma realidade ainda em compreensão: Boaventura de Souza Santos, Zygmunt Bauman e Fredric Jameson (*sociedade pós-moderna*); Daniel Bell (*sociedade pós-industrial*); Anthony Giddens (*modernidade tardia e modernidade reflexiva*); Ulrich Beck (*sociedade de risco*); Manuel Castells Oliván (*sociedade da informação*) e Jean Baudrillard (*sociedade do consumo*), que certamente se diferenciam dos pilares científicos fundados na modernização.

Adicionalmente, o Dicionário Oxford² elegeu o termo *post-truth* (pós-verdade) como a palavra internacional do ano de 2016. Em suma, independentemente da posição frente a uma possível nova ordem “pós-tradicional”, é fato que a escala dos problemas ambientais é planetária e os impactos são de longa duração: “... as decisões dependem de avaliações de estados futuros do ambiente natural, dos recursos e da sociedade humana, mas não se conhecem, nem se podem conhecer em detalhes, nenhum destes estados” (FUNTOWICZ; RAVETZ, 1997, p. 223). Por isso, esses mesmos autores argumentam que as decisões esperadas para a resolução de problemas ambientais precisam ter caráter político e ético à luz de predições científicas nem sempre precisas.

² Oxford Dictionaries. O termo ganhou relevância com a publicação de uma matéria na revista britânica *The Economist*, na edição impressa de setembro de 2016.

Demarca-se um posicionamento similar frente aos fenômenos e às conceituações reconhecidas nesta pesquisa. Os processos de governança dos recursos hídricos modelados na Pesquisa Operacional (PO)³ usualmente analisam os fenômenos avulsos ao observador e independente aos atores que integram direta ou indiretamente tais fenômenos. Bernard Roy (1993), no artigo *Decision science or decision-aid science?*, discute os procedimentos utilizados na pesquisa operacional e no apoio à decisão à luz dos contextos decisórios. Segundo ele, o pesquisador procura se amparar em diferentes paradigmas a fim de dar significado aos resultados obtidos: a) por meio do caminho do realismo e a descrição para descobrir; b) pelo caminho axiomático e a busca de normas para prescrever; c) pelo caminho construtivista e a busca por hipóteses para recomendar. Cada uma destas diretrizes tende a influenciar de certa forma a natureza do objetivo para o qual atrai a formulação do problema.

Segundo o autor, o analista que persegue o critério racionalista procura descrever e simplificar o fenômeno para encontrar aproximações com a realidade e evitar fontes de imprecisão com referência a ela. Pressupõe que a solução do problema seja determinada exclusivamente pela sua formulação ou que a descrição do problema seja capaz de impor uma solução. Neste caso, a formulação do problema independe de como o formulador o contempla e o percebe, ou quem produz o conhecimento sobre o assunto (ROY, 1993).

Os processos de gestão e tomada de decisão ancorados no paradigma racionalista procuram enquadrar os problemas em categorias, excluindo a subjetividade da técnica. Este caminho é bastante útil para a solução de problemas claramente definidos, como na logística, no controle da produção e no controle de estoques (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001). Os métodos de análise exclusivamente racionalistas utilizam critérios para encontrar uma solução ótima, que independem de qualquer opinião, convicção ou valor humano. Esta solução dever-se-ia originar-se de um comportamento racional, diferentes alternativas demonstrariam irracionalidade por parte dos decisores. Assim sendo, a limitação deste paradigma reside em acreditar que há uma única maneira correta de definir um problema e, uma vez definido, considerá-lo uma representação legítima da realidade (ROY, 1993).

³ Ramo interdisciplinar que utiliza estruturas modelares em processo de tomada de decisão.

Segundo Roy (1993), o caminho axiomático implica reputar uma verdade enquanto tal. O propósito deste caminho de exploração formal é aprender algo sobre o fato. Logo que sejam admitidos certos conceitos (princípios ou regras como ponto de partida), um determinado modelo de representação surgirá a partir deles; conseqüentemente, um determinado procedimento deverá ser seguido e um dado resultado se tornará verdade. Roy afirma que o objetivo deste caminho é a busca de normas para preconizar e justificar as próprias regras.

A trajetória construtivista, por sua vez, tem por objeto considerar conceitos, modelos, procedimentos e até mesmo resultados como instrumentos alocados a um sistema de desenvolvimento do conhecimento. Estes instrumentos necessitam estar conectados a múltiplas facetas das interações de um ambiente complexo. O resultado do processo aparece como “recomendações” orientadas para a produção de conhecimento sobre como agir, e não meramente um instante de escolha de uma entre as alternativas disponíveis.

Este caminho construtivista não reconhece valores como verdadeiros nem os ampara em uma única dimensão. Está interessado na complexidade para dar sentido às “coisas”. Por isso, considera o valor encontrado ou resultado obtido dentro de um intervalo de precisão. Esse resultado pondera uma margem de determinação e quantifica-a no critério que foi construído e aceito como a base do raciocínio e da comparação de alternativas. De acordo com o caminho construtivista, o conhecimento adquirido não pode ser independente do curso escolhido para chegar a ele (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001).

Neste caso, o produto do processo de investigação é composto por um arranjo indivisível, resultante da interação de fatores de natureza objetiva (próprio às ações) e elementos de natureza subjetiva (próprios aos valores dos atores) (BANA E COSTA, 1993; BANA E COSTA 1995). O reconhecimento e a integração de aspectos de natureza subjetiva à ciência, tais como: tradição, cultura, intuição e relação de poder, limitam a racionalidade das escolhas e permitem integrar um equilíbrio no conjunto das informações que normalmente se apresentam em conflito (XAVIER et al., 2012).

Esta parece ser a conjuntura dos problemas relacionados com a utilização dos recursos naturais, especialmente no caso dos recursos hídricos, ao considerar que as questões ambientais são constituídas de sistemas complexos e por isso envolvem decisões pluridimensionais. Embora ambos os paradigmas apresentados possuam relevância científica, tendo em vista o exposto, considera-se o caminho construtivista

mais apropriado para estruturar o problema em foco. Isto porque, a abordagem construtivista notabiliza os limites da objetividade, reconhece a presença de subjetividade dos atores e admite a impossibilidade de se encontrar uma solução ótima. Conforme Ensslin, Montibeller Neto e Noronha (2001), o resultado no paradigma construtivista é considerado um processo evolutivo e não exclusivamente um dado momento da escolha da melhor alternativa.

2.2 Externalidades agrícolas em bacias hidrográficas

A formulação do problema de pesquisa na dimensão socioambiental geralmente é constituída perante incertezas e imprecisões. Mesmo nos casos em que não haja interações diretas entre objeto e observador, ou que as interações sejam reduzidas, o problema de pesquisa é assentado sobre um ou mais sistemas de valores atribuídos a sua natureza (PHILIPPI JR, 2000). Como mencionado anteriormente, os modelos científicos construídos sob a égide do paradigma construtivista são passíveis de reconhecer e de se adaptar aos fenômenos presentes nas realidades pesquisadas e demonstram maior potencial em diminuir a distância entre a identificação do problema e a formulação de alternativas.

Uma vez definido o caminho a ser seguido, passa-se a referenciar os principais elementos tratados no horizonte desta discussão. Um deles diz respeito a unidade de análise denominada de bacia hidrográfica, que se destaca pela sobreposição a limites municipais, estaduais ou nacionais. A utilização da bacia hidrográfica como unidade de planejamento provém da busca por alternativas para o uso dos recursos hídricos para a irrigação, indústria, navegação, abastecimento público e demais empregos múltiplos da água, a fim de organizar o desenvolvimento socioeconômico de uma determinada unidade territorial (LORANDI; CANÇADO, 2002).

A bacia hidrográfica do ponto de vista geomorfológico é considerada um recorte espacial na área de captação natural da água da chuva, que escoar superficial ou subsuperficialmente, de forma a compor os cursos de água. Os cursos de água podem convergir para um único ponto de saída ou exutório ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático (SETTI et al., 2001; TEODORO, 2007).

Evidencia-se que a formação da bacia é feita através dos desníveis dos terrenos que orientam os cursos da água das áreas mais altas para as mais baixas. Assim, a BH compreende um conjunto de terras drenadas por um sistema fluvial, composto por um curso principal e seus tributários (CHRISTOFOLETTI, 1981; SUGUIO; BIGARELLA, 1990). A rede de drenagem de uma bacia é separada pela formação do relevo e os interflúvios (divisores topográficos) são os limites mais elevados do terreno que separam as redes de drenagem, conforme demonstra a Figura 2.

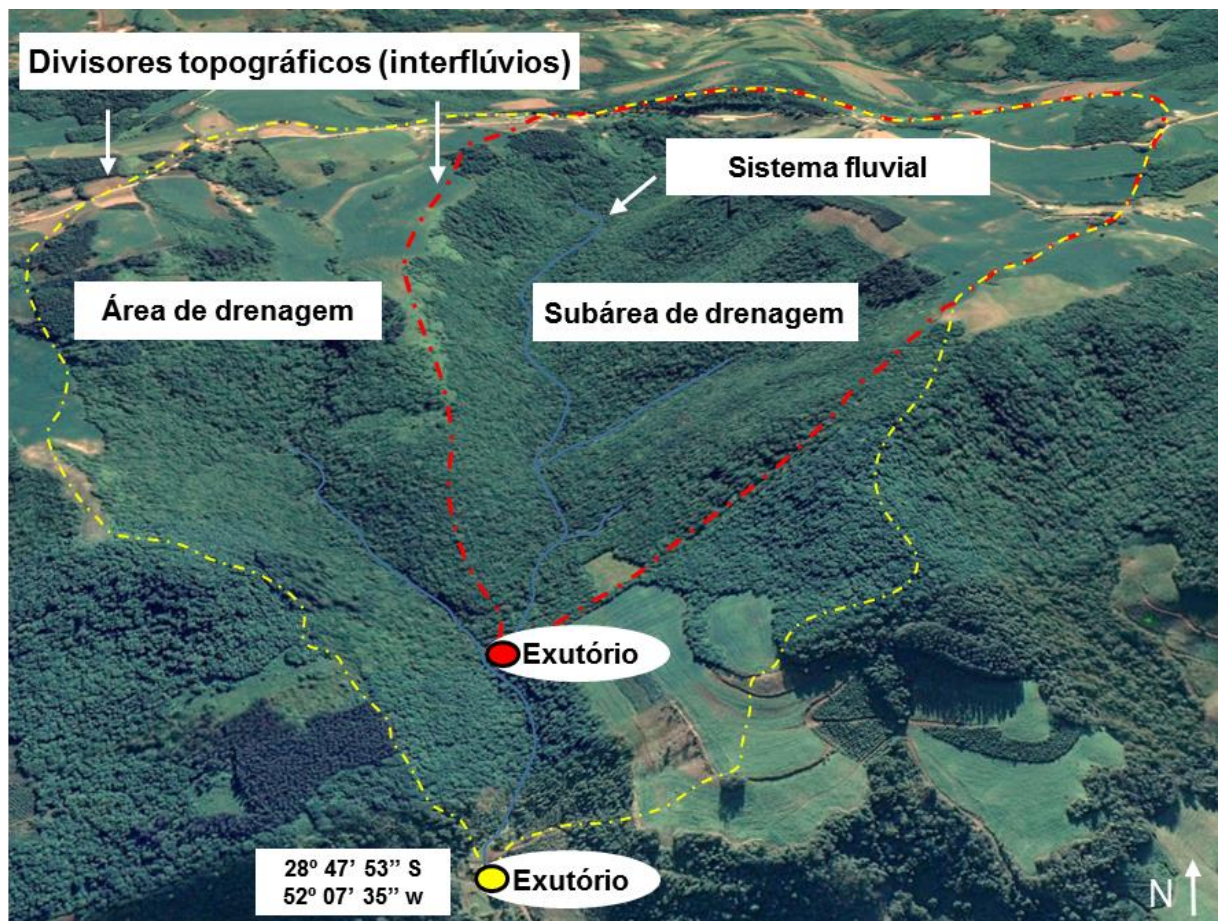


Figura 2 – Delimitação gráfica da área de drenagem correspondente a bacia e sub-bacia hidrográfica
Fonte: Elaborado pelo autor com base em imagem fornecida pelo *Google Maps Earth* (2017).

Existem definições encontradas na literatura que envolve subdivisões da bacia hidrográfica, dentre elas, os termos sub-bacia e microbacia (Quadro 1). As unidades de medidas que definem o limite destas subdivisões podem ser detectadas a partir de

distintos critérios, como variáveis hidrológicas, limnológicas, características geomorfológicas, sensibilidade de resposta a intensidade da precipitação, uso do solo, e também por fatores socioeconômicos (TEODORO, 2007). Essa classificação por escala se constitui em uma denominação empírica a partir do interesse e da experiência do observador. Geralmente tais divisões são feitas de maneira a conformar as necessidades de gestão dos recursos hídricos com a configuração física e características locais.

Divisões hidrográficas	Autores		
	Borsato; Martoni (2004)	Barrella et al. (2007)	Lima; Zakia (2000)
Bacias	Área delimitada por um divisor de água e formada por uma rede de drenagem que converge para um único ponto de saída	Terras drenadas por um rio e seus afluentes, onde a água infiltra no solo para formar nascentes e o lençol freático, ou escoam superficialmente e aumenta o volume à medida que os riachos vão recebendo água de outros tributários até desaguar no oceano	Sistemas abertos, que oscilam em torno de um padrão baseado no equilíbrio da energia de agentes climáticos, dissipada através de deflúvios
Sub-bacias	Santana (2003)	Faustino (1996)	Teodoro (2007)
	Corresponde a uma ordem hierárquica inferior a bacia hidrográfica	São áreas maiores que 100km ² e menores que 700km ²	Áreas de drenagem dos tributários do curso d'água principal
Microbacias	Mosca (2003)	Leonardo (2003)	Attanasio (2004)
	Menor unidade do ecossistema onde são observadas sensíveis relações de interdependência entre os fatores bióticos e abióticos	Unidade ambiental que representa o elo entre a microescala (que se refere ao nível de análise, monitoramento e intervenção <i>in loco</i>) e a macro escala (que corresponde a paisagem, região onde são emanadas leis e políticas públicas)	Unidade de planejamento para a compatibilização da preservação dos recursos naturais e da produção agropecuária. Possui características ecológicas, geomorfológicas e sociais integradas

Quadro 1 – Diferentes conceitos de microbacia, sub-bacia e bacia hidrográfica

Fonte: Adaptado de Teodoro et al. (2007).

Conforme Santana (2003), as bacias hidrográficas podem ser desmembradas em um número qualquer de sub-bacia, a depender do ponto de saída considerado ao longo do canal coletor. Cada bacia hidrográfica interliga-se com outra de ordem

hierárquica superior, constituindo, mesmo que em termos relativos, um escalonamento na seguinte ordem crescente: microbacia, sub-bacia e bacia hidrográfica.

Além da visão espacial, Lima e Zakia (2000) acrescentam ao conceito geomorfológico da bacia hidrográfica, uma abordagem sistêmica. Segundo esses autores, a bacia hidrográfica é um sistema aberto, que recebe energia através de agentes climáticos e perde energia através do deflúvio, desta forma, as perturbações derivadas das ações antrópicas seriam compensadas (ou minimizadas) pelo estado de equilíbrio dinâmico natural.

Também é possível assimilar o conceito de BH ao de ecossistema, ao considerá-la uma unidade espacialmente delimitada, composta por uma organização hierárquica de indivíduos, populações e comunidades com conexões funcionais entre os organismos vivos e o ambiente abiótico (MOSCA, 2003). Portanto, a bacia hidrográfica é uma unidade territorial constituída de organismos vivos que interagem com componentes físicos e químicos do ambiente (solo, água, rocha, luz, umidade, temperatura, etc.). As relações entre os organismos e os componentes denotam sistemas ecológicos e hidrológicos relativamente coesos e formam processos dinâmicos de estrutura sistêmica (LORANDI; CANÇADO, 2002).

A utilização da BH como unidade territorial de planejamento e gerenciamento ambiental, além de envolver o conjunto de organismos vivos e componentes abióticos, deve considerar elementos imateriais, como a cultura local, o conhecimento dos agentes, além dos interesses e objetivos dos múltiplos usuários da água (FERNANDES, 2008). É sobre esse território que se desenvolvem as atividades humanas, quer dizer, todas as áreas urbanas, industriais, agrícolas ou de preservação estão inseridas em alguma bacia hidrográfica. Logo, as implicações ambientais que ali ocorrem são consequências da estrutura biofísica da BH, dos padrões de uso e ocupação da terra e manejo dos recursos naturais (PORTO; PORTO, 2008).

Entre os princípios, normas e fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos brasileira, instituída pela Lei nº 9.433, de 1997, a água é considerada um bem de domínio público e a bacia hidrográfica é adotada como unidade territorial de estudo e gestão (BRASIL, 1997). Por meio desta abordagem busca-se solucionar conflitos entre usuários e harmonizar implicações sobre fatores naturais, econômicos, sociais e políticos, na qual a água é o ponto de convergência de um complexo sistema ambiental (TEODORO, 2007).

Além do sistema de gerenciamento dos recursos hídricos, diversos segmentos da sociedade têm manifestado preocupações com as transformações no sistema ambiental. Neste contexto, diferentes estudos demonstraram interesses em compreender e quantificar os efeitos que as atividades humanas exercem sobre os ecossistemas, como uma prerrogativa para orientar as decisões públicas no sentido de assegurar o bem-estar social.

É notório que as atividades praticadas como meio, ou realizadas com a finalidade de satisfazer as necessidades humanas, geralmente exercem pressões sobre o ambiente natural, cuja mensuração é uma tarefa complexa. A agricultura em particular, que utiliza cerca de 50% das terras habitáveis do planeta e utiliza aproximadamente 70% do seu volume de água doce (PNUD, 2019), desempenha um papel central perante as formas de gerenciamento aplicadas ao manejo de bacias hidrográficas. Para identificar e avaliar às pressões ocasionadas pelos sistemas de produção agrícolas aos ecossistemas aquáticos, preliminarmente se faz necessário compreender o que sugere o termo pressão nessa conjuntura narrada.

De antemão é possível informar que a problematização apresentada aqui busca diferenciar o significado de pressão, impacto e de mudança de estado ambiental, a partir da conceituação proposta por especialistas que integram distintas áreas de conhecimento. Para facilitar o entendimento destes conceitos recorre-se a um instrumento que tem demonstrado potencialidades com a estruturação de problemas ambientais complexos, decorrentes dos processos de interações que ocorrem entre sociedade e meio ambiente. Este instrumento denominado de quadro teórico DPSIR (em inglês: *Drivers, Pressures, State, Impacts, Responses*) tem colaborado decisivamente para classificar e relacionar as externalidades produtivas⁴ com as alterações desencadeadas no sistema ambiental (LEWISON et al., 2016).

A origem deste quadro resulta da fusão de duas concepções por vezes tidas como opostas: a ecologista e a economista. A racionalidade econômica de curto prazo e os ciclos ecológicos, que asseguram a renovação da natureza e a sustentabilidade do desenvolvimento, nem sempre coincidem (PHILIPPI JR, 2000). No sentido de equalizar as dimensões econômica e ambiental este quadro teórico se fez popular entre cientistas e decisores (SCHULZE; COLBY, 1995), e tem sido utilizado por vários organismos de referência internacional, tais como: Organização para a Cooperação e

⁴ As externalidades estão relacionadas principalmente aos danos ambientais e à saúde humana.

Desenvolvimento Econômico, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, Agência de Proteção Ambiental, entre outros. Os Estados-Membros da União Europeia, por exemplo, adotaram este enquadramento como uma estratégia de avaliação ambiental integrada, com o objetivo de apoiar os processos de tomada de decisão no âmbito dos recursos hídricos (COMUNIDAD EUROPEA, 2000).

No universo acadêmico também é possível identificar a utilização do quadro DPSIR em diferentes abordagens: na gestão integrada dos recursos hídricos de zonas costeiras (PIRRONE et al., 2005; MIMIDIS et al., 2017), na gestão de águas superficiais e subterrâneas (KAGALOU et al., 2012; BORJA et al., 2006; EXPÓSITO; BERBEL, 2017), como ferramentas de apoio aos processos de decisão (GIUPPONI; VLADIMIROVA, 2006; PSOMAS et al., 2018), para avaliar os impactos das alterações climáticas (HOLMAN et al., 2005; BÄR et al., 2015), sobre questões relacionadas com o desenvolvimento sustentável (CARR et al., 2007; TSAI et al., 2009) e para o desenvolvimento de indicadores ambientais (WALMSLEY, 2002; GENG et al., 2014; SUN et al., 2016).

O modelo conceitual de avaliação integrada DPSIR é estruturado por cinco componentes dispostos em sistemas cíclicos (BERBEL et al., 2019) (Figura 3). O ciclo começa com as forças indutoras (*Drivers*) que geram estresse e causam pressões (*Pressures*) positivas ou negativas sobre o ambiente natural. Estes efeitos podem alterar o estado (*State*) físico, químico e biológico do sistema natural, e causar impactos (*Impacts*) nos ecossistemas e na saúde humana. No final do ciclo, normalmente a sociedade reage com a perspectiva de amenizar os impactos que possam afetar o bem-estar humano (*Responses*). Geralmente as respostas são expressas em medidas de priorização de objetivos e estabelecimento de metas, uso de instrumentos econômicos e legais, ou mesmo, através do uso de dispositivos tecnológicos (SCHULZE; COLBY, 1995; STANNERS et al., 2007; KELBLE et al., 2013). Em seguida, com os efeitos derivados da(s) resposta(s) (ou devido a algum processo de transformação nas forças motrizes de outra natureza), o ciclo primário DPSIR passa a constituir uma nova fase de Pressão – Estado – Impacto – Resposta.



Figura 3 – Processo de retroalimentação *Drivers-Pressures-State-Impact-Response*

O que é proposto por meio dessa exposição é apenas demonstrar que o quadro conceptual DPSIR fornece uma visão geral dos principais problemas ambientais (BENINI et al., 2010). Não se pretende sistematizar especificamente os problemas ambientais e socioeconómicos centrados na agricultura e nos recursos hídricos da BH do Rio Guaporé para enquadrar na estrutura DPSIR, e sim, valer-se desta estrutura para delimitar macros indicadores espaciais e temporais de pressão procedentes dos sistemas de produção agrícola capazes de alterar o estado de vulnerabilidade dos recursos naturais, uma vez que a distinção entre o conceito de pressão, estado e impacto não é completamente clara (GIUPPONI; VLADIMIROVA, 2006).

Há casos em que os impactos são concebidos de forma diferente pelos cientistas sociais e naturais, como: alterações (negativas) no bem-estar humano, em contraste com as alterações (adversas) ao ambiente natural, respectivamente (KARAGEORGIS et al., 2006). Contudo, mesmo assumindo que algumas literaturas apresentam opiniões divergentes sobre a linha divisória que distingue estes três componentes (GARI et al., 2015; LEWISON et al., 2016) é possível chegar a um entendimento do que cada um deles representa.

Conforme Schulze e Colby (1995), Gabrielsen e Bosch (1999) e Stanners et al. (2007), o componente denominado estado reflete preocupações sobre as condições de conservação em que se encontram os ecossistemas. As informações e os dados referentes ao estado retratam a forma de utilização dos recursos naturais (aspectos qualitativos) e a concentração de poluentes no ambiente (aspectos quantitativos). Já

os distúrbios indiretos e difusos identificados no ambiente são caracterizados como impacto. Isso significa que os indicadores de impacto, geralmente, incluem medidas sanitárias dos sistemas naturais (por exemplo, morbilidade dos peixes, extinção de espécies, etc.) e medidas de bem-estar humano (por exemplo, doenças transmitidas por microrganismos, porcentagem da população que recebe água potável abaixo dos padrões de qualidade, etc.). Além disso, podem também ser consideradas medidas que afetam a economia, tais como custos de compensação a serviços ambientais, custos de aprovisionamento e regulação, entre outras despesas.

O fator pressão, por sua vez, é caracterizado pela descrição de como são utilizados os recursos naturais, e principalmente, quanto resíduo é gerado, transportado ou depositado no ambiente (SCHULZE; COLBY, 1995; GABRIELSEN; BOSCH, 1999; STANNERS et al., 2007). Neste estudo, o termo pressão será utilizado como uma grandeza escalar para mensurar os estímulos excedentes às atividades agropecuárias sobre os ecossistemas aquáticos. Apesar da dificuldade de classificar e organizar os componentes no circuito da cadeia do DPSIR, foi sintetizado parâmetros genéricos considerados essenciais para interpretar as interações que ocorrem entre as atividades agrícolas e os ecossistemas aquáticos em bacias hidrográficas, de acordo com a literatura consultada (Figura 4).



Figura 4 – Elementos da cadeia DPSIR e fatores relacionados a agricultura e aos recursos hídricos
Fonte: Elaborado pelo autor com base em Walmsley (2002).

O ambiente natural, sob a forma de clima, geologia, e topografia, que determinam o caráter subjacente de uma bacia hidrográfica e seus recursos hídricos, pode ser incluso às forças motrizes. Estes fatores geralmente são reputados por influências positivas, ao assegurarem a restauração da natureza, enquanto que as interferências antropogênicas tendem a ser de carácter predominantemente negativo. O desenvolvimento e as atividades econômicas possuem como principais forças motrizes antropogênicas o crescimento da população e a ampliação da demanda para satisfazer as necessidades humanas (WALMSLEY, 2002). Portanto, consideram-se forças motrizes a coexistência de fatores de natureza genuína e das atividades humanas. Assim, no presente estudo, o desenvolvimento das atividades agrícolas, que envolve tanto os cultivos quanto as criações, é considerado a força motriz deste sistema de interações.

Dentre as principais pressões derivadas do ambiente natural destacam-se as alterações provocadas pelas variações no regime pluviométrico, como é o caso dos eventos “El Niño” e “La Niña”, que ocorrem com alta intensidade na Amazônia e no Nordeste brasileiro, em algumas regiões da Austrália e também da Indonésia. Esses fenômenos também têm efeitos claros na região estudada. Outros fenômenos podem pressionar o equilíbrio dos ecossistemas naturais, como: furacões, nevascas, erupções vulcânicas, tsunamis, terremotos, etc.

As alterações na paisagem, que contemplam o uso da terra e o manejo dos recursos naturais, no caso da agricultura, são integradoras dos principais fatores de pressões antropogênicas. Neste caso, o uso da terra pode ser analisado diante de um leque amplo de possibilidades, sendo as mais comuns baseadas em indicadores de intensificação de cultivos em ambientes com baixa aptidão agrícola, deflorestação e alterações nas condições bióticas e abióticas da paisagem. Também integram o conjunto de pressão decorrente dos sistemas de produção agrícolas os insumos, especificando melhor, os resíduos dos insumos utilizados na produção, a exemplo dos agrotóxicos e fertilizantes.

Um aspecto precisa ser elucidado quanto ao uso de fertilizante. Embora os fertilizantes e os nutrientes muitas vezes são considerados sinônimos (WONG; WONG, 2004), na cadeia DPSIR eles podem ser avaliados de forma distinta. Uma das formas é quando os fertilizantes utilizados na agricultura são observados em decorrência da dosagem e das técnicas de aplicação; outra forma é quando são observados a partir da presença de resíduos encontrados na água sob a condição de

nutrientes minerais ou orgânicos. No primeiro caso, perante a proposta DPSIR, os fertilizantes são considerados substâncias passíveis de pressionar o meio ambiente e os recursos hídricos, enquanto que no segundo, a presença de fosfatos, nitritos e nitratos na água são indicadores do estado de alteração natural dos recursos hídricos.

Comumente, os parâmetros relativos à quantidade e à qualidade da água são considerados indicadores do estado dos recursos hídricos e correspondem ao balanço hídrico, diminuição da disponibilidade de água, presença de componentes tóxicos e salinização da água (ZACHARIAS et al., 2008; KUBACKA et al., 2016). Entretanto, para estudos que avaliaram regiões menos favorecidas pelos regimes hídricos, como no Sul da Espanha e Sudoeste dos Estados Unidos da América, a extração de água pelos sistemas de produção agrícola é encarada como um fator de pressão proporcionado ao meio ambiente, ao invés de ser concebida como mudança de estado (MEHRYAR et al., 2017).

A eutroficação para alguns autores (KARAGEORGIS et al., 2005; MATTAS et al., 2014), é considerada uma forma de impacto causado aos sistemas aquáticos, resultante de eventos desencadeados por fatores que exercem pressão sobre os recursos hídricos, tais como o uso de fertilizantes. Contudo, geralmente, a eutroficação é observada na forma de indicador da qualidade da água, medida através da concentração de clorofila, teores de nitrogênio e fósforo (PIRRONE et al., 2005; FASSIO et al., 2005; ALEXAKIS; KAGALOU; TSAKIRIS, 2013). Nestes casos, a eutroficação é encarada como uma mudança de estado de conservação dos recursos hídricos.

Conforme a organização apresentada na Figura 4, em síntese, considera-se a eutroficação, assim como a presença de nutrientes orgânicos e minerais na água, um componente associado a mudança de estado do ambiente aquático. Aos impactos foram reservados (a) os distúrbios dos sistemas naturais, como o esgotamento das reservas hídricas e a redução da biodiversidade aquática; (b) as enfermidades relacionadas com as doenças que afetam os seres humanos, pelo contato ou ingestão de água; (c) os custos com medidas de tratamento da água e custos sociais que escapam à ação do mecanismo de preços, como redução da capacidade de os ecossistemas proverem bens e serviços, perda das belezas cênicas para o desenvolvimento de atividades turísticas ou recreativas e de lazer para a sociedade.

Em relação às respostas, há uma grande variedade de ações e políticas, desde o acompanhamento até às disposições técnicas, regulamentares e de subsídios para

prevenir, compensar ou adaptar às mudanças no estado do ambiente, podendo ser dirigidas a indivíduos ou a grupos sociais públicos ou privados. Entre as ações verificadas, as mais comuns são: restrições de utilização da água, plano de gestão da água e de bacias, mecanismos econômicos relacionados ao preço da água e a tarifa por poluentes, incentivos técnicos e financeiros à modernização de sistema de irrigação, programas de formação aos usuários de água, etc. O objetivo fundamental das respostas é mediar os conflitos observados entre a agricultura e os ecossistemas, para que o estado de degradação ambiental proporcionado pela agricultura seja minimizado ao mesmo tempo em que a conservação ambiental não limite o desenvolvimento da agricultura (TENGBERG; TORHEIM, 2007).

Um dos grandes desafios contemporâneos para o desenvolvimento das atividades agrícolas é superar e transcender os conflitos ambientais, explorando o potencial e as sinergias decorrentes das interações com o meio ambiente. A matriz DPSIR possui competências para contribuir com iniciativas sob este viés, em particular, no que se refere a manutenção dos ecossistemas aquáticos e a recuperação das condições ecológicas que existiam antes dos impactos observados. De acordo com Turner et al. (1998), esta matriz pode ser encarada não como um modelo formal do campo científico, mas como um exercício de organizar e avaliar questões-chave das interações que ocorrem no desenvolvimento das atividades humanas com a natureza.

Compreender o sentido atribuído às pressões naturais e antropogênicas, seja diretas ou indiretas, que os sistemas de produção agrícola geram aos ecossistemas aquáticos, possibilita limitar o vasto conjunto de indicadores para identificar os mais relevantes à gestão das bacias hidrográficas. Eles podem ser desenvolvidos de forma genérica, bem como podem ser utilizados para caracterizar uma bacia hidrográfica específica. Em síntese, os indicadores de pressão são relacionados a eventos, processos, produtos ou resíduos verificados mediante determinadas circunstâncias em que são desenvolvidos os sistemas de produção agrícolas, quais podem provocar alterações nas características do ambiente natural, e consequentemente, se converterem em impactos para o meio ambiente e para o bem-estar humano.

2.3 Características dos sistemas de produção agrícolas familiares

A agricultura familiar se destaca nas análises do meio rural brasileiro pela representatividade e conhecida responsabilidade que exerce no processo de desenvolvimento. No Brasil, os mais de 4,3 milhões de estabelecimentos agrícolas familiares (85% do total de estabelecimentos do país), com apenas 24% da área, produzem um valor bruto por área/ano 1,9 vez maior que a agricultura considerada não familiar (IBGE, 2006).

O estilo próprio em relação as estratégias adotadas para a reprodução social e a eficiência técnica da agricultura familiar, lhe proporcionou destaque nos debates e teorias sobre a problemática do mundo rural. Diversos pesquisadores internacionais e também estudiosos brasileiros têm se empenhado para compreender as particularidades da agricultura familiar e, inevitavelmente, a consideram protagonista, parte da agenda política e estratégica para o desenvolvimento rural (SACCO DOS ANJOS, 2003; SCHNEIDER, 2006). Os enfoques abordados são os mais diversos, englobam desde temáticas epistemológicas a modelos de desenvolvimento agrário, econômico e social.

A agricultura familiar é definida como uma forma de organização social, econômica e cultural que combina diferentes fatores produtivos em uma dinâmica particular para desenvolver as atividades agropecuárias. Embora seja caracterizada pelo protagonismo da família na gestão e no trabalho, este segmento apresenta diferentes gradientes de renda, área do estabelecimento, condições de acesso à terra e grau de especialização ou diversificação. Mais que um sistema organizacional de produção, a agricultura familiar é um modo de vida que vem se adaptando aos padrões de desenvolvimento da agricultura moderna (TROIAN et al., 2020).

O objetivo deste tópico não trata de discutir o conceito epistêmico da terminologia ou a relevância que este segmento possui na agenda de desenvolvimento brasileiro, pois, embora esse conteúdo não tenha se esgotado, já foi devidamente abordado. Entretanto, considera-se a existência de hiatos teórico-metodológicos alusivos aos princípios que regem as decisões dos agricultores na gestão dos estabelecimentos de produção à luz das externalidades agrícolas. Diante da problemática, a presente seção visa realizar uma revisão sobre a estrutura

organizacional dos estabelecimentos familiares, com um olhar para a racionalidade⁵ dos processos administrativos e das estratégias de gestão dos sistemas de produção agrícolas. Supostamente, as motivações que orientam os agricultores e a lógica estabelecida na condução dos seus sistemas produtivos são fatores condicionantes para a implementação de modelos de agricultura conservacionistas.

As implicações teóricas e práticas decorrentes dos procedimentos gerenciais das organizações rurais, em geral, ou das diferentes unidades de produção agrícola familiar, em particular, motivam o surgimento e a evolução de disciplinas voltadas para as atividades administrativas. Lima et al. (2001) argumentam que no Brasil estas disciplinas orientadas para o gerenciamento dos estabelecimentos agrícolas possuem raízes em duas abordagens particulares: econômica e administrativa. A abordagem econômica considera a organização agrícola como sinônimo de uma empresa capitalista, que visa ao uso eficiente dos recursos a fim de atingir os melhores resultados. Entre as temáticas, destaca-se o papel competitivo que a agricultura exerce na economia diante de sua intensificação mercadológica, tanto para aquisição de matéria-prima industrial, quanto para o fornecimento de bens para os setores secundários e terciários.

Com o mesmo propósito de avaliar a viabilidade econômica das atividades agropecuárias, a abordagem administrativa se preocupa também com aspectos inerentes às relações da organização das unidades de produção agropecuárias e o meio ambiente. Este tratamento, embora supere a perspectiva economicista e setorial da abordagem anterior, ainda concebe preceitos administrativos semelhantes aos das empresas industriais e comerciais (LIMA et al., 2001).

Sendo assim, ambas as abordagens carecem de aprofundamentos analíticos, sobretudo, para compreender e considerar as particularidades socioeconômicas das organizações rurais familiares. A complexidade da lógica familiar de exploração dos meios de produção e a construção das relações sociais construídas por esta categoria são temas que continuam promissores na área de administração rural.

Há distintas maneiras de interpretar o comportamento do agricultor familiar. Para o pensamento marxista, qual exerceu importante papel na tentativa de interpretar a natureza e conteúdo das transformações das estruturas agrárias a partir da expansão do modo de produção capitalista, o camponês é objeto passivo,

⁵ Capacidade humana de exercer razão, que por sua vez, é uma das funções que permite o indivíduo emitir julgamentos éticos sobre sua conduta pessoal e social. Ver Silveira (2008).

subordinado à lógica do capital. Sob esta concepção, Lênin (1985) concentrou esforços para demonstrar as contradições de classes no meio rural da Rússia, resultado do processo de diferenciação social do camponês. Segundo ele, os camponeses enfrentariam um processo de concentração e centralização do capital, assim como em outras esferas produtivas e sociais. A análise de Kautsky (1980) sobre a questão agrária transcorre as relações entre agricultura e a indústria. Segundo esse autor, a evolução da indústria modifica significativamente o caráter da produção agrícola e transforma a existência do camponês. A transformação se refere ao afastamento do camponês da indústria doméstica e aproximação da indústria comercial. Assim Kautsky procura demonstrar tendências à industrialização da agricultura e vantagens técnicas da economia de escala. Significa que, para os marxistas de um modo geral, o campesinato não teria leis próprias de funcionamento e atenderia aos princípios globais da sociedade capitalista.

Segundo Alencar e Moura Filho (1988), o julgamento de que as unidades de produção são explorações de economias tipicamente capitalistas e que atendem aos princípios administrativos universais norteou o processo de modernização da agricultura e também influenciou a natureza da administração rural como disciplina científica. Por muito tempo, tratou-se a agricultura familiar como uma categorização homogeneizante, que se orienta pelos mesmos padrões da racionalidade empresarial dirigida pela exclusiva maximização de lucro, acomodada em ambientes de perfeita competição (modelo schultziano).

É inegável a contribuição da ortodoxia shultziniana ao atribuir ao Estado o papel de fomentar o desenvolvimento da agricultura tradicional (ABRAMOVAY, 1992), contudo, ela não leva em conta fatores como a identidade e o comportamento do agricultor tradicional. As unidades familiares de produção agrícola se distinguem de empresas estritamente capitalistas, pois mesmo diante mercados de concorrência perfeita, o gosto pela determinação dos cultivos, os diferentes graus de aversão ao trabalho, o acesso diferenciado aos suprimentos gratuitos e a outros fatores por vezes escassos (como por exemplo, o esterco) tornam as decisões dos agricultores singulares (LIPTON, 1968).

As decisões sobre a produção agrícola e o consumo de bens e serviços nos estabelecimentos familiares fogem às leis universais de mercado. Complementarmente, Jerzy Tepicht (1973), citado por Abramovay (1992), identificou um atributo decisivo para o comportamento e a lógica funcional da produção

camponesa: a possibilidade de ofertar produtos a preços inferiores quando comparada à empresa capitalista. Essa diferença é possível perante o fato de a mão de obra não ser remunerada, por isso a família não necessita de uma taxa média de lucro para manter-se na atividade.

A presença das chamadas forças “marginais” ou “intransferíveis” no interior da família, ou seja, trabalho em tempo parcial de mulheres, crianças e idosos, também contribui para ofertar produtos a preços inferiores no mercado, quando for o caso (ABRAMOVAY, 1992, p. 74). Além disso, agricultores com recursos semelhantes podem adotar algoritmos de subsistência diferentes, especialmente com distintos gostos, preferências de lazer e aversões ao risco. Dessa forma, suas estratégias estão mais relacionadas à sobrevivência e à reprodução da família do que à maximização de lucro.

Por outro lado, o agricultor não é um tolo vivendo em ambiente estático, ele aprende a otimizar, dados seus valores e restrições, e vive eficientemente de forma a “maximizar oportunidades” (LIPTON, 1968). Não obstante, uma importante contribuição para interpretar o comportamento do agricultor camponês é apresentada pela teoria chayanoviana, ao definir que a economia camponesa não é tipicamente capitalista. Chayanov (1974) desenvolve a teoria do funcionamento da economia doméstica camponesa com base na equação de equilíbrio que ocorre entre as necessidades de consumo da família e a penosidade do trabalho. Para o autor, a quantidade de energia investida no trabalho da família tem correlação com o objetivo de satisfazer as necessidades dela. Deste modo, a racionalidade e a conduta do camponês⁶ são explicadas pelo seu comportamento endógeno.

Além disso, a família é formada por um todo “indivisível”: os papéis individuais, assim como as decisões, são determinados em função da unidade social básica em que se inserem. Não há departamentalização, ao menos formalizada, nem especialização derivada da divisão social do trabalho. A família constitui uma totalidade tanto para planejar e executar tarefas como para usufruir da renda composta por um caixa único (ABRAMOVAY, 1992, p. 61).

⁶ Embora reconhecida a diferenciação em torno do gênero camponês e agricultor familiar, em que o primeiro é associado a forma específica de funcionamento reconhecida por “tradicional”, enquanto o agricultor familiar vincula-se a um novo “personagem” na atividade agrícola e no meio rural, capaz de responder às exigências da sociedade e dos mercados modernos, a racionalidade e condutas são correspondentes. Para detalhes ver Woortmann (1990) e Wanderley (2004).

Somam-se a este modo de produzir e viver os traços fundamentais das condições sociais e históricas em que os camponeses se inserem. O economista Frank Ellis (1993) define o caráter da economia camponesa com base nas relações sociais estabelecidas no interior dessas sociedades. As sociedades camponesas se desenvolvem num ambiente de operações mercantis com esfera não estritamente econômica, e é neste ambiente socioeconômico que a família aprimora uma “integração parcial a mercados imperfeitos”. Os mercados imperfeitos ou incompletos são definidos por vínculos pessoais entre os agentes. A integração parcial aos mercados representa a possibilidade de ajustes entre partes da produção agrícola comercializada e consumida na unidade familiar (ELLIS, 1993).

A fusão da família e a comunidade dão sentido à atividade camponesa, ou seja, mais que um tipo econômico ou uma profissão, a agricultura nesse ambiente é um modo de vida. Desta forma, as decisões referentes à reprodução da família se adequam às características básicas do ambiente socioeconômico e cultural em que estão inseridas, além de se relacionarem com os arranjos da natureza pelos ciclos produtivos e reprodutivos. Logo, o ambiente é dinâmico e sistêmico: na decisão do agricultor familiar estão presentes componentes do ambiente natural, social, econômico, estrutural, de tradição e de aprendizado, entre outros.

As famílias orientadas pela tradição, por exemplo, terão dificuldades para estabelecer mudanças abruptas nos processos produtivos. As condições naturais (solo, clima e relevo), assim com a infraestrutura de um estabelecimento agrícola (equipamentos e instalações), também exercem papel importante na estratégia de reprodução familiar, assim como no processo decisório com relação ao que produzir, como e quando comercializar (CONTINI et al., 1984).

Diante da variabilidade de situações, um dos grandes desafios da atividade administrativa voltada para a agricultura é refletir sobre as distintas formas com que os agricultores e suas famílias orientam suas decisões para adquirir os meios necessários para a reprodução social. Lima et al. (2001), com base nos pressupostos da abordagem francesa de exploração global da área agrícola (*l'approche globale de l'exploitation agricole*) – que visava fornecer ferramentas aos agricultores para auxiliá-los em suas decisões –, abordam a problemática administrativa na agricultura buscando reconhecer e analisar as particularidades organizacionais das unidades de produção agrícolas familiares e a racionalidade administrativa deste segmento.

O referencial, com seus métodos e conteúdo, sustenta-se na realização de análises e diagnósticos globais com o intento de detalhar e identificar os problemas mais elementares e as potencialidades inerentes às unidades de produção agrícola. Sob esta perspectiva, as decisões são formuladas em consequência das necessidades e das expectativas dos agricultores. Lima et al. (2001) apresentam o retrato da organização do subsistema decisional (Figura 5) e ilustram um modelo de funcionamento do processo de decisão nas unidades familiares de produção agrícola (Figura 6).

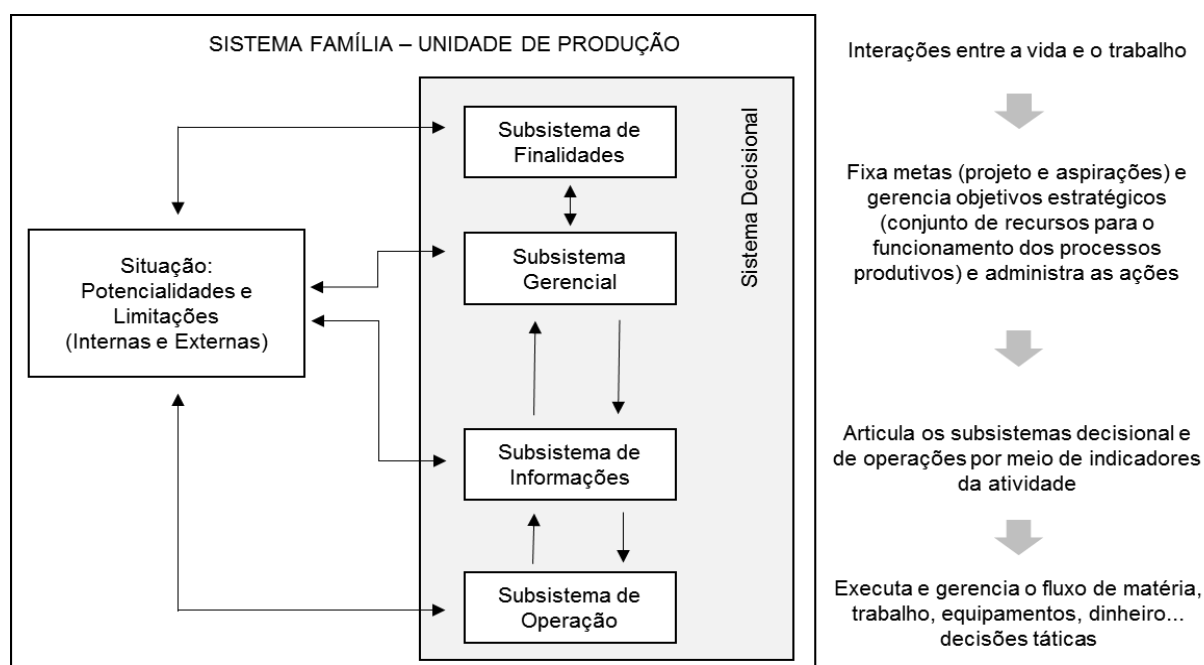


Figura 5 – Sistema decisional na unidade agrícola familiar

Fonte: Adaptado de Bonneville et al. (1990) citado por Lima et al. (2001).

As unidades familiares de produção agrícola são concebidas por uma espécie de combinação entre sistema(s) de cultivo e sistema(s) de criação e um conjunto de fatores de produção, entre os quais se destaca a terra, força de trabalho, conhecimento técnico e tático, equipamentos e capital. A família atua no núcleo de todo o processo e constitui um sistema sedimentado por relações de interdependência junto às atividades agrícolas. A família e as atividades agrícolas estabelecem interações entre o modo de vida e o trabalho. Logo, agricultores familiares almejam

reproduzir socialmente a família enquanto que desenvolvem tecnicamente a unidade produtiva (SACCO DOS ANJOS, 2003; SCHNEIDER, 2006).

O sistema família/unidade produtiva é composto por elementos interdependentes, normalmente organizados e estruturados, que não respondem a critérios simples e uniformes de otimização. Entre eles estão: os insumos, que são os produtos, serviços e subprodutos que são consumidos, estocados, transformados ou vendidos; os meios de produção, que são os animais, as instalações, as máquinas e equipamentos, o capital, a força de trabalho físico e intelectual; o ambiente físico, social, político e cultural; e a agência, associada à capacidade humana de conhecer e atuar perante a coletividade. A família gerencia os fluxos internos de entrada e saída dos elementos (representados pelas setas na Figura 5) de modo a determinar as reservas e regular a estabilidade do sistema para garantir sua reprodução (LIMA et al., 2001).

O modelo de processo decisório da agricultura familiar desenvolvido por Bonneville et al. (1990) e apresentado por Lima et al. (2001) considera um “subsistema decisional” composto por dois subsistemas: um de “finalidades” e outro “gerencial”. Este modelo originalmente separa os “subsistemas de informações” e “operações” do “subsistema decisional”. Contudo, compreende-se que tanto as operações, sejam rotineiras ou táticas, quanto às informações compiladas formal ou informalmente condicionam e limitam a racionalidade dos agricultores.

O “subsistema de operações” é responsável pela execução e gestão das tarefas produtivas propriamente ditas. Nele, o fluxo de matéria, trabalho, equipamentos e dinheiro são gerenciados por decisões rotineiras e muitas vezes repetitivas, imediatas e pontuais. O “subsistema de informações” tem a função de articular os subsistemas gerencial e operacional. Nele são produzidos os indicadores das atividades que subsidiam o controle dos processos produtivos, tanto em seu interior quanto no “subsistema de finalidades”, para endossar o controle do processo gerencial sobre as alternativas e programas fixados neste subsistema. O “subsistema de finalidades” define as estratégias e fixa as metas (projetos e aspirações), que são administradas pelo “subsistema gerencial”. O “subsistema gerencial” é classificado como o nível intermediário entre o subsistema de finalidade e o “subsistema de operações”, nele define-se o campo das possibilidades, o conjunto de recursos necessários para o funcionamento e a condução dos processos produtivos (LIMA et al., 2001).

Em resumo, as decisões são orientadas por objetivos estratégicos, gerenciadas de acordo com as possibilidades operacionais de implementação destes objetivos e, condicionadas pelas potencialidades e limitações do sistema família/unidade produtiva. Isso significa dizer que o sistema caracterizado pela unidade de produção familiar é aberto e mantém relações com o meio ambiente físico, socioeconômico e cultural. As decisões relativas às estratégias, à produção ou ao processo produtivo não ocorrem de forma direta e sequencial. Elas são submetidas às aleatoriedades bioclimáticas e à evolução socioeconômica, técnica e legal, que redefinem as possibilidades de ação ao longo do tempo (LIMA et al., 2001).

Conforme pode ser observado na Figura 6, a racionalidade das decisões resulta de conflitos e combinações que surgem dos objetivos coletivos da família, daqueles fixados individualmente pelo condutor de cada subsistema de operações (campo localizado à direita) ou de suas possibilidades de realização (campo localizado à esquerda). O projeto, embora determinado pelo gosto, pelas preferências e pelo sistema de valores do agricultor, depende, sobretudo da situação condicionante a que o agricultor está submetido no momento da decisão.

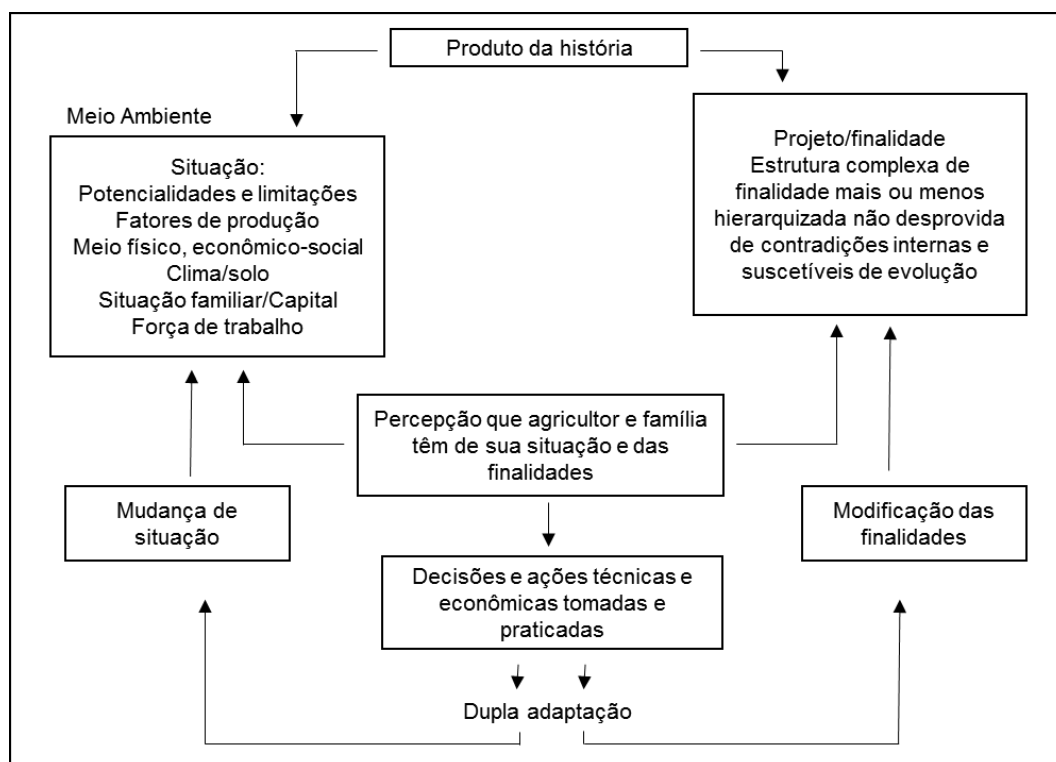


Figura 6 – Modelo de processo decisório na unidade agrícola familiar
Fonte: Brossier et al. (1990) citado por Lima et al. (2001).

A situação que condiciona o agricultor e sua família contém elementos que podem potencializar ou limitar uma suposta ação. Tal situação é percebida pelo agricultor no presente; contudo, é produto da evolução histórica, do tipo de relação estabelecida internamente na unidade de produção agrícola e da inserção desta no ambiente (isso inclui variáveis tecnológicas, econômicas, sociais, ecológicas, legais e políticas).

Os projetos do agente, no caso, os projetos fixados na unidade de produção agrícola familiar, entram em confronto com o contexto ao qual a unidade de produção está submetida, assim as possibilidades de realização destes objetivos sofrem uma dupla adaptação, se ajustando as finalidades estipuladas pela família e as possibilidades de realização dos projetos. Este ciclo é dinâmico: as adaptações podem ocorrer em diferentes momentos, de forma a explorar potencialidades e limites existentes. O processo que orienta as decisões dos agricultores e suas famílias sobre a adoção de práticas e técnicas conservacionistas, não é diferente, deriva da confluência entre os objetivos estabelecidos para a reprodução econômica e social da unidade de produção e o conjunto de elementos disponíveis, tanto internos quanto externos (ambiente físico, socioeconômico e cultural)⁷.

Todavia, quais seriam os princípios associados aos processos decisórios dos agricultores que explicam a adoção (ou a não adoção) de práticas e técnicas conservacionistas na agricultura? Segundo Prokopy, Floress, Klotthor-Weinkauff (2008), as decisões são influenciadas mais fortemente pelas variáveis estruturais – como tamanho da propriedade, fonte de renda, especialidade da atividade agrícola e participação em programas do governo – do que pelas variáveis pessoais, como a consciência sobre os problemas ambientais.

Há estudos que têm examinado a relação entre a adoção de práticas conservacionistas e as variáveis discretas do perfil do agricultor e dos estabelecimentos rurais, como idade, escolaridade, posse da terra e tamanho do estabelecimento. Algumas das pesquisas enfatizam mais as atitudes e motivações dos agricultores (LYNNE; SHONKWILER; ROLA, 1988; RYAN; ERICKSON; YOUNG, 2003); outras destacam diferentes variáveis sociais, econômicas e estruturais (TOSAKANA et al., 2010; NAPIER; TUCKER; MCCARTER, 2000; LEMKE et al., 2010), no entanto, os autores concordam que existem múltiplos fatores impactando a

⁷ Também faz parte do ambiente: atores e instituições as quais mantêm relações de troca, solidariedade e conflito, denominado de sistema de relações.

propagação e a adoção de práticas conservacionistas por parte dos agricultores familiares.

Em particular, apresentam-se os resultados do estudo realizado por Daloglua et al. (2014) por estarem diretamente relacionados com a problemática deste trabalho. Os autores analisam quatro características que podem influenciar os agricultores na tomada de decisão sobre a prática de conservação da água, a saber: os arranjos de posse da terra, o tamanho da propriedade, a fonte de renda e as redes de informação. A primeira característica indica que a extensão da propriedade e o controle das terras agrícolas podem afetar diretamente a adoção de práticas menos nocivas ao meio ambiente. O menor tamanho da propriedade é positivamente correlacionado com a adoção de práticas conservacionistas.

A renda do agricultor é outra característica capaz de afetar a grande parte das decisões, incluindo aquelas relativas à adoção de práticas de conservacionistas, uma vez que elas podem exigir investimento financeiro e reduzir a rentabilidade no curto prazo. Outra contribuição importante se refere ao rendimento gerado por diferentes fontes (agrícolas e não agrícolas). Para os autores, as fontes de renda fora da agricultura são atraentes, ao passo que os agricultores que dependem exclusivamente da renda agrícola podem exprimir maior pressão nos recursos naturais para maximizar recursos no curto prazo (DALOGLUA et al., 2014).

Finalmente, para Daloglua et al. (2014), a informação é considerada crucial para o processo de tomada decisão sobre práticas de conservação do meio ambiente. Além do conhecimento existente, contatos pessoais influenciam o processo de adoção. Isso significa que as redes de atores sociais são cruciais no processo de comunicação, pois proporcionam um ambiente para a transmissão de conhecimentos, experiência e tecnologia. Exercício que necessitaria ser fomentado por meio de programas de extensão rural.

É importante ressaltar que as características estruturais, culturais e psicológicas dos agricultores diferem e, essa heterogeneidade, se reflete nos padrões espaciais e temporais das decisões (XAVIER et al., 2012). Muitas vezes elas são motivadas pela racionalidade do sistema econômico, contudo, são coerentes com outros objetivos, bom senso, conhecimento empírico acumulado e o bem-estar dos membros da família (LIMA et al., 2001). Outro aspecto relevante é o tamanho da família e seu ciclo de desenvolvimento demográfico, trajetória que engloba a composição – decomposição – recomposição das unidades produtivas (CHAYANOV,

1974). As variações na força de trabalho disponível e na demanda imposta pelo consumo em cada grupo doméstico determinarão parte das decisões familiares.

Em síntese, os múltiplos perfis de agricultores podem ser atraídos a desenvolver diferentes práticas de conservação e podem ser afetados por mudanças nas condições ambientais, econômicas e sociais, incluindo interações com outros agricultores. Através da revisão bibliográfica é possível visualizar alguns caminhos e ressaltar a importância de reconhecer as particularidades das unidades familiares de produção agrícola, os objetivos da família e o estágio do ciclo demográfico em que a família se encontra. Essas são algumas das condições que subsidiam o processo de tomada de decisão, limitando ou potencializando comportamentos em favor da conservação ambiental.

É essencial interpretar este cenário e conhecer as circunstâncias socioeconômicas que influenciam as decisões dos agricultores para verificar alternativas voltadas para a manutenção dos recursos hídricos e implementação de políticas específicas para o setor. Portanto, a contribuição da presente pesquisa converge para a construção de um debate sobre uso e preservação dos recursos naturais, mais especificamente sobre a preservação da água dentro da agenda temática do desenvolvimento rural sustentável.

3 REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO

Este capítulo tem o propósito de apresentar os princípios elementares das metodologias multicritério enquanto ferramentas que tratam da multidimensionalidade e subjetividade associada aos processos de apoio à decisão para elaborar um modelo multicritério de “auxílio à avaliação”. Assim, ele está organizado em duas partes: uma que aborda os fundamentos teóricos das metodologias multicritérios, e outra, os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento deste estudo.

3.1 Metodologia multicritério: caminhos para uma análise sistêmica

O ambiente em que está inserida grande parte dos problemas que envolvem a tomada de decisões é complexo. De um lado, há múltiplos objetivos e pontos de vista e, de outro, existem dificuldades para eleger e avaliar acertadamente as consequências das alternativas disponíveis. Geralmente neste ambiente se encontram informações incompletas e as avaliações são imprecisas, a ponto de prejudicar a racionalidade na tomada de decisões (SIMON, 1979).

Uma alternativa que se apresenta para minimizar incertezas nos processos decisórios é o uso de metodologias multicritérios de apoio à decisão. Elas partem da lógica multidimensional dos problemas e procuram formas de considerar a contribuição de cada uma das dimensões, seja com o objetivo de ordenar, classificar ou eleger os melhores cursos de ação em cada contexto (BANA E COSTA; PIRLOT, 1997).

Os métodos multicritérios surgiram na década de 1970 e revolucionaram o campo da teoria da decisão (ROMERO, 1993), ao assegurar soluções eficientes para

problemas com diversos objetivos. Segundo Romero (1993), um trabalho crucial para a consolidação do enfoque multicritério foi desenvolvido por Charnes, Cooper e Ferguson (1955), por apresentarem as bases conceituais da programação por metas.

Na literatura internacional, diversas nomenclaturas fazem referência às escolas de pensamento no âmbito das metodologias multicritério. Foge do escopo desta pesquisa uma análise abrangente de cada uma delas; no entanto, as obras de Romero (1993, 1996); Doumpos e Zopounidis (2002), Ehrgott, Figueira e Greco (2010) e Greco, Figueira e Ehrgott (2016) constituem um bom ponto de partida para entender a relação entre esta família de métodos e a Ciência da Decisão (*Decision Science*).

No campo da análise multicritério (*MultiCriteria Analysis* ou MCA), destacam-se as linhas da *Multi-Criteria Decision Analysis* e da *MultiCriteria Decision Aid*, cujas diferenças estão no paradigma pelo qual são interpretados os postulados básicos derivados da teoria da preferência. Embora ambas utilizem a abreviatura MCDA, os métodos de *Multi-Criteria Decision Analysis* se preocupam em otimizar (maximizar benefícios ou minimizar custos) por meio de modelo matemático sob determinado critério, enquanto o *MultiCriteria Decision Aid* procura auxiliar a estruturação de modelos decisoriais com base em vários critérios, geralmente conflitantes, construídos sob as convicções e valores dos atores envolvidos (Roy 1996; REICHERT, 2012) – assentado no paradigma construtivista.

A *MultiCriteria Decision Analysis* nasce e se consolida na comunidade científica na década de 1960, fruto da fronteira entre duas grandes áreas do conhecimento, a saber: a Ciência Administrativa e a Pesquisa Operacional (ROY, 1993). O *MultiCriteria Decision Aid*, por outro lado, apesar de os métodos ELECTRE terem surgido na década de 1960 e serem um marco dentro desta escola, só se consolida em meados da década de 1970, com a organização da primeira conferência do *European Working Group on Multicriteria Aid for Decisions*, ocorrida em Bruxelas em 1975 (ROY; VANDERPOOTEN, 1996).

Operacionalmente os métodos multicritérios de análise ou apoio são formas de modelar situações complexas, podendo englobar tanto fatores qualitativos (fatores ambientais, sociais e organizacionais) quanto fatores quantitativos (custos envolvidos, variáveis físicas, entre outros). Possuem fundamentações psicológica, que considera o comportamento dos agentes de decisão em eventos de risco, imprecisão ou até na falta de discernimento (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001).

Os métodos multicritérios partem de uma racionalidade subjacente às teorias dos conjuntos difusos, que possibilitam generalizar conceitos e propriedades para modelar e processar as informações preferenciais dos decisores. Em suma, eles comparam preferências mediante um conjunto de alternativas, submetidas a uma série de critérios. As relações de preferências entre as alternativas são classificadas em três propriedades: “preferência estrita”, “indiferença” e “incomparabilidade”, esta última introduzida por Bernad Roy em 1996.

A Figura 7 apresenta graficamente as relações de preferência. Se a alternativa **a** é preferível à alternativa **b** (**a P b**), então o valor de **a** no critério **g** tem de ser maior que o valor de **b** neste mesmo critério. Se **c** é indiferente a **d** (**c I d**), então o valor de **c**, no critério **g**, deve ser igual ao valor de **d**, no mesmo critério. E, por fim, caso não seja possível comparar duas alternativas, considera-se que há uma relação de incomparabilidade (**e R f**) (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001).

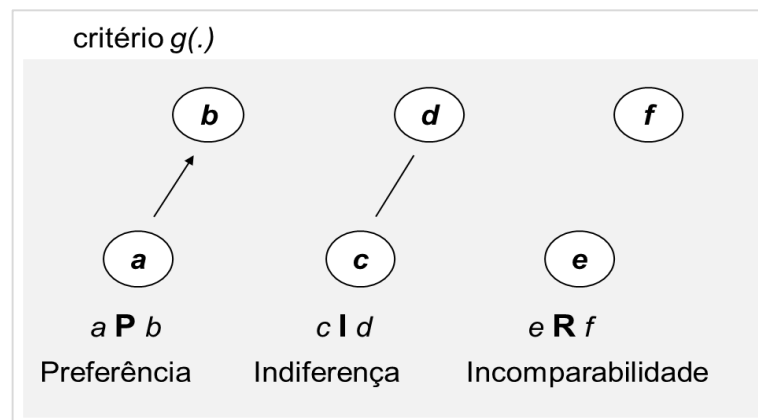


Figura 7 – Representação gráfica da estrutura de preferências
Fonte: Adaptado de Vincke, 1992.

As relações de preferência podem ocorrer na “maximização” ou na “minimização”. Para tanto, é definido o critério que mede o grau de preferência entre as alternativas – denominado de **g(.)**. A “maximização” de uma alternativa ocorre desta forma: quando a alternativa fornecer mais unidades de **g** será mais bem avaliada pelo centro decisor⁸. Assim, **a** é preferível a **b**; então o valor de **a** no critério **g** deve ser superior ao valor de **b** no mesmo critério. Por exemplo, hipoteticamente, ao avaliar

⁸ Um indivíduo ou um grupo de indivíduos (ROMERO, 1996).

o desempenho de uma unidade agrícola familiar que produz maçãs, em que um dos critérios de avaliação seja a renda; quanto maior for o preço de venda por unidade do produto, mais essa alternativa será preferível, conforme demonstrado na sentença lógica abaixo.

$$a P b \leftrightarrow g(a) > g(b) \quad (1)$$

Por outro lado, as relações de preferência de “minimização” ocorrem quando a alternativa que apresentar menos unidades de **g** for a mais bem avaliada pelo centro decisor. Se **a** é preferível a **b**, então o valor de **a** no critério **g** deve ser inferior ao valor de **b** no mesmo critério. Neste segundo caso, usando o exemplo anterior da produção de maçãs, quanto menor o custo dos insumos para produzir uma unidade do produto mais essa alternativa será preferível.

$$a P b \leftrightarrow g(a) < g(b) \quad (2)$$

Por sua vez, as relações de incomparabilidade, como anuncia a denominação, ocorrem nos casos que não seja possível comparar as alternativas, é representada graficamente pela letra (R). Algumas causas da incomparabilidade são escassez ou ambiguidades nas informações.

Cabe aqui um pequeno esforço para exprimir o significado de alternativa e de critérios. Em resumo, alternativas são sucessões de possibilidades pela qual se fazem escolhas, já um critério – **g(.)** – neste contexto, é considerado uma função matemática que mede o desempenho de um conjunto “A” de alternativas em várias dimensões de um mesmo ponto de vista. Em síntese, o critério é uma expressão quantitativa ou qualitativa que constitui a base da avaliação das alternativas (BOUYSSOU, 1990).

Retornando às relações de preferências e indiferenças, cabe destacar que os métodos multicritérios apresentam a propriedade da transitividade (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001). A transitividade é uma espécie de coerência que ocorre entre as comparações de mais de duas alternativas, de tal forma que um elemento do conjunto **a** está relacionado com um elemento do conjunto **b**; e **b** relacionado a um elemento do conjunto **c**; logo, **a** e **c** estão relacionados. De forma simbólica tem-se:

$$(a P b) \wedge (b P c) \rightarrow (a P c) \quad (3)$$

ou

$$(a I b) \wedge (b I c) \rightarrow (a I c) \quad (4)$$

Contudo, por vezes são observadas algumas exceções em que se admitem julgamentos intransitivos. Essas exceções podem surgir devido à diferentes razões, as principais são em razão da variabilidade momentâneas dos decisores no processo de avaliação e devido a efeitos experimentais ou de julgamentos imperfeitos (LINARES, 2009). A seguir, Rouval (2005) apresenta um exemplo de intransitividade, quando se deseja eleger uma alternativa, entre três possíveis, mediante dois critérios preestabelecidos:

Considere um recrutador usando as seguintes regras para estabelecer a preferência entre dois candidatos: i) preferência de um candidato para outro se ele ou ela tiver pelo menos um ano e meio de experiência a mais do que o outro, enquanto o seu pedido de salário não superior a 150 K€/anual. ii) se ambos os candidatos tiverem menos de dois anos de experiência, então prefere aquele com a menor reivindicação salarial. Essas regras parecem razoáveis. No entanto, eles levam a preferência intransitiva ao comparar os três candidatos seguintes: candidato A) 5 anos de experiência e salário de 135K €/ano; candidato B) 6 anos de experiência e uma reivindicação salarial de 140K €/ano, Candidato C) 7 anos de experiência e salário de 145K €/ano. Neste caso, o candidato 1 é preferido ao candidato 2 (apenas um ano de experiência de diferença e menor salário para o candidato 1) quem ele é preferido ao candidato 3, mas o candidato 3 é preferido ao candidato 1 (com dois anos de diferença na experiência). Existe, portanto, um "loop" que é devido à presença de limiares de indiferença em ambos os critérios [...] Esta propriedade está em contradição com a definição da transitividade das preferências definidas acima (ROUSVAL, 2005, p. 88).

Há vários esforços para acomodar as intransitividades na teoria de escolha racional. Talvez o caminho mais promissor seja o descritivo, ou seja, admitir a intransitividade como tal e explorar suas explicações (LINARES, 2009). Quer dizer, caso ocorra intransitividades deve-se buscar compreender as razões de tal fenômeno e considerar que as preferências não podem ser processadas por um modelo que execute a agregação com critério único de síntese, pois nestes casos não são admitidas intransitividades na estruturação do modelo (ROUSVAL, 2005).

Critério único de síntese não se refere a análise monocritério. Os métodos multicritérios, diferentemente dos monocritérios, em que as alternativas são avaliadas

com base em um critério imediatamente único, visam avaliar as alternativas apoiando-se em uma família de critérios. Deste modo, a metodologia multicritério possibilita classificar e ordenar alternativas por meio da estruturação hierárquica de critérios. As alternativas são avaliadas por julgamentos de valor expressos tanto em escala cardinal como verbal (MATZENAUER, 2003).

Ensslin, Montibeller Neto e Noronha (2001, p. 51) usam um caso hipotético (compra de um carro a partir de quatro modelos – **a**, **b**, **c** e **d**) para comparar graficamente como se estabelecem as relações de preferências nos métodos mono e multicritério (Figura 8). As setas em sentidos opostos denotam uma situação de incomparabilidade quando se levam em conta os critérios custo e potência simultaneamente. No exemplo apresentado através da Figura 8, os carros **c** e **d** denotam esta situação. O mesmo ocorre com os pares de carros **a-b**; **b-c**; **a-c** e **a-d**. Quanto ao par de carros **b-d**, os modelos possuem mesmo custo e a potência é superior no carro **b**, logo, neste exemplo **b P d**.

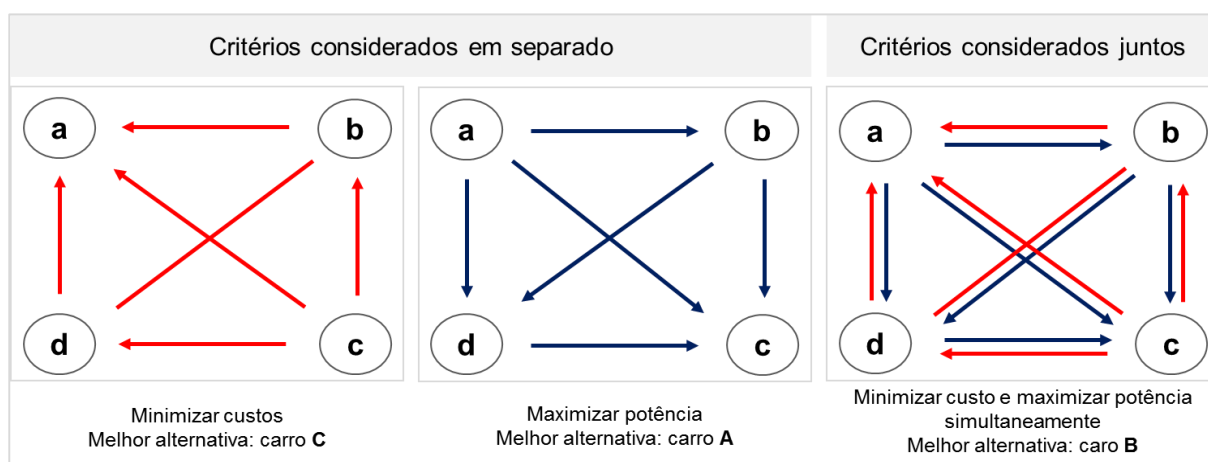


Figura 8 – Representação gráfica das relações de dominância nos métodos mono e multicritério
Fonte: Adaptado de Ensslin, Montibeller Neto e Noronha (2001).

Segundo Romero (1993), a análise dos problemas de decisão baseada na abordagem de múltiplos critérios constitui talvez a área de desenvolvimento mais ativa nos últimos anos no domínio das ciências da decisão. Nesse sentido, é possível observar na literatura diversos mecanismos utilizados para abordar os problemas multiobjetivos. Jared Cohon e David Marks (1975), por exemplo, revisaram e avaliaram o potencial de aplicação das técnicas de programação multiobjetivo para a

gestão dos recursos hídricos. Segundo eles, os métodos multicritérios podem ser classificados de acordo com a natureza do problema e com a forma em que são utilizadas as preferências dos decisores. Sendo assim, podem ser categorizados em: i) variáveis contínuas, quando se trata de um número infinito de alternativas; e ii) discretas, quando há um número contável entre dois valores. Além desta classificação os métodos podem ser participativos e não participativos.

Conforme Romero (1993), há algumas técnicas que não consideram as preferências do centro decisor, portanto não são participativas, se baseiam somente nas restrições físicas do problema. Os principais são: o Método das Ponderações (ZADEH, 1963) e das Restrições (MARGLIN, 1967); o Método Multiobjetivo Linear (PHILIP, 1972; Zeleny, 1973); e os Métodos dos Pesos e Método de Estimação do Conjunto Não Dominado – NISE (COHON, 1978).

Por outro lado, há soluções que resultam em situação ótima para o centro decisor, em que se faz necessário introduzir na estrutura do modelo multicritério as preferências dos participantes (centro decisor). Romero (1993) cita o Método STEM – Step Method (BENAYOUN et al., 1971); o Método ZW (ZIONTS; WALLENIUS, 1976); o Método da Programação de Compromisso (YU, 1973); e o Método da Programação por Metas (CHARNES e COOPER, 1961).

Adicionalmente aos métodos citados por Romero, Matzenauer (2003) e Zuffo (1998) incluíram os seguintes modelos que envolvem a preferência dos participantes: o Método *Elimination et Choix Trafuisant la Realité – ELECTRE* (ROY, 1968); o Método do Valor Substituto de Troca (HAIMES; HALL, 1974); o Método da Matriz de Prioridades ou AHP – *Analytic Hierarchy Process* (SAATY, 1977; 1980); a Programação por Metas Iterativas e Método de Negociação dos Valores Candidatos (COHON, 1978); o *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations – PROMÉTHÉE* (BRANS; VINCKE; MARESCHAL, 1986); o Método da Análise-Q (HIESSL et al., 1985) e o Método *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (MACBETH)* (BANA E COSTA; VANSNICK, 1995).

Outra classificação encontrada na literatura organiza os métodos multicritérios em três abordagens (ROY; VANDERPOOTEN, 1996) ou linhas de pesquisa (ROY, 1996): métodos interativos, relações de subordinação de síntese e critério único de síntese. A abordagem dos métodos interativos tem origem na Programação Multiobjetivo Linear. O *modus operandi* desta abordagem envolve a sequencialização de passos alternados entre fases de cálculo e fases de interação com os atores

(GARDINER; VANDERPOOTEN, 1997). O propósito do enfoque consiste em segregar do conjunto de soluções possíveis, um subconjunto, cujos elementos gozem de soluções eficientes ou *optimum de pareto*⁹. Para tanto, utiliza informações estritamente técnicas (objetivos, restrições, etc.), sem incorporar nenhuma informação sobre as preferências do centro decisor (ROMEIRO, 1993).

Na abordagem dos métodos iterativos, os objetivos são otimizados separadamente sob a forma $\text{Max } f(x)$ ou $\text{Min } f(x)$. Para determinar o desempenho global, procura-se otimizar simultaneamente mais de uma função objetivo. Segundo Gomes (2001), o problema deste método é a possibilidade de ele converter uma solução independente das preferências dos atores.

Seguindo, a abordagem da subordinação de síntese baseia-se numa relação de sobreclassificação entre as possíveis ações para a decisão. Uma alternativa **a** sobreclassifica outra alternativa, **b**, quando os atributos considerados pelo centro decisor na alternativa **a** são, ao menos, tão bons como aqueles na alternativa **b** (denotado pela letra S – **a S b**). A sobreclassificação é estabelecida com base nos conceitos de concordância e discordância. A primeira quantifica até que ponto, para um elevado número de atributos, a alternativa **a** é preferida em relação à **b**. Por outro lado, a discordância quantifica até que ponto não há atributo para o qual a alternativa **b** não seja melhor que a alternativa **a** (ROMEIRO, 1996).

Para tanto, é necessário que a concordância entre as alternativas **a** e **b** supere um limiar mínimo estabelecido e que, da mesma forma, a discordância entre as alternativas **a** e **b** não supere outro limiar preestabelecido. O conceito de limiares tem a função de subtrair os valores incertos, imprecisos ou indeterminados (ROY, 1989) sobre a ordem de preferências das alternativas, por meio de uma faixa de valores.

Entre os métodos utilizados na abordagem de subordinação de síntese, cita-se: o *ELECTRE*, o *PROMETHEE* e o *MACBETH*. Segundo Romeiro (1996), a principal vantagem da abordagem é que a subordinação não está necessariamente subjacente ao pressuposto de transitividade, como ocorre nos enfoques baseados na função de utilidade. Para Gomes (2001), esta abordagem emergiu como uma reflexão em relação à validade da compensação nos modelos multicritérios em situações de incomparabilidade.

⁹ Se refere ao conjunto formado por soluções viáveis que atendem às restrições de tal forma que não há outra solução viável que proporcione uma melhoria em um atributo sem produzir uma piora em pelo menos um dos outros atributos (ROMERO, 1993).

Finalmente, a abordagem de critério único de síntese parece mais satisfatória para abordar o problema de decisão multicritério discreto (ROMERO, 1993), que faz uso da teoria da utilidade multiatributo (*Multi-Attribute Utility Theory* - MAUT) (KEENEY e RAIFFA, 1976). Ela postula que o centro decisor deverá identificar uma função de utilidade marginal para cada critério. Após conhecidas as funções de utilidade individuais, um determinado critério é transformado em uma função de utilidade que quantifica a preferência dos decisores (MATZENAUER, 2003).

Segundo Gomes (2001), a estrutura de preferências do centro decisor é mais exigente e menos flexível que a apresentada na abordagem de subordinação. As situações aceitas são as de indiferença (I) e preferência (P), ambas supostamente transitivas (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001). A matriz do problema decisional sob a abordagem critério único de síntese é apresentada na Figura 9:

		Critérios				
		$w_1.g_1(.)$	$w_2.g_2(.)$	...	$w_n.g_n(.)$	$G(.)$
Alternativas	a_1	$w_1.g_1(a_1)$	...	...	...	$G(a_1)$
	a_2	$\vdots$	...		...	$\vdots$
	$\vdots$	$\vdots$		...	...	$\vdots$
	a_k	$w_1.g_1(a_k)$	...	...	$w_n.g_n(a_k)$	$G(a_k)$

Figura 9 – Matriz decisional de agregação aditiva

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Doumpos e Zopounidis (2002, p. 2).

Nota: a_1 , a_2 e a_k – Alternativas; w_1 , w_2 e w_n – Pesos atribuídos aos critérios; g_1 e g_n – critérios; $G(a_1)$ – Valor parcial da alternativa a nos n critérios; $G(a_k)$ – Valor global da k -ésima alternativa no n -ésimo critério; e $G(.)$ – Valor global do modelo.

Na prática, existem diferentes maneiras de construir a função de agregação em um critério único. Uma delas é pela agregação aditiva, neste caso, o valor global de cada alternativa – ou agregação intra-alternativa – resulta da soma ponderada dos critérios. Este valor é obtido para o n -ésimo critério na ação a_1 , conforme a equação:

$$V(a) = W_1.g_1(a) + W_2.g_2(a) + W_3.g_3(a) + \dots + W_n.g_n(a) \quad (5)$$

ou de forma genérica:

$$G(a) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot g_i(a) \quad (6)$$

Onde:

- $G(a)$ ou $V(a)$ = valor global da alternativa **a**
- $G(.)$ = valor global do modelo multicritério
- $g_1(a), g_2(a), \dots, g_n(a)$ = valor parcial da alternativa **a** nos critérios 1, 2, ..., n-ésimo
- $w_1, w_2, \dots, w_i$ = taxas de compensação dos critérios 1, 2, ..., i-ésimo
- n = número de alternativas do modelo

Assim, o valor global do modelo multicritério de todas as alternativas – $G(.)$ – é auferido pela soma dos coeficientes ponderados. Este valor é obtido para o i-ésimo critério na k-ésima alternativa, conforme a equação:

$$G(.) = \sum_{i=1}^n w_i g_i(.) \quad (7)$$

Nota-se que a avaliação global de uma ação é realizada mediante constantes de escalas, sendo que a hipótese subjacente a esse procedimento é a de que exista a possibilidade de compensação (substituição) entre os critérios (BEINAT, 1997). A perda de valor em determinado critério pode ser compensada pelo ganho em outro. As compensações são também chamadas de *trade-offs* ou pesos (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001).

É justamente na determinação das taxas de compensação que reside um dos aspectos críticos da abordagem de critério único de síntese. Percebe-se que sutis variações em seus valores podem resultar em respostas demasiadamente diferentes. Portanto, recomenda-se realizar uma análise de sensibilidade para testar a robustez do modelo, após estruturado (MATZENAUER, 2003).

As três abordagens apresentadas podem ser usadas no apoio à decisão. A opção elencada para reprodução na presente tese é a abordagem de critério único de síntese. Mesmo com limitações, ela é indicada para contextos decisoriais em que o número de alternativas seja reduzido (como previsto nesta pesquisa) e, por outra parte, permite realizar uma consistente interação com o centro decisor (ROMERO, 1993). A preferência por esta abordagem também se justifica pelo fato de ela permitir o uso de taxas de compensação para os critérios, sendo capaz de modelar

matematicamente os julgamentos humanos por meio da noção de compensação entre os critérios.

Com relação ao desenvolvimento do modelo, ele pode ser delimitado em três grandes tópicos, a saber: estruturação, avaliação e recomendações. Há trabalhos científicos que o organizam em quatro, como é o caso de Ensslin; Montibeller Neto; Noronha (2001, p. 37): identificação do contexto decisório; estruturação do problema; estruturação do modelo multicritério; e avaliação das ações potenciais, há também autores que optam por apresentar o processo de apoio à decisão em cinco tópicos (MATZENAUER, 2003, p. 218). Embora sejam identificadas pequenas variações na forma de apresentar o modelo, os trabalhos citados foram desenvolvidos de maneira bastante similar e preservam a lógica de estrutura, avaliar e recomendar.

Conforme Gomes (2001), o processo de apoio à decisão comporta um fluxo recursivo, que operacionalmente não manifesta uma delimitação clara entre um estágio e outro, permitindo retornar de qualquer ponto do fluxograma para alguma etapa anterior quando necessário. Nesta tese, optou-se por apresentar o processo na seguinte ordem: i) identificação do contexto e delimitação do problema; ii) estruturação do modelo multicritério e iii) avaliação das diferentes alternativas e dos resultados do modelo (Figura 10).

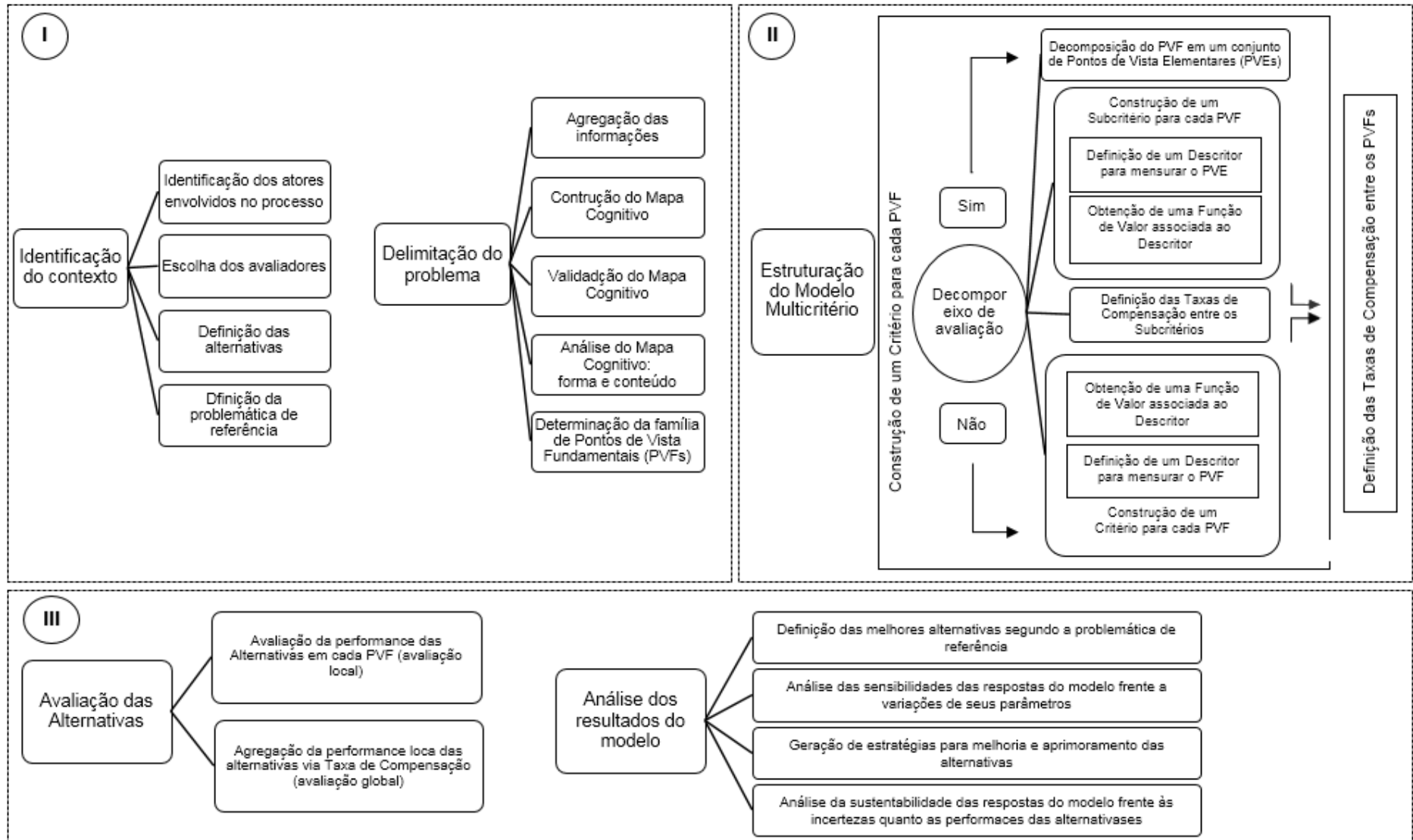


Figura 10 – Processo de construção de um modelo multicritério
 Fonte: Adaptado de Ensslin, Montibeller Neto e Noronha (2001, p. 36).

3.2 Identificação do contexto e delimitação do problema

O predado desta fase resulta na identificação dos pontos de vista que representam os objetivos e valores do centro decisor, variáveis estas, que passarão a integrar o modelo de avaliação. Isso engloba dois momentos: um primeiro alusivo a identificação do contexto e outro referente a organização do problema de interesse em eixos de avaliação.

A identificação do contexto consiste basicamente em reconhecer os atores (*stakeholders*) envolvidos no processo, selecionar os avaliadores, definir o conjunto de alternativas a serem avaliadas e o tipo de avaliação a ser efetivada. O ponto de partida é a delimitação da problemática. Para a aplicação pretendida na presente tese, considera-se como problemática: a preservação das características naturais dos mananciais aquáticos de uma bacia hidrográfica, onde as principais atividades desenvolvidas são vinculadas à agricultura.

Delimitada a problemática, passa-se a definir quais atores serão envolvidos na construção do modelo. Segundo Roy (1985), pode ser chamado de ator um indivíduo (ou um grupo de indivíduos) que intervém de forma direta ou indireta no processo decisório. Os atores possuem características e papéis diferentes em relação ao processo decisório, seja em função do seu sistema de valores, de seu interesse ou da sua posição.

A estrutura hierárquica relativa ao subsistema de atores apresentada por Bana e Costa (1992) divide os atores em dois grupos: agidos e intervenientes (Figura 11). Os agidos são aqueles que não possuem influência direta no processo decisório, mas que podem experimentar de forma passiva as consequências de uma decisão implementada. Este grupo de atores, mesmo não participando ativamente no processo de construção do modelo, pode exercer, de forma indireta ou indutiva, pressões sobre os que interferem diretamente.

Por outro lado, os intervenientes participam diretamente por meio de seus sistemas de valores e ações intencionais incorporadas ao processo na construção do modelo. Este grupo de atores que condicionam diretamente a decisão compõe o centro decisor. Pode ser representado por indivíduos, grupos de indivíduos ou organizações (MATZENAUER, 2003) e se divide em três categorias: decisores, representantes e facilitadores.

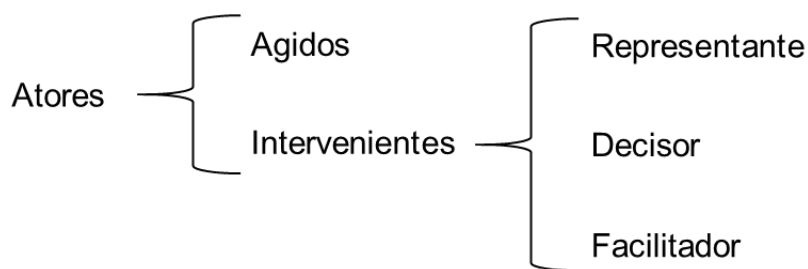


Figura 11 – Classificação dos atores
 Fonte: Adaptado de Bana e Costa (1992).

O representante é uma figura indicada pelo decisor para representá-lo no processo de apoio à decisão. Quando há representante no processo, ele faz o papel de intermediário entre o decisor e o facilitador. O decisor é definido como aquele que naturalmente tem poder e a responsabilidade de decidir, além de assumir as consequências diretas das decisões consumadas, sejam exitosas ou não (REICHERT, 2012). O facilitador por sua vez, trabalha de forma isolada ou em equipe como colaborador próximo de quem decide (MATZENAUER, 2003). Ele é um ator interveniente que possui função de estimular e conduzir o processo. Faz parte de sua tarefa identificar os atores, escolher a metodologia, as ferramentas de trabalho e propor a participação de especialistas (*experts* em determinadas temáticas), caso julgarem necessário (GOMES, 2001). De acordo com Roy (1985), o grau de ingerência do facilitador no processo de decisão é variável, contudo nunca será neutro.

O especialista, também conhecido como *expert* ou perito, é um personagem capaz de fornecer informações científicas e, se for o caso, dispor de conhecimento não formalizado, por meio de sua experiência, habilidade na área, e outras especialidades que possa disponibilizar. Segundo Beinat (1997, p. 27), seus julgamentos podem ser usados para preencher a lacuna entre as informações necessárias e as disponíveis. Contudo, esse mesmo autor adverte para os cuidados que se deve ter ao tomar pareceres de especialistas, pois, tal como a maioria dos pareceres humanos, eles podem ser imprecisos ou se apoiar em algumas alternativas específicas de decisão, ou ainda, em alguma posição política inoportuna.

Segundo Keeney (1992), em muitas situações complexas não é possível distinguir objetivamente os atores. Há contextos em que existe um ou mais decisores; enquanto em outros, em que o decisor é facilitador e também avaliador simultaneamente. O leitor perceberá que este quadro será expresso nesta tese, ao

qual, segundo Rousval (2005), não produz consequências indesejáveis sobre a estruturação do modelo multicritério.

3.2.1 Tipos de ações ou alternativas

As ações no contexto dos métodos multicritérios de apoio à decisão referem-se a objetos, situações ou decisões que serão explorados como alternativas durante o processo decisório. Uma ação é conceituada como uma representação autônoma de uma contribuição eventual para a decisão global (ROY, 1985). Em outras palavras, as ações são opções ou possibilidades reservadas ao centro decisor. Por exemplo, em um modelo utilizado para indicar o trator agrícola mais adequado para a agricultura familiar, considerando a ergonomia e a segurança do implemento, ter-se-ia como ações ou alternativas os diversos modelos de tratores do mercado (PEREIRA, 2019). Cada uma das opções é considerada uma ação ou uma alternativa.

Em métodos multicritérios de apoio à decisão, alternativas e ações possuem o mesmo significado (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001). Isto porque, segundo Roy (1985), o conceito de ação não necessariamente incorpora ideia de realismo ou ato factível: podendo ser uma ação potencial real ou fictícia. A primeira é composta por ações completamente exequíveis, enquanto a segunda corresponde a um projeto idealizado/utópico utilizado como referência. É sobre o conjunto de ações potenciais identificadas que o processo de apoio à decisão ocorrerá (REICHERT, 2012).

As ações podem ser exclusivas (globais) ou não exclusivas (fragmentárias) (ROUSVAL, 2005). Por exemplo, caso na compra de implementos agrícolas, que inclua a aquisição de um trator e de um sulcador, uma ação global seria os conjuntos formados por um modelo de trator e um sulcador. A recomendação seria encontrar o melhor conjunto trator/sulcador. Por outro lado, pode ser considerado um conjunto de ações fragmentadas os diversos modelos de trator e outro conjunto os modelos de sulcadores.

Neste estudo, optou-se por usar o termo “alternativa” à “ação”, pois a intenção é avaliar um sistema complexo para conhecer e informar sobre seu estado, independentemente de qualquer compromisso com decisões a *posteriori*. Por

consequente, busca-se refletir sobre as preferências relativas a condição em si do sistema avaliado e não sobre uma possível mudança de situação. Deste modo, por não haver pré-disposição à ação, considera-se o uso do termo “alternativa” mais adequado.

Os sistemas de apoio à decisão apresentados por Ensslin, Montibeller Neto e Noronha (2001) e utilizados nas teses de Gomes (2001), Matzenauer (2003) e Reichert (2012) servem de referência neste processo de avaliação. O que se deseja nesta investigação é utilizar os conceitos precursores de métodos multicritérios de apoio à decisão para elaborar um modelo de “auxílio à avaliação multicritério”, conforme realizado por Benjamin Rousval (2005). Este autor sugeriu passar do apoio à decisão para a assistência à avaliação sem que houvesse prejuízos na concepção do modelo multicritério. Diferentemente de conceber um instrumento dedicado a problema de tomada de decisão, o objetivo do autor foi construir um indicador global para avaliar os efeitos a médio e longo prazo dos transportes urbanos sobre o meio ambiente.

Neste trabalho, aplica-se a avaliação também à dimensão ambiental, contudo, o foco está nas pressões causadas pelas externalidades agrícolas sobre os ecossistemas aquáticos. Assim, o produto a ser avaliado faz parte do território, espaço físico social, que é mais parecido com um sistema complexo do que com um objeto em si. Dirigindo-se ao encontro do trabalho desenvolvido por Rousval (2005), a avaliação aqui é empregada para qualificar e quantificar alternativas preestabelecidas.

Embora se admita o fato de não haver neutralidade científica sob o processo de avaliação, procurou-se manter uma conduta isenta de impulsos, ideologia e preferências no momento de definir as informações a serem coletadas junto aos atores e de selecionar os critérios representados no modelo. Além disso, há um esforço para apresentar e definir com precisão as escolhas, os posicionamentos e os seus juízos de valores que dão sentido a esta avaliação. Para tal exercício optou-se por utilizar a abordagem de construção de mapa cognitivo, conforme a visão de Eden et al. (1988), por ser uma ferramenta capaz de auxiliar na organização do pensamento e na representação de ideias

3.2.2 Problemática de referência

A natureza das alternativas em um problema de decisão pode variar entre exclusivas ou compatíveis. Se o centro de decisão se deparar com uma situação em que precisa escolher uma alternativa entre todas as possíveis (iniciar a colheita de uma lavoura pela gleba A, B ou C, por exemplo) não é o mesmo que poder escolher várias alternativas (eleger os cultivares favoráveis para o plantio no ano agrícola, por exemplo) (ROUSVAL, 2005).

Assim, ao considerar o conjunto de alternativas disponíveis, o centro decisor pode estar interessado em: i) eleger uma solução para uma alternativa ou para um grupo de alternativas (Problemática da escolha - $P.\alpha$); ii) pode estar empenhado em estabelecer uma ordem para identificar a melhor e menos desejável entre todas as alternativas (Problemática da ordenação - $P.\gamma$); iii) pode também desejar classificar as alternativas (Problemática da alocação em categorias - $P.\beta$); ou ainda, iv) optar por uma narração, em termos qualitativos ou quantitativos, de todas as alternativas (Problemática da descrição - $P.\delta$) (ROY, 1981; ROY, 1996; ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001).

Finalmente, em um caso particular, na problemática da alocação em categorias, o decisor pode estar interessado em qualquer alternativa que apresente uma performance igual ou superior a de determinado padrão preestabelecido (Problemática da rejeição absoluta - $P.\beta^o$) (BANA E COSTA, 1986). A problemática utilizada na presente avaliação é a problemática da ordenação. Consequentemente, objetiva-se ranquear, por ordem de preferência, as possíveis perturbações expressas pelos sistemas de produção agrícolas aos ecossistemas aquáticos.

3.2.3 Mapa cognitivo: uma representação de causa-efeito entre sistemas de cultivos e criações e os ecossistemas aquáticos

A abordagem utilizada para auxiliar a definir a situação problemática é a do mapa cognitivo, concepção que surge na psicologia a partir de estudos etológicos de

animais. Edward Tolman (1948) utilizou o conceito de mapa cognitivo para explicar a aprendizagem latente¹⁰ de ratos quando colocados em labirintos com ausência de recompensas para percorrer o caminho mais curto (BASTOS, 2002). As interações funcionais entre objetos ou processos fornecem um modelo do ambiente no cérebro e o capacita a prognosticar alguns dos eventos do ambiente – informações essas de interesse para a própria sobrevivência (CSÁNYI, 1995).

Literalmente, o termo “mapa cognitivo” refere-se ao processo de representação de um ambiente no cérebro. Os mapas cognitivos humanos são realidades socialmente construídas, representados por objetos, fenômenos, comportamentos e abstrações linguísticas (signos, ordens, instruções e descrições) (CSÁNYI, 1995).

Os mapas não são representações estáticas, sofrem constantes atualizações. A partir das experiências de aprendizagem que o sujeito experimenta, são incorporadas novas informações de forma que o sujeito se ajusta ao seu ambiente. Assim, os mapas cognitivos são representações mentais construídas a partir de interações e aprendizagens com a função de dar sentido aos problemas e desafios que se colocam (BASTOS, 2002).

Sob outra perspectiva, conceitua-se mapa cognitivo como uma representação gráfica simplificada que fornece uma imagem da realidade, de um ambiente ou fenômeno de interesse (BASTOS, 2002). Conforme Laukkanen (1992), os mapas são ferramentas alternativas para representar dados verbais. Nesta investigação, considera-se o mapa cognitivo uma técnica qualitativa para organizar de forma hierárquica o conjunto de conceitos, por meio de representações mentais, sobre os eventos de um determinado contexto.

Segundo Ensslin e Montibeller (1999), existem distintas maneiras de construir um mapa cognitivo por interações com os atores envolvidos em determinado processo. Pode ser constituído com dados coletados por meio de entrevistas abertas (ver EDEN; ACKERMANN, 1998) ou semiestruturadas (ver MONTIBELLER NETO, 1996), questionários (ver ROBERTS, 1976), mediante análise de discursos (ver AXELROD, 1976) ou ainda oriundos de fontes escritas, como em documentos e relatórios (BASTOS, 2002). Neste caso, a princípio, organizou-se esquematicamente alguns pontos de vista relacionados ao problema de interesse, via fontes documentais (relatórios, livros, teses e artigos científicos). Em um segundo momento foi aplicado

¹⁰ Aprendizagem que não é aparente quando um sujeito está sendo ensinado.

questionários e realizadas entrevistas com atores especialistas na temática em questão. Cabe ressaltar que, numa situação hipotética, o mesmo especialista, sendo entrevistado por outro pesquisador, supostamente conceberia um mapa distinto, uma vez que o processo de fazer representações mentais com base em um discurso é subjetivo (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO, 1999). Particularidades sobre fatores de influência no discurso podem ser consultadas em Cossette (1998).

O procedimento adotado para a construção do mapa cognitivo construído via procedimento interativo (neste caso, como base em questionários e entrevistas) do ponto de vista conceitual, segundo Cossette e Audet (1992, p. 331) “envolve uma operação cognitiva quádrupla de redução-transformação-conservação que impede qualquer correspondência entre o mapa e os pensamentos do sujeito ou o objeto de seu discurso” (tradução nossa). Isso significa supor que o mapa é construído por representações mentais de caráter reflexivo (EDEN, 1998) baseadas na situação entre os atores (avaliador e especialista) durante o diálogo.

O pesquisador introduz os tópicos elementares ao especialista (estímulo por uma pergunta norteadora) para que ele construa suas representações discursivas, que são transmitidas num segundo momento via discurso ao pesquisador. Este, por sua vez, converte os discursos em representações mentais e, em seguida, em representações gráficas (mapa cognitivo) (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO, 1999). Repetições deste modelo de construção podem alterar as representações mentais do especialista (representados pelas linhas L_1 e L_2 na Figura 12).

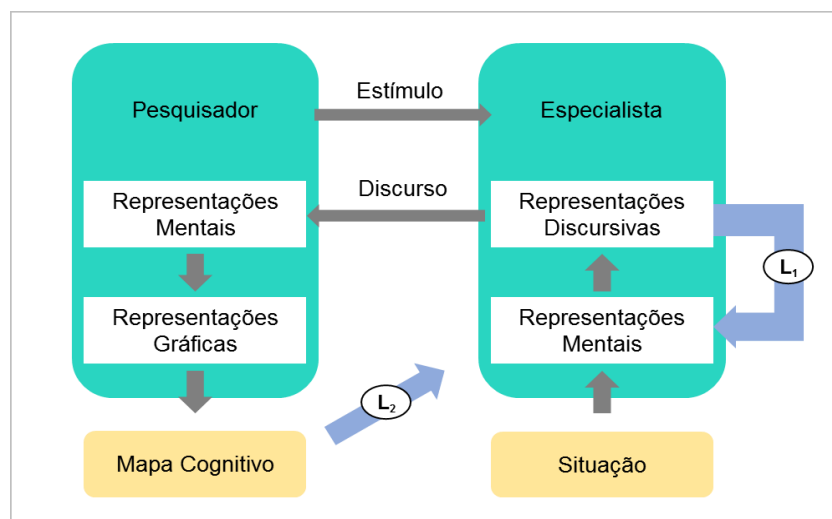


Figura 12 – Mapa cognitivo como uma representação quádrupla
Fonte: Adaptado de Ensslin e Montibeller (1999).

Existem diversos tipos de mapas cognitivos (MONTIBELLER NETO, 1996; FIOL; HUFF, 1992). Nesta investigação o mapa é classificado quanto: (a) ao tipo – “Mapa de Contexto”, pois fornece um senso de ambiente, conforme a sequência dos passos empregados; (b) ao uso – “Mapa de Produto”, por permanecer relativamente estável ao longo do tempo no contexto deste trabalho; (c) aos componentes – “Mapa Causal de Argumentação”, que está interessado em traçar as ligações de influência entre meios e fins (X causa Y); (d) a forma de intervenção – “Mapa Individual”, e (e) quanto à análise realizada – “Mapa Hierárquico”, com ênfase na ordenação dos componentes (MONTIBELLER NETO, 1996, p. 65).

O mapa é constituído de objetivos-meio, sejam eles alternativas, opções ou propostas, que indiretamente afetarão os valores finais, descritos sob a forma de objetivos-fim. Um objetivo é algo que se deseja alcançar em determinada situação (KEENEY, 1982), caracterizado por um contexto decisório, um objeto e uma orientação à preferência (ROUSVAL, 2005). Neste estudo, considera-se no contexto decisório: avaliar as pressões dos sistemas de produção agrícola sobre os ecossistemas aquáticos de uma bacia hidrográfica.

Um objetivo final (KEENEY, 1992) ou fim (ROUSVAL, 2005), é razão essencial de interesse na situação de decisão em determinado contexto. Ele representa um fim em si mesmo; logo, o objetivo final é decomposto em dois ou mais objetivos. Por exemplo, o objetivo-fim de preservar as características naturais dos recursos hídricos pode ser dividido em dois objetivos-meio: i) manter o volume de água disponível nos mananciais e ii) conservar a qualidade da água.

Os objetivos-meio, por sua vez, podem ser divididos em outros objetivos, até que não sejam mais decomponíveis. Desta forma, os objetivos-meio implicam, em certo grau, que outro objetivo mais fundamental pode ser alcançado em um nível hierárquico superior. Um objetivo-meio deve ser vinculado a pelo menos um objetivo-fim, pois é considerado uma forma de alcançar a meta fim. Ele também pode gerar consequências sobre outros diferentes objetivos-fim, tanto positivas (na direção da preferência), como negativas (na direção inversa à da preferência) (ROUSVAL, 2005).

A Figura 13 ilustra a estrutura de um mapa cognitivo constituído de conceitos-meio e conceitos-fim, Pontos de Vista Fundamentais (PVF) e ligações de influência. Destaca-se que a literatura (MONTIBELLER NETO, 1996; GOMES, 2001 e REICHERT, 2012) considera conceitos-fim como conceitos-cabeça (que só recebem ligações) e conceitos-rabo, os conceitos do mapa de onde só partem ligações. Entre

os meios e os fins, alguns dos objetivos (ou conceitos) podem ser classificados como Pontos de Vistas Fundamentais (BANA E COSTA, 1992). Ainda segundo Bana e Costa (1992), os PVFs são dimensões (ou eixos de avaliação do problema) que definem as características das alternativas consideradas importantes pelos decisores em determinado contexto.

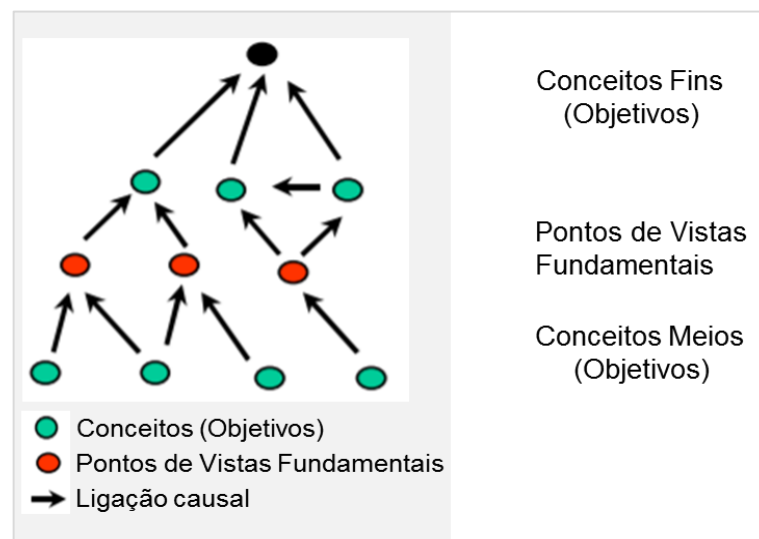


Figura 13 – Topologia de um mapa cognitivo
Fonte: Ensslin e Montibeller (1999).

Segundo Gomes (2001), um Ponto de Vista Fundamental é definido por dois princípios: o primeiro, essencialidade – ser identificado e validado como relevante pelos decisores; o segundo, controlabilidade – ser destacado pelo decisor como um eixo de avaliação independente dos demais. Um conjunto de Pontos de Vista Fundamentais torna possível a agregação de todas as avaliações parciais em uma avaliação global das ações potenciais.

O procedimento utilizado para identificar os PVFs se inicia com a transição do mapa cognitivo para uma estrutura arborescente (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001), isto porque, os mapas cognitivos e os modelos multicritérios possuem estruturas distintas. Desta forma, o primeiro exercício é agrupar os conceitos que se relacionam entre si e que expressam um eixo temático comum, ou seja, identificar grandes áreas de interesse dentro do contexto em pauta (*clusters*). Conforme, Ensslin, Montibeller Neto e Noronha (2001), na abordagem multicritério,

os *clusters* são conjuntos de conceitos fortemente interligados, com pelo menos uma linha de argumentação.

Mediante análise aprofundada do mapa cognitivo, é possível identificar eixos de avaliação do problema, de acordo com a forma e conteúdo. Com relação à forma, um fator a ser averiguado são as linhas de argumentação. Uma linha de argumentação é constituída por um agrupamento de conceitos relacionados e organizados hierarquicamente, que iniciam em um Conceito Rabo e finalizam em um Conceito Cabeça (REICHERT, 2012). Geralmente, cada ramo do mapa cognitivo representa a ideia de um candidato a Ponto de Vista Fundamental.

Usa-se o termo candidatos porque até o presente momento somente o primeiro princípio foi atendido (essencialidade), para verificar se o conceito atende ao segundo princípio (controlabilidade) é necessário empregar a técnica do enquadramento de Keeney (1992). Os passos para o enquadramento são descritos em detalhes por Ensslin, Montibeller Neto e Noronha (2001, p. 127).

Além dos princípios da controlabilidade e da essencialidade, Keeney (1992), apresenta um conjunto de propriedades que a família de Pontos de Vista Fundamentais necessita atender para que o modelo multicritério tenha consistência:

1. Completude: incluir todos os aspectos considerados fundamentais para os decisores.
2. Mensurabilidade: definir com precisão os objetivos, além de especificar as performances das alternativas.
3. Operacionalidade: possibilitar que a coleta das informações necessárias seja viável para análise, tendo em conta o tempo e o esforço disponíveis.
4. Isolabilidade: avaliar os objetivos de forma independente.
5. Não redundância: não levar em conta o mesmo aspecto mais de uma vez para evitar a dupla contagem de possíveis consequências.
6. Concisão: reduzir o número de objetivos ao necessário para a análise do problema.
7. Compreensibilidade: ser claro e conciso.

Em suma, desta fase resulta em um conjunto de pontos de vista que integram o modelo de avaliação. Assim, considera-se que o problema haja sido delimitado e a partir de então, o foco para a ser os procedimentos utilizados para estruturação do modelo multicritério.

3.3 Estruturação do modelo multicritério

Após definir a família de Ponto de Vista Fundamental, inicia-se a construção do modelo multicritério. Para tanto, se faz necessário estruturar uma árvore de pontos de vista organizados de forma hierárquica. Para cada ponto de vista se faz obrigatório construir um ou mais critério que permita mensurar, da forma menos ambígua possível, a performance das alternativas de tal ponto.

O critério é o princípio balizador para mensurar as performances de cada alternativa. Ele permite que se estabeleçam relações de preferência entre as alternativas. Segundo Ensslin, Montibeller Neto e Noronha (2001), para construir um critério, são necessárias duas ferramentas: um descritor e uma função de valor associada a este.

Um descritor é representado por uma escala de valores construída para descrever a performance de cada um dos eixos de avaliação (PVF). Segundo Gomes (2001), na égide do paradigma construtivista, não há um descritor “ótimo”, e sim um descritor que não seja ambíguo, que possa garantir que mais de um decisor, ao avaliarem uma mesma ação, possam impactá-la no mesmo nível do descritor. De acordo com Ensslin, Montibeller Neto e Noronha (2001), os descritores podem ser classificados como diretos, construídos e indiretos (*proxy*). Também podem ser qualitativos ou quantitativos, e contínuos ou discretos. A Figura 14 a seguir sintetiza esta classificação.

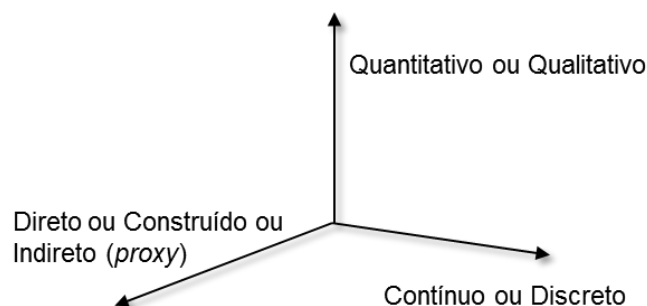


Figura 14 – Classificação dos descritores
Fonte: Ensslin, Montibeller Neto e Noronha (2001, p. 147).

O descritor é direto quando possui uma medida natural associada ao ponto de vista em questão (GOMES, 2001). Pode ser, por exemplo, o volume de dejetos animais medido em litros. Por outro lado, é indireto quando se utiliza um evento ou propriedade fortemente associado ao ponto de vista como indicador (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001). Por exemplo, medir a distância entre dois pontos pelo tempo de deslocamento. É possível construir um descritor quando não são encontrados descritores naturais para representar determinados pontos de vista. Por exemplo, para avaliar a capacidade de suporte do solo em relação ao uso de fertilizante orgânico, podem-se definir características como grau de declive do terreno, profundidade do solo e propensão a erodibilidade e, a partir destes fatores, definir os descritores.

O descritor é qualitativo quando utiliza expressões semânticas ou representações simbólicas para descrever o ponto de vista (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001). Por exemplo, tipo de irrigação: inundação, aspersão, pivô central ou gotejamento. De outra forma, o descritor é considerado quantitativo quando descreve adequadamente o ponto de vista, utilizando medida numérica natural. Por exemplo, distância medida por centímetros, metros ou quilômetros.

Os descritores quantitativos podem ser contínuos ou discretos. O descritor é contínuo quando uma variável quantitativa pode assumir qualquer valor entre dois níveis de impacto. Por exemplo, a distância percorrida em metros pelo trator ao espalhar esterco em uma pastagem natural. O descritor é discreto quando os níveis de impactos forem enumeráveis; assim não é possível existir níveis de impacto intermediário aos apresentados no descritor. Por exemplo, dias de trabalho necessários para realizar o plantio de milho em um estabelecimento agrícola.

Em análises de problemas ambientais, frequentemente são utilizados descritores quantitativos indiretos (ver BEINAT, 1997). Contudo, aconselha-se o uso de descritores quantitativos diretos, uma vez que, eles normalmente atendem as três características descritas por KEENEY (1992), desejáveis para evitar possíveis ambiguidades: mensurabilidade, operacionalidade e compreensibilidade (GOMES; 2001).

A mensurabilidade refere-se à capacidade de o descritor descrever de forma clara e objetiva o PVF ao qual está associado. Quando for difícil estabelecer um descritor adequado, sugere-se que o PVF seja decomposto em dois ou mais Pontos

de Vista Elementares (PVE) e sobre eles sejam construídos os critérios. Por sua vez, operacionalidade significa a possibilidade de se obterem as informações que um descritor se propõe a aferir, tanto descrevendo de forma clara e precisa o desempenho de uma alternativa, quanto fornecendo uma base sólida para julgamentos de valor a respeito da atratividade dos vários níveis de impacto. Por último, a compreensibilidade refere-se à capacidade de o descritor contornar ambiguidades, tanto na descrição das consequências das alternativas, quanto na interpretação destas consequências.

Após serem definidos os descritores, quando se deseja construir uma função multiatributo, deve-se testar a propriedade de isolabilidade dos PVFs e também dos PVEs, se for o caso. A isolabilidade demandada é a de independência preferencial mútua. O fundamento desta propriedade consiste em averiguar a ordem (ordinalidade) e a intensidade (cardinalidade) das preferências entre pares de ações potenciais em determinado PVF (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001).

Segundo (MATZENAUER, 2003), a independência preferencial ordinal visa colocar os Pontos de Vista Fundamentais em ordem de preferência crescente ou decrescente, em função da ordem estabelecida. A independência cardinal aponta para o quanto um PVF é preferível ao outro. Para que um ponto de vista seja considerado isolável, as ações potenciais neles avaliadas precisam ser independentes da performance destas ações nos demais pontos da família de PVFs. Os testes para verificar esta propriedade são realizados par a par entre os PVFs¹¹.

Posteriormente, com os descritores definidos e o teste de isolabilidade mútua realizado, passa-se a quantificar a performance das ações para avaliar localmente cada PVF. As performances são avaliadas por um escore numérico que representa a estrutura de preferência do centro decisor sobre o conjunto de objetos ou observações (GOMES, 2001). Este procedimento consiste na construção de funções de valor para cada PVF.

Segundo Beinat (1997, p. 19), a teoria da função de valor é um ramo de uma teoria mais geral, baseada em conceitos de maximização da utilidade. Matzenauer (2003) diferencia a função de utilidade da função de valor da seguinte forma: enquanto nas primeiras é preciso usar distribuições de probabilidade, nas funções de valor a incerteza não é tratada de forma explícita, embora seja considerada ao proceder

¹¹ Segundo Ensslin, Montibeller Neto e Noronha (2001), o teste de independência mútua deve ser executado quando há suspeita de dependência entre os pontos de vista, uma vez que este procedimento é exaustivo, devido ao elevado número de comparações.

análises de sensibilidade após avaliar as ações do modelo. Logo, atribui-se para a função de valor a finalidade de ordenar diferença de atratividade entre pares de nível de impacto ou ações potenciais, segundo um determinado ponto de vista.

Existem distintos métodos empregados para estruturar a função de valor. Matzenauer (2003), por exemplo, menciona uma classificação realizada por Fishburn (1967) que apresenta 24 métodos de estimativa de utilidades aditivas. Outras literaturas são mais sintéticas (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001; GOMES, 2001) e destacam três métodos: Pontuação Direta (*Direct Rating*), Bissecção (*Bisection*) e Método de Julgamento Semântico (*MACBETH*). O Quadro 2, a seguir, compara estes três métodos.

Método	Preceito	Vantagens	Desvantagens
Pontuação Direta	A função é obtida por meio de atribuição de escores numéricos estimados para um descritor em relação às âncoras	- Rapidez na obtenção da função de valor - Ausência de transformações matemáticas	Exige que o centro decisor expresse suas preferências numericamente em desacordo com o raciocínio natural
Bissecção	A função é estimada por meio de um valor que divide os extremos (âncoras) em intervalos iguais. Os espaços vão se refinando até se obter uma função de valor completa	- Ausência de transformações matemáticas - Útil para descritores contínuos	Os decisores necessitam expressar suas preferências de forma matemática
Julgamento Semântico (<i>MACBETH</i>)	A função é obtida por meio de comparações qualitativas realizadas par a par e organizadas por uma escala ordinal semântica	O centro decisor expressa suas preferências entre pares de ações de forma qualitativa	- Requisita transformação matemática sobre os julgamentos do centro decisor - Pode não haver uma função de valor compatível com a matriz de julgamentos fornecidos - Quando há elevados níveis de impacto, o processo se torna extenuante

Quadro 2 – Procedimentos aplicados à construção da função de valor no modelo multicritério
 Fonte: Elaborado pelo autor com base em Ensslin, Montibeller Neto e Noronha (2001), Gomes (2001) e Matzenauer (2003).

O procedimento adotado para estruturar a função de valor e para determinar as taxas de compensação foi o de Pontuação Direta (*Direct Rating*). Este é um dos métodos mais utilizados para a construção de função de valores devido a eminente

simplicidade do procedimento. De maneira operacional, para construir a função de valor no modelo multicritério, primeiramente definem-se os níveis âncoras máximo e mínimo, logo em seguida, se estabelece o valor “0” (zero) para o pior nível do descritor – aquele que representa a situação menos desejável – e o valor “100” (cem) para o melhor nível – representa a situação mais desejada (N_1 e N_5 , respectivamente, conforme Figura 15). Posteriormente são identificados e definidos numericamente os níveis intermediários ao máximo e mínimo do descritor.

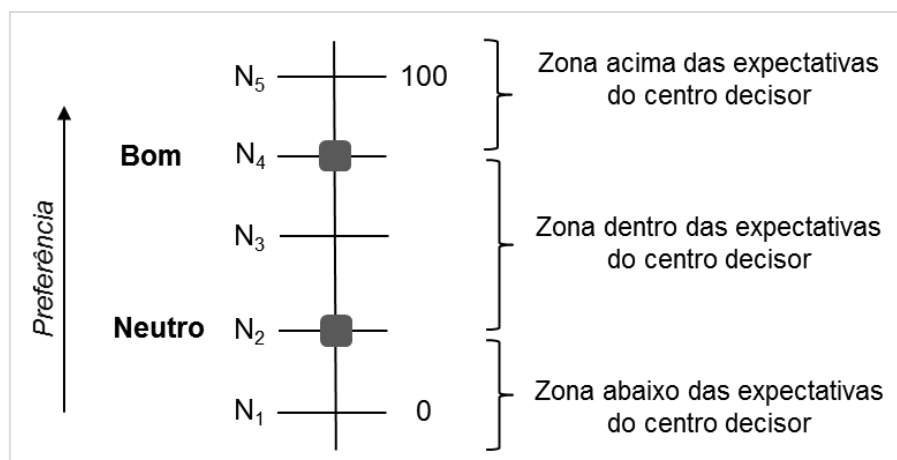


Figura 15 – Expressão gráfica dos níveis de impacto de um descritor
Fonte: Adaptado Ensslin, Montibeller Neto e Noronha (2001).

De acordo com Ensslin, Montibeller Neto e Noronha (2001), depois de construir os descritores, um aspecto relevante diz respeito à identificação dos níveis de impacto de referência, que são “bom” e “neutro” (N_2 e N_4 , observados respectivamente na Figura 15). Essas referências delimitam uma região dentro da zona de expectativas dos decisores, com o objetivo de contribuir para que os julgamentos de valor não sofram demasiada influência, quer dizer, não sejam muito atrativos nem muito repulsivos (GOMES, 2001). A definição desses níveis de impacto também é importante para determinar as taxas de compensação entre PVFs e PVEs. Em outras palavras, os níveis de impacto com performance inferior ao “neutro” representam uma situação não satisfatória, mas ainda aceitável para os decisores. Similarmente, os níveis de impacto superiores ao “bom” apresentam desempenho acima das expectativas, contudo representam situações factíveis (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001).

Finalmente, realiza-se a transformação da função de valor dos níveis de impacto local para ancorar a faixa de variação em escalas de intervalo. A conversão é efetuada por meio de uma transformação linear do tipo positiva. Segundo Gomes (2011), as propriedades da transformação são:

$$v'(a) = \alpha \cdot v(a) + \beta, \forall a \in A \quad (8)$$

Onde:

$v'(a)$ = novo valor para a ação a

$v(a)$ = antigo valor para a ação a

α, β = duas constantes (sendo a uma constante positiva, ou seja, $a > 0$)

$\alpha, \beta \in \mathbb{R}$ e $\alpha > 0$

A = conjunto de ações potenciais

$\mathbb{R}$ = conjunto dos números reais

Para a transformação, faz-se necessário fixar o zero (0) da escala no nível “neutro” e o valor cem (100) para o nível “bom”, de modo que os níveis de impacto tenham uma atratividade equivalente em todos os descritores. A nova escala deverá ser obtida por meio da resolução de um sistema de equação de 1º grau com duas incógnitas:

$$\begin{cases} 100 = \alpha \cdot v(bom) + \beta & (9) \\ 0 = \alpha \cdot v(neutro) + \beta & (10) \end{cases}$$

A solução do sistema é encontrada utilizando os métodos de substituição e adição. Assim, encontrando os valores de α e β , obtêm-se os parâmetros necessários para transformar os demais níveis da escala. Após estimar a função de valor associada a um descritor, considera-se que foi concebido um critério para avaliar determinado PVF ou subcritério, quando se trata de PVE (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001).

A última etapa a ser considerada na fase de estruturação é a determinação das taxas de compensação, cujo objetivo é avaliar localmente a performance das ações potenciais, de modo que seja possível obter um escore para a função de valor global. Os enfoques multicritérios pretendem obter soluções sob a eficiência de Pareto, e é nessa perspectiva que se inserem as taxas de compensação. O conceito das taxas de compensação entre dois critérios expressa a perda de performance em um critério para compensar o ganho de desempenho em outro (ROMERO, 1993).

Beinat (1997), Ensslin, Montibeller Neto e Noronha (2001) apresentam diversas técnicas para a determinação das taxas de compensação entre critérios, dentre as quais se destacam os métodos *swing weights*, *trade-off* e comparação par a par (MACBETH e AHP). O método *swing weights* baseia-se na análise direta de valor associada ao peso entre os pontos finais de cada intervalo de atributos (BEINAT, 1997). Trata-se de atribuir a utilidade de cada critério. A escala $\in [0,1]$ é linear, o valor de utilidade 1 refere-se à melhor alternativa e o valor 0 à pior.

A avaliação começa com a inserção de uma ação fictícia com o pior perfil possível (nível “neutro”) para todos os critérios do modelo. Posteriormente solicita-se que o centro decisor eleja um dos critérios para passar do “neutro” para o “bom”. Estabelece-se pontuação igual a 100 para este salto, sendo que este critério tem o maior peso. O procedimento segue, solicitando ao centro decisor que eleja um dos critérios para passar do “neutro” para o “bom” e, neste caso, pergunta-se: “Se a pontuação atribuída à passagem do “neutro” para o “bom” no melhor critério vale 100 pontos, quanto vale a passagem no segundo melhor critério?” (GOMES, 2001, p. 87). Ao continuar o processo com os demais critérios, o conjunto completo pode ser organizado em classes de importância, de tal forma que cada peso determina uma fração dessa diferença (BEINAT, 1997). Os resultados são auferidos em taxas de compensação brutas, por isso, é necessário dividir cada taxa bruta pela soma das taxas brutas para normalizar os valores numa escala entre 0 e 1.

O método *trade-off* é calculado como constante de escala com base em preferências reveladas e não requerem julgamentos de importância entre perfis de critérios. O avaliador é apresentado a duas ações fictícias X e Y com performances diferentes em apenas dois critérios e desempenho idêntico nos demais (BEINAT, 1997). Ao escolher a ação preferida, o centro decisor elege o critério com maior peso. Segundo Ensslin, Montibeller Neto e Noronha (2001), o fator crítico do método *trade-off* consiste em ajustar o nível de impacto de uma das ações em um dos critérios, de

maneira que as duas ações sejam consideradas indiferentes pelo centro decisor $v(X)=v(Y)$. Geralmente realiza-se tal procedimento piorando-se gradualmente a performance da ação preferida até que ela se torne indiferente à outra ação. Discriminada a função de valor dos critérios por meio de um sistema de equação, calculam-se os escores das taxas de substituição.

Cabe observar que o método comparação par a par requer julgamentos semânticos de razão de importância entre cada par de critérios (BEINAT, 1997). Um dos métodos assentado sobre esta lógica é o *MACBETH*. O procedimento consiste em comparar pares de ações fictícias com performances diferentes em apenas dois critérios e com desempenho idêntico nos demais. O primeiro passo é a ordenação dos critérios em relação a sua atratividade. Na segunda etapa, o centro decisor define qualitativamente a intensidade de preferência entre os pares de ações fictícias. As taxas de compensação são calculadas automaticamente por modelos de programação linear, com o auxílio do software *MACBETH* (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001).

Ensslin, Montibeller Neto e Noronha (2001) destacam pelo menos dois aspectos durante a determinação das taxas de compensação: i) a obrigatoriedade de considerar os níveis de referência “bom” e “neutro” do descritor para evitar que as taxas reflitam a importância relativa apenas pelo mero nome dos critérios e ii) a ordem em que são obtidas as taxas de compensação, que deverão ser obtidas partindo de critérios situados no mesmo nível de hierarquia, na direção dos níveis hierárquicos inferiores para os superiores.

Após a etapa de estruturação, pode-se considerar que o modelo está concluído. Sendo assim, segue-se às fases da validação e avaliação das ações potenciais.

3.4 Avaliação das diferentes alternativas e dos resultados do modelo

A fase de avaliação do modelo multicritério é utilizada para examinar a performance das alternativas em nível local e global. A avaliação local consiste em identificar qual é o desempenho das alternativas em cada um dos critérios e/ou subcritérios do modelo construído (MATZENAUER, 2003). No caso do presente

estudo, significa avaliar em separado o desempenho dos sistemas de produção agrícola considerando cada critério ou subcritério construído por meio do modelo.

Um aspecto que Ensslin, Montibeller Neto e Noronha (2001) destacam refere-se à natureza do descritor. No caso de descritores quantitativos, que apresentem uma função contínua, o valor correspondente à performance da ação naquele critério é obtido por meio interpolação linear. A determinação do valor local da alternativa em descritores qualitativos, ou mesmo de descritores quantitativos que não tenham uma função contínua, é realizada diretamente no nível que representa o descritor e sua função de valor.

Os resultados das avaliações locais de todos os critérios e subcritérios do modelo podem ser agrupados em gráficos denominados de perfil de impacto para identificar os pontos fracos e fortes em cada eixo de avaliação. Também é possível comparar os perfis de impactos do conjunto de alternativas definidas no modelo, com o objetivo de descobrir em que critérios de avaliação uma ação potencial é superior à outra (MATZENAUER, 2003).

A análise global compreende a utilização da fórmula de agregação aditiva para transformar as unidades de atratividade local (medida de cada critério ou subcritério) em unidades de atratividade global (REICHERT, 2012), ou seja, agrupar múltiplos critérios em uma performance única (MATZENAUER, 2003). O escore obtido (soma ponderada dos valores parciais) permitirá comparar o desempenho dos sistemas de produção agrícola segundo o modelo desenvolvido. Tanto na avaliação global quanto na avaliação local, recomenda-se apresentar graficamente a performance das alternativas para facilitar sua visualização.

Por fim, cabe averiguar o nível de confiabilidade do modelo. Segundo Gomes, (2001), o escore associado a uma ação – ou perfil multiatributo – é capaz de sofrer influência de três fontes de incerteza: (a) incerteza sobre os escores de performance; (b) incerteza sobre a forma da função de valor e (c) incerteza sobre as taxas de compensação e as funções de valor local. O efeito combinado dessas incertezas pode vir a comprometer o resultado do modelo atribuindo-lhe um baixo nível de confiabilidade.

Segundo Beinat (1997), a análise de sensibilidade e robustez oferece uma solução parcial para se esquivar das incertezas, por meio da qual, é possível verificar o comportamento do modelo diante de pequenas alterações, seja na pontuação da taxa de compensação dos critérios ou na performance de alguma ação. Basicamente

esta análise consiste em alterar os valores dos parâmetros e observar o que acontece com a avaliação das alternativas (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001).

Ensslin Montibeller Neto e Noronha (2001) apresentam uma sugestão para operacionalizar a análise de sensibilidade e robustez. Cabe adicionar e subtrair 10% no valor original no critério que apresenta a maior taxa de substituição. Esta alteração afeta também as demais taxas do modelo; por consequência, as taxas restantes precisam ser corrigidas. Utiliza-se a seguinte equação para o cálculo:

$$W_n' = \frac{V_n (1 - W_i')}{(1 - W_i)} \quad (11)$$

Onde:

W_i = taxa de substituição original do critério i ;

W_i' = taxa de substituição modificada do critério i ;

V_n = taxa de substituição original do critério n ;

W_n' = taxa de substituição recalculada do critério n ;

Efetuados os cálculos, obtêm-se resultados de dois cenários, além do original, quais poderão apresentar variações entre eles. Caso os resultados finais do modelo não se alteram significativamente em virtude das modificações inseridas, o modelo pode ser considerado robusto em relação a esses parâmetros avaliados. A análise de sensibilidade se torna relevante em virtude da possibilidade de ajustar imprecisões que possam ocorrer na determinação dos valores dos parâmetros analisados, depois que se compreende o papel relativo de cada critério frente às alternativas.

3.5 Procedimentos metodológicos da pesquisa

Segundo Minayo (2009), em pesquisa de cunho social, o procedimento metodológico é o caminho a ser percorrido ordenadamente durante o processo de investigação e análise dos resultados. Este caminho passou a ser formalizado

mediante a avaliação e aprovação da proposta pela Comissão Nacional de Ética em Pesquisa, por meio do certificado número 2.749.715.

As investigações em que o pesquisador é ao mesmo tempo o sujeito e o objeto (GERHARDT; SILVEIRA, 2009), caso comum na abordagem construtivista, recomenda-se a utilização de pesquisa qualitativa, uma vez que são incorporados aspectos intrínsecos entre a subjetividade do sujeito e o mundo real. A subjetividade, neste caso, não é apenas inevitável, mas fundamental. No entanto, para alcançar o objetivo proposto – a elaboração de um modelo multicritério para avaliar a performance dos sistemas de produção agrícola em relação ao potencial poluidor dos recursos hídricos, é indispensável que se trabalhe com dados quantitativos.

Assim, a presente investigação faz uso de abordagem mista, pois são considerados tanto fatores qualitativos (captados no contexto), quanto, fatores quantitativos (mensuráveis perante condições de controle). Quanto à natureza, a presente pesquisa caracteriza-se por ser do tipo aplicada, pois gera dados e informações dirigidos à problemas específicos (GERHARDT; SILVEIRA, 2009) relativos à preservação dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica.

Quanto aos objetivos, a investigação visa descrever as características de determinado fenômeno e estabelecer relações entre variáveis analisadas; portanto, a investigação é caracterizada como descritiva. Quanto aos procedimentos, ela se enquadra na pesquisa de campo (SILVA; MENEZES, 2005), pois o levantamento de dados foi realizado por meio de pesquisa bibliográfica, documental, observação ao meio, aplicação de questionários e entrevistas com atores locais e peritos da área de recursos hídricos e gestão de bacias hidrográficas.

A área de estudo está localizada na região Nordeste do estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 16). Torna-se oportuno frisar que o pesquisador atuou em dois projetos de pesquisa que visaram elaborar diagnósticos ambientais, por meio da identificação e quantificação de transferências de sedimentos e poluentes agrícolas para a água do Rio Guaporé, no período de 2013 – 2016. Ademais, a família do pesquisador cultiva tabaco em estabelecimento agrícola localizado no polígono desta BH. Por conta disso, a vivência cotidiana do pesquisador e conhecimento empírico adquirido no dia-a-dia de convívio no ambiente físico e com as pessoas que habitam aquele espaço, aliada a experiência acadêmica desenvolvida naquela região, lhe

proporcionou contato direto com problemáticas relacionadas à água e à agricultura, o que foi determinante para a caracterização da BH na presente investigação¹².

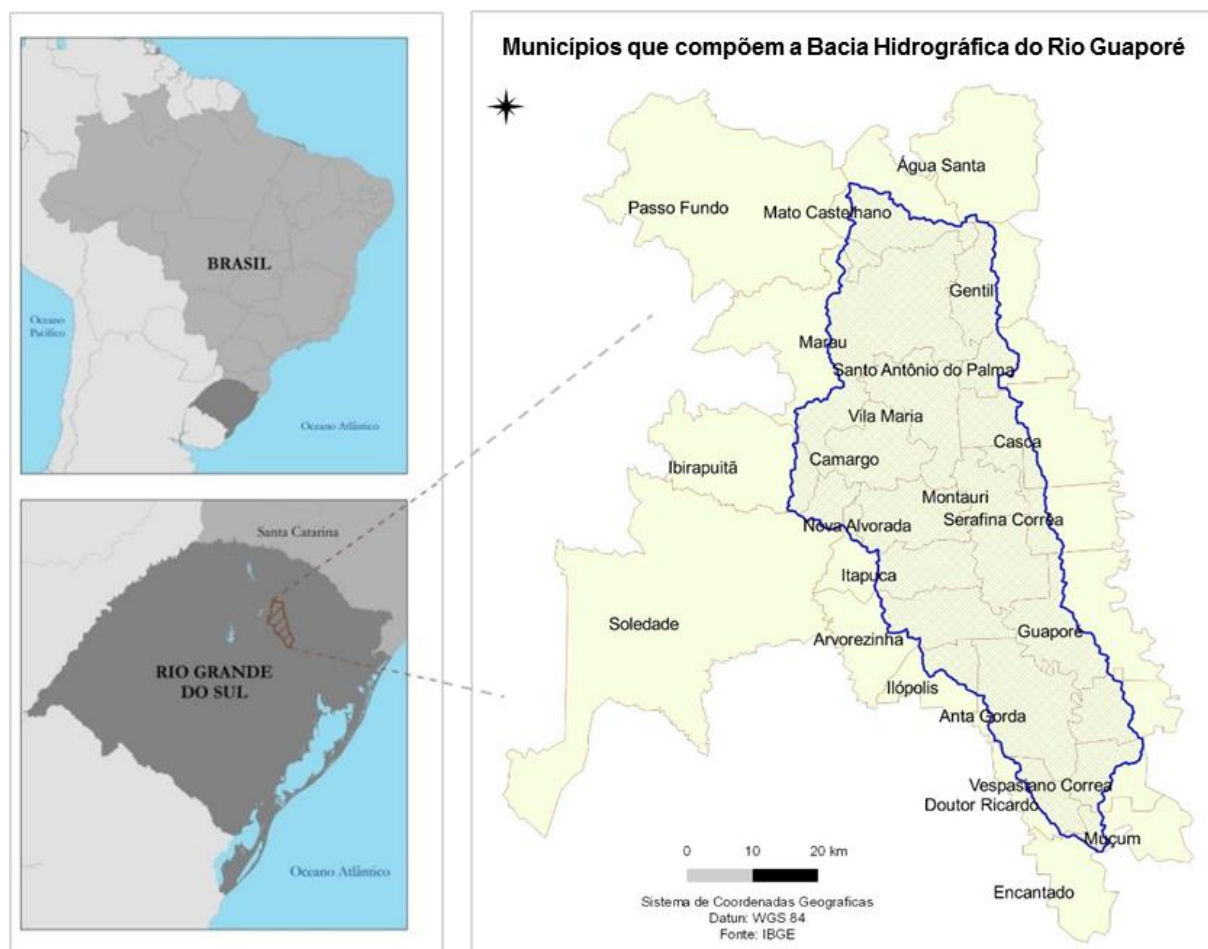


Figura 16 – Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé-RS/Brasil
Fonte: Adaptado de Capoane; Troian (2018).

A BH do Rio Guaporé possui 2,4 mil km², é limitada pela Bacia do Rio Uruguai na porção norte, pelas Bacias dos Rios Forqueta e Baixo Taquari-Antas a Oeste; a Leste pela Bacia do Rio Carreiro; e ao Sul pela Bacia do Médio Taquari-Antas. Ao todo, a área de drenagem da BH do Rio Guaporé engloba 25 municípios, dos quais cinco estão totalmente inseridos na Bacia Hidrográfica (Camargo, Montauri, Nova Alvorada, União da Serra e Vila Maria). Além destes, outros nove municípios (Água

¹² Detalhes sobre a trajetória acadêmica e pessoal do pesquisador podem ser verificados junto ao Apêndice A, p. 308.

Santa, Casca, Dois Lajeados, Doutor Ricardo, Gentil, Itapuca, Marau, Mato Castelhano e Santo Antônio do Palma) possuem as áreas urbanas inseridas na BH. Somados representam 68,4% da área da BH.

Os municípios de Anta Gorda, Arvorezinha e Muçum possuem o divisor de águas no interior das suas respectivas sedes, ou seja, aproximadamente 50% da área urbana de cada um desses municípios são drenadas para o Rio Guaporé. Finalmente, oito municípios (Encantado, Guaporé, Ibirapuitã, Ilópolis, Passo Fundo, Serafina Corrêa, Soledade e Vespasiano Corrêa) não possuem suas áreas urbanas drenadas para a BH do Rio Guaporé (IBGE, 2013).

Um aspecto a ser observado é que os dados disponíveis, especialmente os socioeconômicos, são fornecidos por unidade política administrativa (municípios, estados, macrorregiões e país). Os dados que constituem o número de habitantes, população rural, pessoal ocupado, número de estabelecimentos agrícolas, PIB, índice de Gini, ocupação da terra, irrigação e rebanho animal fazem referência às divisões político-administrativas dos municípios (item seis desta tese); portanto, não são dados exclusivos da área de drenagem da BH do Rio Guaporé.

Embora a água sirva para diferentes usos, setores e atores sociais, neste estudo, o recorte não está relacionado aos fatores urbanos de degradação ambiental, mas aos fatores rurais que estão ligados à gestão da agricultura familiar e às decisões que os produtores tomam sobre o desenvolvimento dos sistemas de produção.

Fases da pesquisa

Algumas literaturas destacam-se três fases para a elaboração do estudo científico. Gerhardt e Silveira (2009), por exemplo, arrolam as fases de *ruptura* (problematização do tema a ser pesquisado), *construção* (arquitetar a proposta base do objeto em estudo) e *constatação* (comprovar fatos ou experimentação). De forma parecida, Minayo (2009), classifica o ciclo da pesquisa em: *fase exploratória*, momento em que o objeto ou fenômeno é desenvolvido teórica e metodologicamente por meio de um projeto; *trabalho de campo*, estágio que combina instrumentos de observação e entrevistas, ocasião de interlocução entre o pesquisador e o objeto e, por último, a *fase de análise e tratamento do material*, que consiste no procedimento de compreensão e interpretação dos dados.

Para a presente tese, optou-se por dividir a investigação em cinco fases. As primeiras duas (Fase A e B da Figura 17) contemplam o que Minayo (2009) classifica

como exploratória. Na Fase A, foi formulado o problema de interesse com base no contexto em que o pesquisador está envolvido. A trajetória recente do pesquisador está voltada para análises de interações causais entre a agricultura e o meio ambiente, ante a perspectiva de analisar os efeitos dos sistemas de produção em razão da manutenção das características naturais dos recursos hídricos. Ainda nesta fase foram estabelecidos os preceitos metodológicos, baseados na construção de modelo multicritério de avaliação.

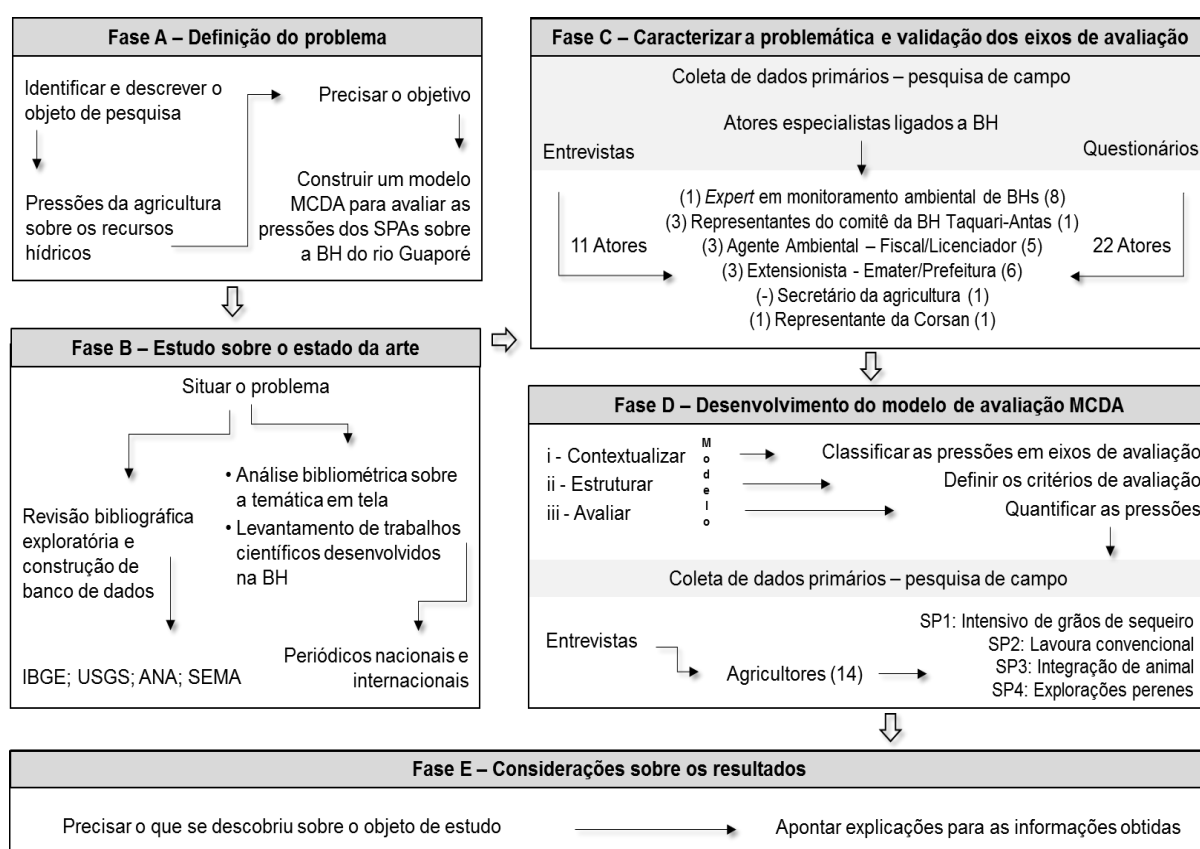


Figura 17 – Fluxograma das fases de desenvolvimento da pesquisa

Detalha-se que se empregou parte do ferramental disponível pelo Método de Análise e Diagnóstico de Sistemas Agrários (ADSA) para estratificar tipologias de sistemas de produção agropecuários, praticados de forma homogênea nas unidades de produção agrícolas da região do Rio Guaporé. Os sistemas de produção identificados formam o conjunto de alternativas avaliadas pelo modelo multicritério. Assim, foi entendido por sistema de produção combinações de cultivos, criações e fatores técnicos de que uma unidade agrícola dispõe, como: força de trabalho,

conhecimento técnico, superfície agrícola, equipamentos e capital (MAZOYER; ROUDART, 2001; DUFUMIER, 2007).

O Diagnóstico da Realidade Rural por meio do ferramental metodológico – ADSA – possui alguns princípios básicos que, por vezes em maior ou menor grau, foram considerados neste estudo, a saber: (a) utilizar passos gradativos, partindo do geral ao particular, com o aumento progressivo de escala; (b) realizar uma descrição dos dados relacionando-os com os fenômenos ocorridos para compreender sistematicamente sua historicidade; (c) estratificar as categorias de estudo em grupos homogêneos (zoneamento, tipologia de produtores, tipologia de sistemas de produção); e (d) orientar-se pelos fundamentos da análise sistêmica – sistema agrário, sistema de produção, sistema de cultivo, sistema de criação (MAZOYER; ROUDART, 2001; DUFUMIER, 2007; SILVA NETO, 2007).

Obedecendo os princípios descritos acima, foram adotadas quatro etapas básicas para a realização do diagnóstico: i) resgate da formação histórica do Rio Grande do Sul, enfatizando aspectos relacionados à evolução dos principais sistemas de produção agrícola no sistema agrário regional da BH do Guaporé; ii) reconhecimento das condições agroecológicas e socioeconômicas da região, com análise geral do ecossistema cultivado e sua renovação, baseada na descrição de variáveis climáticas, geológicas, hidrossedimentológicas, de relevo, da flora, e das principais características físicas da bacia hidrográfica; iii) análise do sistema social produtivo desenvolvido nos municípios da BH, incluindo temas nos domínios demográficos e fundiários por meio do uso e ocupação da terra, sistemas de cultivos agrícola e criações animais e iv) fusão das zonas homogêneas do ponto de vista geográfico que definem as condições de desenvolvimento das atividades agropecuárias de modo a caracterizar os diferentes tipos de sistemas de produção agrários desenvolvidos atualmente na região hidrográfica do Rio Guaporé (RS).

Cabe uma última informação a respeito deste processo de compreensão do espaço rural. O diagnóstico não teve por objetivo verificar os fatores que determinam ou explicam o desempenho econômico dos sistemas de produção, nem de identificar tendências à evolução ou transformação dos sistemas praticados, tendo em vista os objetivos da família. Por isso, considerou-se desnecessário avaliar o resultado econômico que mensura o desempenho do sistema por meio da Renda Agrícola (RA) e do indicador do Nível de Reprodução Simples (equivalente ao valor de um salário mínimo mensal por trabalhador durante o ano). Portanto, o exercício proposto nesta

tese para diagnosticar os sistemas de produção agrícolas, se encerra na medida em que os mesmos foram tipificados e caracterizados pelo zoneamento regional da BH.

A Fase B constitui-se de revisões bibliográficas exploratórias executadas por meio do contato com relatórios, livros, teses e artigos científicos sobre a temática proposta. Contou-se com pesquisa documental por meio da coleta e análise de dados secundários e primários disponibilizados pelas seguintes unidades: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), *United States Geological Survey* (USGS), Agência Nacional de Águas (ANA), Secretaria de Meio Ambiente do estado do Rio Grande do Sul (SEMA), Periódicos Capes, entre outras de menor expressividade.

Também foi executada uma análise bibliométrica, que segundo Pritchard (1969) procura quantificar processos de comunicação escrita e gerar levantamentos de informações documentais. Para tanto, empregam ferramentas para estabelecer e estruturar indicadores das produções científicas ao problema de interesse por meio de análise estatística (descritiva ou analítica) (TREINTA et al., 2014) e de conteúdo dos referenciais bibliográficos de determinada área de interesse.

Assim sendo, o levantamento bibliométrico seguiu quatro etapas bem definidas, conforme explicitado na Figura 18. A etapa inicial de qualquer levantamento bibliométrico é a definição do tema a ser pesquisado, neste caso: ferramentas multicritérios para a gestão dos recursos hídricos. A segunda etapa ocupa-se da escolha da base de dados. Optou-se pela base de dados da *Scopus*, considerada o maior banco de dados multidisciplinares de literatura revisada por pares: revistas científicas, livros e documentos de conferências (ELSEVIER, 2017). Ainda nesta etapa, foram determinados os conceitos básicos explorados: "*Environmental management*" OR "*Water resources*" OR "*Water management*" OR "*Water conservation*" OR "*Watersheds*" OR "*Catchment*" AND "*Multicriteria Decision*" OR "*MCDA*" OR "*Multi-criteria*" OR "*Multicriteria*" AND "*Farmer*" OR "*Agriculture*" OR "*Rural stakeholders*" OR "*Landowners*" OR "*Conservation*".

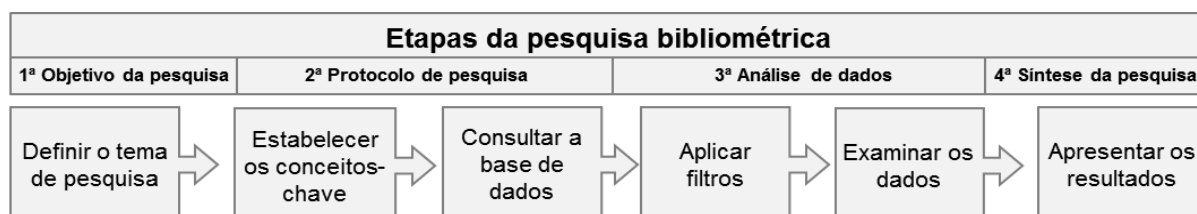


Figura 18 – Etapas de orientação da pesquisa bibliométrica

A terceira etapa da análise bibliométrica estendeu-se até a consolidação de um banco de dados. Foram aplicados filtros diretamente na plataforma *Scopus* para extração das produções relevantes. Os filtros utilizados foram os seguintes: (a) temporal (recorte de publicações no período de 2000 a 2017); (b) tipo de publicação (seleção de artigos científicos para compor a base de dados); (c) por área (limitadas às áreas de conhecimento que possuem interface com a pesquisa proposta); (d) por palavras-chave (escolha de palavras relacionadas com a pesquisa). A etapa subsequente foi a leitura dos títulos e *abstracts* para averiguar o alinhamento destes com a temática da pesquisa e, por último, foram discutidos os principais resultados.

Com base nas publicações selecionadas, foram retratados os seguintes parâmetros: evolução da produção científica em questão, relevância dos periódicos e das obras, intervalo de tempo e local das publicações e, por fim, foi realizada uma análise de conteúdo. Além de apresentar os principais resultados referentes aos parâmetros registrados acima, realizou-se uma análise lexicográfica do conteúdo dos títulos, palavras-chave e *abstracts*. O software *Vosviewer* foi empregado para gerar redes bibliométricas e construir redes de termos. Também foram apresentados os periódicos que mais publicaram documentos sobre a temática em questão.

A Fase C do desenvolvimento da tese envolveu a caracterização da problemática da água na Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé (RS/Brasil) e a validação dos eixos de avaliação e Pontos de Vista Fundamentais do modelo multicritério, por meio da coleta de dados primários via pesquisa de campo. As técnicas utilizadas para obter informações específicas sobre a bacia hidrográfica foram as apresentadas por Gil (2008): entrevista individual, aplicação de questionário e observação passiva *in loco*. A observação teve por finalidade complementar as informações adquiridas via entrevistas e questionários.

Por meio das entrevistas e questionários, pretendeu-se contrapor experiências e práticas de atores sociais capazes de analisar a situação dos recursos hídricos desta BH. O levantamento de informações teve por finalidade a estruturação de critérios e valores de ponderação atribuídos aos parâmetros para determinar os indicadores e calibrar o modelo multicritério que descreve as pressões dos sistemas de produção sobre os ecossistemas aquáticos. Os dados levantados são relativos à problemática da água, suas causas e consequências, com ênfase na agricultura.

Foram realizadas entrevistas com 11 atores, num primeiro momento. As entrevistas foram conduzidas com auxílio de roteiro predefinido de modo a orientar o

conteúdo do diálogo sem que houvesse perda de flexibilidade entre entrevistado e entrevistador durante o encontro (Apêndice B – I, p. 316). Assim, não foi adotado um padrão para enunciar as perguntas, tampouco uma ordem a ser seguida e, quando necessário, as perguntas foram repetidas ou (re)formuladas de forma a garantir que o entrevistado as compreendesse. Imediatamente após as entrevistas as informações foram sistematizadas, pois elas não foram gravadas.

Ademais, o levantamento de dados e informações foi contemplado com a aplicação de um questionário. Oito dos 11 dos atores, além de participarem da entrevista responderam o questionário complementar. Os outros três entrevistados não disponibilizaram de tempo para compatibilizar a entrevista com o questionário. As entrevistas variaram o tempo de duração entre duas e três horas cada uma, enquanto o preenchimento de um questionário consumiu aproximadamente duas horas.

Além dos oito entrevistados, os questionários foram preenchidos por outros 14 atores identificados com algum compromisso social na BH, totalizando uma amostra de 22 questionários respondidos. O questionário continha 14 perguntas, sendo apenas uma delas de múltipla escolha, as demais perguntas eram escalares, em que o respondente deveria atribuir valor de 1 a 5 para cada alternativa, considerando: 1 – pouco aplicável e 5 – totalmente aplicável à BH do Rio Guaporé (conforme Apêndice B – II, p.318).

Os critérios para seleção dos atores que participaram das entrevistas e/ou que responderam os questionários foi o de estar envolvido formalmente em alguma atividade relacionada a agricultura, abastecimento de água, gestão ou monitoramento dos recursos hídricos. Os atores que compõem a amostra da pesquisa foram escolhidos com base no critério intencional (*purposeful sampling*) de Patton (2002), ou classificado por Flink (2009) de método da seleção gradual. Por meio deste método, a amostragem é definida de acordo com a relevância dos fatos e não baseada numa densidade informacional.

O tamanho da amostra das entrevistas foi delimitado pela saturação, enquanto os questionários foram limitados pelos recursos financeiros e pelo tempo disponível para realizar a pesquisa. De acordo com Fontanella, Ricas e Turato (2008), a saturação dos dados ocorre quando os dados obtidos passam apresentar repetição, não acrescentando informações para o objetivo proposto no estudo. Portanto, a saturação é usada para indicar quando a coleta de dados está suficientemente

apropriada e, desta forma, serve para estabelecer o tamanho da amostra. O perfil destes atores participantes da pesquisa é apresentado no Quadro 3.

Atividade – Local	Idade	Sexo	Formação Escolar	Técnica Utilizada*
Licenciadora Ambiental – Secretaria do Meio Ambiente – Anta Gorda (RS)	39	F	Bióloga	E/Q
Técnico Agrícola – Secretaria da Agricultura - Anta Gorda (RS)	56	M	Técnico em Agropecuária	E/Q
Coordenadora do Departamento de Meio Ambiente – Marau (RS)	36	F	Bióloga	E/Q
Professor Magistério Superior – UFSM – Santa Maria (RS)	51	M	Engenheiro Agrônomo	E/Q
Agente Administrativo da Corsan – Marau (RS)	47	M	Administrador	E/Q
Membro do Comitê da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas/Setor Industrial – Arvorezinha (RS)	54	M	Tecnólogo em Gestão Ambiental	E/Q
Fiscal Ambiental – Prefeitura Municipal – Arvorezinha (RS)	55	M	Tecnólogo em Gestão Ambiental	E/Q
Extensionista – Emater/RS-Ascar de Guaporé (RS)	27	M	Desenvolvimento Rural e Gestão Agroindustrial	E/Q
Extensionista – Emater/RS-Ascar – Arvorezinha (RS)	44	M	Bacharel em Desenvolvimento Rural	E
Membro do Comitê da Bacia Hidrográfica Taquari – Antas/Setor Agrário – Encantado (RS)	InD*	M	Técnico em Agropecuária	E
Presidente do Comitê da Bacia Hidrográfica Taquari – Antas – Estrela (RS)	InD*	M	Engenheiro Agrícola	E
Secretário – Secretaria do meio Ambiente - Itapuca (RS)	26	M	Técnico em Agropecuária	Q
Doutorando em Ciência do Solo – UFRGS (Porto Alegre)	27	M	Engenheiro Agrônomo	Q
Pós-Doutorando em Ciência do Solo – UFSM – Santa Maria (RS)	35	M	Engenheiro Agrônomo	Q
Extensionista – Emater/RS-Ascar – Marau (RS)	44	M	Engenheiro Agrônomo	Q
Professora do Magistério Superior – FURG – São Lourenço do Sul (RS)	37	F	Geógrafa	Q
Professora Magistério superior – UFRGS – Porto Alegre (RS)	32	F	Engenheira Agrônoma	Q
Extensionista – Emater/RS-Ascar – Ilópolis (RS)	42	M	Administração em Agronegócios	Q
Secretário – Secretaria da Agricultura e Meio Ambiente – União da Serra (RS)	35	M	Desenvolvimento Rural e Gestão Agroindustrial	Q
Professora no Magistério Superior – Université de Limoges – França	31	F	Engenheira Agrônoma	Q
Técnico em Agropecuária – Prefeitura Municipal – Itapuca (RS)	38	M	Gestor Ambiental	Q
Professor no Magistério Superior – UFRGS – Porto Alegre (RS)	33	M	Engenheiro Agrônomo	Q
Extensionista – Emater/RS-Ascar – União da Serra (RS)	27	F	Engenheira Agrônoma	Q
Licenciadora Ambiental – Secretária do Meio Ambiente – Nova Alvorada (RS)	31	F	Bióloga	Q
Professor no Magistério Superior – IFAL – Maragogi (AL)	39	M	Engenheiro Agrônoma	Q

Quadro 3 – Perfil dos atores informantes para caracterizar a problemática da água na Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé

Fonte: Elaborado pelo autor com base na pesquisa de campo (2018 e 2019).

Notas: (*) E – Entrevista, Q – Questionário, E/Q – Ambas as técnicas; InD – Informação não disponível

O contato com os informantes selecionados foi realizado pelos procedimentos de “sistemas de rede”, conforme Martins (2004; 2006) utilizou esta técnica para avaliar conflitos político-institucionais na governança hídrica no estado de São Paulo, Brasil. Operacionalmente foram definidas microrregiões geográficas de interesse no interior da BH e posteriormente os agentes sociais com amplitude horizontal para serem enquadrados em elementos-polo da rede das microrregiões de interesse. Os elementos-polo foram originados a partir do escritório da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER/RS-ASCAR) do Município de Arvorezinha e do Comitê de Bacia Hidrográfica Taquari-Antas.

A aplicação dos questionários e as entrevistas foram realizados entre julho de 2018 e outubro de 2019, com a finalidade de reunir um conjunto de elementos primários que servem para caracterizar a problemática em questão e validar os eixos de avaliação. Cabe ressaltar que alguns atores foram contatados mais de uma ocasião (via telefone, e-mail e também por meio de contato pessoal) com o propósito de complementar as informações e agregar dados.

A Fase D da presente tese envolveu a construção de um modelo multicritério para a análise das pressões dos sistemas familiares de criação e cultivo agrícola sobre os ecossistemas aquáticos. Após reunir os elementos primários de avaliação junto aos atores (identificados na fase anterior), buscou-se estruturá-los em eixos por meio da elaboração de um mapa cognitivo. O mapa cognitivo foi estruturado e validado com apoio de um dos especialistas – *expert* em monitoramento ambiental de BHs – mediante três entrevistas de aproximadamente uma hora e trinta minutos cada. Este *expert* já havia participado da pesquisa respondendo ao questionário da Fase C. Ele faz parte de uma equipe de investigação multi-institucional sobre transferência de elementos químicos do sistema terrestre para os ambientes aquáticos, que possui mais de duas décadas de experiência em monitoramento ambiental em Bacias Hidrográficas. Para registrar as informações referentes a elaboração do mapa cognitivo durante as entrevistas com o especialista, foram utilizadas duas técnicas: (a) a produção de esboços do mapa em quadro branco, posteriormente fotografados para facilitar a sistematização; e (b) por meio de notas de variáveis consideradas relevantes, assinaladas em papel.

De posse do mapa cognitivo foi possível definir uma família de Pontos de Vistas Fundamentais, e posteriormente transformá-los em critérios de avaliação. Cabe esclarecer que a estruturação do mapa cognitivo, a construção dos descritores, função

de valores e determinação das taxas de compensação ocorreu via debates e consensos estabelecidos entre o autor da tese e o especialista em monitoramento ambiental de BHs. Desta forma, a expressão “centro decisor” se refere às decisões estabelecidas entre ambos atores. Outro esclarecimento necessário é que tanto para estruturar o mapa cognitivo, quanto para construir os critérios de avaliação, além das consultas realizadas com o especialista em monitoramento hidrográfico, se fez necessário examinar o sistema de regras executadas por meio de leis ambientais e informações disponíveis na literatura científica a respeito do tema em evidência (relatório de projetos de pesquisa, artigos científicos, livros, etc.).

Desta forma, considera-se o uso de abordagem construtivista para estruturar o problema e para construir o modelo multicritério. A problemática selecionada é a da ordenação, que consiste em estabelecer um arranjo para identificar a melhor e menos desejável entre todas as alternativas. Para mais detalhes sobre a estruturação do problema, recomenda-se averiguar o item 2.3 – Metodologia multicritério: caminhos para uma análise sistêmica, a partir da página 61). As ferramentas utilizadas para elaboração do modelo foram o software *Decision Explorer* e a plataforma do *Excel*. Com base no modelo MCDA, construído com parâmetros e indicadores singulares à problemática da agricultura e dos recursos hídricos do Rio Guaporé, foi avaliado um conjunto de ações potenciais ou alternativas, aqui definidos pelos diferentes sistemas agrícolas de produção.

As entrevistas realizadas junto aos agricultores ocorreram num segundo momento da Fase D. A finalidade destas entrevistas foi de calibrar o modelo estruturado e mensurar as pressões exercidas pelos sistemas de produção identificados na BH. Os agricultores que participaram da pesquisa foram escolhidos por meio de amostragem intencional dirigida, com apoio dos atores entrevistados na etapa anterior, especialmente por indicação dos extensionistas da Emater/RS-Ascar e de agentes ligados à área agrária ou ambiental das prefeituras municipais. Significa que são casos que os atores supõem, pelo conhecimento que possuem, serem representativos de cada sistema de produção caracterizado por zona geográfica.

A amostra não estabelece um universo baseado na densidade informacional, segundo critérios definidos por Patton (2002), Martis (2006) e Flink (2009). Considerando o critério de acessibilidade, ao todo foram realizadas entrevistas¹³ com

¹³ Foram entrevistados 15 agricultores, contudo, uma das entrevistas foi descartada por não ter sido concluída de forma satisfatória.

14 representantes de estabelecimentos agrícolas da região, de forma a retratar os quatro sistemas de produção presentes localmente. O perfil dos atores informantes para validar o modelo multicritério pode ser consultado no Quadro 4.

Sistema de Produção Agrícola	Município	Membros vivendo no estabelecimento	Idade e anos de estudo do entrevistado	Área total do estabelecimento (ha)
Grãos de sequeiro (soja)	Marau	5	56/11	48
	Marau	4	54/5	36
	Vila Maria	2	58/8	70
	Nova Alvorada	4	55/11	67
Lavouras convencionais (tabaco)	Nova Alvorada	4	47/4	18,4
	Arvorezinha	2	59/5	9,6
	Arvorezinha	3	28/11	20,8
Perenes (erva-mate)	Itapuca	6	51/7	21
	Itapuca	5	61/4	39
	Ilópolis	1	60/8	12
	Ilópolis	6	31/11	14,5
Criações animais (suínos e bovinos de leite)	União da Serra	4	43/11	30,3
	União da Serra	5	24/11	28
	Nova Alvorada	3	20/11	4

Quadro 4 – Perfil dos atores informantes para validar o modelo multicritério

Fonte: Elaborado pelo autor com base na pesquisa de campo (2019).

Ressaltasse que o modelo procurou avaliar os sistemas de produção com base nas informações das entrevistas realizadas nos estabelecimentos agrícolas, portanto, os resultados da avaliação global e do perfil de impacto dos critérios resultam da pontuação média dos estabelecimentos pertencentes a cada sistema de produção.

As entrevistas aos agricultores foram aplicadas nos meses de novembro e dezembro de 2019 e contaram com apoio de roteiro semiestruturado, predefinido com base nos descritores do modelo (Apêndice B – III, p. 324). Estas entrevistas não se restringiram a respostas precisas às questões pré-elaboradas no roteiro, através da entrevista foi possível interagir com os agricultores em função de objetivos da pesquisa.

Além disso, para obter as informações necessárias, as entrevistas foram contempladas com a técnica de observação passiva *in loco*, conforme Gil (2008). Esta técnica de observação teve por finalidade complementar as informações adquiridas via entrevista, especialmente para caracterizar o ambiente e o solo, o que inclui: classificar a declividade do terreno cultivado, o grau de compactação do solo, a

estabilidade de agregados do solo, visualizar sinais de erosão na lavoura e a porcentagem de cobertura do solo por resíduos. A textura do solo foi determinada com base no teor de argila apresentado nas análises de solo realizadas pelos próprios agricultores. Nos casos em que os agricultores não possuíam ou não encontraram os laudos das análises, foi utilizado o banco de dados do Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, do departamento de Solos da UFSM, que possui mais de 500 amostras de solo realizadas na BH do Rio Guaporé.

Mediante esta avaliação, foi possível identificar efeitos-pressões mais representativos da agricultura frente aos recursos hídricos (Fase E). Em outras palavras, pode-se identificar as maiores vulnerabilidades dos recursos hídricos diante dos sistemas agrícolas praticados na região. Os resultados revelam que os problemas relacionados às externalidades agrícolas geram novas demandas quanto às questões de governança dos recursos hídricos na bacia hidrográfica investigada.

4 MODELOS DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS: UMA PESQUISA EXPLORATÓRIA

O presente capítulo contempla um (i) levantamento exploratório, realizado na literatura científica, sobre gestão de recursos hídricos com enfoque na agricultura e no emprego de metodologias multicritério; e (ii) uma descrição dos aspectos centrais da estrutura de gestão dos recursos hídricos brasileiros e da problemática da água na Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé aos olhos de atores consultados.

4.1 Métodos multicritérios na perspectiva dos recursos hídricos

Discorre-se a seguir sobre uso de ferramentas multicriteriais para o gerenciamento da água na agricultura. Especificamente, ao identificar o que foi produzido de conhecimento científico e as tendências recentes, busca-se compreender uso desta metodologia para o tipo de problemática em tela. Também, desenvolver um banco de dados com publicações relevantes na literatura internacional que versa sobre gestão de recursos hídricos, para verificar como os distintos autores consideraram nas suas metodologias a contribuição de cada critério (agregativo ou não agregativo), como resolveram a questão do conflito entre critérios (compensatória ou não compensatória) e, por fim, se consideraram as preferências dos atores interessados no problema (*stakeholders*) na elaboração do modelo (construção participativa ou não participativa).

Os dados gerados pelo levantamento realizado nos títulos, palavras-chave e *abstracts* das 519 publicações selecionadas produziu uma rede agrupada em quatro *clusters*. Foram considerados 13.371 itens, que totalizaram 318 termos. A partir

destes, foi estabelecido um escore de relevância. Com base nesse escore, 191 itens foram selecionados (60% dos termos mais relevantes). O software *Vosviewer* permitiu a visualização gráfica da rede de termos (Figura 19). O tamanho dos ícones representa a proporção de ocorrência do item em diferentes artigos, sendo desconsiderado o número de ocorrências de um termo em um mesmo documento.

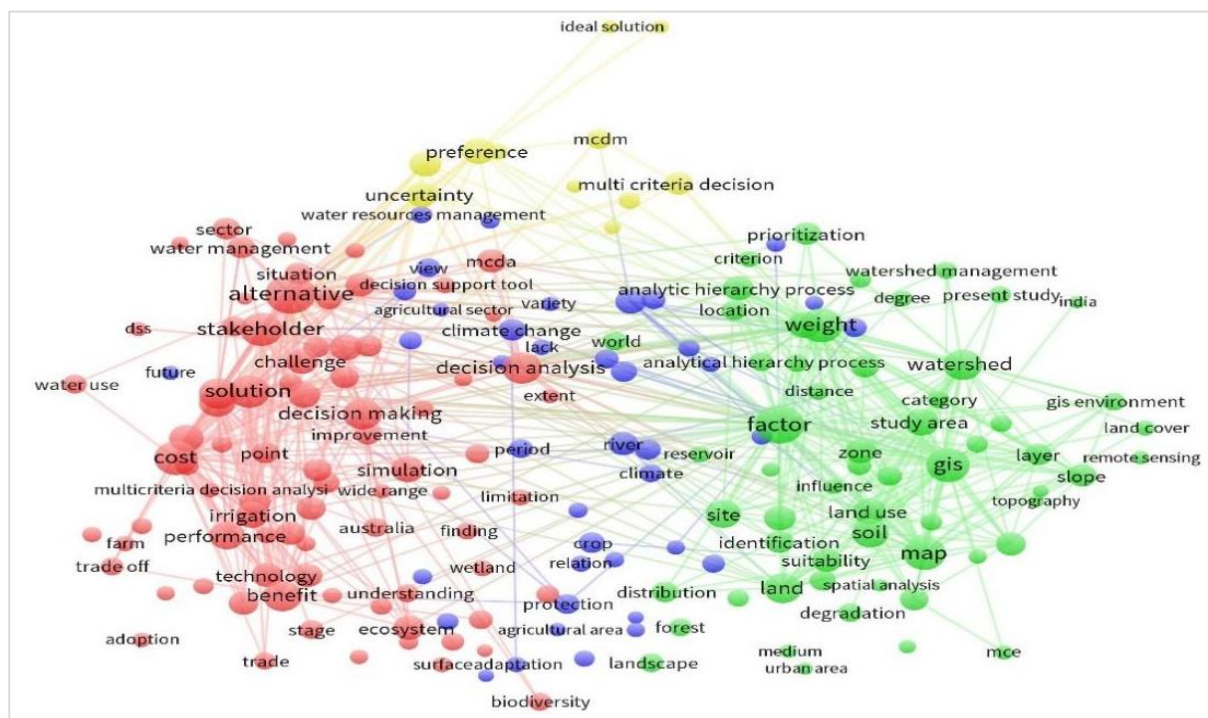


Figura 19 – Força de associação dos termos mais frequentes nos títulos, palavras-chave e *abstracts* das 519 publicações pré-selecionadas

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da *Scopus* (2017) e uso do software *VOSviewer*.

Os *clusters* estão distinguidos por cores que não preservam qualquer relação de importância além da diferenciação. O *cluster* de cor vermelha possui 81 itens. Esse agrupamento aproxima os termos que estão relacionados com o processo de tomada de decisão. Os termos mais frequentes são: alternativa, solução, custo, decisor, performance, objetivos. Os nós que ligam as palavras deste grupo são próximos. Tem-se a mesma interpretação sobre o *cluster* indicado na cor verde. Esse grupo de 59 termos relacionados ao uso e exploração de recursos retrata as seguintes palavras como as mais frequentes: fatores, solo, água, bacias hidrográficas, parâmetros. Os dois grupos citados até aqui possuem significativa relação entre si, embora os nós entre eles estejam relativamente distantes.

O *cluster* azul, posicionado entre os dois anteriores e com 40 termos, destaca com mais frequência as palavras: água, rio, clima, pressão, proteção, etc. O último grupamento, de 11 termos, cor amarela e posicionado mais acima na Figura 19, relaciona-se com os outros três *clusters*, embora com maior proximidade e frequência do *cluster* verde. Pelo uso da metodologia multicritério, esses elementos podem ser rotulados devido à dimensão, importância ou frequência dos termos.

O levantamento bibliométrico demonstra que a produção científica envolvendo as ferramentas de métodos multicritérios na gestão da água teve aumento gradual ao longo do período analisado, totalizando 499 publicações entre o ano de 2000 e o sétimo mês de 2017. A média anual foi de aproximadamente 27 publicações. Contudo, o aumento é mais expressivo a partir do ano de 2005, em que a quantidade média das produções se eleva para 35 trabalhos/ano. Os desvios padrões são 17,3 e 14,1, respectivamente (Figura 20 – A).

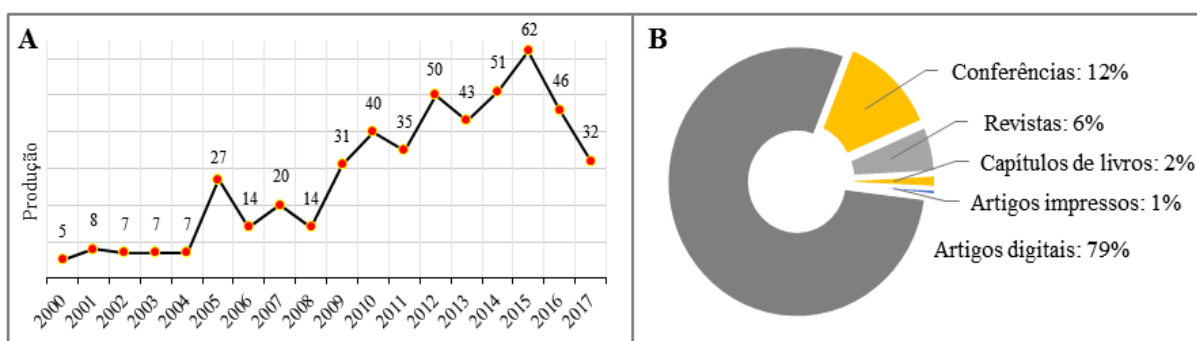


Figura 20 – A) Evolução da produção científica sobre MCDA e gestão da água no período de 2000 a 2017; (B) Meio de divulgação da produção científica

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da *Scopus* (2017).

Nota: Para o ano de 2017 foi considerada a produção dos sete primeiros meses.

A forma de artigo online possui maior relevância entre todas as publicações: 395 do total (Figura 20 – B). Os artigos estão distribuídos em 19 subáreas do conhecimento e mais de 80% do total estão concentrados em: Ciência Ambiental (46,3%), Ciências Agrícolas e Biológicas (12,9%), Ciências da Terra e Planetárias (8,8%), Engenharia (8,6%) e Ciências Sociais (6,0%). As subáreas Ciência da Computação, Bioquímica, Negócios, Gestão e Contabilidade, Medicina, Engenharia Química, Química e Veterinária foram utilizadas como filtro de exclusão. Após a execução deste filtro, restaram 339 artigos.

O filtro restritivo aplicado posteriormente ocorre por meio da supressão de palavras desassociadas do interesse desta pesquisa. Neste filtro foram excluídas as palavras: *Irrigation*, devido ao predomínio de trabalhos sobre otimização de sistemas de irrigação; *Models Theoretical*, por apresentar artigos especificamente sobre modelagem; *Geographic Information Systems*, porque as publicações são predominantemente sobre georreferenciamento. Esse último filtro reduziu o total de documentos para 219 unidades.

A etapa decorrente consistiu na leitura dos títulos das publicações para verificar o alinhamento com a temática do gerenciamento dos recursos hídricos na agricultura por meio de ferramentas multicritérios. Essa etapa é essencialmente de natureza qualitativa e resultou na seleção de 80 artigos potenciais. Após leitura dos *abstracts* e dos resultados e considerações, 30 artigos foram escolhidos para compor o quadro referencial desta bibliometria. Eles serão examinados a seguir.

Como base nas publicações geradas, foram analisados os parâmetros: “relevância dos periódicos e das obras”, “intervalo de tempo e local em que foi publicada” e, por último, foi realizada uma análise qualitativa das publicações. A relevância dos periódicos para a área do conhecimento da pesquisa é medida pela produtividade, pelo fator de impacto e pela quantidade de citações que o periódico possui. Os periódicos vinculados aos artigos selecionados nesta pesquisa são conceituados conforme exposto na Figura 21.

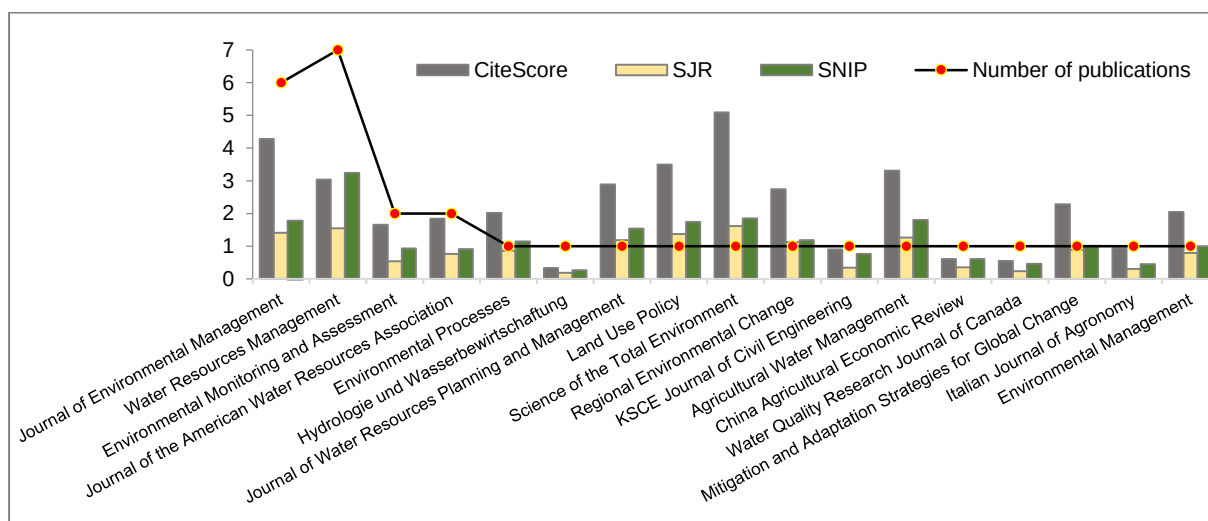


Figura 21 – Publicação e qualificação por periódico para os 30 artigos escolhidos
 Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da *Scopus* (2017).

Os periódicos *Journal of Environmental Management* e *Water Resources Management* juntos publicaram mais de 40% dos artigos selecionados. O primeiro também lidera a quantidade de citações recebidas: 25.167 somente no ano de 2016 (Figura 22).

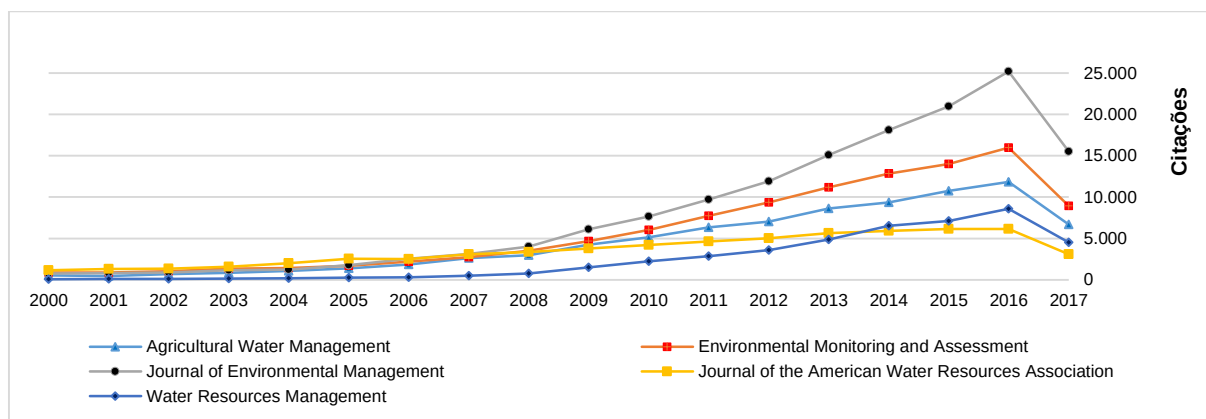


Figura 22 – Frequência de citação dos periódicos mais citados
Fonte: Elaboração pelo autor com base nos dados da Scopus (2017).

Os trabalhos mais citados são apresentados na Figura 23 e representam 77,5% do somatório das citações dos 30 artigos. O trabalho com maior número de citações é de Hermans et al. (2007), com 63 citações. Nele é discutido o planejamento colaborativo no gerenciamento de rios por meio da abordagem multicritério numa bacia hidrográfica no nordeste dos Estados Unidos.

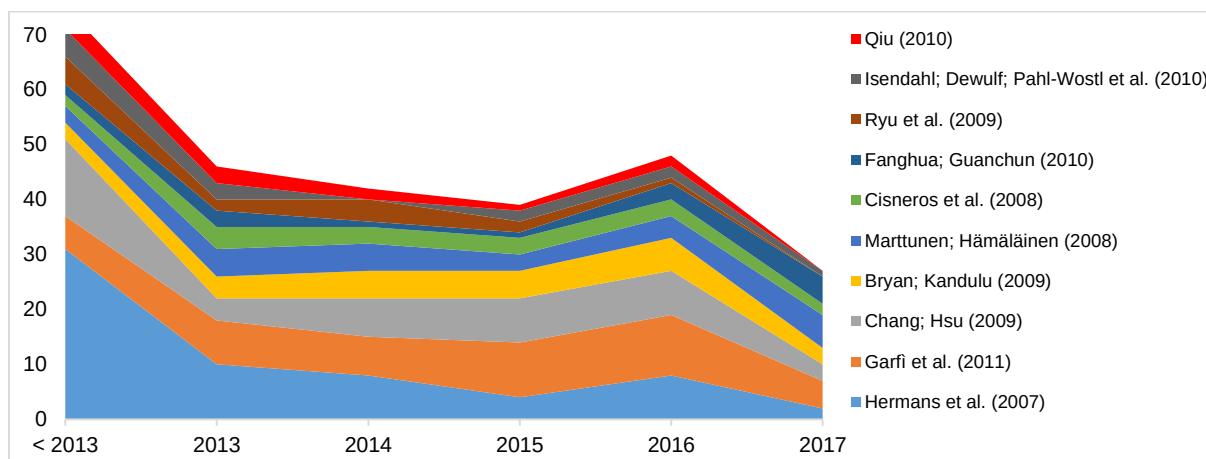


Figura 23 – Frequência de citação dos artigos mais citados
Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da Scopus (2017).

Observa-se que as publicações estão concentradas nos últimos dez anos, sendo a grande maioria publicada nos Estados Unidos da América (Figura 24). As afiliações com maior número de autores nos trabalhos publicados são de *Feng Chia University* (Taiwan), *University of Tehran* (Irã) e *Universidad Politécnica de Madrid* (Espanha).

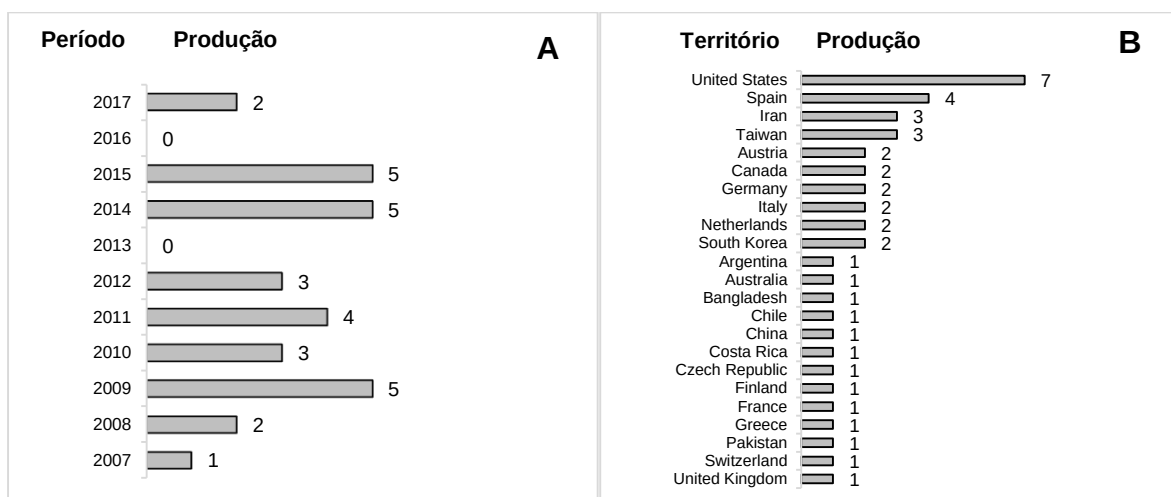


Figura 24 – (A) Intervalo de tempo e (B) Local das publicações

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da *Scopus* (2017).

A amostragem das publicações selecionadas (e apresentadas no Quadro 5) foi estabelecida tendo-se como critério a correspondência existente entre o problema de pesquisa abordado nos artigos e o objeto da presente investigação. Ademais, foram ponderados os procedimentos utilizados pelos autores para solucionar o problema apresentado e os principais resultados obtidos com o estudo. Posteriormente, foram classificadas as características agregativas, compensatórias e participativas presentes nos pressupostos metodológicos dos trabalhos.

Em linhas gerais, as questões de pesquisa mais tratadas nos artigos abordam algumas das particularidades relativas à tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos, como modelos de distribuição da água, formas de prevenção e redução da poluição e maximização econômica e monetária. Também são abordados outros benefícios derivados da água e relacionados ao bem-estar da população.

Autores	Título do artigo	Suposições
Hermans et al. (2007)	<i>Collaborative environmental planning in river management: An application of multicriteria decision analysis in the White River Watershed in Vermont</i>	Agregativo Não compensatório Participativo
Garfi et al. (2011)	<i>Multi-criteria analysis for improving strategic environmental assessment of water programmes. A case study in semi-arid region of Brazil</i>	Agregativo Compensatório Não participativo
Chang; Hsu (2009)	<i>Multi-criteria analysis via the VIKOR method for prioritizing land-use restraint strategies in the Tseng-Wen reservoir watershed</i>	Agregativo Compensatório Não participativo
Bryan; Kandulu (2011)	<i>Designing a Policy Mix and Sequence for Mitigating Agricultural Non-Point Source Pollution in a Water Supply Catchment</i>	Agregativo Compensatório Participativo
Marttunen; Hämäläi (2008)	<i>The decision analysis interview approach in the collaborative management of a large regulated water course</i>	Agregativo Compensatório Participativo
Cisneros et al. (2011)	<i>Assessing multi-criteria approaches with environmental, economic and social attributes, weights and procedures: A case study in the Pampas, Argentina</i>	Agregativo Compensatório Não participativo
Fanghua; Guanchun (2010)	<i>A fuzzy multi-criteria group decision-making model based on weighted Borda scoring method for watershed ecological risk management: A case study of Three Gorges Reservoir area of China</i>	Agregativo Compensatório Participativo
Ryu et al. (2009)	<i>Sustainable water resources management in a conflict resolution framework</i>	Agregativo Compensatório Participativo
Isendahl; Dewulf; Pahl-Wostl (2010)	<i>Making framing of uncertainty in water management practice explicit by using a participant-structured approach</i>	Não agregativo Não compensatório Participativo
Qiu (2010)	<i>Prioritizing agricultural lands for conservation buffer placement using multiple criteria</i>	Agregativo Compensatório Não participativo
Chang; Chao (2012)	<i>Using the analytical hierarchy process to assess the environmental vulnerabilities of basins in Taiwan</i>	Agregativo Compensatório Não participativo
Ravier et al. (2015)	<i>Multi-criteria and multi-stakeholder assessment of cropping systems for a result-oriented water quality preservation action programme</i>	Agregativo Compensatório Participativo
Stefanopoulos et al. (2014)	<i>Application of the Multi-Attribute Value Theory for engaging stakeholders in groundwater protection in the Vosvozis Catchment in Greece</i>	Agregativo Compensatório Participativo
Giupponi; Fassio; Sgobbi (2008)	<i>Evaluation of Agri-environmental measures in the Venice lagoon watershed. Expert knowledge elicitation and multi-criteria analysis</i>	Não agregativo Não compensatório Não participativo
Biswas et al. (2012)	<i>Evaluating integrated watershed management using multiple criteria analysis – A case study at Chittagong Hill Tracts in Bangladesh</i>	Agregativo Compensatório Participativo
Westbury et al. (2011)	<i>Assessing the environmental performance of English arable and livestock holdings using data from the Farm Accountancy Data Network (FADN)</i>	Agregativo Compensatório Não participativo
Fedra (2015)	<i>River Basin Management: What do we Really Want?</i>	Agregativo Compensatório Não participativo
Choi; kim; lee (2012)	<i>Decision of the water shortage mitigation policy using Multi-Criteria Decision Analysis</i>	Agregativo Compensatório Não participativo
Chitsaz; Azarnivand (2017)	<i>Water Scarcity Management in Arid Regions Based on an Extended Multiple Criteria Technique</i>	Agregativo Compensatório Participativo
García de Jalón et al. (2014)	<i>Building resilience to water scarcity in southern Spain: A case study of rice farming in Doñana protected wetlands</i>	Agregativo Compensatório Participativo
Benegas et al. (2009)	<i>A methodological proposal for the evaluation of farmer's adaptation to climate variability, mainly due to drought in watersheds in Central America</i>	Agregativo Compensatório Participativo

Autores	Título do artigo	Suposições
Abed-Elmdoust; Kerachia (2014)	<i>Evaluating the Relative Power of Water Users in Inter-Basin Water Transfer Systems</i>	Agregativo Compensatório Não participativo
Ahmadi et al. (2015)	<i>Application of multicriteria decision analysis with a priori knowledge to identify optimal nonpoint source pollution control plans</i>	Agregativo Compensatório Não participativo
Atisa; Bhat; McClain (2014)	<i>Economic Assessment of Best Management Practices in the Mara River Basin: Toward Implementing Payment for Watershed Services</i>	Agregativo Compensatório Não participativo
Booty; Benoy (2009)	<i>Multicriteria review of nonpoint source water quality models for nutrients, sediments, and pathogens</i>	Agregativo Compensatório Não participativo
Ocampo-Melgar et al. (2017)	<i>Potential of an outranking multi-criteria approach to support the participatory assessment of land management actions</i>	Agregativo Não compensatório Participativo
Haider et al. (2015)	<i>Sustainability Evaluation of Surface Water Quality Management Options in Developing Countries: Multicriteria Analysis Using Fuzzy UTASTAR Method</i>	Agregativo Compensatório Não participativo
Chang; Lin; Chiueh (2014)	<i>Single criterion and multiple criteria analysis: A comparison of water quality monitoring designs for a river system</i>	Agregativo Compensatório Não participativo
Grundmann; Schütz (2015)	<i>Technological challenges and solutions for an optimal management of coupled groundwater-agriculture hydrosystems in arid and semiarid coastal regions</i>	Agregativo Compensatório Não participativo
Mansoori; Kohansal; Ghousi (2009)	<i>Introducing a lexicographic goal programming for environmental conservation program in farm activities: A case study in Iran</i>	Agregativo Não compensatório Não participativo

Quadro 5 – Análise dos artigos selecionados sobre a gestão dos recursos hídricos

Fonte: Elaborado pelo autor com base em levantamento bibliográfico (2017).

Os artigos apresentados no Quadro 5 acima avaliam cenários considerando, de alguma forma, aspectos inerentes ao decisor ou ao grupo de decisores, tais como seus valores, seus objetivos, seus preconceitos, sua cultura e sua intuição. Em todas as investigações selecionadas nesta bibliometria, está presente alguma forma de hierarquização de critérios no estudo das potencialidades (disponibilidade e qualidade) e das vulnerabilidades em relação à demanda e ao uso da água (seja temporal, espacial, coletivo ou individual).

Além disso, ao encontro da abordagem selecionada nesta tese, percebe-se que em 28 trabalhos pressupõe-se alguma forma de agregação ou síntese para considerar a contribuição de cada um dos critérios utilizados. Apenas dois trabalhos não se utilizaram desta estratégia. Nesses estudos, o interesse não está focado na classificação ou ordenamento, mas, como explica Roy (1996), na descrição do contexto e/ou entendimento das alternativas.

Nesses casos, cada critério de avaliação exprime uma função matemática para medir o desempenho das ações potenciais de um determinado aspecto. Um exemplo deste tipo de procedimento é AHP, desenvolvido por Thomas Saaty em 1971 (WIND;

SAATY, 1980). Este procedimento de agregação utilizado para identificar a melhor alternativa perante um conjunto de critérios predefinidos foi empregado em 11 trabalhos.

De maneira geral, as publicações selecionadas realizaram julgamentos de diversos parâmetros e indicadores de quantidade (em diferentes usos) e qualidade (por distintos poluentes) da água. Esses indicadores frequentemente estão relacionados com o saldo entre demanda e oferta de água em uma bacia hidrográfica e também estão integrados ao contexto local, à função social e econômica que a água possui nas circunstâncias em que foram avaliadas.

Desse modo, associada à questão da agregação está a natureza compensatória entre os critérios considerados. Esta suposição está presente em 25 trabalhos. Ou seja, a piora em um critério pode ser compensada pela melhora em outro. Estas suposições dependem em grande medida do tipo de problema, dos *stakeholders* e dos critérios envolvidos. Por exemplo, nestes modelos é possível que a deterioração ambiental decorrente de uma estratégia de uso das águas em bacias hidrográficas seja compensada pela melhoria do emprego ou da renda decorrente de seu uso (ver GARFÌ et al., 2011). Conforme Cisneros et al. (2011), o mecanismo compensatório pode ajudar em processos de negociação para escolhas entre o uso intensivo do solo – em sistemas de cultivo com a rotação de soja e milho – e sistemas mais conservacionistas – com pastagens e florestas.

O último aspecto a ser discutido refere-se à natureza participativa do processo de modelagem. Em 17 trabalhos, tanto a identificação dos critérios quanto a parametrização ficaram a cargo do analista ou de especialistas. É o caso do trabalho de Choi, Kim e Lee (2012) na avaliação de políticas de longo prazo na Bacia do Rio Nakdong, Coreia do Sul. O adendo aos estudos deste tipo é que nem sempre a racionalidade do analista se aproxima da racionalidade dos *stakeholders*.

Em contrapartida, em 13 artigos foi considerado algum tipo de participação dos *stakeholders* diretamente envolvidos com a problemática do trabalho. Nestes trabalhos (veja-se o caso de Biswas et al., 2012), eles contaram com a participação de diversos profissionais, especialistas e grupos de interesse para gerar uma hierarquia de critérios de natureza quantitativa e qualitativa. Além disso, fizeram uso de ferramentas psicométricas para realizar os diagnósticos. As informações foram associadas com a percepção das partes interessadas – como agricultores, autoridades locais e regionais, agência de regulamentação ambiental e especialistas

–, que foi apurada por meio de entrevistas direcionadas. Eles também utilizaram o AHP para avaliar diferentes estratégias de uso e gestão de bacias hidrográfica em Bangladesh.

Nos casos em que a investigação abrangia um público numeroso, como naquele relatado por Ocampo-Melgar et al. (2017), foram utilizados procedimentos não compensatórios, aparentemente transparentes o suficiente para garantir o engajamento dos *stakeholders*. Em outro artigo, Ravier et al. (2015) utilizaram entrevistas individuais para garantir a participação de múltiplos *stakeholders*, procedimento, segundo os autores, que lhes ajudou a elaborar um modelo multicriterial abrangente e adaptado às questões locais.

Ravier et al. (2015) demonstraram que medidas de incentivos financeiros públicos usadas para encorajar agricultores a adotar práticas com baixo impacto ambiental (como a redução do uso de fertilizante nitrogenado e de agrotóxicos) não foram efetivas e suficientes para refletir-se em resultados positivos na qualidade da água. Por outro lado, os resultados desta mesma investigação apontam que uma combinação de fatores (econômicos, sociais e geográficos) acordados conjuntamente entre os atores sociais (agricultores, agentes de desenvolvimento e gestores), sob pena de sofrer penalizações ou gozar incentivos financeiros, mostrou-se como um meio eficiente para amenizar impactos gerados pela agricultura e transferidos para os recursos hídricos.

O principal objetivo observado nos modelos dos artigos consultados é planejar um conjunto de políticas, medidas e tecnologias com custos e eficiências próximos aos da solução padrão (de referência) para conduzir as decisões em direção a algum conjunto de valores alcançáveis (FEDRA, 2015). De certo modo, significa dizer que o problema passa a ser estruturada com base em uma simulação em um ambiente modelo, muitas vezes considerado uma situação utópica. Essas simulações são utilizadas para orientar as ações e as decisões em direção aos objetivos reais pretendidos.

Segundo Bryan e Kandulu (2011), ao abordar os obstáculos referentes aos dispositivos de gestão da qualidade da água na agricultura, evidencia-se certa inclinação por parte do Estado e da sociedade civil a usar instrumentos tradicionais e individualizados. Desta forma, segundo eles, o modo de governança dos recursos hídricos é inapropriado e ineficiente, tornando os problemas relativos à qualidade da água ainda mais agravados nas circunstâncias em que: (a) falte compreensão entre

os agricultores sobre os impactos do uso da terra na água; (b) haja escassez de mão de obra na agricultura; (c) as competências e a disponibilidade de consultores ou extensionistas sejam limitadas; (d) ocorram ausência e desconhecimento de mecanismos regulatórios; (e) haja incompatibilidade entre a agricultura praticada e gerida em propriedades privadas e o processo coletivo de tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos.

Parece que na literatura examinada a implementação de ações macro, quando estruturadas e estabelecidas junto com os agricultores sob a forma de medidas “orientadas para resultados” (em que haja recompensas baseadas em possíveis repercussões positivas), é sinalizada com otimismo para compatibilizar a produção agrícola e a conservação dos recursos naturais. Estas medidas, além de considerar uma ampla variedade de estratégias de gestão construídas e implementadas com a participação dos interessados no problema, podem instigar o compromisso dos atores e favorecer o gerenciamento adequado às circunstâncias particulares do contexto ambiental e socioeconômico local. Desta forma, são capazes de promover efeitos positivos de curto, médio e longo prazo sobre a qualidade da água.

Finalmente, Ravier et al. (2015) salientam que a estruturação e a discussão dos problemas por meio de ferramentas multicritérios contribuíram promovendo ambiente favorável de debates sobre a problemática da água e seus múltiplos pontos de vista, inclusive nos casos em que os atores não conseguiram chegar a um consenso em relação aos objetivos. Deste modo, mesmo que restem objetivos antagônicos, com decisões divididas, há otimismo demonstrado por parte dos autores, indicando ser possível harmonizar os propósitos destes espaços com ações prolongadas.

Entre as reflexões a respeito deste levantamento bibliométrico, considera-se que as consequências do uso da terra e das práticas inadequadas de manejo na agricultura em áreas de captação de água podem afetar uma parcela da população e o setor agrícola. Por conseguinte, além dos elementos e condições intrínsecas ao contexto local (em que os agricultores possuem influência), existem fatores externos (de pouco ou nenhum controle) que precisam ser considerados nos processos decisórios. Exemplos são a legislação, os incentivos governamentais e o mercado, que indiretamente estão conexos ao ambiente local.

A análise dos artigos selecionados mostrou que a utilização de métodos multicritérios nos estudos sobre a gestão dos recursos hídricos se baseia predominantemente em procedimentos de agregação dos critérios e que os modelos

em geral são compensatórios. Entretanto, há clara divisão dos documentos no quesito participação dos *stakeholders*. Em alguns, tiveram participação destacada e em outros, os analistas ou especialistas se sobressaíram.

Por isso, num processo de construção e avaliação de alternativas, é preciso estar atento e garantir a participação de cada área de interesse (usuários da água, responsáveis pelo abastecimento público e esgotamento sanitário, setores de geração de energia, produção rural, industrial, transporte e mineração, turismo e lazer, etc.) para evitar que determinadas escolhas sejam apoiadas ou rejeitadas por valores discrepantes entre algumas das partes interessadas.

Outro ponto a ser destacado é a desenvoltura das políticas agrárias dos países desenvolvidos em que foi realizada grande parte das investigações dos documentos analisados. A política agrária dos países desenvolvidos, especificamente na União Europeia, tem fornecido um nível básico de segurança aos agricultores por meio de programas de garantia de renda, diferentemente do que pode ser observado nas políticas públicas dos países em desenvolvimento. Esta circunstância pode condicionar os resultados quando comparados com os da situação de países como o Brasil.

Sobretudo, as experiências averiguadas neste levantamento bibliográfico não demonstraram ser conclusivas para projetar alternativas sob a ótica dos sistemas de produção agrícola familiar. O estudo desenvolvido por Ravier et al. (2015) foi o que mais se aproximou da proposta desta tese. Contudo, apesar dos pontos em comum, ele não enfatizou aspectos relativos aos sistemas de produção, para retratar correspondências entre as características dos estabelecimentos e as estratégias utilizadas nos sistemas produtivos, relacionadas com a qualidade ambiental. Portanto, se faz oportuno incluir este ponto na agenda de pesquisa.

4.2 Governança brasileira e pontos críticos da problemática da água na Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé (RS)

O Brasil encontra-se em situação favorável em termos da quantidade e disponibilidade hídrica. São mais de 200.000 bacias presentes em 12 regiões hidrográficas, como a bacia Amazônica (que corresponde a 53% da água superficial

da América do Sul e a 12% da água doce do mundo). Embora o país possua expressivo potencial hídrico, o acesso à água não é equitativo: a disponibilidade varia em função da região, da distribuição da população, do regime hídrico, entre outros fatores. Por exemplo, a baixa disponibilidade de água na região Nordeste (especialmente no semiárido), proporciona significativas adversidades para o desenvolvimento de atividades produtivas relacionadas à exploração agrícola. Diferentemente, do Nordeste, na região Sul (correspondente à 6,8% do território brasileiro e 6,5% da água disponível), mesmo que sejam registadas estiagens com certa regularidade, a água disponível é suficiente para atender a demanda da população e dos sistemas de produção agrícolas desenvolvidos (BRASIL, 2015).

Segundo dados disponibilizados pela Agência Nacional de Águas, a água utilizada no Brasil é destinada principalmente para irrigação, abastecimento humano e animal, indústria e geração de energia. Em termos de quantidade, a irrigação é a maior demandante do recurso no país: estima-se que a área irrigada em 2018 foi de cerca de 7,3 milhões de hectares. Os principais sistemas de irrigação são inundação e pivôs, com 30 e 26%, respectivamente, da área irrigada. O sistema de irrigação por inundação está concentrado no Rio Grande do Sul, e o principal cultivo irrigado é o arroz (25% de toda a área irrigada no Brasil). Os principais polos com irrigação por pivô estão localizados na Região Sudeste, onde somente o estado de Minas Gerais possui 30% de toda a área nacional irrigada por pivô central. O cultivo da cana-de-açúcar utiliza cerca de 20% da área irrigada por pivôs. Ademais, observa-se que a área média adicional irrigada por pivôs nos últimos sete anos foi de 94 mil hectares ao ano (ANA, 2019).

Em síntese, é crescente a demanda hídrica no Brasil, que inclui destinos como irrigação agrícola, abastecimento humano e animal, fornecimento para indústria e geração de energia. Calcula-se que nas últimas duas décadas a demanda cresceu 80% e estima-se que até 2030 a retirada aumente 26%. Segundo relatório da ANA (2019), as regiões mais críticas são a Região Sudeste, onde se destaca o uso da água para abastecimento humano, irrigação e na indústria, e a Região Sul, em que é expressiva a retirada de água para irrigação de grandes lavouras de arroz.

A água retirada para a irrigação, equivalente a 46,2% do total, passa por uma exposição difusa de agrotóxicos e fertilizantes utilizados nos sistemas de produção. Semelhante ocorre com a criação animal, em que expõem 7,9% da água retirada exposta a medicamentos de uso veterinário e dejetos, para atender as demandas da

população urbana e rural e o lançamento de efluentes nos corpos de água (24,9% do total retirado), tornaram-se um relevante problema ambiental a ser administrado no Brasil (ANA, 2019).

A demanda crescente pela retirada e consumo de água, problemas relativos à qualidade dos recursos hídricos, associado a ampla diversidade geográfica e socioeconômica das diferentes regiões brasileira, sugere que os desafios para a gestão dos recursos hídricos são múltiplos e excessivamente complexos.

Com o objetivo de contribuir minimamente com a temática descrita, a presente seção discorre sobre alguns dos aspectos referentes ao modelo de gerenciamento dos recursos hídricos praticado atualmente. Em um primeiro momento observa-se a estrutura de governança adotada em nível nacional e regional e, posteriormente, descrevem-se as particularidades referentes à gestão da Bacia do Guaporé.

4.2.1 Modelo de gestão dos recursos hídricos no Brasil e no Rio Grande do Sul

Embora as águas brasileiras tenham sido tratadas desde o período do Império por diversas constituições, foi o Decreto 24.643 de 1934 que abordou o tema de forma objetiva quanto ao domínio (da União, dos Estados e dos Municípios) e classificação (águas públicas de uso comum e águas particulares) (PES, 2005). O decreto foi promulgado em um contexto nacional de modernização produtiva. Na ocasião, a água era concebida como essencial para a geração de riquezas e desenvolvimento econômico, o que tornou o decreto um marco na legislação brasileira. Além do Código das Águas de 1934, houve outros três momentos decisivos na legislação brasileira que orientaram o desenvolvimento do atual sistema de governança dos recursos hídricos, como ilustra Figura 25.

Antes da década de 1970, os temas relacionados ao uso da água no Brasil eram tratados sob a perspectiva da conveniência dos grandes usuários, normalmente em eventos associados falta de água devido às estiagens, ou seja, relacionados à demanda. Não havia preocupação com as bacias hidrográficas fundamentada em unidades de planejamento e gestão dos recursos hídricos, de modo que às decisões relativas ao uso da água eram tomadas pelo governo sem consentimento social.

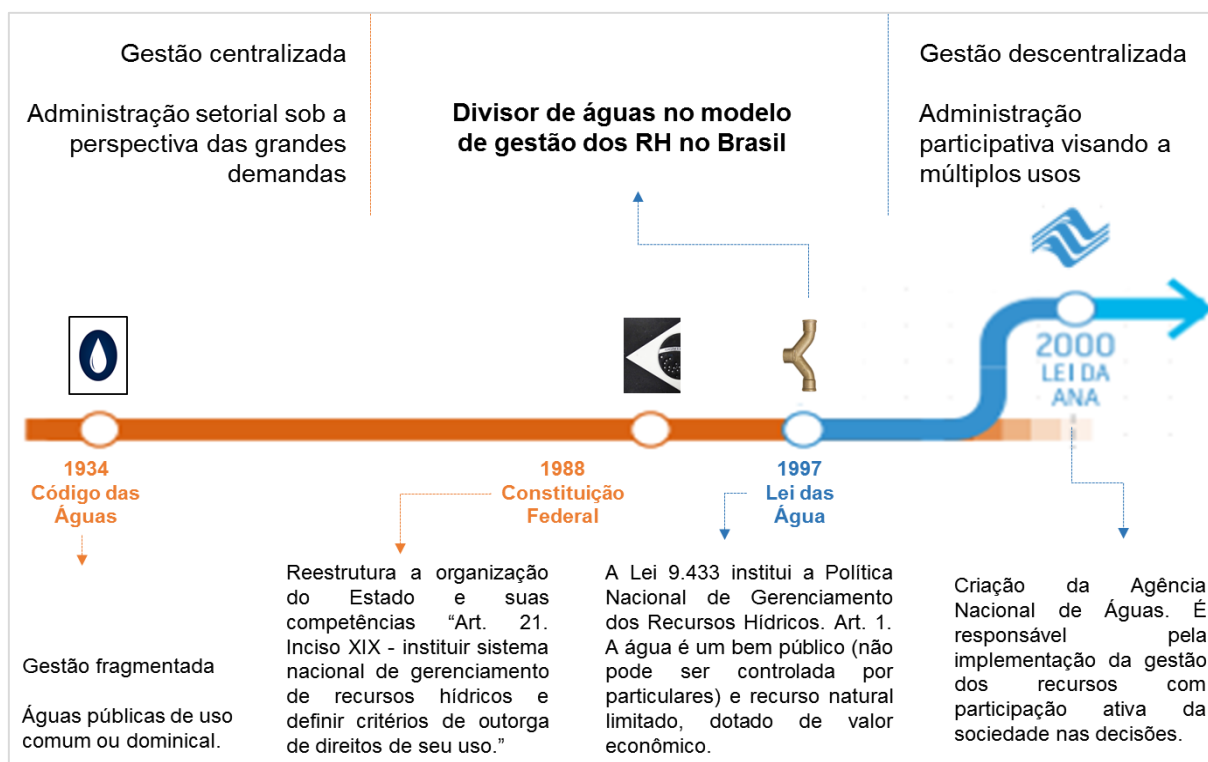


Figura 25 – Fatos históricos na legislação dos recursos hídricos no Brasil

Fonte: Adaptado do relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil (ANA, 2017).

No final da década de 1970 e início da década seguinte, as questões associadas à gestão da água adquiriram complexidade, por conta do alargamento da demanda agrícola, ampliação da indústria em algumas regiões do país e devido ao crescimento populacional de grandes metrópoles, como São Paulo. A falta de planejamento e gestão revelou uma série de externalidades negativas para os recursos hídricos, até então inéditas para os brasileiros. Esta configuração pôs em risco os usos múltiplos da água e incitou conflitos entre usuários, que por sua vez, resultou na criação de mecanismos que visaram contemplar diferentes interesses sociais no planejamento dos recursos hídricos brasileiros (ANA, 2011).

Convém destacar que esse é um período marcado por crescentes preocupação com o meio ambiente os recursos naturais no contexto internacional. Tal paradigma sensível as mudanças na qualidade e quantidade dos recursos naturais espalhou-se pelo mundo através de diversos movimentos, principalmente após a Conferência de Estocolmo (1972), que promoveram fóruns de debate sob a ótica ambiental (STANNERS et al., 2007).

Diante deste cenário, internacional e nacional, as questões relativas as condições sanitárias de algumas das bacias hidrográficas brasileiras – antes preocupações exclusivas dos usuários locais – passaram a integrar a agenda governamental. Cita-se o acordo firmado entre o Ministério das Minas e Energia e o Governo do Estado de São Paulo que instituiu o Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas (CEEIBH). O CEEIBH foi o primeiro órgão descentralizado de gestão dos recursos hídricos no Brasil. Integrado por agentes governamentais e usuários da água, entre suas atribuições estavam: classificar os cursos de água da União, realizar estudos integrados para o uso o aproveitamento dos recursos hídricos e discutir alternativas para minimizar impactos ambientais decorrentes das intervenções antrópicas (ANA, 2011).

Subsequentemente foram criados Comitês Especiais em outras bacias hidrográficas, a exemplo do Paraíba do Sul (RJ, MG, ES e SP), São Francisco (MG, BA, PE, SE e AL), Ribeira de Iguape (SP e PR) e Guaíba (RS). Os CEEIBH são os embriões da gestão da água por unidade de bacia hidrográfica. A transição dos CEEIBH, que se restringiam à esfera consultiva, para Comitê da Bacia Hidrográfica (CBH), com a participação ampliada de usuários e organizações da sociedade civil e com poder deliberativo, ocorreu à luz de experiências internacionais, excepcionalmente sob a forte referência ao modelo de gestão hídrica francesa (ANA, 2011).

Tal experiência inovadora para a gestão dos recursos hídricos brasileiros pode ser observada na região metropolitana de Porto Alegre (RS). No fim da década de 1980, grupos sociais, universidades e os técnicos da Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) passaram a discutir com a sociedade o problema da contaminação do Rio dos Sinos. Em um dos eventos realizados por este movimento, foi proposta a criação do Comitê de Preservação, Gerenciamento e Pesquisa da Bacia do Rio dos Sinos, posteriormente promulgado pelo Decreto Estadual nº 32.774 de 1988. Assim se estabelecia o primeiro comitê de gerenciamento de bacia hidrográfica estadual implantado no país (ANA, 2011).

Além da instância governamental, compunham o comitê de gestão criado na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, universidades, movimentos ecológicos, entidades empresariais, prefeituras municipais, câmaras de vereadores e outras organizações da sociedade civil. Ressalta-se que na ocasião, a sociedade brasileira

vivia um contexto de transformação na estrutura política em virtude da transição de regime ditatorial para um modelo democrático.

A Constituição Federal, promulgada em 1988, além de restabelecer a inviolabilidade de direitos e liberdades básicas, salienta diversos aspectos de proteção e garantias ao meio ambiente (ANA, 2011). Seu art. 225, por exemplo, destaca o dever do Poder Público com a preservação de um ambiente ecologicamente equilibrado aos cidadãos. O inciso XIX do art. 21 atribui à União instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Desde então, o domínio da água torna-se público, extinguindo as chamadas “águas particulares”, e a gestão passa a ser compartilhada entre a União e os estados, sendo a União a única instância legisladora (BRASIL, 1988).

Isso significa que as águas brasileiras possuem duplo domínio: a União e os Estados Federados. Assim, competem aos últimos, as águas subterrâneas e os corpos de água que se localizam integralmente dentro do próprio estado. Nos casos em que as massas de água se dividem em mais de um estado ou país, o domínio é federal e a gestão é exercida pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2017).

Em 1991, o governo federal enviou ao Congresso Nacional um projeto de lei instituindo a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). A PNRH dispõe sobre os instrumentos para a gestão dos recursos hídricos, que incluem planos¹⁴ com diretrizes para orientar as ações de regulação, enquadramento dos corpos de água em classes, cobrança e fiscalização referentes à utilização e um Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (ANA, 2017a).

Nos anos seguintes, ainda na década de 1990, alguns estados brasileiros¹⁵ elaboraram políticas próprias para a gestão de recursos hídricos em seus domínios. Embora com regulamentos particulares, em certa medida essas políticas regionais dialogaram com a política nacional, o que contribuiu para acelerar a tramitação do Projeto de Lei no Congresso Nacional e que, assim, fosse aprovada, em 1997, a Lei nº 9.433, atualmente conhecida como Lei das Águas. É ela que estabelece a bacia

¹⁴ Os planos geralmente são elaborados por bacias, mas também podem ser apresentados por estados ou para toda a nação. O primeiro plano nacional data dos anos de 2005 e 2006 e em seu escopo foram definidas as ações e programas a serem implementados até 2020. Desde então, passou por duas revisões: uma em 2010 e outra em 2015 (ANA, 2017).

¹⁵ São Paulo (1991), Ceará (1992), Santa Catarina e Distrito Federal (1993), Minas Gerais e Rio Grande do Sul (1994) e Sergipe e Bahia (1995) (ANA, 2011).

hidrográfica como a base territorial de planejamento e gestão da água e orienta a criação de comitês de bacia (ANA, 2011).

Em seguida, por meio da Lei nº 9.984 (2000), foi criada a Agência Nacional de Águas (ANA), que é a responsável por implementar e executar a Política Nacional de Recursos Hídricos (PRNE), gerir e regulamentar o uso da água de domínio da União. A ANA tem autonomia administrativa, financeira e coordena o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH) (BRASIL, 2000b).

O SINGREH, por sua vez, representado pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), é a instância máxima da governança da água no Brasil. Este conselho atua como um colegiado consultivo, normativo e deliberativo e tem a função de formular, em caráter complementar, a Política Nacional de Recursos Hídricos, analisar os processos de criação de comitês de bacia e dirimir conflitos entre os conselhos estaduais e entre os comitês de bacias de rios de domínio da União. A ANA executa a Política Nacional de Recursos Hídricos enquanto o CNRH articula o planejamento de recursos hídricos. A presidência do CNRH é exercida pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) e a unidade executiva cabe à Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental (SRHQ) (ANA, 2017a). Através da Figura 26 é possível visualizar os diferentes níveis de gestão dos recursos hídricos no Brasil.

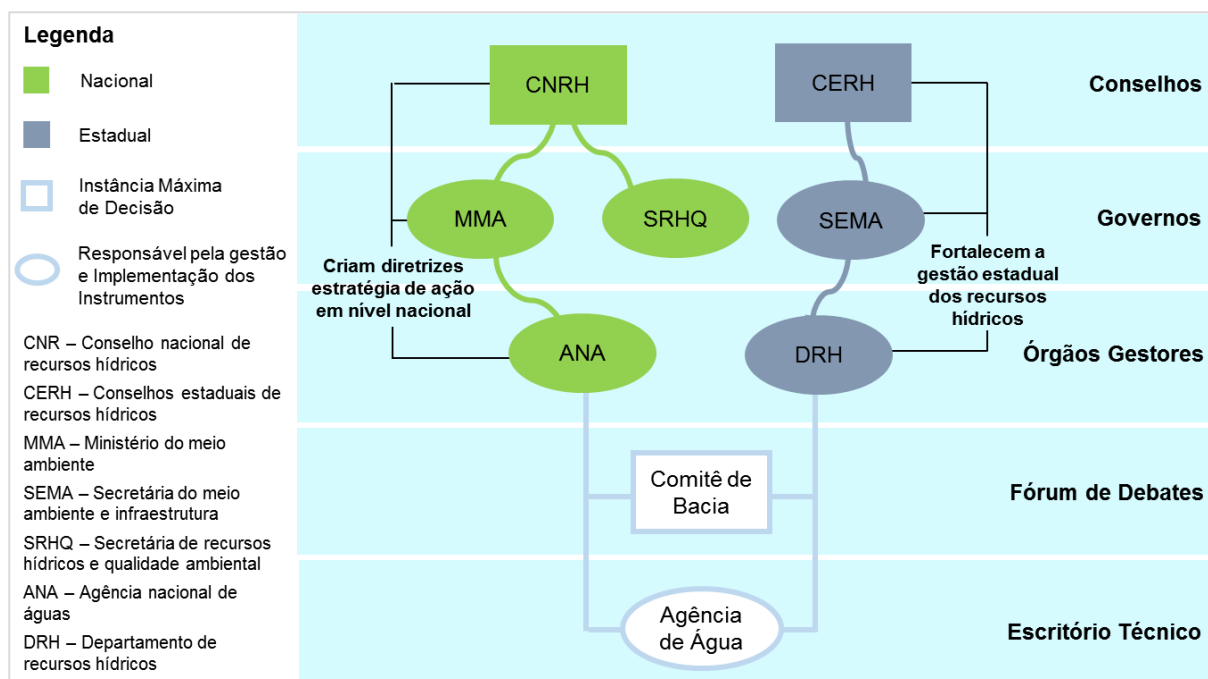


Figura 26 – Representação gráfica do modelo de gestão dos recursos hídricos no Brasil
Fonte: Adaptado do relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil (ANA, 2017a).

Além da instância de domínio nacional, o modelo organizacional da gestão dos recursos hídricos brasileiro é concebido por uma instância de domínio estadual (Figura 26). Nos estados, os Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos (CERH) participam da formulação de política dos recursos hídricos e operam como órgãos consultivos e deliberativos na jurisdição a que pertencem. Exercem funções semelhantes às do CNRH. Embora os CERH sejam disciplinados pela legislação específica de cada estado, os pressupostos norteadores são definidos na Lei nº 9.433 de 1997 (BRASIL, 1997).

Há certa flexibilidade no gerenciamento dos recursos hídricos, o que permite que as distintas regiões do país se ajustem à Política Nacional de Recursos Hídricos. O estado do Rio Grande do Sul, por exemplo, por meio da Lei Estadual 10.350 de 1994, estabeleceu como matriz institucional para a gestão dos recursos hídricos, além do Conselho de Recursos Hídricos, o Departamento de Recursos Hídricos (DRH) – afiliado à Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA) – os Comitês de Gerenciamento de Bacia Hidrográfica e as Agências de Região Hidrográfica (ARH). Estas últimas, por sua vez, deveriam funcionar como secretarias executivas dos comitês de bacias para arrecadar e aplicar os valores correspondentes à cobrança pelo uso da água de acordo com o plano de cada bacia hidrográfica (RIO GRANDE DO SUL, 1994).

No entanto, a minuta de projeto de lei de criação e regulamentação das Agências de Região Hidrográfica do Rio Grande do Sul, encaminhada em 2002 à Assembleia Legislativa do Estado, continua sem aprovação por parte da Câmara dos Deputados. Em que pesem os reflexos, nenhuma bacia hidrográfica do estado implementou qualquer sistema de cobrança pelo uso da água, exceto dos usuários do segmento da geração de energia elétrica.

As concessões titulares de energia elétrica pagam à Agência Nacional de Águas 0,75% do valor gerado em energia elétrica como forma de compensação financeira pela utilização de recursos hídricos (BRASIL, 2000b). Segundo dados disponibilizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEL, 2019), a compensação financeira no RS em 2019, por parte deste setor, foi de aproximadamente R\$ 21,8 milhões. Segundo informação verbal fornecida pelo presidente do Comitê da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas¹⁶ – e presidente vigente da

¹⁶ Informações fornecidas em entrevista realizada no Município de Estrela (RS), em agosto de 2018.

Cooperativa de Distribuição de Energia Teutônia (CERTEL) –, por não haver Agência de Água no RS, o valor de compensação pago pelas geradoras de energia deixa de ser investido localmente, pois o fundo entra no caixa único do Estado.

Os comitês de bacias hidrográficas são arranjos institucionais com múltiplas representações, que estabelecem regras e tomam decisões sobre o uso da água, em busca de harmonizar os setores usuários e as políticas públicas. Eles são necessariamente compostos por representantes da sociedade civil e usuários, além de agentes do poder público. A abrangência dos comitês varia conforme seus limites geográficos. Os Comitês Interestaduais ou Federais compreendem bacias hidrográficas que abrangem mais de uma unidade de federação; os Comitês Estaduais englobam uma ou mais bacias hidrográficas localizadas em uma única unidade de federação e há também os Comitês Únicos, nos casos em que tanto as bacias estaduais e interestaduais apresentam uma única instância deliberativa (ANA, 2017a).

Até 2018 somavam-se 225 comitês no Brasil, o que representa atuação em cerca de 82,3% dos municípios (incluindo área total e parcial), 38,8% do território nacional e abrangendo 83,9% da população. É por meio destas instâncias – os comitês de bacias hidrográficas – que são discutidos, de forma descentralizada, os interesses dos usuários em fóruns para tomar decisões sobre questões relacionadas à gestão dos recursos hídricos e mediar conflitos relativos ao uso da água em uma bacia hidrográfica específica (ANA, 2019).

Muitas vezes os interesses dos usuários são concorrentes ou conflitantes, já que uma atividade pode influenciar negativamente outra. Ou seja, há casos em que a disponibilidade de água e sua qualidade são características indispensáveis para certas atividades, enquanto para outras a água é utilizada para a diluição dos efluentes gerados. Em teoria, os comitês devem atuar como parlamentos da água, em que um grupo de interessados se reúne para discutir o uso da água referente à região de abrangência que ele representa.

Assim, os comitês são instituições de Estado e não possuem personalidade jurídica, pois suas competências são de caráter deliberativo, propositivo e consultivo, e não executivo. Dentre suas atribuições, destacam-se as:

- a) Deliberativas: arbitrar em primeira instância administrativa os conflitos de uso da água e aprovar o plano hidrológico; estabelecer os mecanismos de

cobrança pelo uso de recursos hídricos e os critérios para aplicar os recursos arrecadados em obras de uso múltiplo e de interesse comum.

- b) Propositivas: acompanhar a implementação do plano hidrológico aprovado, escolher a alternativa para o enquadramento dos corpos de água e propor aos conselhos de recursos hídricos a criação de áreas de restrição de uso, quando couber.
- c) Consultivas: promover debate sobre as questões relacionadas a recursos hídricos e fomentar a articulação das entidades intervenientes.

O Regime Interno de cada comitê regula seu funcionamento e adequa a composição representativa de cada setor de acordo com as realidades locais, desde que a representação dos poderes executivos e públicos não ultrapasse a metade de seus membros, conforme previsto em lei (BRASIL, 1997). No caso do Rio Grande do Sul, a composição dos comitês de bacia hidrográfica deve obedecer aos seguintes critérios: pelo menos 20% dos representantes da sociedade civil, no máximo 40% de representação do poder público e 40% de usuários de água (RIO GRANDE DO SUL, 1994). Esses representantes geralmente são credenciados por um processo eleitoral.

Cabe ressaltar que os comitês de BH não são modelos institucionais de gestão exclusivos para tratar os problemas relacionados ao uso da água no Brasil. Existem algumas situações em que associações de usuários, consórcios intermunicipais e comissões interestaduais se configuram como arranjos institucionais responsáveis pelo gerenciamento da água que está sob seus domínios. As diferentes características das bacias brasileiras quanto a aspectos socioeconômicos, hidrológicos, ambientais e divergências quanto aos usos (existentes e potenciais), além de fatores políticos, institucionais e jurídicos, contribuem para que a implementação dos instrumentos de gestão não seja uniforme (ANA, 2017a). Portanto, o conteúdo abordado na próxima seção se refere às particularidades da governança do Rio Taquari-Antas e da BH do Rio Guaporé.

4.2.2 Estrutura de governança da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé e desafios de gestão

O foco deste segmento é identificar e organizar um conjunto de elementos capazes de retratar pontos críticos da problemática da água na BH do Rio Guaporé (RS), relativos à qualidade, principais usos e problemas destacados por especialistas em gestão e monitoramento de bacias hidrográficas, agentes de desenvolvimento da área agrária e de fornecimento de água para consumo humano.

O Rio Grande do Sul possui três grandes bacias hidrográficas (Figura 27): a Bacia do Uruguai, que abrange cerca de 57% da área total do estado, a Bacia do Guaíba, com aproximadamente 30%, e a Bacia do Litoral, que corresponde a 13% da área estadual. A concepção de bacia como unidade básica para gestão dos recursos hídricos e para gestão ambiental se aplica desde unidades de primeira ordem até estas três grandes bacias. Dessa maneira, a região hidrográfica do Guaíba tem como principais sub-bacias: Gravataí, Sinos, Caí, Jacuí, Pardo, Vacacaí-Mirim e Taquari-Antas (SEMA, 2014).

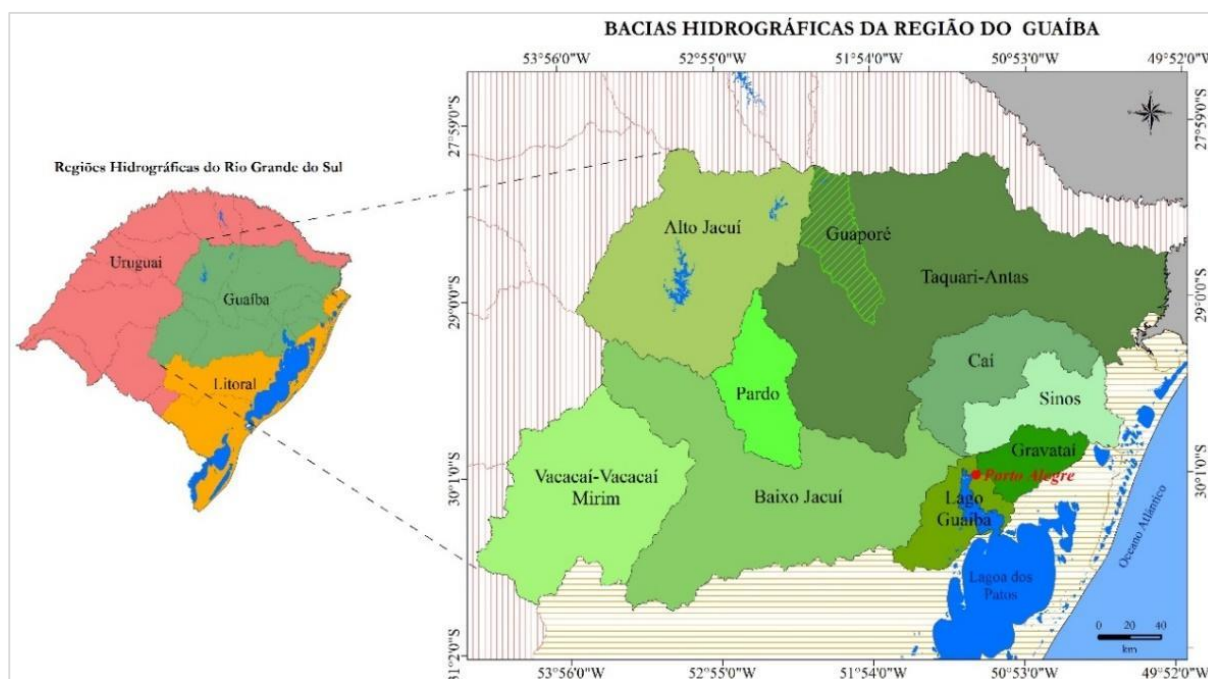


Figura 27 – Grandes regiões hidrográficas do Rio Grande do Sul
Fontes: IBGE (2017c); FEPAM (SD).

A Bacia Hidrográfica Taquari-Antas está localizada no nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Entre as BHs que possuem comitê instalado, é a maior do Brasil no que se refere ao número de municípios totalmente ou parcialmente inseridos em sua área drenada. São 119 municípios com população superior a 1,2 milhão de habitantes. Possui 546 km de comprimento, 26.415,45 km² de área drenada e é considerada a 17^a em extensão no ranking nacional e a segunda maior do estado do Rio Grande do Sul, representando aproximadamente 9% do território do RS (SEMA, 2011a).

A BH Taquari-Antas é dividida em 21 sub-bacias e em sete Unidades de Gestão (UGs) (Figura 28). As sub-bacias são unidades de planejamento ainda menores dentro das UGs, cuja finalidade é facilitar a caracterização do balanço hídrico qualitativo/quantitativo, identificar situações críticas e as possíveis causas de falta de água ou de poluição hídrica em nível local. O processo de segmentação em UGs foi oficializado em 2011 como alternativa operacional para implementar o diagnóstico e efetivar o Plano Hidrográfico da BH Taquari-Antas, uma vez que sua área de drenagem é extensa e suas características hidrológicas são heterogêneas. Trata-se de uma estratégia de desmembramento de áreas de drenagem do Rio Taquari-Antas em subdivisões que obedeçam a aspectos geomorfológicos mais homogêneos, para facilitar o gerenciamento do comitê (SEMA, 2011a).

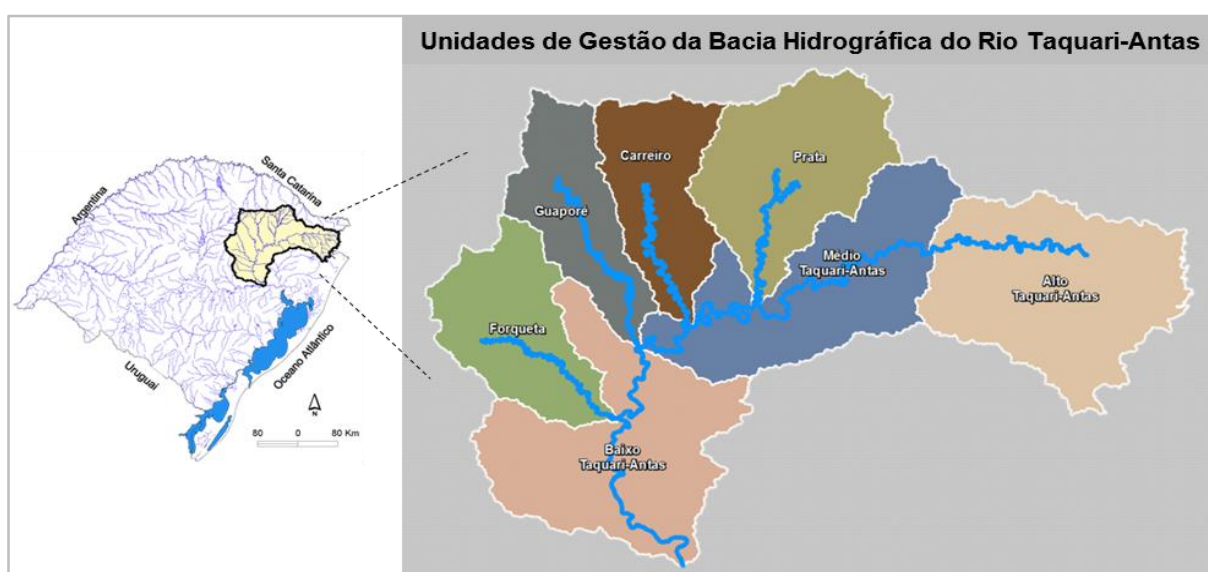


Figura 28 – Unidades de Gestão da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas
Fonte: Adaptado de Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA, 2011a).

Embora a BH do Taquari-Antas contemple subdivisões em seu território, com a finalidade de favorecer a gestão da rede hidrográfica, o gerenciamento é realizado por um único comitê. O Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, assim como os outros 24 comitês de gestão de bacias do Rio Grande do Sul, foi criado com base na Lei Estadual 10.350/1994, contudo, foi instituído a partir do Decreto nº 38.558, do ano de 1998 (RIO GRANDE DO SUL, 1998). Conforme o decreto, a composição dos integrantes do comitê obrigatoriamente deverá respeitar a seguinte determinação:

i) Representantes dos usuários da água (40%):

- Quatro membros do setor agropecuário;
- Quatro membros do setor de abastecimento público;
- Quatro membros do setor industrial e agroindustrial;
- Quatro membros do setor de esgotamento sanitário e drenagem urbana;
- Dois membros do setor de energia elétrica;
- Um membro do setor de navegação e de mineração;
- Um membro do setor de esporte, turismo e lazer;

ii) Representantes da população da bacia (40%):

- Seis membros dos legislativos municipais;
- Três membros de instituições de ensino;
- Três membros de organizações comunitárias;
- Três membros de organizações ambientalistas;
- Dois membros de organizações sindicais;

iii) Representantes da administração direta federal e estadual (20%):

indicados entre os órgãos públicos atuantes na região e relacionados com os recursos hídricos.

O Comitê da BH Taquari-Antas possui uma subdivisão política administrativa representada pela Comissão Permanente de Assessoramento (CPA). Essa comissão integrada por membros do comitê (entre 4 e 6 indivíduos) se reúne mensalmente e sempre que convocada por demandas específicas, enquanto o comitê realiza reuniões ordinárias a cada dois meses. As competências da CPA são apreciar e orientar assuntos de gerenciamento dos recursos hídricos demandados, emitir pareceres com recomendações quando necessário e estabelecer temas de pauta para plenárias. É no âmbito da CPA que são formuladas as proposições e deliberações, inclusive

trazendo para sua composição, vez por outra e em caráter excepcional, especialistas capazes de fundamentar tecnicamente as decisões a serem tomadas pelo Comitê.

Houve consenso entre representantes do comitê entrevistados, que os conflitos relacionados ao uso da água são os temas mais habituais nas reuniões, tanto da CPA quanto do Comitê. Na ocasião das entrevistas (julho de 2018), por exemplo, havia registro de conflito na Barragem do Capingui¹⁷ entre moradores das margens da barragem não compactuam com a forma de regulação da água praticada pela administradora, a Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE). O Rio Capingui possui vazão de aproximadamente 4m³/s; desta forma, além de a barragem gerar energia elétrica, ela regula a vazão do Rio Guaporé. Segundo os ribeirinhos, dos quais muitos estão instalados irregularmente, a hidrelétrica provoca mudanças abruptas na vazão da água que prejudicam suas atividades esportivas e turísticas. Neste caso, o assunto foi debatido pela CPA e a decisão acatada pelo comitê foi em favor da CEEE (informação verbal)¹⁸.

Excetuando esta comissão, a participação social no comitê Taquari-Antas ocorre via representação institucional. Em particular, a participação dos agricultores membros do setor agropecuário acontece exclusivamente via representação sindical. Além das quatro cadeiras previstas, há outras quatro vagas destinadas à suplência. Atualmente a representação da classe de produtor rural no Comitê Taquari-Antas é composta por sete membros vinculados à Federação dos Trabalhadores na Agricultura no Rio Grande do Sul (FETAG) e um suplente vinculado à Federação da Agricultura do Rio Grande do Sul (FARSUL). É preciso destacar que a Emater não representa os agricultores no comitê, e sim, o Governo do Estado.

Segundo o entrevistado, que representa o setor agropecuário no comitê – presidente do Sindicato dos Trabalhadores Rurais de Encantado –, a interação dos agricultores e representantes do setor nas discussões de base é modesta. Em suas palavras: “[...] o debate é mais aproveitado nos encontros regionais entre os representantes sindicais, o que remete à baixa participação dos agricultores [...]” (informação verbal)¹⁹. Segundo o representante, embora os produtores tenham preocupações com relação aos recursos hídricos, não há um movimento em defesa

¹⁷ Localizada no Município de Mato Castelhano (RS), ao norte da BH.

¹⁸ Informação fornecida em entrevistas realizada no Município de Estrela (RS), em julho de 2018.

¹⁹ Informação fornecida em entrevista realizada no Município de Encantado (RS), em julho de 2018.

de pautas de interesses. A sensação é a de que “[...] vamos produzir assim até quando der [...]” (informação verbal)²⁰.

Através da fala do representante é possível supor que os agricultores são receosos às alterações no *status quo* que possam surgir em detrimento da gestão dos recursos hídricos. São aversivos a eventuais medidas restritivas e a potenciais custos compensatórios decorrentes do princípio do poluidor-pagador. Vale lembrar que cada sindicato possui uma representação regional, e entre as representações sindicais também há resistências à possível cobrança pelo uso da água.

O entrevistado representante do setor agrário do Comitê Taquari-Antas demonstrou posicionamento contrário – defende a cobrança pelo uso –, segundo ele, a cobrança traria benefícios ambientais para a região, e por isso, tem abordado este assunto na imprensa local, especialmente em programas de rádio, para que os agricultores tomem conhecimento da legislação e não haja surpresas quando esta prática for implementada. Ou seja, o entrevistado demonstrou convicção sobre a possibilidade de haver taxação quanto ao uso da água no futuro.

Contudo, na ocasião, o mesmo entrevistado demonstrou preocupações quanto às condições de cobrança da água nas atividades agropecuárias, pois mencionou não haver consenso para aprovação dos planos de gestão do comitê na fase diagnóstico do Plano de Hidrográfico (PH). Conforme o entrevistado, foi um equívoco aprovar o PH considerando o consumo médio de 85 litros/dia de água por suíno. Para ele, o consumo real equivale a 10% deste total, de acordo com pesquisas realizadas pela Embrapa (informação verbal)²¹.

Está é uma preocupação pertinente, pois o representante do setor agrário atua no sindicato dos trabalhadores rurais da região de Encantado, qual possui alta densidade de suínos, com plantel aproximado de 50mil animais, segundo maior rebanho entre os municípios da BH. O impacto de uma decisão equivocada seria desastroso para os agricultores e, conseqüentemente, refletiria negativamente também para a gestão do comitê.

Evidencia-se que para calcular a necessidade de água dos animais (suínos), entre outros fatores, é preciso considerar a fase fisiológica da produção, as práticas de higiene e limpeza adotadas no estabelecimento agrícola, período do ano e equipamentos utilizados no sistema de criação. A Embrapa (2016) estima um

²⁰ Informação fornecida em entrevista realizada no Município de Encantado (RS), em julho de 2018.

²¹ Ibidem.

consumo médio de água no ciclo completo de 72,9 litros/animal/dia (e 47,1 litros/animal/dia de dejetos); nas unidades de produção de leitões, 35,3 litros/animal/dia (e 22,8 litros/animal/dia de dejetos); nas unidades de produção de desmamados, 27,8 litros/animal/dia (e 16,2 litros/animal/dia de dejetos); nas unidades de terminação, 8,3 litros/animal/dia (e 4,5 litros/animal/dia de dejetos), e nos crechários, 2,5 litros/animal/dia (e 2,3 litros/animal/dia de dejetos).

Outra particularidade observada nas entrevistas diz respeito aos relatórios do comitê. Segundo as análises de qualidade realizadas durante a fase de diagnóstico para enquadramento dos corpos de água, há presença de altos índices de fósforo solúvel nas águas do Rio Taquari-Antas, que inclui entre os seus tributários o Rio Guaporé. Contudo, para dois²² entrevistados, permanecem dúvidas se este elemento químico é de origem mineral natural da região ou provocado por efeitos antrópicos. Existem diversos estudos realizados na BH do Rio Guaporé (ZAFAR, 2015; 2016; 2017; BENDER et al., 2018; TIECHER, 2015; 2019) que associam a disponibilidade de P às áreas antropizadas. Os autores concordam que a presença do P nas águas do Rio Guaporé e afluentes tem origem orgânica (esgotos urbanos) e origem mineral (utilização de fertilizantes na agricultura).

Segundo o presidente, o Comitê Taquari-Antas tem atuado na instância deliberativa, arbitrando sobre alguns conflitos pelo uso da água, e aprovou o plano de recursos hídricos da BH. As atribuições propositivas e consultivas não estão sendo desenvolvidas pelo comitê devido à inexistência da Agência de Água. Mesmo com esta ausência, os mecanismos de cobrança pelo uso da água foram estabelecidos, mas não foram implementados, pois a Agência de Água é que administra os recursos financeiros oriundos da cobrança. Tal é a situação para a implementação de obras estruturais de interesse comum diagnosticada no Plano Hidrográfico. Além de identificar as demandas, especialmente, a de tratamento de efluentes, através do comitê, foram levantados os recursos necessários para implementação de unidades de tratamento de efluentes urbanos (informação verbal)²³.

Portanto, para o presidente, o comitê tem atuado soberanamente em fóruns de debate, “[...] para aculturar a comunidade local sobre questões afins aos usos dos recursos hídricos [...]” (informação verbal)²⁴. Sem a criação da Agência de Água, até

²² Para o Presidente do Comitê e para o representante do Setor Agrário.

²³ Informação fornecida em entrevista realizada no Município de Estrela (RS), em julho de 2018.

²⁴ Ibidem.

o fundo compensatório pago pelas geradoras de energia elétrica deixa de ser investido na BH do Taquari-Antas. Em síntese, aparentemente, os maiores problemas de governança da BH estão associados à falta de cumprimento da Lei nº 10.350 (RIO GRANDE DO SUL, 1994) e, conseqüentemente, à impossibilidade de cobrar pelo volume de água captado e pelo volume de efluentes gerados. “[...] A implementação da cobrança pelo uso da água seria um marco para ajustar os interesses dos atores locais na gestão da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas [...]” (informação verbal)²⁵.

Os entrevistados, embora convivam com o revés da inexistência da Agência de Água, consideram que o comitê avançou desde sua constituição no mês de junho de 1998 (RIO GRANDE DO SUL, 1998), especialmente pela superação da visão de “ONG ambiental” que o comitê herdou de gestões anteriores, vinculadas a acadêmicos (informação verbal)²⁶. Para o representante do setor agroindustrial, os membros do comitê têm consciência de suas funções, nas questões relativas a governança, bem como, dos pontos críticos que assolam os recursos hídricos. Contudo, o que menos evoluiu neste processo foram as ações estruturais, como as relacionadas ao tratamento dos efluentes, diagnosticado na primeira etapa do Plano Hidrográfico (informação verbal)²⁷.

Segundo relata o presidente do Comitê Taquari-Antas, há pouco interesse da população local em concorrer aos processos eletivos bianuais. Os cargos do comitê são voluntários e isso aparentemente não cativa novos participantes. Diversos membros se afastaram do comitê e está cada vez mais difícil obter quórum nas reuniões (informação verbal)²⁸. Entre as razões citadas para explicar essa situação, destacam-se a ausência de resultados concretos e a falta de compromisso do Estado, especialmente, no que tange à aprovação do projeto de criação da Agência de Água.

As informações apresentadas até o momento, fornecidas pelos representantes do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas – composta pelo Rio das Antas, Rio da Prata, Rio Carreiro, Rio Forqueta e Rio Guaporé – são aplicáveis para a Unidade de Gestão do Rio Guaporé. A BH do Guaporé fornece água para o consumo humano de uma população de quase meio milhão de habitantes da região de Guaporé e tem grande importância para a pecuária, pesca e recreação. É um dos principais

²⁵ Informação fornecida em entrevista realizada no Município de Estrela (RS), em julho de 2018.

²⁶ Ibidem.

²⁷ Informação fornecida em entrevista realizada no Município de Arvorezinha (RS), em julho de 2018.

²⁸ Informação fornecida em entrevista realizada no Município de Estrela (RS), em julho de 2018.

tributários do Rio Taquari, afluente da Bacia do Rio Guaíba, que abastece a maior parte dos mais de 4 milhões de habitantes da região metropolitana de Porto Alegre (37,7% dos habitantes do RS) (IBGE, 2018).

A BH do Rio Guaporé, assim como a grande maioria das bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul, é composta por arranjos produtivos locais que combinam operações de atividades agrícolas e não agrícolas. Assim, as perturbações no meio ambiente, em especial nos ecossistemas aquáticos, são reflexos da dinâmica socioprodutiva estabelecida no território e podem ser atribuídas a diferentes fatores, tanto relacionados com as atividades urbanas como as rurais.

Desta forma, os principais problemas, associados à qualidade e à regulação dos fluxos de água na Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé – apontados pelos entrevistados – estão relacionados com os poluentes derivados dos dejetos humanos urbanos e rurais e ao grande volume de sedimentos erodidos das lavouras agrícolas. O desmatamento em Áreas de Preservação Permanente e o manejo inadequado do solo também foram frequentemente mencionados pelos entrevistados.

Entre os poluentes, os dejetos dos animais e o esgoto doméstico sem tratamento, muitas vezes lançados diretamente nos arroios e rios, apareceram em praticamente todos os discursos dos atores. O uso de agrotóxico nas lavouras e seu consequente transporte para os corpos de água durante as chuvas foram reiterados durante as entrevistas. Embora com menor constância, outros poluentes, como óleos, graxas e desincrustantes utilizados em lavagem de veículos no meio rural, também foram lembrados pelos entrevistados.

Percebe-se, e se confirma pela fala de um agente de fiscalização ambiental – servidor público da Prefeitura Municipal de Arvorezinha –, que: “[...] há contaminação das mais diversas formas nas nascentes e afluentes [...]” (informação verbal)²⁹. Conforme este entrevistado, quase a totalidade das análises laboratoriais realizadas por intermédio da vigilância sanitária do Município de Arvorezinha em 2017 acusou algum tipo de contaminação em nascentes rurais. É importante salientar que grande parte das famílias assentadas no meio rural da região utiliza água de nascentes para abastecimento humano sem qualquer tratamento.

Após questionar 22 atores sobre a qualidade da água do Rio Guaporé e seus afluentes, obteve-se o seguinte resultado: 50% das respostas consideraram a

²⁹ Informação fornecida em entrevista realizada no Município de Arvorezinha (RS), em julho de 2018.

qualidade da água regular, 23% consideraram a qualidade da água boa e o restante considera o estado da água muito bom (14%) e péssimo (outros 14%). A maior parte dos respondentes que consideraram a água boa se situa na região norte da BH. A poluição das águas superficiais foi considerada a adversidade mais relevante para os recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé, segundo uma lista de problemas apresentada para os atores (Figura 29). Cabe ressaltar que os escores foram obtidos mediante uma escala que varia de 1 a 5, onde 1- pouco aplicável e 5- totalmente aplicável à BH do Rio Guaporé. Também se frisa que os problemas apresentados aos especialistas não são mutuamente excludentes.



Figura 29 – Problemas relacionados aos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé
Fonte: Elaborado pelo autor com base em pesquisa de campo (2018).

Além da preocupação com a água superficial demonstrada nos questionários, com as entrevistas foi possível identificar significativas menções a respeito da contaminação da água subterrânea. Segundo o representante da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), há diversos poços artesianos clandestinos e sem outorga de água no Município de Marau (RS). Durante as entrevistas, foi relatada a existência de poços artesianos em desuso, abandonados e sem tamponamento de proteção (informação verbal)³⁰.

Quando se perguntou aos integrantes da pesquisa quais são as principais causas relacionadas aos problemas dos recursos hídricos na Bacia do Rio Guaporé e

³⁰ Informação fornecida em entrevista realizada no Município de Marau (RS), em julho de 2018.

seus afluentes (de acordos com as opções fornecidas na Figura 30), foram apontadas causas tanto de origem rural quanto de natureza urbana. Para eles, o principal fator da problemática hídrica atual da BH é o escoamento superficial que ocorre nas áreas agricultáveis. Outras causas destacadas são a grande quantidade de dejetos animais utilizados como fertilizante e o lançamento de esgoto doméstico urbano sem tratamento nos corpos de água.

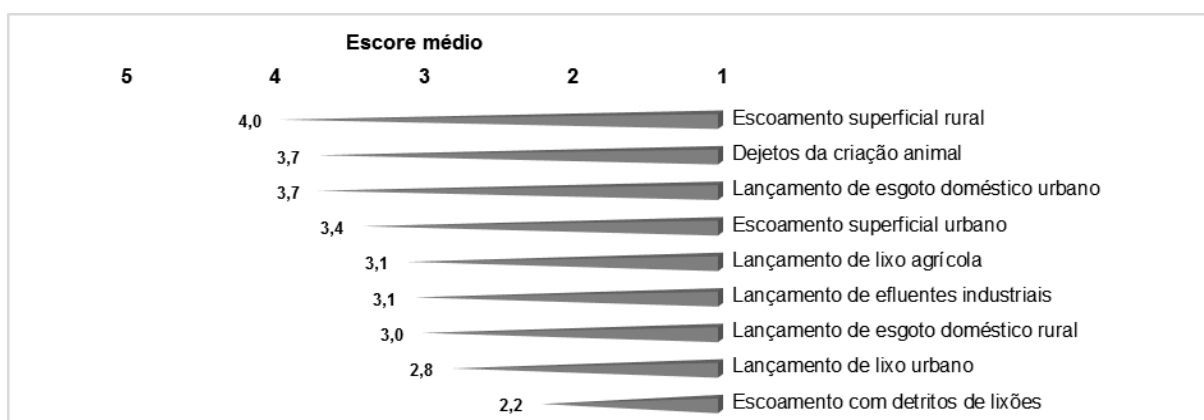


Figura 30 – Causas dos problemas dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé
Fonte: Elaborado pelo autor com base em pesquisa de campo (2018).

Entre os problemas de poluição da água da BH do Guaporé que estão relacionados diretamente com a agricultura, se sobressai o dejetos oriundo da criação animal. Um dos técnicos da Emater – lotado no escritório municipal de Guaporé – enfatiza que a maior parte dos produtores de suínos armazenam os dejetos em esterqueiras por tempo inferior aos 120 dias previstos na legislação (FEPAM, 2014b). Segundo ele, há na região mais esterqueiras descobertas do que cobertas, isto facilita a entrada de água da chuva nas esterqueiras, que aumenta o volume do rejeito. Ele também mencionou que o esterco de frango (cama de aviário) geralmente é aplicado nas lavouras sem qualquer processo de compostagem indicado para promover a diminuição de patógenos. Contudo, para o técnico, a maior causa da contaminação da água na região, relacionada com a criação animal, está subordinada à atividade leiteira. A produção leiteira é mais flexível e menos exigente no cumprimento de normas ambientais, comparada as atividades suinícola e avícola, em que as

integradoras exigem dos agricultores procedimentos mais rigorosos no manejo dos dejetos como condição de acesso a mercados internacionais (informação verbal)³¹.

Ainda segundo o entrevistado, na região de Guaporé ocorre com frequência o lançamento direto de dejetos frescos derivados da produção intensiva de leite em cursos de água, contrariando a legislação brasileira (informação verbal)³². Este tipo de prática favorece o aumento da população bacteriana e de algas que provocam eutroficação na água, fenômeno que diminui a quantidade de oxigênio nela dissolvido e desequilibra o sistema aquático. Conforme a Resolução nº 57 de 2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente, é proibido o lançamento de efluente da produção animal em rios destinados ao abastecimento doméstico, enquadrados na classe I. Segundo esta resolução, o despejo de resíduo da criação animal somente é permitido para rios de classe II e III, desde que seja tratado de modo a obter o mesmo padrão qualitativo da água do rio (BRASIL, 2005).

Independente da origem do dejetos, a aplicação na lavoura como fertilizante orgânico em estado fresco e sem a estabilização adequada, poderá ampliar o potencial poluidor dos corpos de água devido à alta presença de patógenos. No caso dos dejetos líquidos de suínos e bovinos, o ideal é armazená-los em local impermeabilizado e coberto pelo menos por 120 dias. O uso da cama de aviário, para a qual não há na legislação recomendações quanto ao período de armazenamento, se orienta realizar compostagem em locais drenados e cobertos antes de que sejam utilizados como fertilizantes nas lavouras (FEPAM, 2014a; 2014b; 2014c).

Para os participantes, utilizando a escala que varia entre 1 e 5 apresentada anteriormente, é a população da bacia em geral quem causa os maiores problemas na qualidade dos recursos hídricos (4,1), seguido da criação animal (3,6), agricultura (3,6), indústria (3,0) e hidrelétricas (2,5). De acordo com este resultado, supõe-se que alguns dos atores participantes consideraram a população da BH responsável pela criação animal, por isso o escore mais elevado.

Após identificar as principais causas e os agentes motivadores, indagou-se aos participantes da pesquisa sobre os fatores que mais contribuem para os problemas dos recursos hídricos da BH do Guaporé, considerando os diferentes usos da água na cidade e no meio rural. Para tanto, lhes foram fornecidas as opções elencadas na Figura 31. As respostas permitem constatar que, embora a maioria dos municípios da

³¹ Informação fornecida em entrevista realizada no Município de Guaporé (RS), em julho de 2018.

³² Ibidem.

BH seja formada por pequenos aglomerados urbanos, há evidente preocupação com relação ao esgoto doméstico citadino. Entre os fatores não urbanos, o manejo inadequado do solo na agricultura (3,8), o uso excessivo de insumos (3,8), a ausência de barreiras físicas de contenção da água da chuva (3,6) e os grandes volumes de dejetos animais (3,5) se destacam negativamente como os maiores contribuintes para a contaminação dos corpos de água.

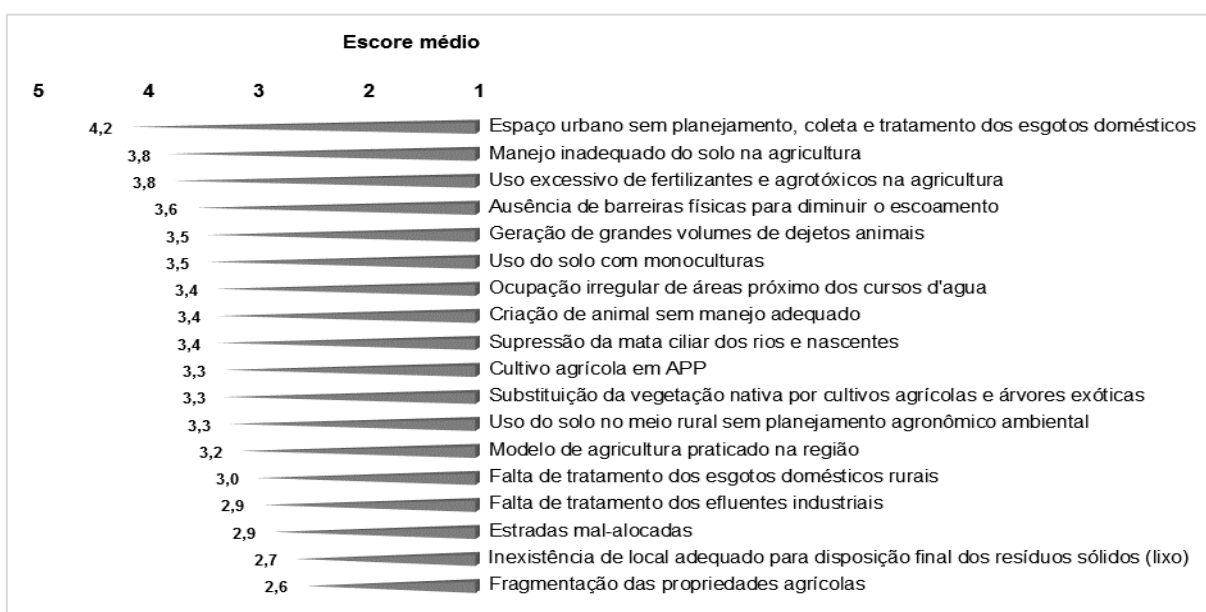


Figura 31 – Fatores relacionados aos problemas com os recursos hídricos da Bacia do Rio Guaporé
Fonte: Elaborado pelo autor com base em pesquisa de campo (2018).

Tiecher et al. (2017) avaliaram a contribuição de potenciais fontes de sedimentos que transitaram no Rio Guaporé no período de 2011 a 2014, com o objetivo de fornecer subsídios técnicos para melhorar a gestão de usos da terra e proteger os recursos hídricos. Os resultados demonstraram que, embora as contribuições das fontes de sedimentos variassem no espaço da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé, elas foram superiores nas lavouras ($91 \pm 15\%$) em relação aos sedimentos do canal ($5 \pm 2\%$) e das estradas não pavimentadas ($10 \pm 4\%$).

Em outra pesquisa, Minella et al. (2009) coletaram dados sobre precipitação, volume de escoamento superficial e produção de sedimentos no período de 2002 a 2006. O objetivo foi avaliar a origem das diferentes fontes de sedimentos de uma sub-bacia cultivada com tabaco localizada no Município de Arvorezinha (contida na área

de drenagem do Rio Guaporé). Os resultados demonstraram que a contribuição das diferentes fontes de sedimento variou: i) 62% a 54% dos sedimentos tiveram como origem as lavouras; ii) 36% a 24% vieram das estradas e iii) 2% a 22% eram do canal do próprio arroio. Esta variação registrada (para menos) nos sedimentos das lavouras e estradas, segundo os pesquisadores, decorre da introdução de práticas de conservação implementadas pelo Programa de Manejo dos Recursos Naturais e de Combate à Pobreza (RS-RURAL). Após efetivar o sistema de cultivo mínimo em grande parte das lavouras de tabaco da sub-bacia, a quantidade de água escoada das lavouras contendo sedimentos diminuiu. Como o escoamento da água de muitas lavouras é canalizado para estradas, menos escoamento superficial destas lavouras resultou em menos escoamento para as estradas, reduzindo indiretamente a erosão das estradas.

Os resultados destes dois estudos, especialmente do último, demonstram que as estradas não pavimentadas alocadas na paisagem sem devido planejamento, sem estruturas de contenção de água das enxurradas, associados ao fato de serem utilizadas como canal escoador do excesso de água provenientes das lavouras assumem papel importante no regime hidrológico e sedimentológico das bacias hidrográficas (MINELLA et al., 2009).

Outro fator levantado, não pelos questionários e sim nas entrevistas, que se faz relevante para o equilíbrio da vazão natural dos arroios é o uso recorrente de drenos para secar áreas de baixadas, alagadiças ou “encharcadas” e, assim, permitir o tráfego de maquinaria e o cultivo de grãos, especialmente soja – menciona a Coordenadora do Departamento do Meio Ambiente de Marau (informação verbal)³³. Prática, como esta, que influencia no processo de infiltração da água no solo motivam alterações na vazão natural dos arroios, afetando a regulação dos fluxos de água. Ou seja, os rios tendem a encher rapidamente com as chuvas e a se esvaziarem com brevidade nos períodos de estiagem.

Segundo os respondentes do questionário, a principal consequência dos problemas com os recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé está relacionada à saúde dos habitantes (3,3), que pode ser afetada pelo consumo de água. Entre as opções fornecidas no questionário, foram demonstradas preocupação com a recreação e o lazer (2,9); mortandade de peixes (2,9); odor desagradável e

³³ Informação fornecida em entrevista realizada no Município de Marau (RS), em julho de 2018.

aspecto ruim da água (2,9); encarecimento da água devido à necessidade de tratamentos adicionais (2,7); inviabilidade de turismo ecológico na região (2,6); redução da produção/produtividade agropecuária (2,5); prejuízos pelo fato de as indústrias não se instalarem na região (2,4) e restrição para alguns cultivos agrícolas (2,2). Em síntese, estas preocupações podem ser agrupadas na seguinte ordem de prioridade: possíveis prejuízos à saúde, para o lazer e redução da produção agrícola.

A falta de interesse político dos governantes foi uma das dificuldades apontadas pelos atores participantes (Figura 32). Outras dificuldades consideradas foram: dissociação entre quem usa, consome e gerencia a água, ausência de esclarecimentos por parte da população da bacia hidrográfica sobre a importância de preservar os recursos hídricos e a fraca articulação entre políticas ambientais.

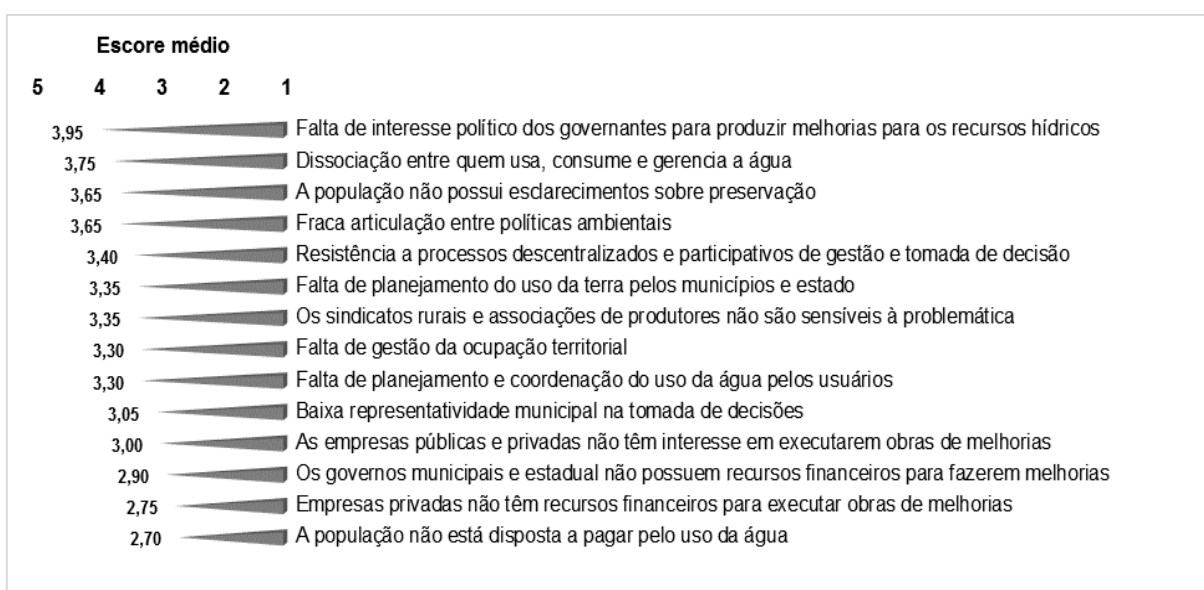


Figura 32 – Dificuldades com os problemas relacionados à água na Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé
Fonte: Elaborado pelo autor com base em pesquisa de campo (2018).

De outra parte, as questões relativas à disponibilidade financeira e de interesse público e privado para executar obras de melhoria foram consideradas as opções de menor relevância para resolver o problema dos recursos hídricos. As questões relacionadas à gestão e ao planejamento, como resistência aos processos participativos de tomada de decisão, ausência de sensibilidade dos sindicatos e associações rurais, foram consideradas situações de dificuldade intermediárias a estas duas citadas anteriormente.

As ações consideradas importantes para melhorar as condições das águas do Rio Guaporé foram segmentadas entre estruturais e não estruturais. Entre as ações não estruturais (Figura 33), os atores atribuíram maior importância às práticas agrícolas, como o manejo do dejetos e a preservação de banhados e nascentes. Também é possível destacar a relevância, tanto de ações educativas e orientadoras, quanto de iniciativas direcionadas a restringir o uso de insumos agrícolas e coibir o desmatamento, por exemplo. A cobrança pelo uso da água não é entendida como uma ação essencial para a maioria dos participantes, posicionamento diferente daquele defendido pelo presidente do Comitê da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, que presume que a cobrança pela água captada e/ou pelo lançamento de efluentes é a ação não estrutural mais relevante.

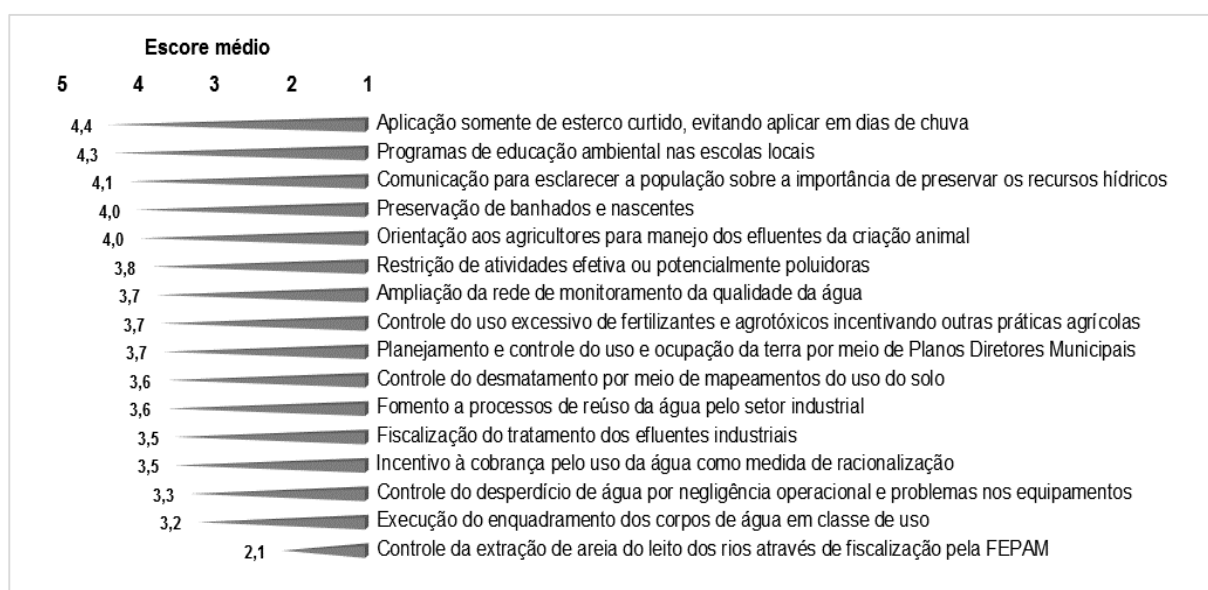


Figura 33 – Ações não estruturais que poderiam melhorar as condições das águas do Rio Guaporé
Fonte: Elaborado pelo autor com base em pesquisa de campo (2018).

Por outro lado, figura entre as ações estruturais que podem melhorar as condições das águas do Rio Guaporé a (re)vegetação de zonas ripárias para conter a erosão e reter contaminantes agrícolas (Figura 34). Supõe-se que algumas das ações estruturais são subsidiadas por ações não estruturais. Programas educacionais e de esclarecimentos para (res)significar as questões ambientais, por exemplo, podem contribuir para melhorar a presença de vegetação ao longo dos cursos de água. Segundo o membro do setor agrário do Comitê da Bacia Taquari-Antas, os problemas

da agricultura relacionados à água são pouco perceptíveis aos olhos dos agricultores: “[...] os agricultores da nossa região possuem o espírito desbravador dos colonizadores, em que o sujeito considerado trabalhador é aquele que limpa a terra para o cultivo [...]”. O entrevistado adiciona que a legislação é mais punitiva do que educativa, sendo menos efetiva sobre a preservação ambiental (informação verbal)³⁴.

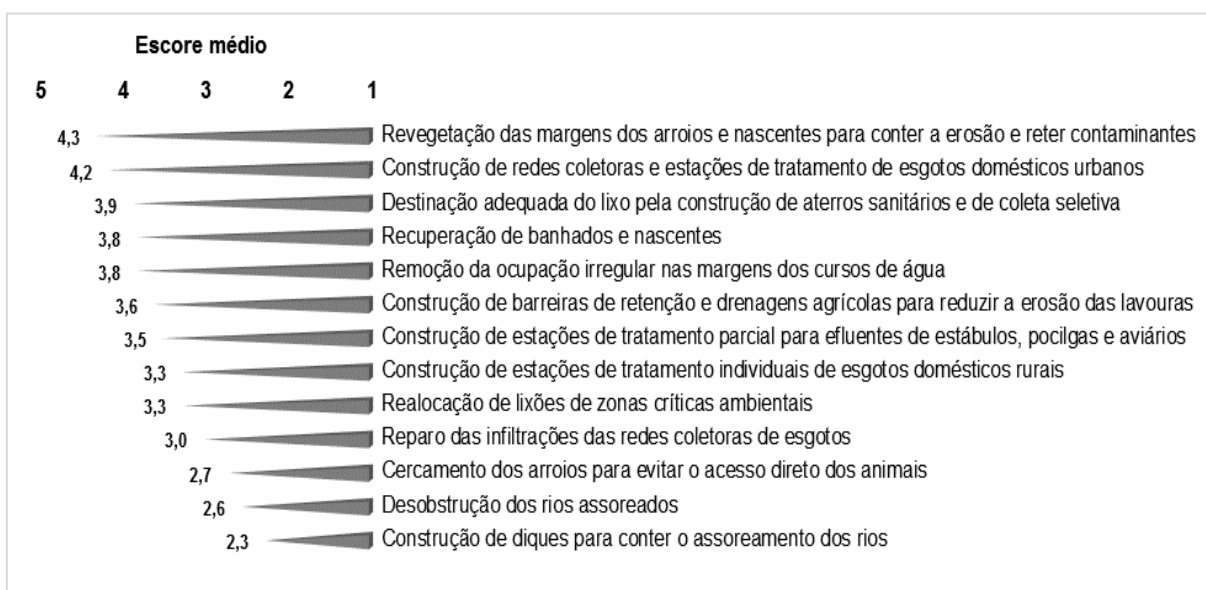


Figura 34 – Ações estruturais que poderiam melhorar as condições das águas do Rio Guaporé
Fonte: Elaborado pelo autor com base em pesquisa de campo (2018).

O senso comum do que significa ambiental é a construção de um “fenômeno ambiental” reduzido a um “produto social”; portanto, não é “ambiental” em si mesmo. Assim, a (re)significação deste fenômeno se dá à medida que a representação do “objeto ambiental” passa a ser compreendida como possibilidade de coprodução no mundo real (SOUZA-LIMA, 2013). Ou seja, é possível que ocorra quando o sujeito – neste caso, o agricultor – conseguir perceber e produzir (em vez de reproduzir) novas realidades a respeito das questões ambientais, realidades construídas com base nos elementos socioculturais e biofísicos de seu ambiente.

A reconstrução da percepção ambiental não deve ser reduzida a um reflexo distorcido do ambiente local, como, por exemplo, considerar as árvores benéficas por oferecerem produtos como lenha ou, ainda, temer uma ação punitiva conduzida pela

³⁴ Informação fornecida em entrevista realizada no Município de Encantado (RS), em julho de 2018.

legislação ambiental. Faz-se necessário refletir com os agricultores sobre estratégias específicas e alinhadas com as condições locais de uso e manejo racional dos recursos, potencializando a convivência com suas restrições ou seus excessos.

As escolas rurais se apresentam como um dos instrumentos capazes de sistematizar e representar a construção de novos objetivos, metas e atitudes no tocante à percepção ambiental. Durante as entrevistas e a aplicação dos questionários, foi possível identificar iniciativas educacionais conduzidas pelas Secretarias do Meio Ambiente e Agricultura, escolas municipais e estaduais, a exemplo do projeto “O Rio Pede Socorro” e “Água Potável x Alimentação Saudável”, ambos desenvolvidos nas escolas do interior do Município de Anta Gorda (RS).

Igualmente, durante a pesquisa pode se observar iniciativas por parte dos técnicos da Emater orientado a população rural sobre a destinação adequada dos dejetos humanos e instruindo os agricultores para proteger as fontes de água e limpar os reservatórios. Também orientam, por meio de visitas individuais, reuniões e atividades práticas sobre a construção de estrumeiras e utilização do dejetos nas lavouras.

Em Arvorezinha (RS), no ano de 2017, foram realizadas reuniões comunitárias para tratar de assuntos relativos à preservação e conservação da água em 31 localidades do município. É possível que a região tenha experimentado outras tantas iniciativas como esta, embora seja apreciável, o alcance é limitado e a duração costuma ser circunstancial. Desta forma, não foi possível observar nenhum macroprojeto dirigido para os problemas dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé inerentes aos atores locais, além das ações relacionadas ao Comitê da BH Taquari-Antas.

O próximo capítulo retratará as características dos principais sistemas de produção agrícola que compõem o sistema agrário da região que compreende a Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé com o propósito de relacionar a dinâmica destes sistemas com as pressões estendidas aos recursos hídricos. É possível adiantar que os estabelecimentos agrícolas da região são predominantemente familiares, geralmente diversificados com pelo menos duas atividades econômicas voltadas para comercialização, além dos cultivos de subsistência, dispostos para o sustento da família.

5 EVOLUÇÃO E DIFERENCIAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GUAPORÉ (RS)

Um dos fatores de complexidade do meio rural é a organização dos ecossistemas cultivados, que evoluem ao longo da história em virtude da combinação de elementos ecológicos, técnicos, econômicos, sociais e culturais. A teoria dos sistemas agrários foi concebida para possibilitar uma visão conjuntural destes fenômenos na agricultura. Mazoyer e Roudart (2001) partiram de uma abordagem sistêmica para desenvolver esta teoria e interpretar a complexidade do entorno das atividades agrícolas com base em suas dinâmicas espaciais, socioeconômicas e produtivas. Eles definem sistema agrário como:

[...] a expressão teórica de um tipo de agricultura historicamente constituído e geograficamente localizado [...] que permite compreender a complexidade de toda a forma de agricultura real através da análise metódica da sua organização e do seu funcionamento (MAZOYER; ROUDART, 2001, p. 43).

O Método de Análise e Diagnóstico de Sistemas Agrários (ADSA) tem por objetivo identificar os elementos que mais condicionam a evolução dos sistemas de produção e como eles interferem nas transformações agrícolas ao longo do tempo (DUFUMIER, 2007). Trata-se de um instrumento teórico que contribui para a compreensão da realidade agrária e das interfaces produzidas pela relação da sociedade com a natureza. Sendo assim, utiliza-se este instrumento para discutir e caracterizar as dinâmicas relacionadas ao desenvolvimento da agricultura no Rio Grande do Sul e na BH do Rio Guaporé.

5.1 Formação histórica dos sistemas agrários do Rio Grande do Sul e da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé

A história da agricultura no Rio Grande do Sul revela a existência de duas grandes linhas de evolução no espaço agrário desde as sociedades indígenas: uma que ocorreu nas regiões fisiográficas originalmente cobertas por campos e a outra, nas regiões ocupadas por vegetação de floresta. Entende-se “região de campos” por Estepes Gramíneo e savanas do tipo arbóreo aberto, ou gramíneo-lenhoso; e “região de florestas” por Floresta Ombrófila Densa ou Mista, Floresta Estacional Semidecidual ou Decidual. Entre estas duas linhas evolutivas, ocorreu uma zona de transição, que combinou propriedades das regiões de campos e das florestas (MIGUEL, 2018).

A Figura 35 estratifica as diferentes regiões evolutivas e caracteriza o histórico dos sistemas agrários do Rio Grande do Sul. A região fisiogeográfica de florestas, em que se situa a BH do Rio Guaporé, contempla quatro grandes sistemas agrários sucessivos desde os povos pré-colombianos até os dias atuais (BEROLDT; GRISEL; SCHMITZ, 2007).

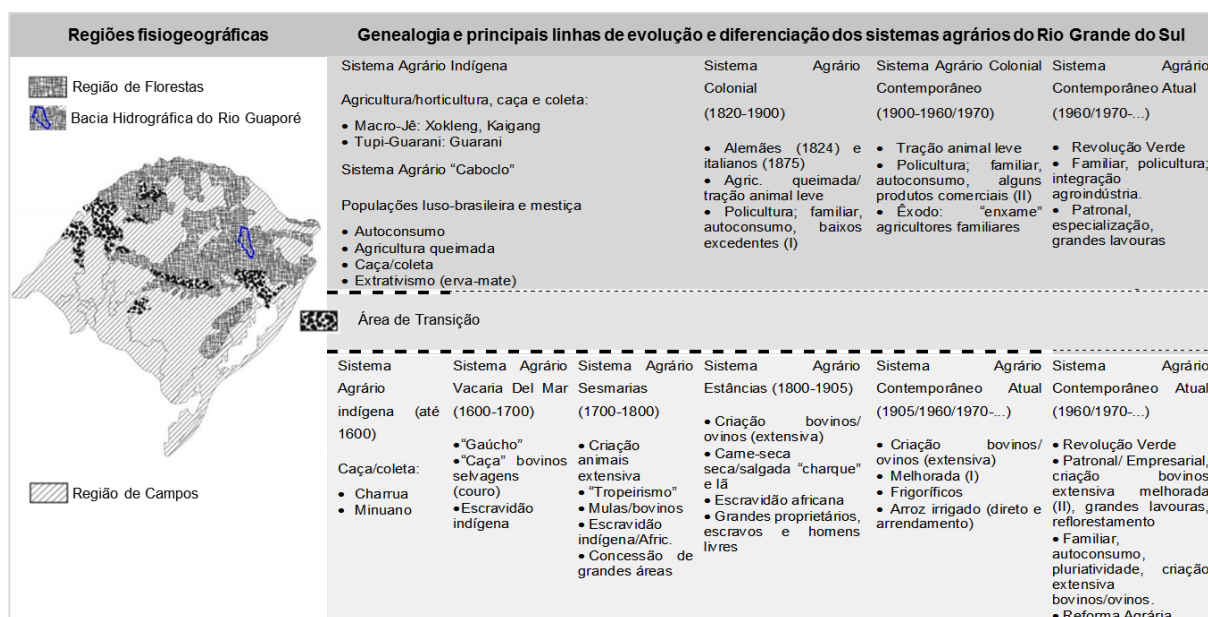


Figura 35 – Evolução e diferenciação dos sistemas agrários no Rio Grande do Sul
 Fonte: Adaptado de Miguel (2018).

O sistema Agrário Indígena configurou-se por volta de 12.000 anos, foi desempenhado por populações pré-colombianas de caçadores/coletores. Nos territórios brasileiro e gaúcho, os rios serviram de referência para o desenvolvimento de agrupamentos humanos. Conforme Rogge (2004) especificamente no Rio Grande do Sul, a ocupação Tupi-Guarani pode ser reduzida a duas fases principais (ROGGE, 2004): i) uma primeira que ocorreu no início da era cristã, quando os grupos se estabeleceram na região noroeste próxima das margens dos grandes Rios Uruguai, Ijuí e Jacuí; e ii) uma segunda fase de expansão dos índios Tupi-Guaranis (séculos IX e XIII) quando passaram a ocupar as áreas dos rios tributários da margem da esquerda do Jacuí, a montante e a jusante do Rio Uruguai, e também ocuparam matas da Serra do Sudeste.

Estima-se que pouco mais de dois mil índios ocupavam as terras próximas do Rio Taquari, a jusante do Rio Guaporé. É possível que seu primeiro contato com o homem europeu tenha ocorrido com os padres jesuítas. Estes, por sua vez, tentaram impor a lógica de ocupação territorial dos europeus, com o objetivo de inserir os indígenas em um processo de produção de alimentos fundamentada na geração de excedentes. Entretanto, o território não foi considerado ambiente propício para os jesuítas fundarem suas reduções devido à considerada baixa aptidão produtiva para os padrões agrícolas daquele período. Deste modo, os jesuítas sugeriram uma transferência deste povoado indígena para território mais ao noroeste do estado do Rio Grande do Sul, onde seria fundada uma redução, proposta refutada pelo então cacique (CRISTO; MACHADO, 2016).

Outros grupos de habitantes indígenas ocupavam as cercanias do território abrangido pela Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas, especialmente os de tradição Taquara. Foram encontrados vestígios dessas populações indígenas nas várzeas do alto Taquari-Antas e do Rio Pelotas (SEMA, 2011a). Algumas destas comunidades indígenas, posicionadas em territórios às margens do Rio Jacuí, aceitaram migrar para o atual território do município de Mato Castelhano, local onde no ano de 1632 foi fundada a redução jesuítica de Santa Tereza. Segundo as historiadoras Cristo e Machado (2016), a redução contou com mais de 4.000 índios catequizados.

Estas sociedades indígenas sobreviviam da exploração dos recursos naturais (caça, coleta e pesca); alguns grupos eram horticultores e realizavam a agricultura no sistema de derrubada-queimada. As clareiras eram cultivadas por um determinado período enquanto havia fertilidade natural do solo, após eram abandonadas para que

uma nova clareira fosse aberta (BEROLDT, GRISEL; SCHMITZ, 2007). Essa técnica tem origem no período neolítico, que consiste em sistemas de cultivos temporários alternados com pousio florestal de longa duração (MAZOYER; ROUDART, 2001). Estas sociedades indígenas possuíam também artefatos manuais para o cultivo agrícola e dominavam a produção de cerâmica rudimentar.

Simultaneamente, também na região de florestas, desenvolveu-se o Sistema Agrário Caboclo. Este sistema foi praticado por indivíduos de origem luso-brasileira/mestiços que estabeleceram laços com as populações indígenas locais. O modelo agrícola também foi baseado no sistema de cultivo de derrubada-queimada, associado às rotinas de coleta e de caça. Embora desenvolvessem um sistema agrário semelhante ao indígena, essas populações eram mais concessivas aos vínculos mercantis (comércio de erva-mate e de outros excedentes agrícolas) (MIGUEL, 2018).

Destaca-se que, durante a fase colonial, a partir do século XVII, o estado do Rio Grande do Sul foi palco de intensas disputas entre as Coroas Portuguesa e Espanhola. O Tratado de Madrid, estabelecido em 1750, introduziu nova fase na política de disputa colonial (SPOG, 2019), pois a partir dele, a Coroa Portuguesa incentivou um processo de povoamento da fronteira com o Uruguai (regiões de campos) com o objetivo de ocupar e ampliar seus domínios territoriais no sul do estado. Nesta região já havia relações econômicas de significativa importância, sobretudo ancorada na criação de gado, instituídas pelas reduções jesuíticas em interações com os povos guaranis. Desta forma, foram estabelecidas grandes estâncias de criação de gado no RS, como “uma economia subsidiária à economia central de exportação, já no período do ciclo da mineração” (SEMA, 2011a, p. 65).

Adicionalmente, o programa de colonização europeia no Rio Grande do Sul visava ocupar as terras devolutas da região nordeste do estado (parte delas antes ocupadas por povos indígenas e posteriormente pertencentes ao governo). Assim, almejava-se propiciar o desenvolvimento da agricultura, do comércio e da indústria naquela região. A estratégia política foi substituir a mão de obra escrava pela mão de obra livre (assalariada), de forma a criar classes sociais intermediárias entre o senhor de terras e o escravo, uma vez que a causa abolicionista estava em curso no Brasil no período (HERÉDIA, 2001).

A medida adotada para povoar as terras regularizando-as em pequenas porções teve como instrumento legal a Lei de Terras³⁵, que alterou o caráter de uso e ocupação para um regime de posse privada. Além de assegurar a hegemonia territorial, o aparato institucional criado visava favorecer também a economia do Estado (SEMA, 2011a). Esse cenário deu origem ao segundo sistema agrário, aquele que se sucedeu na região de florestas do Rio Grande do Sul. Um padrão agrícola, denominado de Sistema Agrário Colonial, que teve sua gênese imbricada na implantação de estabelecimentos agrícolas em pequenas glebas no processo de colonização dos camponeses europeus (MIGUEL, 2018).

Complementarmente às medidas de ocupação, a partir de 1824 os imigrantes alemães receberam entre 48 e 77 hectares de terra. Por volta de 1875 as famílias italianas receberam cerca de 25 hectares de terra cada. Inicialmente, a agricultura praticada pelos colonos europeus foi baseada no sistema de derrubada-queimada. Pouco depois, ao menos em parte, foi inserido o cultivo com tração animal leve. Os sistemas de produção eram tipicamente familiares, diversificados; grande parte da produção destinava-se ao consumo das famílias e alguns excedentes agrícolas, ao mercado (BEROLDT; GRISEL; SCHMITZ, 2007).

Diversas etnias desempenharam papel importante na formação étnico-cultural do Rio Grande do Sul, como é o caso de poloneses (no território atual de Nova Bassano e Antônio Prado), os pomeranos (em São Lourenço do Sul) e os açorianos (inicialmente onde hoje é o município de Rio Grande). Contudo, foi com a evolução das antigas colônias alemãs (porção à jusante, quase na foz do Rio Guaporé) e das colônias italianas que se formaram os marcos fundamentais nos discursos étnicos na região do Rio Guaporé (SPOG, 2019) (Figura 36).

O cultivo predominante era o milho. Cultivos como: centeio, cevada, feijão, batata-doce, cana-de-açúcar, mandioca e frutas temperadas (como uvas, marmelos, peras e maçãs) também se faziam presente. Dentre as criações, destacavam-se as aves, os suínos e a produção de leite. Com o tempo, houve ampliação da produção agrícola e, conseqüentemente, da quantidade de excedentes das necessidades de consumo da família. Desse modo, proporcionou-se maior inserção nos mercados em especial de suínos, derivados de leite e produtos coloniais diversos (MIGUEL, 2018).

³⁵ Lei n. 601, de 18 de setembro de 1850, que dispõe sobre as terras devolutas do Império e estabeleceu a estruturação das colônias agrícolas e a legitimação das sesmarias existentes.

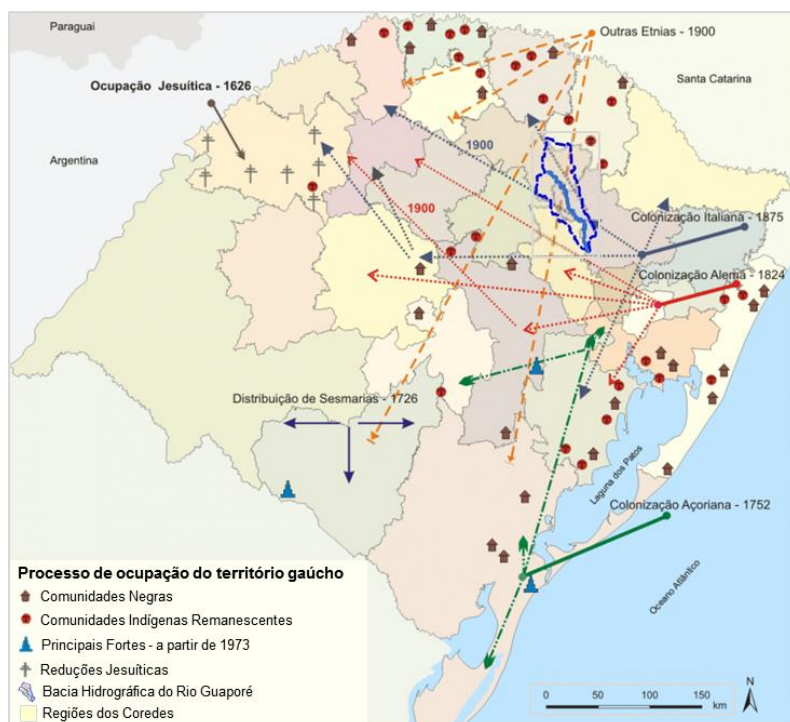


Figura 36 – Processo de ocupação do território gaúcho

Fonte: Adaptado pelo autor (Publicado em 2016, disponível em SPOG, 2019).

Dado o contexto, estabeleceu-se um terceiro sistema agrário, o Sistema Agrário Colonial Contemporâneo, que corresponde tanto à fase de estabilização quanto à fase de crise do modelo colonial. As famílias tornaram-se mais numerosas e foram limitadas pelas superfícies agrícolas disponíveis. Com o decorrer do tempo, a rotação de terras no sistema de derrubada-queimada diminuiu a fertilidade do solo, gerando uma crise no sistema de tração animal leve (MIGUEL, 2018). Tal crise conduziu os agricultores e seus descendentes a um processo assíduo de êxodo rural para novas regiões de colonização, tanto no Rio Grande do Sul quanto em outros estados do Brasil.

Finalmente, cita-se o quarto e vigente Sistema Agrário Contemporâneo Atual, cuja base é a adoção e a difusão da Revolução Verde. Entende-se por revolução a aproximação que ocorreu entre a agricultura e a indústria pelo uso de “pacotes tecnológicos” de produtos industriais na produção agrícola (modernos equipamentos de mecanização, fertilizantes inorgânicos e agrotóxicos), “modernização das instalações” (aviários e pocilgas, estufas e galpões, etc.) e a “adoção de plantas e animais selecionados” (MIGUEL, 2018, p. 200).

O governo fomentou crédito para aquisição desse pacote, as instituições de pesquisa deram ênfase para o melhoramento de variedades geneticamente uniformes e, a extensão rural caberia a função de difundir pacotes tecnológicos. O objetivo foi aumentar a produtividade agrícola, transformar os sistemas de produção “tradicionais” em “modernos” e integrar globalmente a agricultura aos mercados e ao capital. É um modelo desenvolvimentista fundamentado na pesquisa e na transferência de conhecimentos e tecnologias. Um dos efeitos desta transformação é a especialização da agricultura colonial e a integração aos Complexos Agroindústrias (CAIs), a exemplo do que ocorre com a produção de suínos, aves e tabaco (GRAZIANO DA SILVA, 1981; 1991; 1996; MÜLLER;1982; 1989).

Em linhas gerais, esse período assinala significativa diferenciação socioeconômica na agricultura de cunho familiar. Consolida-se um segmento de agricultores familiares capitalizados, fortemente tecnificados, concatenados com os mercados, enquanto outros segmentos de agricultores familiares são confrontados com um processo de exclusão e empobrecimento (MIGUEL, 2018). O perfil dos estabelecimentos rurais que caracteriza a produção agrícola da BH do Rio Guaporé deriva do processo colonizatório e evolutivo daquela região, e o modelo de agricultura vigente é organizado conforme o Sistema Agrário Contemporâneo Atual.

5.2 Condições agroecológicas da região hidrográfica do Rio Guaporé

O Rio Guaporé se origina na confluência do Arroio Marau com o Rio Capingui, situados no Município de Marau. Os principais tributários do Rio Guaporé são identificados na Figura 37. Conforme Castro Lima (2017), ele inicia a 677m de altitude e, após percorrer 153km, deságua no Rio Taquari-Antas em altitude de 40m. O regime hidrológico apresenta descargas com variações extremas e bruscas. Scotto (2014) aferiu a vazão média mensal para os anos de 2012 e 2013, que foi de $37,4\text{m}^3\text{ s}^{-1}$ e precipitação média mensal de 136,8mm.

A configuração dos canais que drenam a BH do Rio Guaporé apresenta significativas variações, que resultam do clima e da estrutura geológica local, sendo predominante a rede dendrítica. A elevada declividade longitudinal dos afluentes (especialmente na metade sul da BH) e a baixa capacidade de infiltração da água nos

solos (de grande parte da bacia) resultam em tempos de concentração curtos. Ademais, a produção média de sedimentos estimada em 2011 e 2012 foi de 274 t km² ano⁻¹, sendo que a média no período de 2000 a 2010 foi de 140 t km² ano⁻¹, expressando coeficiente de escoamento superficial de 31% (DIDONÉ et al., 2014).

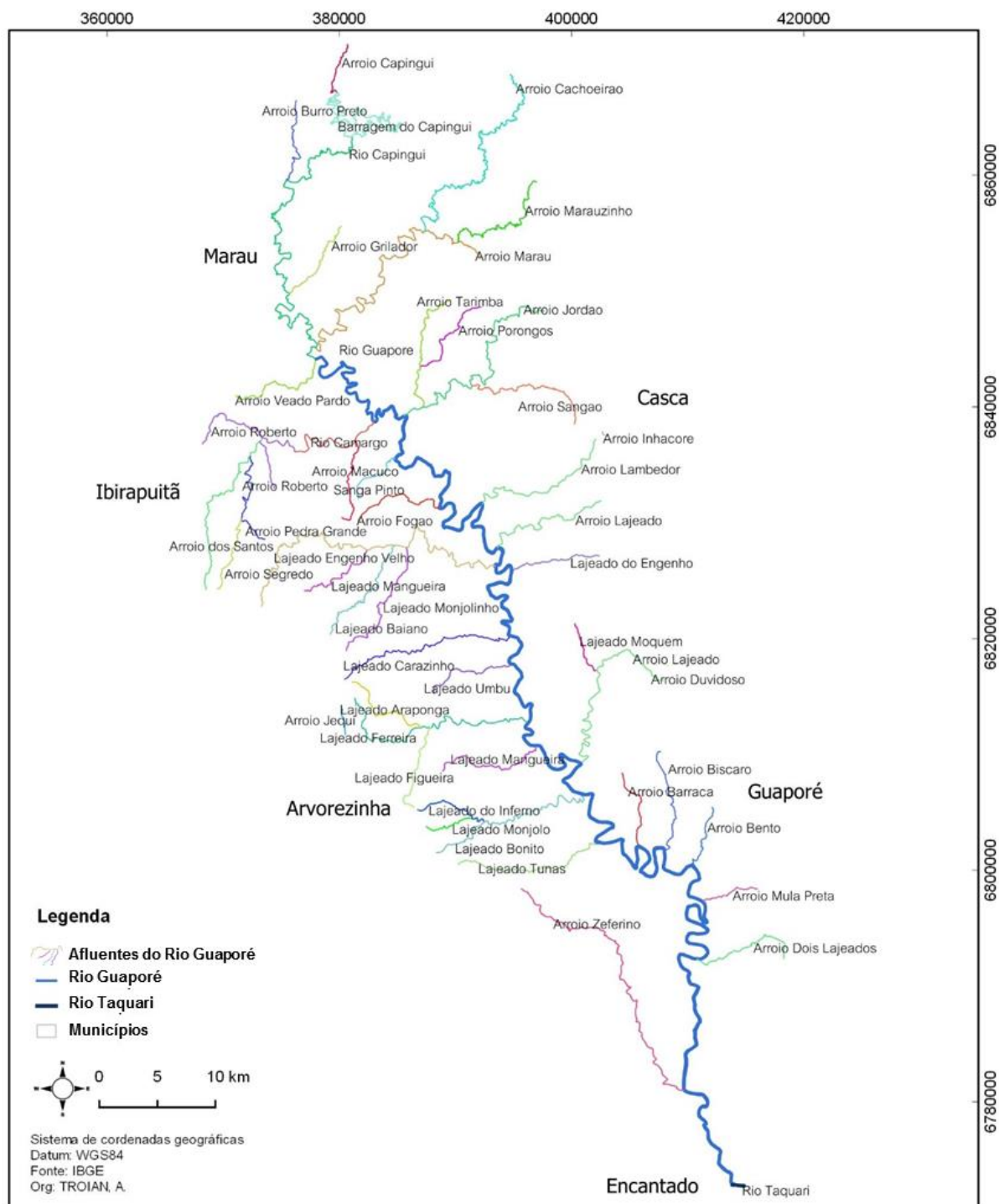


Figura 37 – Rede de drenagem dos principais afluentes do Rio Guaporé
Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados de Geociências (IBGE, 2013).

De acordo com o sistema de classificação proposto por Wladimir Köppen, o tipo climático da região é Cfb subtropical, superúmido mesotérmico, sem estação seca definida (ALVARES et al., 2014). A temperatura média anual é de 17,9°C, com acentuada diferença entre as estações do verão e inverno. As temperaturas mínimas e máximas anuais têm média de 12,6 e 24,7°C, respectivamente (CASTRO LIMA, 2017). O clima não possui uma regularidade estrita, no inverno raramente formam-se geadas pela manhã em mais de cinco dias acumulados durante o ano. As irregularidades climáticas geralmente são acompanhadas de temperaturas muito baixas (-3°C) no inverno e atingir o máximo de 40°C em alguns dias do ano, no verão. A região possui algumas características específicas, como a presença frequente de neblina nos vales e redução da insolação devido a presença de morros na porção centro sul da BH (BEROLDT; GRISEL; SCHMITZ, 2007).

A precipitação média anual no RS apresenta significativa variação espacial (aumentando da região Sul em direção à região Norte do estado) e, embora as precipitações sejam bem distribuídas ao longo do ano, os maiores volumes são registrados entre os meses de janeiro e março. A pluviosidade média anual registrada pelo Instituto Nacional de Meteorologia entre os anos de 1961 e 2017 foi de 1.804mm (INMET, 2017).

Com base nos dados monitorados por Ramon (2017) durante 15 anos (2002 a 2016) em uma estação meteorológica localizada no Município de Arvorezinha, aferiu-se precipitação média anual de 1.938mm. A precipitação máxima ocorreu no ano de 2014 (2.529mm), enquanto a mínima foi registrada no ano de 2004 (1.396mm). Segundo os dados monitorados, o mês de outubro apresentou a maior média (223mm), seguido de julho (196,8mm) e de setembro (195,2mm).

A Bacia Hidrográfica do Guaporé está situada no bioma Mata Atlântica, tendo como espécies dominantes *Araucaria angustifolia*, *Luehea divaricata*, *Nectandra grandiflora*, *Campomanesia guaviroba* e *Eugenia uniflora* (VANACKER et al., 2019). Ressalta-se que a caracterização da vegetação compreende quatro tipologias. Nas áreas próximas aos fluxos de água do terço médio e inferior da BH predomina a Floresta Estacional Decidua (Floresta Tropical Caducifolia). A Floresta Ombrófila Mista (Floresta de Araucária) predomina no restante da área do terço médio e inferior. No terço superior da BH, do lado oeste do Rio Guaporé, predomina a Floresta Ombrófila Mista Montana (Floresta de Araucária) e, do lado leste, o Estepe Gramíneo Lenhoso com Floresta de Galeria (SEMA, 2012). Esta bacia possui uma flora

autóctone bastante diversificada, que funciona como um corredor de ligação entre os vários ambientes do Rio Grande do Sul (SEMA, 2011b).

A formação geológica está concebida quase totalmente por litologias da Bacia do Paraná. É caracterizada pelos fluxos de lava vulcânica da formação Serra Geral, tipificada por Caxias, Gramado e Parapanema, cobrindo respectivamente 72,2; 26,1 e 1,7% da área (TIECHER et al., 2017) (Figura 38 – A). Conforme Tiecher et al. (2017), as variações características da paisagem e do material de origem resultaram, na seguinte distribuição do solo: Ferralsol (31,2%), Luvisol (24,2%), Nitosol (21,4%), Acrisol (16,6%) e Leptosol (6,6%). Na porção norte da BH, onde a altitude é maior, predominam os tipos Ferralsol e Nitosol. Na parte sul da bacia, onde a topografia é montanhosa, encontra-se principalmente Leptosol (Figura 38 – B).

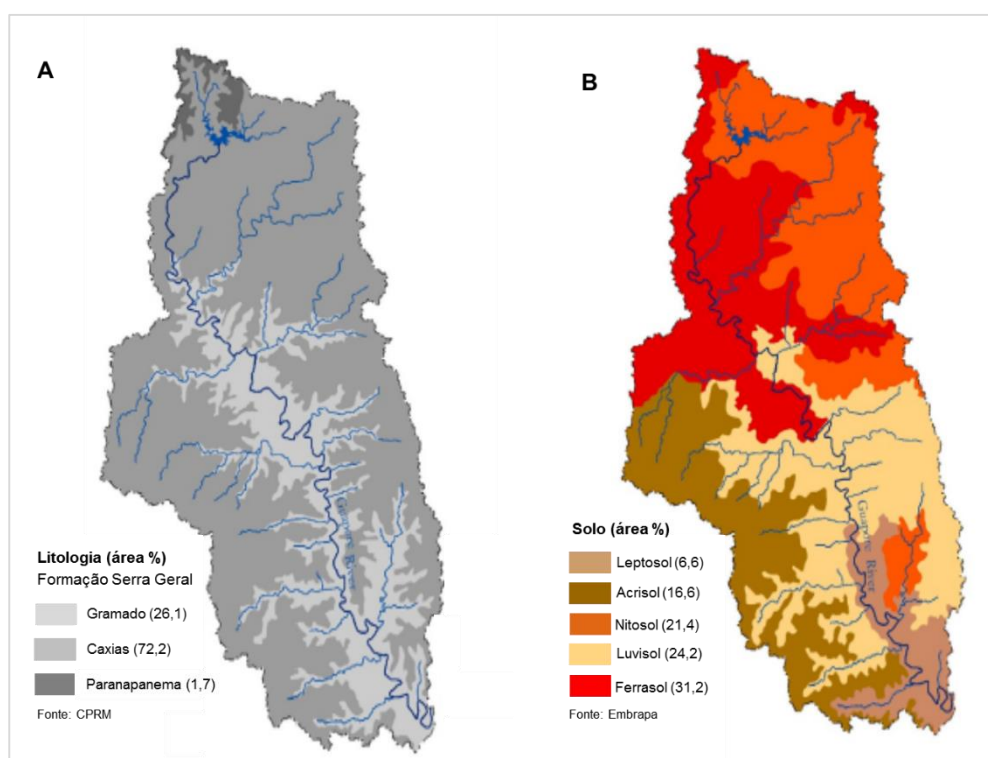


Figura 38 – (A) Litologia e (B) Tipos de solo da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé
Fonte: Adaptado de Tiecher et al. (2017).

A topografia na BH do Rio Guaporé varia de ondulada à montanhosa. Na porção Norte, há predomínio de classes de relevo suave a moderadamente ondulado (3 a 12%). Na região Sul da BH, as classes de relevo forte ondulado a escarpado são

predominantes (>20%) (CASTRO LIMA, 2017). As cotas altimétricas da BH variam de 39 a 836 metros, sendo a amplitude de 797 metros (Figura 39 – A). As cotas mais elevadas encontram-se na porção Norte-Nordeste e Oeste-Sudoeste da bacia hidrográfica. A classe de declividade predominante é de 15-30%, que compreende 29,7% da área da bacia, seguida das classes 5-10; 10-15; 30-45; 2-5; 45-70; 0,5-2; 70-100; 0-0,5 e >100%, que representam 20,4%; 18,2%; 13,4%; 8,5%; 6,8%; 1,9%; 0,9%; 0,2% e 0,1% da área da bacia hidrográfica, respectivamente (Figura 39 – B). As áreas mais declivosas encontram-se predominantemente na porção Sul da bacia (CAPOANE; TROIAN, 2018).

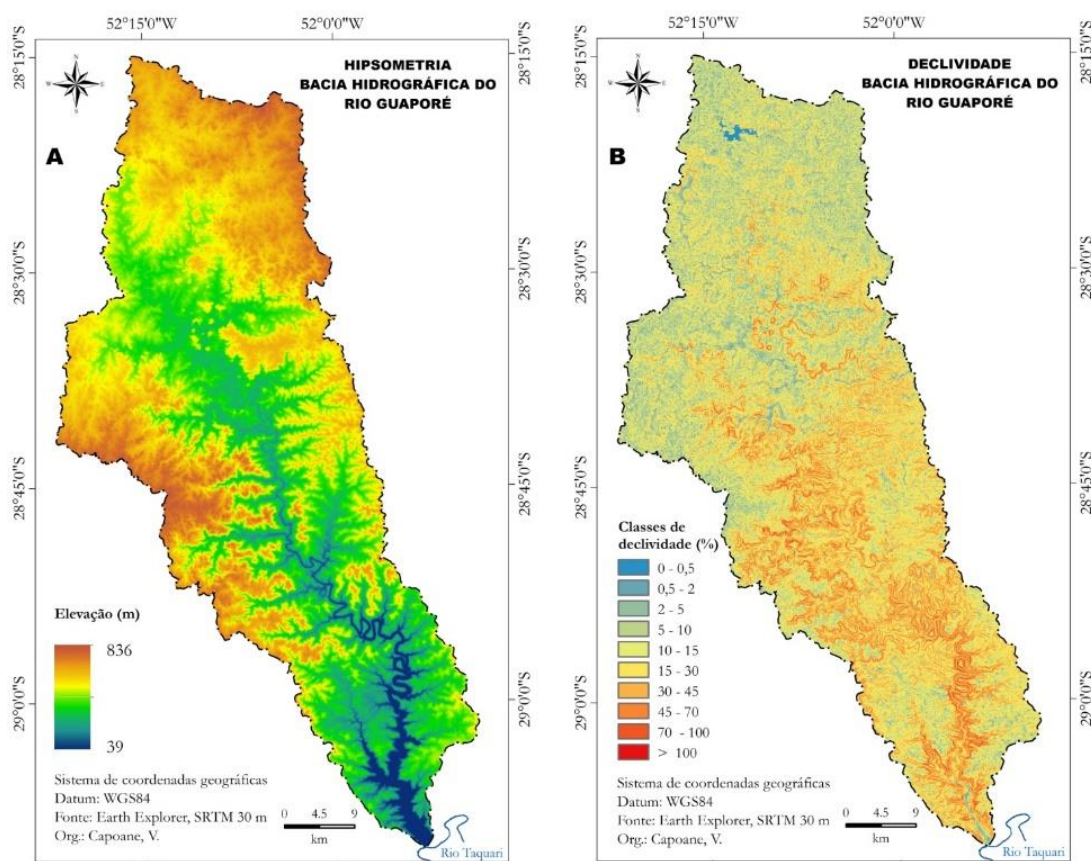


Figura 39 – (A) Hipsometria; (B) Classes de declividade para a Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé
Fonte: Capoane; Troian (2018).

O Índice Topográfico de Umidade (ITU) varia de 2,1 a 25,1 com média de 7 e desvio padrão de 2,8. A cor azul escuro da Figura 40 – A representa as áreas com maior potencial de saturação hídrica, ou seja, áreas com maior potencial de acúmulo de água e geração de escoamento superficial, típico de solos hidromórficos. Na bacia

hidrográfica essas áreas estão localizadas ao longo dos cursos de água e nascentes, sendo mais expressivas na região Norte, onde predomina o relevo suave ondulado do planalto do RS. As cores intermediárias representam pendentes de curvatura convergente, locais onde os fluxos tendem a se concentrar, aumentando a umidade do solo. Estas áreas estão principalmente no terço inferior das encostas, nos interflúvios mais extensos e próximos das nascentes. A cor azul claro indica locais com baixa umidade do solo e estão presentes em vertentes divergentes, em locais com declive acentuado com solos rasos e nos interflúvios de pequena extensão (CAPOANE; TROIAN, 2018).

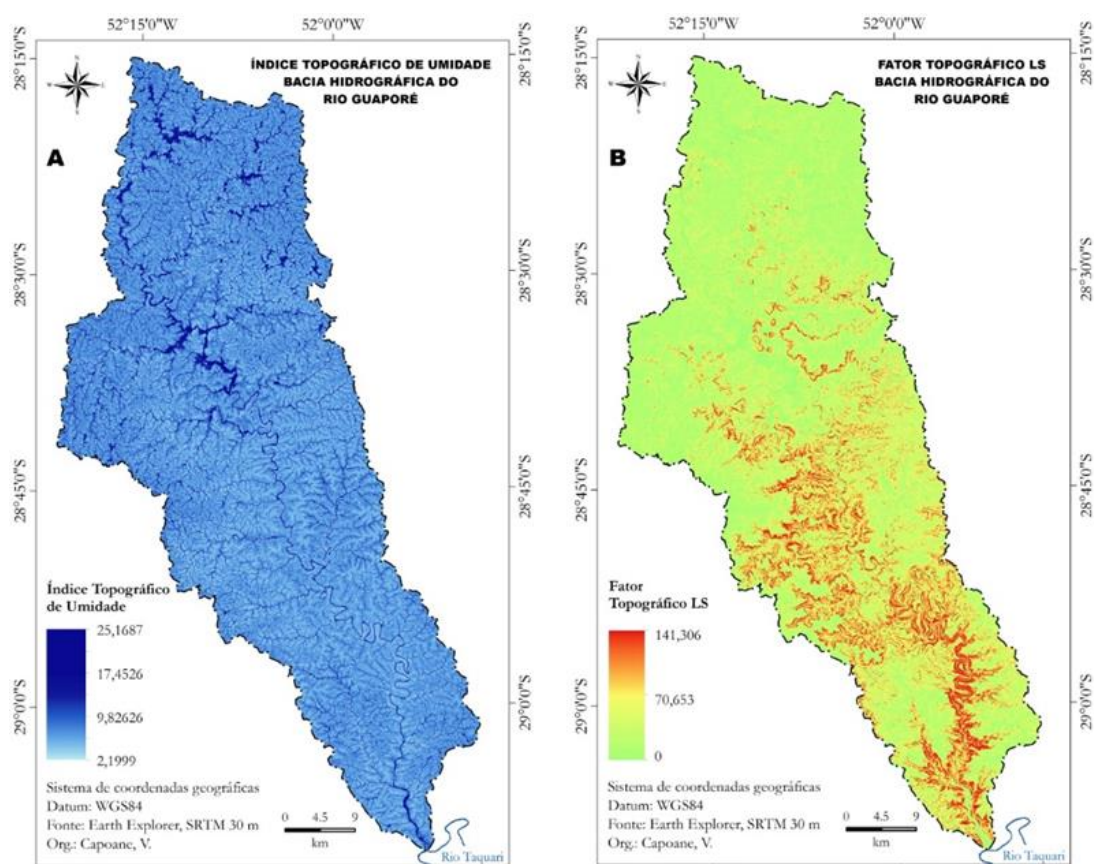


Figura 40 – (A) Índice topográfico de umidade; (B) Fator topográfico LS para a Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé

Fonte: Capoane; Troian (2018).

O fator topográfico LS varia de 0 a 141,3, com média de 3,8 e desvio padrão de 3,1. A cor verde da Figura 40 – B representa áreas caracterizadas por relevo plano e suave ondulado com declividades inferiores a 8%, localizadas predominantemente

nos fundos de vale e na região do planalto. Na transição das cores verde para vermelho, predominam declividades entre 8-20%. As cores avermelhadas representam as áreas mais declivosas da bacia hidrográfica. A transição da cor amarela para a vermelha indica que, quanto maior os valores do fator topográfico LS, maior a energia dos fluxos superficiais e consequentemente do poder erosivo, aumentando, assim, a susceptibilidade à perda de sedimento e poluentes (CAPOANE; TROIAN, 2018).

O Índice Topográfico de Potência de Escoamento (ITPE) varia de 0 a 696.283.520 (Figura 41 – A), o desvio padrão é de 4.071,7 e a média, 130,7. Os valores altos do IPE correspondem às áreas íngremes, lineares e escarpadas, indicando locais na paisagem com maior risco de aparecimento de canais de erosão e ravinas. Os baixos valores ocorrem em áreas planas e de várzeas, indicando locais de menor risco de ocorrência de processos erosivos por fluxos concentrados (CAPOANE; TROIAN, 2018).

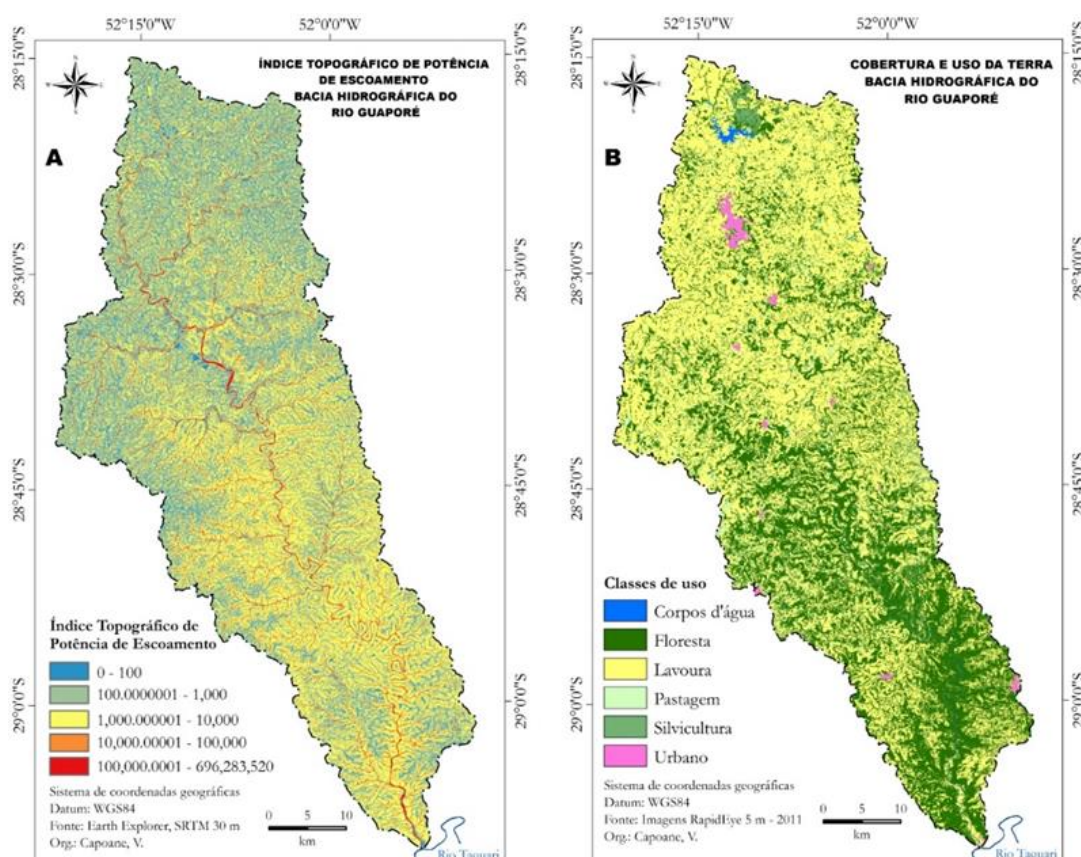


Figura 41 – A) Índice topográfico de potência de escoamento; B) Uso e cobertura da terra, para a Bacia Hidrográfica do Guaporé
Fonte: Capoane; Troian (2018).

De acordo com o mapa de índice ITPE, a cor vermelha e laranja representam áreas com alto potencial de fluxo, consequentemente, com potencial erosivo. Situam-se principalmente ao longo dos canais de drenagem, onde a energia do escoamento atua com maior intensidade. Nesses locais, o processo erosivo ocorre de maneira mais intensa, o que indica a necessidade de práticas destinadas a aumentar a estabilidade das margens por meio do manejo da zona ripária. A cor amarela representa áreas com potencial alto de escoamento e, que se encontram principalmente no terço médio das encostas e possui declive acentuado em áreas de perfil convexo, o que possibilita a aceleração do fluxo. A cor verde representa áreas com declive entre 5 e 8%. A cor azul indica locais com baixo potencial de escoamento; consequentemente, de erosão hídrica por fluxo de escoamento concentrado. Estão presentes em áreas planas no fundo de vales e interflúvios mais extensos com relevo suave e baixas declividades, que resultam em baixa energia erosiva em função da redução da velocidade dos fluxos superficiais (CAPOANE; TROIAN, 2018).

O mapa de uso e cobertura da terra (Figura 41 – B) reflete o relevo na conversão de florestas para a agricultura. Na porção Norte, inserida no planalto do RS, as áreas florestais foram suprimidas, restando fragmentos ao longo dos cursos de água. O relevo é suave ondulado e predominam estabelecimentos com áreas maiores (área média de 39ha), que cultivam a terra no sistema plantio direto e onde o cultivo de soja é mais expressivo no verão (IBGE, 2018).

Na porção Sul da bacia, o relevo é forte ondulado e a agricultura é praticada em estabelecimentos agrícolas com área média de 19ha. Os cultivos de milho e tabaco, manejados no sistema convencional, são mais significativos. No inverno as áreas ficam em pousio com aveia ou sob pastejo. Nessa porção da bacia, as áreas florestais e o cultivo de erva-mate são mais representativos, o que se atribui ao relevo forte ondulado, que dificulta o manejo dos solos (IBGE, 2018).

A classe de uso e cobertura da terra com maior proporção na BH do Guaporé é a de lavoura, representando 54,6%, sendo mais expressiva no Norte devido ao relevo suave da região. A classe floresta ocupa 36,8% da área da bacia, sendo mais expressiva na porção Sul em função do relevo acidentado. A classe pastagem ocupa 4,8% da área; a silvicultura, 2,6%; as áreas urbanas correspondem a 0,7% e a classe corpos de água, a 0,5% da área da bacia (CAPOANE; TROIAN, 2018).

A vegetação apresenta diferentes fitofisionomias: há ambientes onde a vegetação natural está em estado preservado, áreas localizadas principalmente em

encostas íngremes, menos propícias aos cultivos, especialmente desfavoráveis para execução de práticas agrícolas mecanizadas (SEMA, 2012). Contudo, mesmo nas áreas com baixa aptidão agrícola é possível verificar locais em que a vegetação natural foi suprimida em favor das atividades agrícolas de baixa escala ou para permitir a formação de pequenos aglomerados urbanos.

Alguns dos principais parâmetros e características fisiográfica da BH do Rio Guaporé e das sub-bacias Alto, Médio e Baixo Rio Guaporé são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Atributos fisiográficos da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé

Parâmetros	Alto Rio Guaporé	Médio Rio Guaporé	Baixo Rio Guaporé	Total
Área (km ²)	1.537,94	559,13	391,13	2.488,20
Área em relação ao total da BH (%)	61,8	22,5	16,7	100
Perímetro (km)	201,75	102,10	130,66	434,51
Comprimento do talvege principal (km)	74,99	42,01	46,19	163,19
Comprimento total de drenagem (km)	2.669,03	473,59	757,20	3.899,82
Recarga anual média (hm ³)	-	-	-	328,11
Taxa de recarga (hm ³ /km ²)	-	-	-	0,13
Disponibilidade hídrica (hm ³ /ano)	-	-	-	82,02
Nº de afluentes	84	22	25	131
Nº de açudes	62	27	13	102
Área hídrica média dos açudes (ha)	139,29	51,66	13,62	204,57
Volume hídrico dos açudes - profundidade média de 1,2 m (m ³)	1.640.411	608.409	160.366	2.409.186
Declividade (m/m)	0,0020	0,0031	0,0026	-
Coeficiente de compactidade (K _c)	1,44	1,45	1,55	-
Fator de forma (K _f)	0,27	0,22	0,26	-
Índice de circularidade	0,47	0,47	0,41	-
Densidade de drenagem (km)	1,74	1,22	1,35	-
Densidade dos cursos de água (km ²)	0,05	0,06	0,04	-
Extensão média de escoamento superficial (km)	0,14	0,20	0,18	-
Tempo de concentração (h)	26,80	13,33	16,20	-
Situação da qualidade da água	Compatível com a classe 3 do CONAMA	Sem dados	Compatível com a classe 2 do CONAMA	-

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados do Plano de Bacia Taquari-Antas (SEMA, 2011b).

Além das características físicas da BH, o uso e ocupação da terra para o desenvolvimento de atividades socioeconômicas lá desenvolvidas fornecem bons indicadores de riscos associados à degradação dos recursos hídricos. Portanto, este panorama será considerado como forma de colaborar com a caracterização dos sistemas de produção agrícola da região.

5.3 Perspectiva socioeconômica dos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé

A BH do Rio Guaporé é composta por 25 municípios, dos quais cinco possuem seus territórios totalmente inseridos na área de drenagem; os demais possuem parte dos seus territórios inseridos (detalhes nos procedimentos metodológicos, página 94). O retrato do perfil socioeconômico de cada município, retratado aqui, respeita a divisão político-administrativa, pois tal estrutura é a base para o planejamento e gestão das unidades municipais.

A população destes 25 municípios foi estimada pelo IBGE (2018) em 412.602 habitantes, sendo 14,8% residindo em domicílios rurais. A distribuição da população entre as categorias rural e urbana é semelhante à do Rio Grande do Sul (14,9%) e do Brasil (15,6%), contudo, a densidade demográfica da região do Guaporé (34 habitantes por km²) é maior que a nacional (23 habitantes/km²) e menor que a estadual (40 habitantes/km²) (IBGE, 2018).

O Município de Passo Fundo é o mais populoso (Tabela 2) e possui a maior densidade demográfica entre os municípios da BH (255 habitantes/km²). Contudo, possui apenas 2% de sua área inserida na BH do Rio Guaporé, o que representa menos de 1% de toda bacia.

Os municípios com menor densidade populacional são: Gentil (8 habitantes/km², localizado na porção Norte, possui aproximadamente 50% de sua área drenada para o Rio Guaporé, equivalente a 3,7% da área da bacia); e União da Serra (9 habitantes/km², totalmente inserido na área de drenagem, representando 5,3% da área desta bacia (IBGE, 2018).

Os Municípios de Encantado, Casca e Passo Fundo possuem 45%, 57% e 58%, respectivamente, da população que vive no meio rural ocupada nas atividades agrícolas. Por outro lado, nos municípios de União da Serra, Muçum, Montauri e Dois Lajeados há mais pessoas ocupadas em atividades agropecuárias que residentes no meio rural. A respeito do perfil etário, 56% dos gestores dos estabelecimentos possuem 55 anos ou mais; destacam-se os Municípios de Encantado e Nova Alvorada, onde mais de 70% dos gestores se encontram nesta faixa etária (IBGE, 2017a).

Tabela 2 – Perfil territorial, distribuição populacional e econômica dos municípios que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé

Municípios	Área				População			PIB per capita (mil R\$)	Estabelecimentos Agropecuários		
	Total	Inserida na BH		Relação entre a área do município e a BH	Urbana	Rural	Residente na BH ^(a)		Número	Área (ha)	Pessoal ocupado
	km²	Km²	%								
Água Santa	295,3	2,3	1	0,1	1.459	2.294	18	73,7	579	24.481	1.777
Anta Gorda	246,5	231,1	94	9,3	2.304	3.699	4.620	30,1	939	18.604	2.470
Arvorezinha	273,4	131,9	48	5,3	6.396	4.029	5.142	23,0	1.230	22.168	3.417
Camargo	139,9	138,1	100	5,6	1.151	1.573	2.704	63,8	436	11.460	1.168
Casca	275,1	88,4	32	3,6	5.301	3.709	6.492	43,6	793	21.832	2.117
Dois Lajeados	134,1	72,4	54	2,9	1.619	1.775	2.577	26,1	476	9.017	1.980
Doutor Ricardo	108,5	66,4	61	2,7	645	1.349	1.470	28,4	450	7.795	1.052
Encantado	140,5	4,7	3	0,2	19.631	2.889	97	34,9	580	7.428	1.303
Gentil	185,5	92,1	50	3,7	708	934	1.172	66,6	251	12.938	870
Guaporé	301,2	132,5	44	5,3	23.248	2.227	980	31,4	726	21.196	1.987
Ibirapuitã	310,8	37,2	12	1,5	2.371	1.656	198	26,7	483	26.096	1.304
Ilópolis	118,7	47,1	40	1,9	2.201	1.890	750	27,8	549	9.393	1.774
Itapuca	185,9	124,1	67	5,0	506	1.619	1.586	21,7	558	16.081	1.236
Marau	657,3	415,3	63	16,7	37.693	5.742	41.320	43,5	1.170	49.165	3.844
Mato Castelhano	241,6	108,2	45	4,4	535	2.003	1.432	40,7	449	20.760	1.330
Montauri	82,6	81,4	100	3,3	612	854	1.452	36,4	317	7.718	974
Muçum	111,7	13,9	12	0,6	4.177	771	2.185	48,6	355	6.452	892
Nova Alvorada	151,2	149,3	100	6,0	1.501	2.085	3.560	42,9	468	12.597	1.237
Passo Fundo	789,0	19,0	2	0,8	196.630	5.137	124	42,4	900	59.340	2.992
Santo Antônio do Palma	127,5	52,6	41	2,1	679	1.455	1.280	31,5	393	9.060	1.365
Serafina Corrêa	165,5	57,4	35	2,3	14.545	2.653	920	38,3	473	13.410	1.508
Soledade	1.229,2	44,8	4	1,8	24.770	6.197	226	23,9	1.353	94.798	3.880
União da Serra	132,4	130,8	100	5,3	224	968	1.181	39,7	374	10.607	1.120
Vespasiano Corrêa	114,2	65,6	57	2,6	377	1.458	837	32,9	401	8.756	1.458
Vila Maria	183,2	181,4	100	7,3	2.319	2.034	4.332	46,3	545	15.372	1.397
Total	6.702,0	2.488,2	-	100,0	351.604	60.998	86.653	38,6 ^(b)	15.248	516.524	44.452

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Estimativas de População (IBGE, 2018); Censo Agropecuário (IBGE, 2017a); Produto Interno Bruto dos Municípios (IBGE, 2016).

Notas: ^(a) A população residente na Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé foi estimada pela seguinte equação: $PBH = PRM \cdot 100 / AMB$, onde PBH: População da bacia hidrográfica; PRM: População rural municipal; AMPBH: Área municipal pertencente à bacia hidrográfica. No caso dos municípios cuja sede se localiza no interior da área de abrangência da BH, a equação acima foi somada à população urbana. No caso dos municípios em que o divisor de águas corta sua sede, considerou-se 50% da população urbana no cálculo da população residente na BH; ^(b) Média em mil reais do Produto Interno Bruto per capita.

Entre a população ocupada no meio rural, em média os estabelecimentos dispõem de três pessoas inseridas nas atividades agrícolas (contando mão de obra familiar e contratada), sendo que 17,3% constituem-se em mão de obra contratada. Junto aos contratados, 37,3% são trabalhadores permanentes sem laços de parentesco com o produtor, destes, 94,5% trabalham ao menos 180 dias/ano (2.712 trabalhadores). Os trabalhadores temporários ou parceiros sem laços de parentesco com o produtor representam 62,2% dos trabalhadores contratados no meio rural (4.824 trabalhadores). Destes, 87,2% são contratados por menos de 90 dias no ano (IBGE, 2017a).

Percebe-se que os contratos temporários são mais expressivos entre os municípios da BH. Proporcionalmente, a mão de obra contratada, tanto permanente quanto temporária, é menor comparada com as médias do Rio Grande do Sul e nacional. No Rio Grande do Sul, 23,5% do pessoal ocupado na agricultura são contratados (42,8% permanentes e 57,2% temporários). No Brasil, 33,8% do pessoal ocupado na agricultura são contratados, sendo 37,3% permanentes e 62,7% temporários (IBGE, 2017a).

Os municípios da BH que apresentam maior número de contratos permanentes são Passo Fundo (503, em 2017) e Soledade (438, em 2017). Os municípios que mais contratam mão de obra temporária são Dois Lajeados (892, em 2017) e Arvorezinha (710, em 2017), mão de obra essa, ocupada para a colheita de uva e colheita de tabaco, respectivamente. Em 2017 esses dois municípios contrataram 38,1% da mão de obra entre os municípios da BH, sendo que, destes contratos, 85% foram por períodos inferiores a 90 dias no ano (IBGE, 2017a).

Outra informação interessante construída com base no Censo Agropecuário (IBGE, 2017a), é que mais da metade das pessoas ocupadas no meio rural dos municípios (55%) desenvolve atividades em estabelecimentos cuja área varia de 10 a 50ha. De toda a mão de obra contratada pelos estabelecimentos agrícolas – 57,3% dos contratos temporários e 31,5% dos permanentes – se encontram nos estabelecimentos estratificados com área entre 10 e 50ha.

Estima-se que a população residente na área de abrangência da BH é de 86.653 habitantes. Dentre os municípios que possuem a sede no interior da bacia, o município de Marau tem maior número de habitantes residindo na BH do Rio Guaporé (47% de todos os habitantes) e maior concentração de habitantes (66/km²). Além disso, a população de Marau está concentrada na área urbana (87% do total),

enquanto a média da população urbana nos demais municípios com sede na área de drenagem é de 51% do total de habitantes (IBGE, 2018).

Em particular, o Município de Marau é considerado um polo industrial que abriga os setores de alimentos, couros, metal-mecânico e equipamentos para avicultura e suinocultura. São 200 empresas, a incluir 12 de grande porte (BORELLA, 2013), entre as principais empresas estão: o Grupo BRF S.A., Fuga Couros, Metasa e Grain Systems Group, que empregam parte da população (6.500 empregos) e geram expressivos volumes de resíduos.

Mesmo que o foco desta pesquisa seja observar as perturbações de origem rural, considera-se relevante mencionar algumas características referentes ao sistema de esgotamento sanitário dos municípios que integram a BH do Rio Guaporé. Segundo o Atlas Esgotos, elaborado pela Agência Nacional das Águas, o município de Marau gera 27,4 L.s⁻¹ de esgoto sem tratamento. Destes, 3,2 L.s⁻¹ não chegam sequer a ser coletados. Somente Marau gera um volume de esgoto sanitário superior ao dos outros 16 municípios com sede no interior, que juntos contribuem com 19,9 L.s⁻¹, sendo que destes, 15,3 L.s⁻¹ sem coleta e sem tratamento (ANA, 2017b).

Com relação à estratificação dos efluentes dos municípios (Figura 42), mais de um terço do volume gerado não é coletado nem tratado (33,7%). Informa-se que 20,2% são coletados e não tratados, enquanto 19,1% são coletados e tratados. Outros 27% são atendidos por solução individual (fossa séptica). Entre os municípios que apresentam a maior razão de esgoto sem coleta e sem tratamento estão Itapuca (92,8%) e Ibirapuitã (91,4%). Vale recordar que a zona urbana deste último não se encontra no interior da BH (ANA, 2017b).

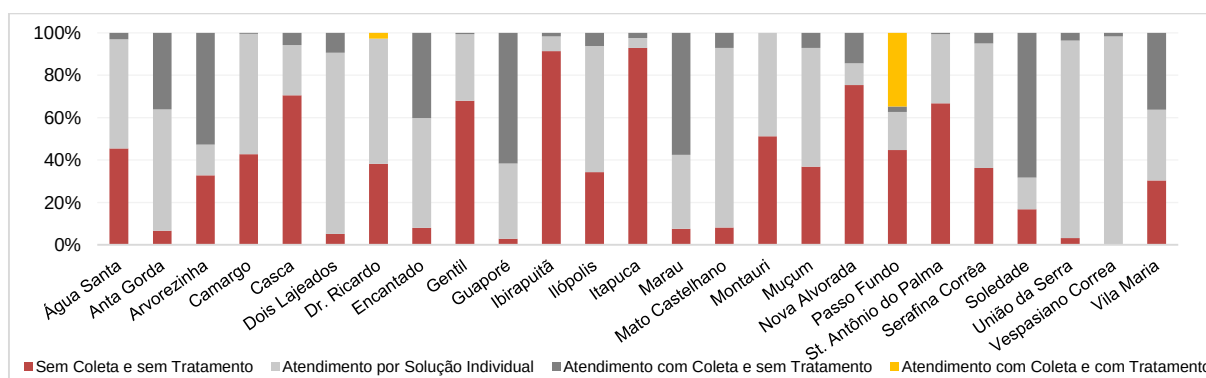


Figura 42 – Estrato da situação do atendimento com serviços de esgotamento sanitário nos municípios que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé

Fonte: Elaborado pelo autor com base em de dados do Atlas Esgotos (ANA, 2017b).

A análise de indicadores econômicos revela média do Produto Interno Bruto (PIB) dos municípios pouco acima dos R\$ 38 mil/ano. Segundo dados do IBGE (2016), 60% do PIB da região derivam da prestação de serviços, enquanto a participação da agropecuária é de 11% (Figura 43 – A). Ressalta-se que o PIB do Município de Passo Fundo representa 13% do regional. A proporção do setor primário, indústria e comércio de Passo Fundo é de 2,2%; 14,5% e 71,8%, respectivamente (IBGE, 2016).

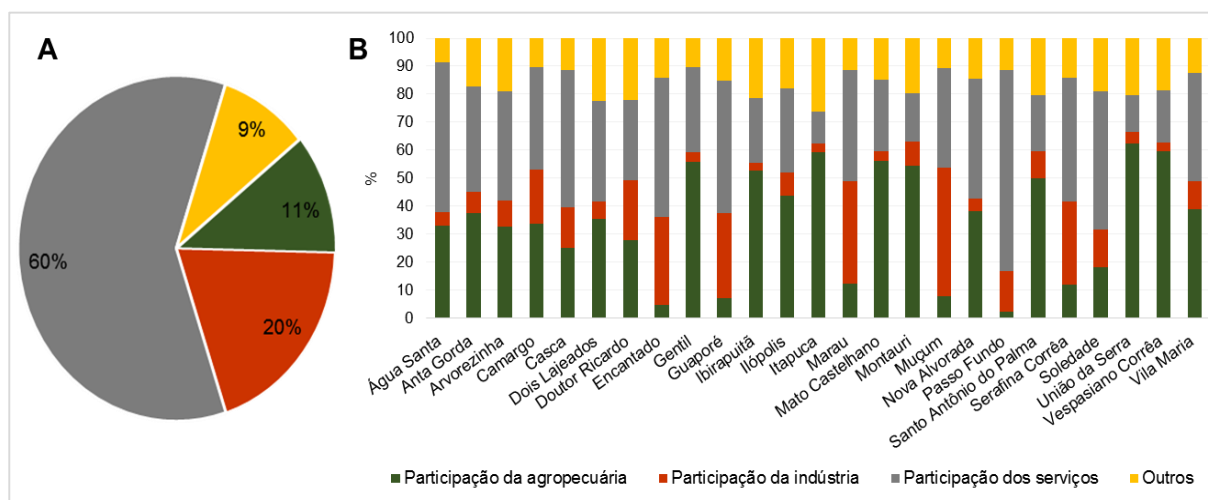


Figura 43 – (A) Representação do Produto Interno Bruto a preços correntes por atividade econômica nos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé e (B) Respectivas participações por município. Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Produto Interno Bruto dos Municípios (IBGE, 2016).

A parcela da agricultura no PIB dos Municípios de Guaporé e Encantado, assim como ocorre em Passo Fundo, é inferior a 5%. Por outro lado, a agricultura participa em mais da metade de todas as riquezas geradas nos Municípios de União da Serra (62%), Vespasiano Corrêa e Itapuca (59% em ambos), Itapuca, Mato Castelhanos (56%), Gentil (55%) e Montauri (54%). Destaca-se também a parcela referente à indústria na composição do PIB dos Municípios de Muçum (45%), Marau (36%), Encantado (31%), Guaporé (30%) e Serafina Corrêa (29%) (Figura 43 – B) (IBGE, 2016).

O Índice de Desenvolvimento Socioeconômico (IDESE), utilizado pela Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser (FEE) para mensurar o nível de desenvolvimento dos municípios do Rio Grande do Sul, revela que o

município mais desenvolvido da região é Água Santa, com IDH de 0,873³⁶, enquanto Ibirapuitã apresenta o menor IDH, 0,696 (FEE, 2015).

Embora o IDH favorável, a avaliação do Índice de Gini, que mede o grau de desigualdade existente na distribuição de renda domiciliar per capita indica que Água Santa lidera a desigualdade entre o universo de indivíduos do município (0,68). O Índice de Gini médio entre os 25 municípios é de 0,43, sendo que 16 deles estão abaixo desse valor. A renda apropriada pelos 20% da população com menor renda domiciliar per capita equivale a 2,4% da renda total, enquanto 71% da renda total são apropriados pelos 20% da população com maior renda domiciliar per capita em Água Santa. A menor desigualdade ocorre no município de Anta Gorda. Mesmo neste caso, a renda apropriada pelos 20% da população com menor renda domiciliar per capita equivale a somente 7% da renda total, enquanto que 41% da renda total são apropriados pelos 20% da população com maior renda domiciliar per capita (PNUD, 2013).

A proporção dos indivíduos com renda domiciliar per capita igual ou inferior a R\$ 140,00 mensais em reais de agosto de 2010 é mais expressiva no município de Ibirapuitã, onde 28,7% da população vive nesta condição. Guaporé, Dois Lajeados, Vespasiano Corrêa e Vila Maria possuem menos de 2% da população em situação de pobreza. Em média, 8,3% da população dos municípios da BH do Rio Guaporé vivem com menos de R\$ 140,00 mensais. Além disso, a metade da renda gerada é apropriada pelos 20% mais ricos (PNUD, 2013).

A caracterização do espaço físico e a conjuntura socioeconômica dos municípios demonstra ser uma região relativamente homogênea, contudo ressalta-se que há dissemelhanças consideráveis. Entre elas destaca-se o tamanho dos municípios, a proporção de habitantes rurais e urbanos, e o comportamento dessas particularidades na dinâmica regional. Os estratos da distribuição e usos da terra agrícolas, entre outros elementos capazes de retratar os sistemas de produção e criação predominantes na região serão abordados na sequência.

³⁶ Água Santa ocupa segundo lugar no ranking dos municípios mais desenvolvidos do Rio Grande do Sul, o primeiro colocado é Carlos Barbosa (0,879, em 2015), localizado no Corede Serra. O IDESE do estado do Rio Grande do Sul atingiu a marca de 0,751 em 2015.

5.4 Uso e ocupação da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé

Os estabelecimentos agropecuários dos municípios da BH do Rio Guaporé representam 4% do total de estabelecimentos do Rio Grande do Sul, sendo que ocupam 2% da área do estado. Observa-se que os estabelecimentos com área superior a 100 hectares equivalem a 5,3% do total e possuem 39,5% da área dos municípios. Somente 0,6% dos estabelecimentos possuem mais de 500ha (94), juntos equivalem a 11,6% da área. Por outro lado, 86,3% dos estabelecimentos possuem menos de 50ha e ocupam 43,1% da área, enquanto os estabelecimentos com área inferior a 20ha (57,7% do total) ocupam 16,4% da área da BH (IBGE, 2017a). Os dados demonstram que, embora haja em alguma medida concentração de terras na BH, ela é inferior à concentração de terras que ocorre no estado do Rio Grande do Sul e também no Brasil (Figura 44).

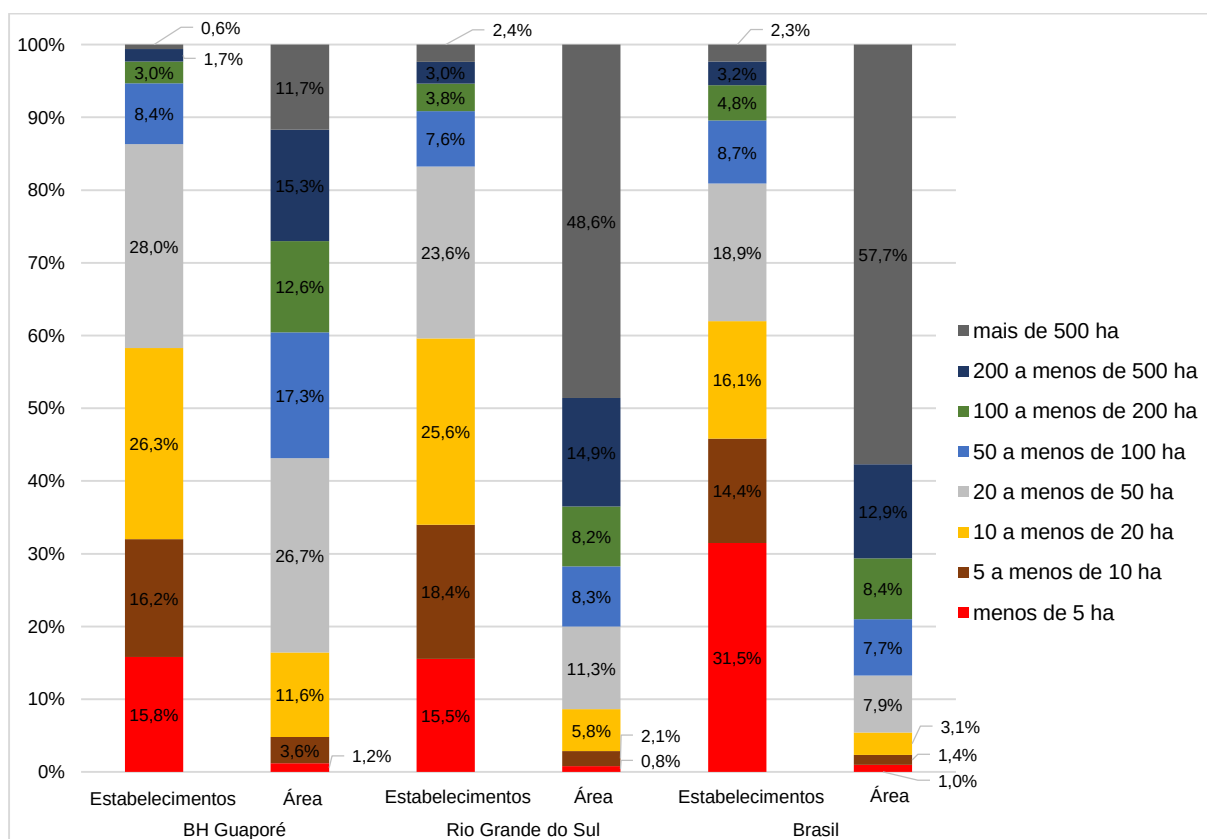


Figura 44 – Distribuição dos estabelecimentos agrícolas e da área apropriada segundo o tamanho do estabelecimento na Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé, no Rio Grande do Sul e no Brasil.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2017a).

A área média dos estabelecimentos agropecuários de todos os municípios que compõem a BH é de pouco menos de 34ha. Os estabelecimentos agrícolas sitiados na região Central e Sul da BH possuem área média inferior a 20 hectares, enquanto a área média dos municípios localizados entre a porção Noroeste e Norte da BH é maior (IBGE, 2017a).

Segundo os dados disponibilizados pelo IBGE, a proporção média das áreas entre os municípios que compõem a BH do Rio Guaporé é a seguinte: Cultivos Anuais (44,1%), Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL) (13,7%), área de pastagens (9,8%), silvicultura (11,4%), florestas naturais e plantadas (5%) e fruticultura (0,5%). O restante (15,5%) é destinado a usos não agrícolas (IBGE, 2017a), conforme pode ser visualizado na Figura 45. Através dela é possível observar que há uma inversão entre as proporções das áreas de cultivos anuais e das explorações agrícolas perenes entre os extremos geográficos norte-sul da bacia.

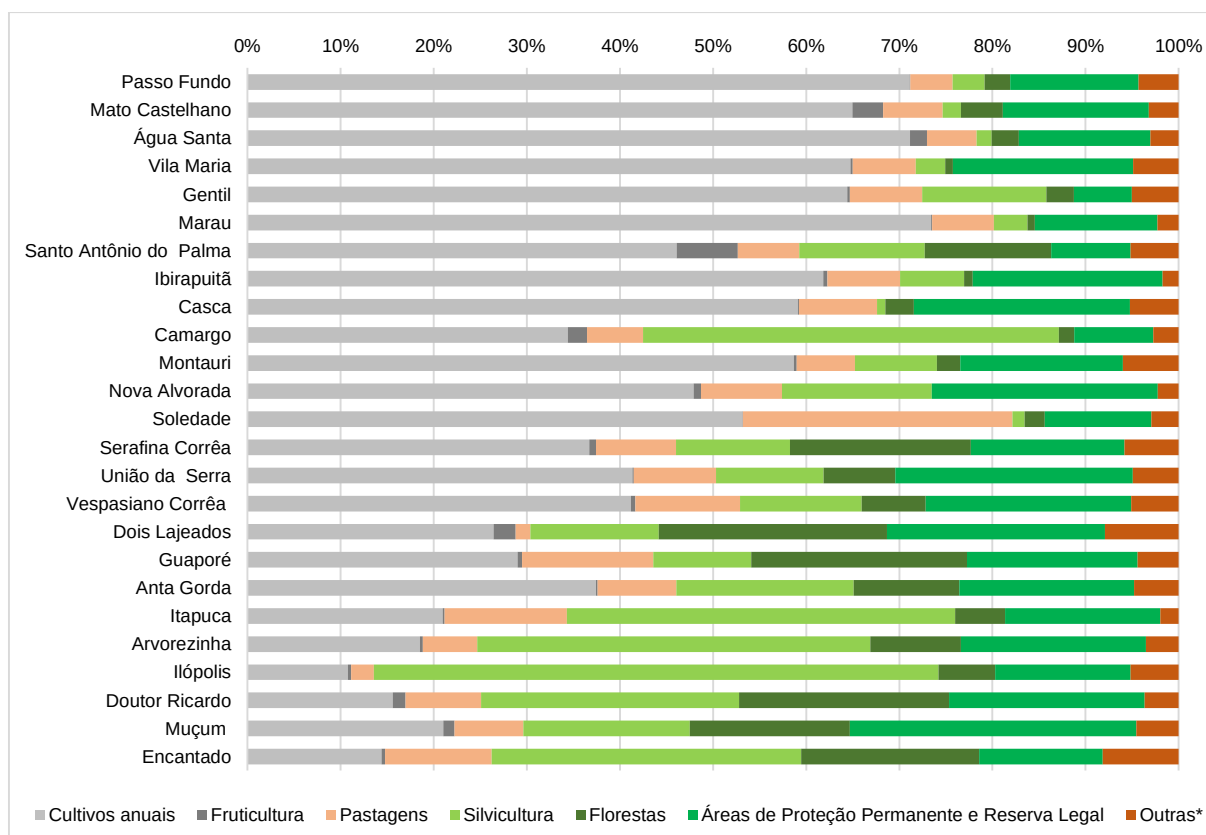


Figura 45 – Disposição da ocupação das terras agrícolas nos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2017a).

Nota: (*) Áreas ocupadas por água, construções, benfeitorias ou estradas; terras inaproveitáveis.

Nos últimos 20 anos, observaram-se algumas alterações na composição dos principais sistemas agrários da região. Evidencia-se acréscimo de 67% na área de silvicultura, que corresponde à produção de erva-mate, eucalipto e pinus. Esse aumento foi impulsionado principalmente pela ampliação da área de erva-mate, que praticamente dobrou neste período, atingindo mais de 17 mil hectares (Figura 46 – B). Ademais, é muito provável que a silvicultura, destacada na porção Sul da BH, tenha aumentado em detrimento das áreas de florestas nativas e de áreas antes destinadas aos cultivos anuais (caso comuns nos Municípios de Ilópolis e Encantado) (IBGE, 2017b).

A área com cultivo de eucalipto e pinus diminuiu acima de 16% no período equivalente a 2013 e 2017. O fenômeno foi mais evidente nos Municípios de Encantado, Camargo e Soledade. Por outro lado, o Município de Santo Antônio do Palma apresentou leve ampliação na área reflorestada (IBGE, 2017b).

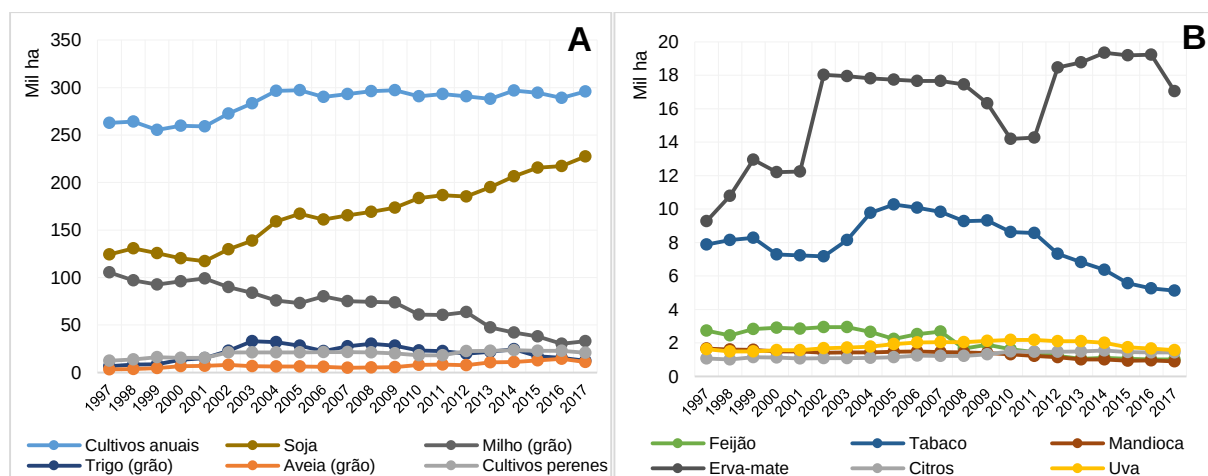


Figura 46 – (A e B) Evolução da ocupação da área das principais explorações agrícolas nos municípios pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2017b).

A área de fruticultura teve ampliação de 16,5% nos últimos vinte anos, mais intensa em Arvorezinha – com aumento superior a 380%, sobretudo, com a viticultura e citricultura –, Guaporé – crescimento de 118% também pela ampliação das áreas de citros e uva – e Anta Gorda – em 117%, especialmente com ampliação dos cultivos de videira e nogueira. A área de fruticultura também foi ampliada nos Municípios de

Dois Lajeados e Muçum em 105% e 48%, respectivamente, que se destaca o aumento na área cultivada com uvas (IBGE, 2017b).

A área de cultivos anuais teve acréscimo de 12,5% nos últimos 20 anos, enquanto que o crescimento da área de cultivos anuais em nível nacional foi de 74%. Mesmo com o registro de uma ampliação na área plantada com cultivos anuais nos municípios das BH, destaca-se que, em 14 dos 25 municípios, a área diminuiu no mesmo período. Isso significa que a ampliação da área foi observada em menos da metade dos municípios da BH. O município de Soledade foi que apresentou maior acréscimo na área de cultivos anuais (400%), neste caso fica evidente a conversão de áreas de campo nativo para lavoura de grãos, especialmente da soja (IBGE, 2017b).

Ademais, houve crescimento da área cultivada com soja (83%), enquanto a área com cultivo de milho diminuiu (- 69%) entre 1997 e 2017 (IBGE, 2017b). Por outro lado, a produção de milho aumentou 88% no mesmo período, o que representa significativo acréscimo na produtividade, que passou de 46 para 129 sacas/ha em média. No Brasil, além de aumento na produtividade de milho (de 42 para 92 sacas/ha, em média), houve também acréscimo equivalente a 38% na superfície cultivada entre 1997 e 2017 (IBGE, 2017b).

Segundo o Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, nesse período, a soja passou a ser uma das principais *commodities* do continente americano. Cerca de 88% de toda soja produzida no mundo é cultivada no continente americano, sendo o Brasil o segundo maior produtor mundial, responsável por aproximadamente 28% da soja produzida no planeta. A soja passou a fazer parte da paisagem dos minifúndios também do estado do Rio Grande do Sul, terceiro maior produtor de soja em grão entre os estados brasileiros (SPOG, 2019).

A Tabela 3 apresenta o panorama em relação à área dos principais cultivos agrícolas anuais e perenes praticados nos municípios da BH do Rio Guaporé. É possível verificar que o cultivo de soja ocupa 83% da área destinada aos cultivos anuais de verão (IBGE, 2017b).

Tabela 3 – Panorama do uso da terra nos municípios da BH em 2017

Municípios	Área com cultivos anuais ^(a)	Área dos principais cultivos agrícolas anuais (ha)							Área com explorações perenes	Área das principais explorações perenes (ha)					
		Inverno		Verão						Fruticultura ^(b)			Extração vegetal e Silvicultura ^(c)		Pastagens (natural e plantada)
		Aveia	Trigo	Milho (grão)	Soja	Feijão	Mandioca	Tabaco		Citros ^(d)	Uva	Outras ^(e)	Erva-mate	Eucalipto e Pinus	
Água Santa	17.655	950	1.100	850	13.800	20	10	7	1.758	13	15	6	15	380	1.329
Anta Gorda	8.164	-	43	5.940	270	90	38	1600	6.240	273	70	298	1.700	2.055	1.844
Arvorezinha	5.836	60	17	2.600	900	230	20	1900	11.837	337	78	33	6.800	2.745	1.844
Camargo	7.357	150	450	250	6.150	10	20	-	1.325	-	30	7	-	4	1.284
Casca	11.055	-	700	3.000	7.200	1	3	57	1.789	5	20	27	20	146	1.571
Dois Lajeados	1.926	-	20	950	800	20	14	30	1.576	60	550	14	40	797	115
Doutor Ricardo	1.525	-	15	1.200	30	10	8	221	2.740	25	42	8	90	1.782	793
Encantado	1.610	-	-	900	400	25	156	1	3.250	78	35	15	20	1.820	1.282
Gentil	11.452	150	550	400	10.000	10	8	10	1.928	4	8	5	5	530	1.376
Guaporé	6.107	10	250	1.500	4.000	55	70	14	5.079	151	250	35	180	1.497	2.966
Ibirapuitã	17.429	3.000	335	400	13.500	30	40	-	2.485	7	10	7	50	208	2.203
Ilópolis	1.471	-	-	1.000	55	55	10	300	8.464	70	36	10	6.500	1.517	331
Itapuca	4.978	50	50	420	3.950	38	15	410	5.047	23	28	7	690	1.182	3.117
Marau	44.446	-	3.100	1.500	39.000	50	120	2	4.410	32	40	17	13	290	4.018
Mato Castelhana	12.615	-	500	600	11.000	40	25	4	1.337	5	4	8	30	51	1.239
Montauri	4.367	100	300	1.100	2.800	10	10	10	1.087	12	20	14	7	568	466
Muçum	1.725	-	35	1.000	422	10	60	4	1.671	106	65	1	9	884	606
Nova Alvorada	7.079	500	400	800	4.900	40	30	150	2.873	37	50	13	350	1.135	1.288
Passo Fundo	45.723	3.000	1.200	1.000	40.000	65	20	-	3.691	15	5	22	15	715	2.919
Santo Antônio do Palma	4.379	50	300	250	3.500	6	30	194	1.227	-	30	17	-	550	630
Serafina Corrêa	4.462	-	200	1.365	2.840	4	15	10	2.085	37	34	30	6	932	1046
Soledade	55.732	3.000	1.800	600	50.000	130	120	25	30.818	5	13	30	350	77	30.343
União da Serra	4.663	-	100	2.250	2.250	7	7	5	2.001	68	50	15	30	844	994
Vespasiano Corrêa	3.827	-	30	1.500	2.100	10	30	100	1.485	40	61	0	35	305	1.044
Vila Maria	10.254	200	800	1.500	7.500	50	15	60	1.273	5	25	10	100	60	1073
Total	295.837	11.220	12.295	32.875	227.367	1.016	894	5.114	107.487	1.408	1.569	660	17.055	21.074	65.721

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2017b).

Notas: ^(a) O total da área cultivada corresponde a um valor superior à soma dos principais cultivos agrícolas anuais apresentados na tabela; ^(b) São consideradas somente áreas com no mínimo 50 plantas; ^(c) São consideradas somente áreas com no mínimo 500 plantas; ^(d) Laranja, limão e bergamota; ^(e) Pêssego, noz pecã e figo.

Embora a presença do cultivo de soja esteja mais acentuada nos municípios situados ao norte da BH, também é possível verificar pequenas lavouras distribuídas nos municípios localizados ao sul (Anta Gorda, Guaporé e União da Serra, por exemplo), cujas características de relevo são menos favoráveis. Nesses locais, historicamente predominaram cultivos de maior valor agregado bruto por área (como o tabaco, por exemplo) ou cultivos destinados ao consumo intermediário dos estabelecimentos agrícolas (milho, feijão, mandioca, entre outros) (IBGE, 2017b).

No tocante aos cultivos de grão de inverno, o Brasil produziu pouco mais de 4,3 milhões de toneladas de trigo em 2017. O cultivo de trigo apresenta elevada variação na área plantada nos últimos 20 anos, tanto em nível nacional como entre os municípios da BH do Rio Guaporé. Contudo, mesmo diante de variações, o cultivo de trigo estampa um acréscimo de 82% da superfície cultivada entre os municípios da BH, no mesmo período, sendo 83% da superfície cultivada nos municípios situados ao norte da BH (Água Santa, Camargo, Casca, Gentil, Marau, Mato Castelhano, Passo Fundo, Soledade e Vila Maria) (IBGE, 2017b).

A área de cultivo de aveia em grãos aumentou 250% entre 1997 e 2017. Os Municípios de Água Santa, Ibirapuitã, Nova Alvorada, Passo Fundo e Soledade concentram 93% da área cultivada (IBGE, 2017b). Embora uma parcela significativa de aveia cultivada no inverno é utilizada como forragem para alimentação dos bovinos (leite e corte), esses dados não se encontram disponíveis pelo IBGE.

O cultivo de tabaco na América representa 22% do cultivo mundial. O Brasil é o segundo maior produtor, com 867.355 toneladas/ano. Entre os estados brasileiros, o Rio Grande do Sul é o maior produtor de tabaco, com média anual no triênio 2013-2015 de 419 mil toneladas/ano. Nos últimos dez anos, a quantidade produzida no estado registrou queda em torno de 0,36% ao ano (SPOG, 2019). Nos municípios da BH do Rio Guaporé a queda no cultivo de tabaco foi superior a 35% nos últimos 20 anos. Ainda que se registre uma diminuição no cultivo, os municípios de Arvorezinha, Anta Gorda, Itapuca e Ilópolis possuem 82% da área cultivada com tabaco, sendo que os dois primeiros possuem 68% da área total cultivada na bacia (IBGE, 2017b).

Considerado um dos ingredientes mais importantes na dieta da alimentação do brasileiro, o feijão teve produção de 3 milhões de toneladas no país em 2017. Embora o cultivo de feijão esteja presente na quase totalidade dos minifúndios do RS, sua área cultivada registrou redução de 62% entre os municípios da BH do Rio Guaporé nos últimos 20 anos. Esta redução na área cultivada com feijão é presente em

praticamente todos os municípios da BH, exceto Arvorezinha, onde ela aumentou ligeiramente. Somente no ano de 2017 foram cultivados 230ha com feijão em Arvorezinha, maior área entre todos os municípios da BH (IBGE, 2017b).

Os municípios que apresentaram as maiores quedas na área cultivada com feijão foram: Ilópolis e Soledade, 86% e 67%, respectivamente. Os agricultores que produzem feijão nos municípios da BH têm como finalidade, prioritariamente, o autoconsumo e, na maioria das situações, comercializam apenas o excedente. Desta maneira, é improvável apontar na geografia da BH, uma ou outra região que se destaque na produção de feijão (IBGE, 2017b).

Assim como o feijão, a mandioca é considerada um cultivo de subsistência e está presente na maioria dos minifúndios brasileiros. O Brasil é responsável por aproximadamente 9% do total produzido no mundo; isso concede ao país a posição de quarto maior produtor mundial. Em 2017 foram produzidas mais de 18 milhões de toneladas (IBGE, 2017b). Na região do Rio Guaporé, a mandioca é cultivada tendo como principal finalidade o autoconsumo, com poucos casos de comércio do excedente. A mandioca também possui função de consumo intermediário dos animais nos estabelecimentos agrícolas.

A produção olerícola também é destaque entre os municípios: estima-se que são produzidas mais de 4,5 mil toneladas/ano, nos 1.215 estabelecimentos agrícolas. A olericultura é uma atividade econômica de elevado risco devido à suscetibilidade climática dos cultivos e à instabilidade mercadológica. Entre os sistemas de cultivos, predomina o convencional a campo. A Figura 47 apresenta a quantidade produzida dos principais cultivos. Cabe salientar que, para efeitos de cálculo, o IBGE (2017a) computa apenas a produção olerícola comercial.

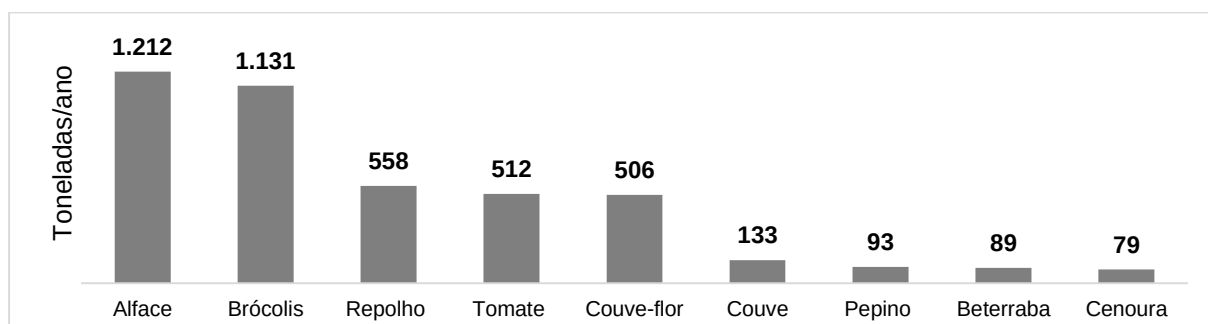


Figura 47 – Olericultura com fins de comercialização nos municípios pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2017b).

Embora os dados disponibilizados pelo IBGE não relacionem a irrigação ao tipo de cultivo, supõe-se que a maior parte da área irrigada seja ocupada pela olericultura. Ao todo são 398 estabelecimentos agrícolas com irrigação nos municípios da BH, sendo 60% dos estabelecimentos que utilizam os métodos de aspersão convencional e gotejamento. A maior fatia deles possui área igual ou menor que 20ha (78% deles). A área total irrigada é igual a 1.093ha, distribuídos em seis métodos de irrigação classificados pelo IBGE (2017a), conforme a Figura 48.

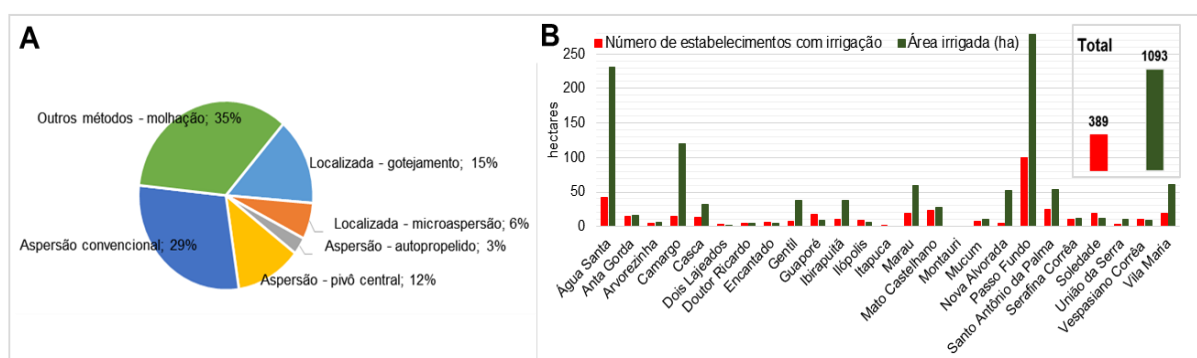


Figura 48 – (A) Extrato de área irrigada por método de irrigação utilizado e (B) Estabelecimentos agrícolas versus a área irrigada nos municípios da BH do Rio Guaporé
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2017b).

Após descrever o comportamento a respeito dos principais cultivos desenvolvidos, passa-se a retratar a composição dos sistemas de criação mais representativos para o sistema agrário dos municípios da BH do Guaporé. Conforme a Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes (ABIEC), em 2018 a pecuária brasileira contava com 44,2 milhões de cabeças para o abate – equivalente a 10,9 milhões de toneladas de carcaça. O crescimento da produção de carne ocorreu paralelamente à queda de 1,6% na área de pastagem. Em 2018, o rebanho nacional foi estimado em 214,6 milhões de cabeças para uma área de 162 milhões de hectares, com taxa média de ocupação de 1,32 cabeça/ha e lotação de 0,93 unidade animal/ha (ABIEC, 2019).

Nos últimos 20 anos, o rebanho bovino brasileiro dobrou de tamanho, enquanto que nos municípios da BH do Rio Guaporé apresentou queda de 7%. Os municípios de Soledade (19%), Marau (10%) e Casca (7%) representam pouco mais de 36% do

rebanho da BH no ano de 2017 (IBGE, 2017b), ainda que grande parte das áreas de campo nativo foi convertida em lavouras de soja nestes municípios.

Segundo os dados da Embrapa (2018b), de 1974 até o presente momento, o volume da produção de leite brasileira quadruplicou. Somente em 2017 foram produzidos 35,1 bilhões de litros no Brasil, correspondentes a 4% da produção mundial de leite (798 bilhões de litros em 2017). No mesmo ano, o Brasil importou mais leite que produziu (169 mil toneladas) e exportou 38 mil toneladas (equivalente ao déficit de US\$ 450 milhões na balança comercial).

Entre 1997 a 2017, o número de vacas leiteiras teve aumento médio de 44% nos municípios da BH. Montauri e de Nova Alvorada ampliaram significativamente seus rebanhos leiteiros: passaram de menos de 800 animais cada para 2.766 e 2.596 animais, respectivamente. O município com o maior rebanho é Marau (7.921) seguido por Anta Gorda (5.961). Por sua vez, o rebanho leiteiro de Muçum, Soledade e Arvorezinha diminuíram 27%, 26% e 20%, respectivamente, enquanto os demais municípios mantiveram o rebanho inalterado no mesmo período (IBGE, 2017b).

Conforme dados do IBGE (2017a), 75% dos estabelecimentos da BH do Rio Guaporé com bovinos de corte e 79% dos estabelecimentos com vacas ordenhadas têm entre 5 e 50ha. Esses estabelecimentos possuem 70% dos bovinos (33% de todos os bovinos estão nos estabelecimentos de 20 a 50ha). Por outro lado, 62% da área de pastagem estão em estabelecimentos com mais de 50ha (Figura 49). Com relação à quantidade de leite produzida, a média de produção do rebanho dos municípios da BH foi de 5L/dia e mais de 45% está concentrada nos estabelecimentos entre 20 e 50ha.

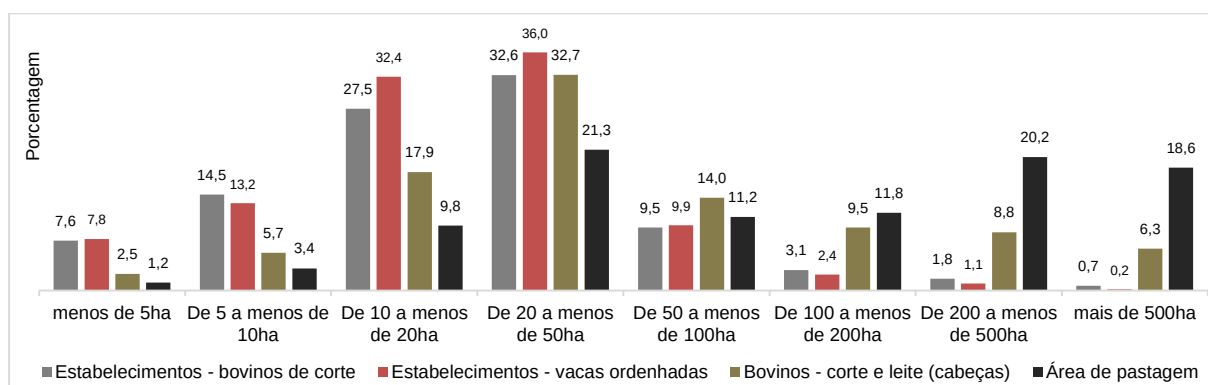


Figura 49 – Distribuição de animais e área de pastagem por grupo de estabelecimentos agrícolas
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2017a).

Com relação aos suínos, o Brasil produziu cerca de 3,9 milhões de toneladas em 2018, situando-se na quarta colocação mundial, tanto na produção como na exportação. A China liderou o ranking de produção com 54 milhões de toneladas no mesmo ano, seguida da União Europeia e dos Estados Unidos da América, com 24,3 e 11,9 milhões de toneladas, respectivamente. O estado de Santa Catarina é o maior produtor nacional, com 26,2%, seguido do Paraná e Rio Grande do Sul, com 21,3% e 19%, respectivamente (EMBRAPA, 2018a).

No ano de 2017 existiam 6.567 estabelecimentos agropecuários, totalizando um rebanho de 574.427 animais nos municípios da BH do Rio Guaporé. Aproximadamente 30% dos estabelecimentos que criam suínos nestes municípios possuem menos de 5ha, sendo que 40% dos animais estão nos estabelecimentos agrícolas que possuem entre 20 e 50ha (Figura 50). Os municípios com os maiores rebanhos são Casca (13% do rebanho da BH), Anta Gorda (12%), Encantado (9%) e Serafina Corrêa (6%). Os municípios com maior número de matrizes são Anta Gorda (9.300 animais), Casca (6.679), Serafina Corrêa (5.700) e Muçum (4.500) (IBGE, 2017a).

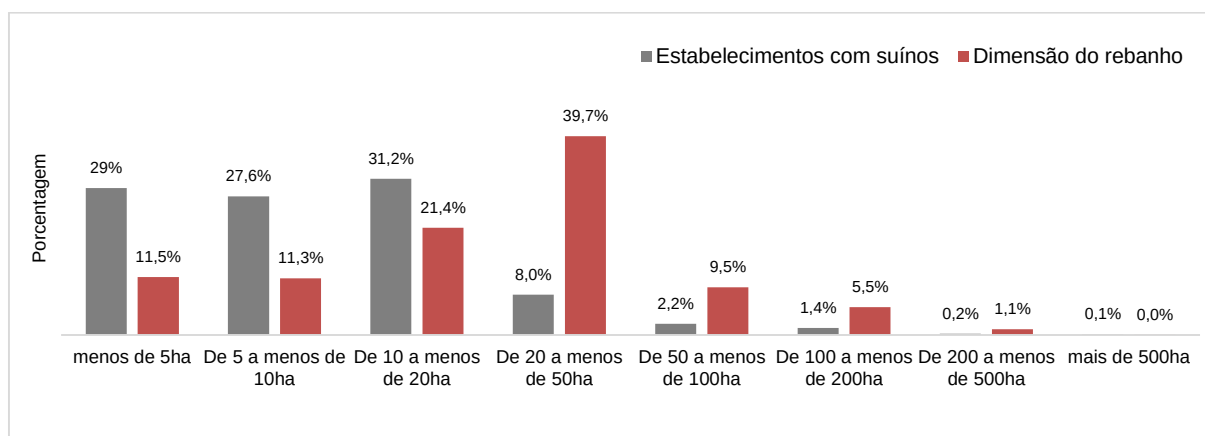


Figura 50 – Distribuição do número de suínos por grupo de estabelecimentos agrícolas
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2017a).

No que se refere à criação de aves, ressalta-se a importância brasileira na produção e exportação de carne de frango. Segundo a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), o Brasil é o segundo maior produtor mundial de frangos, situando-se atrás apenas dos Estados Unidos. Em 2018 produziu 12,9 milhões de

toneladas de carne de frango, sendo que quase quatro milhões de toneladas são exportadas anualmente para mais de 150 mercados. O setor avícola brasileiro reúne mais de 3,5 milhões de trabalhadores, 350 mil dos quais trabalham diretamente nas plantas frigoríficas e mais de 130 mil famílias possuem aviários no meio rural (ABPA, 2019).

O Rio Grande do Sul é o terceiro maior produtor nacional (12,5%), posicionado atrás do Paraná, maior produtor nacional (31,9%) e de Santa Catarina (13,8%) (Embrapa, 2018a). O número efetivo de frangos dobrou de 1997 a 2017 nos municípios da BH do Guaporé. Segundo os dados disponibilizados pelo IBGE (2017a), o rebanho efetivo em 31 de dezembro de 2017 do município de Marau representava 18% do rebanho de frangos da BH. Água Santa e Encantado também se destacam, pois, na mesma data cada um destes municípios possuía 9% do rebanho efetivo de frangos. Em Encantado o número de animais cresceu 35% em relação a 1997, enquanto em Água Santa o aumento superou 250% no período (Tabela 4).

Tabela 4 – Rebanho de bovinos, suínos e aves nos municípios da BH em 2017

Municípios	Bovinos ^(a)		Vacas de leite ^(a)		Suínos		Aves ^(b)	
	Estab.	Animais	Estab.	Animais	Estab.	Animais	Estab.	Animais (mil)
Água Santa	360	8.930	246	3.763	202	1.362	319	2.324
Anta Gorda	626	11.869	414	5.961	456	68.402	607	332
Arvorezinha	562	5.359	347	1.414	573	15.535	677	967
Camargo	304	6.797	214	2.495	182	34.668	267	1.516
Casca	530	15.652	424	5.614	234	75.497	303	1.679
Dois Lajeados	318	5.792	235	2.269	225	26.694	302	1.095
Doutor Ricardo	243	2.663	149	864	212	10.986	277	295
Encantado	385	4.791	219	1.246	287	49.944	366	2.360
Gentil	192	6.312	147	1.383	173	5.892	171	717
Guaporé	440	9.160	317	2.753	181	21.483	415	899
Ibirapuitã	295	7.476	183	1.782	175	1.070	237	139
Ilópolis	260	1.933	156	824	271	10.705	314	379
Itapuca	285	4.903	174	1.112	252	11.638	293	437
Marau	841	21.372	667	7.921	326	26.528	512	4.848
Mato Castelhano	251	4.301	168	1.448	165	818	282	251
Montauri	215	4.720	181	2.766	173	5.981	205	328
Muçum	169	1.782	95	565	153	31.090	210	129
Nova Alvorada	308	6.548	228	2.596	214	26.320	284	1.230
Passo Fundo	494	9.566	347	2.826	352	3.021	597	1.329
Santo Antônio do Palma	274	3.991	220	1.553	233	26.376	284	1.230
Serafina Corrêa	361	9.503	297	4.331	244	35.853	349	900
Soledade	936	40.898	451	2.774	682	3.571	922	349
União da Serra	250	5.417	205	2.771	204	26.756	243	909
Vespasiano Corrêa	323	8.737	280	3.726	257	25.715	306	611
Vila Maria	346	9.252	278	3.855	141	28.522	232	1.754
Total	9.568	217.724	6.642	68.612	6.567	574.427	8.974	27.008

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2017a).

Notas: ^(a) Estabelecimentos com 50 cabeças. ^(b) E estabelecimentos com mais de 200 cabeças de galinhas, galos, frangas, frangos ou pintos.

Ademais, é importante ressaltar que a transformação de matérias-primas provenientes da agricultura, pecuária e silvicultura constitui notável alternativa de geração de trabalho e renda no meio rural. O processo agroindustrial na forma de empreendimentos de pequeno porte, geridos pelos agricultores, permite a agregação de valores ao longo de toda a cadeia produtiva.

Segundo dados do IBGE (2017a), há 20.126 estabelecimentos que processam produtos agropecuários nos municípios analisados. Os principais produtos processados são: carne bovina (3.635); carne suína (3.251); queijos e derivados (2.550); embutidos (2.209); pães, bolos e biscoitos (1.622); doces e geleias (1.920) e vinho (837). Entre carne bovina, suína e embutidos (linguiças, salsichas e salames), são produzidas 2.299 toneladas/ano. São mais de um milhão de litros de vinho e 1.658 toneladas de queijos e derivados (requeijão, manteiga, etc.) produzidas por ano. Entre pães, bolos e biscoitos, há produção de 323 toneladas/ano, mais 183 toneladas/ano de doces e geleias (IBGE, 2017a).

Ainda, são produzidos 238.471 kg/ano de mel, 45% do total é produzido em Passo Fundo (21%), Mato Castelhano (13%) e Casca (11%). São produzidos aproximadamente 350 milhões de litros de leite/ano e 37% desta produção está distribuída nos municípios de Marau (12%), Casca (9%), Anta Gorda (8%) e Serafina Corrêa (8%). Outros processamentos como melado, rapadura e aguardente também fazem parte de alguns dos estabelecimentos dos municípios da BH (IBGE, 2017a).

5.5 Zoneamento regional dos sistemas de produção agrícola da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé

Para auxiliar a identificação das diferentes paisagens agrícolas nos municípios da bacia hidrográfica, utiliza-se o zoneamento regional, que consiste em identificar e descrever no espaço geográfico as diferentes “paisagens agrárias”. A análise dá-se sobre a área absoluta dos estabelecimentos agrícolas por municípios e, nesta caracterização inicial das diferentes agriculturas existentes, observa-se uma tendência de os estabelecimentos diminuírem de tamanho conforme o Rio Guaporé avança da montante em direção à jusante da bacia (Figura 51 – B).

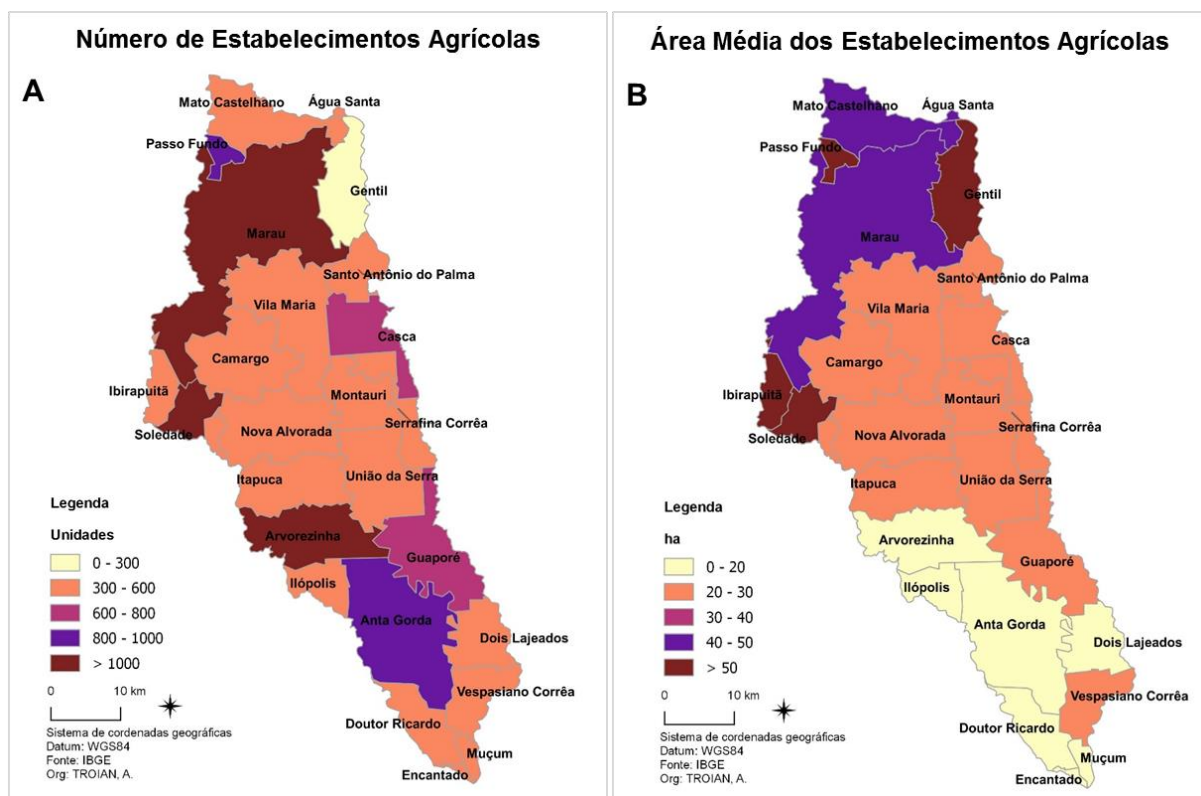


Figura 51 – Representação gráfica do (A) Número de estabelecimentos agrícolas e da (B) Área dos estabelecimentos agrícolas dos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2017a).

Com relação a organização da paisagem natural, no que diz respeito a flora e as transformações naturais e antrópicas, segundo a Lei nº 12.651/12, a Área de Preservação Permanente tem por função conservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade. Esta lei prevê, com delimitação obrigatória, a preservação de faixas marginais nos cursos de água que podem variar de tamanho em função da largura destes. Para arroios com até 10 metros de largura, a faixa mínima a ser preservada é de 30 metros em cada lado do curso de água. Para os cursos de água que tenham entre 10 e 50 metros de largura, a faixa mínima a ser preservada é de 50 metros em cada lateral do rio.

O Rio Guaporé, em praticamente todo o seu percurso, possui lâmina de água com largura superior a 10 metros; no entanto, a faixa marginal que deveria ser protegida pela Lei nº 12.651 (mínimo de 50 metros em cada lado) não corresponde. Igualmente é comum observar que muitos de seus afluentes também estão em desacordo com esta lei.

Ainda conforme a Lei 12.651/12, todo imóvel rural deve manter área com cobertura de vegetação nativa a título de Reserva Legal. Excetuando-se as áreas localizadas na Amazônia Legal e no Bioma do Cerrado, a taxa mínima prevista é de 20% da área do imóvel. Mesmo que as Áreas de Preservação Permanente não possam ser computadas como Reserva Legal, os dados disponibilizados pelo IBGE (2017a) indicam que, juntas, as áreas de APP e RL dos municípios equivalem a 13,7% da área total global dos municípios. Embora os dados revelem que os estabelecimentos agrícolas estejam aquém da legislação, é possível observar que a região centro-sul da BH possui as maiores proporções de áreas com florestas – nativas e plantadas (Figura 52 – A e B).

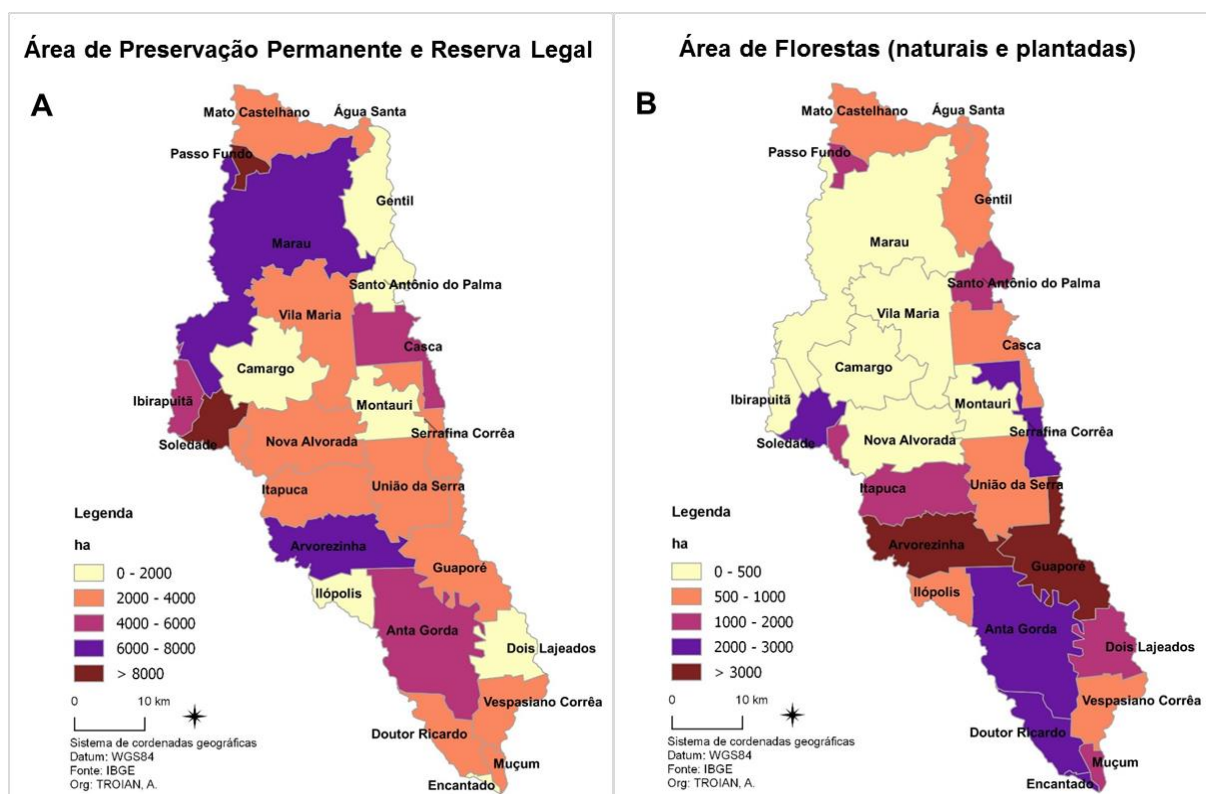


Figura 52 – Representação gráfica da (A) Área de Preservação Permanente e da (B) Área ocupada com florestas nos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2017a).

Como é possível visualizar na Figura 53 – C e D, há predominância de cultivos anuais na porção norte, enquanto ao sul prevalecem explorações perenes. Os cultivos de ciclo curto geralmente são distribuídos sobre regiões menos acidentadas do ponto

de vista do relevo, bem como nas glebas mais planas dentro da propriedade rural, por demandarem um conjunto de operações agrícolas –antecedentes e posteriores ao plantio – que implicam uso intensivo de máquinas e implementos agrícolas.

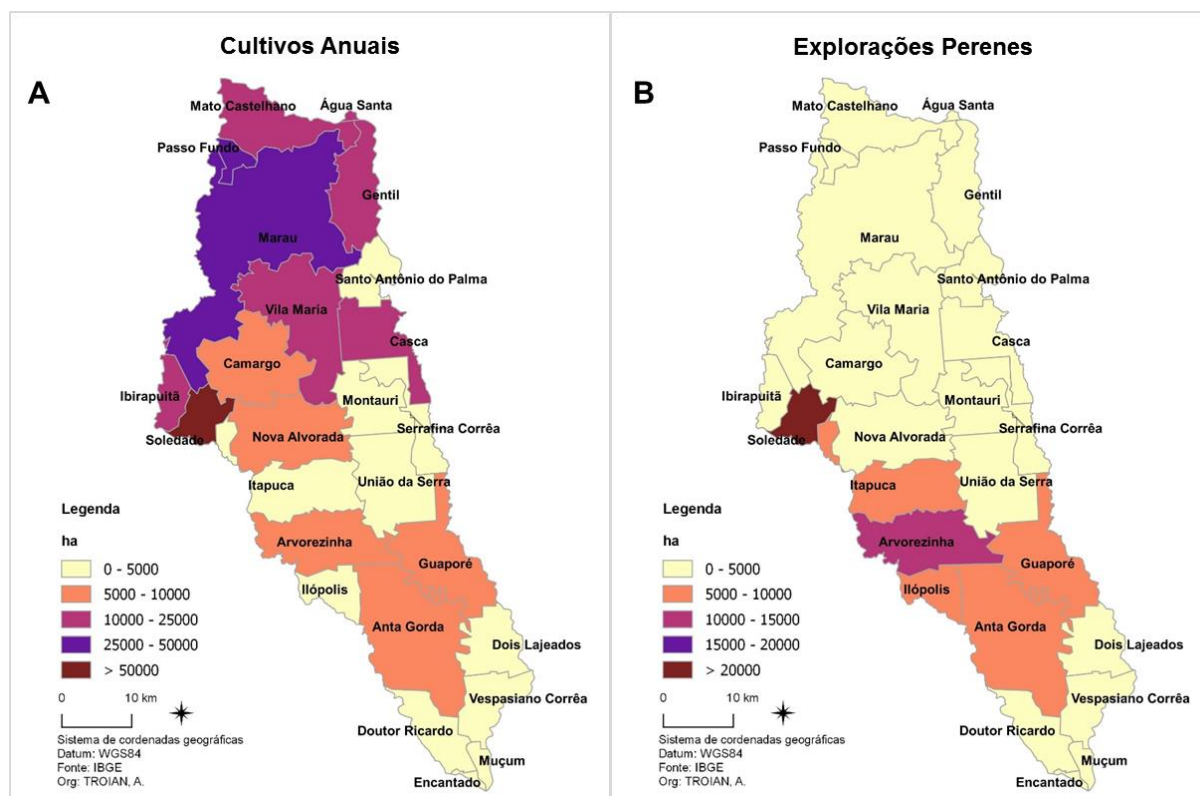


Figura 53 – Representação gráfica da área ocupada por (A) Cultivos anuais e com (B) Explorações perenes dos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2017a).

A região norte da BH apresenta relevo suave ondulado, solos profundos, com baixa presença de matas ciliares (zona tampão), e nela predomina o cultivo intensivo de grãos sob o sistema de plantio direto. Conforme a Figura 54 – A e B, é possível verificar que no verão prevalece o cultivo de soja e no inverno alternam-se os cultivos de trigo e aveia. Entre as áreas com aveia, é mais relevante o cultivo para subsidiar a alimentação dos bovinos (tanto para corte quanto para leite). Com esta constatação, é possível traçar dois sistemas de cultivos com base na produção de grãos de sequeiro: 1) grãos de sequeiro (soja/ou milho) na primavera/verão e 2) cereais (trigo/aveia grãos) ou forrageiras (aveia/azevém) para bovinos no outono/inverno.

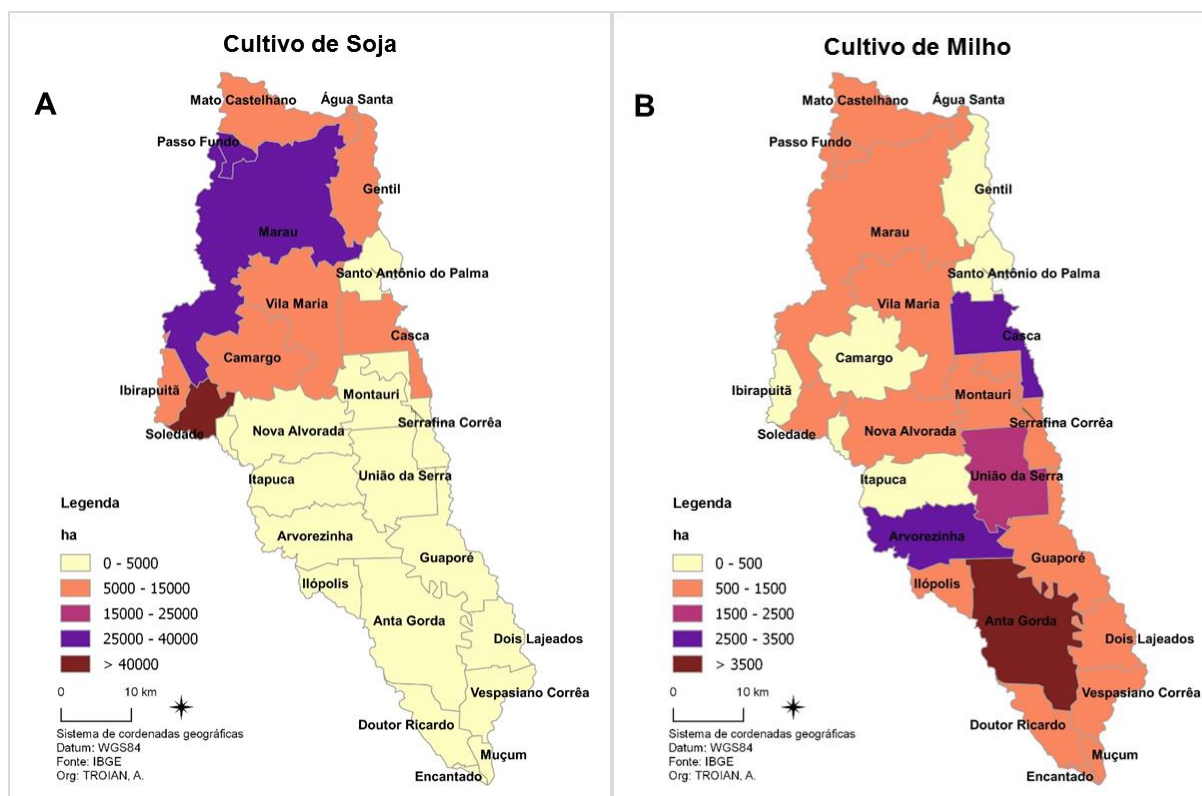


Figura 54 – Representação gráfica da área dos cultivos de (A) Soja, (B) Milho em grãos
Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2017a).

Além da produção de carne bovina e de leite (Figura 55 – A e B), a região norte também presencia a produção de frangos e suínos no sistema intensivo, integrado aos complexos agroindustriais sitiados no município de Marau (estendendo-se em direção ao centro até as mediações de Nova Alvorada) (Figura 55 – C e D). A criação animal é menos destacada no extremo norte da BH. Em específico, a produção de leite e suínos se encontra à margem esquerda do Rio Guaporé por toda a extensão da BH. Do lado direito do rio, mais ao sul da BH, nas mediações de Anta Gorda, destaca-se a produção de leite e suínos.

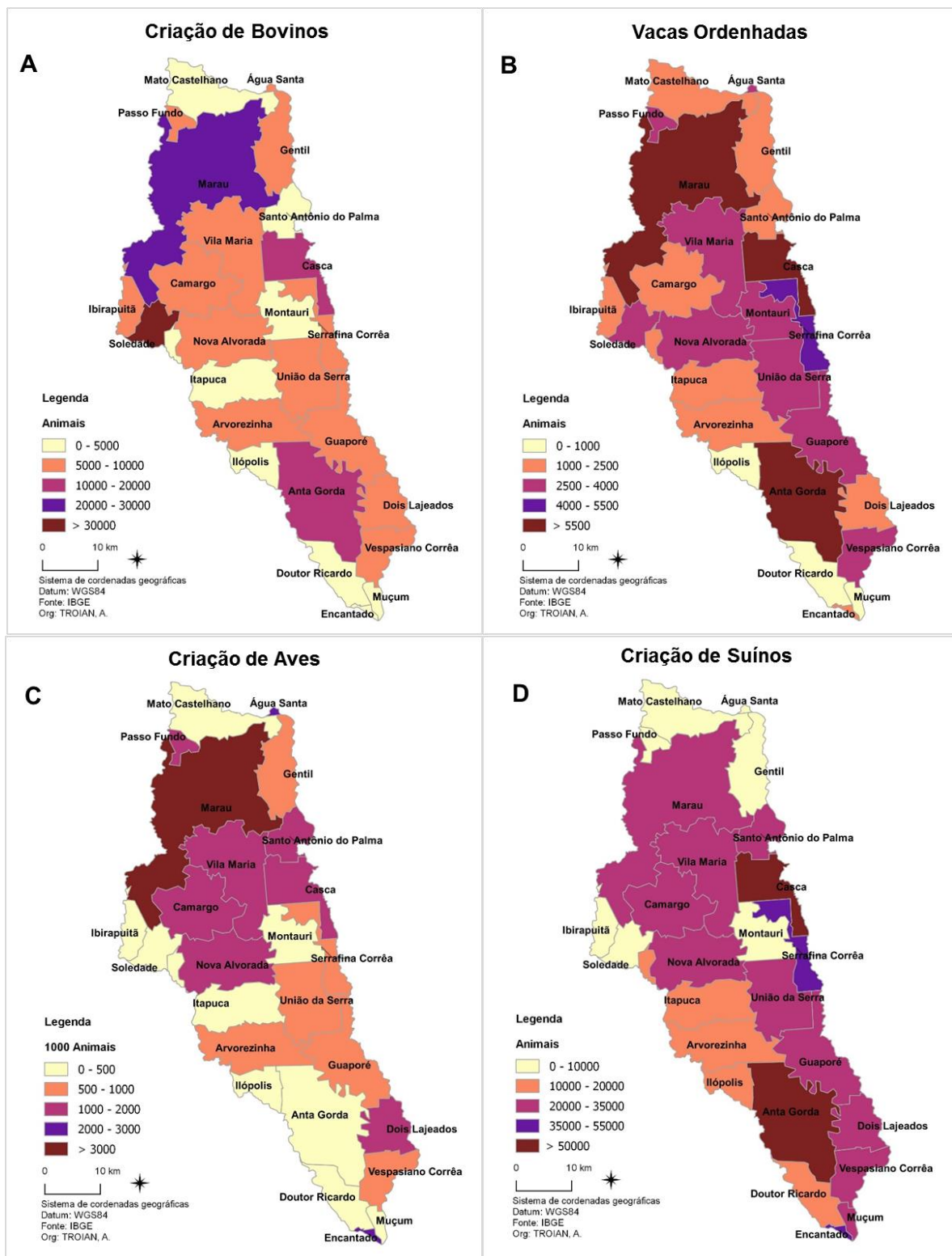


Figura 55 – Representação gráfica do número de animais nas criações de (A) Bovinos, (B) Vacas ordenhadas, (C) Aves e (D) Suínos dos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2017a).

Ainda em nível regional, o relevo da porção centro-sul da BH é declivoso e os solos são rasos com fragmentos florestais remanescentes. A agricultura praticada na

metade sul da BH é de baixa intensidade, cultivada sob o sistema de plantio convencional. Há predomínio do cultivo de tabaco, milho e feijão (Figura 56 – A e B). Outros cultivos com menor impacto econômico na renda das famílias se fazem presentes, como mandioca, batata-doce e olerícola. As áreas de lavouras são segmentadas e compartilham a paisagem com áreas de florestas remanescentes e com áreas de exploração permanente.

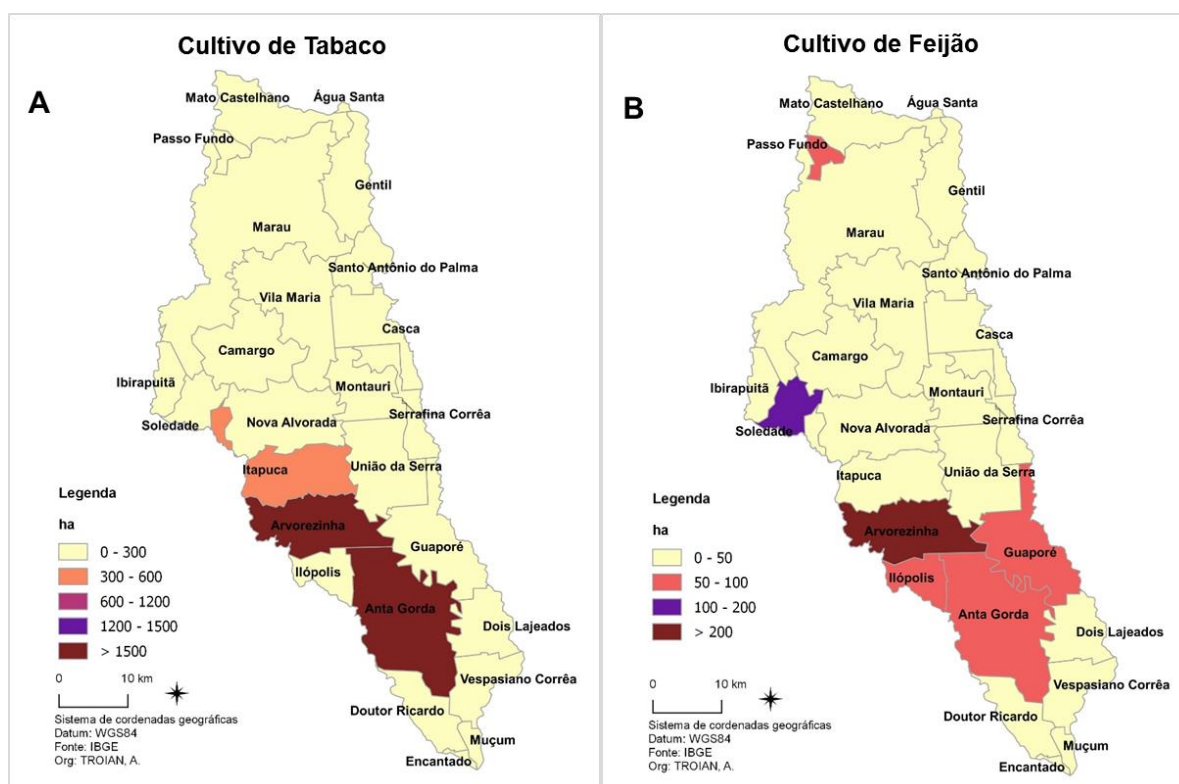


Figura 56 – Representação gráfica da área dos cultivos de (A) Tabaco e (B) Feijão dos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2017a).

Na margem direita do Rio Guaporé estão as explorações permanentes, como o cultivo da erva-mate. Os municípios de Ilópolis e Arvorezinha, com áreas de 6.800 e 6.500ha, respectivamente, são os maiores produtores. Juntos produziram 130.280 toneladas em 2017, o que corresponde a 43% da produção do Rio Grande do Sul e a 20% da produção nacional (IBGE, 2017b). Ainda sobre as explorações perenes, na margem direita do rio, na porção centro-sul da BH, destaca-se a produção de madeira (eucalipto e pinus) e, na margem esquerda do rio, a fruticultura (Figura 57).

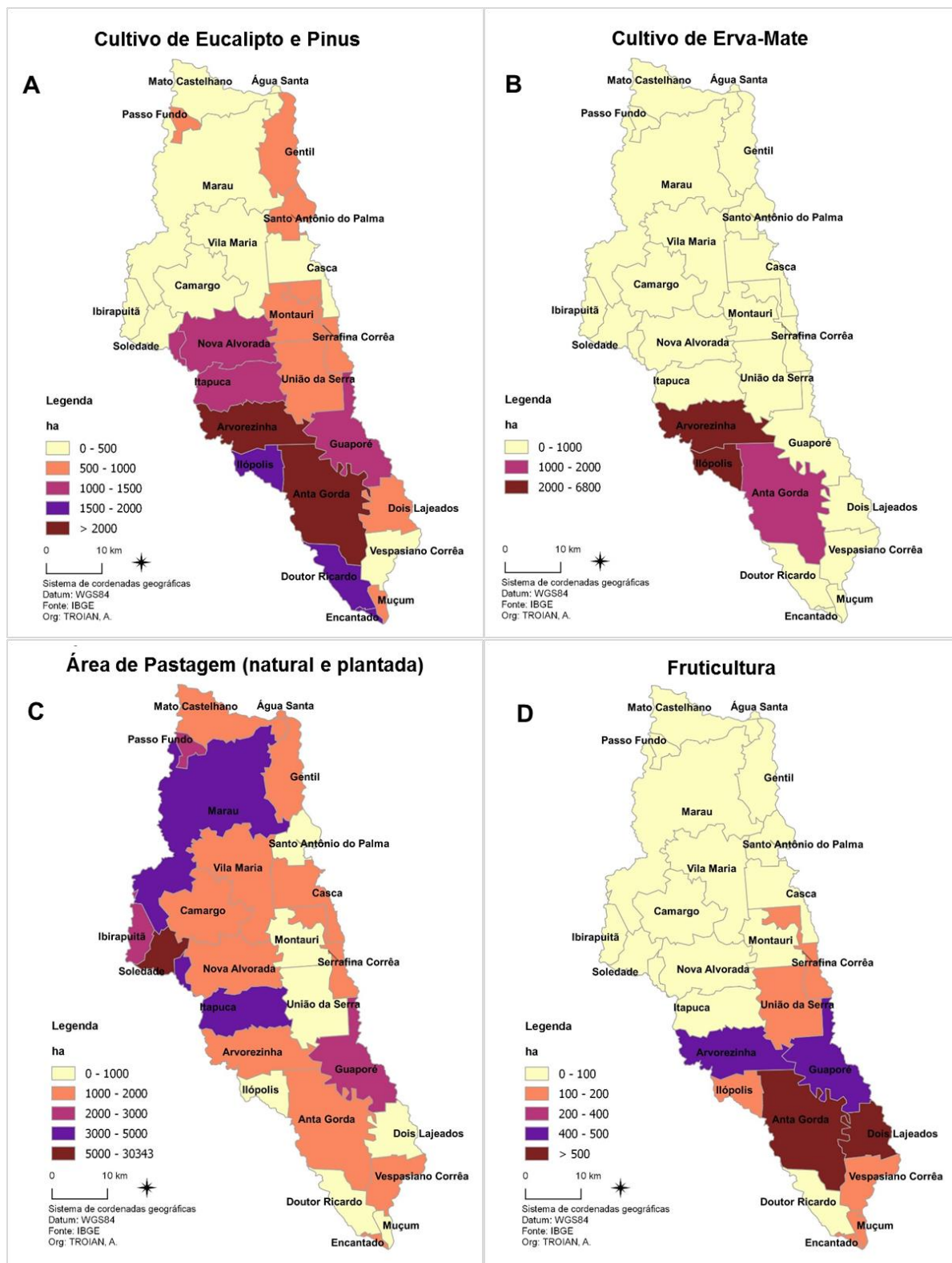


Figura 57 – Representação gráfica das áreas com cultivos de (A) Eucalipto e Pinus, (B) Erva-mate, (C) Pastagens e (D) Fruticultura dos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2017a).

Inserida em ambientes de mudanças e em evolução, sem grande rigor é possível dividir a BH do Guaporé em duas grandes regiões agrícolas. Mais ao norte, em uma região equivalente a um terço de sua área, o relevo é quase nivelado e há aproximadamente 20 anos os agricultores adotaram o sistema de plantio direto. Inicialmente predominava o cultivo de milho; entretanto, após a legalização da soja transgênica no Brasil, repentinamente o cultivo de milho foi substituído pelo de soja. Portanto, atualmente nesta região norte da BH há predomínio de soja, com reduzidas área de milho (excepcionalmente para silagem); ambos cultivos são semeados entre setembro e novembro. No cultivo de soja são utilizadas significativas doses de herbicidas e fungicidas, incluindo o 2.4-D para plantas resistentes ao glifosato (CASTRO LIMA et al. 2020).

Elementos técnicos e socioeconômicos contribuem para essa diferenciação no cultivo de soja entre as regiões norte e centro-sul da BH, como a produtividade por unidade de área e a baixa demanda por força de trabalho. O preço da soja no mercado internacional também está entre os fatores que têm estimulado os agricultores à especialização na *commodity*. Por exemplo, o rendimento médio por hectare da soja na safra 2018/19 foi de 3.321kg (55,35 sacas/ha) no Rio Grande do Sul. O preço de venda no atacado em fevereiro de 2019 foi de R\$ 73,65 a saca (CONAB, 2019). Equivale ao rendimento bruto superior a R\$ 80.000,00 em um ano agrícola, se cultivados 20ha.

É possível observar um conflito entre as lavouras de soja e a produção de leite na primavera/verão. Com as lavouras cultivadas, os animais ocupam áreas marginais, geralmente ao longo do curso de água, ao redor da sede da propriedade e em solos não cultivados (CASTRO LIMA et al., 2020). Também estão presentes nestes espaços agricultores especializados na produção de leite que produzem silagem de milho na primavera/verão e pastagens de inverno (aveia e azevém). Os animais têm acesso diário e direto ao curso de água. Além disso, há também agricultores integrados à suinocultura e à avicultura.

No que toca aos elementos agroecológicos, o relevo fortemente ondulado e os solos rasos com afloramentos de rocha limitam a ampliação da área de soja na porção centro-sul da BH. Nestes dois terços da área da bacia, o uso da terra é mais diversificado e predomina o uso intensivo do solo sob o sistema convencional para a produção de tabaco e cereais para a produção de forragens com revolvimento do solo ao menos duas vezes ao ano.

Nesta região se encontra uma das maiores densidades de produção de tabaco do RS. Esta produção ocorre em áreas periféricas com alta declividade, pedregosas e na beira dos arroios, considerados ambientes frágeis ecologicamente (KAISER et al. 2017). Também se destaca o cultivo de milho, geralmente para consumo intermediário nos estabelecimentos, entre outros cultivos destinados ao autoconsumo. Em todos os casos há forte conflito ambiental, especialmente pelo fato de os solos (Neossolos, Cambissolos e Chernossolos) serem naturalmente férteis do ponto de vista químico e frágeis do ponto de vista físico, pois têm baixa capacidade de armazenamento de água e são suscetíveis à erosão.

Por outro lado, as explorações perenes têm sido largamente difundidas nos últimos anos. A produção de erva-mate que vivia de ciclos no passado se solidificou no momento atual. O mercado garantido, preços estáveis e a baixa demanda por mão de obra têm se tornado atrativo para os agricultores familiares que possuem terra com baixa aptidão agrícola. Caso similar, porém, com menor extensão de área e importância econômica, ocorre com o reflorestamento de eucalipto e pinus e com a produção de frutas. Finalmente, nesta parte centro-sul da BH há também sistemas integrados de avicultura e suinocultura, bem como de produção leiteira.

Com um olhar mais aprofundado, os sistemas de cultivos e criações adotadas pelos agricultores, em função dos condicionantes ecológicos e socioeconômicos das diferentes regiões da BH, podem ser classificados em quatro microzonas, conforme ilustra a Figura 58.

Zona 1 – Predomina o cultivo intensivo de grãos sob o sistema plantio direto. No verão prevalece o cultivo de soja, já no inverno as áreas se alteram entre os cultivos de trigo, aveia e azevém. Além da produção de carne bovina e leite, também se destaca a produção de frangos e suínos no sistema integrado.

Zona 2 – Agricultura cultivada sob o sistema de plantio convencional de milho e tabaco (*Virginia*). Nesta região, há forte incidência de explorações permanentes (erva-mate, reflorestamentos - especialmente eucalipto). Destaca-se a criação de frangos no sistema integrado.



Zona 4 – Cultivo mínimo de milho, convencional de tabaco (*Burley*) e mandioca. Fruticultura (citros, nozes e uva) e erva-mate (com menor intensidade que a Zona 2), além da produção de leite e suínos no sistema integrado.



Zona 3 – Agricultura cultivada sob o sistema de plantio convencional e mínimo de milho, pequenas lavouras de soja sob o sistema plantio direto. Entre as explorações permanentes destacam-se áreas reflorestadas com eucalipto e pinus, além da fruticultura (citros e uva). Produção de leite, criação de frangos e suínos.



Figura 58 – Representação dos diferentes tipos de agriculturas e criações da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé
Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do IBGE (2017a) e em pesquisa de campo (2018 e 2019).

De acordo com a teoria de Análise e Diagnóstico de Sistemas Agrários e considerando as peculiaridades da BH do Guaporé, as interações entre os sistemas de cultivo e criação, tanto os conduzidos na mesma área física como os conduzidos em espaços distintos, podem ser organizadas em quatro arranjos produtivos. Esta organização permite descrever de forma mais acurada os modelos de sistemas de produção vegetal e/ou animal da região estudada. A representação dos sistemas de produção agrícola da bacia hidrográfica do Rio Guaporé pode ser visualizada na Figura 59.

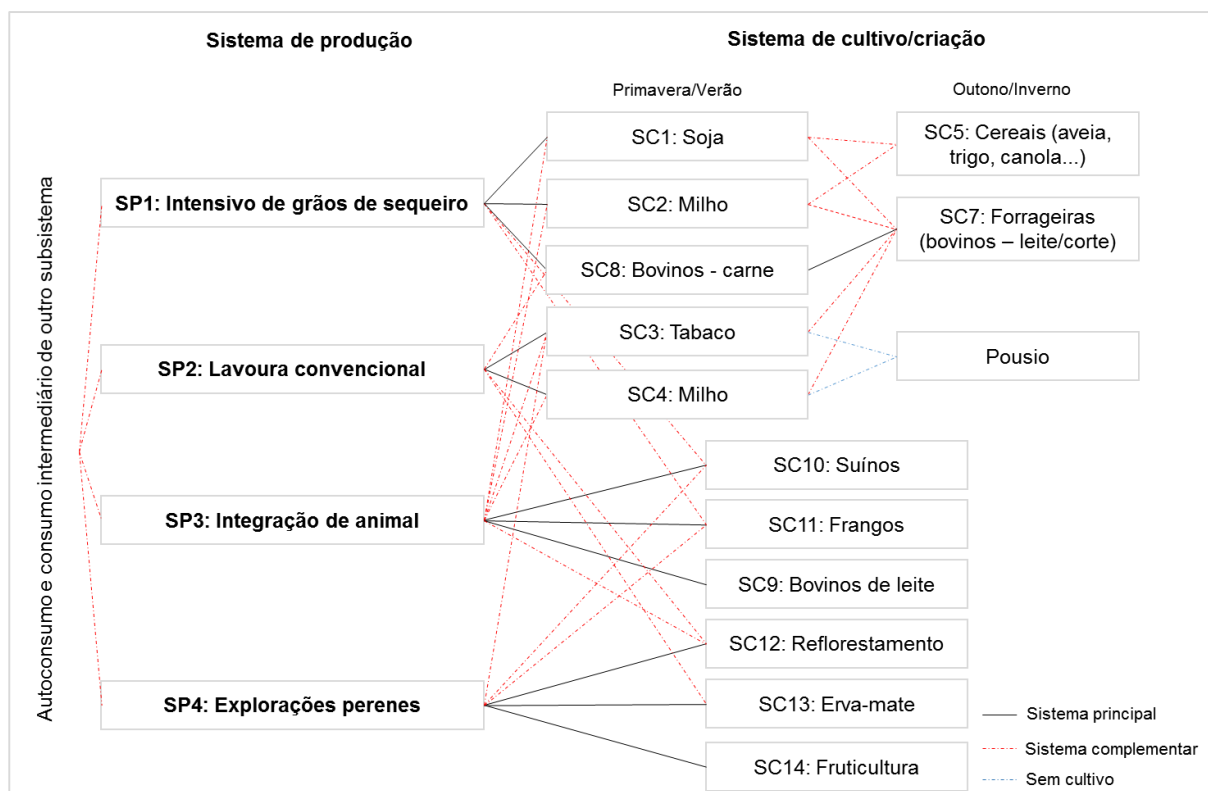


Figura 59 – Representação dos sistemas de produção agrícola da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados do IBGE e pesquisa de campo (2018 e 2019).

Cabe destacar que, independentemente da posição geográfica, de acordo com os dados do IBGE (2017a; 2017b), os sistemas de produção agrícola desenvolvidos na BH do Guaporé são tipicamente familiares. Considera-se “agricultor familiar” aquele que não detenha área maior que quatro módulos fiscais, utilize predominantemente mão de obra da própria família nas atividades econômicas de seu estabelecimento, tenha porcentual mínimo da renda familiar originado de atividades

econômicas de seu estabelecimento e que as atividades sejam geridas pela família (IBGE, 2017a; IBGE, 2017b).

Relembra-se que a área média dos estabelecimentos agrícolas da BH é de 34ha, sendo que mais de 86% deles possuem até 50ha. Segundo o Sistema Nacional de Cadastro Rural (INCRA, 2013), há na BH 17 municípios com módulo fiscal igual a 20ha, seis municípios com módulo fiscal igual a 18ha e outros dois municípios com 16ha. Deste modo, mesmo nos municípios de Soledade, Passo Fundo e Ibirapuitã (que possuem as maiores áreas médias, com 70, 65 e 54 ha/estabelecimento, respectivamente), a maior parte dos estabelecimentos está enquadrada na legislação da Política Nacional da Agricultura Familiar, por não ultrapassarem os quatro módulos fiscais previstos na Lei 11.326/06. Em Soledade, 83,4% dos estabelecimentos possuem área inferior a 100ha, em Passo Fundo, 84,6%, e em Ibirapuitã, 88,2%, por exemplo.

A mão de obra ocupada nos estabelecimentos predominantemente é da família. Segundo dados do IBGE (2017a), 17,3% do pessoal ocupado nos municípios da BH se referem à mão de obra contratada, sendo que 9,4% são contratos de trabalho inferior a 90 dias/ano. Ou seja, utiliza-se apenas eventualmente o trabalho de terceiros, de acordo com as exigências sazonais da atividade agropecuária.

Embora os valores referentes às receitas obtidas fora dos estabelecimentos sejam desconhecidos, sabe-se que somente 17,6% dos estabelecimentos declararam ter obtido rendas em atividades fora do estabelecimento agropecuário no ano de 2017. Ademais, segundo dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2017a), 68,2% dos estabelecimentos declararam que as atividades desenvolvidas nos estabelecimentos agrícolas são a principal renda da família.

A direção dos estabelecimentos também retrata que a estruturação das unidades produtivas é familiar. Em 95,2% dos estabelecimentos, a direção é protagonizada pelo produtor titular ou pelo casal, sendo que 93,4% do pessoal ocupado na agricultura da região se encontram nesta condição (IBGE, 2017a).

Após caracterizar os municípios e detalhar o perfil das agriculturas desenvolvidas na região hidrográfica do Rio Guaporé, passa-se à estruturação do modelo multicritério para avaliar diferentes categorias de pressão causadas pelos sistemas de produção nos ecossistemas aquáticos da BH.

6 UMA ANÁLISE MULTICRITÉRIO DAS PRESSÕES DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA FAMILIARES SOBRE A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GUAPORÉ (RS)

Este capítulo dedica-se a apresentar o processo de construção do modelo multicritério aplicado para avaliar as pressões dos sistemas de produção agrícola sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé. Seu desenvolvimento está pautado em pesquisa de campo, seja por meio de informações disponibilizadas por especialistas na área de gestão de recursos hídricos e monitoramento de bacias hidrográficas, seja por meio de questionários aplicados a agricultores familiares e observação *in loco* para calibrar o modelo estruturado.

O capítulo é dividido em três grandes partes, sendo que: i) na primeira seção se identifica o contexto e a delimitação do problema; ii) na segunda se estrutura o modelo multicritério; e, finalmente, iii) na terceira seção é desenvolvida a avaliação das ações potenciais e dos resultados do modelo. As etapas de estruturação do modelo são de natureza recursiva, significa que o processo se dá através de iterações sucessivas com possíveis ajustamentos na estrutura inicial (reestruturação).

6.1 Identificação do contexto e delimitação do problema relacionado à Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé

A identificação do contexto tem por finalidade reconhecer os atores (*stakeholders*) envolvidos no processo de construção do modelo de avaliação, definir as alternativas que serão avaliadas pelo modelo e, finalmente, eleger o tipo de avaliação a ser utilizada (a problemática de referência). A partir disso, é possível

conhecer melhor as dimensões do problema, para em um segundo momento, organizá-lo por meio da construção de mapas cognitivos e, subsequente, identificação dos candidatos a Ponto de Vista Fundamental.

A primeira etapa para construção do modelo multicritério de avaliação deste trabalho consiste em reunir um conjunto de elementos primários de avaliação junto aos atores sociais considerados especialistas em abastecimento público e esgotamento sanitário, autoridades da área de licenciamento ambiental, fiscalização e vigilância sanitária, agentes de desenvolvimento rural e pesquisadores das áreas de manejo e conservação do solo, monitoramento ambiental de bacias hidrográficas, conforme o perfil dos atores, apresentado no Quadro 6.

Atores especialistas	Interesse	Influencia
Representante do comitê da BH Taquari-Antas	Coordenar a participação social na gestão pública da água em nível de bacias hidrográficas	Competências deliberativas para gerenciar conflitos de uso da água e estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Acompanhar a implementação do plano hidrológico e promover inclusão de setores em processos participativos de gestão dos recursos hídricos
Extensionista rural	Prestar serviços de assistência técnica e extensão rural para melhorar o desempenho de lavouras, principalmente para a produção de alimentos	Representante oficial das políticas públicas do meio rural, além de orientar e capacitar os agricultores no desenvolvimento de sistemas de produção
Agente de fiscalização e licenciamento ambiental	Orientar preventivamente, sempre que possível, as relações humanas com os bens ambientais para evitar a aplicação de sanções às infrações ambientais	Controle e repressão de atividades ilegais através de contato direto com cidadãos que tenham infringido as normas e leis ambientais
Secretário da Agricultura	Desenvolver e apoiar ações voltadas para o desenvolvimento da agricultura em nível municipal	Planejamento e execução de processos voltados para a agricultura e congêneres, desde apoio à mecanização e infraestrutura do estabelecimento agrícola
Representante da Corsan	Prestar serviços de abastecimento e saneamento básico de forma atentar as legislações vigentes	Responsável pelo fornecimento de água para consumo humano e tratamento de efluentes urbanos
Expert em monitoramento ambiental de bacias hidrográficas	Coletar, armazenar e gerenciar dados fisiógrafos, hidrossedimentológicos e de processos associados à dinâmica e qualidade da água para relacionar com os sistemas de produção agrícolas	Diagnóstico a respeito dos principais fenômenos que compreendem a relação de uso e manejo do solo e os processos dinâmicos associados com o movimento e disponibilidade de água

Quadro 6 – Interesse *versus* influência dos atores pesquisados na Bacia Hidrográfica do Guaporé

Além da identificação dos atores, Ensslin, Montibeller Neto e Noronha (2001) propõe que sejam definidos os tipos de ações vinculadas como problema em pauta. As ações são os objetos ou as alternativas que serão exploradas durante o processo de avaliação. Por exemplo, em um modelo utilizado para avaliar o desempenho de cultivos agrícolas, teria como ações ou alternativas os distintos sistemas de cultivos de milho (XAVIER, 2012); em outro exemplo, para avaliar o impacto das práticas agrícolas na qualidade da água, teria como ações ou alternativas diferentes sistemas de cultivos (ARONDEL; GIRARDIM, 2000).

As alternativas consideradas neste estudo, para avaliar as pressões que os sistemas de produção agrícola exercem sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé, são os quatro sistemas de produção agrícola, tipificados e caracterizados no capítulo anterior. A avaliação destas alternativas está sujeita a escolha de uma problemática de referência para estruturar o modelo. Isso significa eleger o tipo de avaliação que se deseja realizar por meio do modelo, sejam elas: somente descrever as alternativas, agrupá-las em categorias, eleger a(s) melhor(es), ou ainda, ordená-las por preferência de acordo com os critérios estabelecidos. Considera-se esta última problemática, a da ordenação, a mais adequada para comparar o desempenho dos sistemas de produção agrícola da BH do Guaporé.

Uma vez identificado o contexto (os atores, as alternativas que serão avaliadas e o tipo de avaliação), o passo seguinte passa a ser a estruturação do problema, por meio da construção de mapa cognitivo, conforme Eden et al. (1988). A primeira condição para a construção do mapa cognitivo é a identificação de um rótulo que seja capaz de definir o problema em questão. Preservar as características naturais dos ecossistemas aquáticos foi o nome definido para o problema em tela.

O estágio seguinte para construir o mapa cognitivo foi identificar os Elementos Primários de Avaliação (EPAs), considerados por Bana e Costa (1992) a base para a construção do mapa. Eles são grandes temas que representam o ponto de partida para minuciar o contexto onde está inserido o problema. Os EPAs embriões do mapa cognitivo foram: erosão, poluição da água, ocupação da terra, manejo do solo, cobertura do solo, ausência de obstáculos físicos, capacidade de suporte do solo, perda de fertilizantes, dejetos dos animais e agrotóxicos, definidos com base nos questionários e entrevistas.

De posse destas informações, foi elaborado um *conceito* ou *construto* (C) para cada EPA (EDEM, 1988), sendo a primeira parte do conceito concebida numa

perspectiva orientada à ação, enquanto na segunda, busca-se o oposto psicológico da primeira. Assim, o conceito torna-se bipolar, pois revela um polo presente e outro contrastante. A ligação entre cada conceito se dá por meio de uma ligação de influência (simbolizada por uma seta) (ver MONTIBELLER NETO, 1996; ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001, p. 80). A Figura 60 demonstra como foi criado um conceito a partir do EPA erosão do solo.

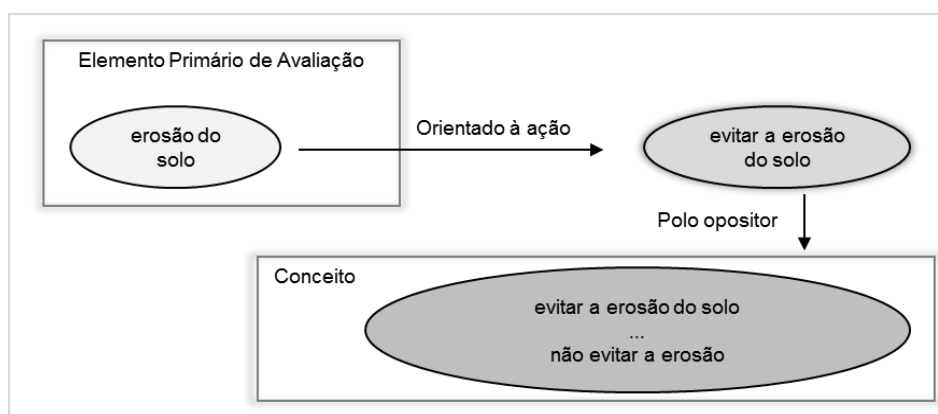


Figura 60 - Construção de um conceito a partir de um Elemento Primário de Avaliação
Fonte: Adaptado de Ensslin, Montibeller Neto e Noronha (2001, p.81).

Os demais conceitos derivados dos Elementos Primários de Avaliação estão exibidos no Quadro 7, eles representam a estrutura inicial do mapa cognitivo.

Elementos Primários de Avaliação	Conceitos
Erosão	(+) evitar a erosão do solo...não evitar a erosão (-)
Poluição da água	(+) evitar a poluição dos cursos de água...não evitar (-)
Ocupação da terra	(+) ocupar a terra de acordo com a aptidão agrícola...ocupar arbitrariamente (-)
Manejo do solo	(+) manejar o solo adequadamente...manejar de forma inadequada (-)
Cobertura do solo	(+) manter o solo coberto...não cobrir o solo (-)
Ausência de obstáculos físicos	(+) usar barreiras físicas de contenção...não usar (-)
Capacidade de suporte do solo	(+) aplicar dejetos de acordo com a capacidade de suporte do solo...aplicar doses acima da capacidade (-)
Perda de fertilizantes	(+) minimizar a perda de fertilizantes...não minimizar (-)
Dejetos dos animais	(+) usar dejetos da criação animal como fertilizantes...não utilizar (-)
Agrotóxicos	(+) evitar o uso de agrotóxico quanto possível...não evitar (-)

Quadro 7 – Representação dos Elementos Primários de Avaliação em conceitos

Fonte: Elaborado pelo autor com base na pesquisa de campo (2018 e 2019).

A partir de cada conceito, foi possível expandir os eixos temáticos relevantes para a conjectura do problema. Este procedimento de expansão contou com a participação de um voluntário *expert* em monitoramento ambiental de bacias hidrográficas, qual desde o ano de 2010 tem realizado diagnósticos sobre as características do ambiente físico da BH do Rio Guaporé e da agricultura lá desenvolvida. Além disso, para organizar o mapa cognitivo também se fez necessário consultar relatórios de pesquisas e diagnósticos realizados pelo comitê de bacias para compor o Plano da Bacia Taquari-Antas.

Com base nos EPAs, os conceitos foram expandidos questionando o *expert* desta maneira: “por que este conceito é importante?”, quando se pretendia expandir o mapa em direção aos objetivos-fim, quer dizer, em direção à meta final (*bottom-up*). E questionou-se: “como obter tal conceito?”, quando se pretendia expandir o mapa em direção aos objetivos-meio, ou seja, os meios implementados para alcançar a meta de final (*top-down*) (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001, p. 83; ROUSVAL, 2005). A Figura 61 abaixo apresenta este procedimento para construir o conceito “15 do mapa cognitivo: Evitar a erosão do solo...não evitar a erosão”.

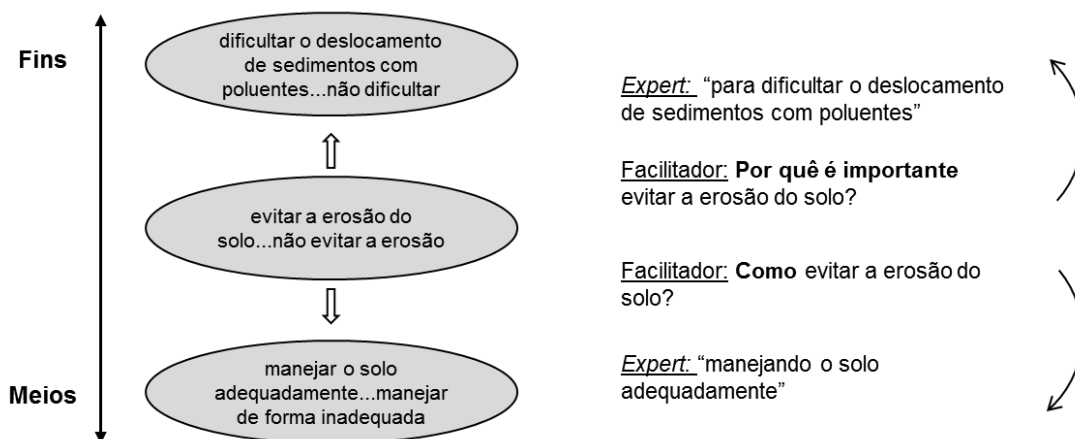


Figura 61 – Construção hierárquica dos conceitos

Fonte: Elaborado pelo autor com base na pesquisa de campo (2018 e 2019).

Após três reuniões de aproximadamente uma hora e trinta minutos cada, realizadas com o especialista em monitoramento ambiental de BHs, intercalada com as sistematizações materializadas em escritório, obteve-se a versão definitiva do mapa cognitivo individual. Para registrar as informações e/ou conhecimentos acerca

do problema durante os encontros com o especialista, foram utilizadas duas técnicas: (a) produção de esboços do mapa em quadro branco, posteriormente fotografados para facilitar a sistematização posterior; a outra maneira de registrar os acontecimentos ocorreu por meio de (b) anotações das variáveis que se presumiram relevantes durante as entrevistas, assinaladas em papel.

Com base nas entrevistas, em consultas realizadas na literatura científica e em documentos governamentais foi elaborada uma primeira versão do mapa cognitivo em escritório, com auxílio do *software Decision Explorer*³⁷. Com uma análise no mapa cognitivo é possível distinguir os eixos de avaliação do problema, de acordo com a forma e conteúdo. Com relação à forma, um fator a ser observado no mapa apresentado na Figura 62 é a estrutura hierarquizada composta de 57 conceitos, sendo um conceito-cabeça (fim) e 25 conceitos rabos (meios). Estes conceitos formam dois grupos – *clusters* – que apresentam uma visão macroscópica (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001) de grandes áreas de interesse, a saber: (i) *Ocupação da terra e manejo do solo* e (ii) *Resíduos e descartes agrícolas*.

O *cluster* denominado *Ocupação da terra e manejo do solo* (destacado na cor azul) está relacionado com a maneira que se utiliza e se manuseia o espaço geográfico para o desenvolvimento das atividades na unidade de produção agrícola. A ocupação desordenada da terra e o manejo inadequado do solo contribuem para intensificar processos erosivos, causando prejuízos ao agricultor e danos aos recursos naturais. De fato, a ocupação da terra e o manejo do solo podem contribuir suavizando ou agravando os impactos decorrentes dos *Resíduos e descartes agrícolas*, o outro *cluster* identificado na cor amarela. Este último *cluster* é caracterizado pelo volume de elementos químicos presentes nos fertilizantes minerais, nos dejetos dos animais (utilizados como fertilizantes) e nos agrotóxicos utilizados na agricultura, que são transferidos dos solos para os ecossistemas aquáticos.

Uma vez realizada a análise da forma do mapa, passa-se a analisar o conteúdo por ele apresentado. O exame do conteúdo se inicia mediante observação detalhada dos conceitos que formam os eixos de avaliação do problema, representados pelos “ramos” e pelas “linhas de argumentação”, que retratam preocupações similares para o problema em evidência.

³⁷ Este software, além de possibilitar a elaboração do mapa cognitivo, permite realizar análises, como a detecção de *clusters* para cada linha de argumentação.

Rótulo do problema:

Como preservar as características naturais dos ecossistemas aquáticos?

Legenda:

- Cluster: Ocupação da terra e manejo do solo
- Cluster: Resíduos e descartes agrícolas
- Ramos

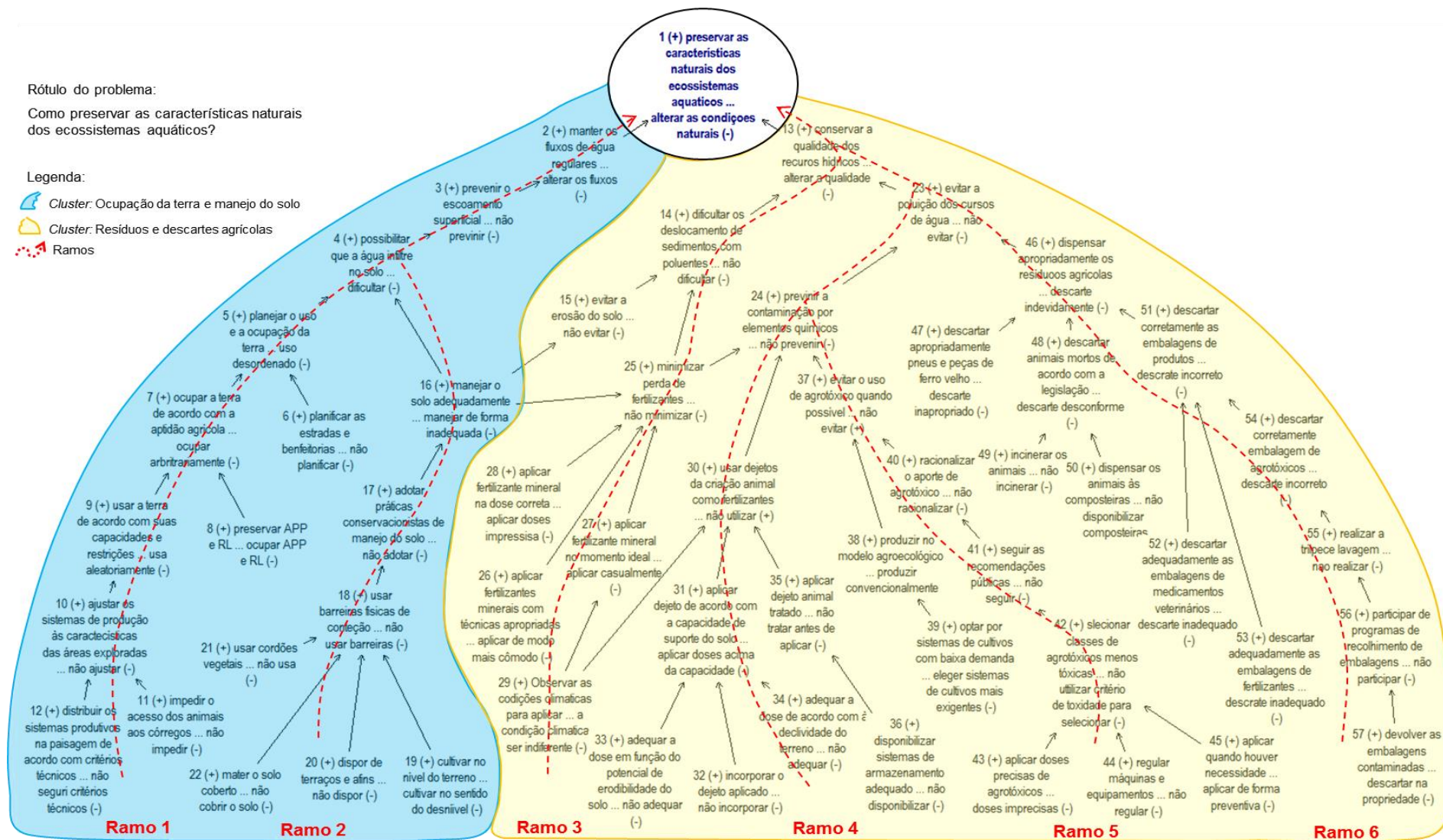


Figura 62 – Mapa cognitivo construído para avaliar os impactos dos sistemas de cultivos e criação na Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé
Fonte: Elaborado pelo autor com base em pesquisa de campo (2018 e 2019).

Ressalta-se que uma linha de argumentação (L) é constituída por uma cadeia de conceitos, influenciados e organizados hierarquicamente, que começa em um conceito-rabo e termina em um conceito-cabeça do *cluster* a que pertença. Já um ramo (R) consiste em uma linha ou um conjunto de linhas de argumentação que domine uma temática em consonância (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001; Gomes, 2001). A partir dos dois *clusters* apresentados no mapa cognitivo foram identificados seis ramos e 40 linhas de argumentação, conforme apresentado no Quadro 8.

Clusters	Ramos	Linhas de argumentação
Ocupação da terra e manejo do solo	R ₁ - Uso e ocupação da terra	L ₁ , L ₂ , L ₃ e L ₄
	R ₂ - Manejo do solo	L ₅ , L ₆ , L ₇ , L ₈ , L ₉ , L ₁₀ , L ₁₁ , L ₁₂ , L ₁₃ , L ₁₄ , L ₁₅ , L ₁₆ , L ₁₇ , L ₁₈ e L ₁₉
Resíduos e descartes agrícolas	R ₃ - Fertilizantes minerais	L ₂₀ , L ₂₁ , L ₂₂ , L ₂₃ , L ₂₄ , L ₂₅ e L ₂₆
	R ₄ - Dejetos animais	L ₂₇ , L ₂₈ , L ₂₉ e L ₃₀
	R ₅ - Agrotóxicos	L ₃₁ , L ₃₂ , L ₃₃ e L ₃₄
	R ₆ - Descartes	L ₃₅ , L ₃₆ , L ₃₇ , L ₃₈ , L ₃₉ e L ₄₀

Quadro 8 – Clusters, ramos e linhas de argumentação do mapa cognitivo

Fonte: Elaborado pelo autor com base na pesquisa de campo (2018 e 2019).

Nota: R – Ramo; L – Linha de argumentação.

Inicialmente são analisadas as linhas de argumentação. A título de exemplo, a seguir será descrita uma linha de argumentação para cada um dos ramos identificados no mapa. As demais linhas podem ser exploradas diretamente no mapa da Figura 62. O *cluster* *Ocupação da terra e manejo do solo* possui dois ramos, sendo que no **Ramo 1** há quatro linhas de argumentação. Uma delas é **L₁** – Distribuir os sistemas produtivos na paisagem de acordo com os critérios agronômicos (C₁₂) ajustaria os sistemas de produção às características das áreas exploradas (C₁₀), o que, por sua vez, levaria ao uso da terra de acordo com as suas capacidade e restrições (C₉), condicionando usar a terra de acordo com a aptidão agrícola (C₇), por meio de um planejamento do uso e ocupação da terra (C₅), que possibilitaria a água infiltrar no solo (C₄) e, desta forma, prevenir o escoamento superficial (C₃), e assim, manter os fluxos de água regulares (C₂) para preservar as características naturais dos ecossistemas aquáticos (C₁). O outro ramo do *cluster* *Ocupação da terra e manejo do solo*, **Ramo 2**, possui 15 linhas de argumentação, uma delas é a **L₅** – usar cordões vegetais (C₂₁) porque é uma barreira física de contenção (C₁₈) equivalente a adotar

práticas conservacionistas (C₁₇) para o manejo adequado do solo (C₁₆) que possibilitaria a água infiltrar no solo (C₄), e desta forma, prevenir o escoamento superficial (C₃), e assim, manteria os fluxos de água regulares (C₂) para preservar as características naturais dos ecossistemas aquáticos (C₁).

Agora para o *cluster Resíduos e descartes agrícolas*, o **Ramo 3** possui sete linhas, apresenta-se um exemplo através da L₂₀ – Aplicar fertilizante mineral na dose correta (C₂₈) ajudaria minimizar a perda de fertilizantes (C₂₅) o que dificultaria o descolamento de sedimentos com poluentes (C₁₄) para conservar a qualidade dos recursos hídricos (C₁₃) e preservar as características naturais dos ecossistemas aquáticos (C₁). No mesmo *cluster*, o **Ramo 4** possui quatro linhas de argumentação, uma delas é a L₂₇ – adequar a dose de dejetos em função do potencial de erodibilidade do solo (C₃₃) exigiria aplicar dejetos de acordo com a capacidade de suporte do solo (C₃₁) o que possibilitaria usar dejetos da criação animal como fertilizante (C₃₀) prevenindo a contaminação por elementos químicos (C₂₄) o que evitaria a poluição dos cursos de água (C₂₃) para conservar a qualidade dos recursos hídricos (C₁₃) e preservar as características naturais dos ecossistemas aquáticos (C₁). O **Ramo 5** também possui quatro linhas de argumentação, uma delas é a L₃₁ – Optar por sistemas de cultivos com baixa demanda (C₃₉) facilitaria produzir no modelo agroecológico (C₃₈) o que evitaria o uso de agrotóxicos (C₃₇) preservando a contaminação por elementos químicos (C₂₄) o que evitaria a poluição dos cursos de água (C₂₃) para conservar a qualidade dos recursos hídricos (C₁₃) e preservar as características naturais dos ecossistemas aquáticos (C₁). Finalmente o **Ramo 6**, que possui seis linhas de argumentação, apresenta-se como exemplo a L₃₅ – devolver as embalagens contaminadas (C₅₇), participando de programas de recebimentos de embalagens (C₅₆), para tanto, necessitaria realizar a tríplex lavagem das embalagens de agrotóxicos (C₅₅), para o descarte correto das embalagens (C₅₄) e, desta forma, dispensar apropriadamente os resíduos agrícolas (C₄₆) o que evitaria a poluição dos cursos de água (C₂₃) para conservar a qualidade dos recursos hídricos (C₁₃) e preservar as características naturais dos ecossistemas aquáticos (C₁).

Após observar as linhas de argumentação, passa-se a análise de conteúdo, dos ramos presentes no mapa cognitivo. O **Ramo 1**, “uso e ocupação da terra” refere-se às condições de exploração da área pelos agricultores (cultivos agrícolas, pastagens, reflorestamentos, entre outros) e às condições do espaço físico designado para explorações (topografia, solos, zonas ripárias, entre outros). Conhecer os

padrões de uso do espaço rural e verificar se a distribuição espacial dos tipos de ação antrópica corresponde às condições naturais do ambiente (fisiografia da BH, por exemplo) é considerado essencial para avaliar as interferências dos sistemas de cultivos e criações nos ecossistemas. Resumidamente, o *cluster* “ocupação da terra e manejo do solo” indica como o espaço está sendo ocupado pela agricultura e de que forma essa ocupação pode afetar os ecossistemas aquáticos. Pode ser identificado por: (i) leitura de paisagem realizada de forma direta – observar as paisagens agrárias (rios, lagos, montanhas, florestas, tipos de cultivos); (ii) leitura de paisagem de forma indireta – utilizar dados de sensoriamento remoto orbital para gerar mapas temáticos (Cobertura da Terra, Hipsometria, Declividade, Índice Topográfico de Umidade, Fator Topográfico LS e Índice Topográfico de Potência de Escoamento) e (iii) aplicação de questionários ou realização de entrevistas com os agricultores (CAPOANE; COSTA; KUPLICH, 2017). Cabe mencionar que os mapas temáticos são aplicados em diagnósticos de uso da terra em nível de bacia hidrográfica, ocasionalmente em nível de estabelecimentos agrícolas.

O **Ramo 2**, “manejo do solo” está associado aos diferentes usos e ocupações da terra. As atividades operacionais desenvolvidas pelos agricultores, tais como: sistema de preparo do solo, plantio em nível, uso de barreiras físicas de contenção e manutenção de palhada é fundamental para avaliar o manejo do solo. O manejo do solo deve visar à infiltração da água da chuva, para que ela se armazene no solo e assim diminua o escoamento superficial. Esclarece-se que o escoamento superficial ocorre quando a intensidade da precipitação supera a capacidade de infiltração da água no solo. Deste modo, uma parcela da água da chuva escoar livremente sobre a superfície do solo, transportando sedimentos (contaminados ou não) para canais e rios. Uma combinação de fatores de natureza climática, fisiográfica e de interferência humana contribuem para a ocorrência do escoamento na superfície do solo (MINELLA et al., 2015; TIECHER et al., 2017).

O **Ramo 3**, “fertilizantes minerais” é relevante sob o aspecto econômico e sob o aspecto ambiental. Da perspectiva ambiental, os fertilizantes minerais que contêm nitrato e fosfato, quando utilizados em excesso ou aplicados de forma errônea, podem ser arrastados das lavouras para os cursos de água. Em contato com ela, esses nutrientes podem alterar o equilíbrio aquático, causando o fenômeno conhecido por “eutroficação”, que significa aumento desordenado na quantidade de algas e outras espécies de plantas aquáticas que, ao entrarem em decomposição, diminuem a

quantidade de oxigênio dissolvido (OD) da água (PELLEGRINI et al., 2010; KAYSER et al., 2015).

O **Ramo 4**, “dejeito animal” é enfatizado devido ao considerável volume de dejeito que é gerado diariamente na bacia hidrográfica, oriundo da criação de suínos (líquido), aves (sólido) e bovinos (sólido e líquido). O descarte, o armazenamento inadequado ou até mesmo sua reutilização de forma equivocada podem ocasionar inúmeros danos ao meio ambiente (basicamente eutroficação dos cursos de água e toxicidade na flora e fauna aquática). A carga orgânica, os elementos químicos (fosfato, nitrato e elementos com traços metálicos) e os contaminantes biológicos presentes nos dejetos podem ser transportados para a água no escoamento superficial, tanto dissolvidos quanto na forma particulada, adsorvidos aos coloides orgânicos e inorgânicos. Além disso, pode haver movimento vertical de alguns contaminantes, em especial do nitrato, contaminando também as águas profundas (AITA; GIACOMINI, 2008).

O **Ramo 5** “uso de agrotóxicos” destaca-se devido aos impactos negativos provocados no meio ambiente e aos riscos à saúde humana. Conforme a Lei nº 7.802 de 1989, a finalidade dos agrotóxicos na agricultura é alterar a composição da fauna ou da flora a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos para os cultivos (BRASIL, 1989). Contudo, os agrotóxicos são formados por compostos químicos e têm sido largamente utilizados no setor de produção agrícola. Seu uso incorreto e/ou excessivo pode acarretar contaminação do solo, e a drenagem fluvial os conduz aos arroios da bacia, transferindo-os para a água. Logo, são contaminantes que podem comprometer a qualidade dos mananciais (BECKER et al., 2009; FERNANDES et al., 2019; CASTRO LIMA et al., 2020).

O **Ramo 6** “descarte de resíduos” refere-se às sobras de produtos utilizados no processo produtivo e às embalagens dos insumos (fertilizantes, agrotóxicos e medicamentos veterinários) e restos de peças de maquinários e equipamentos. O descarte dos animais mortos, quando não segue as normas da legislação, também contribui para a poluição das águas (ROSSOL et al., 2012).

Percebe-se que o mapa cognitivo possibilita estruturar hierarquicamente os objetivos da problemática em questão. Entretanto, cabe destacar que sua estrutura difere daquela disposta no modelo multicritério. A estrutura utilizada no modelo multicritério é a arborescente, sob a lógica de decomposição. Portanto, faz-se necessário converter o mapa cognitivo em uma árvore de valores decrescente. O

mecanismo de transição será apresentado em seguida mediante identificação dos Pontos de Vista Fundamentais de cada ramo do mapa cognitivo.

A identificação dos candidatos a Ponto de Vista Fundamental em cada ramo do mapa cognitivo foi realizada por meio do enquadramento proposto por Keeney (1992). Através deste procedimento foram identificados, dentre os conceitos avaliados, o que melhor expressa as ideias relacionadas ao eixo de avaliação. A instrumentalização desta dinâmica é realizada através da observação do nexos causal que há entre um objetivo-meio e um objetivo-final. Assim, para o Ramo 1 “uso e ocupação da terra” considerou-se que o conceito “7 – ocupar a terra de acordo com a aptidão agrícola... ocupar arbitrariamente” é o que melhor representa as consequências do eixo avaliado, ao mesmo tempo em que é passível de ser avaliado de forma independente aos demais conceitos. A Figura 63 ilustra graficamente o processo de enquadramento do Ramo 1.

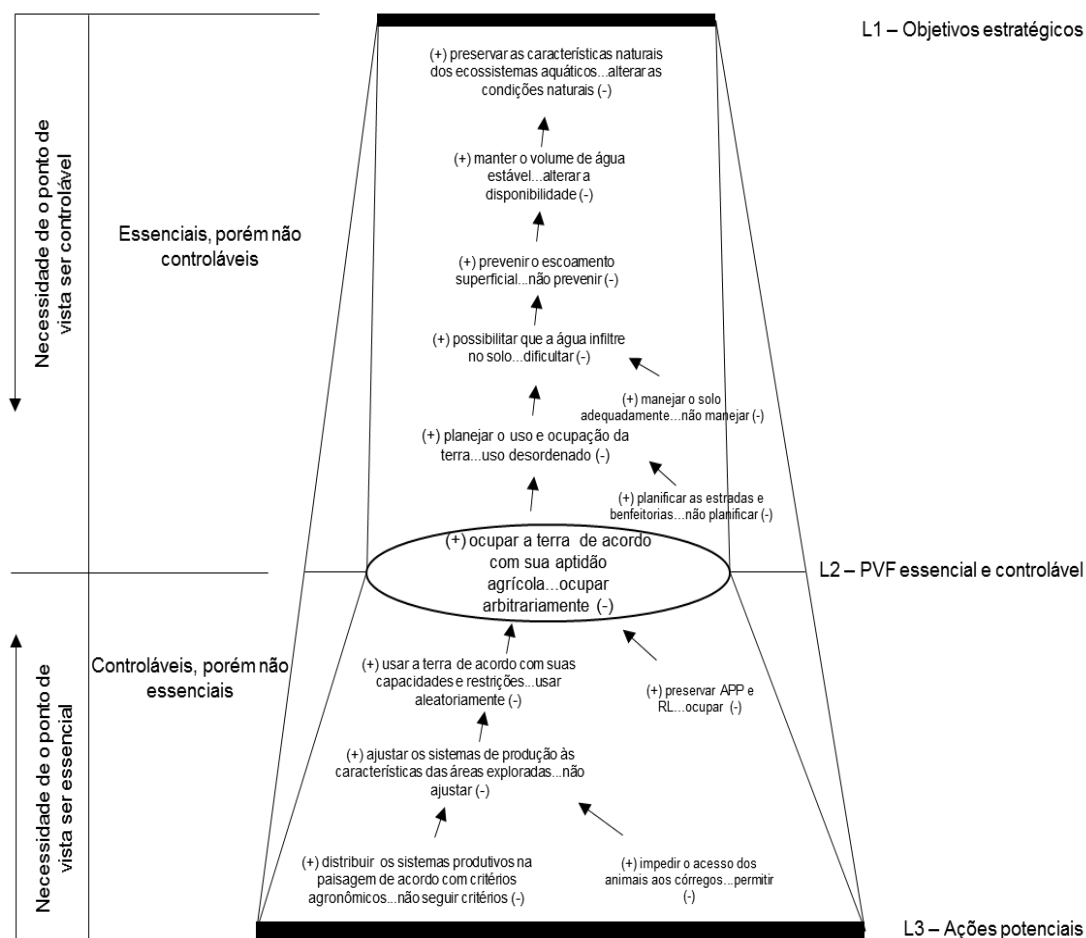


Figura 63 – Representação do enquadramento do ramo “uso e ocupação da terra” para identificar o ponto de vista fundamental

Fonte: Adaptado de (KEENEY, 1992, p. 46; REICHERT, 2012, p. 160).

O mesmo procedimento foi repetido para os outros cinco ramos do mapa cognitivo (Apêndice C, p. 328). Como resultado, foi catalogado um PVF para cada ramo identificado no mapa cognitivo, exceto para o Ramo 1, “*uso e ocupação da terra*”, cujo o centro decisor (representado pelo autor do trabalho e o especialista em monitoramento ambiental) julgou necessário desdobrá-lo em dois PVFs: (1) Ocupar a terra de acordo com sua aptidão agrícola e (2) Características do ambiente e do solo. Assim, se estabelece o conjunto de pontos de vista na forma de uma estrutura arborescente com sete PVFs, demonstrados na Figura 64.

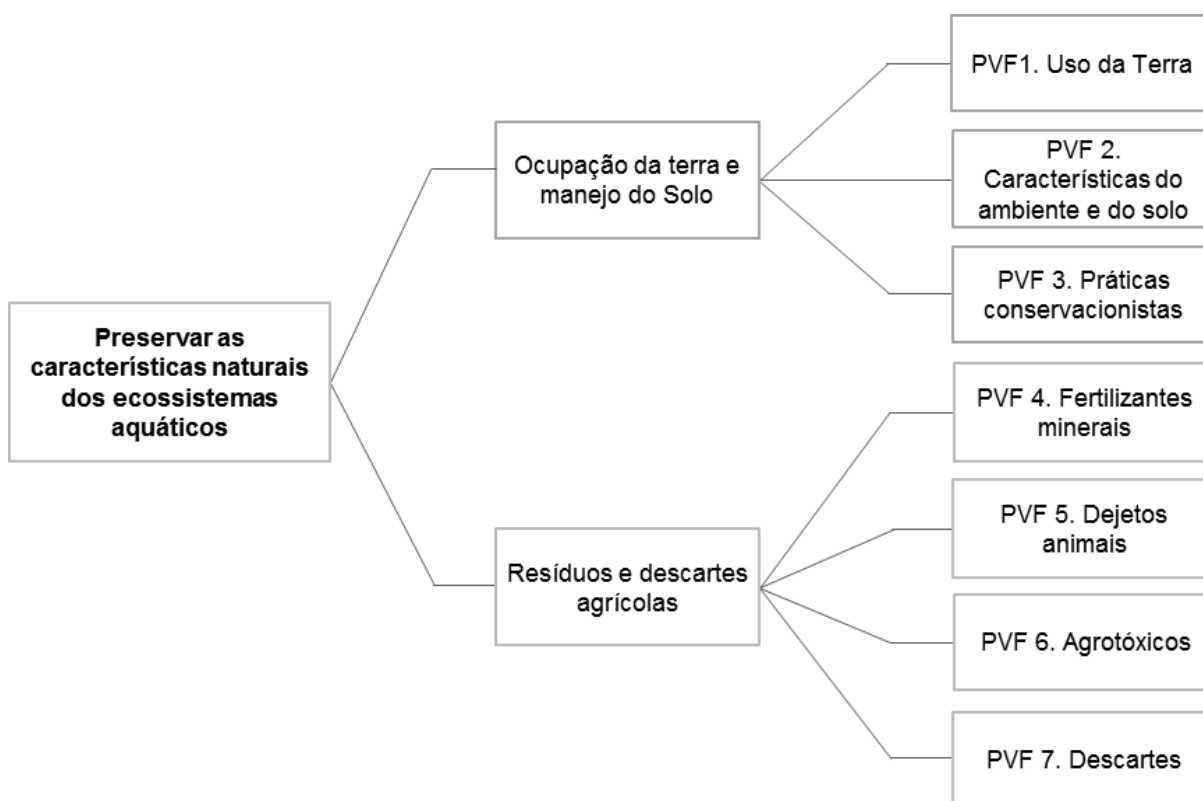


Figura 64 – Primeira versão da estrutura arborescente dos de Pontos de Vista do Problema
Fonte: Elaborado pelo autor com base na pesquisa de campo (2018 e 2019).

6.2 Estruturação do modelo de avaliação

A avaliação de eixos que apresentem elevado grau de complexidade requer que os pontos de vistas sejam decompostos em níveis menos complexos, para melhorar a descrição dos impactos das alternativas. Desta forma, com o propósito de

contemplar distintos parâmetros agroambientais e avaliar com plenitude cada ponto de vista mencionado na Figura 64, os Pontos de Vista Fundamentais foram subdivididos em Pontos de Vistas Elementares. É importante salientar que ao menos dois PVEs devem estar conectados a cada ponto de vista de nível mais elevado – a cada PVF – (KEENEY, 1992).

Após estruturar o problema em Pontos de Vistas Elementares, que representam os eixos de avaliação de forma objetiva e não ambígua (ENSSLIN et al., 2010), o passo seguinte consiste em definir descritores capazes de refletir diferentes níveis de impactos nas alternativas. Uma vez definido como avaliar as alternativas em cada ponto de vista mediante os descritores, atribui-se a eles uma função de valor para quantificar a performance das alternativas. Assim, é possível mensurar a performance das alternativas em cada ponto de vista do modelo. Para obter a avaliação global das alternativas, em que sejam considerados todos os pontos de vista simultaneamente, se faz necessário ponderar os pesos por meio das taxas de compensação e somar os coeficientes ponderados.

6.2.1 Construção dos descritores e das funções de valor

A construção de descritores e a definição das funções de valores são as atividades mais extenuantes na estruturação de um modelo multicritério. Entre as etapas destacam-se: (a) definir os níveis de impacto do descritor e ordená-los do mais atrativo ao menos atrativo; (b) identificar os níveis de impacto de referência, que representam as regiões de expectativas “Bom” e “Neutro”; (c) Associar uma função de valor para cada nível do descritor, por meio do método *Direct Rating*; e (d) calcular os escores da função de valor transformada, através de uma transformação linear positiva.

A seguir será demonstrado o processo de construção dos descritores, e de suas devidas funções de valor, para os PVFs e PVEs das áreas de interesse relacionadas ao problema em pauta: (i) *Ocupação da terra e manejo do solo* e (ii) *Resíduos e descartes agrícolas*.

i) Área de interesse: Ocupação da terra e manejo do solo

As áreas de baixa aptidão agrícola (solos rasos, arenosos ou pedregosos) e de elevada fragilidade ambiental (paisagem declivosa) no Rio Grande do Sul geralmente são ocupadas por agricultores familiares. Situação semelhante ocorre em grande parte da ocupação da área na BH do Rio Guaporé. A fragilidade expressa pela própria dinâmica do ambiente natural associada a fatores antropogênicos, como o uso intensivo da terra e manejo inadequado do solo, resulta em graves anomalias ambientais. Entre os danos ocasionados ao ecossistema cita-se a erosão hídrica, que ocorre quando uma parcela da água da chuva que não infiltra no solo escoar sobre sua superfície, por consequência, provoca degradação do solo e facilita o transporte dos poluentes dos sistemas terrestres para os aquáticos (MINELLA et al., 2007).

A ocupação da terra, o manejo do solo, e as características da paisagem são os principais condicionantes da erosão hídrica (transferência e deposição) e da redistribuição do material ao longo do tempo em uma bacia hidrográfica. Assim, o planejamento paisagístico e ambiental do agroecossistema é um dos primeiros aspectos a ser destacado quando se estudam perturbações ambientais em BHs (RHEINHEIMER et al., 2003; GONÇALVES et al., 2005).

Isso significa que é preciso ocupar e usar a terra de acordo com a aptidão agrícola do ambiente, respeitando as potencialidades e restrições dos solos, relevo e clima. Segundo a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (LEPSCH et al., 2015), os principais fatores que determinam a aptidão agrícola das terras são as características predominantes do solo (profundidade efetiva, textura e drenagem) e as características do ambiente (declividade do terreno, pedregosidade, entre outros). Além do uso, ocupação e das características do ambiente e do solo, as práticas agrícolas são condicionantes no processo de erosão do solo; logo as práticas de manejo, cobertura do solo e de retenção da água da chuva são consideradas elementares para a manutenção das características naturais dos ecossistemas aquáticos (RHEINHEIMER et al., 2003).

A área de interesse direcionada à *Ocupação da terra e manejo do solo* visa observar as condições determinantes para que ocorra o transporte de sedimentos que contenham poluentes derivados da agricultura para os corpos de água. Esta forma de pressão exercida pela agricultura sobre os ecossistemas aquáticos pode variar em função das características do ecossistema, de como ele é ocupado e manejado. Portanto, para avaliar essa área de interesse foram estabelecidos três Pontos de Vista

Fundamentais e onze Pontos de Vista Elementares, que englobam elementos basilares relacionados à disposição dos cultivos no espaço agrário, a capacidade de suporte do ambiente, especialmente do solo cultivado, e a adoção de práticas conservacionistas (Figura 65).

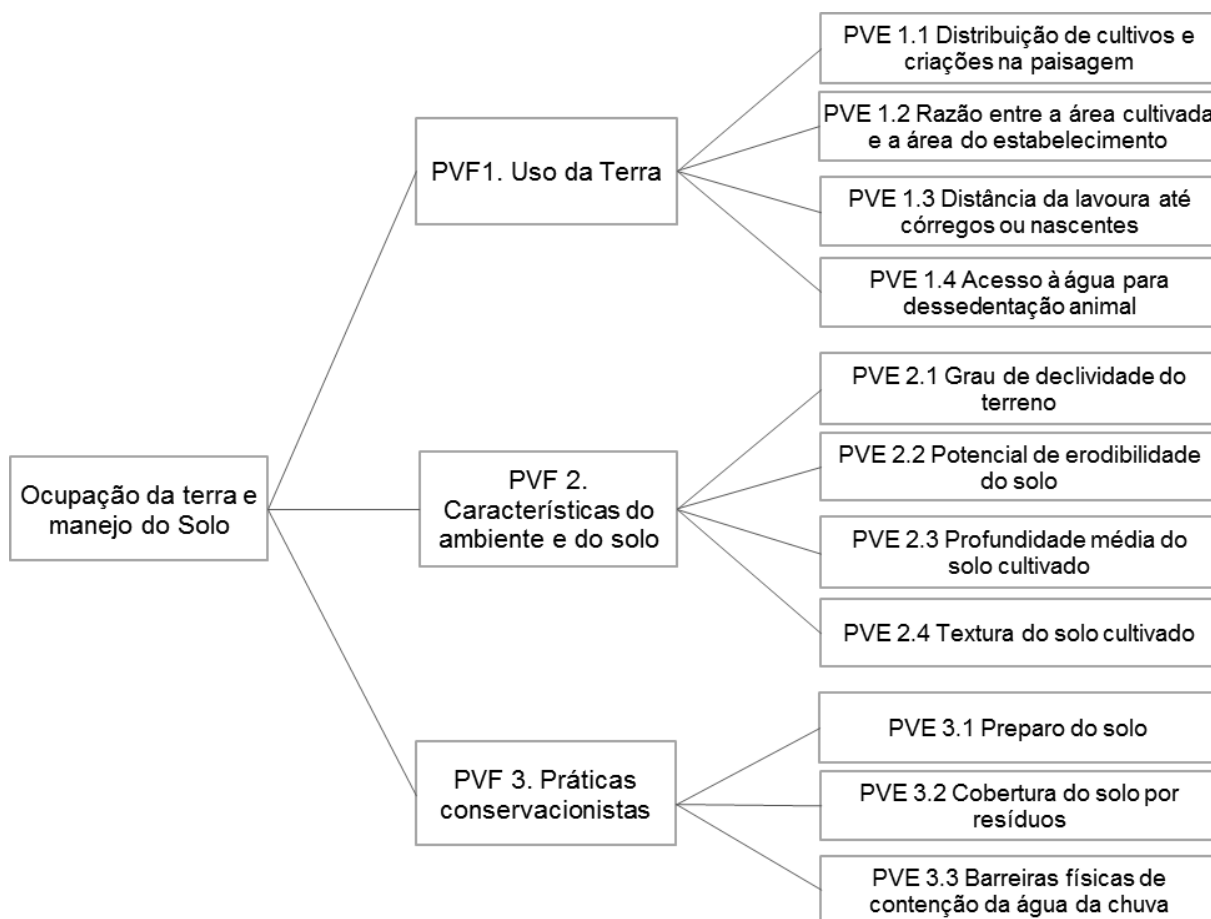


Figura 65 – Estrutura arborescente dos Pontos de Vista Fundamentais e Pontos de Vista Elementares da área de interesse *Ocupação da terra e manejo do solo*

Fonte: Elaborado pelo autor com base em pesquisa de campo (2018 e 2019).

PVF 1 Uso da terra

No Rio Grande do Sul, basicamente há duas situações a serem consideradas em relação ao conflito de uso da terra: (a) uma se refere à agricultura assentada sobre solos planos de elevada aptidão agrícola onde o sistema de produção predominante é baseado no cultivo de grão de sequeiro em sistema plantio direto. No entanto, esta situação é caracterizada por conflitos ambientais, em especial quanto à manutenção das Áreas de Preservação Permanente ao longo dos cursos de água e ao uso

generalizado de transgênicos e agrotóxicos; (b) a outra se refere à agricultura praticada em ambientes frágeis, ocupados por agricultores que usam intensamente o solo para reprodução socioeconômica da família (PELLEGRINI et al., 2015). Estas situações ocorrem em regiões com relevo ondulado a montanhoso, com solos rasos e com baixos teores de argila. Ambos os conflitos do uso da terra são identificados na BH do Guaporé, embora a segunda condição seja mais comum.

Sendo assim, o Ponto de Vista Fundamental *Uso da terra* avalia como a agricultura ocupa o espaço geográfico e de que forma essa ocupação pode afetar os corpos de água. Para melhor avaliar os elementos inseridos no PVF, foi estabelecida uma subdivisão em quatro PVEs complementares. Basicamente estes elementos visam analisar uma combinação de fatores fisiográficos e humanos que influenciam a ocorrência do escoamento superficial – exceto pelo PVE 1.4 *Acesso a água para dessedentação animal*, que é alusivo à fonte de poluição pontual.

PVE 1.1 Razão entre a área cultivada e a área do estabelecimento

A proporção de área cultivada em relação à área total do estabelecimento funciona como indicador da capacidade de sustentação do ecossistema natural, mediante as pressões causadas pelos cultivos e pelas criações. O PVE utiliza como referência a Área de Reserva Legal prevista na Lei nº 12.651 de 2012 (BRASIL, 2012) para delimitar seu descritor mínimo. A partir dele, estabeleceram-se descritores máximo e intermediário, considerados adequados para o ambiente da BH do Rio Guaporé (Tabela 5).

Tabela 5 – Descritor do Ponto de Vista Elementar *Razão entre a área cultivada e a área do estabelecimento agrícola*

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N ₃	Bom	As áreas de florestas correspondem a mais de 30% da área do estabelecimento agrícola	100	100,00
N ₂	Neutro	As áreas de florestas correspondem a 20-30% da área do estabelecimento agrícola	60	0,00
N ₁		As áreas de florestas correspondem a menos de 20% da área do estabelecimento agrícola	0	-150,00

PVE 1.2 Distribuição de cultivos e criação

Este Ponto de Vista Elementar descreve o número de glebas cultivadas nos estabelecimentos rurais como indicador *proxy* da capacidade natural do ambiente de absorver os efeitos procedentes da agricultura. Áreas cultivadas em ambientes frágeis, característica predominante na BH do Guaporé, são menos danosas quando mais bem distribuídas na paisagem. As anomalias derivadas dos cultivos praticados em pequenas porções de terra são mais facilmente mitigadas pela paisagem natural, em contraste com os cultivos concentrados em áreas maiores.

O que se busca com este PVE é avaliar a fragmentação dos sistemas de produção, respeitando os diferentes contextos em que se reproduzem os sistemas produtivos, seja pelas distintas condições técnicas agronômicas, particulares demandas de superfície agrícola para a reprodução social da família, localização geográfica ou fisiografia do ambiente. Diante do contexto da BH do Guaporé e dos sistemas de produção lá desenvolvidos, julgou-se que quatro glebas cultivadas em um estabelecimento são suficientemente bem distribuídas na paisagem (Tabela 6).

A ideia de avaliar a fragmentação do sistema deriva do termo francês *bocage*, que designa um tipo de paisagem agrária compartimentada por barreiras de vegetação de forma a materializar os limites de parcelas agrícolas, assim como de outros elementos da paisagem rural, como linhas de água e caminhos. Esses obstáculos naturais entre as glebas contemplam corredores ecológicos, barreiras para conter a erosão, dispersão de sementes, presença de inimigos naturais, etc., capazes de amenizar as externalidades provocadas pelas práticas agropecuárias (JÉZÉQUEL, 2016). Desta forma, o que se pretende reproduzir com esse PVE é uma visão de uma BH com lavouras entremeadas a paisagem natural.

Tabela 6 – Descritor do Ponto de Vista Elementar *Distribuição de cultivos e criação* no estabelecimento agrícola

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N ₅	Bom	O estabelecimento possui mais de quatro glebas cultivadas	100	150
N ₄		O estabelecimento possui quatro glebas	80	100
N ₃		O estabelecimento possui três glebas cultivadas	60	50
N ₂	Neutro	O estabelecimento possui duas glebas cultivadas	40	0
N ₁		O estabelecimento possui somente uma gleba cultivada	0	-100

PVE 1.3 Distância da lavoura até córregos ou nascentes

A distância da área da lavoura até os córregos ou nascentes de água é outro parâmetro construído com base na Lei nº 12.651 de 2012 (BRASIL, 2012). Desta vez, utilizou-se como referência à delimitação das Áreas de Preservação Permanente para delinear os descritores referentes às faixas marginais que separam as lavouras de qualquer curso de água presente no estabelecimento agrícola (Tabela 7). Para operacionalizar este ponto de vista considerou-se a distância estimada da gleba que o agricultor julgou ser a mais importantes para suas atividades produtivas.

Tabela 7 – Descritor do Ponto de Vista Elementar *Distância da lavoura até córregos ou nascentes*

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N ₅		A distância entre a lavoura e o(s) córrego(s) é superior a 60 metros e entre a lavoura e nascentes, superior a 50 metros	100	150
N ₄	Bom	A distância entre a lavoura e o(s) córrego(s) situa-se entre 50 e 60 metros e entre a lavoura e nascentes é superior a 50 metros	80	100
N ₃		A distância entre a lavoura o(s) córrego(s) situa-se entre 40 e 50 metros e entre a lavoura e nascentes é superior a 50 metros	60	50
N ₂	Neutro	A distância entre a lavoura e o(s) córrego(s) situa-se entre 30 e 40 metros e entre a lavoura e nascentes é superior a 50 metros	40	0
N ₁		A distância entre a lavoura e o(s) córrego(s) é inferior a 30 metros e entre a lavoura e nascentes é inferior a 50 metros	0	-100

PVE 1.4 Acesso à água para dessedentação animal

Embora o acesso dos animais para obtenção de água seja regulamentado como atividade de baixa pressão ambiental (BRASIL, 2012), considera-se que não há uma distinção clara entre o uso da Área de Preservação Permanente para a dessedentação dos animais e a prática de pecuária dentro dessas áreas. BORTOLI, et al. (2017) avaliaram a qualidade físico-química e microbiológica das águas localizadas em APPs de estabelecimentos rurais produtoras de leite na região do Vale do Taquari-RS. Dez das 15 amostras analisadas apresentaram valores acima do permitido pela Resolução CONAMA nº357 de 2005 (classe 3). Ademais, o pisoteio dos animais pode provocar erosão na proximidade desses mananciais e nas matas ciliares. Por conseguinte, o contato dos animais direto com a água no ambiente natural pode provocar assoreamento de córregos e poluição dos corpos de água (Tabela 8).

Tabela 8 – Descritor do Ponto de Vista Elementar *Acesso à água para dessedentação animal*

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N ₅		O sistema não prevê dessedentação animal ou os animais não acessam a água no ambiente natural	100	125
N ₄	Bom	Os animais acessam a água por meio de açudes	90	100
N ₃	Neutro	Os animais acessam a água por meio de banhados	50	0
N ₂		Os animais acessam a água por meio de córregos em corredores específicos	30	-50
N ₁		Os animais acessam a água por meio de córregos sem corredor definido	0	-125

PVF 2 Características do ambiente e do solo

A bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema em que as características do ambiente e do solo assumem papel fundamental para equilibrar as taxas de infiltração e redistribuição de água no solo. Esses dois fatores controlam, na superfície, a formação do escoamento superficial, a erosão e o transporte de solutos para os corpos de água e, em subsuperfície, à disponibilidade de água para as plantas, a vazão de base nos rios e a recarga de aquíferos (MINELLA et al., 2015).

Assim, as características dos solos e do ambiente determinam a aptidão de uso agrícola das terras (LEPSCH et al., 2015). Entre as características do ambiente, considera-se relevante a conformação da superfície do terreno, pois, quanto maior o grau de declividade, maior será o risco de erosão e, conseqüentemente, de mobilidade de resíduos adsorvidos às partículas sólidas do solo. O grau de declive está diretamente relacionado com o volume e a velocidade da enxurrada.

Associadas às características do ambiente, algumas propriedades do solo são determinantes para definir a capacidade de infiltração da água da chuva e resistência à erosão. Ademais, a mobilidade de íons na fase líquida e a transferência de contaminantes contidos no solo pelos processos de lixiviação ou arrastamento pela erosão possuem estreita relação com as características do solo (SPOSITO, 2008). Assim, para avaliar o presente PVF, foi ajustada uma subdivisão em quatro PVEs em que se destacam: textura, profundidade e potencial de erodibilidade do solo, além da declividade do terreno.

PVE 2.1 Grau de declividade do terreno cultivado

A declividade da área corresponde ao desnível do terreno em porcentagem. O grau de inclinação do terreno resulta da razão entre a diferença de altura do ponto mais alto e o mais baixo da lavoura e sua distância horizontal. As faixas de declividade adotadas na avaliação da aptidão de uso agrícola das terras podem variar em função do tipo de solo. Para compor o descritor deste Ponto de Vista Elementar, adotaram-se as faixas recomendadas pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (LEPSCH et al., 2015). Para tanto, o descritor foi definido com base na ordenação de possibilidades por meio da combinação (C) de distintos estados possíveis entre os elementos *declividade do terreno* e *ocupação da área*. As possíveis combinações podem ser visualizadas abaixo:

Combinação	Característica do ambiente	Representação simbólica	Ocupação da área
C1 →	Declividade inferior a 16%	≡ I	Pastagens e silvicultura
C2 →	Declividade inferior a 16%	≡ I	Cultivos anuais
C3 →	Declividade entre 16 e 25%	≡ I	Pastagens e silvicultura
C4 →	Declividade entre 16 e 25%	≡ I	Cultivos anuais
C5 →	Declividade superior a 25%	≡ I	Pastagens e silvicultura
C6 →	Declividade superior a 25%	≡ I	Cultivos anuais

Figura 66 – Combinações entre declividade do terreno e ocupação da área para formar os níveis do descritor

Fonte: Elaborado pelo autor com base na pesquisa de campo (2018 e 2019).

As combinações foram realizadas adaptando as orientações contidas no manual da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (LEPSCH et al., 2015). A área com declividade inferior a 16% inclui terras planas, suavemente onduladas, sujeitas à erosão regulares em cultivos anuais e pouco sujeitas à erosão em cultivos perenes. Declividade entre 16 e 25% são características de terras fortemente onduladas, muito sujeitas à erosão e que só podem ser usadas esporadicamente para lavouras anuais; são mais indicadas aos cultivos perenes. Áreas com declividade acima de 25% são caracterizadas por terras extremamente declivosas que devem ser destinadas à preservação permanente. A Tabela 9 apresenta as seis combinações possíveis.

Tabela 9 – Descritor do Ponto de Vista Elementar *Grau de declividade do terreno cultivado*

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N ₆	Bom	As áreas que possuem declividade inferior a 16% e são ocupadas por pastagens e silvicultura	100	133
N ₅		As áreas que possuem declividade inferior a 16% e são ocupadas por cultivos anuais	90	100
N ₄	Neutro	As áreas que possuem declividade entre 16 e 25% são ocupadas por pastagens e silvicultura	60	0
N ₃		As áreas que possuem declividade superior a 25% e são ocupadas por pastagens e silvicultura	40	-66
N ₂		As áreas que possuem declividade entre 16 e 25% e são ocupadas por cultivos anuais	10	-166
N ₁		As áreas que possuem declividade superior a 25% e são ocupadas por cultivos anuais	0	-200

PVE 2.2 Potencial de erodibilidade do solo cultivado

O potencial de erodibilidade diz respeito à suscetibilidade de um solo à erosão. Neste Ponto de Vista Elementar é avaliada a capacidade de cada solo de resistir à erosão por meio dos indicadores de capacidade de infiltração, drenagem e retenção da água, estrutura de agregados, nível de compactação superficial do solo e pela presença (ou ausência) de sinais aparentes de erosão nas lavouras (conforme características apresentadas no Quadro 9).

Indicadores	Potencial de erodibilidade		
	Forte	Moderado	Fraco
Estabilidade de agregados do solo	Agregados em prisma (poucos poros visíveis)	Agregados em blocos	Agregados arredondados (mais porosos)
Compactação superficial do solo	Solo resistente, aparência laminar, difícil de penetrar objeto pontiagudo	Solo compactado na primeira camada (alguma resistência a objetos pontiagudos)	Solo friável
Capacidade de infiltração do solo	A água da chuva escoar ou permanece na superfície	Grande parte da água da chuva penetra no solo	Sem escoamento ou empoçamento quando chove
Drenagem da água	Solo permanece úmido por longo tempo após a chuva	Alguns empoçamentos	A água infiltra rapidamente
Retenção de água	As plantas sentem estresse após poucos dias se chuva	As plantas sentem estresse em período mediano de estiagem	As plantas sentem estresse somente em seca extrema
Sinais de erosão na lavoura	Subsolo exposto	Evidência de perda do Horizonte A	Sem sinais de perdas no Horizonte A

Quadro 9 – Níveis explicativos para a erodibilidade em características físicas do solo

Fonte: Adaptado de Rheinheimer e Reichert, 2010.

A compactação superficial do solo provoca aumento da densidade e da resistência do solo à penetração das raízes das plantas, assim como diminuição na porosidade total e alteração da distribuição de tamanho dos poros (poros maiores que 50µm). Qualquer alteração na porosidade do solo pode influenciar o processo de infiltração de água. Em regra, a compactação afeta diversos atributos do solo, como a condutividade hidráulica, permeabilidade, infiltração de água e outras características ligadas à estrutura (RHEINHEIMER; REICHERT, 2010).

A estrutura de agregados do solo também pode ser considerada indicador de suscetibilidade à erosão ou, por outro lado, da capacidade de infiltração de água (permeabilidade) no solo. Por exemplo, um solo com estrutura granular ou arredondada é mais poroso e permite maior infiltração de água, se comparado com solos de estrutura laminar, em blocos, prismática ou colunar. A estabilidade dos agregados interfere na resistência à ação do impacto das gotas de chuva e, conseqüentemente, no desprendimento das partículas de solo. Além disso, a estrutura e a agregação de um solo normalmente estão ligadas à presença de agentes cimentantes, como a matéria orgânica e óxidos de ferro e alumínio (RHEINHEIMER; REICHERT, 2010).

As condições físicas como a compactação superficial e a estabilidade de agregados afetam diretamente o fluxo e a concentração de água no solo. A capacidade de infiltração, drenagem e retenção de água são também propriedades a serem consideradas na prevenção da erosão das lavouras agrícolas. Tais fatores combinados são indicadores qualitativos que, observados diretamente na propriedade rural, podem gerar um parâmetro satisfatório para mensurar o potencial de erodibilidade do solo. Desta forma, para avaliar o presente PVE, considera-se o descritor apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 – Descritor do Ponto de Vista Elementar *Potencial de erodibilidade do solo cultivado*

Nível de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N ₄	Bom	O potencial de erodibilidade do solo é reduzido	100	100
N ₃	Neutro	O potencial de erodibilidade do solo é moderado	60	0
N ₂		O potencial de erodibilidade do solo é forte	0	-150

PVE 2.3 Profundidade média do solo cultivado

A profundidade do solo, do ponto de vista ambiental, representa o volume de solo disponível para absorver e atenuar distúrbios. Inclusive a dinâmica hídrica, no que se refere ao armazenamento e os riscos de erosão são limitados pela profundidade do solo (WANG; ENDRENY; HASSETT, 2006). Logo, a profundidade é fator fundamental para determinar a capacidade de suporte do solo.

Agronomicamente há dois tipos de profundidade a ser considerados: profundidade efetiva do solo, que corresponde à camada favorável ao armazenamento de umidade e desenvolvimento do sistema radicular das plantas (aspectos biológicos); e profundidade do solo que leva em consideração os processos pedogenéticos usados em levantamento de solos (LEPSCH et al., 2015). O presente PVE não está interessado na profundidade efetiva do solo, e sim, na profundidade como atributo para avaliar sua capacidade de suporte do solo (Tabela 11).

Tabela 11 – Descritor do Ponto de Vista Elementar *Profundidade média do solo cultivado*

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N ₄	Bom	A profundidade média do solo é superior a 150 centímetros	100	100
N ₃		A profundidade média do solo varia entre 100 e 150 centímetros	80	66
N ₂	Neutro	A profundidade média do solo varia entre 50 e 100 centímetros	40	0
N ₁		A profundidade média do solo é inferior a 50 centímetros	0	-66

PVE 2.4 Textura do solo

A textura do solo é determinada pela mistura de frações com diferentes diâmetros (LEPSCH et al., 2015). Refere-se à proporção de argila, silte e areia na composição do solo, que condicionam o potencial de sorção (absorção e adsorção), retenção, tamponamento de materiais e a estabilidade física do solo. As frações de argila possuem maior superfície e apresentam cargas elétricas negativas, responsáveis pela capacidade de troca de cátions. Isso provoca um efeito cimentante, que dificulta o desprendimento das partículas de solo, deste modo, a argila influencia a capacidade erosiva do solo: quanto maior o teor de argila, menor a suscetibilidade à erosão. Este PVE será determinado de forma genérica, entre textura arenosa, média e argilosa, conforme classificação da Embrapa (1999) (Tabela 12).

Tabela 12 – Descritor do Ponto de Vista Elementar *Textura do solo*

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N ₃	Bom	O solo cultivado é predominantemente de textura argilosa – teor > 35% de argila	100	100
N ₂	Neutro	O solo cultivado é de textura predominantemente média – teor 15-35% de argila	50	0
N ₁		O solo cultivado é de textura predominantemente arenosa – teor < 15% de argila	0	-100

PVF 3 Práticas conservacionistas

O fator grau de declividade do terreno e algumas das características físicas do solo não pode ser diretamente controlado pelo homem, porém seus efeitos podem ser modificados com práticas conservacionistas. Este Ponto de Vista Fundamental está associado ao caráter antropogênico e avalia o uso de práticas de manejo e conservação aplicadas com o objetivo de intensificar a infiltração da água no solo e assim reduzir o escoamento superficial. Um sistema inadequado de manejo e conservação do solo pode intensificar processos erosivos, principal causa da degradação das terras agrícolas e condição elementar para a contaminação dos mananciais. Segundo Merten e Minella (2013), a erosão hídrica no Brasil é responsável pela perda de aproximadamente 847 milhões de toneladas de solo/ano.

A cobertura da superfície do solo por meio da manutenção de palhada é um dos fatores de maior influência nas taxas de infiltração e de escoamento da água da chuva (COGO; MOLDENHAUER; FOSTER, 1984). Outros fatores, como o sistema de preparo do solo e o uso de barreiras físicas de contenção, possibilitam maior infiltração da água e reduzem a velocidade do escoamento superficial da água que supera a capacidade de infiltração no solo. Portanto, para avaliar este PVF, foi estabelecida uma subdivisão em três PVEs, que serão apresentados a seguir.

PVE 3.1 Preparo do solo

O preparo do solo com intensas mobilizações por meio de arações e ou gradagens expõe-no à energia da gota de água, o que facilita a desagregação e a decomposição da matéria orgânica (BROWN et al., 2018). Essas alterações na estrutura podem compactar o solo e, assim, diminuir sua porosidade e influenciar o processo de movimentação da água da chuva.

O modo de preparar o solo para o plantio ou transplante na agricultura influencia na aceleração ou redução dos processos erosivos do solo. Nas últimas décadas, o

modo de preparo do solo sob o sistema plantio direto passou a ser dominante nas áreas agrícolas do Sul do Brasil. O uso continuado destas práticas aumenta a estabilidade dos agregados, a infiltração e a disponibilidade de água, a ciclagem de nutrientes pela ação microbiana, o teor de matéria orgânica e a capacidade do solo de reter nutrientes (RHEINHEIMER; MIELNICZUK; VEZZANI, 2000).

O propósito deste PVE é identificar a predisposição do solo à erosão por meio de seu revolvimento. Se faz necessário uma observação quanto ao uso deste PVE para avaliar sistemas de produção perene, no qual, os revolvimentos dos solos são menos intensos e, por isso, se aplica apenas os níveis de impacto N₂, N₃ e N₄ da Tabela 13).

Tabela 13 – Descritor do Ponto de Vista Elementar *Preparo do solo*

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N ₄		O solo é preparado por meio de sistema plantio direto nos cultivos anuais ou quando não há revolvimento do solo, no caso das explorações perenes	100	150,00
N ₃	Bom	O solo é preparado por meio de sistema plantio direto deficitário ou quando há pequenas movimentações do solo, no caso das explorações perenes	80	100,00
N ₂	Neutro	O solo é preparado por meio do sistema de cultivo mínimo ou quando há revolvimento anual do solo nas entre linhas das explorações perenes	40	0,00
N ₁		O solo é preparado por meio de sistema de cultivo convencional	0	-100,00

PVE 3.2 Cobertura do solo por resíduos

A cobertura do solo proporciona efeitos positivos em suas propriedades físicas, químicas e biológicas, mantém ou melhora os teores de matéria orgânica e favorece a infiltração de água (LOURENZI et al., 2017). Além disso, a cobertura do solo reduz a energia do impacto das gotas de chuva, a velocidade e o volume de escoamento superficial e, conseqüentemente, o desprendimento das partículas de solo suscetíveis ao transporte para os corpos de água (VARELLA et al., 2002).

A quantificação da cobertura vegetal morta é de grande importância para avaliar a perda de solo e o risco de contaminação dos recursos hídricos. Existem diferentes métodos para determinar a porcentagem de cobertura do solo por resíduos culturais. Neste caso, a cobertura do solo é avaliada pelo princípio da inspeção visual

no campo conforme o método da transeção linear (SLONEKER; MOLDENHAUER, 1977) (Tabela 14).

Tabela 14 – Descritor do Ponto de Vista Elementar *Cobertura do solo por resíduos*

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N ₅		A superfície do solo apresenta-se com mais de 80% da área coberta por palha no período de pós-colheita até a semeadura/transplante	100	133
N ₄	Bom	A superfície do solo apresenta entre 60 e 80% da área coberta por palha no período de pós-colheita até a semeadura/transplante	90	100
N ₃	Neutro	A superfície do solo apresenta entre 40 e 60% da área coberta por palha no período de pós-colheita até a semeadura/transplante	60	0
N ₂		A superfície do solo apresenta entre 25 e 40% da área coberta por palha no período de pós-colheita até a semeadura/transplante	30	-100
N ₁		A superfície do solo apresenta-se com menos de 20% da área coberta por palha no período de pós-colheita até a semeadura/transplante	0	-200

PVE 3.3 Barreiras físicas de contenção da água da chuva

O uso de barreiras físicas construídas transversalmente ao sentido da declividade do terreno é uma prática conservacionista utilizada no controle mecânico da erosão hídrica, favorável à redução das perdas de água por escoamento e do transporte de sedimento, nutrientes e agroquímicos (LONDERO et al., 2018). Entende-se por “barreiras físicas” o uso de terraços, cordões de contorno (vegetais, de pedras, etc.), cultivo em nível, entre outros. São técnicas antropogênicas inseridas nas áreas cultivadas cujo objetivo é a retenção ou a condução da água da chuva, visando diminuir o volume e a velocidade do escoamento superficial.

O descritor para este PVE foi definido com base na ordenação de possibilidades por meio da combinação de distintos estados possíveis entre os elementos *barreiras físicas de contenção* e *cultivo em nível*, conforme pode ser visualizado na figura a seguir:

Combinação	Barreiras de contenção	Representação simbólica	Formas de cultivo
C1 →	Utiliza barreiras físicas	II	Realiza o cultivo em nível
C2 →	Não utiliza barreiras físicas	II	Realiza o cultivo em nível
C3 →	Utiliza barreiras físicas	NI	Não realiza o cultivo em nível
C4 →	Não utiliza barreiras físicas	II	Não realiza o cultivo em nível

Figura 67 – Combinações entre o uso de barreiras físicas para a contenção da água da chuva e plantio em nível

Fonte: Elaborado pelo autor com base na pesquisa de campo (2018 e 2019).

Cabe mencionar que foi rejeitada a combinação C3 – usar barreiras físicas de contenção e não realizar o cultivo em linha –, pois, embora essa situação possa ocorrer, foi considerada pouco provável. Uma vez que o agricultor invista na construção de terraços, cordões vegetais ou de pedras, estes serão dispostos de acordo com o nível do terreno e, por sua vez, os sucos dos cultivos seguem a mesma ordem (Tabela 15).

Tabela 15 – Descritor do Ponto de Vista Elementar *Barreiras físicas de contenção da água da chuva*

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N ₃	Bom	São utilizadas barreiras físicas, como terraços, cordões vegetais e afins para conter o escoamento superficial; e o plantio é realizado em nível	100	100
N ₂	Neutro	NÃO são utilizadas barreiras físicas, como terraços, cordões vegetais e afins para conter o escoamento superficial; mas o plantio é realizado em nível	50	0
N ₁		Não são utilizadas barreiras físicas, como terraços, cordões vegetais e afins para conter o escoamento superficial, tampouco o cultivo é realizado em nível	0	-100

ii) Área de interesse: Resíduos e descartes agrícolas

A crescente demanda mundial por alimentos, fibras e energia têm estimulado os sistemas de produção agrícola a ampliar suas eficiências produtivas. A tecnologia implantada nos sistemas de produção, com novas variedades de cultivos, mecanismos para o controle de pragas e correção do solo por fertilizantes são os principais responsáveis pela expansão da produtividade.

Por outro lado, os insumos utilizados para suprir as demandas dos sistemas agropecuários têm gerado diferentes tipos de resíduos – uns reaproveitados nos estabelecimentos agrícolas e outros dispersos no ambiente. Os sistemas de criações, principalmente no modo intensivo, produzem elevadas concentrações de resíduos orgânicos, como dejetos e animais mortos. Além disso, são recorrentes os resíduos ligados à veterinária, como embalagens, restos de medicamentos, entre outros materiais que apresentam elevado risco de contaminação (ROSSOL et al., 2012).

Entre os sistemas de cultivos, destacam-se as embalagens dos insumos agrícolas e principalmente os resíduos destes insumos, como agrotóxicos e fertilizantes lixiviados ou erodidos para áreas adjacentes às das aplicações. Complementarmente aos sistemas de cultivos e de criações, na maioria dos estabelecimentos agrícolas são gerados resíduos na forma de pneus velhos, peças, óleo lubrificante, graxas, baterias, ferragens, tubos plásticos, vidros, entre outros (ROSSOL et al., 2012).

Basicamente, os resíduos agrícolas se distinguem entre os resíduos de descarte e dos passíveis de reutilização. Os de descarte são aqueles que perderam serventia no estabelecimento rural e que não se deseja mais acondicioná-los. Dentro desta categoria, é possível ainda segmentar os resíduos em dois tipos: os sólidos não perigosos, passíveis de reutilização, e os perigosos, que apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade (BRASIL, 2010).

Os resíduos reutilizáveis geralmente são sobras de um subsistema produtivo que podem ser aproveitadas como insumo em outro subsistema produtivo. Entre eles, destacam-se palhas, cascas, bagaços, dejetos e animais mortos (ROSSOL et al., 2012). Os dejetos suínos, aves e bovinos são os resíduos que gerem maiores preocupação no que diz respeito à problemática ambiental na BH do Guaporé. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) aponta alguns critérios específicos para classificar os resíduos sólidos, quanto a seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. Maiores detalhes podem ser consultados na NBR 10.004/04 (ABNT, 2004).

Para operacionalizar a avaliação desta área de interesse considerou-se que as pressões exercidas pela agricultura sobre os ecossistemas aquáticos podem variar em função dos resíduos da adubação (mineral e orgânica), do uso de agrotóxico e

também em função dos subprodutos utilizados nos sistemas produtivos (material, substância, objeto ou bem descartado). Para tanto, foram definidos quatro PVFs e 14 PVE, que basicamente se propõem a analisar o volume, a técnica e as condições em que os produtos são utilizados e o destino facultado aos descartes (Figura 68).

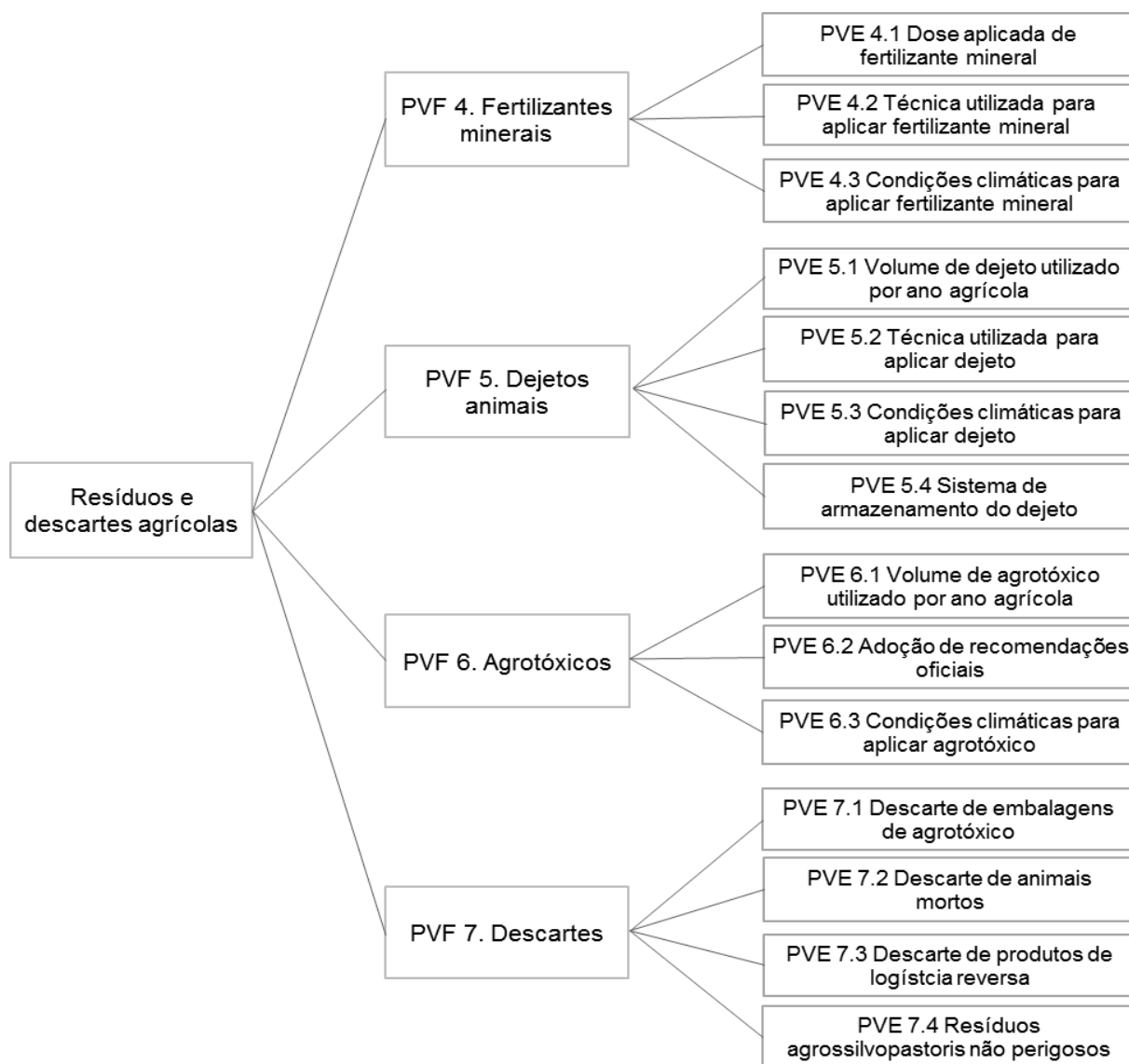


Figura 68 – Estrutura arborescente dos Pontos de Vista Fundamentais e dos Pontos de Vista Elementares da área de interesse *Resíduos e descartes agrícolas*

Fonte: Elaborado pelo autor com base em pesquisa de campo (2018 e 2019).

PVF 4 Fertilizantes minerais

O uso de fertilizante mineral tem por objetivo disponibilizar nutrientes às plantas, especialmente, nitrogênio, fósforo e potássio. Tecnicamente, o sistema de

adubação é aconselhável quando os solos apresentam deficiência de algum nutriente. Recomenda-se aplicar nutrientes com baixa mobilidade conjuntamente no interior do perfil do solo (e não na superfície) para elevar os teores disponíveis até a classe “alta” (acima do nível crítico) (CQFS-RS/SC, 2016). Quando o solo indicar teores de P ou K satisfatórios adicionam-se somente as quantidades de nutrientes que forem exportados pelos cultivos. Neste caso, realiza-se adubação de correção. Nutrientes com elevada mobilidade no perfil do solo como o nitrogênio não podem ser adicionados no momento da semeadura ou do preparo do solo, é indicado fracionar a dose em várias aplicações após o pleno desenvolvimento das plantas.

O uso eficiente de fertilizantes é importante sob o aspecto econômico e também ambiental. Conforme mencionado, a maior parte dos fertilizantes minerais utilizados no mundo contém nitrato e fosfato. Quando utilizados em excesso ou aplicados de forma errônea, podem ser translocados das lavouras para os cursos de água. Esses compostos em contato com a água alteram o equilíbrio aquático, provocando o fenômeno conhecido como eutroficação. Em síntese, provoca aumento desordenado na quantidade de algas e outras espécies de plantas aquáticas que, ao entrar em decomposição, acarretam diminuição na quantidade de oxigênio dissolvido da água.

Há de se mencionar também que os fertilizantes contêm metais pesados, com destaque para o cádmio, que é extremamente tóxico. Embora a aplicação de fertilizantes minerais não represente grande contribuição para o incremento nos teores de metais pesados no solo, quando analisada de forma isolada em uma lavoura (devido às baixas concentrações), seu efeito conjunto nos teores de metais pesados apresenta elevado potencial de contaminação ambiental em uma bacia hidrográfica (CLASEN et al., 2017). Para avaliar a pressão causada pelo uso de fertilizantes no modelo aqui proposto, usam-se três PVEs: (a) dosagem, (b) modo de aplicação e (c) condições climáticas.

PVE 4.1 Dose aplicada de fertilizante mineral

A dose de fertilizante a ser aplicada depende fundamentalmente do diagnóstico da fertilidade do solo e da exigência da cultura, feito pelo enquadramento dos resultados das análises de solo em amplitudes de faixa de valores. Os indicadores utilizados são os de acidez, teores de argila e de matéria orgânica, capacidade de troca de cátions, teores de fósforo e de potássio. A dose a ser definida dependerá da

relação entre o teor de nutrientes no solo e o rendimento esperado dos cultivos (CQFS-RS/SC, 2016).

A não adoção de critérios técnico-científicos para definição da dose e da forma de aplicação dos fertilizantes leva inevitavelmente a perdas de produtividade por uso de subdoses ou época e formas de aplicações incorretas. Por outro lado, adição de doses além das exigidas pelas plantas podem contaminar os recursos hídricos. Alguns estudos destacam a potencial contaminação da água por fertilizantes minerais a base de nitrato (KAISER et al., 2015) e fosfato (BENDER et al., 2018) utilizados na lavoura de tabaco, por exemplo. A quantidade e as formas de aplicação do fertilizante no cultivo do tabaco no Sul do Brasil são as mesmas, independentemente das características dos solos ou histórico de fertilização das áreas (BENDER et al., 2018). As aplicações constantes de doses de fertilizantes fosfatados e nitrogenados superiores a exportada pelos cultivos, aumentam consideravelmente o teor de P e N no solo; conseqüentemente, aumentam as possibilidades de transferência aos cursos de água.

O PVE *Dose aplicada de fertilizante mineral* tem por objetivo avaliar se os teores de nutrientes no solo estão nos níveis considerados adequados para os cultivos e se a adição de reposição de fertilizantes corresponde à expectativa de rendimento do cultivo, pois considera-se que o uso de doses elevadas facilita a transferência para os corpos de água (Tabela 16).

Tabela 16 – Descritor do Ponto de Vista Elementar *Dose aplicada de fertilizante mineral*

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N ₃	Bom	O fertilizante é aplicado abaixo da dose recomendada	100	100
N ₂	Neutro	O fertilizante é aplicado na dose recomendada	60	0
N ₁		O fertilizante é aplicado acima da dose recomendada	0	-150

PVE 4.2 Técnica utilizada para aplicar fertilizante

Um ponto importante a ser avaliado quanto à eficiência da adubação mineral diz respeito aos processos utilizados para a aplicação nos solos ou nos cultivos. Existem distintas técnicas que podem ser utilizadas para aplicar o fertilizante mineral que diferenciam o local onde o fertilizante será aplicado: no interior do solo

(incorporado ou na linha de semeadura) ou simplesmente depositado na superfície do solo. A época de aplicação deve coincidir com a maior demanda da cultura no caso dos fertilizantes de alta solubilidade, como os nitrogenados, pois as perdas normalmente ocorrem por meio da volatilização e lixiviação. No caso dos fertilizantes pouco solúveis, a exemplo dos fosfatados, cuja perda é maior por meio da erosão, recomenda-se que a aplicação seja feita junto com a semeadura (CQFS-RS/SC, 2016).

Sendo assim, o objetivo deste PVE é avaliar onde e como o fertilizante está sendo aplicado: em conjunto com a operação de plantio, depositado no solo pouco abaixo das sementes, espalhados sobre os cultivos ou incorporados ao solo (Tabela 17). As diferentes técnicas apresentam resultados distintos quanto ao aproveitamento do fertilizante e, por conseguinte, quanto ao potencial poluente para os corpos de água.

Tabela 17 – Descritor do Ponto de Vista Elementar *Técnica utilizada para aplicar fertilizante mineral*

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N ₄	Bom	Parte do fertilizante é incorporado via adubação de correção e parte incorporado na semeadura por meio da adubação de reposição	100	100
N ₃	Neutro	Todo o fertilizante é incorporado na semeadura	40	0
N ₂		Parte do fertilizante é incorporado na semeadura e parte aplicada a lanço	20	-33
N ₁		Todo o fertilizante é aplicado a lanço	0	-66

PVE 4.3 Condições climáticas para aplicar fertilizante mineral

O uso eficiente dos fertilizantes minerais na agricultura depende de uma série de fatores, entre os quais, se destaca as condições climáticas que ocorrem imediatamente antes, durante e após a aplicação. Os metais pesados e os nutrientes contidos nos fertilizantes que apresentam baixa mobilidade no solo são mais propensos ao processo de transporte do solo para a água, via escoamento superficial do que por lixiviação, sob condições de precipitações pluviométricas.

Os fertilizantes nitrogenados são compostos extremamente solúveis, o que aumenta o risco de transferência imediata dos elementos por escoamento superficial e também por lixiviação para os corpos hídricos quando aplicados superficialmente antes ou no decorrer de precipitações pluviométricas. Similarmente, independente da

forma que o nitrogênio se encontra no fertilizante, pode-se transformar em nitrato e migrar para o lençol freático. Assim, a finalidade deste PVE é avaliar o potencial de transferência dos fertilizantes minerais para a água sob influência das condições climáticas no momento da aplicação (Tabela 18).

Tabela 18 – Descritor do Ponto de Vista Elementar *Condições climáticas para aplicar fertilizante mineral*

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N ₃	Bom	Sempre são observadas as condições climáticas para aplicar fertilizante	100	100
N ₂	Neutro	Às vezes são observadas as condições climáticas para aplicar fertilizante	50	0
N ₁		Não são observadas as condições climáticas para aplicar fertilizante	0	-100

PVF 5 Dejetos animais

A modernização nos sistemas de criação de suínos, frangos e bovinos de leite possibilita (e exige) concentrar animais sob o regime de criação intensiva. Estas atividades requerem elevada disponibilidade de mão de obra e, portanto, são predominantemente executadas por agricultores familiares. Ocorrem geralmente em ambientes frágeis e com pouca área útil para descarte. Ademais, não há planejamento do número máximo de animais em escala de bacia hidrográfica. Consequentemente, é comum a quantidade de dejetos produzidos superar a capacidade de suporte dos solos (pouco espesso e baixa capacidade adsortiva) tanto nos estabelecimentos agrícolas quanto em escala de bacia hidrográfica.

Os dejetos são utilizados como fertilizantes, uma vez que são portadores de altas concentrações de nitrogênio, fósforo, cobre e zinco. Cabe salientar que o preço desses nutrientes não contempla os custos sociais e ambientais, sendo mais elevado do que os fertilizantes minerais e, somente por isso, já deveriam ser mais bem manejados. Em locais com excesso de dejetos, as doses, formas e épocas de aplicação nem sempre seguem as recomendações agronômicas. As doses de dejetos recomendadas seriam muito mais baixas das que as corriqueiramente utilizadas, pois o produtor tem que descartar o resíduo que se acumula no estabelecimento. Desta forma, o uso de dejetos pode expressar risco ambiental para os recursos hídricos (CORREA; MIELE, 2011).

Em solos arenosos e pouco espessos, localizados em regiões declivosas onde o potencial de carga para a retenção de nutriente é menor, há maior risco também de lixiviação de nitrogênio para as águas subterrâneas. Em caso de concentração excessiva de fósforo na superfície do solo, principalmente em áreas declivosas, pode ocorrer o transporte deste elemento via escoamento superficial (RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2003; PELLEGRINI et al., 2010; ZAFAR et al., 2017).

Há evidências de que, em locais de criação pecuária intensiva, a água vem sendo contaminada (CANER; TIECHER, 2017). Estudos indicam relação direta entre aplicações excessivas de dejetos líquidos de suínos e os níveis de nitrato e fosfato tanto nas águas superficiais (CAPOANE et al., 2015) quanto nas subterrâneas (FERNANDES et al., 2017), acúmulo de resíduos de medicamentos de uso veterinário (BASTOS et al., 2017; 2018) e metais pesados como Cu e Zn, provenientes de aditivos usados na alimentação animal (TIECHER et al., 2013; SILVA et al., 2015). Os impactos mais comuns dos dejetos sobre os recursos hídricos se resumem em: eutroficação do ambiente, alteração do equilíbrio aquático e presença de elementos tóxicos e de organismos patogênicos prejudiciais ao ser humano.

Segundo dados da Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser (FEE, 2019), a BH do Guaporé apresenta a maior concentração de suínos e aves do Brasil. A região integra um rebanho de aproximadamente 300 mil bovinos, 600 mil suínos e quase 30 milhões de aves (IBGE, 2017a). Desta maneira, se presume que parte dos dejetos seja direta ou indiretamente transferida aos cursos de água da região de Guaporé, pois, dos 6,5 mil estabelecimentos agropecuários que criam suínos, 30% possuem menos de 5 hectares (IBGE, 2017a). Assim, para avaliar os riscos de contaminação ambiental da água decorrente do uso de dejetos animais dividiu-se o PVF *Dejetos animais* em quatro PVEs.

PVE 5.1 Volume de dejetos utilizado por ano agrícola

Os dejetos dos animais tradicionalmente têm sido usados como fertilizante nas lavouras devido às concentrações apreciáveis de nutrientes para as plantas (CAPOANE et al. 2015). Contudo, a quantidade de nutrientes disponível nos adubos orgânicos é desproporcional às demandadas pelas plantas e à capacidade de adsorção do solo (LOURENZI, 2014). Para calcular as doses de dejetos aplicadas, a grande maioria dos técnicos e agricultores utiliza como referência a demanda de N para as culturas. Contudo, a razão N:P no dejetos normalmente é menor que a exigida

pela cultura, podendo as doses de P aplicadas ser até cinco vezes maiores que as necessidades das culturas (GUARDINI et al., 2012).

O uso contínuo e excessivo de dejetos animais sobre uma mesma área acarreta acúmulo no solo das camadas superficiais e aumenta o risco de contaminação dos recursos hídricos. Ceretta et al. (2005) demonstram que as concentrações de fósforo e nitrogênio mineral mensuradas na solução escoada na superfície do solo são diretamente relacionadas com as doses de dejetos de suíno aplicadas.

Portanto, o PVE *Volume do dejetos* utilizado por ano agrícola pretende avaliar a quantidade de dejetos utilizados como fertilizante por área de cultivo durante um ano agrícola, de forma a averiguar se o uso de dejetos está adequado às necessidades dos cultivos e, principalmente, se é compatível com a capacidade de suporte do solo. Para estimar a composição de nutrientes dos dejetos considerou-se o valor da densidade e concentrações médias de nutrientes conforme recomendações do Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina: P_2O_5 , 2,4; 0,8; e 4,0; para dejetos de suíno líquido, bovino líquido e aves seco, respectivamente. Na mesma ordem, utilizou-se a seguinte eficiência agrônômica: 90%, 75% e 70%. As dosagens foram definidas com base no teor de P 110kg/ha (CQFS-RS, 2016).

Tabela 19 – Descritor do Ponto de Vista Elementar *Volume de dejetos utilizado por ano agrícola*

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N ₅		Não aplica dejetos na lavoura	100	122
N ₄	Bom	A dose de esterco suíno aplicada costuma ser inferior a 40m ³ ha ⁻¹ ; ou, a dose de esterco bovino aplicada costuma ser inferior a 100m ³ ha ⁻¹ ; ou ainda, a dose de esterco de aves aplicada costuma ser inferior a 20m ³ ha ⁻¹	90	100
N ₃	Neutro	A dose de esterco suíno aplicada costuma variar entre 40 e 60m ³ ha ⁻¹ ; ou a dose de esterco bovino aplicada costuma ser entre 100 e 150m ³ ha ⁻¹ ; ou ainda, a dose de esterco de aves aplicada costuma variar entre 20 a 35m ³ ha ⁻¹	45	0
N ₂		A dose de esterco suíno aplicada costuma variar entre 60 e 80m ³ ha ⁻¹ ; a dose de esterco bovino aplicada costuma ser entre 150 e 200m ³ ha ⁻¹ ; ou a ainda, a dose de esterco de aves aplicada costuma variar entre 35 e 50m ³ ha ⁻¹	25	-44
N ₁		A dose de esterco suíno aplicada costuma ser superior a 80m ³ ha ⁻¹ ; a dose de esterco de bovinos aplicada costuma ser superior a 200m ³ ha ⁻¹ ; ou ainda, a dose de esterco de aves aplicada costuma ser superior a 50m ³ ha ⁻¹	0	-100

PVE 5.2 Técnica utilizada para aplicar dejetos

O uso dos dejetos gerados na propriedade pode aumentar a produtividade e melhorar a qualidade do solo ao mesmo tempo em que se apresenta como alternativa de descarte dos resíduos gerados nos estabelecimentos. Entretanto, deve-se atentar a que o uso inadequado pode trazer graves consequências para o meio ambiente (LOURENZI et al., 2017).

Áreas agrícolas sujeitas a aplicações sucessivas de dejetos, em doses elevadas e sem que ele seja eventualmente incorporado, podem experimentar desequilíbrio nas características físico-químicas e biológica do solo. Desta forma, eleva-se o risco de contaminação do solo e a propensão para transferências de componentes do dejetos para os mananciais (CAPOANE et al. 2014). Assim, o presente PVE avalia os procedimentos utilizados para aplicação do dejetos, conforme Tabela 20.

Tabela 20 – Descritor do Ponto de Vista Elementar *Técnica utilizada para aplicar dejetos*

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N ₄	Bom	Não é aplicado dejetos na lavoura	100	100
N ₃	Neutro	O dejetos é aplicado na superfície e esporadicamente incorporado no solo	50	0
N ₂		O dejetos é aplicado sempre na superfície do solo	30	-40
N ₁		O dejetos é aplicado em superfície no pós-plantio ou transplante	0	-100

PVE 5.3 Condições climáticas para aplicar dejetos

A aplicação em doses acima da exigida pelas plantas, por longo período e antecedente a eventos pluviométricos incrementa os riscos de transferência de elementos químicos, agentes biológicos e material orgânico, especialmente, o NO₃⁻ e coliformes, por escoamento superficial e inclusive por percolação profunda. Segundo estudo realizado por Ceretta (2005), as concentrações de nitrogênio e fósforo medidas na solução escoada na superfície do solo e a predominância de amônio ou nitrato estão diretamente correlacionadas ao intervalo entre a aplicação do dejetos de suíno e o primeiro escoamento superficial. Por conseguinte, o descritor exposto na Tabela 21 avalia se o agricultor revela preocupação com as condições climáticas no momento da aplicação do dejetos.

Tabela 21 – Descritor para o Ponto de Vista Elementar *Condições climáticas para aplicar dejetos*

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N ₄	Bom	Não aplica dejetos animais na lavoura	100	100
N ₃	Neutro	Sempre são observadas as condições climáticas para aplicar dejetos	50	0
N ₂		Às vezes são observadas as condições climáticas para aplicar dejetos	30	-40
N ₁		Não são observadas as condições climáticas para aplicar dejetos	0	-100

PVE 5.4 Sistema de armazenamento do dejetos

Os empreendimentos que utilizam manejo de dejetos líquidos devem ter estruturas de armazenagem impermeabilizadas e com capacidade compatível com o volume de dejetos gerado, de acordo com o número de animais e o tipo de sistema de produção (FEPAM, 2014a). A Fepam (2014b) exige que as estruturas de armazenamento possuam capacidade de no mínimo 20% acima do volume de dejetos estimado na produção. Ainda, as instalações devem ser dimensionadas para assegurar que o dejetos seja estabilizado por um período de no mínimo 120 dias da retirada e distribuição. Nos casos de pastagens e culturas hortigranjeiras, o dejetos deve ser estabilizado e tratado a fim de promover a redução de patógenos (FEPAM, 2014b).

Para os sistemas de manejo de dejetos sobre “camas” (sólidos), deve haver local próprio para estocagem e término dos processos fermentativos do material retirado. A matéria obrigatoriamente necessita ser coberta com objeto adequado (lona plástica ou telhado), o piso e as paredes laterais devem ser impermeabilizados e recomenda-se um sistema de drenagem ao redor. Para a utilização dos resíduos sólidos em pastagens e em olerícolas, eles devem ser compostados a fim de promover a redução de patógenos (FEPAM, 2014c).

O PVE *Sistema de armazenamento do dejetos* preocupa-se com processos de contaminação pontual que ocorrem quando poluentes são emitidos de forma constante, individualizada e em locais específicos, no caso nos sistemas de armazenamento (Tabela 22).

Tabela 22 – Descritor para o Ponto de Vista Elementar *Sistema de armazenamento do dejetos*

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N ₅		Não possui sistema de criação animal no estabelecimento agrícola	100	140,00
N ₄	Bom	O sistema de armazenamento é coberto, impermeabilizado e possui canaletas de drenagem ao redor	80	100,00
N ₃		O sistema de armazenamento é coberto, impermeabilizado, porém sem canaletas de drenagem ao redor	60	60,00
N ₂	Neutro	O sistema de armazenamento não possui cobertura, é impermeabilizado e possui canaleta de drenagem ao redor	30	0,00
N ₁		O sistema de armazenamento não possui cobertura, não é impermeabilizado, tampouco possui canaleta de drenagem ao redor	0	-60,00

PVF 6 Agrotóxicos

O modelo de agricultura irradiado no Brasil é baseado no uso intensivo de insumos industriais e agrotóxicos. Somos o país que mais consome agrotóxico no mundo desde o ano de 2008. Segundo dados do IBAMA (2019), em 2018 foram comercializadas 530 mil toneladas de ingredientes ativos, cerca de 20% de todo o agrotóxico comercializado no mundo. Recentemente o mercado de agrotóxicos e afins no Brasil teve significativo aumento, mas não houve crescimento proporcional da área plantada.

Conforme Castro Lima (2017), entre 2000 e 2014, houve aumento de 54% na área cultivada, de 51% na produção de grãos, mas o volume de agrotóxicos comercializados aumentou 160% no período. Estudos demonstram que apenas 1% do volume dos agrotóxicos aplicados na lavoura atingem os organismos-alvo; os outros 99% dos agroquímicos utilizados permanecem no solo e são transferidos para a água e atmosfera (ZHANG; JIANG; OU, 2011). O deslocamento dos agrotóxicos das áreas de aplicação para outros ambientes é feito principalmente pela água, no escoamento superficial (CASTRO LIMA et al., 2020).

Em vista disso, a utilização de agrotóxicos é a segunda maior causa de contaminação dos rios brasileiros, sendo superada apenas pela contaminação de esgoto doméstico (CLASEN et al., 2017). Situação semelhante é encontrada na BH do Rio Guaporé, em que a ocorrência de agrotóxicos no ambiente aquático tem sido assídua. Segundo estudo realizado por Castro Lima et al. (2020), que investigou a presença de agrotóxicos no Rio Guaporé e seus afluentes, dos 79 agrotóxicos monitorados, 11 foram detectados na água, com presença entre 6 e 94%. Os grupos

químicos das triazinas (herbicidas) foram encontrados em 94 a 100% dos locais amostrados.

Segundo dados do IBAMA (2019), 2,4-D, atrazina e simazina são os agrotóxicos mais utilizados no Sul do Brasil depois do glifosato. Os agricultores da BH parecem seguir este padrão. Além dos herbicidas, a água do Rio Guaporé e seus afluentes contêm inseticidas e fungicidas. O inseticida imidacloprid, por exemplo, foi detectado em 75% dos locais de amostragem (CASTRO LIMA et al., 2020). Assim sendo, confirma-se que a drenagem fluvial tem conduzido aos arroios da Bacia Hidrográfica do Guaporé produtos utilizados nos cultivos. Portanto, neste PVF, a poluição derivada do uso de agrotóxico é avaliada por três PVEs: volume utilizado nos cultivos, adoção de recomendações técnicas acerca do uso dos agrotóxicos e precauções com relação às condições climáticas no momento da aplicação dos agrotóxicos.

PVE 6.1 Volume de agrotóxico utilizado por ano agrícola

No Rio Grande do Sul existem aproximadamente 365 mil estabelecimentos agropecuários, que exploram cerca de 9 milhões de hectares. São mais de um milhão de pessoas ocupadas, das quais cerca de 80% são agricultores familiares (IBGE, 2017a). Os principais cultivos e criações são: soja, milho, trigo, arroz, tabaco, carne (bovina, suína e frango), fruticultura (uva e citros) e silvicultura (eucalipto e pinus), além da olericultura (IBGE, 2017b). A variedade de cultivos corresponde à multiplicidade de agrotóxicos empregados, sendo que os herbicidas são os mais utilizados. Dentre eles, o glifosato é destaque devido à expansão do cultivo de soja geneticamente modificada (CLASEN et al., 2017). Os agrotóxicos comercializados no Rio Grande do Sul estão em terceiro lugar no ranking nacional em termos de volume utilizado (13%) (IBAMA, 2019). São utilizados em média mais de 8 litros por habitante/ano, enquanto a média nacional é de 4,5 litros por habitante/ano (CASSAL et al., 2014).

Segundo Castro Lima et al. (2020), no Rio Guaporé e seus tributários, as moléculas de atrazina e simazina apresentaram maior frequência e maior concentração entre os compostos químicos encontrados ($0,68$ e $0,19 \mu\text{g l}^{-1}$). Esses valores atendem os padrões para consumo humano, segundo a legislação brasileira (BRASIL, 2011). Entretanto, se for aplicada a legislação europeia, entre 95 e 74% das amostras analisadas excederiam os limites de atrazina e simazina, respectivamente,

considerados seguros para consumo humano (CASTRO LIMA et al., 2020). Diante da problemática exposta este PVE visa identificar o *Volume de agrotóxico utilizado* por área cultivada nos respectivos cultivos de cada sistema de produção agrícola da BH do Rio Guaporé (Tabela 23).

Tabela 23 – Descritor para o Ponto de Vista Elementar *Volume de agrotóxico utilizado por ano agrícola*

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N ₅		Não utiliza agrotóxico nos cultivos	100	250
N ₄	Bom	O volume de agrotóxico utilizado não ultrapassa 3L por hectare cultivado ao ano	70	100
N ₃	Neutro	O volume de agrotóxico utilizado é inferior a 5 e superior a 3L por hectare cultivado ao ano	50	0
N ₂		O volume de agrotóxico utilizado é inferior a 10 e superior a 5L por hectare cultivado ao ano	25	-125
N ₁		O volume de agrotóxico utilizado é superior a 10L por hectare cultivado ao ano	0	-250

PVE 6.2 Adoção de recomendações oficiais

Os agrotóxicos devem ser utilizados conforme as orientações técnicas e legais divulgadas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Entre as informações, destacam-se o nome comum e químico, a classe de uso, a classificação toxicológica, a adequação aos cultivos, os ingredientes ativos e seus respectivos limites máximos de resíduo (ANVISA, 2019).

A venda de agrotóxicos e afins aos usuários deve ocorrer por receituário próprio, prescrito por profissionais legalmente habilitados, salvo casos excepcionais previstos na Lei nº 7.802 de 1989 (BRASIL, 1989). Nas recomendações técnicas devem constar orientações gerais quanto às precauções de uso divulgadas pela ANVISA, dosagem, modalidade equipamento utilizado na aplicação, além de orientações sobre proteção ao meio ambiente e primeiros socorros em caso de acidentes. Grande parte destas informações está contida nas embalagens dos produtos, apresentada por bula, tarjas ou mesmo na forma de desenho. Segui-las é fundamental, pois a utilização de compostos químicos em inconformidade e o uso de dosagem demasiadamente superior à indicada são responsáveis por grande parte dos problemas relacionados ao uso de agrotóxicos no Brasil (ANVISA, 2019).

Ocorre que muitas vezes os agrotóxicos são comercializados sem a exigência de receituário agrônomo, outras tantas, o técnico que assina o receituário não

conhece a demanda do agricultor. Então, para avaliar o PVE, considerou-se a ordenação de possibilidades por meio da combinação de distintos estados possíveis entre os elementos, recomendações oficiais e verificação de bulas, cores, tarjas e desenhos das embalagens, conforme pode ser visualizado abaixo.

Combinação	Orientações técnicas e legais	Representação simbólica	Observações contidas nas embalagens
C1 →	Adota as recomendações oficiais	⊞ ⊞	Verifica bulas, cores, tarjas e desenhos
C2 →	Adota as recomendações oficiais	⊞ ⊞	Nem sempre verifica bulas, cores, tarjas e desenhos
C3 →	Às vezes adota as recomendações oficiais	⊞ ⊞	Verifica bulas, cores, tarjas e desenhos
C4 →	Às vezes adota as recomendações oficiais	⊞ ⊞	Nem sempre verifica bulas, cores, tarjas e desenhos
C5 →	Nunca adota as recomendações oficiais	⊞ ⊞	Não verifica bulas, cores, tarjas e desenhos

Figura 69 – Combinações entre recomendações oficiais para o uso de agrotóxicos e conferência por parte do agricultor das descrições do produto na embalagem

Fonte: Elaborado pelo autor com base na pesquisa de campo (2018 e 2019).

Tabela 24 – Descritor do Ponto de Vista Elementar *Adoção de recomendações oficiais*

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N ₅		As recomendações oficiais são adotadas e sempre são lidas as bulas, observadas as cores, tarjas e desenhos presentes nas embalagens	100	142
N ₄	Bom	As recomendações oficiais são adotadas, mas nem sempre são lidas as bulas, observadas as cores, tarjas e desenhos presentes nas embalagens	85	100
N ₃	Neutro	As recomendações oficiais às vezes são adotadas e sempre se leem bulas, observam cores, tarjas e desenhos presentes nas embalagens	50	0
N ₂		As recomendações às vezes são adotadas e nem sempre são lidas as bulas, observadas as cores, tarjas e desenhos presentes nas embalagens	35	-42
N ₁		As recomendações oficiais nunca são adotadas, tampouco são lidas as bulas, observadas as tarjas e desenhos presentes nas embalagens	0	-142

PVE 6.3 Condições climáticas para aplicar agrotóxico

As possibilidades de destinos dos agrotóxicos aplicados nos cultivos dependem de uma combinação de fatores, entre os quais se destacam: as propriedades dos compostos químicos, as características do ambiente e as formas de manejo do solo e das condições climáticas (CLASEN et al. 2017). As substâncias químicas com maior potencial de degradação (longevidade) normalmente não conseguem atingir longas

distâncias; logo, podem ser menos nocivas ao ambiente. Outra possibilidade é que o agrotóxico seja resistente à degradação, podendo se mover por longas distâncias e acumular no ambiente. Os agrotóxicos insolúveis são transportados com os sedimentos e costumam acumular no fundo dos corpos de água. Os agrotóxicos muito solúveis, por sua vez, são mais facilmente carregados pela água da chuva e permanecem mais na superfície das águas (CLASEN et al. 2017).

As características do ambiente, tipo de solo, manejo do solo e das condições climáticas no momento da aplicação (precipitação, vento e umidade) também influenciam na dinâmica dos agrotóxicos no meio ambiente. Por isso, o atual PVE avalia as condições climáticas no momento da aplicação como potencial contaminante de águas (Tabela 25).

Tabela 25 – Descritor do Ponto de Vista Elementar *Condições climáticas para aplicar agrotóxico*

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N ₃	Bom	Sempre são observadas as condições climáticas para aplicar o agrotóxico	100	100
N ₂	Neutro	Às vezes são observadas as condições climáticas para aplicar o agrotóxico	50	0
N ₁		Não são observadas as condições climáticas para aplicar o agrotóxico	0	-100

PVF 7 Descartes

Os resíduos comumente descartados no meio rural compreendem substâncias materiais derivados dos insumos utilizados ou gerados nas atividades agropecuárias. No Ponto de Vista Fundamental *Descarte*, a maior parte dos produtos é considerada resíduo sem serventia para o estabelecimento agrícola (produtos de logística reversa), exceto em algumas situações, como ocorre diante dos produtos não perigosos, passíveis de reciclagem (BRASIL, 2010).

Os animais mortos, principalmente provenientes da criação de aves e suínos, por exemplo, têm potencial de reaproveitamento em compostagens ou em graxearias para gerar outros produtos, entretanto, na prática é atípico o registro deste tipo de reaproveitamento. Com o objetivo de melhorar a descrição dos impactos das ações a serem avaliadas neste PVF, foi estabelecida uma subdivisão em quatro PVEs, que serão descritos a seguir.

PVE 7.1 Descarte de embalagens de agrotóxicos

As embalagens de agrotóxicos são consideradas produtos de logística reversa pela Lei nº 12.305 de 2010 (BRASIL, 2010). No presente modelo, considerou-se dedicar um PVE exclusivo para este tipo de resíduo, uma vez que as embalagens de agrotóxicos são mais numerosas que outros produtos nesta condição de logística reversa. Também se justifica o PVE restrito às embalagens de agrotóxico pelo elevado grau de periculosidade que possui.

O procedimento sobre o destino das embalagens vazias (vidros, latas ou pacotes), de sobras de agrotóxicos e afins é regido pela Lei nº 9.974/2000 (BRASIL, 2000a). Segundo a legislação, as embalagens vazias, assim como as tampas dos recipientes, devem ser devolvidas aos estabelecimentos comerciais em que foram adquiridos no prazo de até um ano, contado da data de sua compra. O cumprimento desta norma visa proteger o agricultor, os recursos naturais, em especial os recursos hídricos, de contaminações através da migração de resíduos tóxicos para arroios e córregos localizados próximos aos locais de descartes. Em vista disso, a pressão deste subcritério é avaliada conforme o descritor da Tabela 26.

Tabela 26 – Descritor do Ponto de Vista Fundamental *Descarte de embalagens de agrotóxicos*

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N ₅	Bom	As embalagens de agrotóxicos são entregues nos postos de coleta sem realizar a tríplex lavagem	100	125
N ₄		As embalagens de agrotóxicos são entregues nos postos de coleta após realizar a tríplex lavagem	90	100
N ₃	Neutro	As embalagens de agrotóxico são descartadas na propriedade em um lugar considerado adequado, após realizar a tríplex lavagem	50	0
N ₂		As embalagens de agrotóxicos são descartadas na propriedade em um lugar considerado adequado, sem realizar a tríplex lavagem	40	-25
N ₁		As embalagens de agrotóxico são descartadas na propriedade em local inadequado e sem realizar a tríplex lavagem	0	-125

Cabe um esclarecimento quanto ao N₅ – que se refere a entrega de embalagens de agrotóxicos nos postos de coleta sem realizar a tríplex lavagem. A tríplex lavagem consiste no procedimento de enxágue internamente da embalagem vazia com a finalidade de descontaminação prévia das mesmas antes da entrega para as recicladoras. Embora seja prevista na legislação a obrigatoriedade, através da Lei

nº 9.974/2000 (BRASIL, 2000a) e do Decreto 4.074/2002 (BRASIL, 2002), e se reconheça a importância deste procedimento, tanto para o armazenamento quanto para o transporte das embalagens vazias, o atual PVE está em conformidade com as relações de preferência à “minimização”. Significa dizer que quanto menor for a unidade de agrotóxico remetida pelo sistema de produção à BH, mais bem avaliado será o sistema. Com isso, não se objetiva estimular a renúncia da lavagem das embalagens de agrotóxicos, e sim, seguir a racionalidade do modelo desenvolvido.

PVE 7.2 Descarte de animais mortos

Os cadáveres de animais em estabelecimentos rurais podem causar sérios riscos para o meio ambiente, no Brasil a orientação para o descarte dos animais é realizada por meio da Instrução Normativa nº 48, de 2019 (BRASIL, 2019). Morrem aproximadamente 1,2 milhões de toneladas de animais por ano, considerando bovinos de leite e corte, suínos e aves. Na região Sul do Brasil são mais de 320 mil toneladas ano de resíduos de animais mortos, sendo que 41% deste valor são carcaças de aves (KRABBE, 2017).

Ocorre que, em função da densidade da produção, tem-se gerado volume considerável de cadáveres nos estabelecimentos agrícolas, principalmente os que possuem sistemas de criação de suínos e aves, no Rio Grande do Sul e também na BH de Guaporé. Diante do volume e da periculosidade, as carcaças dos animais mortos apresentam elevado risco de contaminação do ambiente, por meio dos fluídos e das secreções excretados pelos cadáveres. Logo, faz-se necessário o manejo adequado. O PVE que avalia a pressão do *Descarte de animais mortos* é apresentado na Tabela 27.

Tabela 27 – Descritor do Ponto de Vista Elementar *Descarte de animais mortos*

Níveis de impacto	Níveis de referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N ₅		Não possui sistema de criação de animais no estabelecimento agrícola	100	111
N ₄	Bom	Os animais mortos são incinerados	95	100
N ₃	Neutro	Os animais mortos são dispensados na composteira convencional	50	0
N ₂		Os animais mortos são enterrados em vala comum	40	-22
N ₁		Os animais mortos são descartados “a céu aberto”	0	-111

PVE 7.3 Descarte de produtos de logística reversa

A logística de reversão refere-se ao conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento em seu ciclo, em outros ciclos produtivos, ou ainda, para outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010). São produtos normalmente inviáveis para a reutilização nos estabelecimentos agrícolas em razão da periculosidade que portam. Enquadram-se nesta categoria baterias, pneus, óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens, lâmpadas, produtos eletroeletrônicos e seus componentes. O manejo destes resíduos depende da cooperação entre os fabricantes, distribuidores, comerciantes e usuários (BRASIL, 2010). O presente PVE é avaliado conforme o descritor da Tabela 28.

Tabela 28 – Descritor do Ponto de Vista Elementar *Descarte de produtos de logística reversa*

Níveis de Impacto	Níveis de Referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N ₄	Bom	Os produtos de logística reversa são separados e entregues nos postos de recolhimento	100	116
N ₃		Os produtos de logística reversa são entregues nos postos de recolhimento sem serem separados	90	100
N ₂	Neutro	Os produtos de logística reversa são separados e descartados em lugar que considera adequado na propriedade	30	0
N ₁		Os produtos de logística reversa são descartados na propriedade sem serem separados	0	-50

PVE 7.4 Descarte de resíduos agrossilvipastoris não perigosos

Os resíduos não perigosos são todos os que não se enquadram nas categorias descritas anteriormente, porém não significa supor que os mesmos não ofereçam perigo ao ser humano ou ao meio ambiente. Estes resíduos possuem alguma possibilidade de emprego no estabelecimento agrícola e podem ser biodegradáveis, comburentes ou solúveis em água, por exemplo. Enquadram-se neste Ponto de Vista Elementar sucata de metais ferrosos e não ferrosos, resíduos de papel e papelão, resíduos de plástico polimerizado, resíduos de borracha, tubos plásticos, vidros, entre outros. Por conseguinte, o PVE avalia o destino dado aos resíduos sólidos não perigosos (Tabela 29).

Tabela 29 – Descritor do Ponto de Vista Elementar *Descarte de resíduos agrossilvipastoris não perigosos*

Níveis de Impacto	Níveis de Referência	Descrição	Função de valor original	Função de valor transformada
N ₅	Bom	A maior parte do resíduo é separada segundo sua constituição ou composição e destinada para reciclagem	100	106
N ₄		A maior parte do resíduo é destinada para reciclagem sem ser separada	95	100
N ₃		A maior parte do resíduo é enterrada na propriedade	50	40
N ₂	Neutro	A maior parte do resíduo é queimada na propriedade	20	0
N ₁		A maior parte do resíduo é descartada “a céu aberto” na propriedade	0	-26

É oportuno destacar que alguns pontos de vista, embora importantes para avaliar as pressões exercidas pelos sistemas de produção agrícola sobre os ecossistemas aquáticos, não foram incluídos no modelo. Por exemplo, as características da precipitação, como volume e intensidade do evento pluviométrico, não foram consideradas por apresentarem um comportamento semelhante no tempo e no espaço da BH. A pressão exercida pelas estradas rurais sobre os sistemas aquáticos também não foi estimada pelo modelo. Mesmo que existam trabalhos que comprovem a influência de seus sedimentos erodidos sobre os corpos de água (MINELLA et al., 2009; TIECHER et al., 2017), nesta ocasião não se considerou viável conceber um descritor operacional e mensurável referente as estradas para avaliar os distintos sistemas de produção.

Uma vez definido o descritor e associada uma função de valor a um Ponto de Vista Fundamental, o mesmo pode ser considerado um critério de avaliação, assim como seus Pontos de Vista Elementares podem ser denominados de subcritérios. Portanto, deste ponto em diante assim serão denominados. A Figura 70 sintetiza e compara os níveis de impactos positivos e negativos dos critérios e subcritérios do modelo.

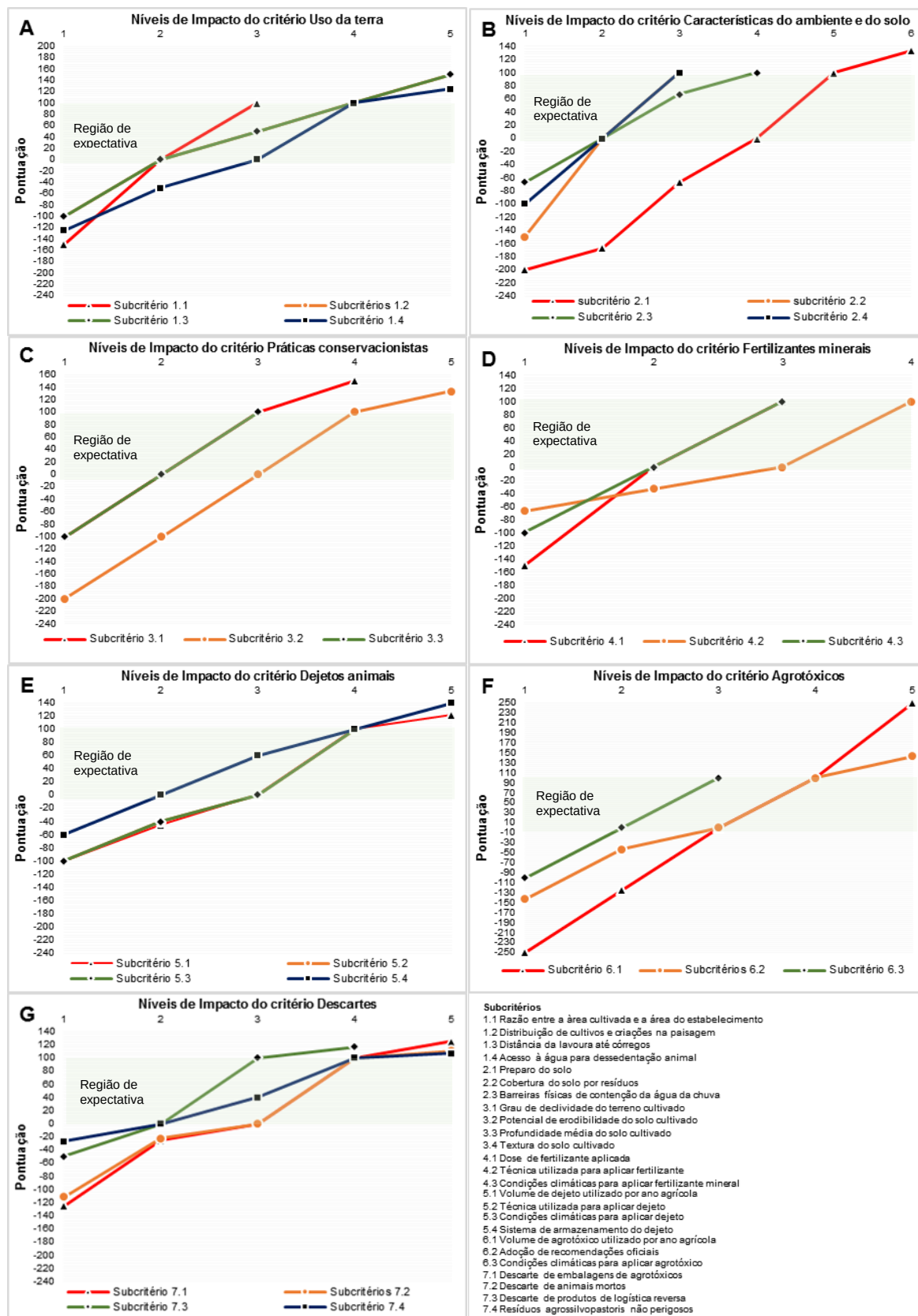


Figura 70 – Apresentação gráfica das funções de valor dos critérios: A) *Uso da terra*; B) *Práticas conservacionistas*; C) *Características do ambiente e do solo*; D) *Fertilizantes minerais*; E) *Dejetos animais*; F) *Agrotóxicos*; e G) *Descartes*

Fonte: Elaborado pelo autor com base na pesquisa de campo (2019).

Os subcritérios são caracterizados por descritores que possuem de três a cinco níveis de impacto, sendo o subcritério *2.1 Grau de declividade do terreno cultivado*, o único a apresentar seis níveis. Entre os subcritérios que apresentam as menores pontuações estão: *Grau de declividade do terreno* (-200 pontos para áreas cultivadas com culturas anuais em declividade superior a 25%); *Cobertura do solo* (-200 pontos para lavouras que apresentarem solos com menos de 20% de cobertura no período entre- safra) e *Volume de agrotóxico utilizado por ano agrícola* (-250 pontos quando o volume utilizado supera os 10 litros por hectare cultivado ao ano). As pontuações menos impactantes foram atribuídas aos subcritérios *Descartes de produtos de logística reversa* e *Resíduos agrossilvipastoris não perigosos*, -50 e -26, respectivamente.

O resultado da estruturação do modelo multicritério de avaliação das pressões exercidas pelos sistemas de produção agrícolas sobre os ecossistemas aquáticos, configura-se em um arranjo arborescente de ramificações hierárquicas de critérios, onde cada vértice da estrutura representa um objetivo final. Conforme Sellitto, Borchardt e Pereirae (2006), esta organização corresponde a um conjunto de elementos superiores influenciados imediatamente por elementos inferiores, que por sua vez, são influenciados por outros sucessivamente inferiores. É justamente por meio desta estrutura que é possível identificar a espinha dorsal do problema para organizá-lo em concepções menos complexas de serem analisadas (subcritérios). Ao todo, a estrutura do modelo proposto é composta por sete critérios e 25 subcritérios, conforme Figura 71.

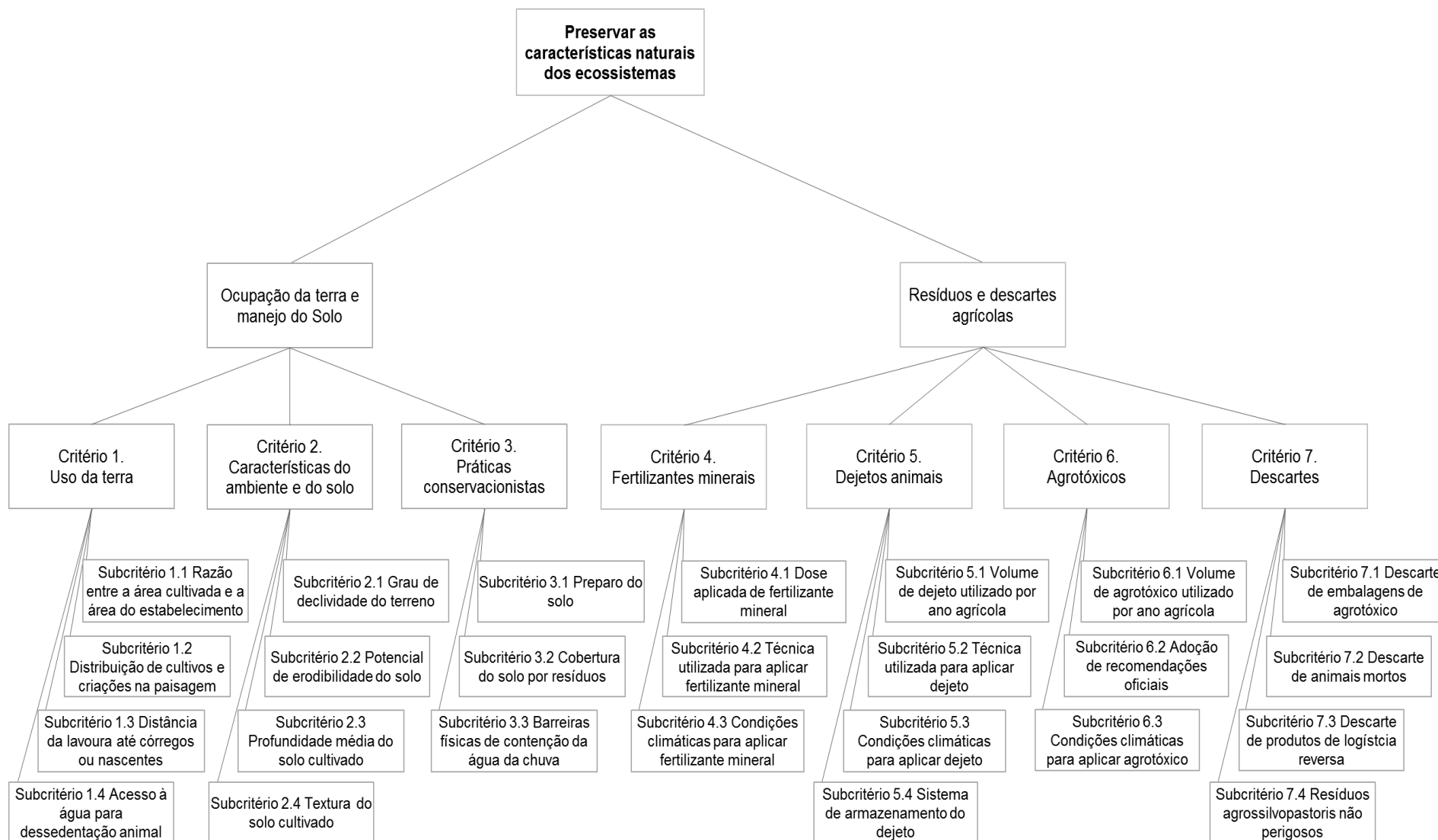


Figura 71 – Estrutura arborescente dos critérios e subcritérios do modelo
 Fonte: Elaborado pelo autor com base em pesquisa de campo (2018 e 2019).

6.2.2 Determinação das taxas de compensação

Após delimitar os descritores e as funções de valor, utilizados para realizar as avaliações locais em cada subcritério e, conseqüentemente, em cada um dos critérios, foram estabelecidas as taxas de compensação como constantes de escalas para transformar os valores locais em valores globais do modelo (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001). As taxas de compensação objetivam ordenar por meio de uma relação de preferência, os subcritérios e os critérios de cada nível hierárquico da estrutura apresentada na Figura 71. Elas foram estabelecidas, primeiramente, entre os subcritérios que compõe cada um dos sete critérios (níveis hierárquicos inferiores) e posteriormente entre os critérios (níveis superiores).

Efetivamente, as taxas de compensação brutas foram obtidas utilizando-se do método *Swing Weights* (BEINAT, 1997; GOMES, 2001; REICHERT, 2012). A avaliação iniciou mediante a inserção de uma ação fictícia com impacto no nível “neutro” em todos os subcritérios. Em seguida elegeu-se um dos subcritérios para que passasse do nível “neutro” para o “bom”, e a ele foi atribuído a pontuação máxima, por ser considerado o subcritério mais relevante entre os demais, restritos ao critério num nível hierárquico superior. Com base nesta referência, os demais subcritérios foram organizados em classes de importância.

A Figura 72 exemplifica o processo de construção das taxas de compensação utilizada para os subcritérios subordinado ao critério *Uso da terra*. Neste exemplo, considerou-se que entre os subcritérios relacionados com uso da terra, para um sistema de produção agrícola amenizar as pressões causadas nos recursos hídricos, precisaria anteriormente, melhorar a performance da razão entre a área cultivada e a área do estabelecimento. Por conseguinte, melhorar a distribuição dos cultivos na paisagem, assegurar uma distância satisfatória entre os córregos e as lavouras e aprimorar o acesso dos animais a água.

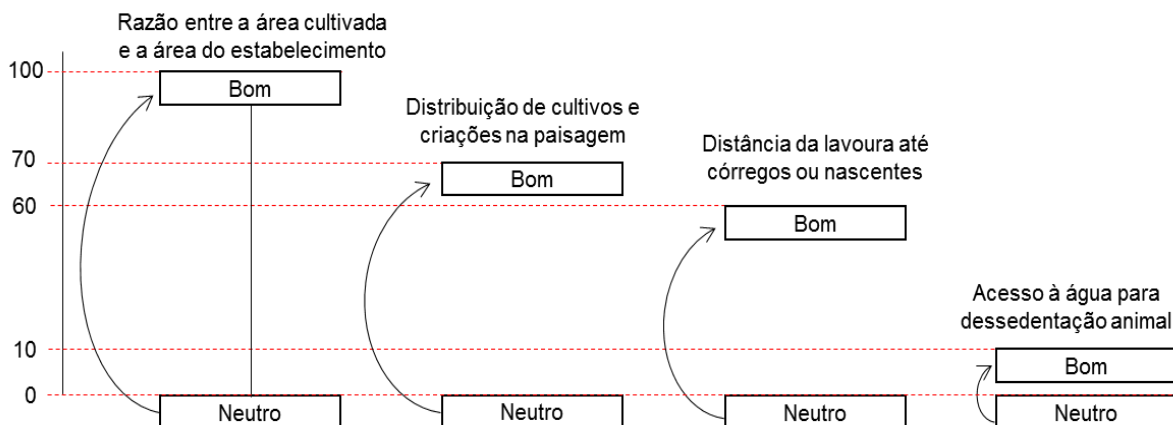


Figura 72 – Determinação das taxas de compensação para os subcritérios alusivo ao uso da terra pelo método *Swing Weights*

Fonte: (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001).

Dada a ordem de importância entre os subcritérios, passou-se a definir quanto os saltos de um nível para outro valem numericamente em uma escala entre 0 e 100. Ao subcritério de referência, *Razão entre a área cultivada e a área do estabelecimento*, foi atribuída a pontuação máxima, equivalente a 100 pontos. Em relação a esta referência, considerou-se o equivalente a 70 pontos a passagem de nível do subcritério *Distribuição de cultivos na paisagem*; 60 pontos para o subcritério *Distância das lavouras até os córregos ou nascentes*; e 10 pontos para o subcritério *Acesso à água para dessedentação animal*.

Este procedimento foi realizado até definir a ordem de todas as passagens do nível “neutro” para o “bom” dos subcritérios remanescentes. Assim, após definida as taxas de compensação, as mesmas foram normalizadas para uma escala de valores que varia entre 0 e 1, a fim de torná-las comparáveis. A normalização das taxas de compensação consiste em dividir a pontuação de cada subcritério pela soma de todas as pontuações dos subcritérios, conforme o exemplo apresentado:

- *Razão entre a área de cultivo e a área do estabelecimento* → $100/240=0,417$ ou 41,7%
- *Distribuição de cultivos e criações na paisagem* → $70/240=0,292$ ou 29,2%
- *Distância da lavoura até o(s) córrego(s)* → $60/240=0,250$ ou 25%
- *Água para dessedentação animal* → $10/240=0,042$ ou 4,2%

Do mesmo modo foram determinadas as taxas de compensação entre os critérios. Inicialmente foi comparada par a par a performance local dos critérios³⁸, com a finalidade de classificar por ordem de relevância aqueles que mais afetam os recursos hídricos da BH do Rio Guaporé, numa premissa de avaliar os sistemas de produção agrícolas. Após ordenar os critérios, com base no método *Swing Weights*, foram estabelecidas as taxas de compensação entre eles, conforme o Quadro 10.

Crítérios	Uso da terra	Características do ambiente e do solo	Práticas conservacionistas	Fertilizantes minerais	Dejetos animais	Agrotóxicos	Descartes	Total	Ordem	Peso	Pontuação Final
Uso da terra		1	1	1	1	1	1	6	1º	100	0,282
Características do ambiente e do solo	0		0	1	1	1	1	4	3º	65	0,183
Práticas conservacionistas	0	1		1	1	1	1	5	2º	90	0,254
Fertilizantes minerais	0	0	0		0	0	1	1	6º	15	0,042
Dejetos animais	0	0	0	1		0	1	2	5º	30	0,084
Agrotóxicos	0	0	0	1	1		1	3	4º	50	0,141
Descartes	0	0	0	0	0	0		0	7º	05	0,014

Quadro 10 – Matriz de comparação de critérios e pontuação no modelo multicritério

Fonte: Elaborado pelo autor com base na pesquisa de campo (2019).

Nota: Se $a \mathbf{P} b \rightarrow$ coloca-se 1 na linha a e 0 na coluna b ; Se $b \mathbf{P} a \rightarrow$ coloca-se 1 na linha b e 0 na coluna a ; Se $a \mathbf{I} b \rightarrow$ coloca-se a mesma pontuação na linha e na coluna; (Sendo $\mathbf{P}$ = Preferível; $\mathbf{I}$ = Indiferente). Informações sobre as relações de preferência se encontram na página 63.

As taxas de compensação, ou simplesmente os pesos atribuídos aos critérios de avaliação, são fundamentais para os modelos multicritério que fazem uso da abordagem critério único de síntese. Neta abordagem, a compensação se refere a

³⁸ Uma comparação da performance local dos subcritérios está disponível no Apêndice D, p. 331.

ideia de que um desempenho melhor de uma alternativa em um dado critério, pode compensar um desempenho pior em outro critério, ou vice-versa. A Tabela 30 apresenta as taxas de compensação utilizada no modelo desenvolvido.

Tabela 30 – Taxas de compensação brutas e normalizadas para os critérios e subcritérios

Critérios e Subcritérios	Taxas de compensação			
	Critérios		Subcritérios	
	Brutas	Normalizadas	Brutas	Normalizadas
1. Uso da Terra	100	0,282		
1.1 Razão entre a área cultivada e a área do estabelecimento			100	0,417
1.2 Distribuição de cultivos e criações na paisagem			70	0,292
1.3 Distância da lavoura até córregos ou nascentes			60	0,250
1.4 Acesso à água para dessedentação animal			10	0,042
Soma			240	1,000
2. Características do Ambiente e do Solo	65	0,183		
2.1 Grau de declividade do terreno cultivado			100	0,455
2.2 Potencial de erodibilidade do solo cultivado			70	0,318
2.3 Profundidade média do solo cultivado			30	0,136
2.4 Textura do solo cultivado			20	0,091
Soma			220	1,000
3. Práticas Conservacionistas	90	0,254		
3.1 Preparo do solo			100	0,417
3.2 Cobertura do solo por resíduos			80	0,333
3.3 Barreiras físicas de contenção da água da chuva			60	0,250
Soma			240	1,000
4. Fertilizantes Minerais	15	0,042		
4.1 Dose de fertilizante aplicada			100	0,625
4.2 Técnica utilizada para aplicar fertilizante			50	0,313
4.3 Condições climáticas para aplicar fertilizante mineral			10	0,063
Soma			160	1,000
5. Dejetos Animais	30	0,084		
5.1 Volume de dejetos utilizado por ano agrícola			100	0,476
5.2 Técnica utilizada para aplicar dejetos			70	0,333
5.3 Condições climáticas para aplicar dejetos			30	0,143
5.4 Sistema de armazenamento do dejetos			10	0,048
Soma			210	1,000
6. Agrotóxicos	50	0,141		
6.1 Volume de agrotóxico utilizado por ano agrícola			100	0,556
6.2 Adoção de recomendações oficiais			50	0,278
6.3 Condições climáticas para aplicar agrotóxico			30	0,167
Soma			180	1,000
7. Descartes	05	0,014		
7.1 Descarte de embalagens de agrotóxicos			100	0,513
7.2 Descarte de animais mortos			70	0,359
7.3 Descarte de produtos de logística reversa			15	0,077
7.4 Resíduos agrossilvopastoris não perigosos			10	0,051
Soma			195	1,000

Fonte: Elaborado pelo autor com base na pesquisa de campo (2019).

Uma vez definida as taxas de compensação, por meio da avaliação local é possível constatar, por meio do modelo elaborado, que os sistemas de produção agrícola possuem o uso da terra, as características do ambiente e o manejo do solo,

como os fatores de maior interferência nos ecossistemas aquáticos. O resultado da ordenação dos critérios demonstra que esses fatores representam mais de 70% do peso atribuído às pressões exercidas pela agricultura sobre os recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé (Tabela 31).

Tabela 31 – Ordenação dos critérios, taxas de compensação bruta e normalizada

Critérios (PVFs)	Ordem	Taxa de compensação	
		Bruta	Normalizada
PVF 1. Uso da terra	1º	100	0,282
PVF 3. Práticas conservacionistas	2º	90	0,254
PVF 2. Características do ambiente e do solo	3º	65	0,183
PVF 6. Agrotóxicos	4º	50	0,141
PVF 5. Dejetos animais	5º	30	0,084
PVF 4. Fertilizantes minerais	6º	15	0,042
PVF 7. Descartes	7º	05	0,014

Fonte: Elaborado pelo autor com base na pesquisa de campo (2019).

A transformação de biomas naturais em agroecossistemas inexoravelmente tem provocado alterações nos ciclos biogeoquímicos naturais. Entre eles, o ciclo da água é completamente modificado. Tanto a qualidade quanto o fluxo de água na atmosfera-solo-vegetação são menos favoráveis para a biota (inclusive às plantas), enquanto favorece sua rápida transferência para os oceanos. Alterar o uso natural da terra (floresta, cerrado, campo nativo, caatinga, etc.) para áreas de produção agrícola (reflorestamento, pastagem e especialmente cultivos anuais) provoca gigantesca pressão nos ecossistemas aquáticos. O uso da terra, em particular, a razão entre as áreas de lavoura e vegetação natural, e o arranjo destas lavouras na vegetação natural constituem ponto de partida para modificar as características dos recursos hídricos.

Quando o homem passou do modo de subsistência coletor/caçador para agricultor, há aproximadamente 12 mil anos, mesmo sem ter acesso a ferramentas avançadas e insumos industriais, ele já causava forte pressão ambiental ao alterar as características naturais dos ecossistemas por conta do uso inadequado da terra. Por exemplo, a ocupação humana da Austrália há cerca de três mil anos transformou completamente a vegetação e foi responsável pela extinção de todos os mamíferos de grande porte daquele ambiente (HARARI, 2011).

A revolução industrial disponibilizou máquinas, agroquímicos e outros meios de produção que permitiu cultivar áreas até então “indisponíveis” para a agricultura. O aperfeiçoamento das técnicas de produção e a disponibilidade de insumos agrícolas possibilitou que os sistemas de produção agrícola se intensificassem no espaço e no tempo de produção. Essas alterações no *modus operandi* da agricultura têm contribuído para acentuar as alterações dos ecossistemas e, conseqüentemente, para ampliar os efeitos nocivos sobre o meio ambiente.

6.2.3 Perfil das pressões dos critérios nos níveis máximos e mínimos

As funções de valor nos níveis máximo e mínimo do modelo, apresentadas mais adiante, na Figura 73, foram obtidas por meio da agregação aditiva. A equação de agregação, também chamada de soma ponderada, permite avaliar as alternativas intracritério, e assim, representar o problema por meio de uma matriz de consequência para cada um dos critérios (Quadro 11).

Crítérios	Agregação Aditiva $V_{(i)} = W_i.g_1(a) + W_i.g_2(a) + W_i.g_3(a) + \dots + W_n.g_n(a)$	Pontuação
1. Uso da terra		
Máximo	$[0,29*150] + [0,42*100] + [0,25*150] + [0,04*125]$	128
Mínimo	$[0,29*(-100)] + [0,42*(-150)] + [0,25*(-100)] + [0,04*(-125)]$	-122
3. Características do ambiente e do solo		
Máximo	$[133,3*0,45] + [100*0,32] + [100*0,14] + [100*0,09]$	115
Mínimo	$[0,45*(-200)] + [0,32*(-150)] + [0,14*(-66,7)] + [0,09*(-100)]$	-157
2. Práticas conservacionistas		
Máximo	$[0,42*150] + [0,33*133,3] + [0,25*100]$	132
Mínimo	$[0,42*(-100)] + [0,33*(-200)] + [0,25*(-100)]$	-133
4. Fertilizantes minerais		
Máximo	$[0,63*100] + [0,31*100] + [0,06*100]$	100
Mínimo	$[0,63*(-150)] + [0,31*(-66,7)] + [0,06*(-100)]$	-121
5. Dejetos animais		
Máximo	$[0,48*122] + [0,33*100] + [0,14*100] + [0,05*140]$	112
Mínimo	$[0,48*(-100)] + [0,33*(-100)] + [0,14*(-100)] + [0,05*(-60)]$	-98
6. Agrotóxicos		
Máximo	$[0,56*250] + [0,28*142,9] + [0,17*100]$	195
Mínimo	$[0,56*(-250)] + [0,28*(-142,9)] + [0,17*(-100)]$	-195
7. Descartes		
Máximo	$[0,51*125] + [0,36*111,1] + [0,08*116,7] + [0,05*106,7]$	118
Mínimo	$[0,51*(-125)] + [0,36*(-111,1)] + [0,08*(-50)] + [0,05*(-26,7)]$	-109

Quadro 11 – Agregação aditiva para os níveis mínimos de máximos do modelo

Fonte: Elaborado pelo autor com base na pesquisa de campo (2019).

Nota: $V_{(i)}$ = função de valor intracritério; $g_1(a)$, $g_2(a)$, ... $g_n(a)$ = valor parcial da alternativa a nos critérios 1, 2, ..., n -ésimo; w_1 , w_2 , ..., w_i = taxas de compensação dos critérios 1, 2, ..., i -ésimo; n = número de alternativas do modelo.

A curva dos níveis máximos destaca a pontuação registrada para o critério *Agrotóxico* (-195 a 195, conforme demonstrado na Figura 73). Neste caso, o modelo avalia que não utilizar agrotóxico ou, em caso de uso de acordo com as recomendações oficiais, diminuiria significativamente a pressão causada nos recursos hídricos. Por outro lado, a pontuação mínima remetida ao uso de agrotóxico indica que o volume utilizado é o aspecto mais relevante para a contaminação da água, de acordo com o modelo.

Ainda sobre os níveis mínimos, os critérios *Características do ambiente e do solo* e *Práticas conservacionistas* se destacam porque os níveis “bom” e “neutro” dos seus respectivos subcritérios: *Grau de declividade do terreno cultivado* e *Cobertura do solo por resíduos* foram situados perto um do outro, além de estarem localizados próximos aos melhores níveis da escala do descritor. Isso porque houve expressiva advertência atribuída ao uso do solo em desacordo com sua aptidão agrícola e a ausência de práticas conservacionistas, o que em certa medida, são aspectos primordiais para direcionar ações que visam minimizar as consequências dos sistemas de produção sobre os ecossistemas aquáticos.

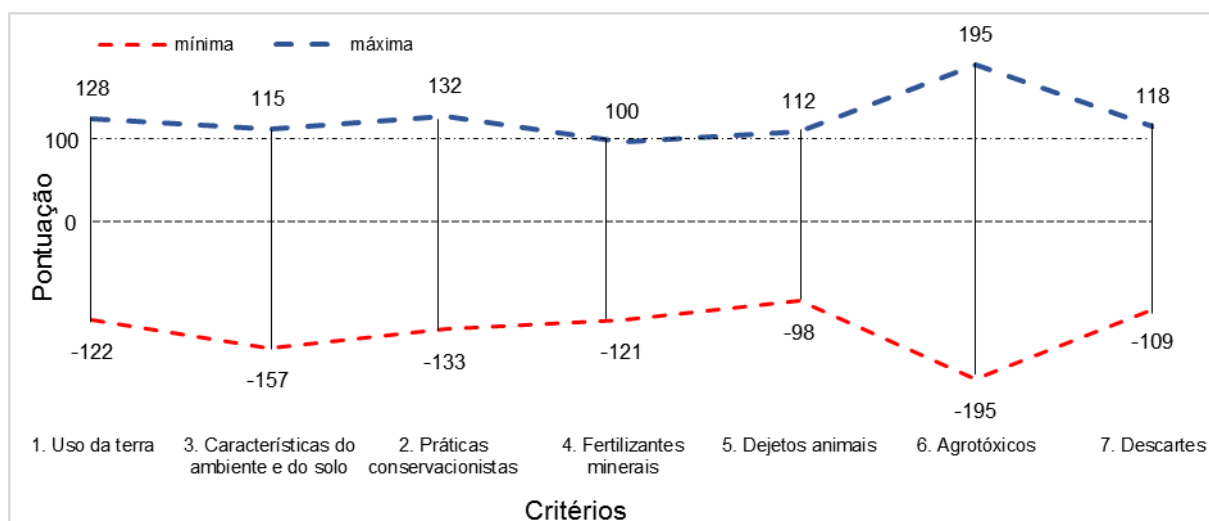


Figura 73 – Representação gráfica do perfil de impacto dos critérios nos níveis máximos e mínimos
Fonte: Elaborado pelo autor com base na pesquisa de campo (2019).

A avaliação intercritério consiste em combinar os diferentes critérios em uma análise global. Para esta etapa de transformar as unidades de atratividade local (medida de cada critério ou subcritério) em unidades de atratividade global, o valor

modelo – $G(.)$ – é calculado mediante a soma dos coeficientes ponderados. O valor é obtido para o i -ésimo critério na k -ésima alternativa, conforme a equação:

$$G(.) = \sum_{i=1}^n w_i g_i(.)$$

ou então:

$$G(a) = (0,282 * g_1) + (0,254 * g_2) + (0,183 * g_3) + (0,141 * g_4) + (0,084 * g_5) + (0,042 * g_6) + (0,014 * g_7)$$

Uma vez estabelecido como avaliar localmente as alternativas – por meio da composição dos critérios – e definido como agregar estes dados locais em única dimensão global – pelas taxas de compensação, o modelo multicritério está concluído. A próxima etapa é utilizada para avaliar a performance dos sistemas de produção em nível local e em nível global. A primeira, a avaliação local, consiste em identificar o desempenho individualmente dos sistemas de produção em cada um dos critérios do modelo construído. O objetivo é distinguir os pontos fracos e fortes em cada eixo de avaliação. Por sua vez, o escore obtido pela análise global permite comparar o desempenho dos sistemas de produção agrícola em relação às pressões exercidas sobre os recursos hídricos, em que, o melhor resultado consiste na seleção da alternativa que tenha o máximo valor global.

6.3 Operacionalizando o modelo de avaliação

De posse do modelo multicritério de avaliação, é possível testá-lo ao analisar a performance das distintas pressões que os sistemas de produção agrícolas exercem sobre os ecossistemas aquáticos da BH do Guaporé. Para avaliar os quatro sistemas de produção predominantes na região, foram aplicados questionários aos gestores de 14 estabelecimentos agrícolas e fez-se observação passiva *in loco* (ver procedimentos metodológicos, p. 92). Antes de apresentar o resultado obtido com a avaliação do modelo, apresenta-se uma simplificada caracterização destes estabelecimentos agrícolas para contextualizar os ambientes avaliados (Quadro 12).

Sistemas de produção agrícola/ Estabelecimentos		Unidade de trabalho na agricultura*	Área cultivada	Principais características dos cultivos e criações
Grãos de sequeiro (soja)	A	3	25	Cultiva soja e milho para silagem em 23 dos 48ha. Na última safra colheu média de 65 sacos de soja/ha. No período de outono/inverno, semeia aveia na área. Possui também gado de leite: ao todo são 40 animais no sistema de confinamento, especialmente na primavera/verão. Tira aproximadamente 350 litros de leite/dia. A renda é proporcional entre o cultivo e a criação; além disso, há no estabelecimento um membro da família aposentado.
	B	3	30	Cultiva soja e milho (este último para consumo intermediário e silagem) em 30ha. Na última safra colheu média de 58 sacos de soja/ha. No período de outono/inverno cultiva aveia e trigo. Possui 10 vacas de leite, das quais tira em média 80 litros de leite/dia. A renda agrícola é proporcionalmente dividida entre a lavoura e o leite. Além disso, há no estabelecimento um membro da família que está aposentado.
	C	1,2	67	Cultiva soja e milho (85% da área com soja). Na última safra colheu média de 68 sacos de soja/ha. No outono/inverno cultiva trigo e aveia. Possui uma pocilga com 350 matrizes de suínos que está alugada para terceiros. A renda da locação representa 20% do total da renda agrícola do estabelecimento; além disso, possuem renda não agrícola oriunda da atividade da esposa, que é professora na rede pública municipal.
	D	2,5	82	Cultiva soja e milho na seguinte proporção: 70 e 12ha, respectivamente. A propriedade possui aproximadamente 30% de área com florestas; portanto, a família arrenda 35ha para complementar a área de cultivo. No outono/inverno as lavouras são ocupadas com aveia e azevém. Possui 12 vacas leiteiras, que produzem aproximadamente 85 litros de leite/dia. As lavouras representam 80% da renda agrícola. Além disso, a família possui ingressos não agrícolas provenientes da atividade da esposa, que é professora na rede pública municipal, e também da atividade de vendas que exerce um dos filhos do casal.
Lavouras convencionais (tabaco)	E	3	12	Cultiva tabaco em 2ha, sendo que na última safra colheu em média 2.600 kg de tabaco/ha. Anualmente planta 2ha de milho para silagem, destinada à alimentação de três vacas e dos animais utilizados para a tração. O leite é para o autoconsumo e esporadicamente é transformado em queijos para a comercialização. No outono/inverno a área é ocupada com aveia e azevém. Além disso, na última safra a família arrendou 8ha para terceiros para plantio de soja.
	F	2	5,6	Cultiva tabaco em 2ha, sendo que colheu média de 2.400 kg/ha na última safra (equivale a aproximadamente 95% da renda agrícola familiar). No outono/inverno a área cultivada com tabaco permanece em pousio. Também possuem 3,6ha reflorestados com eucalipto. Um dos membros é aposentado; portanto, a família possui o ingresso de um salário mínimo além da renda agrícola.
	G	3,5	15,8	Cultiva tabaco em 4ha (2.550 kg/ha de rendimento na última safra); cultiva erva-mate em outros 4ha (colheu 13.125 kg/ha no último ano) e 7ha reflorestados com eucalipto. No outono/inverno semeia aveia na área cultivada com tabaco. Também cria aves (aproximadamente 85 mil frangos/ano). A renda agrícola se divide na seguinte proporção: tabaco, 60%; frangos, 25%; erva-mate, 15% e os outros 5% provêm do cultivo de eucaliptos. Possui ingressos não agrícolas derivados de duas aposentadorias rurais e de atividade realizada pelo participante da pesquisa.

Sistemas de produção agrícola/ Estabelecimentos		Unidade de trabalho na agricultura*	Área cultivada	Principais características dos cultivos e criações
Explorações perenes (erva-mate)	H	3,5	15	Possui 8ha com erva-mate (colheu 15.000 kg/ha no último ano). Cultiva 7ha de soja, que rendeu 50 sacos/ha na última safra, e ainda possui criação integrada de suínos, com 450 animais no sistema de terminação (ciclo de 120 dias). Parte do dejetos aplica na propriedade e o excedente doa para os vizinhos. A renda da erva-mate representa 60% da renda agrícola, o cultivo de soja, 30% e a criação de suínos, os outros 30%. Além disso, a família possui ingressos não agrícolas provenientes de duas aposentadorias (uma delas rural) e também de atividades não agrícolas realizadas por um dos jovens que habita o estabelecimento.
	I	2	35	Tem como atividade principal o cultivo de erva-mate. São 20ha que renderam aproximadamente 15.000kg/ha de produto no último ano. O cultivo de erva-mate representa 90% da renda agrícola. Os outros 10% são derivados de 15ha ocupados com eucalipto. A família possui duas aposentadorias rurais como ingresso não agrícola, além dos ingressos de uma filha e do genro que trabalham fora do estabelecimento.
	J	1	9	Mora sozinho e cultiva erva-mate. São 9ha cultivados, dos quais produziu aproximadamente 6 mil kg/ha do produto no último ano (uma parte do cultivo não se encontra em produção plena). O agricultor é aposentado.
	L	4	12	Possui 11ha de erva-mate e um hectare de laranja. Colheu aproximadamente 13.650kg/ha de erva-mate no último ano, o que representa aproximadamente 98% da renda agrícola familiar. A família possui o equivalente a uma aposentadoria rural como ingresso não agrícola.
Criações animais (suínos e bovinos de leite)	M	1,2	4	Cultiva 4 ha de milho na primavera/verão; no outono/inverno esta área é ocupada com aveia e azevém. Como atividade principal, tem a criação integrada de suínos: são 1.300 animais por lote no sistema de terminação. Cada lote permanece 120 dias no estabelecimento agrícola. Produz elevado volume de dejetos, que distribui na área cultivada e oferta gratuitamente para os vizinhos o excedente.
	N	3,5	20	As atividades principais são a produção de leite e a criação de suínos. Possuem 21 vacas em lactação e produzem aproximadamente 400 litros/dia. A criação de suínos é integrada no sistema de terminação. Atualmente possuem 1.000 animais. O elevado volume de dejetos é distribuído nos 16 hectares cultivados com milho para silagem (destinado à alimentação das vacas) e nos outros 4ha com pastagem perene. No outono/inverno semeiam azevém na área de milho. A produção de leite representa 70% da renda agrícola, enquanto a criação de suínos representa os 30% restantes. A família possui duas aposentadorias como ingressos não agrícolas.
	O	2,5	1	Possui como atividades principais a produção de leite e a criação integrada de suínos. Ao todo são 850 animais no sistema de terminação. A atividade leiteira conta com 20 animais, que produzem em média 300 litros/dia. A produção de leite representa 60% da renda agrícola, enquanto a criação de suínos representa os 40% restantes. Como ingresso não agrícola, registra-se a prestação de serviço fora do estabelecimento que o entrevistado exerce esporadicamente.

Quadro 12 – Características dos estabelecimentos agrícolas em que foram aplicados os questionários para validar o modelo multicritério

Fonte: Elaborado pelo autor com base na pesquisa de campo (2019).

Nota: (*) A unidade de trabalho foi definida por uma escala de 0 a 10, atribuída pelo respondente, referente ao tempo proporcional que cada membro da família exerce nas atividades agrícolas.

Faz-se necessário salientar que, embora os sistemas de produção sejam distintos, é possível identificar produção agrícola destinada ao consumo intermediário e autoconsumo das famílias em todos os estabelecimentos visitados. O principal produto utilizado para o consumo intermediário é o milho para silagem. Além do milho, destaca-se o cultivo de mandioca, batata-doce, abóbora e olerícolas – produtos essenciais para o manutenção dos animais e para a dieta alimentar da família.

Em apenas um dos estabelecimentos não se constatou a presença de animais com a finalidade de gerar ou servir de alimento para a família (estabelecimento enquadrado em lavouras convencionais – tabaco). Nos demais foi possível identificar no mínimo um chiqueiro³⁹ para a criação de suínos. Em boa parte dos estabelecimentos, o leite e o queijo se fazem presentes. Em algumas das famílias que participaram da pesquisa os agricultores comercializam esporadicamente queijo e salame, como fonte de renda adicional. Ainda com relação ao autoconsumo, foi possível identificar a presença de pomares com frutas nos arredores das benfeitorias, principalmente de citros, caquizeiros e videiras.

6.3.1 Avaliação global e perfil dos critérios e subcritérios

Com base no modelo multicritério, verifica-se que o sistema de explorações perenes, neste caso representado pelo cultivo da erva-mate, é o que possui menor interferência negativa para manutenção das características naturais dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé (Figura 74). Neste sistema observa-se que o maior conflito existente reside no critério *Razão entre a área cultivada e a área do estabelecimento*. Significa dizer que parte considerável da área cultivada com erva-mate se encontra em Área de Preservação Permanente. Mais que isso, o cultivo de erva-mate se confunde com as áreas de florestas naturais; assim, existem cultivos imbricados nas florestas que aos poucos estão convertendo a floresta em áreas de produção de erva-mate.

³⁹ Deve se estabelecer a diferença entre chiqueiro e pocilga, reservando-se ao primeiro um sistema de criação mais rudimentar voltado ao consumo da família, enquanto o segundo caracteriza-se por dispor de instalações para criação de suínos integrado ao complexo agroindustrial.

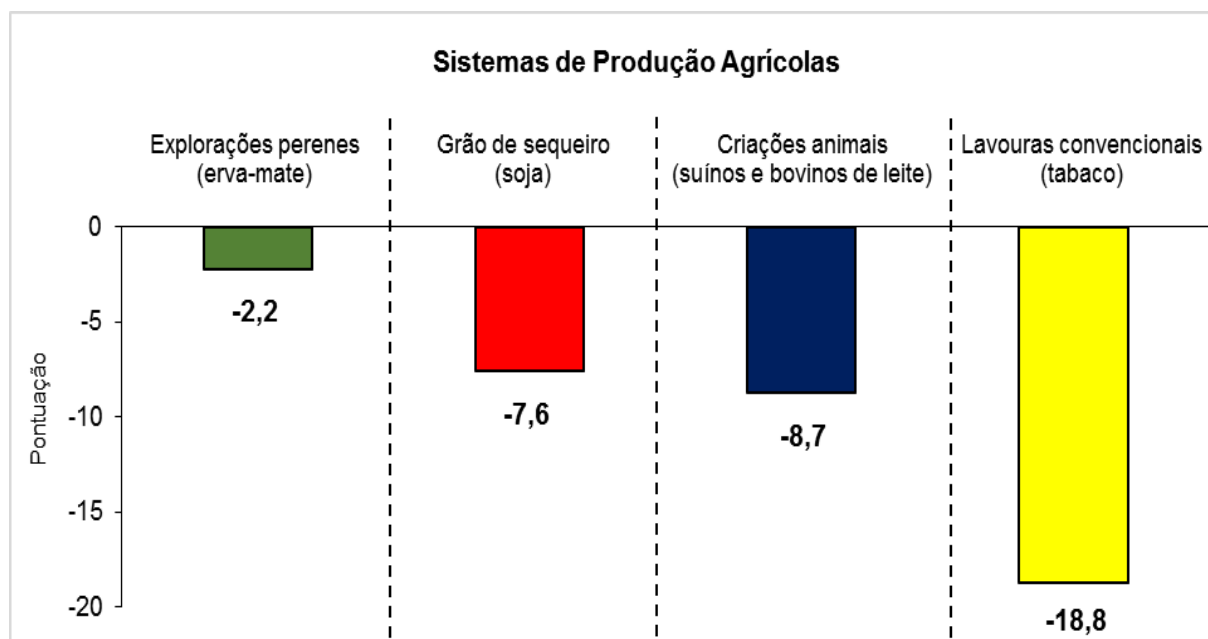


Figura 74 – Avaliação global dos sistemas de produção de grãos de sequeiro, lavouras convencionais, explorações perenes e criações animais

Fonte: Elaborado pelo autor com base nas informações dos agricultores (2019).

Com base na avaliação local dos critérios (Figura 75) e dos subcritérios (Figura 76), é possível traçar o perfil dos impactos e verificar as condições nocivas e profícuas de cada um dos sistemas de produção avaliados na Figura 74. Por suposto, o ambiente onde predomina o cultivo de erva-mate é frágil, os solos são rasos e o terreno é acidentado. Como quase não há revolvimento do solo e, na maioria dos casos, as áreas permanecem cobertas a maior parte do ano, a fragilidade que o ambiente apresenta é moderada em comparação a de outros sistemas de produção analisados. Diante disso, cabe um breve esclarecimento: uma vez implantado o sistema de exploração perene, o subcritério *Preparo do solo* geralmente não contempla esta ação; neste caso considera-se a mesma pontuação do sistema plantio direto, exceto quando há revolvimento do solo para cultivos anuais consorciados com a erva-mate.

O uso de agrotóxico denota pressão relativamente baixa na cultura da erva-mate por conta de serem usadas de uma a duas aplicações de herbicidas (glifosato) por ano. Ressalta-se que historicamente a limpeza das entrelinhas dos ervais era desenvolvida a base de roçadas e que atualmente esse sistema tem sido substituído pelo uso de herbicidas. Embora o peso do subcritério *Descarte de embalagens de agrotóxicos* seja muito pequeno, destaca-se que no sistema de produção de erva-

mate as embalagens não são recolhidas pelas empresas processadoras de erva-mate. Diferentemente dos cultivos anuais, como é o caso do cultivo de tabaco e no sistema de criação animal, em que as integradoras recolhem as embalagens de agrotóxico ou embalagens de produtos de uso veterinário, no cultivo de erva-mate esta incumbência é da prefeitura municipal, conforme relataram os produtores rurais.

A avaliação global dos sistemas de produção agrícola indica que a pontuação atribuída ao sistema de lavouras convencionais (tabaco) manifesta as piores condições para os recursos hídricos da BH (Figura 74). Os severos conflitos ambientais do sistema de cultivo de tabaco podem ser explicados principalmente pela pressão de três critérios (Figura 75). O primeiro deles é o uso de fertilizantes minerais. Os resultados vão ao encontro dos estudos de Kaiser et al. (2015; 2017) e Bender et al. (2018), ao identificar doses aplicadas superiores às necessitadas pela cultura. Além disso, a técnica utilizada para aplicar o fertilizante mineral é equivocada, pois usualmente ele tem sido aplicado superficialmente no sulco. Esta condição é agravada pelo fato de a adubação e o transplante das mudas de tabaco acontecer nos meses de setembro e outubro, época em que são registradas as mais significativas precipitações pluviométricas da região (ver RAMON, 2017).

O segundo critério que contribui negativamente para a avaliação do cultivo do tabaco é o emprego de *Práticas conservacionistas*. Os agricultores se dividem entre os que preparam a lavoura no sistema de cultivo mínimo e os que a preparam no sistema de cultivo convencional. Este último contribui para ampliar os conflitos ambientais, uma vez que os solos são arados e permanecem boa parte do ano descobertos. O terceiro critério, *Características do ambiente e do solo* foi o que mais contribuiu negativamente para a avaliação do sistema de cultivo de tabaco. Os solos cultivados com tabaco em geral são frágeis, rasos, de textura média e o ambiente é de encostas, geralmente com declividade acima dos 16 graus. Estas características indicam baixa capacidade de armazenamento de água e elevada suscetibilidade do solo à erosão.

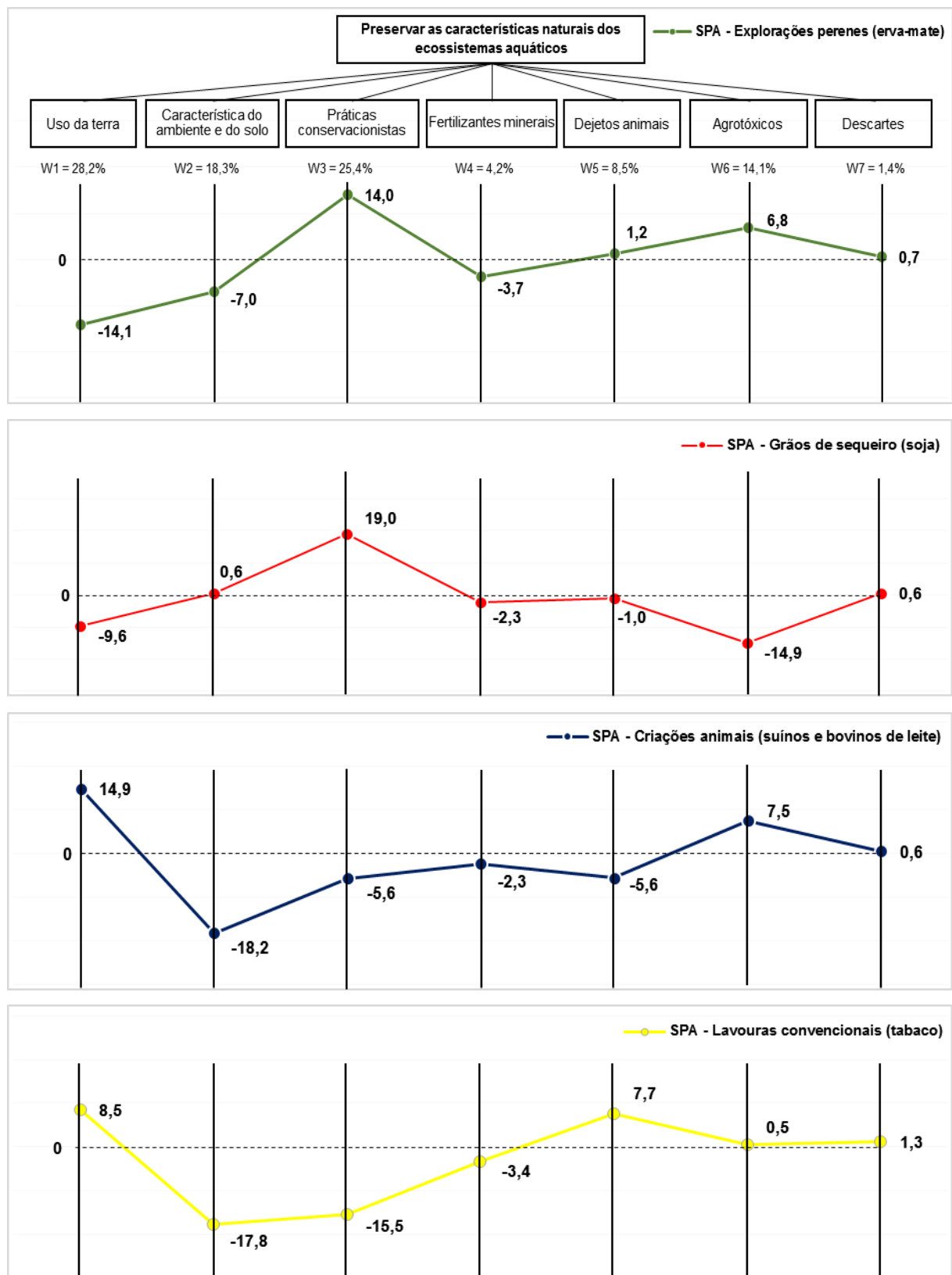


Figura 75 – Nível de pressão em cada critério para os sistemas de produção grãos de sequeiro, lavouras convencionais, explorações perenes e criações animais
 Fonte: Elaborado pelo autor com base nas informações dos agricultores (2019).

Como ponto positivo do sistema de cultivo de tabaco, destaca-se a não utilização em excesso de dejetos animais. Quando usado, é em doses baixas e por conta do revolvimento constante do solo, o dejetos em si não se traduz em problema ambiental neste sistema de cultivo. Embora o cultivo de tabaco seja rotulado por consumir elevadas doses de agrotóxicos, observa-se um consumo menos acentuado em relação aos cultivos de grãos, por exemplo. São utilizados em sua maior parte herbicidas para o controle de ervas indesejadas e antibrotantes, que atuam inibindo o crescimento de botões axiais. Entre os herbicidas, ocasionalmente se inclui o 2,4-D, que é extremamente tóxico.

A performance do sistema de produção grãos de sequeiro, representado pelo cultivo de soja, apresenta valores intermediários entre os cultivos de erva-mate e tabaco. Este sistema de produção de grãos é caracterizado por dois pontos fracos: o *Uso da terra e Agrotóxicos*. A avaliação dos subcritérios *Razão entre a área cultivada e a área total do estabelecimento* e *Distância da lavoura até os córregos* revela que quase não resta área com florestas naturais na região com predomínio de cultivos de grãos de sequeiro. O relevo suavemente ondulado, em períodos de valorização da soja, estimula a ocupação de toda a área do estabelecimento, inclusive as APPs ao longo dos cursos de água. A maior parte dos estabelecimentos não cumpre o que determina a Lei nº 12.651 de 2012 (BRASIL, 2012) no que se refere à manutenção de 20% da área do estabelecimento coberta por vegetação nativa, tampouco no que diz respeito à manutenção de vegetação nas faixas marginais dos cursos naturais de água.

O segundo ponto está relacionado ao uso de agrotóxicos. Neste levantamento foi possível confirmar a constatação de Castro Lima et al. (2020) sobre o uso de agrotóxicos nas áreas cultivadas com soja (herbicidas, incluindo o 2,4-D para plantas resistentes ao glifosato, além de fungicidas e inseticidas). Estas áreas de soja chegam a comportar dez aplicações de agrotóxicos em um ciclo de cultivo. Em regra, inicialmente aplica-se o 2,4-D antes da semeadura; depois da semeadura (entre 30 e 50 dias) é feita uma segunda aplicação para o controle de plantas indesejáveis, desta vez com glifosato. Durante o ciclo da soja, são realizadas entre três e quatro aplicações de fungicidas, além de três ou quatro aplicações de inseticidas. São utilizadas doses elevadas: nem sempre os agricultores seguem as recomendações oficiais de dosagem e as orientações sobre proteção ao meio ambiente.

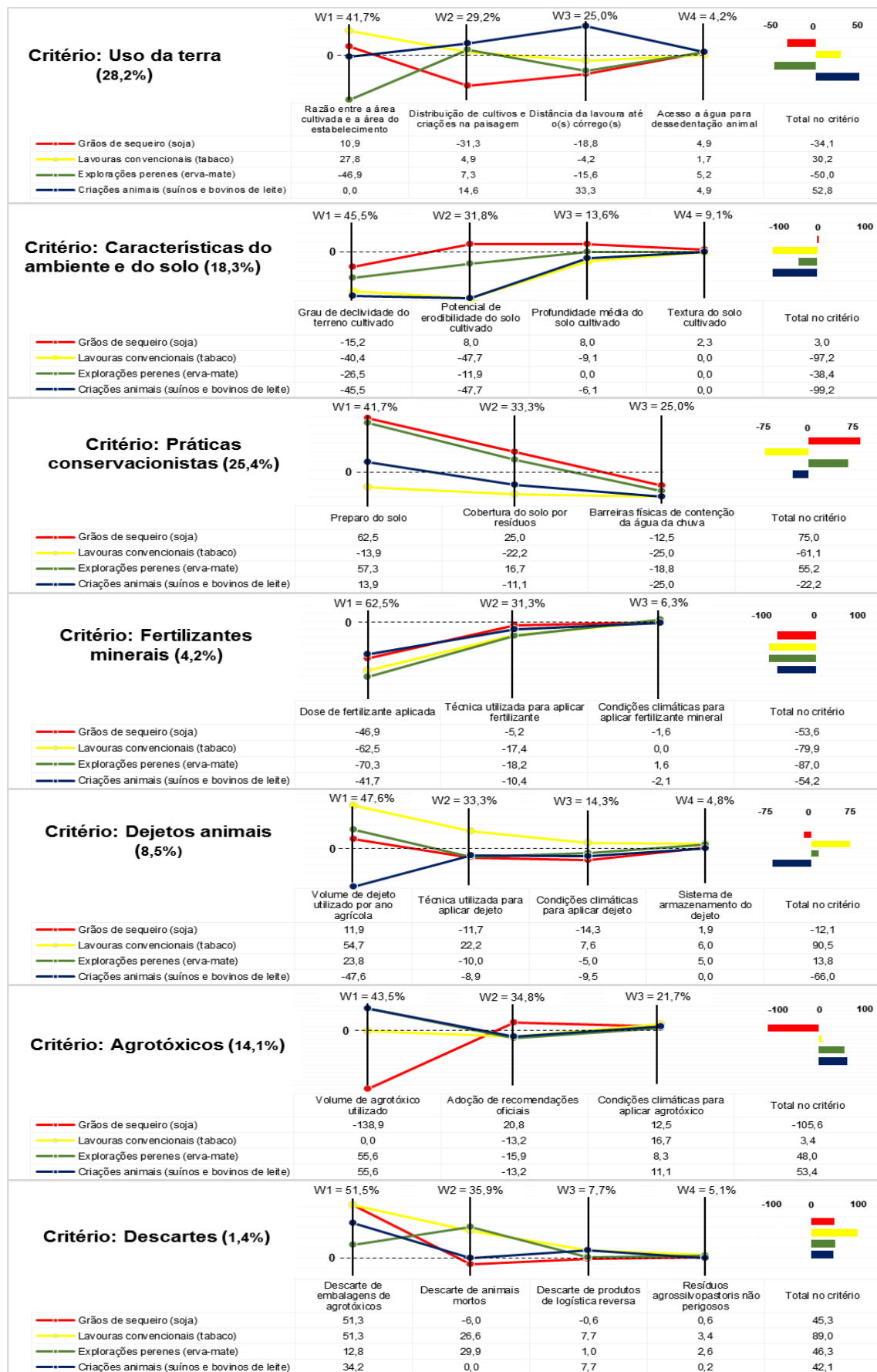


Figura 76 – Avaliação parcial dos sistemas de produção de grãos de sequeiro, lavouras convencionais, explorações perenes e criações animais
 Fonte: Elaborado pelo autor com base nas informações dos agricultores (2019).

Com relação aos aspectos positivos do sistema de produção de grãos de sequeiro, destacam-se as características do solo e do ambiente. Pode-se dizer que os agricultores são privilegiados por disfrutar de solos profundos, bem estruturados e com alta capacidade de infiltração. Também se salienta o desempenho positivo do sistema de produção mediante a avaliação do critério *Práticas conservacionistas*, por conta do sistema plantio direto implementado há cerca de 20 anos pela maioria dos agricultores. Desta forma, o solo permanece coberto o ano todo. Com relação às barreiras de contenção de água da chuva, algumas lavouras são cultivadas em nível e raras possuem terraços. Este é um ponto em que o sistema de produção pode avançar sem a necessidade de mobilizar muitos recursos.

O desempenho dos sistemas de criação de suínos e de bovinos de leite reflete as características desfavoráveis do ambiente e do solo em que se encontram a maior parte dos sistemas de criação animal da BH do Rio Guaporé. Os solos são frágeis e estão localizados em relevo extremamente acidentado. Geralmente o sistema de criação é acompanhado de lavouras com milho, onde são distribuídos os dejetos oriundos da criação animal. Essas lavouras predominantemente são preparadas pelo sistema plantio direto, em que o não revolvimento dos solos frágeis, favorece a infiltração da água e “regula” os fluxos das lavouras para os cursos de água. Entretanto, o uso contínuo de dejetos sobre uma mesma área, sem que eventualmente sejam incorporados, pode provocar um desequilíbrio nas características físico-químicas e biológicas do solo. Elevadas concentrações de nutrientes no solo da camada superficial aumentam a propensão de transferências para os corpos hídricos (CERETTA et al., 2005; CAPOANE et al., 2014).

Embora o ambiente em que se encontram os sistemas de criação animal seja considerado ecologicamente frágil, cabe destacar que o modelo avaliou positivamente o uso da terra (Figura 76) porque a razão entre a área do estabelecimento e a área cultivada é significativamente alta, se comparada com a dos demais sistemas produtivos da região. Geralmente os sistemas de criação de suínos e de aves da BH do Rio Guaporé ocupam unidades de produção agrícola que possuem importantes reservas com áreas de florestas naturais. As áreas cultivadas são distribuídas na paisagem natural, que tem importante papel para mitigar os efeitos negativos tanto das práticas agrícolas como dos insumos utilizados (RHEINHEIMER et al., 2003). Da mesma forma, os poluentes precisam percorrer longas distâncias ocupadas por

florestas naturais que separam as lavouras das nascentes e dos córregos, o que dificulta a transferência de resíduos agrícolas das lavouras para os corpos de água.

Outro critério menos impactante do sistema de criação animal, verificado por meio do modelo, deriva do fato de ele usar um volume relativamente baixo de agrotóxicos. Geralmente são usadas uma a duas aplicações no ano para o controle de plantas indesejáveis nas áreas de lavouras que complementam o sistema produtivo dos estabelecimentos. Além disso, grande parte dos produtos utilizados é classificada, de acordo com a classe de toxicidade, como pouco ou medianamente tóxicos.

Ressalta-se que as pontuações atribuídas aos sistemas de produção no modelo multicritério são adimensionais e, portanto, não se aplica um grau físico aos escores estimados. Os valores de -2,2, -7,6, -8,7 e -18,8, embora representem satisfatoriamente o desempenho dos sistemas de produção com vistas as possíveis alterações no ciclo hidrológico, não necessariamente representam o potencial poluidor na escala de bacia hidrográfica. Por isso há a necessidade de relativizá-los. Neste caso buscaram-se dois condicionantes para testar o comportamento das pressões do modelo: superfície cultivada e o número de estabelecimentos correspondente a cada sistema de produção na BH.

O primeiro ensaio com o objetivo de relativizar as pressões dos sistemas de produção da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé pode ser efetuado usando-se a área ocupada pelos diferentes sistemas de cultivo no interior da BH. Os cultivos de soja, de erva-mate⁴⁰ e de tabaco representam 29,8%, 3,5% e 1,4%, respectivamente, da área da BH. Multiplicando-se os escores associados a cada sistema de produção pela área ocupada, fica evidente que o cultivo de grãos de sequeiro (soja) é o mais impactante nos recursos hídricos (-2,3) em comparação aos outros sistemas avaliados. Os cultivos de erva-mate e tabaco têm impactos muito mais baixos que o cultivo de grãos (-0,1 e -0,3, respectivamente).

O mesmo procedimento pode ser utilizado para dimensionar o escore dos sistemas de produção e criação em relação ao número de estabelecimentos da BH. Os cultivos de soja, erva-mate, tabaco e criação de suínos e bovinos⁴¹ estão presentes em 41,8%, 23,6%, 10,3% e 44,9%, respectivamente, dos estabelecimentos, de tal maneira que o escore dimensionado é -3,2; -0,5; -1,9 e -3,9. Apesar de a pressão global do sistema de cultivo de tabaco ser mais elevada entre os modelos analisados

⁴⁰ Áreas com no mínimo 500 plantas.

⁴¹ Estabelecimentos com 50 ou mais unidades animais.

(-20,0), este sistema produtivo ocupa pouca área e está presente em um número restrito de estabelecimentos, se comparado a outros sistemas da região. Por essa razão, infere-se que a pressão referente ao cultivo de tabaco é muito mais intensa localmente do que em escala regional, considerando-se a área de drenagem da BH. Em contraste, o sistema de cultivo de soja e o sistema de criação animal demonstram maior influência negativa nos recursos hídricos em nível regional, já que possuem maior presença em termos de área e estabelecimentos agrícolas na região analisada.

6.3.2 Análise de sensibilidade do modelo

A representação fornecida pelo modelo multicritério deriva de medições escalonadas na matemática, psicologia e filosofia (SAATY, 1990), por isso, inevitavelmente contém simplificações e imprecisões. Neste sentido, faz-se necessário elucidar que as representações numéricas apresentadas no modelo de avaliação compreendem faixa de valores, e não quantidades exatas (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001).

Deste modo, pequenas variações nos valores brutos das taxas de compensação atribuídas aos subcritérios, e também aos critérios, podem acabar fornecendo respostas distintas na avaliação final do modelo. A análise de sensibilidade é um exame utilizado para averiguar o comportamento das performances dos sistemas de produção mediante alterações nos valores das taxas de compensação. Usualmente consiste em promover variações nas taxas de compensação para verificar se há modificação na ordem das performances avaliadas pelo modelo. O modelo que não apresentar expressivas alterações no desempenho, em virtude das modificações nas taxas de compensação, pode ser considerado robusto em relação aos parâmetros avaliados.

A análise de sensibilidade é apresentada de forma numérica e gráfica. No primeiro caso, procedeu-se com alterações no valor original das taxas de compensação dos critérios em 10% para mais e para menos. Ao alterar a taxa de compensação de um dos critérios, no caso da abordagem de critério único de síntese, as taxas de compensação dos demais critérios também sofrem alterações, já que a

soma das taxas do modelo deve ser igual a um. Desta forma, para cada peso obtêm-se resultados para dois cenários além do original, conforme a Tabela 32.

Tabela 32 – Análise de sensibilidade do modelo à variação das taxas de compensação (com alterações em 10%) nos sistemas de produção em cada um dos critérios

Ações Potenciais	Avaliação Global Original		Avaliação Global + 10%		Avaliação Global - 10%	
Critério: Uso da terra	$W_1 = 28,2\%$		$W_1 = 31,0\%$		$W_1 = 25,4\%$	
Explorações perenes (erva-mate)	-2,2214	1º	-4,0951	1º	-0,3478	1º
Grãos de sequeiro (soja)	-7,5633	2º	-8,6045	3º	-6,5220	2º
Criação animal (suínos e bovinos de leite)	-8,6871	3º	-6,2767	2º	-11,0975	3º
Lavoura convencional (tabaco)	-18,7697	4º	-16,8490	4º	-20,6904	4º
Critério: Características do ambiente e do solo	$W_2 = 18,3\%$		$W_2 = 20,1\%$		$W_2 = 16,5\%$	
Explorações perenes (erva-mate)	-2,2214	1º	-3,0334	1º	-1,4095	1º
Grãos de sequeiro (soja)	-7,5633	2º	-7,3258	2º	-7,8007	3º
Criação animal (suínos e bovinos de leite)	-8,6871	3º	-10,7168	3º	-6,6574	2º
Lavoura convencional (tabaco)	-18,7697	4º	-20,5281	4º	-17,0113	4º
Critério: Práticas conservacionistas	$W_3 = 25,4\%$		$W_3 = 27,9\%$		$W_3 = 22,8\%$	
Explorações perenes (erva-mate)	-2,2214	1º	-0,2710	1º	-4,1719	1º
Grãos de sequeiro (soja)	-7,5633	2º	-4,7592	2º	-10,3673	3º
Criação animal (suínos e bovinos de leite)	-8,6871	3º	-9,1468	3º	-8,2275	2º
Lavoura convencional (tabaco)	-18,7697	4º	-20,2077	4º	-17,3317	4º
Critério: Agrotóxicos	$W_4 = 14,1\%$		$W_4 = 15,5\%$		$W_4 = 12,7\%$	
Explorações perenes (erva-mate)	-2,2214	1º	-1,3979	1º	-3,0450	1º
Grãos de sequeiro (soja)	-7,5633	2º	-9,1697	3º	-5,9568	2º
Criação animal (suínos e bovinos de leite)	-8,6871	3º	-7,6687	2º	-9,7056	3º
Lavoura convencional (tabaco)	-20,0366	4º	-18,4056	4º	-19,1338	4º
Critério: Dejetos animais	$W_5 = 8,5\%$		$W_5 = 9,3\%$		$W_5 = 7,6\%$	
Explorações perenes (erva-mate)	-2,2214	1º	-2,0735	1º	-2,3694	1º
Grãos de sequeiro (soja)	-7,5633	2º	-7,6055	2º	-7,5210	3º
Criação animal (suínos e bovinos de leite)	-8,6871	3º	-9,2165	3º	-8,1578	2º
Lavoura convencional (tabaco)	-18,7697	4º	-17,7606	4º	-19,7788	4º
Critério: Fertilizantes minerais	$W_6 = 4,2\%$		$W_6 = 4,6\%$		$W_6 = 3,8\%$	
Explorações perenes (erva-mate)	-2,2214	1º	-2,5954	1º	-1,8475	1º
Grãos de sequeiro (soja)	-7,5633	2º	-7,7666	2º	-7,3600	2º
Criação animal (suínos e bovinos de leite)	-8,6871	3º	-8,8878	3º	-8,4865	3º
Lavoura convencional (tabaco)	-18,7697	4º	-19,0392	4º	-18,5002	4º
Critério: Descartes	$W_7 = 1,4\%$		$W_7 = 1,5\%$		$W_7 = 1,3\%$	
Explorações perenes (erva-mate)	-2,2214	1º	-2,1522	1º	-2,2907	1º
Grãos de sequeiro (soja)	-7,5633	2º	-7,4878	2º	-7,6387	2º
Criação animal (suínos e bovinos de leite)	-8,6871	3º	-8,6146	3º	-8,7597	3º
Lavoura convencional (tabaco)	-18,7697	4º	-18,6158	4º	-18,9236	4º

Fonte: Elaborado pelo autor com base nas informações dos agricultores (2019).

Os resultados da análise de sensibilidade numérica da pontuação global diante dos dois cenários testados demonstram que houve alterações na ordem de classificação dos sistemas de produção grãos de sequeiro e criações animais nas seguintes situações: (a) quando a taxa de compensação dos critérios *Uso da terra* e *Agrotóxicos* foi acrescida de 10% em relação ao valor original, as posições destes sistemas se invertem. Neste caso, o sistema de criações animais passa a apresentar menor pressão em relação ao sistema de grão de sequeiro; (b) quando a taxa de

compensação dos critérios: *Características do ambiente e do solo*, *Práticas conservacionistas* e *Dejetos animais* sofrem redução de 10% em relação ao valor original, os mesmos sistemas invertem suas posições.

O sistema de explorações perenes (erva-mate) apresentou menores impactos nos cenários que consideraram 10% para cima nos critérios: *Práticas conservacionistas*, *Agrotóxicos* e *Descartes de resíduos agrícolas*, sendo o melhor cenário para este sistema o apresentado no primeiro destes critérios. Por outro lado, quando o modelo penaliza mais a utilização de ambientes frágeis e declivosos, a pressão do cultivo de erva-mate também aumenta, uma vez que predominantemente é praticado em ambientes com estas características.

As piores situações com relação ao sistema de produção lavouras convencionais (tabaco) ocorrem quando se penaliza o critério *Características do ambiente e do solo* ou quando se atenua o peso do critério *Uso da terra*. Embora as lavouras de tabaco estejam situadas em ambientes frágeis na BH do Rio Guaporé e as perturbações para os recursos hídricos sejam consideráveis, a proporção entre as áreas de cultivos é baixa em relação às áreas com florestas naturais contidas nos estabelecimentos agrícolas; portanto, as consequências negativas desta atividade agrícola são mais concentradas.

Entre a pior e a melhor avaliação dos sistemas, erva-mate e tabaco, o sistema de produção grãos de sequeiro (soja) apresentou menores implicações negativas nos sistemas aquáticos quando testados os cenários que penalizaram em 10% os critérios: *Características do ambiente e do solo*, *Descartes* e *Práticas conservacionistas*, sendo a melhor situação registrada quando o modelo atenuou este último critério, uma vez que o preparo e a cobertura do solo foram determinantes para o resultado obtido. De outro ponto de vista, quando o peso do critério *Práticas conservacionistas* é reduzido em 10% é observado o pior cenário para o cultivo de grão de sequeiro.

O sistema de criação de animais (suínos e bovinos de leite) apresentou menor desempenho negativo nos cenários em que o modelo penalizou os critérios *Uso da terra*, *Agrotóxicos* e *Descartes*. Por outro lado, quanto maior a penalização para o critério *Características do ambiente e do solo* e para o uso de fertilizantes (orgânicos e minerais), pior é a avaliação do sistema.

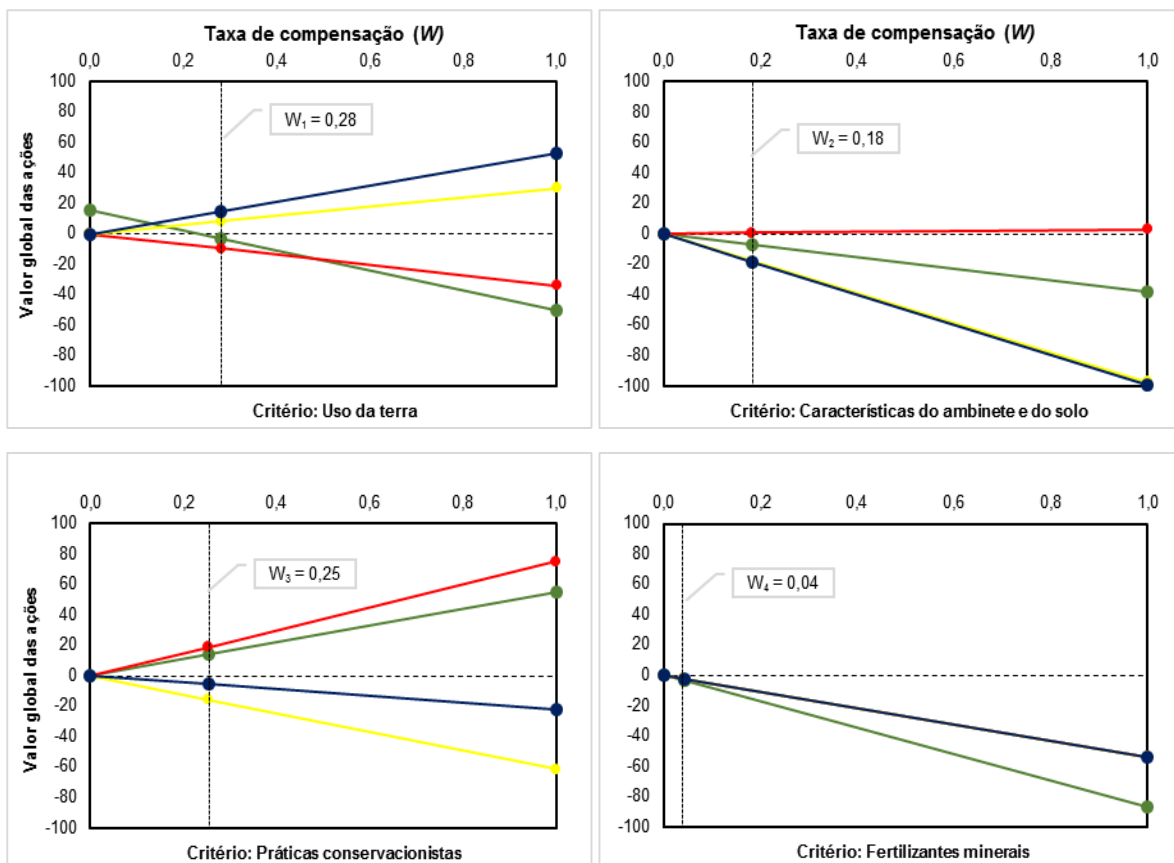
A segunda maneira de se realizar a análise de sensibilidade é na forma gráfica, através de equações de retas, apresentadas na Figura 77. Para obter as equações

das retas que representam a variação da avaliação global dos sistemas de produção em função da taxa de substituição, são necessários pelo menos dois valores que fazem parte das retas. Conhecidos estes dois pontos, é possível calcular a equação da reta que representa a avaliação global por meio da expressão matemática abaixo:

$$y = \alpha \cdot x + \beta \quad (12)$$

Onde:

- y é valor da abscissa no ponto x
- α e β são coeficiente angular e linear, respectivamente
- x é valor da ordenada



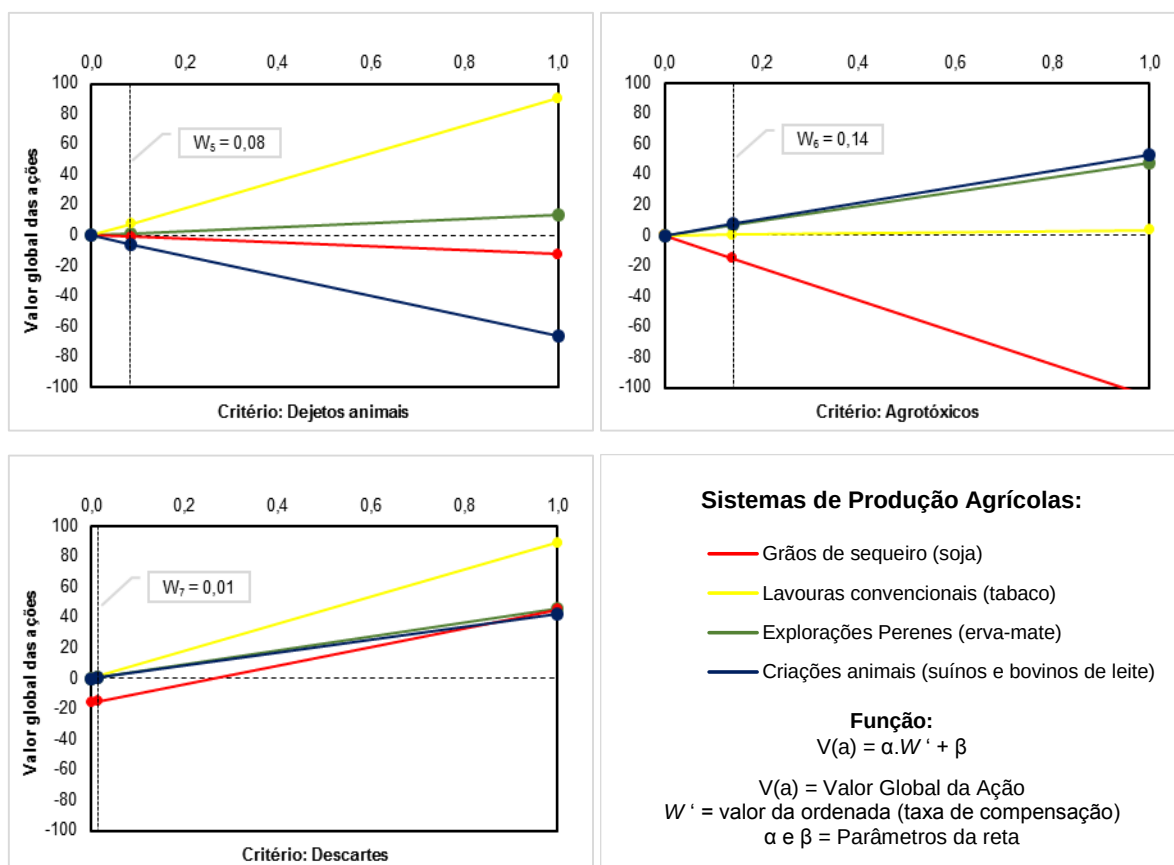


Figura 77 – Análise de sensibilidade à variação das taxas de substituição nos sistemas de produção
 Fonte: Elaborado pelo autor com base nas informações dos agricultores (2019).

A linha tracejada na vertical em cada um dos gráficos da Figura 77 representa o peso (taxa de compensação) atribuído ao critério expresso. Deslocando esta linha no sentido horizontal (aumentando ou diminuindo o peso de cada critério), é possível observar o comportamento da pressão global de cada um dos sistemas de produção analisados. Por exemplo, quanto maior for o peso atribuído ao critério *Uso da terra*, maior será a pressão avaliada na produção de grão de sequeiro (soja) e nas explorações perenes (erva-mate). Em contraste, menor a pressão avaliada para os sistemas de criações animais (suínos e bovinos de leite) e nas lavouras convencionais (tabaco). A medida que for reduzido o peso deste mesmo critério, podem ser constatadas alterações no ordenamento das pressões avaliadas entre os sistemas de produção.

Conforme se amplia o peso do critério *Características do ambiente e do solo*, observa-se que, de maneira geral, a pressão provocada pelos sistemas de produção cresce. Essa tendência não ocorre apenas para o sistema de produção grãos de sequeiro, por este ocupar a região geograficamente mais plana e com os solos mais

profundos da BH. Em relação às *Práticas conservacionistas*, à proporção que o peso deste critério for ampliado, menores serão as pressões avaliadas no sistema de produção de grãos de sequeiro e na exploração perene e piores nos outros dois sistemas de produção.

A variação do peso do critério *Fertilizantes minerais* apresenta cenário similar para três dos quatro sistemas produtivos avaliados no modelo: cultivo de tabaco, grãos de sequeiro e criações animais. Nestes casos, quanto mais rigor for atribuído a este critério, maior a repercussão negativa sobre estes sistemas de produção. Isso significa dizer que, constantemente, os sistemas utilizam técnicas e doses de fertilizantes em desacordo com a recomendação oficial da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS-RS/SC, 2016). Já o uso de fertilizantes à base de dejetos animal notoriamente penaliza com maior severidade os sistemas de criações animais, se ampliado for o peso deste critério. Em contrapartida, os sistemas de cultivos de lavoura convencionais apresentam menores pressões nos ecossistemas aquáticos, se ampliado o peso deste critério, devido à baixa adesão ao uso deste tipo de fertilizante.

A análise de sensibilidade gráfica demonstra que o critério *Agrotóxico* possui peso substancial no sistema de grão de sequeiro, este comportamento se explica devido ao potencial volume utilizado nas lavouras de soja. Finalmente, o critério *Descartes*, que possui menor importância para a avaliação global do modelo de avaliação, é o único que, quanto maior seu peso, menores são as implicações negativas nos quatro sistemas avaliados.

Cabe esclarecer que, de acordo com a perspectiva teórica que embasa o enfoque multicritério de apoio à decisão, a avaliação dos sistemas de produção não deve ser encarada como exata e definitiva. Conforme mencionado, o modelo multicritério é um modelo matemático construído com base em preferências humanas, de modo que haverá sempre expresso um grau de imprecisão. Portanto, o modelo apenas sinaliza elementos que mais satisfazem uma avaliação sobre as perturbações dos sistemas de produção frente aos ecossistemas aquáticos, quando considerados os critérios do contexto explorado. Por conseguinte, o exercício desenvolvido nesta tese é uma experiência inicial que necessita de revisões, aprimoramentos e, a partir de então, que sejam elaborados novos estudos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve o intuito de analisar as distintas pressões que os sistemas de produção agrícola familiares exercem sobre os ecossistemas aquáticos da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé (RS/Brasil). Para tanto, desenvolveu-se um modelo multidimensional como alternativa para tratar deste problema complexo e, por vezes, subjetivo. Na investigação, valeu-se de pesquisa bibliográfica e empírica, além de diferentes técnicas de coleta de dados, tais como, observações do meio, entrevistas e aplicação de questionários a agentes de desenvolvimento, especialistas em gestão de água, *experts* em monitoramento de recursos hídricos e agricultores familiares. Mesmo admitindo que os poluentes emitidos de forma constante, individualizada e em locais específicos – como o lançamento de esgotos sanitários ou de efluentes industriais – são preocupantes do ponto de vista da qualidade da água para a região, o interesse desta tese está relacionado com os fatores agropecuários e suas interfaces com o meio ambiente.

No sentido de descrever modelos de gestão dos recursos hídricos, desenvolveu-se uma pesquisa exploratória sobre o uso de metodologias multicritérios aplicadas ao entendimento das externalidades geradas pelo processo de produção agropecuária sobre a água. As investigações compiladas invariavelmente apresentaram dados sob alguma forma de hierarquização, seja para identificar potencialidades a respeito da disponibilidade e qualidade da água ou para expor vulnerabilidades em relação à demanda ou ao seu uso. Quanto à estruturação dos modelos multicritérios, os documentos se dividiram entre aqueles que identificaram e parametrizaram os critérios com ajuda de analistas ou especialistas e os que envolveram a participação de atores interessados na problemática do trabalho.

Os resultados da pesquisa exploratória indicam que as medidas de incentivos financeiros utilizadas como estratégia para encorajar os agricultores a adotar práticas

agrícolas de baixo impacto ambiental têm sido pouco efetivas. Todavia, os planos de gestão de recursos hídricos que previam medidas compensatórias (por meio de incentivos econômicos) se mostraram efetivos somente nos casos em que houve medidas “orientadas para resultados”, estipuladas em comum acordo entre agricultores, agentes de desenvolvimento e gestores públicos.

Ressalta-se que o modelo de gestão utilizado na Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé segue os pressupostos básicos do modelo vigente no Brasil, qual estabelece a bacia hidrográfica como base territorial de planejamento e propõe a participação ampliada de usuários. Esta reorganização sensível aos interesses sociais e orientada para a conservação ambiental é relativamente recente, se comparada à situação dos países europeus, como a Espanha, por exemplo. Embora o Brasil possua realidades hídricas bastante distintas regionalmente, a abundância de água parece justificar a instauração tardia de uma política basilar para a utilização das águas (Lei nº 9.433/97). Por conseguinte, a gestão dos recursos hídricos tem adquirido relevância em âmbito nacional, ao passo que melhorar a disponibilidade e a qualidade da água se transformou em condição indispensável para as demandas de desenvolvimento contemporâneas.

O Brasil se insere nos acontecimentos econômicos globais, sendo que a expansão agrícola e industrial tem provocado alterações no estado natural dos recursos hídricos. A atuação dos Comitês de BH, como ocorre na região do Rio Guaporé, não corresponde à lógica de planejamento e gestão das unidades político-administrativas, tais como os municípios, tampouco coincide a gestão da água como um bem de interesse público com a poluição emitida em seu uso privado. Em linhas gerais, a produção de efluentes domésticos e agroindustriais sem tratamento adequado, a erosão seguida de alteração da paisagem, o uso excessivo de agrotóxicos, exagerado e equivocado de fertilizantes e a criação intensiva de animais provocam alterações negativas no estado dos recursos hídricos.

A Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé, situada na região Nordeste do Rio Grande do Sul, ocupa aproximadamente 2% da área do estado e está situada no bioma Mata Atlântica (IBGE, 2017a). Para identificar os sistemas de produção e as externalidades resultantes das práticas agrícolas desenvolvidas nesta BH, fez-se uso do Método de Análise e Diagnóstico de Sistemas Agrários. Simplificadamente, sua área de abrangência pode ser dividida em duas grandes regiões agrícolas. A região Norte tem predomínio de relevo suave a moderadamente ondulado e nela os

agricultores adotaram o sistema de plantio direto, em supremacia há o cultivo de grãos de sequeiro, com destaque para a soja transgênica. Nesta região também estão presentes agricultores especializados na produção de leite, criação de suínos e aves no sistema de integração com as agroindústrias regionais.

Nos dois terços ao sul da BH as condições agroecológicas de relevo (forte ondulado a escarpado) e dos solos (rasos) limitam a inserção de cultivos de grãos. Entretanto, conforme os dados de produção agrícola disponibilizados pelo IBGE e por meio de observação direta *in loco*, foi possível identificar a inserção de soja em fragmentos de áreas nos municípios localizados nesta região, cujas características de relevo são menos favoráveis. Efetivamente, na região centro-sul o uso da terra é mais diversificado e predomina a exploração intensiva do solo sob o sistema convencional, tanto para a produção de tabaco quanto cereais para forragens, mesmo em ambientes frágeis ecologicamente. Nesta parte da BH as explorações perenes têm se difundido nos últimos anos, impulsionadas pela ampliação das áreas com cultivo de erva-mate. Ainda é possível observar sistemas integrados de avicultura, suinocultura e produção leiteira, assim como ocorre mais ao norte da BH.

A produção agrícola destinada ao autoconsumo das famílias e ao consumo intermediário está presente na paisagem da maioria dos estabelecimentos da bacia. Os cultivos de milho, mandioca, batata-doce, abóbora e olerícolas são os mais comuns. Suínos e vacas leiteiras, assim como frutíferas, especialmente laranja e bergamota, também fazem parte do que as famílias consomem. Eventualmente é utilizada mão de obra de terceiros para atender as exigências sazonais das atividades agropecuárias. De maneira geral, os sistemas de produção agrícola da região do Guaporé refletem as mesmas condições da proposta brasileira de modernizar a agricultura, as relações comerciais são unificadas aos ciclos econômicos globais e houve uma aproximação com a indústria nas esferas de produção, distribuição e consumo. O sistema agrário é consolidado por um segmento de agricultores familiares “tecnificados e capitalizados”, enquanto há outros segmentos de agricultores familiares com significativas limitações econômicas/financeiras e acesso restrito à tecnologia.

De acordo com a Teoria de Análise e Diagnóstico de Sistemas Agrários, apurou-se a existência de quatro arranjos produtivos (sistemas de produção) que caracterizam os sistemas de cultivos e criações adotados pelos agricultores. Ao considerar as características dos sistemas agrícolas de produção identificados na BH,

foram avaliadas as diferentes pressões causadas sobre os ecossistemas aquáticos. É mister salientar que, em geral, o sistema agrário vigente é responsável pela geração de carga poluente muitas vezes superior à capacidade de suporte dos ecossistemas, comprometendo, entre outros bens naturais, a disponibilidade e a qualidade da água. Estudos anteriores a este, realizados na Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé, testemunham problemas de degradação e poluição da água devido à atividade agropecuária. As características do ambiente, o uso da terra, as práticas de manejo (do solo e água) e o uso de insumos em excesso (fertilizantes e agroquímicos) são elementos de relevância para gerir as externalidades negativas da agricultura em relação aos mananciais. Portanto, foi com base nesses fatores que se planejou o modelo multidimensional para analisar os sistemas produtivos da BH do Rio Guaporé.

O modelo multicritério foi estruturado com base em sete critérios de avaliação, a saber: *Uso e ocupação da terra*, *Características do ambiente e do solo*, *Práticas conservacionistas*, *Fertilizantes minerais*, *Dejetos animais*, *Agrotóxicos* e *Descartes*. Cada critério possui de três a quatro subcritérios, somando um total de 25 subcritérios. Desta forma, a pontuação atribuída a cada um dos sistemas de produção agrícola é resultante da combinação destes 25 parâmetros analisados em 14 estabelecimentos agrícolas. O critério *Uso e ocupação da terra*, que avaliou como os cultivos ocupam o espaço geográfico e de que forma essa ocupação pode afetar os corpos de água, teve peso equivalente a quase um terço dos demais.

Os critérios e seus respectivos subcritérios foram construídos tendo em vista as problemáticas do uso e gestão dos recursos hídricos, no entanto, percebeu-se que nem todos os agricultores os avaliaram à luz da problemática em questão. Por exemplo, no momento da aplicação dos questionários aos agricultores, os subcritérios relativos às condições climáticas para aplicar dejetos, fertilizante e agrotóxico foram avaliados por eles sob a perspectiva da eficiência produtiva. O que significa supor que os agricultores estariam mais interessados em não perder o insumo por conta da precipitação pluviométrica – antes, durante ou após as aplicações – do que preocupados com as consequências desses insumos para a qualidade da água. Logo, ainda que os agricultores observem as condições climáticas para aplicação dos insumos, isso ocorre devido à preocupação com desperdícios de produto. A fala de

um dos agricultores que participou da pesquisa revela este posicionamento: “[...] estando seco para entrar o trator, está bem [...]” (informação verbal)⁴².

O resultado da análise multicritério demonstrou que o sistema de cultivo convencional de tabaco tem a pior performance entre os sistemas analisados, enquanto o cultivo de erva-mate tem causado menor pressão sobre os recursos hídricos, mesmo sendo cultivado em ambientes tão frágeis como os do tabaco. Esta condição do ambiente pesou mais negativamente para o cultivo do tabaco por conta das remoções constantes dos solos (rasos, de textura média e com características de elevado potencial de erodibilidade) situados nas encostas (geralmente com declividade acima dos 16 graus). Apesar destas condições naturais do ambiente, poucas práticas conservacionistas são adotadas para conter os impactos decorrentes das chuvas. Como agravante no cultivo do tabaco, o fertilizante é geralmente utilizado em doses superiores às demandadas pelos solos e pela cultura, além de serem aplicadas sobre a superfície do solo descoberto.

Cabe mencionar que o sistema de cultivo do tabaco possui algumas peculiaridades, como o elevado valor agregado, possibilidade de ser cultivado em pequenas áreas de encostas pedregosas, sem grandes investimentos tecnológicos em equipamentos e instalações. Boa parte do trabalho é realizada manualmente, o que possibilita a inserção de agricultores familiares menos capitalizados neste sistema. Além disso, a cadeia produtiva do tabaco é muito bem estruturada na BH, especialmente no que se refere à disponibilidade de insumos, assistência técnica para os agricultores, logística e aquisição do produto (fumo em folha).

Por sua vez, a erva-mate se tornou um sistema de produção atrativo para os agricultores da região, consolidando-a como o maior polo produtor do Brasil. Nos últimos 20 anos, muitos agricultores dos municípios da região, especialmente em Arvorezinha, Ilópolis, Itapuça e Anta Gorda passaram a cultivar erva-mate por avistar nela uma possibilidade de ganho futuro, uma vez que os investimentos são de médio e longo prazo. Apesar da avaliação negativa pelo modelo desenvolvido nesta tese, o cultivo de erva-mate tem sido uma opção interessante em termos de geração de renda e baixa demanda de mão de obra em um meio rural cada vez mais esvaziado e envelhecido. A maior adversidade ambiental avaliada neste sistema é referente à ocupação de terras, já que a erva-mate é nativa da região e os agricultores usufruem

⁴² Informação fornecida por agricultor que cultiva soja na Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé (RS), em entrevista realizada no mês de dezembro de 2019.

ao máximo esta vantagem comparativa, cultivando-a em Área de Preservação Permanente. Com pequenos ajustes na ocupação de terras, este sistema de produção pode apresentar impactos ainda menos nocivos ao ambiente.

Entre estes dois sistemas de produção, encontram-se os desempenhos dos cultivos de grãos e da criação de animais. A produção de grão de sequeiro dá-se em um ambiente ecologicamente favorável para o desenvolvimento de cultivos agrícolas, o que possibilita aos agricultores cultivarem praticamente toda a área dos estabelecimentos. Inclusive é muito comum observar o cultivo em áreas marginais ao longo dos cursos de água. Esta condição, ao lado do consumo exorbitante de agrotóxico é o que mais compromete o desempenho do sistema de produção de grãos de sequeiro (soja) no que diz respeito aos recursos hídricos. Os solos são cobertos por resíduos de cultivos que provocam efeitos positivos nas suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Entretanto, algumas lavouras são cultivadas em nível e raras possuem terraços como barreiras físicas de contenção e práticas de manejo que favoreçam a infiltração de água da chuva.

Embora os sistemas de criação animal sejam considerados como uma alternativa de geração de emprego e renda no meio rural para os estabelecimentos com pouca área e com características naturais desfavoráveis para cultivos, eles estão distribuídos em praticamente toda a extensão da BH. Fazem parte dos sistemas de criação de suínos e/ou bovinos de leite áreas de cultivos agrícolas (geralmente milho) ou pastagens onde são distribuídos os dejetos oriundos da criação animal. O uso contínuo de doses elevadas de dejetos aumenta a propensão de transferências de poluentes para os corpos hídricos se a área agrícola do estabelecimento for reduzida e/ou a capacidade de suporte do solo não for favorável. Nesta situação, os sistemas de criação situados mais ao norte são menos propensos a impactar negativamente os recursos hídricos quando comparados com os mesmos sistemas localizados mais ao sul da BH, isso porque as áreas médias dos estabelecimentos no Norte são maiores e o solo possui melhor capacidade de suporte para absorver o dejetos.

Vale relembrar que a aplicação dos questionários para avaliar este sistema de criação ocorreu na região com ambiente menos favorável para o desenvolvimento da agricultura (região centro-sul da BH). Tal fato explica, pelo menos em parte, o desempenho negativo deste sistema pelo modelo multicritério proposto nesta tese. Curiosamente, nos estabelecimentos pesquisados, além da carga de dejetos aplicada nas lavouras, os agricultores aplicam doses de fertilizantes minerais acima da dose

recomendada para tais solos e cultivos. Ressalta-se que o modelo avaliou um subcritério como fonte de poluição pontual (*Sistema de armazenamento do dejetos*), os demais subcritérios avaliaram as possibilidades de poluição difusa da água em virtude dos dejetos aplicados na lavoura.

As unidades de produção agrícolas familiares possuem algumas particularidades que as distinguem das demais unidades de produção, normalmente são atributos associados às condições fisiográficas e bioclimáticas, no que diz respeito aos arranjos estruturados com a natureza. Acrescenta-se a estas características o fato de a família ser a forma básica de organização social, isso significa dizer que a produção é organizada por um sistema socioafetivo, composto por um conjunto de pessoas com papéis diferenciados, interligado por laços que constitui uma história e uma identidade. Desta forma, as atitudes e as táticas adotadas nas unidades de produção familiares conciliam objetivos produtivos, sob a forma de uma racionalidade funcional, com elementos subjetivos revestidas de forte conteúdo emocional sobre as ações.

Os sistemas de produção agrícola constituídos pela unidade produtiva e a família como elementos interdependentes são gerenciados de acordo com as possibilidades operacionais de implementação dos projetos e aspirações (objetivos) dos agricultores e condicionados pelas limitações ambientais, técnicas e socioeconômicas. As decisões dos agricultores resultam da combinação de conflitos gerados entre os objetivos estabelecidos pela família e as condicionalidades do ambiente interno e externo, ou seja, recursos físicos (relevo, solo, água), humanos (mão de obra), técnicos (capacidades e habilidades), entre outros. Portanto, as decisões são racionais e coerentes com as potencialidades e limites existentes. A extensão e as características da propriedade, disponibilidade de mão de obra, renda (agrícola e não agrícola), acesso a informação, tecnologia, competência e disposição técnica de extensionistas rurais, afetam a compreensão dos agricultores sobre os impactos do uso da terra ocasionados na água. Desta forma, os mecanismos regulatórios também são capazes de ampliar ou mitigar os efeitos das atividades agrícolas sobre os recursos hídricos.

A abordagem multicritério mostrou-se robusta para esta proposta de avaliar e comparar as diferentes pressões que os sistemas de produção agrícola exercem sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé. Apesar do potencial metodológico da ferramenta, podem ser verificadas algumas limitações. A principal delas é a

necessidade de consultar inúmeras vezes os atores especialistas para estruturar o modelo. Outro aspecto se refere as restrições quando se deseja extrapolar os resultados para outras bacias hidrográficas. A estrutura do modelo é contextualizada na BH do Rio Guaporé, em vista disso, para análise de pressões de outras BHs se faz necessário delimitar o problema, identificar os atores sociais e estruturar um modelo que seja representativo da situação que se deseja analisar. Para tanto, é imprescindível conhecer o local, coletar dados primários via pesquisa de campo, observar fatos e fenômenos para compreender a realidade, distinguir as características e papéis dos diferentes atores sociais envolvidos no processo, entre outras tarefas, de forma que os critérios e seus pesos sejam adaptados ao contexto que se deseja investigar.

Notabiliza-se que o monitoramento dos recursos naturais em escala de bacia hidrográfica é trabalhoso, de longo prazo e, portanto, possui custo elevado. Pouquíssimas bacias hidrográficas com predomínio de atividades agrícolas são monitoradas no Brasil. Mesmo nos locais em que a agricultura é a principal atividade econômica, de geração de trabalho e renda, como na maioria das regiões do Rio Grande do Sul, o monitoramento ambiental de BH ocorre de forma eventual.

Embora com essas adversidades operacionais, se faz oportuno o registro que a BH do Guaporé possui uma larga trajetória em ações de manejo voltadas para a conservação dos recursos naturais e pode ser considerada uma das regiões mais bem monitoradas no Brasil. Foi a partir do Programa RS-RURAL, em 1999, que se iniciaram alguns dos processos voltados para o monitoramento de um dos afluentes do Rio Guaporé, situado na localidade de Candido Brum, interior do município de Arvorezinha. Concomitante ao RS-RURAL, o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS deu continuidade aos trabalhos realizados na Bacia Hidrográfica do Cândido Brum. Posteriormente essa sub-bacia foi assumida também pelo grupo de pesquisadores do Departamento de Solos da UFSM, qual ampliou a área de monitoramento para todo o polígono da BH do Guaporé. Desde então, foram publicados mais de 50 artigos em revistas de prestígio nacional e internacional, foram elaboradas nove teses de doutorado, três dissertações de mestrado e alguns capítulos de livros.

Esta pesquisa, que é uma continuidade das ações desenvolvidas na BH do Guaporé, e indica caminhos, do ponto de vista metodológico, para estudos que busquem desenvolver indicadores ambientais para a agricultura. É importante lembrar

que, embora haja expressivo volume de estudos nesta BH, a presente investigação trata de uma avaliação inicial sobre os sistemas de produção agrícola e, portanto, os resultados servem de subsídio para pesquisas futuras, tanto no Guaporé quanto em outras BHs. É oportuno esclarecer que a abordagem empregada nesta tese não buscou identificar ou apresentar uma solução ótima e definitiva para o problema em questão, no entanto, fez-se um esforço para promover uma discussão a respeito do tema proposto.

Por fim, para futuras investigações nesta linha temática recomenda-se seguir duas perspectivas, que podem ser complementares. A primeira delas sugere avançar a análise sobre os elementos da cadeia DPSIR, ou seja, além de identificar as forças motrizes e as pressões derivadas delas, detectar as possíveis mudanças de estado físico, químico e biológico do sistema natural da BH e avaliar os prováveis impactos refletidos no ecossistema e na saúde dos habitantes daquela região.

A segunda refere-se à realização da análise de custo-eficácia num contexto multicritério, para avaliar conflitos ambientais a partir da inclusão de critérios de dimensão socioeconômica como indicador da redução das pressões aos meios aquáticos. A análise de custo-eficácia é indicada para calcular e comparar impactos dos sistemas de produção no meio ambiente, através de medidas equivalentes a um custo financeiro como forma de equilibrar e harmonizar o desenvolvimento regional e setorial, incrementando possibilidades de proteger os recursos naturais.

REFERÊNCIAS

ABED-ELMDOUST, A.; KERACHIAN, R. Evaluating the Relative Power of Water Users in Inter-Basin Water Transfer Systems. **Water Resources Management**, v. 28, n. 2, p. 495–509, 2014. Doi: 10.1007/s11269-013-0495-9.

ABRAMOVAY, R. **Paradigmas do capitalismo agrário em questão**. Campinas: Hucitec/Anpocs, 1992.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **O comitê de bacia hidrográfica: o que é e o que faz?**. Agência Nacional de Águas. Cadernos de capacitação em Recursos Hídricos. v1. Brasília: SAG, 2011. 80 p. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/>>. Acesso em: 12 dez. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos: Informe 2016**. Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, 2016. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/>>. Acesso em: 03 fev. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno**. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2017a. 169 p. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/>>. Acesso em: 20 set. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas**. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: ANA, 2017b. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/atlas-esgotos>. Acesso em: 20 set. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual**. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2019. 100 p. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/>>. Acesso em: 14 jan. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Relatórios da Compensação Financeira pela Utilização de Recursos Hídricos**. Brasil, 2019. Disponível em; <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/cmpf/gerencial/>>. Acesso em: 14 jan. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos**. Relatório das amostras analisadas no período de 2017 e 2018. Gerencia geral de toxicidade: Brasília, 2019. 136 p.

AHMADI, M.; ARABI, M.; FONTANE, D.; ENGEL, B. Application of Multicriteria Decision Analysis with A Priori Knowledge to Identify Optimal Nonpoint Source Pollution Control Plans. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 141, n. 2, 2015. Doi: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000455.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Nitrato no solo com a aplicação de dejetos líquidos de suínos no milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2101-2112, 2008.

ALENCAR, E.; MOURA FILHO, J. A. Unidades de Produção Agrícola e administração rural. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, n. 157, p. 25-29, 1988.

ALEXAKIS, D.; KAGALOU, I.; TSAKIRIS, G. Assessment of pressures and impacts on surface water bodies of the Mediterranean. Case study: Pamvotis Lake, Greece. **Environmental Earth Sciences**, v. 70, p. 687–698, 2013.

ALVARES, C. A. STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C. M.; GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G.. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, 711–728, 2014. DOI 10.1127/0941-2948/2013/0507.

ARONDEL, C.; GIRARDIN, P. Sorting cropping systems on the basis of their impact on groundwater quality. **European Journal of Operational Research**, v. 127. p. 467-482, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES (ABIEC). **Perfil da Pecuária no Brasil, 2019**. Disponível em: <http://www.abiec.com.br/control/upload/arquivos/sumario2019portugues.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA (ABNT). **Resíduos sólidos – Classificação**. 2ed. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA). **O Brasil Avícola, 2018**. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/resumo>. Acesso em: 30 ago. 2019.

ATTANASIO, C. M. **Planos de manejo integrado de microbacias hidrográficas com uso agrícola: uma abordagem hidrológica na busca da sustentabilidade**. 2004. 193 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

ATISA, G.; BHAT, M. G.; MCCLAIN, M. E. Economic Assessment of Best Management Practices in the Mara River Basin: Toward Implementing Payment for Watershed Services. **Water Resources Management**, v. 28, n. 6, p. 1751–1766, 2014. Doi: 10.1007 / s11269-014-0585-3.

AXELROD, R. (Org.) **Structure of Decision – The Cognitive Maps of Political Elites**. Princeton: Princeton Univ. Press, 1976.

BANA E COSTA, C. A. A Problemática da Rejeição em Decisão Multicritério. **Investigação Operacional**. v.6, p. 91-104, 1986.

BANA E COSTA, C.A. **Structuration, construction et exploitation d'un modele multicritère d'aide à la decision**. 1992. 378 f. Tese (Docteur en Ingénierie de Systèmes) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

BANA E COSTA, C. A. Processo de Apoio à Decisão: Problemáticas, Actores e Acções. In: **Anais do Curso Ambiente: Fundamentalismos e Pragmatismos**, Seminário Pedro Nunes. Convento da Arrábida, CESUR/UT: Lisboa, 1993.

BANA E COSTA. **Processo de Apoio à Decisão**: Problemáticas, Actores e Acções. Apostila do Curso de Metodologias Multicritério em Apoio à Decisão. ENE, UFSC, Florianópolis, 1995.

BANA E COSTA, C. A., VANSNICK, J. C. Uma Nova Abordagem ao Problema de Construção de uma Função de Valor Cardinal: MACBETH. **Investigação Operacional**, Lisboa, v. 15, p. 15-35, 1995.

BANA E COSTA, C.A., PIRLOT, M. Thoughts on the Future of the Multicriteria Field: Basic Convictions and Outlines for a General Methodology. In: Clímaco, J. (Ed.): **Multicriteria Analysis**, Berlin: Springer, p. 562-568, 1997.

BÄR, R.; ROUHOLAHDJAD, E.; RAHMAN, K.; ABBASPOUR, K.C.C.; LEHMANN, A. Climate change and agricultural water resources: A vulnerability assessment of the Black Sea catchment. **Environmental Science & Policy**, v. 46, p. 57–69, 2015.

BARRELLA, W. PRETERE JR., SMITH, W. S.; MONTAG, F. S. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Org.). **Matas ciliares**: conservação e recuperação. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

BASTOS. A. V. B. Mapas cognitivos e a pesquisa organizacional: explorando aspectos metodológicos. **Estudos de Psicologia**, Campinas, v. 7, p. 64-67, 2002.

BASTOS, M. C. **Étude de la contamination de l'environnement par les médicaments à usage humain et vétérinaire dans le sud du Brésil**. Theoretical

and/or physical chemistry. Université de Poitiers, 2017. Disponível em:
<<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01858332/document>>. Acesso em: 23 out. 2019.

BASTOS, M. C.; RHEINHEIMER, D. S.; AUBERTHEAU, É.; CASTRO LIMA, J. A. M.; LE GUET, T.; CANER, L.; MONDAMERT, L.; LABANOWSKI, J. Antibiotics and microbial resistance in Brazilian soils under manure application. **Land Degradation and Development**, Nova Jersey, v. 29, n. 8, p. 2472–2484, 2018. <https://doi.org/10.1002/ldr.2964>

BECKER, A. G.; MORAES, B. S.; MENEZES, C. C.; LORO, V. L.; RHEINHEIMER, D. S.; REICHERT, J. M.; BALDISSEROTTO, B. Pesticide contamination of water alters the metabolism of juvenile silver catfish, *Rhamdia quelen*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 72, n. 6, p. 1734 –1739, 2009.

BEINAT, E. **Value functions for environmental management**. [s.n.], v. 7, Springer Science and Business Media Dordrecht: Dordrecht, 1997. 454 p.

BENAYOUN, R. J.; de MONTGOLFIER, J. T.; TERGNY, J.; LARITCHEV, O. Linear Programming with Multiple Objective Functions: Step Method (STEM). **Mathematical Programming**, v. 1, 366-375, 1971.

BENEGAS, L.; JIMÉNEZ, F.; LOCATELLI, B.; FAUSTINO, J.; CAMPOS M. A methodological proposal for the evaluation of farmer's adaptation to climate variability, mainly due to drought in watersheds in Central America. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 14, n. 2, p. 169–183, 2009. Doi: 10.1007 / s11027-008-9158-1.

BENINI, L.; BANDINI, V.; MARAZZA, D.; CONTIN, A. Assessment of land use changes through an indicator-based approach: A case study from the Lamone river basin in Northern Italy. **Ecological Indicators**, v. 10, p. 4–14, 2010.

BERBEL, J.; EXPÓSITO, A.; GUTIÉRREZ-MARTÍN, C.; MATEOS, L. Effects of the Irrigation Modernization in Spain 2002–2015. **Water Recourse Management**, v. 33, p. 1835–1849, 2019.

BEROLDT, L. A.; GRISEL, P.N.; SCHMITZ, J. A K. Evolução e diferenciação da agricultura no Vale do Taquari: um estudo comparado de dois sistemas agrários. In: MENASCHE, R. (Org.). **A agricultura familiar à mesa: saberes e práticas da alimentação no Vale do Taquari**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2007.

BISWAS, S.; VACIK, H.; SWANSON M.; HAQUE, S. Evaluating integrated watershed management using multiple criteria analysis - A case study at chittagong hill tracts in Bangladesh. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, n. 5, p. 2741–2761, 2012. Doi: 10.1007 / s10661-011-2148-x.

BONNEVIALE, J; JUSSIAU, R.; MARSHALL, É. **Approche globale de l'exploitation agricole – Comprendre le fonctionnement agricole**: une méthode pour la formation et le développement. Dijon: INRAP, 1989. Document INRAP, 90.

BOOTY, W.; BENOY, G. Multicriteria review of nonpoint source water quality models for nutrients, sediments, and pathogens. **Water Quality Research Journal of Canada**, v. 44, n. 4, p. 365–377, 2009.

BORELLA, D. M. **Plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos**. Relatório técnico final. Marau – RS, 2013. 246 p.

BORJA, Á.; GALPARSORO, I.; SOLAUN, O.; MUXIKA, I.; TELLO, E.M.; URIARTE, A.; VALENCIA, V. The European Water Framework Directive and the DPSIR, a methodological approach to assess the risk of failing to achieve good ecological status. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 66, p. 84–96, 2006.

BORSATO, F. H.; MARTONI, A. M. Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no Município de Maringá, estado do Paraná. **Acta Scientiarum Human and Social Sciences**, Maringá, v. 26, n. 2, p. 273-285, 2004.

BORTOLI, J.; REMPEL, C.; MACIEL, M. J.; TAVARES, V. E. Q. A qualidade da água de dessedentação animal e a preservação das áreas de preservação permanente. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**. v.8, n.3, p.170-179, 2017. DOI: <http://doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2017.003.0016>.

BOUYSSOU, D; Building Critcria: a Prerequisite for MCDA. In: BANA E COSTA, C.A. (Org.) **Readings in Mnlptle Criteria Deeision Aid**. Berlin: Springer, p. 58-82, 1990.

BRANS, J. P.; VINCKE, Ph.; MARESCHAL, B. How to Select and How to Rank Projects: The PROMETHEE Methods. **European Journal of Operational Research**, v. 24, 228-238, 1986.

BRASIL. Lei nº 601, de 18 de setembro de 1850. Dispõe sobre as terras devolutas do Império. **CLBR**, Rio de Janeiro, RJ, 20 de set. 1850.

BRASIL. **Projeto RADAMBRASIL, Folha SH. 22 Porto Alegre e parte das folhas SH. 21 Uruguaiana e SI. 22 Lagoa Mirim**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra/ Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro: IBGE, 796 p. 1986. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv19048.pdf>. Acesso em: de jul. 2019.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. **Diário Oficial da União [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 5 de out. 1988.

BRASIL. Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. **Diário Oficial da União [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 12 de jul. 1989.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 9 de jan. 1997.

BRASIL, Lei nº 9.974, de 6 de junho de 2000. Altera a Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. **Diário Oficial da União [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 7 de jun. 2000a.

BRASIL. Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA. **Diário Oficial da União [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 de jul. 2000b.

BRASIL. DECRETO nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002. Regulamenta a Lei no 7.802, de 11 de julho de 1989. **Diário Oficial da União [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 8 de jan. 2002.

BRASIL. PORTARIA Nº 2.914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 26 de mar. 2004.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 357, de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** Brasília, DF, págs. 58-63, mar. 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 11 jan. 2020.

BRASIL. Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006. Lei da Agricultura Familiar. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. **Diário Oficial da União [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 25 de jul. 2006.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 3 de ago. 2010.

BRASIL. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 de mai. 2012.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 454, de 2012. **Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional**. Brasília, DF, p. 84, jul. 2012. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/>> Acesso em: 23 out. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Água**, 2015. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/agua>>. Acesso em: 22 ago. 2015.

BRASIL, Instrução Normativa nº 48, de 17 de outubro de 2019. **Estabelece as regras sobre o recolhimento, transporte, processamento e destinação de animais mortos e resíduos da produção pecuária como alternativa para a sua eliminação nos estabelecimentos rurais, na forma desta Instrução Normativa**. Brasília, DF, p. 73, out. 2019. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=18/10/2019&jornal=515&pagina=73>> Acesso em: 22 jun. 2019.

BROSSIER, J.; CHIA, E.; MARSHALL, É.; PETIT, M. Recherches en gestion: vers une théorie de la gestion de l'exploitation agricole. In: BROSSIER, J; VISSAC, B.; LE MOIGNE, J (Org.). **Modélisation systémique et système agraire**. Actes du Séminaire SAD. Paris: INRA, p. 65-92, 1990.

BROWN, V.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; MAFRA, Á. L.; MUZEKA, L. M. Efeitos no solo e nas culturas após vinte anos de cultivo convencional e semeadura direta, Recife, **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 1, 2018.

BRYAN, B. A.; KANDULU, J. M. Designing a Policy Mix and Sequence for Mitigating Agricultural Non-Point Source Pollution in a Water Supply Catchment. **Water Resources Management**, v. 25 (3), p. 875 – 892, 2011.

CANER, L.; TIECHER, T. Contaminação da água com nitrato pelo uso excessivo de dejetos líquidos de suínos na França: o que o Sul do Brasil pode aprender? In: TIECHER, T. (Org.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil**: impacto das atividades agropecuárias na

contaminação do solo e da água. Frederico Westphalen: RS: URI – Frederico Westph, 2017. 181 p.

CAPOANE, V.; COSTA, L. F. F.; KUPLICH, T. M. Identificação das áreas susceptíveis a transferência de poluentes para os sistemas aquáticos utilizando álgebra de mapas. **Caminhos se Geografia**. Uberlândia, v.18, n. 62, p. 114–124, 2017.

CAPOANE, V.; TIECHER, T.; SCHAEFER, G. L.; CIOTTI, L. H; RHEINHEIMER, D. S. Transferência de nitrogênio e fósforo para águas superficiais em uma Bacia Hidrográfica com agricultura e produção pecuária intensiva no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 4, p. 647–650, abr. 2015.

CAPOANE, V.; TIECHER, T.; SCHAEFER, G. L.; RHEINHEIMER, D. S. Impactos da suinocultura na qualidade e da água da Bacia Hidrográfica do arroio Caldeirão, Palmitinho, Rio Grande do Sul. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, Ituiutaba, v. 5, n. 2, p. 494-509, 2014.

CAPOANE, V.; TROIAN, A. Uso de atributos geomorfométricos e uso e cobertura da terra como subsídio ao planejamento ambiental na bacia hidrográfica do rio Guaporé. In: I **Simpósio Internacional de Educação Ambiental e Sustentabilidade**, 2018, Santa Maria. I SIEAS, p. 173-185, 2018.

CARR, E.R.; WINGARD, P.M.; YORTY, S.C.; THOMPSON, M.C.; JENSEN, N.K.; ROBERSON, J. Applying DPSIR to sustainable development. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 14, p. 543–555, 2007.

CASSAL, V. B.; AZEVEDO, L. F.; FERREIRA, R. P.; SILVA, D. G.; SIMÃO, R. S. Agrotóxicos uma revisão de suas consequências para a saúde pública. **Revista Eletrônica em Gestão Educação e Tecnologia Digital**, v. 18, p. 437–445, 2014.

CASTRO LIMA, J. A. M. **Ocorrência de agrotóxicos em águas rurais e bioacumulados em biofilmes epilíticos do Rio Grande do Sul**. 2017. 159 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

CASTRO LIMA, J. A. M.; LABANOWSKI, J.; BASTOS, M. C.; ZANELLA, R.; PRESTES, O.; DAMIAN; M. L.; GRANADO, E.; TIECHER, T.; ZAFAR, M.; TROIAN, A.; GUET, T. L.; RHEINHEIMER, D. S. “Modern agriculture” transfers many pesticides molecules to watercourses: a case study of a representative rural catchment of southern Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06550-8>.

CASTRO, J. E.; HELLER, L.; MORAIS, M. P. **O direito à água como política pública na América Latina**: uma exploração teórica e empírica. Brasília: IPEA, 2015. 330 p.

COMUNIDAD EUROPEA (CE), 2000. **Directiva 2000/60/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. D.O.L. 327 de Dec. 2000, 73 p.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; VIEIRA, F. C. B.; HERBES, M. G.; MOREIRA, I. C. L.; BERWANGER, A.L. Dejeito líquido de suínos: I - perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.6, p.1296-1304, 2005.

CHANG, C. L.; HSU, C. H. Multi-criteria analysis via the VIKOR method for prioritizing land-use restraint strategies in the Tseng-Wen reservoir watershed. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 11, p. 3226–3230, 2009. Doi: 10.1016/j.jenvman.2009.04.020.

CHANG, C. L.; CHAO, Y. C. Using the analytical hierarchy process to assess the environmental vulnerabilities of basins in Taiwan. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, n. 5, p. 2939–2945, 2012. Doi: 10.1007/s10661-011-2162-z.

CHANG, C. L.; LIN, Y.T.; CHIUUEH, P.T. Single criterion and multiple criteria analysis: A comparison of water quality monitoring designs for a river system. **Water Resources Management**, v. 28, n. 3, p. 645–655, 2014. Doi: 10.1007/s11269-013-0505-y.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; FERGUSON, R. Optimal estimation of executive Compensation by Linear Programming. **Management Science**, vol. 1, 138-151, 1955.

CHARNES, A.; COOPER, W. W. **Management Models and Industrial Applications of Linear Programming**. Johy Wiley & Sons, Nueva York, 1961.

CHAYANOV, A. **La organización de la unidad económica campesina**. Buenos Aires: Nueva Visión, 1974.

CHITSAZ, N.; AZARNIVAND, A. Water Scarcity Management in Arid Regions Based on an Extended Multiple Criteria Technique. **Water Resources Management**, v. 31, n. 1, p. 233–250, 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-016-1521-5>.

CHOI, S. J.; KIM, J. H.; LEE, D.R. Decision of the water shortage mitigation policy using Multi-Criteria Decision Analysis. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 16, n. 2, p. 247–253, 2012. Doi: 10.1007/s12205-012-0008-z.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 1981.

CISNEROS, J. M.; GRAU, J. B.; ANTÓN, J. M.; DE PRADA, J. D.; CANTERO, A.; DEGIOANNI, A. J. Assessing multi-criteria approaches with environmental, economic

and social attributes, weights and procedures: A case study in the Pampas, Argentina. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 10, p. 1545–1556, 2011. Doi: 10.1016/j.agwat.2011.05.009.

CLASEN, B.; MURUSSI, C. R.; FORGIARINI, F. R.; BAGGIOTTO, C. Atividades agropecuárias e a contaminação da água e peixes com agrotóxicos. In: TIECHER, T. (Org.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil**: impacto das atividades agropecuárias na contaminação do solo e da água. Frederico Westphalen: RS: URI – Frederico Westph, 2017. 181 p.

COGO, N. P.; MOLDENHAUER, W. C.; FOSTER, G. R. Soil loss reductions from conservation tillage practices. **Soil Science Society America Journal**, v.48, p.368-373, 1984.

COHON, J. L. **Multiobjective Programming and Planning**. Academic Press, New York, 1978.

COHON, J. L.; MARKS, D. H. A Review and Evaluation of Multiobjective Programming Techniques. **Water Resources Research**, v. 11, p. 208-220, 1975.

COLLINGWOOD, R. G. **Ciência e filosofia**: a ideia de natureza. Lisboa: Presença, 1986. 197 p.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO RS/SC (CQFS-RS/SC). **Manual de adubação e decalagem para os estados do RS e SC**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2016. 376 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Comparativo de área, produtividade e produção SAFRA 2018/19**. Sétimo levantamento, v.6, n. 7, Brasília, abril, 2019, p. 69. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/monitoramento-agricola>>. Acesso em: 7 out. 2019.

CONTINI, E.; ARAÚJO, J. D.; GARRIDO, W. E. Instrumental econômico para a decisão na propriedade agrícola. In: CONTINI, E., ARAÚJO, J. D.; OLIVEIRA, A.J.; GARRIDO, W. E. (Org.). **Planejamento da Propriedade Agrícola: modelos de decisão**. 2. Ed. Brasília: EMBRAPA-DDT, 1984. 339 p.

CORREA, J. C.; MIELE, M. A cama de aves e os aspectos agronômicos, ambientais e econômicos. In: PALHARES, J. C. P.; KUNZ, A. (Org.). **Manejo ambiental na avicultura**, 2011. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. p. 125-152. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/57059/1/a-cama-de-aves-e-os-aspectos.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2018.

COSSETTE, P. The study of language in organizations: a symbolic interactionist stance. **Human Relations**, v. 51, n. 11, 1355-1377, 1998.

COSSETTE, P.; AUDET, M. Mapping of an idiosyncratic schema. ***Journal of Management Studies***, v. 29, n. 3, 325-348, 1992.

CRISTO, T.; MACHADO, N. T. G. As relações dos guaranis com os espaços ocupados e as “migrações forçadas” em territórios das bacias hidrográficas dos rios Taquari-Antas e Pardo. ***Revista Signos***, Lajeado, v. 37, n. 2, 2016.

CSÁNYI, V. The biological bases of cognitive maps. Em, E. LASZLO et al. (Org.). **The evolution of cognitive maps – new paradigms for the twenty-first century**. Amsterdam: Gordon and Breach, 1995.

DALOGLUA, I.; NASSAUERA, J.I.; RIOLOB, R. L.; SCAVIAC, D. Development of a farmer typology of agricultural conservation behavior in the American Corn Belt. ***Agricultural Systems***. v. 129, p. 93-102, 2014.

DELGADO, N. G. Política econômica e ajuste externo na agricultura: In: LEITE, S. (Org.). **Políticas públicas e agricultura no Brasil**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, Série Estudos Rurais, 2010. 250 p.

DESCARTES, R. **Discurso do método**. Tradução GALVÃO, M. E., São Paulo: Martins Fontes, 1996,

DIDONÉ, E. J.; MINELLA, J. P. G.; REICHER, J. M.; MERTEN, G. H.; DALBIANCO, L.; BARRROS, C. A. P; RAMON, R. Impact of no-tillage agricultural systems on sediment yield in two large catchments in Southern Brazil. ***Journal of Soils and Sediments***, v. 14, n. 7, p. 1287–1297, 2014. DOI 10.1007/s11368-013-0844-6.

DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C. **Multicriteria Decision Aid Classification Methods**. [s.n.], v 73, Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, 2002. 256 p.

DOUROJEANNI, A; JOURAVLEV, A; CHÁVEZ, G. Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. **Série Recursos Naturales e infraestructura**. ONU-CEPALDRNI. Santiago de Chile, 2002.

DUFUMIER, M. **Projetos de desenvolvimento agrícola**: manual para especialistas. Salvador: EDUFBA, 2007. 328 p.

EDEN, C., ACKERMANN, F. Analysing and comparing idiographic causal maps. In: Eden, C., SPENDER, J.C. (Org.) **Managerial and Organizational Cognition**. London: Sage, 192-209, 1998.

EHRGOTT, M.; FIGUEIRA, J.; GRECO, S. **Trends in multiple criteria decision analysis**. New York: Springer, 2010. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-5904-1>.

ELLIS, F. **Peasant Economics**: farm households and agrarian development. United Kingdom: Cambridge University Press, 1993.

ELSEVIER. **Scopus**: guia de referência rápida, 2017. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/solutions/scopus>>. Acesso em: 18 out. 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Gestão da Água na Suinocultura**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2016. 32 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Estatísticas**. Central Brasileira de inteligência de aves e suínos, 2018a. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/>. Acesso em: 30 ago. 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Anuário leiteiro: Indicadores, tendências e oportunidades para quem vive no setor leiteiro**. Brasília, 2018b. Disponível em: <file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/Anuario-Leite-2018.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2019.

ENSSLIN, L; MONTIBELLER NETO, G. Inferência causal em mapas cognitivos. In: 19º ENEGEP - **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 1999, Rio de Janeiro. XIX ENEGEP. Rio de Janeiro: MICROSERVICE, 1999. v. Único. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep1999_a0424.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2020.

ENSSLIN, L; MONTIBELLER NETO, G.; NORONHA, S.M. **Apoio à Decisão**: metodologia para Estruturação de Problemas e Avaliação Multicritério de Alternativas. Florianópolis: Insular, 2001. 296 p.

ENSSLIN, L; GIFFHORN, E; ENSSLIN, S. R.; PETRI, S. M.; VIANNA, W. B. Avaliação do desempenho de empresas terceirizadas com o uso da metodologia multicritério de apoio à decisão - construtivista. **Pesquisa Operacional**. v.30, n.1, Rio de Janeiro, 2010.

EXPÓSITO, A.; BERBEL, J. Sustainability implications of deficit irrigation in a mature water economy: A case study in Southern Spain. **Sustainability**. v. 9, p. 1–13, 2017.

FANGHUA, H.; GUANCHUN, C. A fuzzy multi-criteria group decision-making model based on weighted Borda scoring method for watershed ecological risk management: A case study of Three Gorges Reservoir area of China. **Water Resources Management**, v. 24, n. 10, p. 2139–2165, 2010. Doi: 10.1007/s11269-009-9544-9.

FASSIO, A.; GIUPPONI, C.; HIEDERER, R.; SIMOTA, C. A decision support tool for simulating the effects of alternative policies affecting water resources: An application at the European scale. **Journal of Hydrology**, v. 304, p. 462–476, 2005.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: CATIE, 1996. 90 p.

FEDRA, K. River Basin Management: What do we Really Want? Environmental Software and Services GmbH, Möedling, Austria. **Environmental Processes**. v. 2, n. 3, 511–525, 2015. <https://doi.org/10.1007/s40710-015-0084-4>

FERNANDES, B. M. Entrando nos territórios do Território. In: PAULINO, E. T.; FABRINI, J. E. (Org.). **Campesinato e territórios em disputa**. São Paulo: Expressão Popular, p. 273-302, 2008, 496 p.

FERNANDES, G.; APARICIO, V. C.; BASTOS, M.; DE GERÓNIMO, E.; LABANOWSKI, J.; PRESTES, O.; ZANELLA, R.; RHEINHEIMER, D. S. Indiscriminate use of glyphosate impregnates river epilithic biofilms in southern Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 651, p. 1377-1387, 2019.

FERNANDES, G.; TIECHER, T.; PITON, R.; PELLEGRINI, A. RHEINHEIMER, D. S. Lixiviação de nitrato em pastagens permanentes do norte do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Tecnologia Agropecuária**, Erechim, v. 1, n. 1, p. 3–14, 2017.

FIOL, C. M.; HUFF, A. S. Maps for managers: where are we? Where we go from here?. **Journal of Management Studies**, v. 29, n. 3, p. 267-85, 1992.

FLICK, U. **Desenho da pesquisa qualitativa**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FONTANELLA, B. J. B.; RICAS, J.; TURATO, E. R. **Amostragem por saturação em pesquisas qualitativas em saúde: contribuições teóricas**. Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v.2, n.1, p.17-27, 2008.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA (FEE). **Índice de Desenvolvimento Socioeconômico (IDESE) dos municípios do Rio Grande do Sul**, 2015. Disponível em: <https://www.fee.rs.gov.br/indicadores/indice-de-desenvolvimento-socioeconomico/>. Acesso em: 25 set. 2019.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA (FEE). **Indicadores econômicos do agronegócio do Rio Grande do Sul**. 2019. Disponível em: <https://dados.fee.tche.br>. Acesso em: 09 abr. 2019.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER (FEPAM). **Critérios técnicos para o licenciamento ambiental de novos empreendimentos destinados à suinocultura**, 2014a. Disponível em:

<http://www.fepam.rs.gov.br/central/diretrizes/diret_suinos_novos.pdf>. Acesso em: 28 out. 2019.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER (FEPAM). **Critérios técnicos para o licenciamento ambiental de novos empreendimentos destinados à bovinocultura confinada e semiconfinada**, 2014b. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/central/diretrizes/diret_bovinos_novos.pdf>. Acesso em: 28 out. 2019.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER (FEPAM). **Critérios técnicos para o licenciamento ambiental de novos empreendimentos destinados à avicultura**, 2014c. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/central/diretrizes/diret_aves_novos.pdf>. Acesso em: 28 out. 2019.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER (FEPAM). **Biblioteca digital**. Arquivos digitais para uso em SIG - base cartográfica digital do RS 1:250.000. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp>. Acesso em: 01 abr. 2017.

FUNTOWICZ, S.; RAVETZ, J. Ciência Pós-Normal e comunidades ampliadas dos pares face aos desafios ambientais. **História, Ciências, Saúde**. v. 4, p. 219-230, 1997.

GARCÍA DE JALÓN, S.; IGLESIAS, A.; CUNNINGHAM, R.; PÉREZ DÍAZ, J. Building resilience to water scarcity in southern Spain: A case study of rice farming in Doñana protected wetlands. **Regional Environmental Change**, v. 14, n. 3, p. 1229–1242, 2014. Doi: 10.1007/s10113-013-0569-5.

GABRIELSEN, P.; BOSCH, P. **Environmental indicators**: Typology and overview. European Environment Agency, Technical report No. 25, Copenhagen, 1999.

GARDINER, L. R.; VANDERPOOTEN, D. Interactive Multiple Criteria Procedures: Some Reflections. In: CLIMACO, J. (Org.) **Multicriteria Analysis**. Berlim: Springer-Verlag, p.290- 301, 1997.

GARFÌ, M.; FERRER-MARTÍ, L.; BONOLI, A.; TONDELLI S. Multi-criteria analysis for improving strategic environmental assessment of water programmes. A case study in semi-arid region of Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 3, p. 665–675, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.10.007>.

GARI, S.R.; NEWTON, A.; ICELY, J.D. A review of the application and evolution of the DPSIR framework with an emphasis on coastal social-ecological systems. **Ocean & Coastal Management**, v. 103, p. 63–77, 2015.

GENG, Q.; WU, P.; ZHAO, X.; WANG, Y. A framework of indicator system for zoning of agricultural water and land resources utilization: A case study of Bayan Nur, Inner Mongolia. **Ecological Indicators**, v. 40, p. 43–50, 2014.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. 120 p.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIUPPONI, C.; FASSIO, A.; SGOBBI, A. Evaluation of Agri-environmental measures in the Venice lagoon watershed. Expert knowledge elicitation and multi-criteria analysis. **Italian Journal of Agronomy**, v. 3, n. 3, p. 147–165, 2008.

GIUPPONI, C.; VLADIMIROVA, I. Ag-PIE: A GIS-based screening model for assessing agricultural pressures and impacts on water quality on a European scale. **Science of the Total Environment**, v. 359, p. 57–75, 2006.

GOMES, M., C. **Apoio à Decisão em empresas familiares em processo de evolução - Um modelo multicritério em um estudo de caso na indústria de conservas de Pelotas/RS**. 2001. 419 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001, 419 p.

GOOGLE MAPS EARTH. **Maxar technologien**. 2017. Disponível em: <https://earth.google.com/web/>. Acesso em: 28 mai. 2020.

GRECO, S.; FIGUEIRA, J.; EHRGOTT, M. **Multiple criteria decision analysis**. New York: Springer, 2016, 1347 p. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4>.

GRUNDMANN, J.; SCHÜTZE, N. Technological challenges and solutions for an optimal management of coupled groundwater-agriculture hydrosystems in arid and semiarid coastal regions. **Hydrologie und Wasserbewirtschaftung**, v. 59, n. 5, p. 240–246, 2015. Doi: 10.5675/hywa-2015,5-4.

GUARDINI, R.; C.; JUCINEI J.; SCHMITT, D. E.; TIECHER, T.; BENDER, M. A.; RHEINHEIMER, D.S.; MEZZARI, C.P.; OLIVEIRA, B. S.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G. Accumulation of phosphorus fractions in typic Hapludalf soil after long-term application of pig slurry and deep pig litter in a no-tillage system. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 93, n. 2, p. 215–225, 2012.

HAIDER, H.; SINGH, P.; ALI, W.; TESHAMARIAM, S.; SADIQ, R. Sustainability Evaluation of Surface Water Quality Management Options in Developing Countries: Multicriteria Analysis Using Fuzzy UTASTAR Method. **Water Resources Management**, v. 29, n. 8, p. 2987–3013, 2015. Doi: 10.1007/s11269-015-0982-2.

HAIMES, Y.; HALL, W.; FREEDMAN, H. **Multiobjective Optimization in Water Resources Systems**: The Surrogate Worth Trade-Off Method. Elsevier, Amsterdam, 1975.

HARARI, Y. N. *Sapiens – Uma Breve História da Humanidade*. 29a Edição. Editora Harper. 2011, 443 p.

HERÉDIA, V. A imigração europeia no século passado: o programa de colonização no rio grande do sul. **Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**. Universidad de Barcelona, nº 94, 2001. Disponível em: <http://www.ub.edu/geocrit/sn-94-10.htm#3>. Acesso em: 7 out. 2019.

HERMANS, C.; ERICKSON, J.; NOORDEWIER, T; SHELDON, A; KLINE M. Collaborative environmental planning in river management: An application of multicriteria decision analysis in the White River Watershed in Vermont. **Journal of Environmental Management**, v. 84, n. 4, p.534-546, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.07.013>

HIESSL, H.; DUCKSTEIN, L.; PLATE, E. J. Multiobjective Q-Analysis with Concordance and Discordance Concepts. **Applied Mathematics and Computation**, v. 17, p. 107-122, 1985.

HOLLANDA, M. P.; CAMPANHARO, W. A.; CECÍLIO, R. A. Manejo de Bacias Hidrográficas e a Gestão Sustentável dos Recursos Naturais. In: SILVA et al. (Org.). **Atualidades em Desenvolvimento Sustentável**. 1ed. Manhuaçu - MG: Suprema Gráfica e Editora Lt., v. 1, p. 57-66, 2012.

HOLMAN, I.P.; ROUNSEVELL, M.D.A.; SHACKLEY, S.; HARRISON, P.A.; NICHOLLS, R.J.; BERRY, P.M.; AUDSLEY, E. A regional, multi-sectoral and integrated assessment of the impacts of climate and socio-economic change in the UK: Part I. Methodology. **Climatic Change**, v. 71, p. 9–41, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário 2006**. Brasília, 2006. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2006/dados-sobre-agricultura-familiar-fao-incra>. Acesso em: 27 ago. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2010**. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/v3/cidades/home-cidades>. Acesso em: 01 fev. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Geociências**. Brasília, 2013. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/pt/inicio.html>. Acesso em: 4 out. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produto**

Interno Bruto dos Municípios. Brasília, 2016. Disponível em:
<<https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>>. Acesso em: 7 out. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário 2017.** Brasília, 2017a. Disponível em:
<<https://censos.ibge.gov.br/agro/2017>>. Acesso em: 7 out. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção Agrícola Municipal.** Brasília, 2017b. Disponível em:
<<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 7 out. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Malha municipal.** Brasília, 2017c. Disponível em:
<<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/15774-malhas.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 01 abr. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estimativas de População.** Brasília, 2018. Disponível em:
<<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6579>>. Acesso em: 7 out. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Boletins anuais de produção, importação, exportação e vendas de agrotóxicos no Brasil.** Brasília, 2019. Disponível em:
<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/qualidade_ambiental/relatorios/2014/os_d_ez_ias_vendidos_2014.xls>. Acesso em: 25 mar. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). **Sistema Nacional de Cadastro Rural:** Tabela com módulo fiscal dos municípios, Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.incra.gov.br/tabela-modulo-fiscal>>. Acesso em: 14 out. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa.** Brasília, 2017. Disponível em:
<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 07 dez. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Estações e Dados.** Brasília, 2017. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em: 25 jul. 2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC): **Climate Change 2014:** Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014. 151 p. Disponível em:

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf.

Acesso em: 16 abr. 2016.

ISENDAHL, N.; DEWULF, A.; PAHL-WOSTL, C. Making framing of uncertainty in water management practice explicit by using a participant-structured approach.

Journal of Environmental Management, v. 91, n. 4, p. 844–851, 2010. Doi: 10.1016/j.jenvman.2009.10.016.

JIANG, B.; JIA, T. Zipf's law for all the natural cities in the United States: a geospatial perspective. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 25, No. 8, p. 1269–128, 2011.

KAGALOU, I.; LEONARDOS, I.; ANASTASIADOU, C.; NEOFYTU, C. The DPSIR Approach for an Integrated River Management Framework. A Preliminary Application on a Mediterranean Site (Kalamas River -NW Greece). **Water Recourse Management**, v. 26, p. 1677–1692, 2012.

JÉZÉQUEL, M. C. **Sebes e Paisagem, caso de estudo: Planalto Mirandês**. 105 f. Dissertação (Mestrado em Arquitectura Paisagista) – Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa, 2016.

KAISER, D. R.; SEQUINATTO, L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; RHEINHEIMER, D. S.; DALBIANCO, L. High Nitrogen Fertilization of Tobacco Crop in Headwater Watershed Contaminates Subsurface and Well Waters with Nitrate. **Journal of Chemistry**, 1-1, 2015. Doi:10.1155/2015/375092.

KAISER, D. R.; PELLEGRINI, A.; REICHER, J. M.; RHEINHEIMER, D. S.; REINERT, D. J. Sistema de produção de fumo e o potencial de contaminação com nitrato da água superficial e subsuperficial. In: TIECHER, T. (Org.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: impacto das atividades agropecuárias na contaminação do solo e da água**. Frederico Westphalen: RS: URI – Frederico Westph, 2017. 181 p.

KARAGEORGIS, A.P.; SKOURTOS, M.S.; KAPSIMALIS, V.; KONTOGIANNI, A.D.; SKOULIKIDIS, N.T.; PAGOU, K.; NIKOLAIDIS, N.P.; DRAKOPOULOU, P.; ZANOU, B.; KARAMANOS, H.; LEVKOV, Z.; ANAGNOSTOU, C. An integrated approach to watershed management within the DPSIR framework: Axios River catchment and Thermaikos Gulf. Reg. **Environmental Change**, v. 5, p. 138–160, 2005.

KARAGEORGIS, A.P.; KAPSIMALIS, V.; KONTOGIANNI, A.; SKOURTOS, M.; TURNER, K.R.; SALOMONS, W. Impact of 100-year human interventions on the deltaic coastal zone of the Inner Thermaikos Gulf (Greece): A DPSIR framework analysis. **Environmental Management**, v. 38, p. 304–315, 2006.

KAUTSKY, K. **A Questão Agrária**. São Paulo: Proposta Editorial, 1980.

KEENEY, R. Decision Analysis: An Overview. **Operation Research**, v. 30, n. 5, 1982.

KEENEY, R. L. **Value Focused Thinking: A Path to Creative Decision Making**. London: Harvard University Press, 1992. 416 p.

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decision with multiple objectives: preferences and value tradeoffs**. N. York: J. Wiley e Sons, 1976.

KELBLE, C.R.; LOOMIS, D.K.; LOVELACE, S.; NUTTLE, W.K.; ORTNER, P.B.; FLETCHER, P.; COOK, G.S.; LORENZ, J.J.; BOYER, J.N. **The EBM-DPSER Conceptual Model: Integrating Ecosystem Services into the DPSIR Framework**, 2013.

KRABBE, E. L. Destino de carcaça de animais mortos. In: **X Simpósio Brasil Sul de suinocultura**, Chapecó, 2017.

KUBACKA, M.; BRÓDKA, S.; MACIAS, A. Selecting agri-environmental indicators for monitoring and assessment of environmental management in the example of landscape parks in Poland. **Ecological Indicators**, v. 71, p. 377–387, 2016.

KUHN, T.S. **The Structure of Scientific Revolutions**. Chicago: University of Chicago Press, 1996. 212 p.

LAUKKANEN, M. **Comparative Cause Mapping of Management Cognitions**. Helsinki: Helsinki School of Economics, 1992.

LEMKE, A.M.; LINDENBAUM, T.T.; PERRY, W.L.; HERBERT, M.E.; TEAR, T.H.; HERKERT, J. R. Effects of outreach on the awareness and adoption of conservation practices by farmers in two agricultural watersheds of the Mackinaw River, Illinois. **Journal Soil Water Conservation**. v. 65, n. 5, p. 304-315, 2010.

LÊNIN, V. **O desenvolvimento do capitalismo na Rússia: o processo de formação do mercado interno para a grande indústria**. 2. ed. São Paulo: Nova Cultural: 1985.

LEONARDO, H. C. L. **Indicadores de qualidade de solo e água para avaliação do uso sustentável da microbacia hidrográfica do rio Passo CUE, região oeste do estado do Paraná**. 2003. 121 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

LEPSCH, I. F.; ESPINDOLA, R. C.; VISCHI FILHO, J. O.; HERNANI, L. C.; SIQUEIRA, D. S. **Manual para levantamento utilitário e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2015, 170 p.

LEWISON, R.L.; RUDD, M.A.; AL-HAYEK, W.; BALDWIN, C.; BEGER, M.; LIESKE, S.N.; JONES, C.; SATUMANATPAN, S.; JUNCHOMPOO, C.; HINES, E. How the DPSIR framework can be used for structuring problems and facilitating empirical research in coastal systems. **Environmental Science Policy**, v. 56, p. 110–119, 2016.

LIMA, A. P; BASSO, N.; NEUMANN, P, S.; SANTOS, A. C; MÜLLER, A. G. **Administração da unidade de produção familiar**: modalidades de trabalho com agricultores. 2 ed. Ijuí: Unijuí, 2001. 222 p.

LIMA, W. P.; ZAKIA M. J. B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES; R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Org.) **Matas ciliares**: conservação e recuperação. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, p.33-43, 2000.

LINARES, P. Are inconsistent decisions better? An experiment with pairwise comparisons. **European Journal of Operational Research**, v. 193, n. 2, 492–498, 2009. doi:10.1016/j.ejor.2007.11.030.

LIPTON, M. The theory of the optimising peasant. **Journal of Development Studies**, v. 4, n. 3, p.327-351, 1968. Informa UK Limited.
Doi:<http://dx.doi.org/10.1080/00220386808421262>

LONDERO, A. L. MINELLA, J. G. J.; DEUSCHLE, D.; SCHNEIDER, F. J.; BOENI, M.; MERTEN, G. H. Impact of broad-based terraces on water and sediment losses in no-till (paired zero-order) catchments in southern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, Heidelberg, v. 18, n. 3, p. 1159–1175, 2018.

LORANDI, R.; CANÇADO, C.J. Parâmetros Físicos para Gerenciamento de Bacias Hidrográficas. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F.M. (Org.). **Conceitos de bacias hidrográficas**: teorias e aplicações. Ilhéus, Ba: Editus, 2002. 293 p.

LOURENZI, C. R. **Dejetos de suínos: produção de culturas, efeitos na matéria orgânica e na transferência de formas de fósforo**. 2014. 127 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Curso de Ciência do Solo, Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; COUTO, R. R.; TIECHER, T. L.; FERREIRA, P. A. A.; GIROTTO, E.; BRUNETTO, G. Uso de dejetos líquidos de suínos na agricultura familiar: potencial fertilizante e poluidor. In: TIECHER, T. (Org.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil**: impacto das atividades agropecuárias na contaminação do solo e da água. Frederico Westphalen: RS: URI – Frederico Westph, 2017. 181 p.

LYNNE, D; SHONKWILER, J.S; ROLA, L.R. Attitudes and farmer conservation behavior. **Journal of Agricultural Economics**. v. 70, n.1, p. 12-19, 1988.

MANSOORI, H.; KOHANSAL, M. R.; GHOSI, M. F. K. Introducing a lexicographic goal programming for environmental conservation program in farm activities: A case study in Iran. **China Agricultural Economic Review**, v. 1, n. 4, p. 478–484, 2009. Doi: 10.1108/17561370910989284.

MARTINS, R.C. **A Construção Social do Valor Econômico da Água: estudo sociológico sobre agricultura, ruralidade e valoração ambiental no estado de São Paulo**. 2004. 258 f. Tese (Doutorado em Ciência da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

MARTINS, R. C. Representações sociais, instituições e conflitos na gestão de águas em territórios rurais. **Sociologias**, n. 15, p. 288–325, 2006.

MARTTUNEN, M.; HÄMÄLÄINEN, R. P. The decision analysis interview approach in the collaborative management of a large regulated water course. **Environmental Management**, v. 42, n. 6, p. 1026–1042, 2008. Doi: 10.1007/s00267-008-9200-9.

MATTAS, C.; VOUDOURIS, K.S.; PANAGOPOULOS, A. Integrated groundwater resources management using the DPSIR approach in a GIS environment: A case study from the Gallikos River basin, North Greece. **Water (Switzerland)**, v. 6, p. 1043–1068, 2014.

MATZENAUER, H. B. **Uma metodologia multicritério construtivista de avaliação de alternativas para o planejamento de recursos hídricos de bacias hidrográficas**. 2002. 636 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crie contemporânea**. Lisboa: instituto Piaget, 2001. 520 p.

MEHRYAR, S., SLIUZAS, R., SHARIFI, A., RECKIEN, D., VAN MAARSEVEEN, M. A structured participatory method to support policy option analysis in a social-ecological system. **Journal of Environmental Management**. 197, 360–372, 2017.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Revista de Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**. Porto Alegre, v.3, n.4, 2002.

MERTEN, G.; MINELLA, J. P. G. The expansion of Brazilian agriculture: Soil erosion scenarios. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 1, p. 37–48, 2013.

MIGUEL, L. A. Origem e evolução dos sistemas agrários no Rio Grande do Sul. In: MIGUEL, L. A. (Org.). **Dinâmica e diferenciação de sistemas agrários**. Curso de

Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/ UFRGS. – 2. ed. rev. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2018. 212 p.
Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/cursopqdr/downloadsSerie/derad102.pdf>>
Acesso em: 05 out. 2019.

MIMIDIS, K.; ANDRIKAKOU, P.; KALLIORAS, A.; PLIAKAS, F. The DPSIR approach to groundwater management for sustainable development in coastal areas: The case of Nea Peramos aquifer system, Kavala, Greece. **Water Utilities Journal**, v. 16, p. 67–80, 2017.

MINAYO, M. C. S. **Pesquisa Social: teoria, método e criatividade**. 28ª ed. Petrópolis, RJ. Vozes. 2009. 108 p.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; REICHERT, J. M.; RHEINHEIMER, D. S. Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v.31, p. 1637-1646, 2007.

MINELLA, J. P.G.; MERTEN, G. H.; REICHERT, J. M. Changing sediment yield as an indicator of improved soil management practices in southern Brazil. **Catena**, v. 79, n. 3, p. 228–236, 2009.

MINELLA, J. P. G.; BARROS, C. A. P.; DIDONÉ, E. J.; LONDERO, A. L.; RAMON, R., SCHLESNER, A.; DEUSCHLER, D.; SCHNEIDER, F. J. A.; CANALE, T.; MERTEN, G. H. Dinâmica da erosão na escala de bacia hidrográfica: Uma experiência de pesquisa no estado do Rio Grande do Sul. In: TIECHER, T. (Org.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no Sul do Brasil: contextualizando as atividades agropecuárias e os problemas erosivos**, Frederico Westphalen: RS: URI – Frederico Westph, 2015. 152 p.

MONTIBELLER NETO, G. **Mapas cognitivos: uma ferramenta de apoio a estruturação de problemas**. 1996. 221 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da produção) - Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

MORIN, E. **Ciência com Consciência**. v. 82. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2005. 350 p.

MOSCA, A. A. O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental de manejo de florestas plantadas**. 2003. 96 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MÜLLER, G. Agricultura e industrialização do campo no Brasil. **Revista de Economia Política**. São Paulo, v. 2, 47-77, 1982.

MÜLLER, G. **Complexo Agroindustrial e Modernização Agrária**. São Paulo: Hucitec: EDUC, 1989. 149 p.

NAPIER, T.L.; TUCKER, M.; MCCARTER, S. Adoption of conservation production systems in three Midwest watersheds. **Journal Soil Water Conservation**. V. 55, n. 2, p. 123-134, 2000.

OCAMPO-MELGAR, A.; BAUTISTA, S.; EDWARD DE STEIGUER, J.; ORR, B. J. Potential of an outranking multi-criteria approach to support the participatory assessment of land management actions. **Journal of Environmental Management**, v. 195, p. 70–77, 2017. Doi: 10.1016/j.jenvman.2016.11.041.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Open Working Group of the General Assembly on Sustainable Development Goals**. Issued as document A/68/970. 2014. Disponível em: <http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/68/970>. Acesso em: 15 jul. 2015.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA (UNESCO). Programa Mundial de Avaliação da Água da UNESCO. **No dejara nadie atrás, Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019**. França, 2019. 213 p. Disponível em: <<https://www.unwater.org/unwater-publications/>>. Acesso em: 11 fev. 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FAO). **Review of world water resources by country**. Roma, 2003. 127 p. Disponível em: <http://www.fao.org/tempref/agl/AGLW/ESPIM/CD-ROM/documents/5C_e.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FAO). **The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk**. Rome and Earthscan: Londres, 2011. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/i1688e/i1688e.pdf>>. Acesso em: 11 fev. 2020.

ORGANIZAÇÃO PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA DAS NAÇÕES UNIDAS (FAO). **The State of Food Insecurity in the World 2015**. Rome, 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i4646e.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2015.

PATTON, M.Q. **Qualitative Research and Evaluation Methods**. 3ªed. London: Sage Publications, 2002, 179 p.

PELLEGRINI, J. B. R.; RHEINHEIMER, D. S.; GONÇALVES, C. S.; COPETTI, A. C. C.; BORTOLUZZI, E. C.; TESSIER, D. Impacts of anthropic pressures on soil phosphorus availability, concentration, and phosphorus forms in sediments in a

Southern Brazilian watershed. **Journal of Soils and Sediments**. v. 10, n. 3, 451–460, 2010. Doi:10.1007/s11368-009-0125-6.

PELLEGRINI, J. B. R.; RHEINHEIMER, D. S.; COPETTI, A. C. C.; GONÇALVES, C. S. Conflitos entre a legislação ambiental, a aptidão agrícola e o uso dos solos em Unidades de Produção Familiar no Rio Grande do Sul. In: TIECHER, T. (Org.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no Sul do Brasil**: contextualizando as atividades agropecuárias e os problemas erosivos, Frederico Westphalen: RS: URI – Frederico Westph, 2015. 152 p.

PEREIRA, A. S. **Tratores para agricultura familiar: proposta de um modelo multicritério de avaliação considerando os requisitos de ergonomia e segurança**. 2019. 386 F. Tese (Doutorado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícolas Familiar da Universidade Federal de Pelotas, 2019.

PES, J. H. F. **O Mercosul e as águas**: a harmonização via Mercosul, das normas de proteção às águas transfronteiriças do Brasil e Argentina. Santa Maria: ed. da UFSM, 2005.

PHILIPPI JR., A.; TUCCI, C. E. M.; HOGAN, D. J.; NAVEGANTES, R. **Interdisciplinaridade em ciências ambientais**. São Paulo: Signus Editora, 2000.

PIRRONE, N.; TROMBINO, G.; CINNIRELLA, S.; ALGIERI, A.; BENDORICCHIO, G.; PALMERI, L. The Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) approach for integrated catchment-coastal zone management: Preliminary application to the Po catchment-Adriatic Sea coastal zone system. **Regional Environmental Change**, v. 5, p. 111–137, 2005.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

PRITCHARD, A. Statistical bibliography or bibliometrics? **The Journal of Documentation**, v. 25, p. 348-349, 1969.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). **A água para lá da escassez**: poder, pobreza e a crise mundial da água. Relatório do Desenvolvimento Humano, Nova York, 2006. Disponível em; <<file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/relatorio-de-desenvolvimento-humano-brasil-2006.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2017.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). **Atlas do Desenvolvimento Humano dos Municípios**. Nova York, 2013. Disponível em: <www.atlasbrasil.org.br>. Acesso em: 25 set. 2019.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). **Perspectivas del Medio Ambiente Mundial, GEO 6: Planeta sano, personas sanas.** Resumen para responsables de formular políticas, Nairobi, 2019, 32 p.

PROKOPY, K. FLORESS, D. KLOTTHOR-WEINKAUF, A. Baumgart-Getz. Determinants of agricultural best management practice adoption: evidence from the literature. **Journal Soil Water Conservation**. v. 65, n. 5, p. 300–311, 2008.

PSOMAS, A.; VRYZIDIS, I.; SPYRIDAKOS, A.; MIMIKOU, M. MCDA approach for agricultural water management in the context of water–energy–land–food nexus, Operational Research. **Springer Berlin Heidelberg**, 2018.

QIU, Z. Prioritizing agricultural lands for conservation buffer placement using multiple criteria. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 46, n. 5, p. 944–956, 2010. doi: 10.1111/j.1752-1688.2010.00466.x

RAMON, R. **Medição da energia cinética das chuvas e definição de um índice pluviual para estimativa da erosividade em Arvorezinha/RS**. 2017. 90 f. Dissertação (Doutorado em Ciência do Solo) - Curso de Ciência do Solo, Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

RAVIER, C.; PROST, L.; JEUFFROY, M.; WEZEL, A.; PARAVANO, L.; REAU, R.. Multi-criteria and multi-stakeholder assessment of cropping systems for a result-oriented water quality preservation action programme. **Land Use Policy**, v. 42, 131-140, 2015. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.07.006>

REBOUÇAS, A. C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, C. A.; BRAGA, B.; TUNDISI (Org). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. Ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006. 748 p.

REICHERT, L. J. **Avaliação de sistemas de produção de batata orgânica em propriedades familiares**: uma aplicação da metodologia multicritério de apoio à decisão (MCDA). 2012. 345 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícolas Familiar da Universidade Federal de Pelotas, 2012.

RHEINHEIMER, D. S.; MIELNICZUK, J.; VEZZANI, F. M. Interações fertilidade e conservação do solo. In: **Fertbio 2000**, Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000.

RHEINHEIMER, D.S.; GONÇALVES, C.S.; PELLEGRINI, J.B.R. Impacto das atividades agropecuárias na qualidade da água. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 27, p. 85-96, 2003.

RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I. Accumulation of soil organic phosphorus by soil tillage and cropping systems in subtropical Conditions. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Londres, v. 34, p. 2339-2354. 2003.

RHEINHEIMER, D. S.; REICHERT, J. M. **Agricultura Familiar e Desenvolvimento Sustentável Gênese e Propriedades do Solo**. 1. ed. Santa Maria, RS: UFSM, NTE, UAB, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/discover>>. Acesso em: 02 jan. 2020.

RIO GRANDE DO SUL. Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994. Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União [do] Estado do Estado do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, 01 de jan. 1995.

RIO GRANDE DO SUL. Decreto nº 38.558, de 08 de junho de 1998. Cria o Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas. **Diário Oficial da União [do] Estado do Estado do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, 08 de jun. 1998.

ROBERTS, F.S. Strategy for the energy crisis: the case of commuter transportation policy. In: AXELROD, R. (Org.) **Structure of Decision – The Cognitive Maps of Political Elites**. Princeton: Princeton Univ. Press, 142-179, 1976.

ROGGE, J. H. **Fenômenos de fronteira**: um estudo das situações de contato entre os portadores das tradições cerâmicas pré-históricas no Rio Grande do Sul. 2004. 241 f. Tese (Doutorado em História) – Curso de Doutorado em História, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2004.

ROMERO, C. **Teoría de la decisión multicriterio**. Conceptos, técnicas y aplicaciones. Alianza Editorial: Madrid, 1993. 195 p.

ROMERO, C. **Análisis de las decisiones multicriterios**. Conceptos, técnicas y aplicaciones. Gráficas Algorán: Madrid, 1996. 115 p.

ROSSOL; C. D.; FILHO, H. S.; BERTÉ, L. N.; JANDREY, P. E.; SCHWANTES, D.; GONÇALVES JR, A. C. Caracterização, classificação e destinação de resíduos da agricultura. **Scientia Agraria Paranaensis**. v.11, nº 4, p.33-43, 2012.

ROUSVAL, B. **Aide multicritère à l'évaluation de l'impact des transports sur l'environnement**. Modélisation et simulation. 2005. 267 f. Tese (Doutorado em Ciências Organizacionais) - Laboratório de Análise e Modelação de Sistemas de Apoio à Decisão da Escola de Doutorado, Informática, Matemática e Organização da Universidade Paris Dauphine, 2005.

ROY, B. "Classement et choix en présence de points de vue multiples: La méthode ELECTRE", **Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle**, v. 2, n. 1, p. 57-75, 1968.

ROY, B. The optimization problem formulation: criticism and overstepping. **Journal of the Operational Research Society**, v. 32, p. 427-436, 1981.

ROY, B. **Méthodologie Multicritère d' Aide à la Décision**, Economica, Paris, 1985, 423 p.

ROY, B. Main Sources of Inaccurate Determination, Uncertainty and Imprecision in Decision Models. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 12, n. 10, p. 1245-1254, 1989.

ROY, B. Decision science or decision-aid science? **European Journal of Operational Research**, v.6, n 2, p. 184-203, 1993.

ROY, B. Theory and methodology on operational research and decision aid. **European Journal of Operational Research**. North-Holland, v.73, p.23-26, 1994.

ROY, B. **Multicriteria Methodology for Decision Aiding**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996. 293 p.

ROY, B.; VANDERPOOTEN, D. The European School of MCDA: Emergence, basic features and current works. **Journal of Multi-criteria Decision Analysis**, v. 5, 22-38, 1996.

RYAN, R; ERICKSON, R; YOUNG; R. Farmers' motivations for adopting conservation practices along riparian zones in a mid-western agricultural watershed. **Journal Environmental Planning and Management**. V. 46, n.1, p. 19-37, 2003.

RYU, J. H.; PALMER, R., JEONG, S.; LEE, J.; KIM, Y. Sustainable water resources management in a conflict resolution framework. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 45, n. 2, p. 485–499, 2009. Doi: 10.1111/j.1752-1688.2009.00304.x

SAATY, Thomas L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of mathematical psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.

SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process**. New York: McGraw-Hill, 1980, 287 p.

SAATY, T. L. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, p. 9-26, 1990.

SACCO DOS ANJOS, F. **Agricultura Familiar, Pluriatividade e Desenvolvimento Rural no Sul do Brasil**. Pelotas: EGUFPEL, 2003. 374 p.

SANTANA, D. P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas. Sete Lagoas:** Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 30).

SCHNEIDER, S. (Org). **A diversidade da agricultura familiar.** Porto Alegre, Ed. UFRGS, Série Estudos Rurais, 2006. 296 p.

SCHULZE, I.; COLBY, M. A Conceptual Framework to Support Development and Use of Environmental Information in Decision-Making. **European Environment Agency**, 1995.

SCOTTO, M. A. L. **Fluxos de fósforo em uma Bacia Hidrográfica sob cultivo intensivo no sul do Brasil.** 2014. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (SEMA). **Plano de bacia Taquari-Antas: atividade preliminar.** Relatório Técnico 1. Porto Alegre, 2011a. 216 p. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br>>. Acesso em: 04 nov. 2014.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (SEMA). **Plano de bacia Taquari-Antas: diagnóstico e prognóstico.** Relatório Técnico 2. Porto Alegre, 2011b. 233 p. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br>>. Acesso em: 04 nov. 2014.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (SEMA). **Plano de bacia Taquari-Antas: diagnóstico e prognóstico.** Relatório Síntese Etapa A. Porto Alegre, 2012. 151 p. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br>>. Acesso em: 04 nov. 2014.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (SEMA). **Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 2014. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br>>. Acesso em: 04 nov. 2014.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO (SPOG). **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 4ª ed., 2019. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/inicial>. Acesso em: 25 set. 2019.

SELLITTO, M.; BORCHARDT, M.; PEREIRA, G. M. Avaliação de desempenho multicriterial: um estudo de caso na indústria de transporte coletivo de passageiros. **Gestão Produção**, São Carlos, v. 13, n. 2, p. 339-352, maio de 2006.

SETTI, A. A. et al. **Introdução ao gerenciamento de Recursos Hídricos.** Agência Nacional de Energia Elétrica; Agências Nacionais de Águas, 3ª ed., Brasília, 2001. 328 p.

SILVA, D. M.; ANTONIOLLI, Z. I.; JACQUES, R. J. S.; SILVEIRA, A.O.; SILVA, D. A. A.; RASCHE, M. M.; PASSOS, V. G.; SILVA, B. R. Indicadores Microbiológicos de

Solo em Pastagem com Aplicação Sucessiva de Dejetos De Suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1585-1594, 2015.

SILVA, E. L. Da; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC: [s.n.], v. 29, 2005. 139 p.

SILVA, J. G. **A Modernização Dolorosa**. Estrutura agrária, fronteira agrícola e trabalhadores rurais no Brasil. Rio de Janeiro: Zahar, 1981.192 p.

SILVA, J. G. **A nova dinâmica da agricultura brasileira**. Campinas: Ed. Unicamp, 1996. 217 p.

SILVA, J. G. Complexos Agroindustriais e outros complexos. **Reforma Agrária**. Campinas, 3 (21): 5-34, 1991.

SILVA NETO, B. Análise-Diagnóstico de Sistemas Agrários: uma interpretação baseada na Teoria da Complexidade e no Realismo Crítico. **Desenvolvimento em questão**, Ijuí: Ed. Unijuí, n. 9, p. 33 - 58, 2007.

SILVEIRA, V. N. S. Racionalidade e organização: as múltiplas faces do enigma. **Revista de Administração Contemporânea**. vol.12, n.4, pp.1107-1130, 2008.

SIMON, H. A. **Comportamento administrativo**: estudo dos processos decisórios nas organizações administrativas. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1979.

SLONEKER, L.L.; MOLDENHAUER, W.C. Measuring the amounts of crop residue remaining after tillage. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.32, n.5, p.231-236, 1977.

SOUZA-LIMA, J. E. Contornos do conhecimento ambiental: uma contribuição da Sociologia. **Acta Scientiarum Human and Social Sciences**, Maringá, v. 35, n. 2, p. 149-159, 2013. Doi: 10.4025/actascihumansoc.v35i2.21330

SPOSITO, G. **The Chemistry of Soils**. Oxford University Press, Inc., New York, 2008. 344 p.

STANNERS, D., BOSCH, P., DOM, A., GABRIELSEN, P., GEE, D., MARTIN, J., WEBER, J.L. Frameworks for environmental assessment and indicators at the EEA, p. 127–144. In: HÁK; T.; MOLDAN, B.; DAHL, L.A. (Org.) **Sustainability Indicators: A Scientific Assessment**, 2007, 444 p.

STEFANOPOULOS, K.; YANG, H.; GEMITZI, A.; TSAGARAKIS, K. Application of the Multi-Attribute Value Theory for engaging stakeholders in groundwater protection in the Vosvozis catchment in Greece. **Science of the Total Environment**, p. 26–33, 2014.

SUGUIO K.; BIGARELLA, J. J. **Ambientes fluviais**. 2. ed. Curitiba: UFPR, 1990.

SUN, S.; WANG, Y.; LIU, J.; CAI, H.; WU, P.; GENG, Q.; XU, L. Sustainability assessment of regional water resources under the DPSIR framework. **Journal of Hydrology**, v. 532, p. 140–148, 2016.

TENGBERG, A.; TORHEIM, S-I.B. The role of land degradation in the agriculture and environment nexus In: SIVAKUMAR M.V.K.; NDIANG'UI N. (Orgs.) **Climate and Land Degradation**. Environmental Science and Engineering (Environmental Science). Springer, Berlin, Heidelberg, 2007.

TEODORO, V. L. I. et al. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, n.20, 2007.

TEPICHT, J. **Marxisme et agriculture**: le paysan polonaise. A. Colin, Paris, 1973.

TIECHER, T. L.; BRUNETTO, G.; CERETTA, C. A.; COMIN, J. J.; GIROTTI, E.; MIOTTO, A.; MORAES, M. P.; BENEDETT, L.; FERREIRA, P. A. A.; LOURENZI, C. R.; COUTO, R. R. Forms and accumulation of copper and zinc in a sandy typic Hapludalf 39 soil after long-term application of pig slurry and deep litter. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 812- 824, 2013.

TIECHER, T. **Fingerprinting sediment sources in agricultural catchments in southern Brazil**. 2015. 307 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

TIECHER, T.; MINELLA, J. P. G.; CANER, L.; ZAFAR, M.; CAPOANE, V; EVRARD, O.; LE GALL, M; RHEINHEIMER, D. S. Quantifying land use contributions to suspended sediment in a large cultivated catchment of Southern Brazil (Guaporé River, Rio Grande do Sul). **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 237, p. 95-108, 2017.

TIECHER, T.; RAMON, R.; LACEBY, P.; EVRARD, O.; MINELLA, J. P. G. Potential of phosphorus fractions to trace sediment sources in a rural catchment of Southern Brazil: Comparison with the conventional approach based on elemental geochemistry. **Geoderma**, v. 337, p. 1067–1076, 2019.

TOLMAN, E. C. Cognitive maps in rats and men. **Psychological Review**. v. 55 p. 189–208, 1948. [doi:10.1037/h0061626](https://doi.org/10.1037/h0061626)

TOSAKANA, N.S.P.; VAN TASSELL, L.W.; WULFHORST, J.D.; BOLL, J.; MAHLER, R.; BROOKS, E.S.; KANE, S. Determinants of the adoption of conservation practices by farmers in the northwest wheat and range region. **Journal Soil Water Conservation**. v. 65, n 6, p. 404-412, 2010.

TREINTA, F. T., FARIAS FILHO, J. R., SANT'ANNA, A. P.; RABELO, L. M. Metodologia de pesquisa bibliográfica com a utilização de método multicritério de apoio à decisão. **Production**, São Paulo. v. 24, n 3, p. 508 – 520, 2014.

TROIAN, A.; TROIAN, A.; OLIVEIRA, S. V.; PEREIRA, J. C. Desempenho dos municípios do Rio Grande do Sul na execução dos recursos do PNAE com a agricultura familiar. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 58, n. 3, e. 204558, 2020. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2020.204558>

TSAI, H. T.; TZENG, S. Y.; FU, H. H.; CHUN-TEH WU, J. Managing multinational sustainable development in the European Union based on the DPSIR framework. **African Journal of Business Management**, v. 3, p. 727–735, 2009.

TUNDISI, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e cultura**. São Paulo, v. 55, n. 4, p. 31-33, 2003.

TURNER, R.K.; LORENZONI, I.; BEAUMONT, N.; BATEMAN, I.J.; LANGFORD, I.H.; MCDONALD, A.L. Coastal Management for Sustainable Development : Analysing Environmental and Socio-Economic Changes on the UK Coast. **The Geographical Journal**, v. 164, p. 269–281, 1998.

VANACKER, V.; AMEIJERAS-MARIÑO, Y.; SCHOONEJANS J.; CORNELIS, J. T.; MINELLA, J. P. G.; LAMOULINE, F.; VERMEIRE, M.; CAMPFORTS, B.; ROBINET, J.; BROEK, M. V.; DELMELLE, P.; OPFERGELT, S. Land use impacts on soil erosion and rejuvenation in Southern Brazil. **Catena**, v. 178, p. 256–266, 2019.

VARELLA, C. A. A.; PINTO, F. A. C.; QUEIROZ, D. M.; SENA JUNIOR, D. G. Determinação da cobertura do solo por análise de imagens e redes neurais. **Revista Brasileira Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 225-229, 2002.

WALMSLEY, J.J. Framework for measuring sustainable development in catchment systems. **Environmental Management**, v. 29, p. 195–206, 2002.

WANDERLEY, M. N. B. Agricultura familiar e campesinato: rupturas e continuidade. **Estudos Sociedade e Agricultura**, Rio de Janeiro, v. 21, p.42-61, 2004.

WANG, J.; ENDRENY, T. A.; HASSETT, J. M. Power function decay of hydraulic conductivity for a TOPMODEL-based infiltration routine. **Hydrological Processes**, v. 20, p. 3825-3834, 2006.

WESTBURY, D. B.; PARK, J.; MAUCHLINE, A.; CRANE R MORTIMER, S. Assessing the environmental performance of English arable and livestock holdings using data from the Farm Accountancy Data Network (FADN). **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 3, p. 902–909, 2011. Doi: 10.1016/j.jenvman.2010.10.051.

WIND, Y; SAATY, T. L. Marketing Applications of the Analytic Hierarchy Process. **Management Science**, v. 26, n. 7 p. 641-658, 1980.

WONG, A.W.M.; WONG, M.H. Recent socio-economic changes in relation to environmental quality of the Pearl River delta. **Regional Environmental Changes**, v. 4, p. 28–38, 2004.

WOORTMANN, K. **Com parente não se negocia: o campesinato como ordem moral**. Brasília: UnB, 1990, (Anuário Antropológico, 87).

XAVIER, J. H. V.; GOMES, M. C.; SACCO DOS ANJOS, F.; ALMEIDA, S. C. R.; OLIVEIRA, M. N.; SCOPEL, E.; CORBEELS, M.; MULLER, A. G. Metodologia multicritério de apoio à decisão como ferramenta para avaliação de sistemas de cultivo de milho. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 29, p. 89 -131, 2012.

ZACHARIAS, I.; PARASIDOY, A.; BERGMEIER, E.; KEHAYIAS, G.; DIMITRIOU, E.; DIMOPOULOS, P. A “DPSIR” model for Mediterranean temporary ponds: European, national and local scale comparisons. **International Journal of Limnology: Annales de Limnologie**, v. 44, p. 253–266, 2008.

ZADEH, L. A. Optimality and Non-scalar- Valued Performance Criteria. **IEEE Transactions on Automatic Control**, v. 8, 59-60, 1963.

ZAFAR, M. **Phosphorus dynamics in sediments from a subtropical catchment with rural and urban pollution**. 2015. 184 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

ZAFAR, M.; TIECHER, T; CASTRO LIMA, J. A. M.; SCHAEFER, G. L.; SANTANNA, M. A.; RHEINHEIMER, D. S. Phosphorus seasonal sorption-desorption kinetics in suspended sediment in response to land use and management in the Guaporé catchment, Southern Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, Orono, p. 188 - 643, 2016. DOI 10.1007/s10661-016-5650-3.

ZAFAR, M; TIECHER, T; CAPOANE, V; TROIAN, A.; RHEINHEIMER, D. Characteristics, lability and distribution of phosphorus in suspended sediment from a subtropical catchment under diverse anthropic pressure in Southern Brazil. **Ecological Engineering**. v. 100, p. 28-45, 2017.

ZELENY, M. Compromise Programming. In: COCHRANE, J. L.; ZELENY, M. (Org.) **Multiple Criteria Decision Making**. University of South Carolina Press, Columbia, 262-301, 1973.

ZHANG, W.; JIANG, F.; OU, J. Global pesticide consumption and pollution: with China as a focus. **Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences, Hong Kong**, v. 1, n. 2, 125–144, 2011.

ZIONTS, S.; WALLENIOUS, J. An Interactive Programming Method for Solving the Multiple Criteria Problem. **Management Science**, v. 22, 652-663, 1976.

ZUFFO, A. C. **Seleção e aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento ambiental de recursos hídricos**. 1998. 294 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia De São Carlos da Universidade de São Paulo, 1998.

APÊNDICES

Apêndice A –Trajetória Acadêmica e pessoal do pesquisador

A presente passagem visa compartilhar minha trajetória acadêmica e experiência profissional. Filho de agricultores familiares, trabalhei na roça até finalizar a graduação. Meus avós criaram onze filhos com a renda principal vinda do cultivo do tabaco, quais oito possuem a mesma atividade até hoje. As lavouras do estabelecimento agrícola de nossa família se situam no município de Arvorezinha (RS), e suas águas são drenadas para o Rio Guaporé.

Possuo ensino médio Técnico em Agropecuária, formado em 1999 na Escola Técnica Visconde de São Leopoldo. Na ocasião, fui integrante da comissão de fundação da Cooperativa Técnica Agroflorestal. Realizei estágio obrigatório na Associação dos Fumicultores do Brasil, atuando em diversas atividades, entre elas: condução de viveiro florestal e experimentos com fruticultura. Na sequência trabalhei como auxiliar de topógrafo até ingressar, no ano de 2002, na primeira turma do Curso de Graduação em DESENVOLVIMENTO RURAL E GESTÃO AGROINDUSTRIAL, da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS – Unidade de Encantado, no período de 2002 a 2005).

Este curso visava formar profissionais capazes de atuarem no planejamento do desenvolvimento rural sustentável e na gestão de unidades de produção agrícola e agroindustrial, com ênfase na economia familiar. Os objetivos do curso enfatizam a habilitação de sujeitos capacitados em reconhecer, definir e analisar problemas, propor soluções com visão crítica e inovadora, fundamentada nos princípios da agroecologia e da economia solidária.

Na ocasião fui selecionado para atuar como monitor, sendo contemplado com a primeira bolsa de estudos disponibilizada pela UERGS. Entre as funções, acompanhei um colega portador de necessidade especial, baixa visão, nas atividades de classe e extraclasse, repassando as aulas através de softwares especiais, como o DOSVOX, e gravando textos em mídia para consulta do colega. Também atuei como monitor da turma e representante discente. Tais atividades contribuíram para minha capacidade de organização e para meu desenvolvimento sócio comportamental.

O trabalho de conclusão do curso visou avaliar a sustentabilidade dos sistemas de produção identificados na Linha Pinhal Queimado, município de Arvorezinha (RS), com ênfase nas implicações econômicas, sociais e ambientais. A graduação, fundamentada nos princípios da interdisciplinaridade e na perspectiva

multidimensional me proporcionou uma visão crítica dos fenômenos socioeconômicos e educativos que contribuiu para compreender os nexos relacionados ao desenvolvimento rural contemporâneo.

Entre a graduação e o ingresso no mestrado, fui selecionado bolsista de Apoio Técnico Nível Superior num projeto de educação ambiental e combate à pobreza de pequenos estabelecimentos rurais em uma bacia hidrográfica (BH) do município de Agudo (RS). Tal projeto, tutelado pelo professor Dr. João Kaminski, do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), foi financiado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, e a bolsa era vinculada ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Também atuei em projetos de extensão rural⁴³ (financiados pelo extinto Ministério do Desenvolvimento Agrário) elaborados e coordenados pelo Instituto Genaro Krebs. Os projetos foram orientados pela nova Política Nacional de Assessoria Técnica Extensão Rural, e tiveram por princípios promover processos capazes de contribuir para a construção e execução de estratégias de desenvolvimento rural sustentável, centrados na expansão e fortalecimento da agricultura familiar, por meio de metodologias educativas e participativas.

A participação nestes projetos de extensão me incentivou realizar mestrado em EXTENSÃO RURAL na UFSM (2009 – 2011). A pesquisa norteadora do mestrado, realizada mediante orientação do professor Dr. Alessandro Porporatti Arbage, foi continuação de um dos projetos desenvolvidos anteriormente e teve interesse em analisar os resultados econômico-financeiros dos sistemas de produção vitícola familiar, orgânico e convencional, da Serra Gaúcha (RS).

Intercalando a trajetória acadêmica, desempenhei a função de Articulador do Programa Nacional de Assessoria Técnica, Social e Ambiental (ATES) do Estado da Bahia. Convênio CRT/BA/Nº0001/2009 firmado entre o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) e a Fundação Juazeirense para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Econômico, Sociocultural e Ambiental (2010 – 2012). Entre as atribuições: assessorei e contribui com o planejamento estratégico e operacional, proporcionando suporte técnico e metodológico para as

⁴³ Título dos Projetos: (a) *Programa de Apoio à Diversificação Produtiva como Alternativa à Produção Fumageira*; (b) *Formação de Agricultores Familiares em Gestão Estratégica e Assistência Técnica para o Desenvolvimento Sustentável*; (c) *Assistência Técnica e Extensão Rural para ATER Planificada em Agroecologia para Agricultor Familiar da Região Central do RS*; e (d) *Assistência Técnica e Extensão Rural para Agricultores Familiares da Serra Gaúcha*.

equipes multidisciplinares de técnicos (aproximadamente 25 técnicos), responsáveis pela execução da ATES junto às famílias de agricultores assentadas pelo Programa Nacional de Reforma Agrária daquele estado. Auxiliei na formação das equipes técnicas, ministrei cursos de capacitação de curta duração e estimulei cooperações com atores sociais e institucionais da região, a exemplo da Universidade Federal da Bahia – Campus Barreiras, Instituto Federal da Bahia e Companhia Nacional de Abastecimento. Também, no mesmo período, representei o INCRA no Comitê Estadual de Controle Social do Programa de Aquisição de Alimentos, como objetivo de acompanhar e avaliar projetos voltados para o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE) e Programa Nacional de Aquisição de Alimentos (PAA).

Posteriormente, ao retornar para o Rio Grande do Sul (RS), fui selecionado para atuar no projeto: Sistemas produtivos visando o aumento da disponibilidade e melhoria da qualidade da água – MAIS ÁGUA, coordenado pela Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária. Na ocasião fui bolsista CNPq (modalidade DTI-A) no período de 2013 – 2015. Sob condução do Departamento de Solos/UFSM, as ações contemplaram diagnósticos ambientais, com ênfase na compreensão e descrição dos principais fenômenos que governam a relação entre o manejo do solo e os processos dinâmicos associados ao movimento e à disponibilidade da água.

As ações ocorreram simultaneamente em diferentes bacias hidrográficas do RS, qual se destacam as realizadas na BH do Rio Guaporé. Operacionalmente as BHs foram monitoradas através de procedimentos técnicos para avaliar o comportamento da água em um grande número de eventos pluviométricos. O que inclui visitas periódicas em campo para a manutenção dos equipamentos instalados nas estações de monitoramento e para coletar solo, sedimentos e água, cujo objetivo era identificar o potencial poluidor dos diferentes sistemas de manejos agrícolas.

Durante este projeto nosso grupo de pesquisa registrou e analisou um conjunto abundante de dados sobre variáveis de precipitação, vazão, turbidez, concentração de sedimento em suspensão e em deposição, para melhor compreender as pressões geradas pelo desenvolvimento das atividades agrícolas em escala de BH. Como resultado se notabiliza a necessidade de priorizar, em primeiro lugar, a adequação das atividades à capacidade de uso do solo, o que requer um planejamento paisagístico-ambiental nos estabelecimentos agrícolas e também em nível de bacia hidrográfica. Isso contempla ajustes no traçado de estradas, melhorias nos arredores das instalações, proteção das nascentes, destinação adequada dos dejetos animais

e humanos, etc. Em segundo lugar, adotar práticas conservacionistas com menor revolvimento do solo, usar barreiras físicas nas lavouras para conter os efeitos da água das chuvas, ajustar as doses e tipos de fertilizantes e agrotóxicos visando manter e, até mesmo ampliar, a produtividade dos cultivos com menores impactos no meio ambiente.

A experiência constituída no tocante ao desenvolvimento rural, sistemas de produção agrícola familiar e, recentemente, estes temas aplicados à análise das pressões sobre os recursos naturais em nível de bacias hidrográficas, me estimularam a avançar para o doutorado. Ao escolher um curso que contemplasse essa temática optei pelo Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, da Universidade Federal de Pelotas (UFPel).

Vinculado à linha de pesquisa Agricultura e Desenvolvimento Rural Sustentável, sob orientação do Dr. Mário Conill Gomes, pude dar sequência aos estudos de BH. Contudo, nesta ocasião optamos por incluir o uso de abordagens multicritério de apoio à decisão, com o objetivo de organizar um conjunto de critérios capaz de avaliar os sistemas de produção quanto às pressões exercidas sobre os ecossistemas aquáticos da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé.

Durante o doutorado concorri ao edital Nº 47/2017, lançado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Através deste processo seletivo tive a oportunidade de realizar uma parte do doutorado no exterior, junto ao Departamento de Economia Agrária da Universidade de Córdoba (UCO/ES) período de 11/2018 a 05/2019). O objetivo desta instancia foi conhecer como é realizado o controle e domínio público da água na Espanha e suas possíveis correspondências com o Brasil. Além disso, o professor Dr. Julio Berbel Vecino, coorientador no exterior, concentra suas pesquisas na área de economia, sociologia e política agrária e ambiental, bem como, faz uso de abordagens multicritério para analisar a gestão integrada dos recursos hídricos.

A UCO está localizada na Comunidade Autônoma de Andaluzia, fundada em 1792, acolhe 21 mil estudantes, mais de 1200 professores e aproximadamente 700 servidores. Durante o período de intercambio fui acolhido pela equipe de investigação *WEARE (The Water, Environmental and Agricultural Resources Economics)*, que contempla na agenda de pesquisa as seguintes temáticas: gestão sustentável da água, instrumentos econômicos para a governança da água, modelagem matemática centrada na análise de políticas agrícolas e ambientais, modelagem do

comportamento de consumidores e agricultores, serviços ecossistêmicos e bens públicos fornecidos pelo setor agrícola, sustentabilidade dos sistemas agrícolas, tomada de decisão multicritérios.

O professor catedrático Dr. Julio Berbel, formado em Engenharia Agrônômica, com Mestrado em Economia Agrícola e Doutorado em Engenharia Agrícola é o coordenador da equipe *WEARE*. A sua produção acadêmica inclui a publicação de mais 120 artigos em periódicos de alta relevância científica. É revisor de várias revistas científicas, escreveu 49 capítulos de livros e é autor de outros 20 livros. Orientou 19 teses de doutorado e mais de 30 dissertações de mestrado. Além disso, Berbel dirigiu e integrou 32 projetos de pesquisa, sendo dezoito internacionais, o que resultou em diversas colaborações com universidades nacionais e estrangeiras. Ele participou ativamente da implementação da *Directiva-Quadro da Água*⁴⁴, bem como opera na elaboração de Planos de Demarcação Hidrológica da União Europeia.

Neste período de intercambio pude participar de diversas atividades acadêmicas (como: seminários, congressos e visitas técnicas), realizei contatos e estendi minha rede de relações profissionais, além de obter informações conceituais e metodológicas importantes para o desenvolvimento da presente tese. Participei, como ouvinte, da disciplina de *Gestión y dirección de empresas agroalimentarias*⁴⁵, cujo o objetivo foi conhecer os conceitos chaves na gestão de recursos e na tomada de decisões. Nesta ocasião tive a oportunidade de manejar programas e modelos (solver e lindo) aplicados a problemas relacionados aos conceitos mencionados.

Além disso, intermediei a aproximação da UFPel à UCO através de um convênio de cooperação internacional que está em fase final de aprovação. Este convênio tem por objetivo definir um protocolo de intenções para operacionalizar a mobilidade acadêmica de docentes e discentes dos Programas de Pós-Graduação da UFPel que estejam incluídos no Programa de Internacionalização da CAPES, aprovado pela UFPel recentemente.

Concretamente, o intercâmbio contribuiu com mecanismos conceituais, metodológicos, de aprendizagem e formação, além de qualificar e dar sequência as discussões teóricas sobre a temática de pesquisa pautada em dois grandes eixos: Agricultura Familiar e Gestão dos Recursos Hídricos, que pretendo seguir investigado na sequência da minha carreira acadêmica.

⁴⁴ Primeiro ato legislativo da Comunidade Europeia (atual União Europeia) no âmbito do meio ambiente.

⁴⁵ Ministrada no *Master de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes*.

Apêndice B – Roteiros de entrevistas e questionários

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE AGRONOMIA "ELISEU MACIEL"



134 anos
FUNDADA EM 8 DE DEZEMBRO DE 1883
CAIXA POSTAL-354 - CEP 96010-900
TELEFONE/FAX (053)3275-7250/3275-9031 - PELOTAS

TERMO DE CONSENTIMENTO

Título do estudo: **Análise dos Sistemas de Produção Agrícolas da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé (RS) e suas contribuições sobre a qualidade da água**

Pesquisadores responsáveis: **Mário Conill Gomes e Alexandre Troian**

Instituição: **Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel**

Telefone: (53 - 32757256 – r 7256)

Este projeto de pesquisa foi aprovado pelo **Conselho Coordenador do Ensino da Pesquisa e da Extensão da UFPel** em 09/06/2017, com o número de registro COCEPE 7375. Avaliado e aprovação também pela **Comissão Nacional de Ética em Pesquisa**, por meio do certificado número 2.749.715.

Os responsáveis pelo presente projeto se comprometem a preservar a confidencialidade dos dados dos participantes envolvidos no trabalho. Estas informações serão divulgadas, única e exclusivamente, em eventos ou publicações científicas, sem a identificação dos voluntários.

A entrevista para preenchimento do questionário poderá ocupar cerca de 50 minutos de seu tempo.

Autorização

Eu, _____, após a leitura (ou a escuta da leitura) deste documento e conversar com o pesquisador responsável, estou suficientemente informado que minha participação é voluntária e que posso retirar este consentimento a qualquer momento sem penalidades. Estou ciente também dos objetivos da pesquisa, dos procedimentos aos quais serei submetido, dos possíveis danos ou riscos deles provenientes e da garantia de confidencialidade. Diante do exposto e de espontânea vontade, expresso minha concordância em participar deste estudo e assino este termo em duas vias, uma das quais me foi entregue.

Assinatura do voluntário
Assinatura do responsável pela obtenção do TCLE

_____, (RS), _____

I - Roteiro de entrevista para caracterizar a problemática da água na Bacia Hidrográfica do Guaporé e estruturar o modelo multicritério

Informações básicas:

Nome: _____ Endereço: _____

E-mail: _____ Idade: _____ Escolaridade: _____

Profissão: _____

Perguntas abertas:

1. Quais são os principais problemas associados à água do Rio Guaporé e seus afluentes?
2. Quais são os principais problemas associados a agricultura e a água do Rio Guaporé e seus afluentes?
3. Como a instituição, a qual representa, tem tratado a temática dos recursos hídricos?
4. Definir os sistemas de produção da região.
5. Gostaria de fazer algum destaque sobre a situação do Rio Guaporé e seus afluentes?

1. Em que frequências são realizadas as reuniões do comitê?
2. Quais são os problemas de governança da água observados pelo Comitê?
3. Como são administrados os interesses entre as corporações locais, as entidades públicas e privadas?
4. De que modo se efetua a participação dos agricultores nestas estruturas descentralizadas de gestão?
5. Quais foram os avanços na governança da água através do Comitê?
6. Qual é a função das Unidades de Gestão?

II - Questionário para caracterizar a problemática da água na Bacia Hidrográfica do Guaporé e estruturar o modelo multicritério

Informações básicas:

Nome: _____ Endereço: _____
 E-mail: _____ Idade: _____ Escolaridade: _____
 Profissão: _____

1. Como o sr. a classifica a QUALIDADE das águas do Rio Guaporé e de seus afluentes?

- ☐ Excelente
☐ Muito Bom
☐ Bom
☐ Regular
☐ Ruim

Por quê? _____

A partir desta questão, se DESTACOU na escala do quadro ao lado, o valor entre 1 e 5 correspondente a cada um dos enunciados.

2. Quais os USOS das águas na Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé que o sr.(a) considera mais importantes?

	1 - Não aplicável 5 – Totalmente aplicável				
	1	2	3	4	5
Consumo humano	☐	☐	☐	☐	☐
Consumo animal	☐	☐	☐	☐	☐
Usos industriais	☐	☐	☐	☐	☐
Irrigação	☐	☐	☐	☐	☐
Pesca	☐	☐	☐	☐	☐
Mineração pedreiras, etc.	☐	☐	☐	☐	☐
Geração de energia elétrica	☐	☐	☐	☐	☐
Recreação tomar banho no rio, etc.	☐	☐	☐	☐	☐
Harmonia paisagística	☐	☐	☐	☐	☐
Manutenção da vida aquática	☐	☐	☐	☐	☐
Outros:	☐	☐	☐	☐	☐
Comente se quiser:					

3. Em sua opinião, analisando a Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé, quais são os maiores PROBLEMAS relativos aos recursos hídricos?

	1 - Não aplicável 5 – Totalmente aplicável				
	1	2	3	4	5
Assoreamento dos rios	☐	☐	☐	☐	☐
Desmatamento ciliar	☐	☐	☐	☐	☐
Diminuição no volume de água nos canais	☐	☐	☐	☐	☐
Eutroficação e degradação da biodiversidade	☐	☐	☐	☐	☐
Falta de água	☐	☐	☐	☐	☐
Inexistência de vida aquática e extinção da fauna regional	☐	☐	☐	☐	☐
Inundações no período de chuvas intensas	☐	☐	☐	☐	☐
Poluição das águas subterrâneas	☐	☐	☐	☐	☐

Poluição das águas superficiais	☐	☐	☐	☐	☐
Poluição de ecossistemas importantes como banhados e nascentes de rios	☐	☐	☐	☐	☐
Redução abrupta da água quando há pequenas estiagens	☐	☐	☐	☐	☐
Usos desordenados das águas	☐	☐	☐	☐	☐
Outros:	☐	☐	☐	☐	☐
Comente se quiser:					

4. Em sua opinião, quais são as principais CAUSAS relacionadas diretamente aos problemas com os recursos hídricos da bacia do Rio Guaporé?

	1 - Não aplicável 5 – Totalmente aplicável				
	1	2	3	4	5
Escoamento das águas da chuva com detritos de lixões para os cursos de água	☐	☐	☐	☐	☐
Escoamento superficial rural para os cursos de água	☐	☐	☐	☐	☐
Escoamento superficial urbano para os cursos de água	☐	☐	☐	☐	☐
Lançamento de efluentes da criação animal nos cursos de água	☐	☐	☐	☐	☐
Lançamento de esgotos domésticos rurais nos cursos de água	☐	☐	☐	☐	☐
Lançamento de esgotos domésticos urbanos nos cursos de água	☐	☐	☐	☐	☐
Lançamento de efluentes industriais nos cursos de água	☐	☐	☐	☐	☐
Lançamento de lixo das áreas urbanas nos cursos de água	☐	☐	☐	☐	☐
Lançamento de lixo pela agropecuária nos cursos de água	☐	☐	☐	☐	☐
Outros:	☐	☐	☐	☐	☐
Comente se quiser:					

5. Considerando os diferentes usos da água pelo homem e suas atividades socioeconômicas na cidade e no meio rural, que fatores contribuem para aos problemas dos recursos hídricos da bacia do Rio Guaporé?

	1 - Não aplicável 5 – Totalmente aplicável				
	1	2	3	4	5
Ausência de barreiras físicas para diminuir o escoamento da água	☐	☐	☐	☐	☐
Criação de animal sem manejo adequado	☐	☐	☐	☐	☐
Cultivo agrícolas em Áreas de Preservação Permanente	☐	☐	☐	☐	☐
Estradas mal alocadas	☐	☐	☐	☐	☐
Falta de tratamento dos esgotos domésticos rurais	☐	☐	☐	☐	☐
Falta de tratamento dos efluentes industriais	☐	☐	☐	☐	☐
Fragmentação dos estabelecimentos agrícolas	☐	☐	☐	☐	☐
Geração de grandes volumes de dejetos animais suínos, frangos e bovinos	☐	☐	☐	☐	☐
Inexistência de um local adequado para disposição final dos resíduos sólidos lixo	☐	☐	☐	☐	☐
Manejo inadequado do solo na agricultura	☐	☐	☐	☐	☐
Modelo de agricultura praticado na região	☐	☐	☐	☐	☐
Ocupação irregular de áreas próximo aos cursos de água	☐	☐	☐	☐	☐
Ocupação/uso do espaço urbano (cidades) sem planejamento, sem coleta e tratamento dos esgotos domésticos	☐	☐	☐	☐	☐
Ocupação/uso do solo no meio rural sem planejamento agrônomo ambiental	☐	☐	☐	☐	☐
Substituição da vegetação nativa para dar lugar a culturas agrícolas e árvores exóticas	☐	☐	☐	☐	☐
Supressão da mata ciliar dos rios e nascentes	☐	☐	☐	☐	☐
Uso do solo com monoculturas	☐	☐	☐	☐	☐
Uso excessivo de fertilizantes e agrotóxicos na agricultura	☐	☐	☐	☐	☐
Outros:	☐	☐	☐	☐	☐
Comente se quiser:					

6. Em sua opinião, as CONSEQUÊNCIAS mais graves dos problemas com os recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé, podem ser:

	1 - Não aplicável 5 – Totalmente aplicável				
	1	2	3	4	5
Custo elevado da água	☐	☐	☐	☐	☐
Encarecimento do abastecimento público porque a água precisa ser captada mais longe	☐	☐	☐	☐	☐
Encarecimento do abastecimento público porque a água precisa de tratamentos adicionais	☐	☐	☐	☐	☐
Impossibilidade de recreação e lazer por falta de qualidade da água não ser mais possível tomar banho no rio, etc.	☐	☐	☐	☐	☐
Inviabilidade da pesca no rio pela mortandade dos peixes	☐	☐	☐	☐	☐
Inviabilidade do turismo ecológico na região	☐	☐	☐	☐	☐
Prejuízo ao desenvolvimento regional por indústrias não poderem se instalar na região	☐	☐	☐	☐	☐
Prejuízo da harmonia paisagística na região pois a água tem odor desagradável e aspecto ruim	☐	☐	☐	☐	☐
Problemas de saúde com relação ao uso e consumo da água	☐	☐	☐	☐	☐
Redução da produção/produtividade agropecuária	☐	☐	☐	☐	☐
Restrição do plantio de alguns cultivos agrícolas devido à má qualidade da água	☐	☐	☐	☐	☐
Outros:	☐	☐	☐	☐	☐
Comente se quiser:					

7. Em sua opinião, as maiores DIFICULDADES para solucionar os problemas são:

	1 - Não aplicável 5 – Totalmente aplicável				
	1	2	3	4	5
A população da Bacia Hidrográfica não está disposta a pagar pelo uso da água buscando a sua preservação	☐	☐	☐	☐	☐
A população da Bacia Hidrográfica não possui esclarecimentos suficientes sobre a importância da preservação da água	☐	☐	☐	☐	☐
As empresas públicas e/ou privadas não têm interesse em executarem obras de melhorias	☐	☐	☐	☐	☐
As empresas públicas e/ou privadas não têm recursos financeiros para executarem obras de melhorias	☐	☐	☐	☐	☐
Baixa representatividade municipal na tomada de decisões	☐	☐	☐	☐	☐
Dissociação entre quem usa, consome e gerencia a água	☐	☐	☐	☐	☐
Falta de gestão da ocupação territorial	☐	☐	☐	☐	☐
Falta de planejamento do uso da terra pelos responsáveis legais municípios e Estado	☐	☐	☐	☐	☐
Falta de planejamento e coordenação do uso da água pelos usuários da bacia	☐	☐	☐	☐	☐
Falta de interesse político dos governantes para produzirem melhorias para os recursos hídricos	☐	☐	☐	☐	☐
Fraca articulação entre políticas ambientais	☐	☐	☐	☐	☐
Os governos municipais e estaduais não possuem recursos financeiros para fazerem melhorias	☐	☐	☐	☐	☐
Os sindicatos rurais e associações de produtores não são sensíveis a problemática	☐	☐	☐	☐	☐
Resistência a processos descentralizados e participativos de gestão e tomada de decisão	☐	☐	☐	☐	☐
Outros:	☐	☐	☐	☐	☐
Comente se quiser:					

8. Em sua opinião, existem CONFLITOS entre os usos da água do Rio Guaporé?

	1 - Não aplicável 5 – Totalmente aplicável				
	1	2	3	4	5
Abastecimento público e lançamento de efluentes da criação animal	☐	☐	☐	☐	☐
Abastecimento público e lançamento de esgotos domésticos	☐	☐	☐	☐	☐
Abastecimento público e lançamento de esgotos industriais	☐	☐	☐	☐	☐
Abastecimento público e presença de agrotóxicos	☐	☐	☐	☐	☐
Abastecimento público e retirada de água para irrigação	☐	☐	☐	☐	☐
Agricultura e a qualidade da água	☐	☐	☐	☐	☐
Chuvas normais e enchentes, em especial na foz do Rio Guaporé	☐	☐	☐	☐	☐
Crescimento populacional <i>versus</i> abastecimento e falta de saneamento	☐	☐	☐	☐	☐
Falta de água aos cultivos (secas/estiagens) mesmo chovendo bastante	☐	☐	☐	☐	☐
Harmonia paisagística e lançamento de efluentes em geral	☐	☐	☐	☐	☐
Proteção da vida aquática e lançamento de esgotos da zona rural	☐	☐	☐	☐	☐
Proteção da vida aquática e lançamento de esgotos da zona urbana	☐	☐	☐	☐	☐
Recreação tomar banho no rio, etc. e lançamento de esgotos domésticos e efluentes industriais	☐	☐	☐	☐	☐
Usos industriais e lançamento de efluentes da criação animal	☐	☐	☐	☐	☐
Usos industriais e lançamento de esgotos domésticos	☐	☐	☐	☐	☐
Outros:	☐	☐	☐	☐	☐
Comente se quiser:					

9. Quais as AÇÕES NÃO ESTRUTURAIS que, em sua opinião, poderiam melhorar as condições das águas do Rio Guaporé?

	1 - Não aplicável 5 – Totalmente aplicável				
	1	2	3	4	5
Ampliação da rede de monitoramento da qualidade da água aumentando as estações de amostragem	☐	☐	☐	☐	☐
Aplicação somente de dejetos curtidados, evitando aplicar em dias de chuva	☐	☐	☐	☐	☐
Controle da extração de areia do leito dos rios através de fiscalização pela FEPAM	☐	☐	☐	☐	☐
Controle do desmatamento através de mapeamentos do uso do solo	☐	☐	☐	☐	☐
Controle do desperdício de água por negligência operacional e problemas nos equipamentos	☐	☐	☐	☐	☐
Controle do uso excessivo de fertilizantes e agrotóxicos incentivando outras práticas agrícolas	☐	☐	☐	☐	☐
Execução do enquadramento dos corpos de água em classe de uso	☐	☐	☐	☐	☐
Fiscalização do tratamento dos efluentes industriais das empresas de pequeno e médio porte	☐	☐	☐	☐	☐
Fomento a processos de reúso da água pelo setor industrial	☐	☐	☐	☐	☐
Incentivo à cobrança pelo uso da água como medida de racionalização de seu uso	☐	☐	☐	☐	☐
Orientação dos produtores rurais para o manejo adequado dos efluentes da criação animal	☐	☐	☐	☐	☐
Planejamento e controle do uso e ocupação da terra na região através de Planos Diretores Municipais	☐	☐	☐	☐	☐
Preservação de ecossistemas importantes como banhados e nascentes	☐	☐	☐	☐	☐
Programas de comunicação social de massa para esclarecer a população sobre a importância da preservação dos recursos hídricos da bacia	☐	☐	☐	☐	☐
Programas de educação ambiental nas escolas locais	☐	☐	☐	☐	☐
Restrição de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras	☐	☐	☐	☐	☐
Outros:	☐	☐	☐	☐	☐
Comente se quiser:					

10. Quais as AÇÕES ESTRUTURAIS que, em sua opinião, poderiam ser executadas para melhorar as condições das águas do Rio Guaporé?

	1 - Não aplicável 5 – Totalmente aplicável				
	1	2	3	4	5
Cercamento dos arroios e rios para evitar o acesso direto dos animais	☐	☐	☐	☐	☐
Construção de barreiras de retenção e drenagens agrícolas para reduzir a erosão das lavouras	☐	☐	☐	☐	☐
Construção de canais e sistemas de infiltração para conter o escoamento das águas da chuva com esgotos domésticos e outros detritos	☐	☐	☐	☐	☐
Construção de diques para conter o assoreamento dos rios	☐	☐	☐	☐	☐
Construção de estações de tratamento individuais de esgotos domésticos rurais	☐	☐	☐	☐	☐
Construção de estações de tratamento parcial para efluentes de estábulos, pocilgas e aviários	☐	☐	☐	☐	☐
Construção de redes coletoras e estações de tratamento de esgotos domésticos urbanos	☐	☐	☐	☐	☐
Desobstrução dos rios assoreados	☐	☐	☐	☐	☐
Destinação adequada do lixo através da construção de aterros sanitários e de coleta seletiva	☐	☐	☐	☐	☐
Recuperação de banhados e nascentes	☐	☐	☐	☐	☐
Remoção da ocupação irregular nas margens dos cursos de água da bacia	☐	☐	☐	☐	☐
Reparar as infiltrações das redes coletoras de esgotos	☐	☐	☐	☐	☐
Revegetação das margens dos rios, arroios e nascentes para conter a erosão e reter o lançamento de contaminantes	☐	☐	☐	☐	☐
Realocação de lixões de zonas críticas ambientais	☐	☐	☐	☐	☐
Outros:	☐	☐	☐	☐	☐
Comente se quiser:					

11. Em sua opinião, quais são as principais EXPLICAÇÕES para os problemas dos recursos hídricos da bacia do Rio Guaporé?

	1 - Não aplicável 5 – Totalmente aplicável				
	1	2	3	4	5
A escassez de recursos econômicos	☐	☐	☐	☐	☐
A falta de esclarecimento da população sobre a importância de preservar os recursos hídricos	☐	☐	☐	☐	☐
A falta de fiscalização ambiental	☐	☐	☐	☐	☐
A falta de informações sobre o uso da água	☐	☐	☐	☐	☐
A falta de interesse e apoio político	☐	☐	☐	☐	☐
A resistência a processos descentralizados e participativos de decisões sobre a bacia hidrográfica	☐	☐	☐	☐	☐
O não cumprimento de leis e regulamentos ambientais	☐	☐	☐	☐	☐
Outros:	☐	☐	☐	☐	☐
Comente se quiser:					

12. QUEM CAUSA os maiores problemas na qualidade das águas da bacia do Rio Guaporé?

	1 - Não aplicável 5 – Totalmente aplicável				
	1	2	3	4	5
Agricultura	☐	☐	☐	☐	☐
Hidroelétricas	☐	☐	☐	☐	☐
Indústria	☐	☐	☐	☐	☐

Pecuária	☐	☐	☐	☐	☐
População da bacia em geral	☐	☐	☐	☐	☐
Outros:	☐	☐	☐	☐	☐
Comente se quiser:					

13. Em sua opinião, os RESPONSÁVEIS pelo gerenciamento dos problemas com os recursos hídricos da bacia do Rio Guaporé são?

	1 - Não aplicável 5 – Totalmente aplicável				
	1	2	3	4	5
A população da bacia como um todo	☐	☐	☐	☐	☐
O comitê de bacias	☐	☐	☐	☐	☐
O governo federal	☐	☐	☐	☐	☐
O governo municipal e estadual	☐	☐	☐	☐	☐
O setor de abastecimento público/esgotamento sanitário	☐	☐	☐	☐	☐
O setor de geração de energia	☐	☐	☐	☐	☐
O setor de mineração pedreiras, etc.	☐	☐	☐	☐	☐
O setor de turismo e lazer	☐	☐	☐	☐	☐
O setor industrial	☐	☐	☐	☐	☐
O setor pesqueiro/criação de peixes	☐	☐	☐	☐	☐
Os agricultores	☐	☐	☐	☐	☐
Ninguém deve ser responsabilizado pelas decisões	☐	☐	☐	☐	☐
Outros:	☐	☐	☐	☐	☐
Comente se quiser:					

14. Quem DEVERIA ser os RESPONSÁVEIS PELA TOMADA DE DECISÕES relativas aos usos dos recursos hídricos da bacia?

	1 - Não aplicável 5 – Totalmente aplicável				
	1	2	3	4	5
A população da bacia através do COMITÊ	☐	☐	☐	☐	☐
O poder econômico do mercado através da cobrança pelo uso	☐	☐	☐	☐	☐
Os setores governamentais e o COMITÊ	☐	☐	☐	☐	☐
Os setores governamentais em consulta à sociedade da bacia	☐	☐	☐	☐	☐
Os setores governamentais locais ligados ao abastecimento de água e esgotamento sanitário	☐	☐	☐	☐	☐
Os setores governamentais sem consulta à sociedade	☐	☐	☐	☐	☐
Outros:	☐	☐	☐	☐	☐
Comente se quiser:					

III – Questionário aplicado com agricultores para validar o modelo multicritério

Parte I

1. DADOS PESSOAIS DO RESPONSÁVEL PELO ESTABELECIMENTO AGRÍCOLA

1.1. Nome do Entrevistado: _____

1.2. Município/Localidade: _____

1.3 Contato: _____

2. DADOS BÁSICOS DOS DEMAIS INTEGRANTES DA FAMÍLIA

	Parentesco do patriarca ou matriarca	Sexo	Idade	N. de anos de estudo	Ocupação*	Tempo p/atividade agrícola (0 - 10)
1	Entrevistado					
2						
3						
4						
5						

*Preencher o quadro com os códigos: Ocupação: (a) Agricultor (b) Assalariado Rural Permanente (c) Assalariado Rural Temporário (d) Assalariado Urbano (e) do lar (f) Comerciante (g) Estudante (h) Aposentado Rural (i) Aposentado Urbano (j) outros.

3. DADOS DA PROPRIEDADE E DE PRODUÇÃO

3.1 Área Total (ha): _____ 3.2 Área Produtiva (ha): _____ 3.3 Áreas de Florestas (ha): _____

3.4 Situação do imóvel: **(a)** Próprio **(b)** Arrendado **(c)** Cedido **(d)** Ocupado **(e)** Meeiro **(f)** Outra. Qual?

3.5 Tipo de abastecimento da água para o consumo humano?

(a) Rede pública **(b)** Poço artesiano comunitário **(c)** Poço artesiano na propriedade **(d)** Poço comum/nascente na propriedade

3.6 Produção Agropecuária:

	Principais Atividades agrícolas (descrever)	Área (ha)		Quanto produziu na última safra	% em relação ao total da renda
		Terceiros	Própria		
1					
2					
3					
4					
	Total				
	Principais Atividades pecuárias	Área	n. animais	Quantidade	% em relação ao total da renda
1					
2					
3					
	Outras rendas			Valor	100%
	Arrendamento				
	Renda de Prestação de Serviço				
	Assalariado (a) Urbano				
	Outra				
	TOTAL GERAL				

Parte II

1. OCUPAÇÃO DA TERRA E MANEJO DO SOLO

1.1 Em quantas glebas (lavouras) estão distribuídos os cultivos agrícolas do Sr.?

- (a) Uma (b) Duas (c) Três (d) Quatro (e) Mais de quatro

1.2 O Sr. sabe informar a distância da lavoura mais “representativa” do estabelecimento agrícola até o córrego, fonte de água ou similar?

- (a) Inferior a 30 metros (b) Entre 30 e 40 metros (c) Entre 40 e 50 metros (d) Entre 50 e 60 metros (e) Mais de 60 metros

1.3 Como os animais acessam a água na propriedade do Sr.?

- (a) Não têm acesso no ambiente natural (b) Açudes (c) Banhados (d) Córregos em corredores específicos (e) Córregos em corredores definidos

2. PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS

2.1 Como o Sr. realiza o preparo do solo?

- (a) Sistema de plantio direto (b) Sistema de plantio direto deficitário (c) Sistema de cultivo mínimo (d) Sistema de cultivo convencional

2.2 A área “principal” é ocupada com algum cultivo ou criação na entre safra (outono/inverno)?

Descrever: _____

2.2.1 Cobertura do solo por resíduo no período da entre safra (outono/inverno)?

- (a) Mais de 80% da superfície coberta (b) Entre 60 e 80% (c) Entre 40 e 60% (d) Entre 25 e 40% (e) Menos de 20% da superfície coberta

2.3 O Sr. costuma implementar alguma prática para contenção da água da chuva?

- Terraços, cordões vegetais e afins (Sim) Cultivo em nível (Sim)
(Não) (Não)

3. CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE E DO SOLO (este item foi obtido através de informações fornecidas pelo agricultor e observação *in loco*)

3.1 A declividade do terreno cultivado na área mais representativa do estabelecimento agrícola é:

- (a) Inferior a 6% (b) Entre 6 e 12% (c) Entre 12 a 16% (d) Entre 16 e 25% (e) Acima de 25%

3.2 Potencial de erodibilidade do solo cultivado

- (a) Incipiente (b) Moderado (c) Forte

Características do solo	Observações
Compactação superficial	
Estrutura de agregados	
Sinais de erosão na lavoura	
Capacidade de infiltração do solo	
Drenagem da água	
Retenção de água	

3.3 Profundidade média do solo cultivado

- (a) Superior a 150 cm (b) Entre 100 e 150 cm (c) Entre 50 e 100 cm (d) Inferior a 50 cm

3.4 Textura do solo

- (a) Argilosa - teor > 35% de argila (b) Média - teor 15 - 35% de argila (c) Arenosa - < 15% de argila

4. USO DE FERTILIZANTES**4.1 O Sr., alguma vez realizou análise de solo? Caso sim quando foi a última?** _____

Copiar: Índice de M.O _____; N _____; P _____; k _____

4.2 O Sr. lembra de qual foi a formulação do fertilizante utilizado na última safra? _____ **E qual foi a dosagem utilizada por ha** _____ **no cultivo de** _____**4.3 Qual das técnicas o Sr. costuma utilizar para aplicar fertilizante?**

- (a) Adubação de correção mais adubação por semeadura (b) Adubação por semeadura (c) Adubação por semeadura e a lanço (d) Adubação a lanço

4.4 O Sr. considera relevantes as condições climáticas para aplicar fertilizante mineral? _____

Por quê? _____

- (a) Sempre observa, pois é fundamental (b) Às vezes observa, pois considera indiferente (c) Não observa, pois é irrelevante

5. USO DE ESTERCO**5.1 O Sr. aplica esterco da criação animal nas áreas de cultivo?** _____

- (a) Aves (b) Suínos (c) Bovinos. Quantas vezes por ano aplica na mesma área? _____

Em que período costuma aplicar o esterco? _____

Saberia informar aproximadamente o volume aplicado? _____

5.2 Como o esterco é aplicado?

- (a) Aplicado na superfície e esporadicamente incorporado no solo (b) Sempre na superfície (c) Na superfície no pós-plantio ou transplante

5.3 (Similar 4.4) O Sr. observa as condições climáticas para aplicar o esterco?

- (a) Sempre observa, pois é fundamental (b) Às vezes observa, pois considera indiferente (c) Não observa, pois é irrelevante

5.4 Como é o sistema de armazenamento (depósito, estrumeira, lagoa de decantação...)

- (a) É coberto, impermeabilizado e possui canaletas de drenagem (b) É coberto, impermeabilizado, porém sem canaletas de drenagem (c) Não possui sistema de criação animal na UPA (d) Não possui cobertura, é impermeabilizado e possui canaleta de drenagem (e) Não é coberto, não é impermeabilizado, não possui canaleta de drenagem

6. USO DE AGROTÓXICOS

6.1 O Sr. Utiliza agrotóxico nos cultivos? _____ . Caso sim, usa em para qual finalidade?

- (a) Herbicida pré-emergente (b) Herbicida pós-emergente (c) Inseticida (d) Fungicida

6.2 Se resolvêssemos estimar, poderíamos dizer que o volume utilizado por ha cultivado é de:

- (a) Menos de 3 L/ha/ano (b) Inferior a 5 e superior a 3 L/ha/ano (c) Inferior a 10 e superior a 5 L/ha/ano (d) Mais de 10 L/ha/ano

6.3 O Sr. solicita o receituário agrônomo quando adquire um agrotóxico? _____ . Segue as recomendações estabelecidas nele? _____

6.4 O Sr. verifica se o produto é o recomendado para a finalidade que deseja usar (nome comercial, ingrediente ativo e concentração)? _____ . O Sr. lê a bula, observa as cores e as traças contidas nas embalagens? _____
Qual é a cor de, pelo menos, dois dos agrotóxicos apontado em 6.1? _____

6.5 (Similar 4.4 e 5.3) O Sr. observar as condições climáticas para aplicar o agrotóxico?

- (a) Sempre observa, pois é fundamental (b) Às vezes observa, pois considera indiferente (c) Não observa, pois é irrelevante

7. DESCARTES DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS

7.1 Qual é o destino que o Sr. costuma dar as embalagens de agrotóxicos?

- (a) As embalagens são descartadas na propriedade em um lugar que considerado adequado (b) São descartadas na propriedade independentemente do local (c) As embalagens são entregues nos postos de coletas

7.2 Antes de descartar, as embalagens são lavadas (tríplice lavagem)?

- (a) Sim (b) Não

7.3 Descarte de animais mortos

- (a) São incinerados (b) Na composteira tradicional (c) Enterrados em vala comum (d) Descartados em "céu aberto"

7.4 Qual o destino dado para os produtos de logística reversa (baterias, óleos e lubrificantes, pneus, lâmpadas, produtos eletrônicos e seus componentes)?

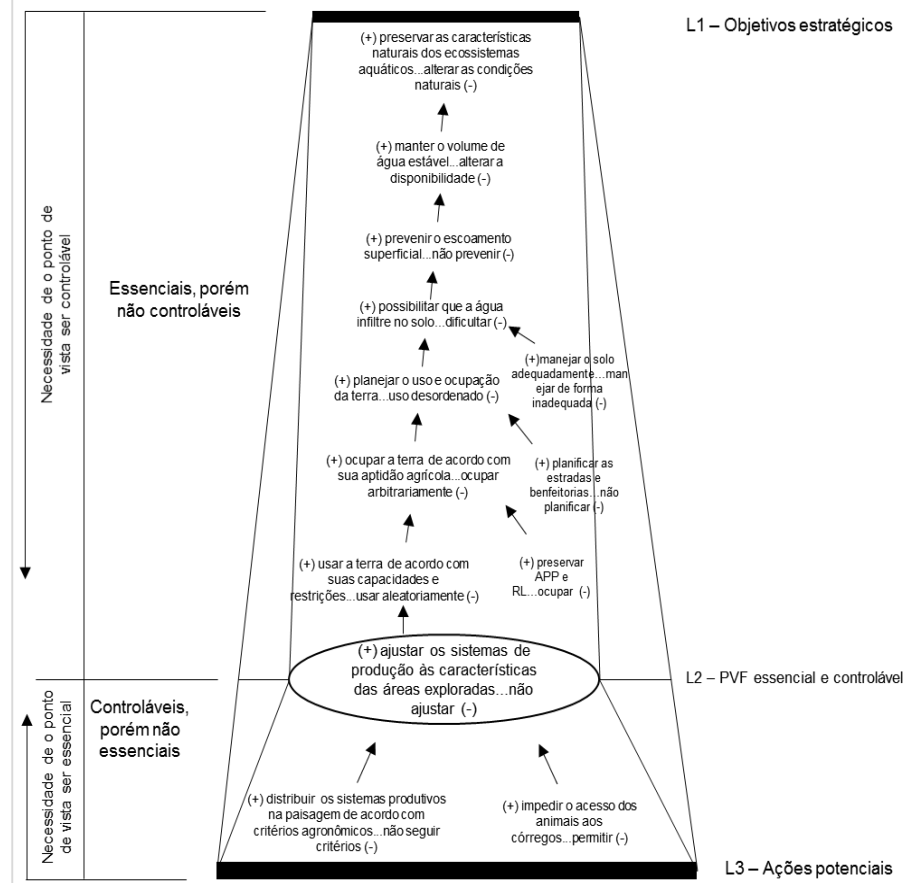
- (a) São separados e descartados em lugar que considera adequado na propriedade (b) São separados e entregues nos postos de recolhimento (c) São entregues nos postos de recolhimento sem serem separados (d) São descartados na propriedade sem serem separados

7.5 Como é realizado o descarte dos demais resíduos da produção agrícola (embalagens de fertilizantes, rações, peças de máquinas e equipamentos, entre outros)?

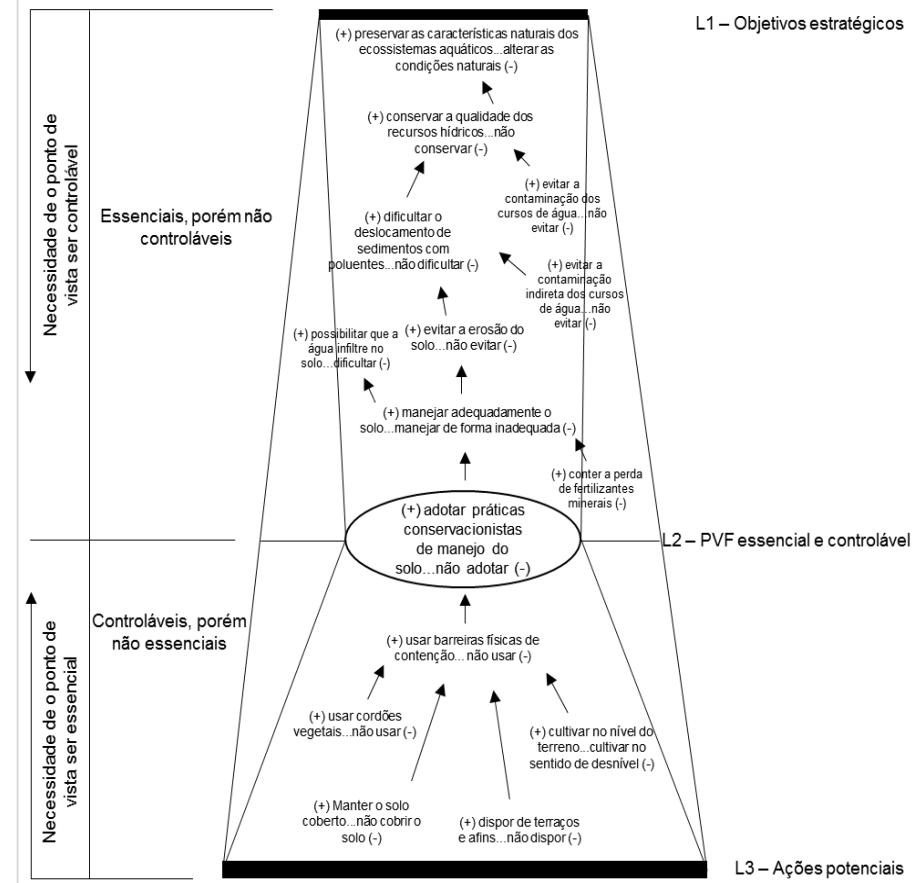
- (a) A maior parte é reutilizada na propriedade (b) É enterrado na propriedade (c) É separado segundo a sua constituição ou composição, e destinado para a reciclagem (d) É queimado na propriedade (e) É descartado "a céu aberto" na propriedade

Apêndice C – Enquadramento dos Pontos de Vista Fundamentais (PVFs)

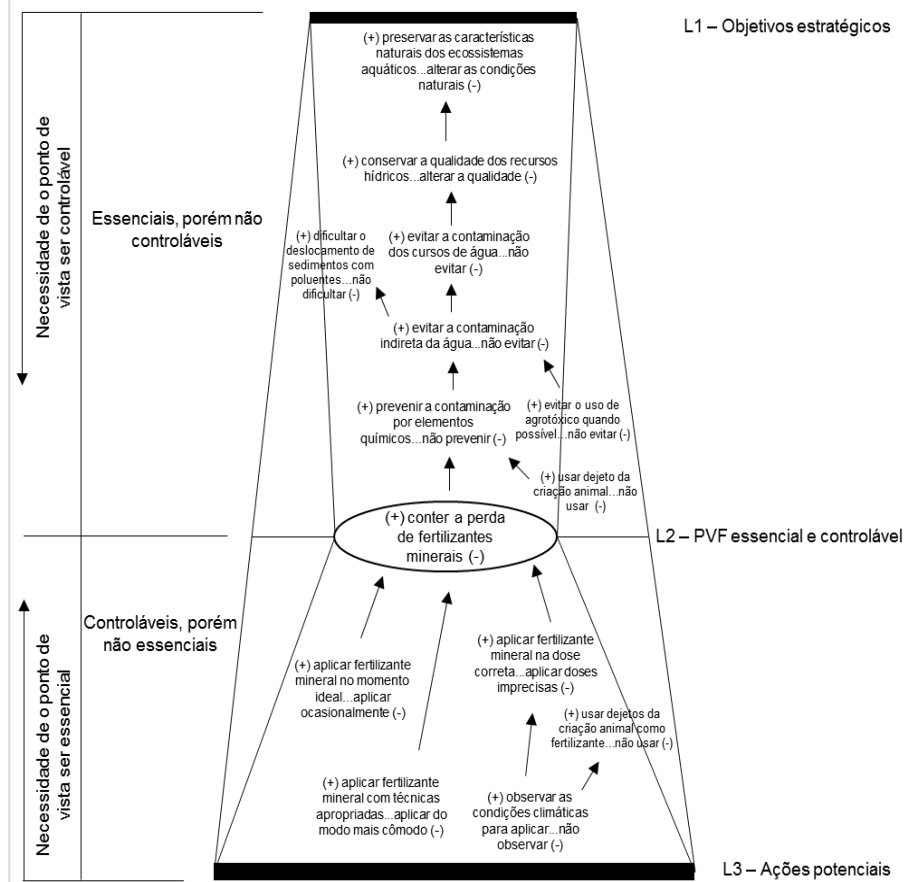
Enquadramento do ramo “características do ambiente e do solo”



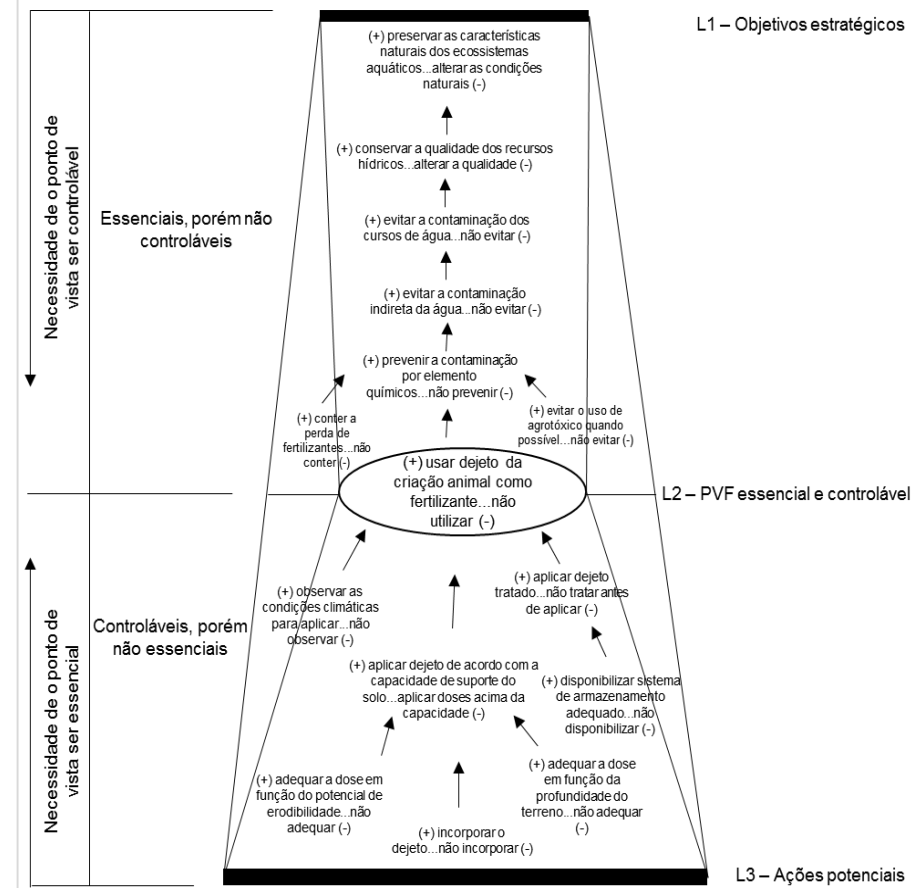
Enquadramento do ramo “práticas conservacionistas”



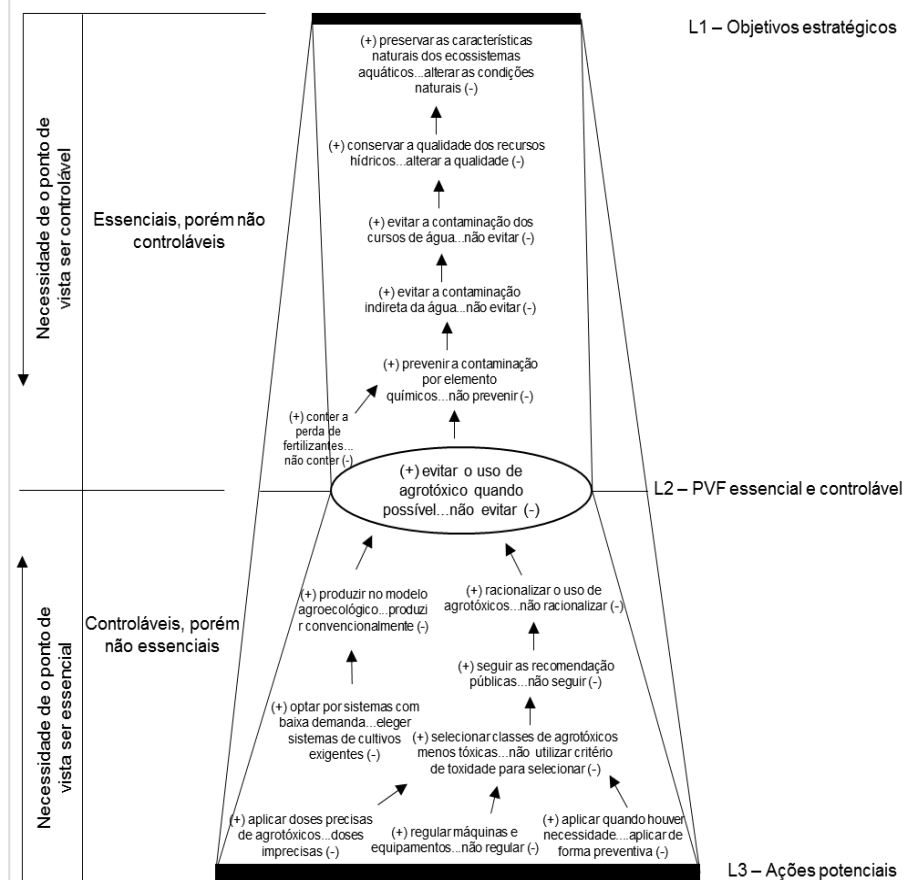
Enquadramento do ramo “fertilizantes minerais”



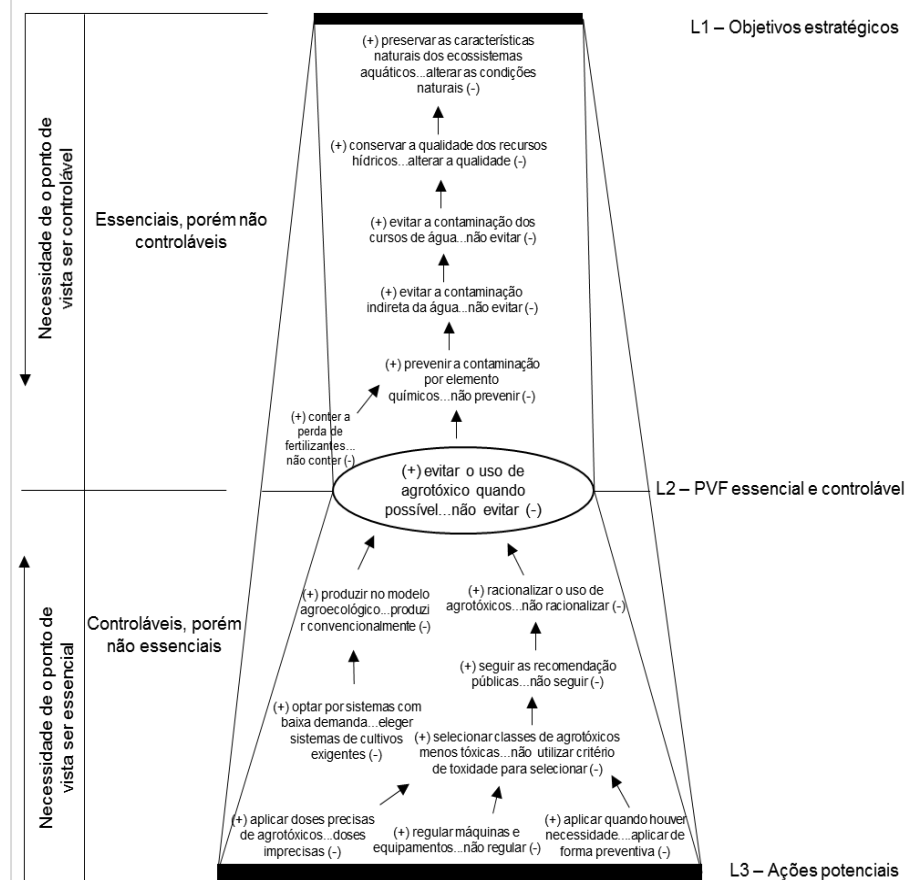
Enquadramento do ramo “dejetos animais”



Enquadramento do ramo “agrotóxicos”



Enquadramento do ramo “agrotóxicos”



Apêndice D – Matriz de comparação para a par dos subcritérios do modelo multicritério

Subcritérios	Razão entre a área de cultivo e a área do estabelecimento	Distribuição de cultivos e criações na paisagem	Distância da lavoura até o(s) córrego(s)	Água para dessedentação animal	Grau de declividade do terreno cultivado	Potencial de erodibilidade do solo cultivado	Profundidade média do solo cultivado	Textura do solo cultivado	Preparo do solo	Cobertura do solo por resíduos	Barreiras físicas de contenção da água da chuva	Dose de fertilizante aplicada	Técnica utilizada para aplicar fertilizante	Condições climáticas para aplicar fertilizante mineral	Volume de dejetos utilizado por ano agrícola	Técnica utilizada para aplicar dejetos	Condições climáticas para aplicar dejetos	Sistema de armazenamento do dejetos	Volume de agrotóxico utilizado	Recomendações oficiais	Condições climáticas para aplicar agrotóxico	Descarte de embalagens de agrotóxicos	Descarte de animais mortos	Descarte de produtos de logística reversa	Resíduos agrossilvopastoris não perigosos	Total	Peso em relação ao modelo
Razão entre a área de cultivo e a área do estabelecimento		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	11,7%
Distribuição de cultivos e criações na paisagem	0		1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	8,2%
Distância da lavoura até o(s) córrego(s)	0	0		1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	18	7,0%
Água para dessedentação animal	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	7	1,2%
Grau de declividade do terreno cultivado	0	0	1	1		1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	20	8,3%
Potencial de erodibilidade do solo cultivado	0	0	0	1	0		1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	16	5,8%
Profundidade média do solo cultivado	0	0	0	1	0	0		1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	11	2,5%
Textura do solo cultivado	0	0	0	1	0	0	0		0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	10	1,7%
Preparo do solo	0	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	10,6%
Cobertura do solo por resíduos	0	0	1	1	1	1	1	1	0		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21	8,5%
Barreiras físicas de contenção da água da chuva	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0		1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	17	6,3%
Dose de fertilizante aplicada	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0		0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	12	2,6%
Técnica utilizada para aplicar fertilizante	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0		1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	10	1,3%
Condições climáticas para aplicar fertilizante mineral	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	0,3%
Volume de dejetos utilizado por ano agrícola	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1		1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	15	4,0%
Técnica utilizada para aplicar dejetos	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0		1	1	0	0	1	1	1	1	1	12	2,8%
Condições climáticas para aplicar dejetos	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1		1	0	0	0	1	1	1	1	8	1,2%
Sistema de armazenamento do dejetos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0		0	0	0	0	0	1	1	5	0,4%
Volume de agrotóxico utilizado	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	19	7,8%
Recomendações oficiais	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0		1	1	1	1	1	14	3,9%
Condições climáticas para aplicar agrotóxico	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0		1	1	1	1	10	2,3%
Descarte de embalagens de agrotóxicos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0		1	1	1	6	0,7%
Descarte de animais mortos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0		1	1	5	0,5%
Descarte de produtos de logística reversa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		1	0	0,1%	
Resíduos agrossilvopastoris não perigosos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		0	0,1%

Nota: Se a **P** b → coloca-se 1 na linha a e 0 na coluna b; Se b **P** a → coloca-se 1 na linha b e 0 na coluna a; Se a **I** b → coloca-se a mesma pontuação na linha e na coluna; (Sendo **P** = Preferível; **I** = Indiferente).

Apêndice E – Pontuação resultado dos questionários aplicado junto aos agricultores

			ESTABELECIMENTOS AGRÍCOLAS													
			Grãos de sequeiro (soja)				Lavouras convencionais (tabaco)			Explorações perenes (erva-mate)				Criações animais (suínos e bovinos de leite)		
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	k	L	M	N
PVF 1. Uso da terra																
Razão entre a área cultivada e a área do estabelecimento																
As áreas de florestas correspondem a mais de 30% da área do estabelecimento agrícola	100	N ₃					100	100						0	0	0
As áreas de florestas correspondem entre 20 e 30% da área dos estabelecimentos agrícolas	0	N ₂	0			0			0	-150	-150		-150	0	0	0
As áreas de florestas correspondem a menos de 20% da área do estabelecimento	-150	N ₁		-150	-150											
Taxa de compensação (41,7%)			0	-62,5	-62,5	0	41,7	41,7	0	-62,5	-62,5	0	-62,5	0	0	0
Distribuição de cultivos e criações na paisagem																
O estabelecimento possui mais de quatro glebas cultivadas	150	N ₅														
O estabelecimento possui quatro glebas	100	N ₄		100		100			0					100		
O estabelecimento possui três glebas cultivadas	50	N ₃			50		50			50			50		50	
O estabelecimento possui duas glebas cultivadas	0	N ₂						0			0	0				0
O estabelecimento possui somente uma gleba cultivada	-100	N ₁	-100													
Taxa de compensação (29,2%)			-29,2	29,2	14,6	29,2	14,6	0	0	14,6	0	0	14,6	29,2	14,6	0
Distância da lavoura até o(s) córrego(s)																
A distância entre a lavoura e o(s) córrego(s) é superior a 60 metros e entre a lavoura e nascentes superior a 50 metros	150	N ₅												150		150
A distância entre a lavoura e o(s) córrego(s) situa-se entre 50 e 60 metros e entre a lavoura e nascentes superior a 50 metros	100	N ₄													100	
A distância entre a lavoura o(s) córrego(s) situa-se entre 40 e 50 metros e entre a lavoura e nascentes superior a 50 metros	50	N ₃					50			50						
A distância entre a lavoura e o(s) córrego(s) situa-se entre 30 e 40 metros e entre a lavoura e nascentes superior a 50 metros	0	N ₂		0					0							
A distância entre a lavoura e o(s) córrego(s) é inferior a 30 metros e entre a lavoura e nascentes inferior a 50 metros	-100	N ₁	-100		-100	-100		-100		-100		-100	-100			
Taxa de compensação (25%)			-25,0	0	-25	-25	12,5	-25	0	-25	12,5	-25	-25	37,5	25	37,5
Acesso a água para dessedentação animal																
Os animais não acessam a água no ambiente natural	125	N ₅												125		125
Os animais acessam a água por meio de açudes	100	N ₄	100	125	125	125		125	125	125	125	125	125	125	100	
Os animais acessam a água por meio de banhados	0	N ₃														
Os animais acessam a água por meio de córregos em corredores específicos	-50	N ₂														
Os animais acessam a água por meio de córregos sem corredor definido	-125	N ₁					-125									
Taxa de compensação (4,2%)			4,2	5,2	5,2	5,2	-5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	4,2	5,2
PVF 2. Características do ambiente e do solo																
Grau de declividade do terreno cultivado																
As áreas que possuem declividade inferior a 16% e ocupadas por pastagens naturais ou silvicultura	133,3	N ₆														
As áreas que possuem declividade inferior a 16% e ocupadas por cultivos anuais	100	N ₅	100		100			100								
As áreas que possuem declividade entre 16 e 25% ocupadas por pastagens naturais ou silvicultura	0	N ₄									0	0				
As áreas que possuem declividade entre 16 e 25% ocupadas por cultivos anuais	-66,7	N ₂								-66,7						
As áreas que possuem declividade superior a 25% ocupadas por pastagens naturais ou silvicultura	-166,7	N ₃		-166,7		-166,7			-166,7					-166,7		
As áreas que possuem declividade superior a 25% ocupadas por cultivos anuais	-200	N ₁					-200							-200	-200	
Taxa de compensação (45,5%)			45,5	-75,8	45,5	-75,8	-90,9	45,5	-75,8	-30,3	0	0	-75,8	-90,9	-90,9	45,5
Potencial de erodibilidade do solo cultivado																
O potencial de erodibilidade do solo é incipiente	100	N ₃	100													
O potencial de erodibilidade do solo é moderado	0	N ₂		0	0	0					0	0	0			
O potencial de erodibilidade do solo é forte	-150	N ₁					-150	-150	-150	-150				-150	-150	-150

Taxa de compensação (31,8%)	31,8	0	0	0	-47,7	-47,7	-47,7	-47,7	0	0	0	-47,7	-47,7	-47,7
Profundidade média do solo cultivado														
A profundidade média do solo é superior a 150 centímetros	100	N ₄	100,0											
A profundidade média do solo varia entre 100 e 150 centímetros	66,7	N ₃		66,7	66,7					66,7				
A profundidade média do solo varia entre 50 e 100 centímetros	0	N ₂		0						0	0		0	
A profundidade média do solo é inferior a 50 centímetros	-66,7	N ₁				-66,7	-66,7	-66,7	-66,7				-66,7	-66,7
Taxa de compensação (13,6%)	13,6		0	9,1	9,1	-9,1	-9,1	-9,1	-9,1	0	0	9,1	0	-9,1
Textura do solo cultivado														
O solo cultivado é predominantemente de textura argilosa - teor > 35% de argila	100	N ₃	100											
O solo cultivado é de textura predominantemente média - teor 15 - 35% de argila	0	N ₂		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O solo cultivado é de textura predominantemente arenosa - < 15% de argila	-100	N ₁												
Taxa de compensação (9,1%)	9,1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PVF 3. Práticas conservacionistas														
Preparo do solo														
O solo é preparado por meio de sistema plantio direto nos cultivos anuais ou quando não há revolvimento do solo, no caso das explorações perenes	150	N ₄	150	150	150	150				150	150	150		
O solo é preparado por meio de sistema plantio direto deficitário ou quando há pequenas movimentações do solo, no caso das explorações perenes	100	N ₃								100			100	100
O solo é preparado por meio do sistema de cultivo mínimo ou quando há revolvimento anual do solo nas entre linhas das explorações perenes	0	N ₂					0		0					
O solo é preparado por meio de sistema de cultivo convencional	-100	N ₁						-100						-100
Taxa de compensação (41,7%)	62,5		62,5	62,5	62,5	62,5	0	-41,7	0	41,7	62,5	62,5	62,5	-41,7
Cobertura do solo por resíduos														
A superfície do solo apresenta-se com mais de 80% da área coberta por palha no período de pós-colheita até a semeadura/transplante	133,3	N ₅												
A superfície do solo apresenta entre 60 a 80% da área coberta por palha no período de pós-colheita até a semeadura/transplante	100	N ₄		100	100	100				100	100			
A superfície do solo apresenta entre 40 a 60% da área coberta por palha no período de pós-colheita até a semeadura/transplante	0	N ₃		0			0		0	0		0	0	
A superfície do solo apresenta entre 25 a 40% da área coberta por palha no período de pós-colheita até a semeadura/transplante	-100	N ₂												-100
A superfície do solo apresenta-se com menos de 20% da área coberta por palha no período de pós-colheita até a semeadura/transplante	-200	N ₁						-200						
Taxa de compensação (33,3%)	0		33,3	33,3	33,3	33,3	0	-66,7	0	0	33,3	33,3	0	-33,3
Barreiras físicas de contenção da água da chuva														
São utilizadas barreiras físicas, como terraços, cordões vegetais e afins, para conter o escoamento superficial e o plantio é em nível	100	N ₃												
NÃO são utilizadas barreiras físicas, como terraços, cordões vegetais e afins, para conter o escoamento superficial, entretanto realiza o plantio é em nível	0	N ₂		0						0				
Não são utilizadas barreiras físicas, como terraços, cordões vegetais e afins para conter o escoamento superficial, tão pouco o cultivo é em nível	-100	N ₁		-100		-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100
Taxa de compensação (25%)	0		-25	0	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	0	-25	-25
PVF 4. Fertilizantes minerais														
Dose de fertilizante aplicada														
O fertilizante é aplicado acima da dose recomendada	100	N ₃												
O fertilizante é aplicado na dose recomendada	0	N ₂		0	0		0			0				
O fertilizante é aplicado acima da dose recomendada	-150	N ₁		-150		-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150
Taxa de compensação (62,5%)	-93,8		0	-93,8	0	0	-93,8	-93,8	-93,8	-93,8	0	-93,8	-93,8	-93,8
Técnica utilizada para aplicar fertilizante														
Parte do fertilizante é incorporado via adubação de correção e parte incorporado na semeadura por meio da adubação de reposição	100	N ₄												
O fertilizante é incorporado na semeadura	0	N ₃		0	0									
Parte do fertilizante é incorporado na semeadura e parte aplicada a lanço	-33,3	N ₂		-33,3			-33,3		-33,3				-33,3	-33,3
Todo o fertilizante é aplicado a lanço	-66,7	N ₁					-66,7	-66,7	-66,7		-66,7	-66,7	-66,7	
Taxa de compensação (31,3%)	-10,4		0	-10,4	0	-20,8	-20,8	-10,4	-10,4	-20,8	-20,8	-20,8	-10,4	-10,4
Condições climáticas para aplicar fertilizante mineral														
Sempre são observadas as condições climáticas para aplicar fertilizante	100	N ₃					100			100				100

Às vezes são observadas as condições climáticas para aplicar fertilizante	0	N ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Não são observadas as condições climáticas para aplicar fertilizante	-100	N ₁		-100		-100							-100	0
Taxa de compensação (6,3%)			0	0	-6,3	0	-6,3	6,3	0	0	0	0	6,3	-6,3

PVF 5. Dejetos animais

Volume de dejetos utilizado por ano agrícola

Não aplica dejetos na lavoura	122,2	N ₅					122,2	122,2						
A dose de esterco suíno aplicada costuma ser inferior a 40m³ ha-1; ou, a dose de esterco bovino aplicada costuma ser inferior a 100m³ ha-1; ou ainda, a dose de esterco de aves aplicada costuma ser inferior a 3 toneladas ha-1	100	N ₄		100		100			100		100	100	100	
A dose de esterco suíno aplicada costuma variar entre 40 e 60m³ ha-1; ou a dose de esterco bovino aplicada costuma ser entre 100 e 150m³ ha-1; ou ainda, a dose de esterco de aves aplicada costuma variar entre 3 a 5 toneladas ha-1	0	N ₃		0										
A dose de esterco suíno aplicada costuma variar entre 60 e 80m³ ha-1; a dose de esterco bovino aplicada costuma ser entre 150 e 200m³ ha-1; ou a ainda, a dose de esterco de aves aplicada costuma variar entre 4 e 5 toneladas ha-1	-44,4	N ₂												
A dose de esterco suíno aplicada costuma ser superior a 80m³ ha-1; a dose de esterco de bovinos aplicada costuma ser superior a 200m³ ha-1; ou ainda, a dose de esterco de aves aplicada costuma ser superior a 8 toneladas ha-1	-100	N ₁			-100				-100				-100	-100
Taxa de compensação (47,6%)			0	47,6	-47,6	47,6	58,2	58,2	47,6	-47,6	-47,6	-47,6	-47,6	-47,6

Técnica utilizada para aplicar dejetos

Não é aplicado dejetos na lavoura	100	N ₄					100	100						
O dejetos é aplicado na superfície e esporadicamente incorporado no solo	0	N ₃		0		0			0		0			0
O dejetos é aplicado sempre na superfície do solo	-40	N ₂	-40						-40		-40	-40	-40	-40
O dejetos é aplicado em superfície no pós-plantio ou transplante	-100	N ₁			-100									
Taxa de compensação (33,3%)			-13,3	0	-33,3	0	33,3	33,3	0	-13,3	0	-13,3	-13,3	-13,3

Condições climáticas para aplicar dejetos

Não aplica dejetos animal na lavoura	100	N ₄					100	100						
Sempre são observadas as condições climáticas para aplicar esterco	0	N ₃								0	0			0
Às vezes são observadas as condições climáticas para aplicar esterco	-40	N ₂						-40				-100	-100	-100
Não são observadas as condições climáticas para aplicar esterco	-100	N ₁	-100	-100	-100	-100						-14,3	-14,3	-14,3
Taxa de compensação (14,3%)			-14,3	-14,3	-14,3	-14,3	14,3	14,3	-5,7	-5,7	0	0	-14,3	-14,3

Sistema de armazenamento do dejetos

Não possui sistema de criação de animal no estabelecimento agrícola	140	N ₅					140	140						
O sistema de armazenamento é coberto, impermeabilizado e possui canaletas de drenagem ao redor	100	N ₄				100								
O sistema de armazenamento é coberto, impermeabilizado, porém sem canaletas de drenagem ao redor	60	N ₃	60	60										
O sistema de armazenamento não possui cobertura, é impermeabilizado e possui canaleta de drenagem ao redor	0	N ₂							0				0	0
O sistema de armazenamento não possui cobertura, não é impermeabilizado, tão pouco possui canaleta de drenagem ao redor	-60	N ₁				-60								
Taxa de compensação (4,8%)			2,9	2,9	4,8	-2,9	6,7	6,7	4,8	0	6,7	6,7	6,7	0

PVF 6. Agrotóxicos

Volume de agrotóxico utilizado

Não utiliza agrotóxico nos cultivos	250	N ₅												
O volume de agrotóxico utilizado não ultrapassa 3L por ha cultivado ao ano	100	N ₄								100	100	100	100	100
O volume de agrotóxico utilizado é inferior a 5 e superior a 3L por ha cultivado ao ano	0	N ₃					0	0	0					
O volume de agrotóxico utilizado é inferior a 10 e superior a 5L por ha cultivado ao ano	-125	N ₂												
O volume de agrotóxico utilizado é superior a 10L por ha cultivado ao ano	-250	N ₁	-250	-250	-250	-250								
Taxa de compensação (43,5%)			-138,9	-138,9	-138,9	-138,9	0	0	0	55,6	55,6	55,6	55,6	55,6

Adoção de recomendações oficiais

As recomendações oficiais são adotadas e sempre são lidas as bulas, observadas as cores, tarjas e desenhos presentes nas embalagens	142,9	N ₅					142,9							
As recomendações oficiais são adotadas, mas nem sempre são lidas as bulas, observadas as cores, tarjas e desenhos presentes nas embalagens	100	N ₄	100	100	100									
As recomendações oficiais às vezes são adotadas e sempre se lê bulas, observa cores, tarjas e desenhos presentes nas embalagens	0	N ₃				0				0			0	0
As recomendações às vezes são adotadas e nem sempre são lidas as bulas, observadas as cores, tarjas e desenhos presentes nas embalagens	-42,9	N ₂								-42,9				-142,9

As recomendações oficiais nunca são adotadas, tão pouco é lida as bulas, observadas as tarjas, e desenhos presentes nas embalagens	-142,9	N ₁	27,8	27,8	27,8	0	39,7	-39,7	-39,7	-11,9	-39,7	0	-11,9	27,8	0	-39,7
Taxa de compensação (34,8%)																
Condições climáticas para aplicar agrotóxico																
Sempre são observadas as condições climáticas para aplicar o agrotóxico	100	N ₃	100	100	100		100	100	100	100		100	100			
As vezes são observadas as condições climáticas para aplicar o agrotóxico	0	N ₂				0					0	0				0
Não são observadas as condições climáticas para aplicar o agrotóxico	-100	N ₁														
Taxa de compensação (21,7%)			16,7	16,7	16,7	0	16,7	16,7	16,7	16,7	0	0	16,7	16,7	16,7	0
PVF 7. Descartes																
Descarte de embalagens de agrotóxicos																
As embalagens de agrotóxicos são entregues nos postos de coleta sem realizar a tríplice lavagem	125	N ₅	100	100	100	100	100	100	100	100				100	100	100
As embalagens de agrotóxicos são entregues nos postos de coleta após realizar a tríplice lavagem	100	N ₄														
As embalagens de agrotóxico são descartadas na propriedade em um lugar que considerado adequado, após realizar a tríplice lavagem	0	N ₃									0	0	0	0		
As embalagens de agrotóxicos são descartadas na propriedade em um lugar que considerado adequado, sem realizar a tríplice lavagem	-25	N ₂														
As embalagens de agrotóxico são descartadas na propriedade em local inadequado e sem realizar a tríplice lavagem	-125	N ₁														
Taxa de compensação (51,3%)			51,3	51,3	51,3	51,3	51,3	51,3	51,3	51,3	0	0	0	0	51,3	51,3
Descarte de animais mortos																
Não possui sistema de criação de animais no estabelecimento agrícola	111,1	N ₅					111,1	111,1		111,1	111,1	111,1				
Os animais mortos são incinerados	100	N ₄														
Os animais mortos são dispensados as composteiras convencional	0	N ₃			0				0	0				0	0	0
Os animais mortos são enterrados em vala comum	-22,2	N ₂	-22,2	-22,2		-22,2										
Os animais mortos são descartados "a céu aberto"	-111,1	N ₁														
Taxa de compensação (35,9%)			-8	-8	0	-8	39,9	39,9	0	0	39,9	39,9	39,9	0	0	0
Descarte de produtos de logística reversa																
Os produtos de logística reversa são separados e entregues nos postos de recolhimento	116,7	N ₄	116,7													
Os produtos de logística reversa são entregues nos postos de recolhimento sem serem separados	100	N ₃					100	100	100	100				100	100	100
Os produtos de logística reversa são separados e descartados em lugar que considera adequado na propriedade	0	N ₂										0	0			
Os produtos de logística reversa são descartados na propriedade sem serem separados	-50	N ₁			-50	-50					-50					
Taxa de compensação (7,7%)			9	-3,8	-3,8	-3,8	7,7	7,7	7,7	7,7	-3,8	0	0	7,7	7,7	7,7
Resíduos agrossilvopastoris não perigosos																
A maior parte do resíduo é separada segundo a sua constituição ou composição, e destinado para a reciclagem	106,7	N ₅														
A maior parte do resíduo é destinado à reciclagem sem ser separado	100	N ₄														
A maior parte do resíduo é enterrada na propriedade	40	N ₃			100		100	100		100			100			40
A maior parte do resíduo é queimada na propriedade	0	N ₂	0						0		0	0			0	
A maior parte dos resíduos é descartada "a céu aberto" na propriedade	-26,7	N ₁		-26,7		-26,7								-26,7		
Taxa de compensação (5,1%)			0	-1,4	5,1	-1,4	5,1	5,1	0	5,1	0	0	5,1	-1,4	0	2,1

Exemplo de cálculo no modelo para o critério *Uso da terra*, Sistema de produção explorações perenes. Pontuação média atribuída aos quatro estabelecimentos agrícolas pesquisados nos subcritérios:

1.1 Razão entre a área cultivada e a área do estabelecimento. Valor para cada estabelecimento: $[H(-150 \cdot 0,417 = -62,5)] + [I(-150 \cdot 0,417 = -62,5)] + [J(0 \cdot 0,417 = 0)] + [K(-150 \cdot 0,417 = -62,5)] \rightarrow [H(-62,5) + I(-62,5)] + [J(0)] + [K(-62,5)] \rightarrow -46,9$

1.2 Distribuição de cultivos e criações na paisagem: $[H(50 \cdot 0,292 = 14,6)] + [I(0 \cdot 0,292 = 0)] + [J(0 \cdot 0,292 = 0)] + [K(50 \cdot 0,292 = 14,6)] \rightarrow \{[H(14,6) + I(0)] + [J(0)] + [K(14,6)]/4\} \rightarrow 7,3$

1.3 Distância da lavoura até o(s) córrego(s): $[H(-100 \cdot 0,250 = -25)] + [I(50 \cdot 0,250 = 12,5)] + [J(-100 \cdot 0,250 = -25)] + [K(-100 \cdot 0,250 = -25)] \rightarrow \{[H(-25) + I(12,5)] + [J(-25)] + [K(-25)]/4\} \rightarrow -15,6$

1.4 Acesso a água para dessedentação animal: $[A(125 \cdot 0,042 = 5,2)] + [B(125 \cdot 0,042 = 5,2)] + [C(125 \cdot 0,042 = 5,2)] + [D(125 \cdot 0,042 = 5,2)] \rightarrow \{[A(5,2) + [B(5,2)] + [C(5,2)] + [D(5,2)]/4\} \rightarrow 5,2$

Subcritério 1.1 + Subcritério 1.2 + Subcritério 1.3 + Subcritério 1.4 $\rightarrow (-46,9) + (7,3) + (-15,6) + (5,2) = -50 \rightarrow (-50 \cdot 0,282) = -14,1$ (Figura 75).

**Apêndice F – Nomenclaturas científicas de plantas encontradas na região da
Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé e citadas no texto**

Abobrinha	<i>Cucurbita pepo</i>	Guabirobeira	<i>Campomanesia xanthocarpa</i> O.Berg
Alecrim	<i>Rosmarinus officinalis</i>	Laranjanjeira	<i>Citrus aurantium</i>
Alface	<i>Lactuca sativa</i>	Limoeiro	<i>Citrus limon</i>
Alho	<i>Allium sativum</i>	Maçeira	<i>Malus domestica</i>
Almeirão	<i>Cichorium intybus intybus</i>	Mandioca	<i>Manihot esculenta</i>
Araucária	<i>Araucaria brasiliensis</i>	Manjeriço	<i>Ocimum basilicum</i>
Aveia	<i>Avena sativa</i>	Milho	<i>Zea mays</i>
Azevém	<i>Lolium multiflorum</i>	Morango	<i>Fragaria vesca</i>
Batata-doce	<i>Ipomoea batatas</i>	Nabo forrageiro	<i>Brassica rapa</i>
Bergamoteira	<i>Citrus reticulata</i>	Nogueira	<i>Carya illinoensis</i>
Berinjela	<i>Solanum melongena</i>	Orégano	<i>Origanum vulgare</i>
Beterraba	<i>Beta vulgaris</i>	Pepino	<i>Cucumis sativus</i>
Brócolis	<i>Brassica oleracea</i>	Pessegueiro	<i>Prunus persica</i>
Cana-de-açúcar	<i>Saccharum officinarum</i>	Pimenta do reino	<i>Piper nigrum</i>
Caqui	<i>Diospyros kaki</i>	Pimenta malageta	<i>Capsicum frutescens</i>
Cebola	<i>Allium cepa</i>	Pimentão	<i>Capsicum annuum</i>
Cebola verde	<i>Allium schoenoprasum</i>	Pinus	<i>Pinus elliottii</i>
Cenoura	<i>Daucus carota</i>	Pitangueira	<i>Eugenia pitanga</i>
Chicória	<i>Cichorium intybus</i>	Repolho	<i>Brassica oleracea</i>
Couve	<i>Brassica oleracea</i>	Salsa	<i>Petroselinum crispum</i>
Couve-flor	<i>Brassica oleracea</i>	Soja	<i>Glycine max</i> L. merr
Erva-mate	<i>Ilex paraguariensis</i>	Tabaco	<i>Nicotiana tabacum</i>
Ervilha (vagem)	<i>Pisum sativum</i>	Tomate	<i>Lycopersicon esculentum</i>
Espinafre	<i>Spinacia oleracea</i>	Trevo	<i>Trifolium arvense</i>
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i>	Trigo	<i>Triticum aestivum</i>
Feijão	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Videira	<i>Vitis vinifera</i>
Figueira	<i>Ficus carica</i>	Vagem (feijão vagem)	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.
Gengibre	<i>Zingiber officinale</i>		