

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

ANNA PAULA LAGE RIBEIRO

ANÁLISE MULTICRITERIAL, TEORIA DOS JOGOS E INDICADORES DE ÁGUA E
SOLO NA AVALIAÇÃO DA INTENSIFICAÇÃO AGRÍCOLA SUSTENTÁVEL
EM PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

VITÓRIA
2018

ANNA PAULA LAGE RIBEIRO

ANÁLISE MULTICRITERIAL, TEORIA DOS JOGOS E INDICADORES DE ÁGUA E
SOLO NA AVALIAÇÃO DA INTENSIFICAÇÃO AGRÍCOLA SUSTENTÁVEL
EM PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

Tese submetida ao Programa de Pós-graduação
em Engenharia Ambiental da Universidade
Federal do Espírito Santo como requisito parcial
para a obtenção do título de Doutora em
Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Edmilson Costa Teixeira

VITÓRIA
2018

FOLHA DE CATALOGO DA BIBLIOTECA CENTRAL

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

ANÁLISE MULTICRITERIAL, TEORIA DOS JOGOS E INDICADORES DE ÁGUA E
SOLO NA AVALIAÇÃO DA INTENSIFICAÇÃO AGRÍCOLA SUSTENTÁVEL
EM PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

ANNA PAULA LAGE RIBEIRO

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Edmilson Costa Teixeira
Orientador – DEA/CT/UFES

Prof. Dr. José Antônio Tosta dos Reis
Examinador Interno – DEA/CT/UFES

Prof. Dr. Diogo Costa Buarque
Examinador Interno – DEA/CT/UFES

Prof. Marcia Maria Rios Ribeiro
Examinadora Externa – UFCG

Prof. Yvonilde Dantas Pinto Medeiros
Examinadora Externa - UFBA

DEDICATÓRIA

À minha amada e saudosa vó Nena.

AGRADECIMENTOS

“O homem é grande de espírito, mas mesquinho nas ações”

(...)

“Mas quando uma pessoa está desesperada, pode valer-lhe de alguma coisa pensar nas misérias dos outros?”

(...)

“Apesar de tudo eu ainda creio na bondade humana”

Anne Frank

RESUMO

A Intensificação Sustentável (IS) é uma temática que aborda, de forma integrada, a aparente dicotomia entre sustentabilidade e produção agrícola. Essa abordagem considera a multidimensionalidade da sustentabilidade, entretanto, é usualmente aplicada na escala da propriedade rural. Propõe-se, neste estudo, a aplicação em nível de pequenas bacias hidrográficas, pela possibilidade de se conectar práticas de uso do solo e água com a organização comunitária. Contudo, ao se considerar a bacia hidrográfica composta por pequenas propriedades, potencializa-se a existência de conflitos entre os agentes intervenientes. Problemas como esses, multidimensionais, multicriteriais e com múltiplos agentes decisores, demandam o emprego de ferramentas de suporte a decisão, como técnicas de Análise Multicriterial (AM) e Teoria dos Jogos (TJ). Partindo do conhecimento de que a TJ possibilitaria solucionar problemas de agregação de peso atribuídos por cada agente no emprego da AM, que pode resultar em descaracterização de divergências entre eles, a pesquisa teve como objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta (SSD-GC), baseada na associação de AM e TJ, para suporte a tomada de decisão e análise de conflitos, visando a promoção da IS em pequenas bacias hidrográficas. Assumiu-se como hipótese que os resultados da aplicação da ferramenta desenvolvida seriam mais realísticos, estáveis e, potencialmente, mais sustentáveis que aqueles provenientes da AM. Os procedimentos metodológicos para o desenvolvimento da ferramenta foram a definição de critérios para seleção de indicadores da IS e para avaliação de ferramentas de TJ e métodos de AM, além dos fundamentos para concepção conceitual, analítica e implementação computacional do SSD-GC. Ademais, foram estabelecidos os elementos necessários para a aplicação experimental, avaliação de sensibilidade e incerteza da ferramenta, e sua comparação com métodos tradicionais de AM. Os resultados mostraram que a prática atual da IS demanda regaste de / repactuação com diretrizes estabelecidas à época de sua criação para que seja plenamente aderente à proposta de desenvolvimento sustentável. Estabeleceram-se 9 (nove) indicadores mínimos para avaliação da IS, envolvendo as categorias ambiental, socioeconômico e institucional, e diretrizes para uma possível ampliação deste número, ao se considerar as especificidades de cada aplicação. A avaliação das ferramentas existentes de TJ subsidiou a construção do SSD-GC, pela identificação dos atributos necessários, e mostrou potencialidade para seu emprego, em particular na organização da composição das alternativas para a matriz de decisão. Os métodos ELECTRE III e TOPSIS foram selecionados como técnicas de AM aderentes às demandas estabelecidas pela TJ. E, assim, o desenvolvimento do SSD-GC se deu com a determinação da equação de utilidade e do fluxo de sua aplicação. O emprego experimental do SSD-GC na Bacia Hidrográfica do Córrego Sossego em Itarana/ES permitiu mostrar sua aplicabilidade na prática e possibilitou a identificação de aspectos da versão inicial que já requeriam ajustes. A ferramenta mostrou ser sensível à variação de dados de entrada e, em comparação aos métodos usuais de AM, possuir maior potencial descritivo de resultados em uma análise multidimensional, multicriterial e com múltiplos decisores. Por fim, a robustez da matriz de decisão para alternativas, o incremento da interação estratégica dos agentes e os cenários de estabilidade possíveis de considerar na avaliação, inerentes para o/associados ao emprego do SSD-GC, o validam como ferramenta promissora de suporte à tomada de decisão e análise de conflitos envolvendo múltiplos agentes, que, em particular, na análise da IS, contribui para obtenção de resultados, potencialmente, mais realísticos, estáveis e sustentáveis.

Palavras-chave: Intensificação Sustentável; Análise Multicriterial; Teoria dos Jogos; Análise de Conflitos; Tomada de Decisão.

ABSTRACT

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Matriz de pagamento do exemplo de Jogo do Impasse.....	60
Tabela 3.2: Matriz de pagamento do exemplo de dilema do prisioneiro.	61
Tabela 3.3: Matriz de pagamento do exemplo de jogo do covarde.	62
Tabela 3.4: Matriz de pagamento do exemplo de jogo de coordenação.	62
Tabela 3.5: Matriz de pagamento para exemplo de jogo de coordenação simultâneo.....	62
Tabela 3.6: Matriz de pagamento para exemplo de jogo da batalha dos sexos.	63
Tabela 4.1: Volume diário de água demandada para irrigação por segmento na Bacia Hidrográfica do Córrego Sossego. Fonte: Daré (2014).....	95
Tabela 4.2: Análise de Índice de Qualidade da Água do Córrego Bananal. Fonte: Vieira (2015).	96
Tabela 4.3: Identificação dos tipos de solo da bacia hidrográfica do Córrego Sossego. Fonte: Batista (2016).	97
Tabela 4.4: Pluviosidade média mensal para a bacia hidrográfica do Córrego Sossego. Fonte: Batista (2016).	97
Tabela 4.5: Classes de perda de solo e áreas ocupadas na bacia hidrográfica do Córrego Sossego. Fonte: Batista (2016).	98
Tabela 4.6: Levantamento de usos do solo e área ocupada na bacia hidrográfica do Córrego Sossego.....	99
Tabela 4.7: Valores diagnósticos da Bacia Hidrográfica do Córrego Sossego.....	100
Tabela 5.1: Matriz de decisão composta pelos critérios determinados em cada cenário.	153
Tabela 5.2: Avaliação da relação entre os critérios para cada cenário na composição da matriz de decisão.	154
Tabela 5.3: Avaliação da correlação entre os cenários para composição da matriz de decisão.	154
Tabela 5.4: Distribuição de Pesos Gerais dos Agentes Entrevistados	155
Tabela 5.5: Matriz de ordenamento de pesos (preferência) aos critérios realizado pelos agentes agrupados.	156
Tabela 5.6: Tabela de correlação entre as preferências dos agentes.....	156
Tabela 5.7: Identificação das estratégias individuais dos agentes.	159
Tabela 5.8: Análises estatísticas sobre os coeficientes de utilidade resultantes da simulação e cenários respectivos.....	160

Tabela 5.9: Avaliação do retorno aos agentes pelo estado 22222, em relação a outros estados	163
Tabela 5.10 Resultados apresentados para a determinação de cenários de estabilidade, por meio do Equilíbrio de Nash.....	165
Tabela 5.11: Resultado da aplicação da Análise Multicriterial para cada um dos agentes e para a média nos métodos ELECTRE III e TOPSIS.....	168
Tabela 5.12: Estatísticas descritivas das 500 interações simuladas para avaliação da ferramenta SSD-GC.....	170
Tabela 5.13: Resultado dos testes de normalidade para as interações de avaliação da ferramenta SSD-GC.....	172
Tabela 5.14: Coeficientes de incerteza e sensibilidade das 10 interações realizadas para avaliação da ferramenta SSD-GC.	173

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1: Descrição de metodologias de produção agrícola sustentável.	32
Quadro 3.2: Dimensões básicas da sustentabilidade agrícola. Fonte: (SILVA, 2017).	38
Quadro 3.3: Características gerais para um bom indicador. Fonte: Meadows (1998) e Silva (2017).	39
Quadro 3.4: Indicadores Ambientais identificados para Avaliação da Intensificação Agrícola Sustentável, com foco em aspectos relacionados a água e solo.	40
Quadro 3.5: Indicadores Socioeconômicos identificados para Avaliação da Intensificação Agrícola Sustentável.	41
Quadro 3.6: Indicadores Institucionais identificados para Avaliação da Intensificação Agrícola Sustentável.	43
Quadro 4.1: Critérios de estabilidade do GMCR. Fonte: VIEIRA e Ribeiro (xxxx).	73
Quadro 4.2: Descrição das determinações para as simulações de Monte Carlo	103
Quadro 5.1: Características originais do termo Intensificação Sustentável e as adaptações verificadas nas aplicações atuais.	112
Quadro 5.2: Determinação de categorias mínimas para avaliação a Intensificação Sustentável em pequenas bacias hidrográficas.	118
Quadro 5.3: Avaliação dos principais métodos de Análise Multicriterial.	129
Quadro 5.4: Principais questões a serem respondidas pelo Modelo SSD-GC:	145
Quadro 5.5: Síntese dos resultados obtidos pela aplicação da ferramenta SSD-GC na bacia hidrográfica do Córrego Sossego.	166

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Estrutura típica de um Sistema de Suporte à Decisão. Fonte: Porto e Porto (2008).	46
Figura 4.1: Estrutura de aplicação do GMCR. Fonte: VIERA e RIBEIRO (xxxx).	72
Figura 4.2: Fluxograma esquemático das etapas de aplicação do método ELECTRE III. Fonte: BRINGER, 2017.	77
Figura 4.3: Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego Sossego na Bacia do Rio Doce. 89	
Figura 4.4: Mapa de localização dos proprietários entrevistados na bacia hidrográfica do Córrego Sossego.....	91
Figura 4.5: Entrevista com proprietários rurais da BH do Córrego Sossego (1).	92
Figura 4.6: Entrevista com proprietários rurais da BH do Córrego Sossego (2).	93
Figura 4.7: Mapa de uso e ocupação da bacia hidrográfica do Córrego Sossego.....	99
Figura 4.8: Fluxograma de aplicação do método de Monte Carlo para análise de incerteza. Fonte: Von Sperling (2007).	103
Figura 5.1: Fluxograma de relacionamento dos resultados.	108
Figura 5.2: Fluxograma estrutural da ferramenta SSD-GC.....	134
Figura 5.3: Imagem da tela de entrada de dados da ferramenta SSD-GC.	137
Figura 5.4: Imagem da tela de saída da ferramenta SSD-GC.	138
Figura 5.5: Mapa de localização dos proprietários entrevistados na bacia hidrográfica do Córrego Sossego, e a formação dos 5 agentes considerados na aplicação da ferramenta.....	150
Figura 5.9: Tela dos dados de entrada da ferramenta SSD-GC para simulação da Bacia do Córrego Sossego.....	158
Figura 5.10: Gráfico de representação da variabilidade dos resultados entre os estados	164

LISTA DE EQUAÇÕES

LISTA DE SIGLAS

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	JUSTIFICATIVA.....	21
2	OBJETIVOS	26
2.1	OBJETIVO GERAL	26
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
3.1	A Intensificação Sustentável em Escala de Bacia Hidrográfica para Avaliação de Sustentabilidade Regional	27
3.1.1	Bacia Hidrográfica, Processos Hidrológicos e Hidrossedimentológicos.....	27
3.1.2	Desenvolvimento Sustentável e a Gestão Integrada de Recursos Hídricos.....	29
3.1.3	Metodologias de Sustentabilidade Agrícola	32
3.1.4	Intensificação Sustentável	34
3.1.5	Indicadores de Sustentabilidade.....	37
3.2	O Processo de Tomada de Decisão	43
3.2.1	Sistemas de Suporte à Decisão	46
3.2.2	Análise Multicriterial.....	47
3.2.2.1	Descrição das Principais Metodologias de Análise Multicriterial	49
3.3	Análise de Conflitos.....	54
3.3.1	Teoria dos Jogos.....	55
3.3.1.1	Taxonomia da Teoria dos Jogos.....	57
3.3.1.2	Resolução e Estabilidades da Teoria dos Jogos	58
3.3.1.3	Jogos Clássicos da Teoria dos Jogos	60
3.3.2	Exemplos de Utilização de Análise de Conflitos na Gestão de Recursos Hídricos e Territorial	63
4	METODOLOGIA.....	66
4.1	AVALIAR CARACTERÍSTICAS DE METODOLOGIAS DE SUPORTE À DECISÃO APLICÁVEIS À AVALIAÇÃO DA INTENSIFICAÇÃO SUSTENTÁVEL EM PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	66

4.1.1	A Abordagem da Intensificação Sustentável e a Aplicação em Escala de Bacia Hidrográfica para Avaliação de Sustentabilidade Regional	66
4.1.2	Levantamento de Critérios para Seleção de Indicadores de Intensificação Agrícola Sustentável em Pequenas Bacias Hidrográficas	67
4.1.3	Critérios para Avaliação das Ferramentas de Teoria dos Jogos	70
4.1.3.1	Descrição dos Métodos de Teoria dos Jogos.....	71
4.1.4	Estratégias para Seleção de Métodos de Análise Multicriterial.....	74
4.1.4.1	Descrição dos Métodos de Análise Multicriterial Selecionados.....	75
4.2	PROCEDIMENTOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA DE ASSOCIAÇÃO ENTRE ANÁLISE MULTICRITERIAL E TEORIA DOS JOGOS	83
4.2.1	Concepção conceitual e analítica da ferramenta.....	84
4.2.2	Implementação computacional do modelo.....	85
4.2.3	A Determinação do Equilíbrio de Nash	87
4.3	SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO – BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SOSSEGO	88
4.3.1	Critérios de Seleção da Área de Estudo	88
4.3.2	Caracterização da Bacia Hidrográfica do Córrego Sossego	89
4.3.2.1	Levantamento de informações com os agentes locais.....	91
4.3.2.2	Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Córrego Sossego	94
4.4	AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO MODELO SSD-GC.....	101
4.4.1	Avaliação comparativa com os métodos de Análise Multicriterial	101
4.4.2	Aplicação do Método de Monte Carlo para Avaliação de Incerteza e Sensibilidade do Ferramenta desenvolvida	102
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	107
5.1	AVALIAR CARACTERÍSTICAS DAS METODOLOGIAS DE SUPORTE À DECISÃO DA TEORIA DOS JOGOS E ANÁLISE MULTICRITERIAL APLICÁVEIS À AVALIAÇÃO DA INTENSIFICAÇÃO SUSTENTÁVEL EM PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	109
5.1.1	A Abordagem da Intensificação Sustentável e a Aplicação em Escala de Bacia Hidrográfica para Avaliação de Sustentabilidade Regional	109
5.1.2	Definição de Indicadores de Água e Solo para Avaliação da Intensificação Agrícola Sustentável... ..	117
5.1.3	Avaliação da Teoria dos Jogos como metodologia de Análise de Conflitos em Suporte à Tomada de Decisão	123
5.1.4	Definição de Metodologias de Análise Multicriterial para composição de metodologia de Análise de Conflitos em Suporte à Tomada de Decisão	128

5.2	DESENVOLVER FERRAMENTA ASSOCIADA DE ANÁLISE MULTICRITERIAL E TEORIA DOS JOGOS PARA AVALIAÇÃO DA INTENSIFICAÇÃO AGRÍCOLA SUSTENTÁVEL EM ESCALA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	132
5.2.1	Construção da Ferramenta de Suporte a Tomada de Decisão para Análise de Conflitos (SSD-GC).	133
5.2.1.1	Concepção Conceitual e Analítica da Ferramenta.....	133
5.2.1.2	A Construção da Equação de Utilidade e a Formulação da Ferramenta	139
5.2.1.3	Resultados Esperados do SSD-GC.....	145
5.2.2	Aplicação Experimental da Ferramenta SSD-GC na Bacia Hidrográfica do Córrego Sossego	148
5.2.2.1	Dados de entrada para a Aplicação Experimental do SSD-GC na Bacia Hidrográfica do Córrego Sossego	148
5.2.2.2	Resultados da Aplicação Experimental do SSD-GC na Bacia Hidrográfica do Córrego Sossego	158
5.3	AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA FERRAMENTA SSD-GC.....	167
5.3.1	Avaliação Comparativa entre a Ferramenta SSD-GC e Métodos Tradicionais de Análise Multicriterial	167
5.3.2	Avaliação de Sensibilidade e Incerteza da Ferramenta SSD-GC.....	169
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	175
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	178

1 INTRODUÇÃO

A partir da Revolução Verde, ocorrida à metade do século XX, o *modus operandi* da agricultura global foi alterado em busca de um aumento na produção. Foram incentivadas ações de uso extensivo da tecnologia nas atividades de plantio, irrigação, colheita e gerenciamento produtivo, levando a práticas como o uso intensivo de insumos industriais e a mecanização (PRETTY, 1997).

Muito se avançou globalmente nas décadas decorrentes, entretanto, as características locais diferenciadas, como no acesso a tecnologias, resultaram em padrões distintos de desenvolvimento regionais e adequação aos princípios estabelecidos por este modelo de produção. Concomitantemente, os recursos ambientais, por meio da preocupação com a disponibilidade/ sustentabilidade tornam-se uma preocupação crescente à sociedade.

Em meados da década de 90, o termo Intensificação Sustentável foi introduzido na literatura como uma alternativa para solucionar os problemas enfrentados pela agricultura africana (VANLAUWE *et al.*, 2014). Neste cenário, visualizou-se um modelo de crescimento consistente em que se recuperasse áreas degradadas e protegesse parcelas naturais, baseado em evidências empíricas de regeneração com baixa entrada de insumos e que promoviam os produtores rurais participação nos estágios de desenvolvimento tecnológico e extensão. A premissa básica era que a produtividade na agricultura e atividades pastoris são muito mais uma função da habilidade e capacidade humana do que resultado de processos físicos e biológicos (PRETTY, 1997).

A partir dos anos 2000, dentro do escopo de metodologias de agricultura sustentável a Intensificação Sustentável ganhou destaque devido preocupação concomitante com a necessidade de aumento da produção agropecuária para atender o crescimento populacional estimado até o ano de 2050. E assim estabeleceu-se a principal definição da Intensificação Sustentável como tendo por princípios o “incremento da produtividade agrícola sem expansão de área, reduzindo os impactos ambientais negativos e, ao mesmo tempo, aumentando as contribuições de capital natural e o fluxo de serviços ambientais” (ROYAL SOCIETY, 2009; PRETTY *et al.* 2011).

O diferencial desta temática é que além de objetivar práticas agrícolas sustentáveis, esta se propõe como um modelo de desenvolvimento regional sustentável para áreas rurais, onde

almeja-se um equilíbrio entre aspectos produtivos e de preservação, e são incorporadas questões de econômicas, sociais e institucionais pertinentes a condição de vida regional. Ademais, enfatiza a flexibilidade de práticas, em vista da necessidade de adaptação das abordagens ao contexto local. Ou seja, o conceito não se articula a uma visão particular de produção agrícola, não pré-determina tecnologias, espécies ou componentes ao sistema (GARNETT e GODFRAY, 2012; PRETTY e BHARUCHA, 2014).

Mesmo sendo um tema relativamente novo, diversos trabalhos têm se desenvolvido com o intuito de avaliar as diretrizes propostas pelo tema. Entretanto, pouco discute-se sobre a vertente de desenvolvimento regional atrelada ao tema.

A consideração da sustentabilidade por meio da sua multidimensionalidade, enfatiza os aspectos sociais, ambientais, econômicos, institucionais, dentre outros; e, possibilita sua abordagem sob diferentes níveis espaciais, que vão da área agricultável de uma propriedade agrícola até a esfera global (MAHON et al., 2017).

As bacias hidrográficas são unidades de gestão relevantes, por posicionarem centralmente a temática da água, que é um insumo indispensável à agricultura e preservação ambiental. Também, em função de suas características naturais que permitem a análise integrada dos recursos naturais, dos usos e manejos do solo, das ações e efeitos do elemento humano, com o potencial reconhecimento da inter-relação entre os fatores e do ganho de escala decorrente (ATTANASIO, 2012). Pequenas bacias hidrográficas (de área menor que 100 km²) demonstram ser ainda mais apropriadas, pela possibilidade de conectar práticas de uso e manejo do solo e água com a organização comunitária.

Para o alcance dos objetivos da Intensificação Sustentável, esta organização comunitária formada pelos diversos agentes da bacia hidrográfica é fundamental, pois a articulação, a integração e a sincronicidade consequente da determinação de especificações e orientações sobre os aspectos da vida da sociedade (ambientais, sociais, econômicos, culturais, etc.) é que trarão os resultados diferenciais.

Entretanto, neste processo de organização comunitária é comum surgir a dificuldade na determinação de um consenso entre os agentes tomadores de decisão, uma vez que estes têm formação, desejos e ambições diferentes. Potencialmente, há identificação de conflitos de preferências entre estes agentes.

Assim, o problema é considerado como multidimensional e composto por multicritérios. Também, é de multi-decisores, visto que a questão de planejamento da produção agrícola em bacias hidrográficas aborda, potencialmente, interesses dos agentes sobre o uso e manejo do solo. Para estes tipos de problema as técnicas de suporte à decisão mais adequadas são aquelas que envolvem Análise Multicriterial. Estas metodologias caracterizam-se como um agrupamento de técnicas para avaliação de opções de decisão entre vários critérios medidos em diferentes unidades. Seu emprego é altamente eficaz para aspectos da gestão territorial, pois adiciona estrutura, auditabilidade, transparência e rigor as decisões (HAJKOWICZ E HIGGINS, 2006).

No entanto, uma questão bastante pertinente ao escopo destas técnicas refere-se a abordagem agregativa efetuada nos pesos que os agentes distribuem aos critérios avaliados. Em geral, são feitas estatísticas simples com os pesos, como médias aritméticas, tendo o intuito de consolidar a distribuição de importância dada pelos agentes a cada critério (SRDJEVIC, 2007; LEONETI, 2012). Mas, se a avaliação ocorrer em uma situação em que há divergência de interesses entre os agentes, como pode ser o caso de iniciativas de Intensificação Agrícola Sustentável na gestão territorial, essa consolidação pode dissimular conflitos existentes.

Uma proposta para avaliar a interação estratégica e de negociação entre os agentes em circunstância de conflitos é a Teoria dos Jogos. Esta metodologia considera que a opinião de cada agente, ou grupo homogêneo, é relevante para alcançar o resultado pretendido, e, portanto, analisa em separado suas preferências, estabelecendo coeficientes relacionais para cada alternativa e o intervalo de aceitabilidade no problema de tomada de decisão. Com isso subsidia a negociação entre os agentes e uma tomada de decisão mais consciente, realística e estável (MADANI, 2010; LEONETI, 2012).

Em geral, o emprego da técnica de Teoria dos Jogos pode ser consorciado a qualquer metodologia de Análise Multicriterial, pois a etapa de definição dos pesos aos critérios é passível de ser realizada em todas. A proposta deste trabalho é analisar o emprego da Teoria dos Jogos associada a metodologias de Análise Multicriterial para auxiliar a avaliação diagnóstica e prognóstica da Intensificação Agrícola Sustentável em escala de pequenas bacias hidrográfica, tomando como referência os indicadores de água e solo.

1.1 JUSTIFICATIVA

Sistemas de Suporte à Decisão são ferramentas de auxílio a tomada de decisão para problemas não estruturados (ou parcialmente estruturados). Esta categoria representa os problemas aos quais não existe solução através de algoritmos bem definidos, e, portanto, não são facilmente sistematizados (PORTO E AZEVEDO, 1997).

Desenvolvidos a partir da década de 50, modelos de suporte à decisão são classificados de acordo com o número de objetivos que os compõem. Exemplos de métodos com único objetivo são técnicas de otimização, envolvendo programação linear, não-linear ou dinâmica, e técnicas de simulação. Já as metodologias com múltiplos objetivos abrangem, principalmente abordagens de otimização multiobjetivos e Análises Multicriteriais (PORTO E AZEVEDO, 1997; BRAGA et al., 1998).

Problemas de gestão de recursos hídricos e planejamento agrícola em bacia hidrográfica são complexos, e analisados através de técnicas multiobjetivos. Os trabalhos de Intensificação Agrícola Sustentável, em geral, utilizam métodos de otimização multiobjetivos, como pode ser visto em: Omer et al. (2010), Elliot et al. (2013), Firbank et al. (2013), Barnes e Thompson (2014), Franks (2014), Berre et al. (2014), Gadanaskis et al. (2015).

Entretanto, é relevante salientar que este tipo de problema, envolvendo a dicotomia entre a produtividade agrícola e a sustentabilidade ambiental não se adequa a ótica da otimização, uma vez que esta situação não representa com fidelidade os aspectos do sistema. A realidade observada na prática não é otimizada, mas sim, composta da inter-relação entre os critérios componentes, de forma a se obter resultados e orientações satisfatórias. Assim, o problema adequa-se melhor a metodologias de Análise Multicriterial (READ et al., 2014).

A Análise Multicriterial tem como característica principal a avaliação de alternativas de decisão segundo um conjunto de critérios para auxiliar na escolha, ordenamento ou classificação de alternativas (MATZENAUER, 2005; ZAMPROGNO, 2004). Existe uma grande variedade de métodos Análise Multicriterial para suporte à decisão em diferentes circunstâncias e campos de aplicação, o que torna necessário observar a adequação dos mesmos aos problemas analisados (PORTO E AZEVEDO, 1997; BRAGA et al., 1998; Cinelli et al., 2014; JATO-ESPINO et al., 2014).

Os principais métodos, citados por Pompmayer (2003), Campos (2011), Leoneti (2012), Jato-Espino et al. (2014) e Cinelli et al. (2014) são: “Elimination et Choice Traduisant la Réalité” – ELECTRE; “Analytical Hierarch Process” – AHP; “Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations’ – PROMETHEE; “Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution” – TOPSIS; ‘Multiattribute Utility Theory’ – MAUT.

Estes têm em comum as seguintes etapas, fundamentais para execução do método: (i) identificação das alternativas potenciais; (ii) construção de critérios e subcritérios; (iii) definição dos pesos atribuídos pelos agentes aos critérios de decisão (caso houver); (iv) avaliação do desenvolvimento de cada alternativa com respeito aos critérios; (v) agregação dessas alternativas para obter a solução que globalmente proporciona a melhor avaliação (MATZENAUER, 2005; ZAMPROGNO, 2004; LOPES, 2011).

A atribuição de pesos pelos agentes visa refletir, de forma relativizada, suas preocupações e preferências entre os critérios. Ainda, quando em um ambiente de multi-decisores esta ponderação evidencia situações de concordância e discordância entre os mesmos.

Entretanto, a construção dos modelos multicriteriais foi baseada no decisor individual, e quando estas metodologias são aplicadas em situações compostas por um grupo de decisores, como é o caso de problemas complexos, usualmente, aplicam-se técnicas de agrupamento dos pesos (MAASER, 2010; LEONETI, 2012).

A agregação tem sido proposta através do uso de estatísticas simples aos pesos determinados pelos agentes, como média aritmética, média geométrica, mediana ou moda. Este procedimento agrega as diferentes preferências aos critérios de cada tomador de decisão do grupo, em um único vetor de pesos. Ou seja, simplificam a situação ao converter o problema de multi-decisores, em pesos de um único tomador de decisão (MAASER, 2010; LEONETI, 2012; MORAIS E ALMEIDA, 2012).

Esta consolidação parte do pressuposto de que as preferências entre os membros do grupo não são significativamente diferentes, ou seja, estatisticamente homogêneas (SRDJEVIC, 2007). O que é difícil em abordagens de gestão territorial envolvendo agricultura e recursos naturais, como água e solo. Assim, apesar de ser uma prática comum aos métodos, esta agregação pode ao final não representar o que cada um dos agentes envolvidos determina como peso ideal para os critérios, dissimulando assim os conflitos existentes (MAASER, 2010; LEONETI, 2012).

Uma possível solução para este problema de decisão em grupos, é considerar a diversidade de opinião dos agentes envolvidos no processo decisório (SRDJEVIC, 2007). Seguindo esta proposta, os pesos que os diferentes tomadores de decisão adotam para os vários critérios considerados na avaliação das alternativas representam suas preferências individuais (LEONETI, 2012). E, deste modo, o processo de ponderação dos critérios revelaria o perfil de cada tomador de decisão em um ambiente onde os possíveis conflitos emergem das diferentes preferências individuais, tornando as escolhas resultantes do processo de interação estratégica com outros agentes.

A Teoria dos Jogos é um campo da ciência que analisa a interação estratégica entre agentes com distintas preferências visando incrementar seus retornos. Conhecida por ser uma teoria que trata das características gerais de situações competitivas com ênfase nos processos de tomada de decisão dos jogadores. Neste campo do conhecimento, ao invés de procurar por uma alternativa otimizada ou aquela que melhor se posiciona em uma classificação, busca-se encontrar equilíbrios que potencializem a negociação entre os agentes envolvidos para alcançar resultados realísticos e estáveis (MADANI, 2010; LEONETI, 2012; READ et al., 2014).

Além disto, o processo de negociação evidenciado nesta teoria considera a avaliação entre diferentes cenários e alternativas, levando os agentes a uma compreensão mais abrangente das possíveis soluções e consequências da tomada de decisão, em nível individual e geral (MADANI, 2010). Também, por não necessitar considerar as preferências dos agentes como homogêneas, a Teoria dos Jogos possibilita o envolvimento de diferentes tipos de decisores: sejam aqueles com interesses diferentes, como de viés ambiental, econômico ou social; ou aqueles que possuem interdependência, por exemplo, a relação entre proprietários rurais de área montante e jusante em uma bacia hidrográfica.

Leoneti (2012) expõe que a principal vantagem da aplicação da Teoria dos Jogos no processo de tomada de decisão em grupo encontra-se na gestão dos conflitos potenciais do processo e na proposição de um equilíbrio envolvendo todas as dimensões analisadas, o que aumenta as chances de se encontrar uma solução mais sustentável que satisfaça as preferências da maioria dos envolvidos.

Szidarovszky e Duckstein (1984) já demonstraram que os conceitos da Teoria dos Jogos poderiam ser usados para desenvolver uma metodologia de solução para determinada classe de problemas multicriteriais e que seus pontos de equilíbrio seriam pontos de solução mínima, ou o resultado da escolha subjetiva do tomador de decisão. Outros autores que também

apresentaram a resolução de um problema multicritério envolvendo a aplicação da Teoria dos Jogos, na área da gestão de Recursos Hídricos, gestão territorial e planejamento de agrícola, foram: Carraro et al (2007), Dinar et al. (1992), Getirana e Malta (2010), Lee (2012), Raquel et al. (2007), Podimata e Yannopoulos (2015), Seusarna e Okada (2010), Skardi et al. (2012).

Carraro et al. (2005) e Madani (2010) apontam que muitos dos problemas ambientais são melhores considerados dentro da abordagem da Teoria dos Jogos. Por exemplo, em muitas questões relacionadas à gestão de recursos hídricos, manifestam-se características de um jogo cooperativo de estratégias pura, como no manejo de um aquífero subterrâneo. Em outras questões a modelagem assume um jogo de puro conflito, no qual o retorno a um indivíduo implica uma redução dos retornos de seus oponentes. Nestas situações, os jogadores devem encontrar estratégias para negociar e dividir os recursos de uma forma que seja aceitável para todas as partes.

Dada a complexidade dos processos e das questões ambientais e agrícolas, a Teoria dos Jogos tem um elevado potencial para ajudar no processo de encontrar um acordo plausível entre as partes envolvidas, auxiliando na decisão de um cenário de desenvolvimento para a região. Isso ocorre porque a teoria fornece suporte ao processo de negociação direta ou indireta através do encurtamento do período de tempo necessário para chegar a um acordo, pela identificação teórica de um intervalo de aceitabilidade, ou seja, a seleção das propostas que tenham maiores chances de serem aceitas pelo grupo e o prévio descarte das propostas que seriam quase ou certamente rejeitadas pelo grupo (CARRARO et al., 2005; MADANI, 2010; READ et al., 2014).

Assim, se na modelagem tradicional os métodos multicritérios buscam encontrar uma solução que maximize a utilidade dos tomadores de decisão ou, onde há uma incerteza, maximize a utilidade esperada; na modelagem baseada na Teoria dos Jogos o objetivo é encontrar situações de equilíbrio. O que pode ocorrer através da determinação de situações de ótimos de Pareto e equilíbrio de Nash.

O ótimo de Pareto é uma situação de equilíbrio encontrada em circunstâncias na qual, não é possível melhorar o atendimento da preferência de um dos agentes, sem degradar ou diminuir o atendimento dos interesses de outro jogador. Em geral, é evidenciada como uma situação mínima de satisfação global (VARIAN, 2003).

Já no equilíbrio de Nash considera-se que os jogadores têm o conhecimento sobre as estratégias dos seus concorrentes e escolhem o melhor caminho possível para si, levando em consideração as escolhas de todos os outros jogadores, estabelecendo-se, então, uma situação de equilíbrio na qual os participantes não tem incentivo a mudar de estratégias (NASH, 1951; VARIAN, 2003).

O processo de negociação, associado a observação destas situações de equilíbrio torna possível a obtenção de resultados mais estáveis, realísticos e, por vezes, mais eficientes do que a busca pela otimização. Isso porque na modelagem tradicional os agentes são levados a pensar na melhor situação global, que pode gerar falta de compromisso e identificação destes agentes com o acordo estabelecido, pois o resultado, particularmente, não lhes favoreces. O que se difere das soluções balanceadas buscadas pela Teoria dos Jogos, entre os agentes envolvidos (MADANI, 2010; READ et al., 2014).

Leoneti (2012) propôs um modelo teórico de acoplamento da ferramenta TOPSIS com a Teoria dos Jogos para a seleção de sistemas de tratamento de efluentes em situação de conflito entre agentes com maior interesse nos aspectos econômicos e ambientais. Como resultado apontou algumas vantagens e desvantagens desta metodologia. Dentre as vantagens: a consideração de vários critérios e decisores sem agregação; a avaliação dos comportamentos estratégicos; a necessidade baixa de esforço do decisor para definir os vetores de preferência; e a possibilidade de verificar e avaliar vários cenários. A principal limitação identificada está no fato de que os algoritmos utilizados na procura do equilíbrio de Nash podem exigir um elevado poder computacional, dado o aumento do número de iterações quando novos jogadores são incorporados.

Analogamente, o intuito deste trabalho é propor um modelo de associação de técnica de Análise Multicriterial com a Teoria dos Jogos, que seja baseado no perfil de jogadores com suas diferentes preferências de atendimento aos critérios e que, também, modele a interação estratégica que ocorre entre eles na busca de alternativas que satisfaçam as condições de equilíbrio. A situação de interesse é a avaliação da sustentabilidade da intensificação da produção agrícola em bacias hidrográficas. E a análise se baseará na comparação entre a aplicação exclusiva e consorciada do modelo de Análise Multicriterial.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Propor uma metodologia, baseada na associação da Análise Multicriterial e Teoria dos Jogos, para tomada de decisão em situação de conflito visando a promoção da Intensificação Sustentável em pequenas bacias hidrográficas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar características de metodologias de Análise Multicriterial e Teoria dos Jogos aplicáveis à avaliação da Intensificação Sustentável em pequenas bacias hidrográficas.
- Desenvolver ferramenta associada de Análise Multicriterial e Teoria dos Jogos para avaliação da Intensificação Agrícola Sustentável em pequenas bacias hidrográficas.
- Verificar o desempenho relativo de modelo de Análise Multicriterial empregado de forma exclusiva, e em associação à Teoria dos Jogos, na avaliação da Intensificação Agrícola Sustentável.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A Intensificação Sustentável em Escala de Bacia Hidrográfica para Avaliação de Sustentabilidade Regional

A primeira seção destina-se a analisar a relação dos processos hidrológicos e hidrossedimentológicos com a unidade de bacias hidrográficas e a sua escala. A relação entre o desenvolvimento regional sustentável e a gestão integrada de recursos hídricos. A Intensificação Agrícola Sustentável como uma metodologia de agricultura sustentável, mas que relaciona-se ao desenvolvimento regional. E o levantamento de indicadores usados como medidas para avaliação de sustentabilidade.

3.1.1 Bacia Hidrográfica, Processos Hidrológicos e Hidrossedimentológicos

A bacia hidrográfica caracteriza-se como uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. Assim, esta compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos d'água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (TUCCI, 1997).

Para Odum (1988) a bacia hidrográfica pode ser vista como um sistema aberto, cujo funcionamento e estabilidade relativa refletem, em grande parte, as taxas de influxo e os ciclos de energia, da água e de materiais ao longo do tempo. O autor cita como exemplo que as causas e efeitos da degradação hídrica não são encontrados olhando-se apenas para dentro da água, pois é o uso e gerenciamento incorreto da bacia hidrográfica que destrói os recursos hídricos.

Os processos hídricos e hidrossedimentológicos são intrínsecos a esta unidade. A bacia hidrográfica pode ser entendida então como um ente sistêmico (Porto e Porto, 2008) e é sobre este espaço em que se desenvolvem as atividades humanas. A questão da escala de bacia

hidrográfica a ser utilizada deve ser entendida como aquele capaz de incorporar toda a problemática de interesse.

Com relação ao fator área na distinção entre os termos bacia e microbacia hidrográfica Lima e Zakia (2000), explicam que sob o ponto de vista da hidrologia a classificação das bacias hidrográficas em grandes e pequenas deve ser feita com base não somente na sua superfície total, mas também considerando os efeitos de certos fatores dominantes na geração do deflúvio. Assim, hidrologicamente as microbacias tem como características distintas uma grande sensibilidade tanto a chuvas de alta intensidade (curta duração), como também ao fator uso do solo (cobertura vegetal). Quer isso dizer que as alterações na quantidade e na qualidade da água do deflúvio, em função de chuvas intensas e ou em função de mudanças no uso do solo, são detectadas com muito mais sensibilidade nas microbacias do que nas bacias grandes. Nestas últimas, o efeito de armazenamento da água pluvial ao longo dos canais é tão pronunciado que a bacia torna-se menos sensível aqueles dois fatores (chuvas intensas e mudança no uso e ou cobertura do solo).

Nessa base conceitual que apresentou a pequena e micro hidrográfica como um elemento de escala de análise ambiental muito singular, pois ela representa o elo de ligação entre a escala micro (correspondente àquele nível de análise, verificação, medição, monitoramento e intervenção in loco) e a macroescala de análise (correspondente à paisagem, região, bacia hidrográfica, nação ou até mesmo global) de onde são emanadas as normas, a legislação e as políticas publicas

Nos últimos 20 anos do século XX, consolidou-se a concepção de que a bacia hidrográfica é a unidade mais apropriada para o gerenciamento e a otimização dos usos múltiplos e para o desenvolvimento sustentável. Muitos organismos internacionais, como UNESCO e PNUMA, deram aval a esta concepção e o conceito de “serviços de ecossistemas e dos recursos naturais”, conforme discutido e apresentado por Constanza et al. (1997) e Ayensu et al. (1999), foi sendo consolidado e implementado em nível de bacias hidrográficas de grande e pequeno porte.

Do ponto de vista científico, a contribuição de Likens et al. (1984, 1992) promoveu as bases científicas para uma avaliação dos processos m nível de bacias hidrográficas, além de funcionar como um instrumento de planejamento e gestão.

No início do século XX, a experiência internacional promovida pelo MEA (Milenium Ecosystem Assessment – Avaliação Ecosistêmica do Milênio) foi fundamental para a

concepção dos serviços promotores de mudanças e propostas de conservação e promoção de análises e cenários.

A bacia hidrográfica tem certas características essenciais que a tornam uma unidade bem definida, do ponto de vista biogeofisiográfico, e possibilita não só a integração de estudos como a adoção e implementação de um plano de gerenciamento utilizando-se um conceito sistêmico para a gestão, elaborando-se um conceito sistêmico para a gestão, elaborando-se bancos de dados que possam promover cenários e perspectivas qualitativas e quantitativas, através de modelagem matemática e ecológica.

A abordagem por bacias hidrográficas apresenta vantagens e possibilidades para pesquisas, gerenciamento, usos múltiplos e conservação.

A bacia hidrográfica é uma unidade física com fronteiras delimitadas podendo estender-se por várias escalas espaciais, desde pequenas bacias hidrográficas até 100 km², até grande bacias hidrográficas de área milhões de km².

Portanto, o conceito de bacia hidrográfica aplicado ao gerenciamento de recursos hídricos, estende as barreiras políticas tradicionais (municípios, estados, países) para uma unidade física de gerenciamento, planejamento e desenvolvimento econômico e social. A falta de visão sistêmica na gestão de recursos hídricos e a incapacidade de incorporar/adaptar o projeto a processos econômicos e sociais atrasam o planejamento e interferem em políticas públicas competentes e saudáveis. A capacidade de desenvolver um conjunto de indicadores é um aspecto importante do uso dessa unidade no planejamento.

A bacia hidrográfica é também um processo descentralizado de conservação e proteção ambiental, sendo um estímulo para a integração da comunidade e a integração institucional.

3.1.2 Desenvolvimento Sustentável e a Gestão Integrada de Recursos Hídricos

Até os anos 70 achava-se que era improvável haver desenvolvimento industrial e econômico preservando-se o meio ambiente. Pensava-se que o crescimento econômico, a livre iniciativa e concorrência estavam relacionados à poluição e à devastação das florestas. Em 1972, a condição de exaustão e a exploração irracional dos recursos terrestres levou a ONU (Organização das Nações Unidas) a realizar a Conferência Mundial das Nações Unidas sobre Meio Ambiente,

em Estocolmo, cuja Declaração do Meio Ambiente é resultante, e entre vinte e seis princípios fundamentais de proteção ambiental, está o desenvolvimento sustentável.

O princípio do desenvolvimento sustentável foi destacado, após a publicação do Relatório Brundtland em 1987. Este relatório definiu o desenvolvimento sustentável como o desenvolvimento que atende às necessidades da geração atual sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atender às suas necessidades. Tal visão de desenvolvimento sustentável está centrada na equidade intergerações de forma que as gerações futuras tenham ao menos o bem-estar das gerações presentes (SILVA, 2017). Para isso, é preciso avaliar o desenvolvimento por meio da identificação dos processos sociais, econômicos, tecnológicos e ambientais que inviabilizam a satisfação das necessidades da geração atual, e/ou que possam inviabilizar tal satisfação pelas futuras gerações. A tecnologia e a organização social são vistas como gerenciáveis e condutoras do crescimento econômico, da redução da pobreza e melhoria da qualidade de vida. A equidade social e a satisfação das necessidades básicas devem ser garantidas pelo sistema político, com a participação efetiva dos cidadãos no processo de decisão, assim como pela democracia no processo de decisão internacional. Destaca-se, ainda, que o modo de vida dos povos desenvolvidos deve se adaptar aos limites ecológicos

O desenvolvimento sustentável, segundo Sachs (2008, 2009), depende das inter-relações entre as dimensões social, econômica, ecológica, espacial, cultural, territorial e política. A dimensão social se refere à distribuição de renda e à exclusão social. A dimensão econômica enfatiza a eficiência do sistema produtivo pela gestão dos recursos. A dimensão ecológica está relacionada com a preservação ambiental e oferta dos recursos naturais. A dimensão espacial aborda a ocupação rural e urbana, distribuição territorial das atividades e habitação. A dimensão cultural destaca a forma de pensar e agir da sociedade para despertar a consciência ambiental e relações de consumo que causam danos ambientais. A dimensão territorial aborda a ocupação planejada do espaço, levando em consideração os limites do sistema ecológico. A dimensão política está relacionada com a democracia, a participação dos setores sociais nas decisões, os direitos humanos e o aparato institucional e legal estáveis nos níveis municipal, estadual e federal. Na esfera internacional, a dimensão política está focada na cooperação, responsabilidade e controle dos problemas ecológicos globais, mudanças climáticas, conservação da biodiversidade ecológica e cultural e no sistema financeiro internacional.

O reconhecimento da necessidade do monitoramento do desenvolvimento sustentável por meio de indicadores levou a Organização das Nações Unidas (ONU), por meio da Comissão para o

Desenvolvimento Sustentável a elaborar o relatório Indicators of Sustainable Development (IDS) (ONU, 2007). Este relatório foi utilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012) para monitorar quatro dimensões do desenvolvimento sustentável. A dimensão ambiental que contempla a atmosfera, terra, água doce, oceanos, mares e áreas costeiras, biodiversidade e saneamento. A dimensão social aborda a população, trabalho, rendimento, saúde, educação, habitação e segurança. A dimensão econômica avalia o quadro econômico, padrões de produção e consumo. E, a dimensão institucional engloba o quadro institucional e a capacidade institucional (SILVA, 2017).

A Gestão Integrada de Recursos Hídricos aloca-se diretamente a esta discussão de desenvolvimento sustentável. A definição utilizada para é o processo que promove o desenvolvimento coordenado e o gerenciamento da água, terra e recursos relacionados para maximizar o resultado econômico e social de forma equitativa sem comprometer a sustentabilidade vital do ecossistema.

A palavra integrada do GIRH tem vários significados como a integração entre o social e o natural; a terra e a água na gestão do espaço urbano e rural; o ambiente da bacia hidrográfica e o costeiro; as águas superficiais e subterrâneas; quantidade e qualidade da água; condições de montante e jusante numa bacia hidrográfica; setores de desenvolvimento econômico-social e institucional: privado e público, setores da água, legislação integrada, gestão com visão integrada, entre outros; todos os elementos da água no meio urbano e visão integrada dos efeitos econômicos da cadeia produtiva da água.

A implementação do GIRH a nível nacional, regional ou local depende essencialmente de alguns elementos básicos como: legislação nacional intersetorial, a bacia como unidade de planejamento, participação pública por meio de organizações e indivíduos que atuam na bacia; a gestão pelos comitês de bacia, os mecanismos de valoração da água, a garantia de mecanismos de conservação por meio de legislação e fiscalização, planos que estabeleçam a efetiva integração entre todos os componentes.

A gestão integrada de Recursos Hídricos requer a definição do escopo, escala e governança. O escopo se refere a questão social e aos problemas do desenvolvimento a água. A escala relaciona-se ao nível de planejamento, nacional, local ou de bacia hidrográfica. A governança, por sua vez, refere-se à inclusão dos setores públicos, privados e sociedade no processo decisório (JUWANA et al., 2012).

3.1.3 Metodologias de Sustentabilidade Agrícola

Agricultura sustentável pode ser definida como aquela que no longo prazo promove a qualidade do meio ambiente e dos recursos básicos dos quais depende a agricultura, provê as fibras e alimentos necessários para o ser humano, é economicamente viável e melhora a qualidade de vida dos agricultores e da sociedade em conjunto (PALMER E RISING, 2013).

Hansen (1996) caracteriza diversos tipos de definições para a agricultura sustentável referindo-se aos pontos de vista de uma ideologia, de um conjunto de estratégias, da possibilidade para satisfazer certas metas ou como a habilidade de manter certas propriedades ao longo do tempo. No seu estudo, dentre outras conclusões, o autor afirma que, embora haja consenso na literatura sobre a importância do conceito de sustentabilidade para a agricultura, os critérios para se avaliar as respostas dos sistemas produtivos às mudanças orientadas para a sustentabilidade ainda não estão esclarecidos.

O quadro abaixo apresenta de forma sintetizada algumas metodologias de produção agrícola sustentável.

Quadro 3.1: Descrição de metodologias de produção agrícola sustentável.

FORMA DE PRODUÇÃO	DEFINIÇÃO	FONTE
Intensificação Ecológica	É a utilização de princípios ecológicos para projetar sistemas de produção mais sustentáveis, otimizando o potencial de cada área. Para ser considerada intensificação ecológica o sistema deverá basear-se na redução do uso de insumos e no melhoramento genético. Existem diversas formas de intensificação como, por exemplo, rotação de culturas, sistemas agroflorestais, sistemas silvipastoris, manejo integrado de pragas e melhoramento genético.	CIRAD, 2013; THE Montpellier Panel, 2013
Agricultura de Conservação	É o manejo agrícola que visa alcançar uma agricultura sustentável e rentável, conseqüentemente, melhorando a condição de subsistência dos agricultores através de três princípios: perturbação mínima do solo, manutenção da cobertura do solo e rotação de cultura.	FAO, 2015

FORMA DE PRODUÇÃO	DEFINIÇÃO	FONTE
Agricultura Orgânica	<p>É um termo que indica a forma de produção de determinado item, seja alimentício ou não. Significa dizer que determinado produto foi produzido através de métodos aprovados, integrando o saber cultural, características biológicas (sem utilização de melhoramento genético) e práticas mecânicas a fim de promover a ciclagem de nutrientes, o equilíbrio ecológico, o bem estar animal e a conservação da biodiversidade.</p> <p>No Brasil a agricultura orgânica foi aprovada pela Lei nº 10.831/2003 e regulamentada pelo Decreto nº 6.323/2007.</p>	USDA, 2015; Ministério da Agricultura, 2015.
Agroecologia	É a aplicação da ecologia para conceber e gerir agroecossistemas sustentáveis. Um sistema agrícola e alimentar, baseado em conhecimento tradicional, agricultura alternativa e experiências alimentares locais.	
Sistemas Agrícolas Sustentáveis	São sistemas que visam satisfazer a alimentação humana e as necessidades de fibras; contribuir para as necessidades de biocombustíveis; aumentar a qualidade ambiental e a continuidade dos recursos; assegurar a viabilidade econômica da agricultura e melhorar a qualidade de vida dos agricultores, trabalhadores rurais e da sociedade como um todo.	National Research Council, 2010
Intensificação Genética	<p>É a utilização de técnicas de manipulação genéticas para melhorar a segurança alimentar, garantindo melhores rendimentos bem como aumentando as qualidades das variedades, seja de culturas ou de animais. É a concentração de genes benéficos em variedades e espécies.</p> <p>Pode apresentar apenas um objetivo, ou pode apresentar vários, como aumento da produtividade, aumento do valor nutricional, variedades e espécies mais resistentes a pragas, doenças e mudanças climáticas.</p>	The Montpellier Panel, 2013
Intensificação socioeconômica	<p>É o processo de desenvolvimento de instituições inovadoras e sustentáveis na fazenda, na comunidade e entre regiões e nações como um todo. É a criação de um compasso entre meio ambiente e capital humano e social, possibilitando estilos de vida mais sustentáveis.</p> <p>O aumento da produtividade nas áreas já utilizadas atualmente requer investimentos em pesquisas e extensão agrícola, na melhoria nas estradas e acessos que levam os produtos para o mercado e a melhoria dos serviços oferecidos no campo, incluindo educação e saúde.</p>	The Montpellier Panel, 2013

Com o intuito de apresentar uma nova metodologias de agricultura sustentável que apresenta relação com princípios orientadores aos desenvolvimento sustentável, apresenta-se na sequência a Intensificação Sustentável.

3.1.4 Intensificação Sustentável

Nos países africanos o impacto da Revolução Verde foi ainda maior devido à propensão a seca previamente existente em diversos ecossistemas. O crescimento econômico/tecnológico foi menor do que o observado na Ásia e na América do Sul, devido à falta de investimentos e infraestrutura de pesquisa/extensão, a corrupção e a insegurança dos governos. O contínuo crescimento da população causou uma parada no aumento da disponibilidade de alimentos produzidos no continente. Como resultado, a fome e a pobreza continuam altamente difundidas atualmente. Ainda assim, a agricultura na África garante 65% dos empregos, 25% a 30% do PIB e mais da metade dos ganhos com exportação, que sustentam dois terços dos lares pobres africanos (GOW, 1987; PRETTY, 2011).

As novas práticas agrícolas possibilitaram a intensificação no cultivo em áreas agrícolas já consolidadas, resultando em conservação de áreas florestais, como ocorrido na bacia do Congo. Outros locais, como a região Sahel-Saara, adotaram a criação extensiva de gado uma opção para evitar a exaustão dos recursos. No entanto, eventos de seca na década de 1970 indicaram que essas estratégias não eram eficazes (GOW, 1987; VANLAUWE et al., 2014).

Apesar da melhoria nas formas de cultivo e de outras áreas ainda oferecerem possibilidade de novas lavouras, continuar com as mesmas práticas agrícolas não seria uma opção para sustentabilidade ambiental ou mesmo para suprimento de comida. Problemas que seriam agravados tendo em vista que a população mundial deverá atingir nove bilhões de habitantes até 2050, só na África espera-se que a população irá dobrar (VANLAUWE et al., 2014).

Devido a esses problemas, por volta de 1990, foi introduzido o conceito de Intensificação Sustentável (IS), buscando soluções para a agricultura na África, onde grande parte do continente já passava por problemas com limitações de nutrientes e por falhas na produção agrícola. (GARNETT e GODFRAY, 2012; VANLAUWE et al., 2014).

A IS aparece como uma alternativa a agricultura convencional, que traz um foco exacerbado a insumos, sem articulação de práticas agrícolas e sem conservação dos ecossistemas, causando prejuízos que são difundidos pelo próprio sistema de produção de alimentos. Nesse caso, as atividades agrícolas são agente e vítima de danos ambientais (GARNETT e GODFRAY, 2012; VANLAUWE *et al.*, 2014).

Em 2009, o tema ganha destaque internacional pelas pesquisas do Reino Unido desenvolvidas e desde então, o conceito ganhou força e tornou-se perceptivo através dos governos (Foresight, 2011; DEFRA SIP, 2016), institutos de pesquisa (Royal Society, 2009; Barnes, 2012; Garnett e Godfray, 2011; Lampkin *et al.*, 2015), Instituições internacionais de desenvolvimento (FAO, 2011; Banco Mundial, 2012, 2013; Shepherd *et al.*, 2013; USAID, 2015) e até mesmo agronegócios transnacionais (Jöhr, 2010; SFSA, 2016; Monsanto, 2015).

Diferencia-se de outros métodos de agricultura sustentável porque enfatiza a flexibilidade de práticas, em vista da necessidade de adaptação das abordagens ao contexto local (GARNETT e GODFRAY, 2012; PRETTY e BHARUCHA, 2014). Ou seja, o conceito não se articula a uma visão particular de produção agrícola, não pré-determina tecnologias, espécies ou componentes ao sistema.

Outras características relevantes são: considerar a sustentabilidade por meio da sua multidimensionalidade, enfatizando os aspectos sociais, ambientais, econômicos, institucionais, dentre outros; e, possibilitar a abordagem sob diferentes níveis espaciais, que vão da área agricultável de uma propriedade agrícola até a esfera global (Mahon *et al.*, 2017).

São enfatizadas práticas que buscam imitar processos ocorridos em ecossistemas naturais, incluindo: o uso do Manejo Integrado de Pragas (MIP); práticas de conservação de água e solo; agrossilvicultura (Altieri, 2004; Pimentel *et al.*, 2005; Pretty, 1995; Raynolds, 2000; Vandermeer, 1995); produção local, comércio e consumo; além de aumentar o capital social dentro das comunidades agrícolas.

Apesar do interesse tão diverso, os conceitos subjacentes ao Intensificação Sustentável não foram universalmente aceitos, nem consistentemente interpretados. Os principais aspectos de discussão acerca da temática são: o que realmente significa IS (Buckwell *et al.*, 2014; Garnett *et al.*, 2013; Gliessman, 2014); como ela pode ser medida e implementada (Tilman *et al.*, 2011; Fish *et al.*, 2014; Vanlauwe *et al.*, 2014; Sutherland *et al.*, 2015; Vosough Ahmadi *et al.*, 2015); que indicadores e metodologias podem ser usados para monitorar e avaliar se a SI foi alcançada

(Barnes e Thomson, 2014; Elliott et al., 2013; Firbank et al., 2013); se as práticas especificadas como SI podem ser aplicadas a todos os tipos de agricultura (Garnett e Godfray, 2012; Loos et al., 2014; Petersen e Snapp, 2015); quais os potenciais trade-offs associados à implementação do SI e como estes devem ser quantificados (Crute, 2012; Ripoll-Bosch et al., 2012; Franks, 2014; Renwick et al., 2014; Struik et al., 2014).

A proliferação de tais debates não é surpreendente, dado que ambas as palavras intensificação e sustentabilidade descrevem características aparentemente opostas. Garnett e Godfray (2012) sintetizaram a crítica do conceito em três classes de debate: a primeira relaciona-se com a visão e o modo com que a Intensificação Sustentável tem sido utilizada para prescrever formas específicas da agricultura consideradas inadequadas por várias razões; a segunda aborda as questões de justificativa para adoção de Intensificação Sustentável; e a terceira condiz com um conjunto de questões que refere-se a base conceitual de IS, por exemplo, o que é mais importante “sustentabilidade” ou “intensificação”, e como é o balanceamento entre estas duas abordagens.

Pretty e Bharucha (2014) expõem que a discussão sobre Intensificação Sustentável é alvo de debates em várias correntes, por ser um tema que lança questões complexas, como relação da agricultura com outros setores e diversidade entre escalas espaciais (propriedades agrícolas, bacias hidrográficas ou paisagem) e temporais (anos, décadas ou gerações).

Segundo Cook et al. (2015), esse conceito tem privilegiado a produção em detrimento de outros aspectos da garantia da segurança alimentar como, por exemplo, a distribuição de recursos. Os autores enfatizam que pressões de empresas e laboratórios fizeram com que a intensificação sustentável passasse a favorecer abordagens tecnológicas em detrimento de métodos agroecológicos, incentivando, por exemplo, o uso de sementes geneticamente modificadas.

Bourgeois (2013) também destaca que o foco atual da intensificação sustentável é a produção e a rentabilidade. Segundo o autor, o termo “intensificação” não pode ser tomado como palavra-chave, e sim o termo “sustentável”. Neste caso, a sustentabilidade deveria ser entendida como a união entre três princípios do desenvolvimento sustentável: desenvolvimento econômico, justiça social e integridade ambiental.

Além disso, o termo “sustentável” aparece com foco na questão ambiental e, dessa forma, analisa superficialmente as questões sociais, políticas e econômicas necessárias à sustentabilidade da atividade agrícola (COOK et al., 2015; ROBINSON et al., 2015;

GARNETT et al., 2013; BOURGEOIS, 2013; BARNES et al., 2011a). Robinson et al. (2015) chama atenção para o fato de que ao colocar questões sociais e econômicas em segundo plano, pode haver baixa adoção das práticas sugeridas no âmbito da intensificação sustentável, acarretando em efeitos colaterais adversos, como o aumento da desigualdade social e até mesmo a degradação ambiental.

Estes autores criticam a atual utilização do termo Intensificação Sustentável, entretanto, não propõem sua descaracterização, mas sim a repactuação com as características originais do termo.

3.1.5 Indicadores de Sustentabilidade

Indicadores e índices são mecanismos que permitem a simplificação e comunicação de evidências. Segundo a OCDE, um indicador pode ser definido como um parâmetro, ou um valor derivado de parâmetros, com capacidade de fornecer informação ou descrição do estado de um fenômeno, e índice como um conjunto de parâmetros agregados ou ponderados de indicadores. Os indicadores auxiliam o processo de tomada de decisão por meio da redução do número de medições e parâmetros para diagnosticar uma situação e na simplificação do processo de comunicação (OCDE, 1998; SILVA, 2017).

Segundo Mitchell (1996), indicador é uma ferramenta que permite a obtenção de informações sobre uma dada realidade. Para Mueller et al. (1997), um indicador pode ser um dado individual ou um agregado de informações, sendo que um bom indicador deve conter os seguintes atributos: simples de entender; quantificação estatística e lógica coerente; e comunicar eficientemente o estado do fenômeno observado. Para Shields et al. (2002), um índice revela o estado de um sistema ou fenômeno. Prabhu et al. (1996) argumentam que um índice pode ser construído para analisar dados através da junção de um jogo de elementos com relacionamentos estabelecido

Indicadores são medidas de condição, dos processos, da reação ou do comportamento dos sistemas complexos que podem fornecer uma confiável síntese. As relações entre os indicadores e o padrão de respostas dos sistemas pode permitir a previsão de futuras condições. Para Marzal

e Almeida (2000), as medidas devem evidenciar modificações que ocorrem numa dada realidade.

A partir da Conferência Eco-92 reconheceu-se o papel importante dos indicadores de sustentabilidade. Mais especificamente na Agenda 21, afirma-se ser necessário desenvolver indicadores do desenvolvimento sustentável que possam fornecer base sólida para a tomada de decisões em todos os níveis, realizando uma conexão entre as informações disponíveis por meio de recursos científicos e as necessidades de informação para a tomada dessas decisões, contribuindo para alcançar a sustentabilidade dos sistemas integrados de meio ambiente e desenvolvimento (CNUMAD, 1992; FELINTO, 2016).

Os indicadores de sustentabilidade são estatísticas selecionadas que procuram mostrar o estado do meio ambiente a que se referem e as tensões nele instaladas, assim como a distância de que este se encontra de uma condição de desenvolvimento sustentável (MARANHÃO, 2007). Esses indicadores também são utilizados para melhorar a base de informações sobre o meio ambiente, de forma a auxiliar a elaboração de políticas públicas, simplificando estudos e relatórios, além de assegurar a comparabilidade entre as regiões (MILANEZ e TEIXEIRA, 2003).

Observa-se que um dos maiores desafios enfrentados na quantificação ou qualificação da sustentabilidade consiste na elaboração de metodologias que permitam avaliar a sustentabilidade considerando as diversas dimensões que o sistema pode ter. O Quadro 3.2 apresenta as dimensões básicas que uma análise de sustentabilidade agrícola pode apresentar.

Quadro 3.2: Dimensões básicas da sustentabilidade agrícola. Fonte: (SILVA, 2017)

Dimensões da sustentabilidade agrícola	Níveis
Normativa	Aspectos ecológicos
	Aspectos econômicos
	Aspectos sociais e institucionais
Espacial	Local
	Regional
	Nacional
	Global
Temporal	Curto Prazo
	Longo Prazo

De acordo com Booyesen (2002) e Singha et al. (2012), para a escolha de um indicador deve-se verificar se ele mensura a sustentabilidade de forma transversal/temporal e de forma absoluta/relativa, se mensura a sustentabilidade em termos de meios (entradas) ou fins (saídas), se é claro e simples no conteúdo, na finalidade, no método de aplicação e na capacidade comparativa e foco. Em relação aos dados mencionam a necessidade de existência.

Para Gallego-Álvarez et al. (2015) um indicador precisa ser intencional, mensurável, representativo, confiável, comunicável, devendo reduzir o número de fatores mensurados e avaliar objetivos políticos e sua efetividade. Para Dale et al. (2013), as características de um indicador são: praticidade, facilidade e rapidez para medir; custo financeiro para medir; sensível e receptivo às pressões naturais e antropogênicas do sistema; inequívoco no que é medido; como as medições são feitas e como a resposta é medida; capacidade de antecipar mudanças iminentes; preditivo sobre alterações que podem ser evitadas com medidas de gestão; calculável com conhecida variabilidade em resposta a alterações; e suficiência, quando considerados coletivamente (SILVA, 2017).

Em síntese, o Quadro 3.3 apresenta características relevantes a serem consideradas para a seleção de indicadores representativos.

Quadro 3.3: Características gerais para um bom indicador. Fonte: Meadows (1998) e Silva (2017).

Características	Descrição
Claro em valor	Certeza no direcionamento para o bom ou para o ruim
Claro em conteúdo	Compreensível: expresso em unidades que façam sentido
Convincente	Para uma ação eficaz
Relevância Política	Relevante para todas as partes interessadas
Viável	Mensurável a um custo razoável
Suficiente	Informação adequada para seu entendimento
Oportuno no tempo	Compilado sem muito atraso
Apropriado em escala	Nem muito ou pouco agregado
Democrático	Participação popular na escolha Acesso popular aos resultados
Suplementar	Mensurar o que a pessoa não pode mensurar por si
Participação	Fazer uso do que a pessoa pode mensurar Compilado de forma a obter uma visão geográfica/temporal
Hierárquico	Permitir que o usuário aprofunde nos detalhes, mas obtenha a informação geral rápida
Físico	Mensurável em unidades físicas
Direcionador	Prover informações em tempo de agir
Experimental	Posto em debate, em estudos e adequações

Há diversos cenários e contextos nos quais os indicadores podem ser desenvolvidos e estruturados para a avaliação da sustentabilidade nos níveis ambiental, social e econômico. Entretanto, não existe um único conjunto de indicadores gerados para cada finalidade, pois os pesquisadores selecionam os seus indicadores de acordo com as suas necessidades e objetivos, por meio de critérios pré-definidos (SIMONOVIC, 2000; JUN *et al.*, 2011).

Os quadros 3.3 a 3.6, a seguir, apresentam os indicadores de sustentabilidade identificados em literaturas, que podem contribuir para a avaliação de sistemas de Intensificação Sustentável. Eles foram agrupados em três dimensões, ambiental, socioeconômico e institucionais.

Quadro 3.4: Indicadores Ambientais identificados para Avaliação da Intensificação Agrícola Sustentável, com foco em aspectos relacionados a água e solo.

Indicador	Referências
Qualidade da água	Ferreira et al. (2012); Ochola et al. (2003)); Gómez-Limón e Sanchez-Fernandez (2010), Cândido et al. (2015)
Tratamento de água para consumo humano	Barreto, Khan e Lima (2005); Alves e Bastos (2011); Sá et al. (2012); Schneider e Costa (2013); Ende et al. (2012), Bortoluzzi (2016)
Método de irrigação	Lopes (2008), Lopes et al. (2010)
Demanda hídrica para irrigação	Ochola et al. (2003), Felinto (2016)
Disponibilidade hídrica subterrânea	Carneiro Neto et al. (2008), Schneider e Costa (2013), Felinto (2006)
Disponibilidade hídrica superficial	Carneiro Neto et al. (2008), Schneider e Costa (2013), Felinto (2006)
Distribuição da precipitação	NEVES (2010) apud BATISTA JUNIOR (2012); Gómez-Limón e Sanchez-Fernandez (2010)
Fertilidade do Solo	Gómez-Limón e Sanchez-Fernandez (2010), Hayati et al. (2011), Cândido et al. (2015), Carneiro Neto et al. (2008), Theodoro et al. (2011), Bortoluzzi (2016)
Drenagem do Solo	Lira, Galvão e Wadt (2011); Bortoluzzi (2016)
Aptidão agrícola dos solos	Ferreira et al. (2012); NEVES (2010) apud BATISTA JUNIOR, (2012), Barreto, Khan e Lima (2005); Alves e Bastos (2011); Schneider e Costa (2013)
Grau de uso de fertilizantes	De Muner (2011); IBGE (2008); Rigby et al. (2001), Hayati et al. (2011), Cândido et al. (2015), ende et al. (2012), Santos e Candido (2011), Schneider e Costa (2013), Bortoluzzi (2016)
Grau de uso de agrotóxicos	Ferreira et al. (2012); IBGE (2008); Rigby et al. (2001), Hayati et al. (2011), Lopes et al. (2010), Santos e Candido (2013), Theodoro et al. (2011), Bortoluzzi (2016), Ende et al. (2012)
Grau de dependência externa de insumos	Ribas, Severo e Miguel (2007); Ferreira et al. (2011), Bortoluzzi (2016)
Tipo de solo	BATISTA JUNIOR, (2012)
Potencial de perda de Solo	Gómez-Limón e Sanchez-Fernandez (2010), Thomazini et al. (2013), Hayati et al. (2011), Lira, Galvão e Wadt (2011); Ramos Filho et al. (2004); Silva, Araújo e Sousa (2008); Schneider e Costa (2013); Ferreira et al. (2011); Theodoro, Castro e Aburaya (2011); Gavioli (2011); Bortoluzzi (2016)

Indicador	Referências
Vulnerabilidade natural dos solos à erosão	IEMA (2010)
Grau de conservação de estradas vicinais	Ferreira et al. (2012), Bortoluzzi (2016), Silva, Araújo, Sousa (2008); Schneider e Costa (2013); Neiva (2010)
Diversidade de uso e ocupação do solo	BATISTA JUNIOR, (2012), Theodoro et al. (2011)
Percentual de áreas agrícolas	Ende et al. (2012); Carneiro Neto et al. (2008); Lira, Galvão e Wadt(2011); Theodoro et al. (2011)
Índice de cobertura florestal	De Muner (2011); IBGE (2008)
Grau de adoção de práticas conservacionistas de manejo do solo	Ferreira et al. (2012); De Muner (2011); Rigby et al. (2001); Thomazini et al. (2013), Hayati et al. (2011); Barreto, Khan e Lima (2005); Alves e Bastos (2011); Toniasso et al. (2007); Ende et al. (2012); Santos e Cândido (2013); Melo e Cândido (2013); Schneider e Costa (2013); Bortoluzzi (2016)
Grau de adoção de práticas ecológicas no solo	Barreto, Khan e Lima (2005); Alves e Bastos (2011); Ende et al. (2012); Santos e Cândido (2013); Schneidere Costa (2013), Bortoluzzi et al. (2016)
Evolução do desmatamento	IBGE (2008)
Grau de preservação das APPs	Ferreira et al. (2012); Barreto, Khan e Lima (2005); Alves e Bastos (2011); Lira, Galvão e Wadt (2011); Ende et al. (2012); Santos e Cândido (2013); Schneider e Costa (2013); Ferreira et al. (2011); Neiva (2010); Ribas, Severo e Miguel (2007), Bortoluzzi et al. (2016)
Susceptibilidade a eventos extremos / Efeito de mudanças climáticas	NEVES (2010) apud BATISTA JUNIOR (2012); IEMA (2013), Hayati et al. (2011), Theodoro et al. (2011), Ferreira et al. (2011)

Os indicadores socioeconômicos, em geral, expressam a necessidade de integração da sociedade, avaliação da qualidade de vida (saúde, educação, cultura), a viabilidade econômica e a garantia de renda necessária para a reprodução das famílias na agricultura. Eles são detalhados no quadro a seguir.

Quadro 3.5: Indicadores Socioeconômicos identificados para Avaliação da Intensificação Agrícola Sustentável.

Indicador	Referências
Acesso a lazer, esporte e cultura	Bortoluzzi (2016), Barreto, Khan e Lima (2005); Alves e Bastos (2011); Ramos Filho et al. (2004); Silva, Araújo, Sousa (2008); Ferreira et al. (2011)
Existência de povos tradicionais (equidade)	Decreto n.º 6040/2007, Candido et al. (2015)
Participação de mulheres no processo	Bortoluzzi (2016), Schneider e Costa (2013)
Uso de conhecimento locais na produção	Cândido et al. (2015)
Presença de agricultura familiar	IBGE (2006), Bortoluzzi (2016)
Suscetibilidade Rural - Êxodo Rural	Bortoluzzi (2016)
Crédito rural e nível de endividamento	Fernandes e Woodhouse (2008); IBGE (2006); Barnes e Thomson (2014); De Muner (2011), Cândido et al. (2015),

Indicador	Referências
	Andrade (2007); Ribas, Severo e Miguel (2007); Toniasso et al. (2007); Sá et al. (2012); Ferreira et al. (2011)
Diversidade de produção agrícola	Chayanov (1976); De Muner (2011); Thomazini et al. (2013), Hayati et al. (2011), Cândido et al. (2015), Andrade (2007); Ramos Filho et al. (2004); Sá et al. (2012); Schneider e Costa (2013); Ferreira et al. (2011); Theodoro, Castro e Aburaya (2011); Gavioli (2011);
Gastos com insumos e tecnologia na produção	Hayati et al. (2011)
Número de propriedades envolvidas	Cândido et al. (2015)
Presença de agroindústria	Silva, Araújo e Sousa (2008); Schneider e Costa (2013), Bortoluzi (2016)
Demografia rural	NEVES, 2010 apud BATISTA JUNIOR, 2012.
Produtividade Agrícola	Ochola et al. (2003); De Muner (2011); Barnes e Thomson (2014), Cândido et al. (2015), Ribas et al. (2007)
Renda familiar per capita	Silva (2010)Andrade (2007); Barreto, Khan e Lima (2005); Alves e Bastos (2011); Lira, Galvão e Wadt (2011); Toniasso et al. (2007); Silva, Araújo e Sousa (2008); Schneider e Costa (2013); Gavioli (2011); Neiva (2010)
Rentabilidade da produção (Receita - Custos)	Silva (2010), Hayati et al. (2011)Ende et al. (2012)
Riqueza produzida por unidade de mão-de-obra empregada	Ribas, Severo e Miguel (2007), Bortoluzi (2016)
Riqueza produzida por unidade de capital investido	Ribas, Severo e Miguel (2007), Bortoluzi (2016)
Risco de perda de produção	BATISTA JÚNIOR (2012), Theodoro et al. (2011)
Existência de fonte de renda não agrícola	Toniasso et al. (2007); Ramos Filho et al. (2004); Ferreira et al. (2011); Gavioli (2011); Carneiro Neto et al. (2008); Melo e Cândido (2013)
Produção de alimento para consumo familiar	Toniasso et al. (2007); Schneider e Costa (2013); Gavioli (2011); Ferreira et al. (2011)
Tecnificação agrícola	IBGE (1995; 2006)
Acesso a seguridade social	Andrade (2007); Santos e Cândido (2013), Lira, Galvão e Wadt (2011); Melo e Cândido (2013)
Tipos de mão de obra e jornada de trabalho	IBGE (2006); Lei n.º 11.326/2006; Altafin (2007);Wanderley (1998); INCRA/FAO, 1996, Hayati et al. (2011), Cândido et al. (2015), Bortoluzzi (2016), Andrade (2007), Ferreira et al. (2011), Gavioli (2011)
Nível de capacitação	De Muner (2011), Cândido et al. (2015)
Nível de escolaridade	Adaptado de Fernandes e Woodhouse (2008); IBGE (2008), Hayati et al. (2011), Bortoluzzi (2016), Toniasso et al. (2007); Schneider e Costa (2013);Ferreira et al. (2011); Neiva (2010); Ribas, Severo e Miguel (2007); Sá et al. (2012); Ende et al. (2012)
Acesso a serviços de saúde /Número de postos de saúde	Adaptado de Fernandes e Woodhouse (2008), Bortoluzzi (2016), Barreto, Khan e Lima (2005); Alves e Bastos (2011); Silva, Araújo e Sousa (2008); Ferreira et al. (2011)
Saneamento rural	IBGE (2008), Felinto (2016), Bortoluzzi (2016), Lopes et al. (2010); Barreto, Khan e Lima (2005); Alves e Bastos (2011); Ende et al. (2012); Silva, Araújo e Sousa (2008); Schneider e Costa (2013)
Segurança alimentar	Adaptado de Fernandes e Woodhouse (2008); FAO (2012), Hayati et al. (2011)
Qualidade de vida	Cândido et al. (2015), Hayati et al. (2011)
Reconhecimento de direito sobre a terra	Cândido et al. (2015)
Acesso a meios de comunicação (internet e telefone)	Silva, Araújo, Sousa (2008); Schneider e Costa (2013)

Indicador	Referências
Acesso a energia elétrica	Andrade (2007); Silva, Araújo e Sousa (2008); Sá et al. (2012); Ferreira et al. (2011); Barreto, Khan e Lima (2005); Alves e Bastos (2011); Ende et al. (2012); Schneider e Costa (2013), Bortoluzzi (2016)
Tipo de moradia	Andrade (2007); Barreto, Khan e Lima (2005); Alves e Bastos (2011); Ende et al. (2012); Schneider e Costa (2013); Neiva (2010)

Os indicadores institucionais apresentados no quadro relacionam-se, em geral, a questões de cooperativismo dos agentes locais, o acesso a assistência técnica e políticas públicas.

Quadro 3.6: Indicadores Institucionais identificados para Avaliação da Intensificação Agrícola Sustentável.

Indicador	Referências
Existência de Comitê de bacia Hidrográfica	Felinto (2016)
Existência de conflito hídrico	Felinto (2016)
Incidência de políticas públicas	Fernandes e Woodhouse (2008)
Cumprimento da legislação (florestal, ambiental, agrícola) - regularidade da propriedade	Ramos Filho et al. (2004); Silva, Araújo e Sousa (2008); Schneider e Costa (2013); Theodoro et al. (2011); Bortoluzzi (2016),
Nível de afiliação e frequência dos produtores rurais em reuniões e assembleias	De Muner (2011)
Existência de cooperativas	
Número de associações de produtores rurais	Adaptado de Fernandes e Woodhouse (2008)
Acesso à assistência técnica	Adaptado de Fernandes e Woodhouse (2008), Bortoluzzi (2016), Toniasso et al. (2007); Ende et al. (2012); Sá et al. (2012); Schneider e Costa (2013); Ferreira et al. (2011); Carneiro Neto et al. (2008), Santos e Cândido (2013) Toniasso

3.2 O Processo de Tomada de Decisão

Nessa correspondência verificam-se duas fases da metodologia de apoio à decisão multicritério: estruturação e avaliação do problema. No momento em que ele lista todas as ações separando os prós e contras é a fase de estruturação do problema. Já a fase de avaliação ocorre quando são realizadas as compensações entre os prós e os contras. Bana e Costa, Stewart e Vansnick (1997) expressam que o documento expõe também conceitos relevantes ainda hoje utilizados pela

metodologia, como: critérios conflitantes, incerteza, comparações par a par, julgamentos de valor, compensações, pesos, agregações.

Um marco importante para análise de decisão registrou-se em 1969, quando Roy apresentou princípios sobre a organização de funções de múltiplos objetivos. Segundo Tsoukiàs (2008), o marco para a teoria da decisão ocorreu em 1976, quando os autores Keeney e Raiffa publicaram um livro expandindo a teoria da decisão com a presença de múltiplos critérios. Após a década de 1970, começaram a surgir métodos voltados para problemas de decisão com múltiplos critérios com abordagens diferenciadas.

O interesse pelo estudo do processo decisório fez com que houvesse evolução significativa neste tema, com avanço nos modelos existentes assim como o desenvolvimento de outros modelos. Zopounidis e Doumpos (2001) garantem que os modelos possibilitam que agente de decisão faça análise da decisão de forma precisa, além disso, força com que haja um ganho significativo na capacidade de discernir a natureza real das informações relativas às preferências implícitas dos atores.

Gomes, Araya e Carignano (2004) definem análise multicriterial de apoio à decisão como a atividade daquele analista que, baseado em modelos claramente apresentados, ajuda na obtenção de elementos de resposta às questões de um decisor no decorrer de um processo. Esses elementos têm como objetivo esclarecer cada decisão e, normalmente, recomendá-la ou, simplesmente, favorecê-la.

No entendimento de Zopounidis e Pardalos (2010), nos anos recentes, observou-se crescimento na análise multicritério nas seguintes áreas:

- desenvolvimento teórico por meio de novas técnicas ou aprimoramento dos modelos de decisão já existentes;
- integração entre metodologias multicritério e Sistemas de Apoio à Decisão;
- aplicações inovadoras em áreas distintas como gestão, economia e finanças, gestão ambiental, planejamento energético, telecomunicações, transportes etc.; e
- exploração de formas de interação com outras disciplinas como inteligência artificial, análise de conjuntos nebulosos (Fuzzy set Theory), computação evolutiva (evolutionary computation).

O processo de decisão multicritério ocorre quando se escolhe realizar ou não fazer algo e esta decisão é composta por vários elementos que não podem ser combinados. O processo de decisão de múltiplos critérios se caracteriza por apresentar ao menos dois objetivos, e matematicamente podem ser expressos pela intenção de otimizá-los.

Na visão de Bana e Costa (1988), o processo decisório pode ser dividido em duas fases: uma de análise do sistema em estudo, conducente à identificação, caracterização e hierarquização dos principais intervenientes e a explicitação das alternativas de decisão potenciais, que se pretendem comparar entre si; a outra fase, de avaliação propriamente dita no sistema, que pode ser denominada de síntese, tem a finalidade de esclarecer a escolha, recorrendo à aplicação de métodos multicritério para apoiar a modelagem das preferências dos atores e sua agregação.

Além desta perspectiva, o processo de apoio à decisão é exemplificado por Belton e Stewart (2002) onde são identificadas as variáveis componentes do processo decisório. Esta ilustração representa os estágios da metodologia desde o reconhecimento do problema até o desenvolvimento do plano de ação com os resultados obtidos. Os autores descrevem três das seis fases como:

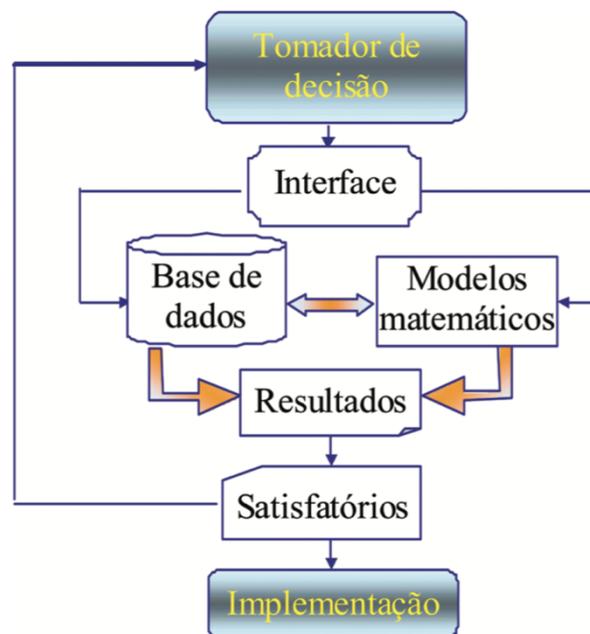
- Estruturação do problema – é a fase que tem como característica o pensamento divergente, o seu intuito é ampliar, investigar e comprovar o grau de complexidade do problema.
- Construindo o modelo – modalidade em que apresenta uma forma convergente de pensar. O processo consiste em extrair uma representação a essência da questão. Essa representação visa agregar detalhes e informações mais precisas do problema.
- Utilizando o modelo para informar – essa é a fase de síntese sobre os resultados obtidos. Deve-se optar pelo pensamento criativo sobre as opções selecionadas.

Na estruturação do problema, é necessário conhecer a influência do ambiente externo, as condições de incerteza e os valores distintos dos atores da decisão. Nessa fase, são analisadas também as alternativas e objetivos a serem atingidos. No momento em que ocorre a construção do modelo, são estudados os critérios, as consequências das alternativas e os valores e preferências são modeladas. As análises dos resultados, assim como suas ações posteriores, fazem parte da utilização do modelo para informar.

3.2.1 Sistemas de Suporte à Decisão

Sistemas de Suporte à Decisão, segundo Porto e Porto (2008), são instrumentos eficientes para auxiliar a Tomada de Decisão. Nestes grupos, as naturais diferenças de ponto de vista, interesses e ideologias e formação dos participantes costumam dificultar, e em algumas vezes impossibilitar, a escolha dos melhores cursos de ação.

Figura 3.1: Estrutura típica de um Sistema de Suporte à Decisão. Fonte: Porto e Porto (2008).



A figura acima sintetiza as funções dos componentes de uma estrutura típica de Sistemas de Suporte à Decisão.

A função dos diversos componentes da estrutura de um sistema de suporte a decisão pode ser sintetizada:

- Modelos: geralmente baseados em caracterizações matemáticas que reproduzem o comportamento do sistema real, permitem analisar cenários.
- Base de dados: informações significativas sobre o sistema em questão, deve permitir relacioná-las entre si e recuperá-las com facilidade e rapidez. esse módulo deve também alimentar a Base de Modelos com os dados necessários e armazenar os resultados dos modelos para futuras análises e comparações;

- Módulo de diálogo: constituído por interfaces que facilitam a comunicação entre o usuário e o computador para fornecer dados, propor problemas, formular cenários e analisar resultados. O surgimento das linguagens de programação por objeto ocasionou verdadeira revolução nesse campo, atualmente, o diálogo com o usuário pode ser simples, intuitivo e rico em recursos de comunicação (gráficos, fotografias, animação, som, realidade virtual etc.). a importância desse módulo é inestimável, pois facilita a participação de não-especialistas no processo de avaliação e tomada de decisões (PORTO e PORTO, 2008)

A experiência tem mostrado que sistemas de suporte a decisões são instrumentos eficientes para auxiliar na tomada de decisões. coletivas, vista as naturais diferenças de ponto de vista, interesses, ideologias e formação dos participantes costumam dificultar, que algumas vezes impossibilitam, a escolha dos estados de otimização.

A ideia central, nesse caso, é permitir que cada um dos participantes avalie as consequências da implementação de suas ideias com o auxílio de modelos aceitos por todos, a partir de uma base comum de informações. Começam a surgir, a partir daí, as oportunidades de soluções negociadas que tendem a contar com o apoio e o comprometimento de todo o grupo.

Nesse ambiente de complexidade, interesses divergentes e até mesmo valores e ideais distintos é que os sistemas de suporte a decisões encontram as maiores possibilidades de realização de seus objetivos (PORTO E PORTO, 2008).

3.2.2 Análise Multicriterial

A necessidade de compreender as relações entre as diversas variáveis existentes nos modelos de investigação científica torna o estudo da análise multivariada (multiobjetivos, multicritério) um conteúdo de grande relevância para a descrição e simulação dos fenômenos físicos e sociais.

Metodologias de Análise Multicriteriais surgem como ferramentas alternativas de auxílio ao melhor entendimento e avaliação de problemas complexos. Caracteristicamente, consideram vários aspectos na avaliação das alternativas segundo um conjunto de critérios, gerando como resultado o ordenamento ou a classificação destas.

De acordo com Baker et al. (2001), Matzenauer (2005) e Lopes (2011) a modelagem de problemas multicritério pode ser descrita nas seguintes etapas: (i) definição problema; (ii) determinação das condições mínimas que a solução deve atender; (iii) estabelecimento dos objetivos que a solução deve alcançar; (iv) identificação das alternativas que poderiam solucionar o problema; (v) definição dos critérios com base nos objetivos; (vi) atribuição dos pesos ponderadores aos critérios, (vii) seleção de um método para o auxílio na tomada de decisão; (viii) aplicação do método para selecionar a alternativa mais adequada; (ix) avaliação das alternativas propostas.

São tantos os métodos multicriteriais e de características tão variadas que se torna difícil a elaboração de uma classificação de aceitação geral. Hajkowicz e Collins (2007) desenvolveram uma classificação identificando seis tipos de metodologias, aplicadas especialmente no cenário de gestão territorial e de recursos hídricos.

- Funções valores Multiatributo – tem o propósito de agregar as preferências do decisor em uma função valor e considera os pesos para cada atributo, como o MAUT;
- Métodos de sobreclassificação ou superação – abrangem métodos que fazem a comparação entre ações potenciais por meio de relações binárias, determinando a superação de uma alternativa em relação à outra. São exemplos desta família de métodos: ELECTRE e PROMETHEE;
- Métodos que analisam a distância ideal – abordagens que identificam valores ideais e não ideais para os critérios de decisão. São exemplos desta classificação a Programação de Compromisso e o método TOPSIS;
- Métodos de comparação entre pares – envolvem a comparação entre alternativas e critérios em pares. As comparações podem ser feitas para obter valores de pesos para os critérios. São exemplos dessas metodologias: AHP, ANP e MACBETH
- Lógica Fuzzy - são modelos que trabalham com situações de incerteza em que admite valores lógicos intermediários entre o falso (0) e o verdadeiro (1); e
- Métodos baseados em série de Taylor – correspondem à criação de novos métodos AMD com base naqueles existentes, ou desenvolvem novos algoritmos em séries

Hajkowicz e Higgins (2008) reforçam a preocupação com relação a escolha do método e da forma de aplicação, pois diferentes métodos podem gerar diferentes resultados conflitantes, dependendo da adequação técnica destes modelos ao problema pesquisado. Cinelli et al. (2014), também, avalia a adequação dos modelos conforme características que podem ser relevantes ao estudo desenvolvido. São eles: uso de informações qualitativa e quantitativa, capacidade de análise global, tipologia dos pesos, limite de valores, grau de compensação, tratamento e análise de incerteza, robustez, existência de software de suporte e de representação gráfica, facilidade de uso, dimensão de aprendizagem.

Os procedimentos de definição dos critérios, alternativas e pesos constituem a matriz de decisão do processo de aplicação da Análise Multicriterial. O vetor de peso, principalmente, permite avaliar quais indicadores são mais relevantes para os agentes tomadores de decisão, e conseqüentemente, quais seriam as ações prioritárias estabelecidos por estes. Entretanto, é uma prática comum das metodologias de Análise Multicriterial a agregação dos pesos dos diferentes agentes aos critérios.

Lourenço (2011) em seu trabalho de classificação da ordem de solo quanto ao potencial de erosão, avaliou diferentes ponderadores sobre o método ELECTRE II para selecionar quais mostravam-se mais adequados. Foram testadas diversas técnicas de estatísticas básicas, mas o mesmo constatou que a adoção de diferentes ponderadores pouco influenciou o resultado deste método.

Ressalta-se o grande esforço que tem sido dispendido na desenvolvimento de novas metodologias de Análise Multicriterial, ou na combinação ou modificação dos mesmos. Lima Junior e Carpinetti (2015) listam diversos trabalhos que tratam da associação entre métodos de Análise Multicriterial. Entretanto, relativamente pouco trabalho é dedicado à avaliação o desempenho desses métodos ou à determinação de método esse que devem ser utilizados, em que circunstância (HAJKOWICZ E HIGGINS, 2008).

3.2.2.1 Descrição das Principais Metodologias de Análise Multicriterial

Neste estudo selecionou-se alguns métodos de Análise Multicriterial usualmente empregados em pesquisas de recursos hídricos e desenvolvimento territorial. São descritas a seguir algumas características deste métodos usuais e as vantagens e desvantagens de utilização dos mesmos.

- Métodos baseados na determinação da distância ideal:

Nessa tipologia, estão incluídos alguns métodos interativos, pois, a partir da década de 70, muitos procedimentos matemáticos foram desenvolvidos para superar a dificuldade criada pelo tamanho do conjunto “não-dominado”, o que prejudicava a escolha da solução final. Nesta família de métodos, estão aqueles baseados na busca de soluções não-dominadas ou não-inferiores. Outro grupo de métodos que podem ser enquadrados nessa família é aquele baseado na distância, ou ainda, na noção geométrica do melhor. Isto é, são aqueles que na impossibilidade de se atingir a solução ótima, convergem para a solução mais próxima da solução ideal (ZUFFO,2002).

A maioria dos métodos pertencentes a essa família apresenta algumas restrições quanto à aplicabilidade, sendo que os mesmos aplicam-se, razoavelmente bem, apenas em problemas com até cinco funções objetivos. Isso se deve ao fato de que a busca da “região das soluções viáveis” passa a ser dificultada com o aumento do espaço dimensional do problema. Outra restrição é que muitos métodos não distinguem claramente os objetivos e os critérios, pois algumas vezes uma função objetivo pode ser representada por um conjunto de critérios e em outras por um único critério (POMPMeyer, 2003).

- Métodos baseados em Funções Multiatributo:

Métodos baseados na Teoria de Utilidade Multiatributo (MAUT), segundo Pompmeyer (2003), consistem em modelar as preferencias de um decisor por meio de uma função de valor (decisão sob certeza) ou de uma função de utilidade (decisão sob incerteza), que é, predominante, aditiva.

Numa tomada de decisão no contexto da gestão de recursos hídricos e territorial o decisor não é um agente único, mas sim um grupo. Nesse caso, as funções de valor ou utilidade devem representar as preferencias do grupo, o que dificulta a definição destas funções, gerando conflitos de interesses.

Nesse contexto, os métodos baseados na “teoria da utilidade Multiatributo” têm ocupado posição de destaque, uma vez que incorporam as preferências do tomador de decisão. Conforme citado em HARADA (1999), sua teoria baseia-se no seguinte axioma fundamental: todo tomador de decisão tenta implicitamente maximizar uma função de utilidade ou minimizar uma função custo. Na função ser otimizada, estão agregados diferentes atributos em um único valor,

sendo uma representação matemática da estrutura de preferência do decisor. Esse procedimento de agregação multiatributo é realizado utilizando-se os métodos dessa família, os quais visam principalmente a obtenção da alternativa que possa otimizar uma função de utilidade.

Em aplicações de múltiplos objetivos, determinam-se as funções de utilidade de cada atributo, combinando-as e agregando-as em seguida, numa única função utilidade-Multiatributo. Para determinar sua forma, devem-se examinar os conceitos de Independência das utilidades e Independência das preferências (POMPMEYER, 2003).

Nessa família, incluem-se o Método de Pesos, Método das Restrições e o Método Multiobjetivos Linear. A vantagem do uso dessa metodologia é que ela permite um ordenamento em ordem de preferência de todas as alternativas. No entanto, essa mesma característica não permite a avaliação de incomparabilidade ou da indiferença entre alternativas. A maior dificuldade na utilização dessa metodologia é a determinação das funções de valor ou de utilidade para cada um dos decisores, quando são numerosos.

- Métodos baseados em sobreclassificação ou superação:

Seguem aspectos de hierarquização proposto por Bernard Roy, que é o fundador destes métodos. Esta categoria de métodos é muito difundida na Europa e procura estabelecer uma comparação entre as alternativas, baseando-se nas preferências do decisor.

Vários são os métodos desse grupo, sendo que os mais conhecidos são os da família denominada ELECTRE que se baseiam em dois processos : um de “construção” e outro de “exploração”. O primeiro consiste na comparação de alternativas levando-se em conta todos os critérios. Esse processo conduz a um modelo de preferência constituído de uma ou várias relações de desclassificação. Tais relações são, em geral, construídas a partir do denominado “princípio de concordância e discordância”. O segundo processo, consiste na utilização de relações de desclassificação para derivar uma recomendação. Dependendo do problema, essa recomendação pode ser na forma de um subconjunto de alternativas, classes de alternativas ou escolhas de alternativas dentro de diferentes categorias (POMPMEYER, 2003).

Alguns métodos pertencentes à Família Electre estão brevemente caracterizados a seguir. Distingue-se, também, para cada método, a problemática decisória de referência para a qual o método se destina.

O ELECTRE I consiste em escolher aquelas alternativas que são preferidas pela maioria dos critérios adotados, dentro de níveis de aceitabilidade definidos e, ainda, não causar um nível inaceitável de descontentamento por qualquer um dos critérios [GERSON et al.,1982]. Assim, as alternativas ou programas prioritários são relacionados com critérios que estabeleçam o melhor e o mais racional aproveitamento dos recursos hídricos. Os critérios são ponderados a partir de valores julgados pelos decisores e divididos em classes de pesos que refletem estrutura de preferência.

O ELECTRE I permite separar as alternativas não-dominadas (mais preferidas) das dominadas., com base em três conceitos: índice de concordância, índice de discordância e valores limites. Os resultados correspondem a um gráfico de preferências, sendo apresentada uma ordenação parcial das alternativas.

O método ELECTRE II é uma extensão do método ELECTRE I e foi desenvolvido por Roy & Bertier (1971). Enquanto o ELECTRE I proporciona uma ordem parcial do conjunto de alternativas não dominadas, o ELECTRE II oferece uma hierarquização completa do conjunto de alternativas não dominadas. Para tanto, o referido método constrói relações de ordenação hierarquizada baseadas nas preferências dos tomadores de decisão (GOICOCHEIA, 1982).

Conforme o autor citado, este algoritmo supõe existir múltiplos níveis de concordância e discordância que são especificados e que são usados para construir dois extremos de relações ordenação hierarquizada, os quais são baseados nas preferências admitidas. Esses extremos são: uma forte relação de hierarquização e uma relação de hierarquização fraca. O gráfico de forte hierarquização é resultado da aplicação de rigorosos limites de preferência, isto é, de um alto nível de concordância e de um baixo nível de discordância selecionados pelos decisores. Ao passo que o gráfico de hierarquização fraca, estes valores limites se invertem (POMPERMEYER, 2003).

Já o ELECTRE III, acrescenta alguns aperfeiçoamentos em relação às versões anteriores, como uma graduação contínua da concordância entre as preferências forte e fraca. Outro grande diferencial é a utilização de funções q , p e v , indicando indiferença, preferência e veto entre alternativas, que estão definidas com precisão em ROY (1985). Também são usados os índices de concordância e discordância. A partir da agregação das matrizes de concordância e discordância, constrói-se uma matriz de “credibilidade”, que representa uma medida de quanto cada alternativa desclassifica seu par. Sua lógica de funcionamento é análoga a dos outros métodos da série, onde são estabelecidas ordenações preferenciais das alternativas: uma

ascendente, uma descendente e uma ordenação final formada a partir das anteriores (CORDEIRO NETTO e SOUZA, 2000).

- Métodos baseados em comparação par-a-par:

Metodologias de análise multicriterial como o AHP, desenvolvido por Thomas Saaty, no início dos anos 70, sendo aperfeiçoado ao longo de suas aplicações. Este método é uma importante ferramenta para o auxílio à tomada de decisão, pois consegue envolver em sua modelagem aspectos tanto quantitativos como qualitativos (SAATY, 1991; VAIDYA; KUMAR, 2006).

O AHP trabalha a partir de comparações paritárias, onde os diferentes aspectos são confrontados entre si, resultando em uma priorização dos mesmos. Para isto, faz-se necessário a hierarquização dos critérios para tornar possível a comparação da influência de cada um no resultado final. De acordo com Saaty (1991), a vantagem da utilização de uma estrutura hierárquica paira sobre a possibilidade do entendimento dos níveis mais altos a partir das interações dos diversos níveis da hierarquia. Além disso, esta estrutura pode ser considerada estável, pois pequenas modificações não surtem efeito grande na hierarquia, e flexível, pois quando bem estruturada, a hierarquia não é perturbada por possíveis adições.

Segundo Vaidya e Kumar (2006), o AHP é um dos métodos de apoio à decisão mais disseminados e utilizados pelos gerentes das empresas. Os autores realizaram um estudo sobre as aplicações do AHP publicadas até o ano de 2004 e encontraram a utilização do método para os seguintes fins: (i) seleção; (ii) avaliação; (iii) análise benefício/custo; (iv) alocação de recursos; (v) planejamento e desenvolvimento; (vi) priorização e ranqueamento; (vii) tomada de decisão..

Entretanto, para a utilização do método AHP em problemas de alocação de recursos precisa-se agregar ao método mais uma etapa, onde se deve computar a razão entre o benefício avaliado através do método e o custo dos projetos. A decisão sobre qual investimento selecionar será tomada para aquele projeto que apresentar o valor de razão mais elevado (SAATY, 1991).

Entre as vantagens do AHP destaca-se sua flexibilidade, pois o método pode ser empregado juntamente com outras ferramentas, tornando-se adequado à estrutura de cada empresa. Hastings (1996) apresenta o Strategy Evaluation Model, que é constituído de três técnicas diferentes para avaliação da empresa: a programação tabular, o AHP e medidas quantitativas convencionais. A partir deste modelo híbrido, o autor consegue avaliar o alinhamento da

empresa com seus objetivos traçados na estratégia, através da consideração de aspectos quantitativos, qualitativos, assim como restrições financeiras e temporais, por exemplo

3.3 Análise de Conflitos

Conflito pode ser definido como uma competição por um bem escasso, segundo Homer-Dixon (1994). Já para Hoban (2001) conflito define-se como sendo uma divergência natural, decorrente do convívio de pessoas ou de grupos que diferem em atitudes, crenças, valores ou necessidades. E para Oliveira (2011), o conflito nada mais é do que um choque de interesse de duas partes em relação a um mesmo bem, cujo fim é satisfazer suas necessidades (BATISTA, 2013).

No âmbito dos recursos hídricos, há registros históricos de mais de 2500 a.c. retratando conflitos, mas apenas a partir da década de 50 do século XX, com mudanças de percepção sobre meio ambiente e utilização de recursos naturais é que os conflitos em recursos hídricos passam a ter maior relevância, com sua consideração e resolução caracterizando parte essencial da gestão hídrica. Estão diretamente relacionados a não disponibilidade da água para todos os agentes e propósitos demandantes, seja relacionados a distribuição espacial e temporal heterogêneas da água (climas áridos e semi-áridos, secas periódicas), ou derivada das atividades antrópicas em geral (desertificação, demandas crescentes, padrões inadequados de uso e poluição) que impactam os recursos hídricos (VIEIRA, 2008).

Deste modo, analisar conflitos existentes derivados de questões hídricas e como eles afetam a dinâmica territorial e os usos e ocupação do território torna-se necessário compreender os mecanismos indutores de conflitos e técnicas para a resolução dos mesmos.

A análise de conflitos pode ser interpretada como uma ferramenta de apoio à decisão que permite o estudo sistemático de um conflito, apontando as suas possíveis soluções. Importante ramo da Teoria dos Jogos, constitui-se de metodologias e técnicas onde os conflitos são modelados em termos de jogadores (responsáveis pela tomada de decisão no conflito), opções (as ações que podem ser empreendidas por cada jogador), estratégias (qualquer conjunto de opções que podem ser selecionadas por um jogador) e resultados (conjunto das estratégias

selecionadas por cada um dos jogadores) (Fraser e Hipel, 1984). Estes modelos de jogos abstratos, obedecendo a uma estrutura matemática formal, mantêm as características mais importantes dos conflitos, permitindo a sua melhor compreensão ou reforçando a percepção que se tem sobre as situações reais (Fang et al, 1993). Em sua maioria modelam o conflito num dado instante do tempo, necessitando de novos modelos para acompanhar a dinâmica do conflito (VIEIRA e RIBEIRO, xxxx).

3.3.1 Teoria dos Jogos

A Teoria dos Jogos é essencialmente o estudo matemático da concorrência e da cooperação. Ela analisa as interações estratégicas entre os jogadores, através de suas preferências, e em como elas resultam em resultados globais. Os jogos são definidos como objetos matemáticos, constituídos de um conjunto de jogadores, estratégias disponíveis (opções ou movimentos), e as especificações de retornos possíveis para cada combinação de estratégias (MADANI, 2010).

Os indivíduos envolvidos em uma situação de interação, agindo racionalmente, procurarão identificar alternativas que atendam não somente seus critérios, mas também, minimamente, aos interesses dos outros indivíduos. Portanto, o foco da Teoria dos Jogos é avaliar estritamente os jogos de estratégia, onde os agentes tomam decisões, visando seus objetivos e também considerando os objetivos dos outros (VARIAN, 2003; FIANE, 2006).

As principais vantagens da aplicação da Teoria dos Jogos são entender teoricamente a interação entre jogadores e ajudar o raciocínio estratégico, explorando as possibilidades de interação entre os mesmos. Além disto, a aplicação da abordagem de jogos, permite ampliar a visão dos jogadores sobre o problema e encontrar novas possibilidades para a resolução do mesmo, o que seria dificilmente percebido sem o auxílio desta teoria (FIANI, 2006; LEONETI, 2012).

Os princípios desta teoria, aparecem de forma organizada, em 1944 com a publicação de von Neumann e Morgenstern denominada “Teoria dos Jogos e o Comportamento Econômico Livre”, que tratou principalmente sobre métodos quantitativos sobre a teoria dos Jogos. Embora tenha sido a pedra fundamental, esta publicação limitava-se a tratar de jogos de soma zero

(jogos onde sempre há um ganhador e um perdedor), mostrando-se muito restritos a aplicações em problemas de interação social.

Os estudos de John Nash amplificaram e difundiram a utilização desta teoria, principalmente com a publicação, em 1951, do artigo intitulado “Jogos Não-Cooperativos”, onde este apresenta a noção de equilíbrio, sem mais a restrição anterior. A relevância da abordagem desenvolvida é reconhecida com a do prêmio Nobel de 1994 a estes três pesquisadores.

Atualmente, encontra-se aplicações da Teoria dos Jogos em diversas áreas. Na economia é bastante relevante para avaliar fenômenos econômicos como leilões, comportamento empresarial no mercado, já na biologia toda uma ciência de evolução é baseada nos preceitos da Teoria dos Jogos. Em ciências políticas há estudos de caracterizações de redes sociais e sistemas de votação. Ademais, na ceara ambiental, especificamente em gestão de recursos hídricos, desde o início deste século verifica-se avaliações e aplicação de preceitos da Teoria dos Jogos em aspectos de alocação hídrica.

Os fundamentos desta teoria centram-se nas seguintes definições, em conformidade com Fiani (2010):

- Jogador ou agente: indivíduo que participa do jogo. Esse indivíduo pode ser uma pessoa física, uma empresa (organização), um sindicato, um animal, uma classe social, etc. Para ser jogador é necessário que se tenha poder de decisão e que obedeça a premissa da racionalidade.
- Jogo: corresponde a uma situação que envolva jogadores que agem racionalmente em uma situação de interação estratégica.
- Interação estratégica: durante o jogo ocorre um relacionamento entre os jogadores. As ações são interdependentes, ou seja, a ação de um interfere na situação dos outros e, em consequência, nas respostas destes. Além de haver esse entrelaçamento de ações/reações, todos os participantes devem ter consciência desse fato. O termo “estratégico” refere-se ao fato de todos os participantes tomam suas decisões baseados em pressupostos lógicos, tendo por objetivo alcançar uma situação que seja a melhor possível do seu ponto de vista. (FIANI, 2010)
- Racionalidade: premissa fundamental da teoria, onde pressupõe-se que toda ação seja derivada de uma escolha racional, o que garante que os jogadores individualmente irão escolher a melhor opção para atingir seus objetivos específicos, e assim, obter o máximo

possível de recompensa. Os jogadores também devem avaliar que os demais também expressam esta característica (ARVELOS, 2009).

- **Recompensa ou retorno ou pagamento:** é o ganho de cada jogador que resulta das ações interdependentes de todos os participantes. Em algumas aplicações as recompensas podem ser medidas em unidades monetárias, entretanto, usualmente considera-se que este retorno é medido em utilidade.
- **Utilidade:** medida de quantificação das preferências dos jogadores, representante da satisfação expressa por estes na circunstância avaliada. Pode ser extraída de uma ordenação de preferência dos agentes, e então, convertida em valores numéricos.

Com este entendimento geral dos fundamentos norteadores da Teoria dos Jogos passa-se ao entendimento das diferentes classificações que um jogo pode ter.

3.3.1.1 Taxonomia da Teoria dos Jogos

Um jogo pode ser exposto matematicamente de diversas maneiras, isto é, de acordo com as propriedades que se almeja explorar. Em conformidade com as descrições de Figueiredo (1993) e Fiane (2010), expõe-se as possibilidades.

- **Jogos não-cooperativos e cooperativos.:** O primeiro analisa jogos onde os jogadores interagem com os outros para alcançar seus objetivos próprios, de forma competitiva, sem coligações ou acordos vinculados. Já o outro, cooperativo, analisa as circunstâncias onde os jogadores são conduzidos para acordos mutuamente vinculantes (PODIMATA et al., 2009).
- **Jogos de soma-zero e soma não-zero:** Como já mencionado, jogos que tem vencedores e perdedores, ou seja, aqueles onde há sensação de um jogador ganhar apenas se outro perder são denominados jogos de soma-zero. Em contraste, em jogos de soma não-zero o ganho por um jogador não é necessariamente correspondente a uma perda dos demais.
- **Jogos simultâneos e jogos sequenciais:** Quando cada jogador toma suas decisões sem ter conhecimento das decisões dos demais, diz-se tratar de um jogo simultâneo (FIANI, 2006). O não conhecimento das decisões dos outros jogadores pode ocorrer devido ao fato de serem

decisões que ocorrem ao mesmo tempo ou simplesmente por não existirem meios para se saber o que os demais participantes irão fazer antes de tomarmos nossa decisão, mesmo que eles efetivamente já tenham feito suas escolhas. Por exemplo: o jogo de par ou ímpar. Já o jogo sequencial é aquele no qual cada jogador toma suas decisões conhecendo o que os demais fizeram antes dele. Existe uma ordem em que os participantes fazem suas escolhas. Assim é o jogo de damas.

- Jogos estáticos e dinâmicos: os jogos estáticos são realmente um tipo de jogo onde os jogadores jogam uma vez com uma única decisão. Cada jogador não tem conhecimento da decisão tomada pelos outros agentes, então, as jogadas são realizadas de forma simultânea. No entanto, existem aplicações em que os agentes defrontam-se mais de uma vez, sendo estes jogos nomeados de dinâmicos ou sequenciais (DINAR E ALBIAC, 2009).
- Jogos de informação completa e de informação incompleta: Quando todos os participantes conhecem todas as informações relevantes à sua tomada de decisão, tem-se uma situação conhecida como jogo de informação completa e, caso contrário, de informação incompleta (FIANI, 2010). Esta definição aplica-se a jogos simultâneos.
- Jogos de informação perfeita e de informação imperfeita: Diz-se tratar de um jogo de informação perfeita quando, em um jogo sequencial, o jogador conhece toda a história anterior à sua tomada de decisão (FIANI, 2006). O jogo de damas é deste tipo.
- Jogos determinados e indeterminados: Quando existe a possibilidade de empate em um jogo, este é dito determinado (FELICIANO, 2007), por ser sempre possível a um jogador evitar a derrota, desde que siga determinada forma de jogar desde o início e não a partir de um ponto qualquer, ou seja, dependendo da situação em que se encontre, talvez não seja mais possível evitar a derrota. Como exemplo, temos o jogo da velha. Por outro lado, ou seja, quando mesmo um jogador totalmente racional e inteligente não puder prever totalmente o desenrolar de um jogo, e por isso não existir a possibilidade de evitar a derrota, provocando o empate, tem-se um jogo indeterminado, como, por exemplo, o jogo de truco.

Em sequência trata-se aspectos da resolução dos jogos.

3.3.1.2 Resolução e Estabilidades da Teoria dos Jogos

Na teoria dos jogos, as resoluções potenciais para um jogo são encontradas através de análises de estabilidade, baseadas em definições de estabilidade com estruturas matemáticas precisas. Uma definição de estabilidade reflete o comportamento de um tomador de decisões em um conflito ou jogo, prevê como o jogo é jogado e sugere as resoluções ou os equilíbrios da disputa. Várias definições de estabilidade, refletindo diferentes tipos de pessoas com diferentes níveis de previsão, atitude de risco e conhecimento das preferências dos oponentes, têm sido propostas para a resolução de jogos (MADANI e HIPEL, 2011).

Encontrar a solução pode ser bastante trabalhoso e às vezes impraticável, sendo que existem várias maneiras de se analisar a situação, cada uma com pontos fortes e fracos, normalmente dependentes do contexto. A seguir são descritas as formas mais comumente utilizadas na tentativa de solucionar os jogos

- Estratégia pura e estratégia mista: Quando um jogador sabe como o adversário irá se decidir, então temos a adoção de estratégias puras. Caso não pudermos saber como o outro irá se decidir, se apenas soubermos com que probabilidade ele deve optar por cada uma de suas opções, estaremos adotando uma estratégia mista. Dessa forma, a estratégia mista é adotada baseando-se nas leis da probabilidade e a estratégia pura pode ser considerada como um caso especial de estratégia mista em que a probabilidade de certas ações é de 100% e de outras 0%. Esta classificação é importante na resolução de um jogo, apesar de não resolvê-lo por si só (ARVELOS, 2009).
- Eliminação de estratégias dominadas: Em um determinado jogo, pode ocorrer a existência de estratégias que são piores que outras por apresentarem recompensas sempre menores às correspondentes de outra estratégia. Estas são, então, chamadas de estratégias estritamente dominadas e podem ser eliminadas do jogo em sua análise, transformando a situação em outro jogo mais simples de ser resolvido (FIANI, 2006).
- Ótimo de Pareto: solução demonstrada por uma situação em que não é possível melhorar a situação, ou, mais genericamente, a utilidade de um agente, sem degradar a situação ou utilidade de qualquer outro agente econômico. Em geral, evidencia uma solução mínima de satisfação global, sendo próxima a soluções obtidas em análises de otimização (VARIAN, 2003).
- Equilíbrio de Nash: situação onde os jogadores têm o conhecimento sobre as estratégias dos seus concorrentes e escolhem a sua melhor estratégia possível, levando em consideração as escolhas de todos os outros jogadores. Este tipo de escolha estabelece uma situação na qual nenhum dos participantes terá incentivo a mudar de estratégia. Assim, quando o resultado

encontrado for a melhor resposta possível de cada jogador às estratégias dos demais, considera-se que foi encontrado o equilíbrio de Nash para o jogo (NASH, 1941; LEONETTI, 2012). Este equilíbrio, ao contrário das teorias de otimização, não apresenta respostas sob uma forma maximizada ou minimizada, mas uma solução de compromisso que visa contemplar os diferentes interesses envolvidos.

- Maxmin e minimax: condições avaliadas em tomadas de decisão em situação de incerteza, propostas por von Neuman, onde busca-se as melhores e piores retornos possíveis, respectivamente, da escolha da melhor alternativa possível.

3.3.1.3 Jogos Clássicos da Teoria dos Jogos

Para exemplificação das aplicabilidades da Teoria dos Jogos existem na literatura os denominados jogos clássicos.

Para entendimento dos exemplos abaixo é necessário entender a representação utilizada. O modelo matemático de um jogo pode ser descrito sobre o formato matricial, no qual estão representadas as recompensas dos jogadores. Esta forma é denominada de estratégica.

Os pares ordenados expostos em cada célula da matriz representam as recompensas aos jogadores, sendo o primeiro número correspondente ao jogador linha e o segundo ao jogador coluna.

A seguir são detalhados alguns jogos clássicos da Teoria dos Jogos:

- Jogo do Impasse:

Os dois jogadores não pretendem cooperar, e são muito resistentes a mudança de opinião. A matriz a seguir exemplifica esta condição.

Tabela 3.1: Matriz de pagamento do exemplo de Jogo do Impasse.

		Jogador II	
		Coopera	Não coopera
Jogador I	Coopera	1,1	0,3
	Não coopera	3,0	2,2

Para interpretação destas matrizes, deve-se lê-las da seguinte forma: qual seria a opção escolhida pelo jogador I, se o jogador II cooperar, a resposta é 3, ou seja não cooperar. E se o jogador II cooperar, daí a melhor resposta para o jogador I é não cooperar, com o valor de 2. Analogamente, faz-se a mesma análise para o jogador II.

Neste jogo, os dois jogadores sempre escolherão não-cooperar, de forma que a resposta 2,2 representa o equilíbrio de Nash e ótimo de Pareto do jogo.

- Dilema do Prisioneiro:

O exemplo mais famoso destes jogos clássicos, o dilema do prisioneiro representa a condição de que 2 pessoas foram detidas pela polícia e passam por um interrogatório, onde lhes é apresentada opções de cooperar ou não com a polícia. Os prisioneiros não podem se comunicar. Os coeficientes resultantes estão exemplificados na tabela abaixo.

Tabela 3.2: Matriz de pagamento do exemplo de dilema do prisioneiro.

II/I	Coopera	Não coopera
Coopera	2,2	0,3
Não coopera	3,0	1,1

O único ponto de equilíbrio de Nash corresponde à não cooperação mútua (1,1), que não representa um Ótimo de Pareto (2,2), mostrando o dilema entre os interesses individuais e coletivos.

- Jogo do Covarde:

Dois motoristas que combinam correr o mais rápido que puderem um de encontro ao outro, de forma que se não se desviarem haverá um choque possivelmente fatal para ambos. Caso um permanecer no curso e o outro desviar, este último perde o jogo. Se ambos desviarem, não há vencedor.

Tabela 3.3: Matriz de pagamento do exemplo de jogo do covarde.

II/I	Desvia	Não desviar
Desviar	0,0	-1,1
Não Desviar	1,-1	-5,-5

Nesta situação há dois equilíbrios de Nash que correspondem as circunstâncias em que 1 desvia e outro não desvia.

- Jogo da Coordenação:

Considere uma situação em que dois amigos combinam uma ação simultânea e estão indecisos em relação ao cumprimento do acordo. Um bom exemplo é o de dois estudantes que combinam ir ao último dia de aula com um corte de cabelo ridículo (PIMENTEL, 2007).

Tabela 3.4: Matriz de pagamento do exemplo de jogo de coordenação.

II/I	Cumpre	Não cumpre
Cumpre	3,3	0,2
Não cumpre	2,0	1,1

A situação 3,3 é o equilíbrio de Nash. Ademais, este jogo apresenta uma subdivisão que é o jogo da coordenação pura, onde duas pessoas resolvem telefonar uma para a outra no mesmo instante.

Tabela 3.5: Matriz de pagamento para exemplo de jogo de coordenação simultâneo.

II/I	C	D
C	1,1	0,0
D	0,0	1,1

Neste caso, as situações 1,1 e 1,1 são os dois resultados de equilíbrio de Nash

- Batalha dos Sexos:

Imagine um casal em que o homem gosta muito de futebol e não gosta muito de cinema, enquanto que a situação da mulher é exatamente o inverso. Eles precisam decidir o que fazer no final de semana: ir ao futebol ou ao cinema:

Tabela 3.6: Matriz de pagamento para exemplo de jogo da batalha dos sexos.

mulher/homem	Cinema	Futebol
Cinema	2,1	0,0
Futebol	0,0	1,2

O resultado 2,1 e 1,2 são os dois equilíbrios de Nash resultantes desta condição.

Ademais existem dois modelos utilizados em economia, que são Bertrand e Cournot, aplicáveis para análise de oligopólios. Para mais detalhes ver Fiani (2010).

Madani (2010) utiliza alguns destes jogos clássicos para fazer inferência a aplicabilidade destes sobre problemas de gestão de recursos hídricos. Algumas das análises são destacadas na sessão a seguir.

3.3.2 Exemplos de Utilização de Análise de Conflitos na Gestão de Recursos Hídricos e Territorial

Existem diversas aplicações de Teoria dos Jogos em análise de Recursos Hídricos, gestão territorial e agricultura e sistemas de irrigação. As principais abordagens referem-se a: (i) alocação da água entre usuários, através de medidas de custo e benefício; (ii) gestão de água subterrânea; (iii) alocação da água entre usuários transfronteiriços; (iv) gestão da qualidade da água.

Madani (2010) também contribui para esta discussão ao defender que os conflitos sobre as questões da água não estão apenas limitados a custos ou benefícios, no que muitos estudiosos em saneamento estão focados. Para Madani (2010) esses conflitos também podem surgir a partir de aspectos sociais e políticos da concepção, exploração e gestão de projetos ambientais. Portanto, ao analisar, operar ou conceber um projeto de saneamento, um tomador de decisões deveria garantir que o projeto não fosse apenas técnico, ambiental, financeira ou economicamente viável, mas também social e politicamente. Para o autor, este é um desafio para engenheiros que estão acostumados a medir o desempenho dos projetos apenas em termos econômicos, financeiros e físicos.

Ainda segundo Madani (2010), técnicas de otimização, tais como a programação linear, podem encontrar os valores ótimos das variáveis de decisão. No entanto, se o problema não for formulado corretamente, poderá deixar de fornecer informações mais abrangentes sobre os comportamentos estratégicos dos tomadores de decisão que estão envolvidos no processo de escolha.

Assim, como uma contribuição, Madani (2010) ilustra a utilidade da Teoria dos Jogos não-cooperativos em conjunto com estratégias puras na análise de sistemas de água e foca na resolução de conflitos através da discussão dos conceitos básicos da Teoria dos Jogos. Também discutem a forma como a estrutura dinâmica dos problemas de recursos hídricos e a evolução do jogo podem afetar o comportamento dos agentes em diferentes períodos do conflito.

Três tipos de jogos, dois por dois foram apresentados, e seus equilíbrios foram introduzidos. Em cada jogo foram encontradas algumas correspondências entre a Teoria dos

Jogos e a gestão de recursos hídricos, as quais foram discutidas com base em cada exemplo. Além disso, os resultados do tipo ótimo de Pareto foram introduzidos para mostrar como os resultados da Teoria dos Jogos podem diferir dos resultados dos métodos de engenharia de sistemas (MADANI, 2010).

Como conclusão, Madani (2010) afirma que a Teoria dos Jogos fornece meios para a compreensão e resolução de conflitos de água, que muitas vezes são multicritérios, com vários tomadores de decisão envolvidos. Ainda segundo o autor, esta teoria poderia prever se as resoluções ideais são alcançáveis e esclarecer o comportamento dos tomadores de decisão em condições específicas (MADANI, 2010).

Leoneti (2012) propôs um modelo teórico de acoplamento da ferramenta TOPSIS com a Teoria dos Jogos para a seleção de sistemas de tratamento de efluentes em situação de conflito entre agentes com maior interesse nos aspectos econômicos e ambientais. Como resultado apontou algumas vantagens e desvantagens desta metodologia. Dentre as vantagens: a consideração de vários critérios e decisores sem agregação; a avaliação dos comportamentos estratégicos; a necessidade baixa de esforço do decisor para definir os vetores de preferência; e a possibilidade de verificar e avaliar vários cenários. A principal limitação identificada está no fato de que os algoritmos utilizados na procura do equilíbrio de Nash podem exigir um elevado poder computacional, dado o aumento do número de iterações quando novos jogadores são incorporados.

4 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos foram organizados em conformidade com os objetivos específicos.

4.1 AVALIAR CARACTERÍSTICAS DE METODOLOGIAS DE SUPORTE À DECISÃO APLICÁVEIS À AVALIAÇÃO DA INTENSIFICAÇÃO SUSTENTÁVEL EM PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

Dar suporte à avaliação da Intensificação Sustentável em pequenas Bacias Hidrográficas corresponde a avaliação das características da temática selecionada, sua relação com indicadores de sustentabilidade e com as metodologias de suporte a tomada de decisão Análise Multicriterial e Teoria dos Jogos. As seções seguintes abordaram os procedimentos metodológicos componentes de cada uma dessas análises.

4.1.1 A Abordagem da Intensificação Sustentável e a Aplicação em Escala de Bacia Hidrográfica para Avaliação de Sustentabilidade Regional

Os procedimentos integrantes desta etapa compreendem o levantamento e sistematização bibliográfica para subsidiar análise de interface da Intensificação Sustentável com outras metodologias de sustentabilidade agrícola e desenvolvimento sustentável, a caracterização conceitual da temática frente à amplitude de utilizações, e as implicações que a variação de escala espacial pode ocasionar na abordagem, principalmente, em nível de bacias hidrográficas. A organização das referências de base, que pode ser vista no capítulo anterior de Revisão Bibliográfica, tópico 3.1., auxiliará a discussão sobre a abordagem da Intensificação Sustentável como ferramenta de avaliação de sustentabilidade regional.

4.1.2 Levantamento de Critérios para Seleção de Indicadores de Intensificação Agrícola Sustentável em Pequenas Bacias Hidrográficas

Após o delineamento do escopo da Intensificação Sustentável foi necessário identificar fatores para avaliação. Para tanto, procedeu-se o levantamento de mecanismos de avaliação adequados aos princípios definidos pela problemática.

A definição pelo uso de indicadores vem de uma concepção racionalista do conhecimento para a tomada de decisão (SILVA, 2017). Nesse sentido, indicadores e índices tem a função de simplificar e comunicar características avaliadas.

Pode-se conceituar indicador como um parâmetro ou um valor derivado de parâmetros, com capacidade de fornecer informação ou descrição do estado de um fenômeno (OCDE, 2003). Já índice é composto por um conjunto de parâmetros agregados ou ponderados de indicadores.

Os indicadores auxiliam no processo de tomada de decisão por meio da redução do número de medições e parâmetros para diagnosticar uma situação e na simplificação do processo de comunicação por meio dos resultados das medições (SILVA, 2017). São considerados uma representação operacional do atributo do sistema, que pode ser uma variável qualitativa ou quantitativa, cujo valor deve ser comparado com um valor de referência.

Foram levantadas informações de trabalhos que avaliavam aspectos ambientais, econômicos, sociais, institucionais, culturais, dentre outros em estudos de sustentabilidade agrícola, produtividade agrícola, gestão de recursos hídricos e desenvolvimento regional. O levantamento dos indicadores está apresentado na Revisão Bibliográfica.

A partir desta listagem geral, fez-se a classificação e agrupamento dos indicadores aderentes a proposta da avaliação da Intensificação Sustentável em pequenas bacias hidrográficas. O intuito é obter uma composição mínima representativa do problema e que sua análise pudesse ser representada por um índice.

Para composição de um índice de avaliação da sustentabilidade agrícola sustentável em pequenas bacias hidrográficas, as diretrizes identificadas foram:

- Ter definido o objetivo almejado da avaliação. Por exemplo, uma avaliação visando a mudança do padrão atual de desenvolvimento da região é diferente, e portanto, terá como base indicadores diferentes, do que uma análise sobre fiscalização.

- Ter especificado o público-alvo e incentivar elementos de participação no processo de construção da avaliação.
- Entender a sustentabilidade como um processo, uma vez que, sua base de avaliação é, em muitas circunstâncias estabelecida através de prognósticos dos indicadores determinados. A principal questão, é avaliar a sustentabilidade é um processo dinâmico, que deve ser avaliado com base no processo evolutivo, ou seja, nos prognósticos. Tem que se avaliar um direcionamento proposto evolutivo das regiões.
- Abranger uma grande quantidade de indicadores, buscando assim representar a complexidade do ambiente.
- Compreender a agricultura como um sistema dinâmico e inter-relacionado aos demais usos e manejos do solo.
- Levar em consideração a dificuldade de se mensurar a sustentabilidade. As características podem ser personalizáveis, por conta de seu aspecto multidimensional.
- Aspectos de espacialidade e temporalidade dos indicadores.
- Necessidade de composição de um índice multidimensional As medidas atualmente disponíveis geralmente ficam aquém em termos de avaliar as interações e interdependências entre os três componentes e os trade-offs de buscar um componente em detrimento de outro.
- Necessidade de selecionar métodos para avaliar conjuntamente os indicadores para determinarem uma conclusão sobre o sistema avaliado.

Após ter a definição sobre estes aspectos procedeu-se a seleção e classificação dos indicadores dentro do escopo identificado em literatura. Inicialmente, estabeleceu-se categorias com a função de representar minimamente as funções essenciais do sistema modelado. Já para a seleção dos indicadores os critérios estão listados a seguir:

- A dificuldade de avaliar indicadores, seja por aspectos de não disponibilidade de informações ou dificuldade de monitoramento.
- Evitar a duplicidade de indicadores. Apesar de ser possível verificar indicadores nos quadros que possuam composição de informações semelhante, deve-se evitar, quando da seleção dos mesmos, a ocorrência deste duplicidade para não superestimar a importância de um fator e potencializar a ocorrência de uma análise enviesada da circunstância. A utilização simultânea dos indicadores perda de solo e tipo de solo, por exemplo, podem

duplicar a relevância do tipo de solo na avaliação do sistema, uma vez que o tipo de solo já é um fator que compõe o indicador perda de solo.

- Dificuldade de monitoramento dos indicadores ambientais. Portanto o uso de ferramentas de modelagem hidrológica e hidrossedimentológicas prognósticas são bastante úteis a determinação dos indicadores.
- Aspectos de escala, em vista de uma abordagem sobre bacia hidrográfica interpor-se a abrangência política municipal, base usual de indicadores, principalmente socioeconômicos e institucionais.
- Na seleção de indicadores evitar a duplicidade de informações, através de indicadores que possuam a mesma base de dados na constituição, como já ressaltado no aspecto anterior;
- Falta de aplicabilidade prática de muitos indicadores, segundo Marzal (2000), é importante entender os padrões culturais de um dado indivíduo ou grupo social, de forma a entender sua lógica de tomada de decisões, seu valores, e assim poder contribuir efetivamente para a mudança necessária. E, principalmente, é fundamental a participação efetiva do agricultor desde o primeiro instante, ou seja, desde a observação e avaliação do sistema em questão. Não é apenas necessário um trabalho interdisciplinar, envolvendo especialistas de diversas áreas, como mencionado anteriormente, mas também é importante considerar o entendimento do agricultor em relação a cada uma das questões, pois em última instância ele é o agente principal das atividades em sua propriedade.
- Avaliar a dimensão temporal dos indicadores.
- Muitas das medidas ou indicadores atualmente disponíveis não são particularmente úteis para os agricultores ou consomem muito tempo para serem medidos em seu trabalho diário, tornando difícil para eles e suas famílias monitorar o progresso em termos de sustentabilidade agrícola. Isto é particularmente lamentável porque muitas das questões relacionadas com a agricultura sustentável são específicas da localização ou situação.
- A maioria dos indicadores mostra pouco ou nenhum progresso em direção a componentes específicos de sustentabilidade, e eles são insuficientes para ajudar a determinar as relações de causa e efeito para ajudar a avaliar os problemas atuais e fornecer ideias sobre o que precisa ser feito para garantir o progresso contínuo em direção à sustentabilidade. Uma complicação adicional é que algumas estratégias relacionadas à agricultura sustentável exigem 5 a 10 anos (por exemplo, uma rotação completa da cultura) de implementação antes que elas resultem em sinais visíveis ou mensuráveis de recompensa.

Tendo estabelecido diretrizes para a delimitação dos elementos do problema de pesquisa, passa-se a avaliação das características e ferramentas baseadas em Teoria dos Jogos.

4.1.3 Critérios para Avaliação das Ferramentas de Teoria dos Jogos

Os critérios avaliados, inicialmente, na composição da Teoria dos Jogos foram os aspectos distintos entre resultados de otimização e da racionalidade, essa é a premissa fundamental da Teoria dos Jogos; a estrutura mínima de composição de um jogo; e, as classificações da Teoria dos Jogos e avaliação de utilidade. Todos estes fatores, já apresentados no capítulo anterior, podem influenciar o processo de análise, a depender do que for selecionado para o problema analisado.

Sequencialmente, identificou-se na literatura modelos de suporte a tomada de decisão que tem por base a Teoria dos Jogos e aplicação na área ambiental, em especial relacionada a gestão de Recursos Hídricos. Os modelos foram identificados em Hipel (2002) e Madani (2010):

- Sistema Interativo de Suporte a Negociação Assistida por Computador – ICANS (Thiessen e Loucks, 1992; Thiessen et al., 1998);
- Modelo Gráfico para Resolução de Conflitos - GMCR (Kilgour et al., 1996; Hipel et al., 1997);
- Modelagem de Visão Compartilhada - Shared Vision Modeling (Lund and Palmer, 1997);
- Mecanismo de Ajuste de Vencedor - Adjusted Winner mechanism (Massoud, 2000);
- Resolução Alternativa de Disputa - ADR (Wolf, 2000);
- Multivariate Analysis Biplot (Losa et al., 2001);
- Mapas Cognitivos Difusos - Fuzzy Cognitive Maps (Giordano et al., 2005);
- Função de utilidade proposta por Leoneti (2012 e 2016);
- Teoria do Drama (Howard, 1999);
- Teoria dos Movimentos (Brams, 1994)

- Teoria dos movimentos difusos (Kandel et al., 1998; Li et al., 2001).

Destes métodos, foram selecionados aqueles com maior aderência a proposta desta pesquisa, e avaliados com vista a identificar vantagens e desvantagens que poderiam ser acrescentadas a ferramenta em construção. A seguir, uma descrição geral dos métodos selecionados para embasar a análise posterior.

4.1.3.1 Descrição dos Métodos de Teoria dos Jogos

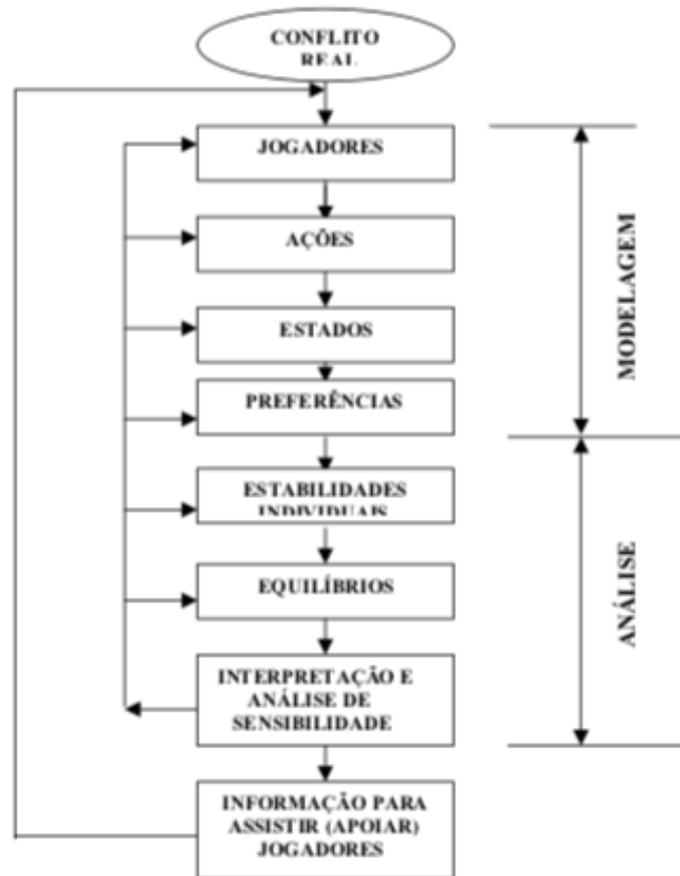
Dentre as diversas ferramentas baseadas em Teoria dos Jogos para utilização em análise de conflitos, algumas

- Os modelos ICANS e CWAN caracterizam-se por modelos conceituais a serem detalhados posteriormente.

- GMCR:

O GMCR (Graph Model for Conflict Resolution), também denominado de modelo grafo, é matematicamente fundamentado na Teoria dos Jogos e na Teoria dos Grafos, consiste de dois estágios: Modelagem – fase de estruturação do conflito, onde são determinados os jogadores, suas opções, os estados (resultados) e as preferências relativas dos jogadores para cada estado que o conflito pode assumir; e Análise – onde é calculada a estabilidade de cada estado a partir do ponto de vista de cada jogador (um estado é estável se o jogador não tem incentivos para se mover dele, por troca unilateral de estratégia) e, daí, os equilíbrios (estados estáveis para todos os jogadores) que se constituem em possíveis soluções para o conflito; a seguir, esses resultados são interpretados, sendo realizada uma Análise de Sensibilidade que objetiva verificar a firmeza dos equilíbrios encontrados. Essa estrutura está ilustrada no fluxograma apresentado na figura abaixo.

Figura 4.1: Estrutura de aplicação do GMCR. Fonte: VIERA e RIBEIRO (xxxx).



No GMCR o conflito é representado por um conjunto de grafos direcionados finitos $D_i = (U, A_i), i \in N$, onde $N = \{1, 2, \dots, n\}$ é o conjunto de jogadores, $U = \{1, 2, \dots, u\}$ é o conjunto de estados do conflito e A_i é a matriz de adjacência do jogador i (isto é, o conjunto de movimentos permitidos a i , a partir de cada estado em U). Para cada jogador i considera-se conhecido o vetor de preferências para os estados em U , sendo $P_i = (P_i(1), P_i(2), \dots, P_i(u))$. Os conjuntos de grafos direcionados D_i e vetores de preferência P_i constituem o modelo grafo do conflito.

O GMCR usa vários critérios de estabilidade, através dos quais cada estado é verificado quanto à sua estabilidade para cada um dos jogadores, considerando-se que os movimentos são feitos em busca de melhoramentos unilaterais, isto é, que cada jogador vai sempre procurar a sequência de movimentos que conduza o conflito a um estado mais preferido por ele. No quadro abaixo estão indicadas as principais características dos critérios de estabilidade utilizados pelo GMCR.

Quadro 4.1: Critérios de estabilidade do GMCR. Fonte: VIEIRA e Ribeiro (xxxx).

Estabilidades	Interpretações	Visão de Futuro	Recuo
Equilíbrio de Nash	O agente não analisa as reações possíveis ao seu movimento e espera que o conflito se manterá no estado de sua escolha	Pequena (apenas 1 movimento)	Nunca
Metaracionalidade Geral	O agente analisa as possíveis reações ao seu movimento, mas ignora suas possíveis contra-reações	Média (2 movimentos, decisão e reação)	Dos oponentes
Metaracionalidade Simétrica	O agente considera não apenas suas próprias possibilidades de movimento e as reações dos outros jogadores, mas também sua contra-reação.	Média (3 movimentos, decisão, reação e contra-reação)	Dos oponentes
Metaracionalidade Sequencial	O agente analisa se está impedido de mover-se para um estado preferido por ele porque uma sequência de movimentos dos outros agentes resultará num estado menos preferido para ele do que o inicial.	Média (depende do número de jogadores)	Nunca
Movimento Limitado (Lh)	O jogador antecipa que conseguirá o menos preferido de todos os estados que podem ocorrer como resultado da iniciativa de cada um dos outros jogadores	Variável (h movimentos)	Estratégico
Estabilidade Não-Míope	Corresponde ao limite da estabilidade Lh quando h tende ao infinito.	Alta	Estratégico

O GMCR é aplicável a jogos com qualquer número finito de jogadores ($n \geq 2$) e opções, considerando informações de preferência relativa e podendo assumir informação completa ou com falhas de percepção dos jogadores (hypergames) ou alguns tipos de informação parcial. É classificado como jogo não cooperativo, embora possa modelar alguns tipos de cooperação entre os jogadores (barganha e negociação), e pode ser usado para modelar um conflito em diferentes pontos do tempo.

- As metodologias de Leoneti (2012) e Leoneti (2016) serão detalhadas posteriormente.

4.1.4 Estratégias para Seleção de Métodos de Análise Multicriterial

A identificação dos métodos de Análise Multicriterial a serem avaliados seguiu por princípio a classificação de Hajkowicz e Collins (2007) e a representatividade dos mesmos em voltados à sustentabilidade, gestão de recursos hídricos e territorial. Com base nestes parâmetros, definiu-se os seguintes métodos para avaliação:

- Método de Eliminação e Escolha como Expressão da Realidade – ELECTRE (Roy,1968);
- Técnica de Ordenamento de Preferencias por Similaridade com Solução Ideal – TOPSIS (Yoon e Hwang ,1981);
- Método Analítico Hierárquico – AHP (Saaty, 1977);
- Método de Programação por compromisso – CP (Zeleny, 1982);
- Métodos baseados em Teoria da Utilidade Multiatributo – MAUT(XXXX);

Para a classificação de metodologias de Análise Multicriterial foi necessária a definição dos critérios relevantes ao problema de pesquisa e que influenciarão a adequação dos métodos ao escopo desta pesquisa. Nos capítulos anteriores mencionou-se a relevância desta seleção perante a grande quantidade e diversidades de modelos disponíveis.

Para esta pesquisa, em conformidade com Cinelli et al (2014) e Lima Junior e Carpinetti (2015), identificou-se como significativo que as metodologias de Análise Multicriterial tenham por capacidade:

- Expressar em seus resultados o problema de pesquisa. Neste caso, a habilidade de avaliação da sustentabilidade da intensificação da produção agrícola;
- Formulação que considere o uso de informações quantitativas e qualitativas, tratamento e análise de incertezas;
- Tipologia de pesos adequada ao acoplamento com a Teoria dos Jogos. As características aqui necessárias serão obtidas da análise da sessão anterior;
- Características de integração e facilidade de entendimento pelos tomadores de decisão;

- Analisar se eles possuem capacidade de classificar os critérios quanto a parâmetros limitantes;
- Avaliação da possibilidade de compensação entre os critérios, ou seja, se houver valores distintos nos critérios, durante a formulação estes seriam enquadrados e pela média anular-se-iam as evidentes distinções;
- Se permitem uma análise de robustez da técnicas através do ranqueamento reverso, onde seria possível avaliar se a ferramenta apresenta resultados semelhantes com a inversão dos critérios, apenas com a ordem invertida.
- A existência de suporte de softwares para permitir a verificação dos resultados obtidos.
- Integração com ferramentas de geoprocessamento, visto que muitos critérios ambientais são determinados com apoio desta metodologia, é relevante saber sobre a possibilidade de se inserir as características componentes da metodologia e aplica-la em um ambiente especializado.

Para avaliação dos métodos é necessário conhecer a formulação destes. A sessão a seguir destina-se a esta descrição.

4.1.4.1 Descrição dos Métodos de Análise Multicriterial Selecionados

Nesta sessão encontram-se descritos os cinco métodos de Análise Multicriterial que serão avaliados por esta pesquisa. A base de entrada considerada para todos os métodos de Análise Multicriterial descritos é a matriz de decisão, que tem como composição básica alternativas, critérios e pesos.

A matriz de decisão A , composta por alternativas e critérios, é descrita por:

$$A = \begin{matrix} & C_1 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} & \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Onde: A_1, A_2, \dots, A_m são as alternativas do problema;

C_1, C_2, \dots, C_n são os critérios avaliados;

a_{ij} indica o desempenho da alternativa A_i segundo o critério C_j .

Também consta na matriz de decisão o vetor de peso $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ formado pelos pesos individuais para cada critério C_j , e satisfaz $\sum_{j=1}^n w_j = 1$.

Sabendo da caracterização básica dos dados de entrada dos métodos de Análise Multicriterial, pode-se avaliar as formulações dos métodos selecionados:

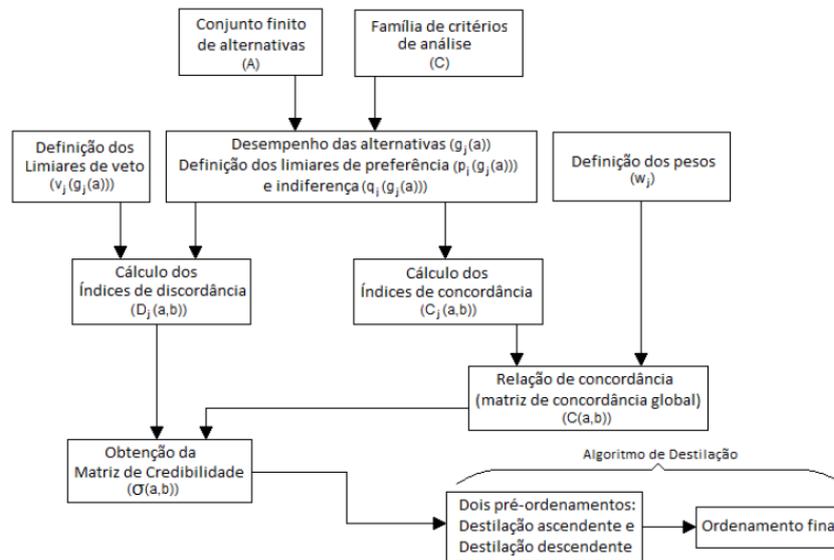
- ELECTRE:

O ELECTRE compreende uma família de métodos, destes selecionou-se o ELECTRE III proposto por Roy (1978), que se destina a tratar problemas de ordenação, introduzindo ponderações nos critérios adotados.

O método em questão atribui um conjunto de alternativas em categorias previamente definidas. Neste contexto, uma categoria é definida como um caminho para classificar os diferentes tipos de alternativas entre dois limites (concordância e discordância), de acordo com alguma aptidão ou capacidade. A designação de uma alternativa para uma categoria ou outra é obtida por meio da comparação de alternativas com os limites predefinidos das categorias (Greco et al. 2016; Govindan e Jepsen 2016).

A Figura 4.2 esquematiza os procedimentos constituintes do método ELECTRE III, que na sequência são detalhados.

Figura 4.2: Fluxograma esquemático das etapas de aplicação do método ELECTRE III. Fonte: BRINGER, 2017.



Tendo como elementos de entrada os critérios, pesos e alternativas já estabelecidos, os seguintes passos fazem parte da formulação do modelo:

Passo 1: Determinar as ações de referência:

As ações de referência são os coeficientes que atuam na definição dos limites das várias categorias. Nesse caso são os limiares de preferência (p), de indiferença (q) e veto (v). Os três limiares podem ser assim definidos, conforme Bringer (2017):

- O limiar de indiferença corresponde à maior diferença entre os desempenhos de duas alternativas compatível com uma situação de indiferença.
- O limiar de preferência corresponde à menor diferença de desempenho de duas alternativas a partir do qual o decisor prefere estritamente a alternativa de melhor desempenho;
- O limiar de veto é a menor diferença de desempenho de duas alternativas a partir do qual o decisor considera que não é possível apoiar a ideia de que a pior das duas alternativas (com relação a um determinado critério) pode ser considerada tão boa quanto a melhor alternativa, mesmo que seu desempenho em todos os outros critérios sejam melhores.

Passo 2: Determinação do índice de concordância parcial aos critérios:

$$C_j(a, b) = \begin{cases} 1, \text{ se } g_j(a) + q_j \geq g_j(b) \\ 0, \text{ se } g_j(a) + p_j \leq g_j(b), j = 1, 2, \dots, r \\ \frac{p_j + g_j(a) - g_j(b)}{p_j - q_j}, \text{ nos demais casos} \end{cases}$$

Onde: $C(a, b)$ é o índice de concordância parcial entre as alternativas a e b ; k_j é o peso do critério j , para $j = 1, 2, 3, \dots, n$; c_j é o índice de concordância das ações a e b sob o critério j .

Passo 3: Calcular o índice de Concordância Geral:

$$C(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n [w_i \cdot c_i(a, b)]}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Passo 4: Determinação do Índice de Discordância aos critérios:

$$d_j(a, b) = \begin{cases} 1, \text{ se } g_j(a) + p_j \geq g_j(b) \\ 0, \text{ se } g_j(a) + v_j \leq g_j(b), j = 1, 2, \dots, r \\ \frac{g_j(b) - g_j(a) - p_j}{v_j - p_j}, \text{ nos demais casos} \end{cases}$$

Passo 5: Obter o grau de credibilidade

$$S(a, b) = \begin{cases} C(a, b), \text{ se } d_j(a, b) \leq C(a, b) \\ C(a, b) * \prod_{j \in J(a, b)} \frac{1 - d_j(a, b)}{1 - C(a, b)}, \text{ onde } J(a, b) \text{ é o conjunto de critérios que} \\ \text{satisfazem } d_j(a, b) > C(a, b) \end{cases}$$

Passo 6: Ordenamento ascendente e descendente para composição do ordenamento final.

- TOPSIS:

O segundo método descrito, proposto por Yoon e Hwang (1981) é um método consolidado dentre as metodologias de Análise Multicriterial. Baseia-se no conceito de que a alternativa a

ser escolhida é aquela que tem a menor distância para a Solução Ideal Positiva, e a maior distância da Solução Ideal Negativa (Greco et al., 2016).

Os procedimentos matemáticos do modelo, a partir da matriz de decisão já normalizada, são:

Passo 1: Determinar a Solução Ideal Positiva (A^+) e a Solução Ideal Negativa (A^-):

$$A^+ = \{v_1^+, \dots, v_n^+\} = \left\{ \left(\max_i v_{ij}, j \in J \right) \left(\max_i v_{ij}, j \in J' \right) \right\}, i = 1, 2, \dots, m$$

$$A^+ = \{v_1^+, \dots, v_n^+\} = \left\{ \left(\max_i v_{ij}, j \in J \right) \left(\max_i v_{ij}, j \in J' \right) \right\}, i = 1, 2, \dots, m$$

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} = \left\{ \left(\min_i v_{ij}, j \in J \right) \left(\min_i v_{ij}, j \in J' \right) \right\}, i = 1, 2, \dots, m$$

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} = \left\{ \left(\min_i v_{ij}, j \in J \right) \left(\min_i v_{ij}, j \in J' \right) \right\}, i = 1, 2, \dots, m$$

Onde:

v_{ij} corresponde ao valor do critério i para a alternativa j (já normalizado e ponderado ao peso estabelecido pelo agente em análise).

Passo 2: Calcular as medidas de separação:

$$d_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, i = 1, \dots, m \quad d_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, i = 1, \dots, m$$

$$d_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, i = 1, \dots, m \quad d_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, i = 1, \dots, m$$

Passo 3: Calcular a proximidade relativa às soluções ideais. O parâmetro R_i é calculado usando a equação:

$$R_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, i = 1, \dots, m$$

- AHP:

O AHP é baseado na comparação paritária dos critérios, buscando responder a questão de qual critério de maior importância e qual a proporção desta importância. Para responder esses

questionamentos os decisores devem atribuir pesos numa escala de 1 a 9 para cada critério, comparando-os par-a-par.

O AHP estabelece classes para as alternativas pela necessidade de avaliar uma alternativa com relação a uma outra (comparação par-a-par) ao invés de utilizar procedimentos mais complexos para avaliar todas simultaneamente. Inicialmente, os objetivos são comparados entre si por uma equipe avaliadora. Dessa análise resulta uma matriz de comparação A ($n \times n$), em que o elemento s_{ij} indica o grau de superioridade do critério i sobre o critério j . Na matriz estabelecida os valores nas células indicam, proporcionalmente, o quanto o critério da linha é preferível ao critério da coluna, os números negativos indicam o inverso, por exemplo, o critério da coluna é preferível ao da linha.

A utilização de uma hierarquia permite focar um julgamento separadamente em cada uma das várias propriedades essenciais para fazer uma boa decisão. A maneira mais eficaz para se concentrar julgamento é levar um par de elementos e compará-los em uma única propriedade, sem preocupação com outras propriedades ou outros elementos. Portanto, as comparações emparelhadas em combinação com a estrutura hierárquica são tão úteis. As comparações são estabelecidas através da experiência ou treinamento do tomador de decisão (SAATY, 1977, 1980; BOROUSHAKI e MALCZEWSKI, 2008).

A entrada básica é uma matriz A , de comparação aos pares, de n critérios construídos com base em razões da escala de intensidade de importância de Saaty, da ordem $n \times n$, conforme definida na equação abaixo:

$$A = [a_{ij}], i, j = 1, 2, 3, \dots, n$$

Onde:

A é uma matriz com elementos a_{ij} , e tem geralmente a propriedade da reciprocidade $a_{ij} = 1/a_{ji}$.

Na sequência, a matriz é normalizada e transformada em matriz B :

$$B = [b_{ij}], i, j = 1, 2, 3, \dots, n$$

Onde:

B é a matriz normalizada de A , com elementos b_{ij} .

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}$$

Cada valor de peso w_i foi determinado como:

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij}}$$

Pro fim, as equações a seguir representam as relações entre o máximo autovalor (λ_{max}) e o autovetor correspondente para matriz B (W).

$$BW = \lambda_{max} \cdot W$$

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$$

Tem-se então:

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n \frac{(BW)_i}{nw_i}$$

De modo que o $(BW)_i$ corresponde ao i -ésimo valor para o vetor BW.

Além disso, torna-se fundamental verificar a consistência da matriz B após a obtenção dos valores dos pesos. Na aplicação do AHP é preciso que os pesos derivados da matriz de comparação aos pares sejam consistentes. Este é um dos pontos fortes do AHP, o fato de permitir a relação de inconsistência, ao passo que proporciona uma razão de consistência (CR), como um indicador do grau de consistência e inconsistência. A razão de consistência é usada para indicar a probabilidade das decisões/julgamentos inerente da matriz geradas aleatoriamente

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

O índice de aleatoriedade RI é uma constante representada pela média do índice de consistência resultante, obtido para matrizes recíprocas geradas aleatoriamente. Já o índice de consistência (CI) é expresso na equação abaixo. Torna-se útil uma medida da inconsistência ligada à matriz de comparação pareada, pois mesmo que vindos de especialistas, os julgamentos humanos em certa medida são imperfeitos ou inconsistentes

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{n - 1}$$

Onde:

N representa a ordem da matriz.

A determinação de CR no AHP é essencial. Tal índice possui o valor limite padrão de 0,10, ou seja, de 10%. Nesse sentido, com $CR < 0,10$ considera-se que a matriz de comparação de pares tem consistência aceitável e os valores de peso calculado são válidos e podem ser utilizados. Caso contrário, $CR \geq 0,10$, isso significa que as comparações de pares são inconsistentes, há necessidade de ajustes dos valores dos critérios, ou seja, uma revisão dos julgamentos

- Programação por Compromisso (CP):

Os procedimentos de cálculo do método de Programação por Compromisso foram estabelecidos conforme Lourenço (2011).

Passo 1: A partir da matriz de decisão é composta a matriz de avaliação por meio da atribuição de pesos aos critérios e da valoração das alternativas.

Passo 2: Determinação dos melhores (f_i^*) e piores ($f_{i,j}$) valores para cada critério conforme valor atribuídos as alternativas.

Passo 3: atribuição dos pesos, sendo neste estudo utilizada a escala de 1 (influência mínima na suscetibilidade) a 10 (influência absoluta na suscetibilidade), para os critérios e da sua padronização, que foi baseada na divisão dos valores pela própria soma.

Passo 4: avaliação das alternativas segundo cada critério:

$$l_s(x) = \left(\frac{f_i^* - f_i(x)}{f_i^* - f_{i,w}} \right)^s$$

Onde:

i representa cada critério analisado;

x representa os diagnósticos analisados ou os procedimentos metodológicos para a realização de um diagnóstico

$f_i(x)$ é a pontuação atribuída a x_j considerando o critério i;

f_i^* é a melhor pontuação obtida para o critério i;

$f_{i,w}$ é a pior pontuação obtida para o critério i ;

S é um peso aplicado aos desvios, sendo $1 \leq S \leq \infty$. Usualmente, S é igual a 1 e 2 de forma a realizar um estudo sobre a sensibilidade do indicador.

Passo 5: Posteriormente a avaliação das alternativas com cada critério, é realizada o somatório da multiplicação dos resultados obtidos da equação anterior, pela ponderação padronizada de todos os critérios para cada alternativa, totalizando assim a importância global da alternativa no objetivo do estudo.

$$l_s(x) = \left[\sum_{i=1}^n \alpha_i^S \left(\frac{f_i^* - f_i(x)}{f_i^* - f_{i,w}} \right)^S \right]^{\frac{1}{S}}$$

Onde:

α_i^S é o peso atribuído a cada critério i ;

$l_s(x)$ é a distância entre a solução obtida com o procedimento metodológico x e a solução ideal.

4.2 PROCEDIMENTOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA DE ASSOCIAÇÃO ENTRE ANÁLISE MULTICRITÉRIAL E TEORIA DOS JOGOS

A partir dos levantamentos e avaliações realizados na seção anterior, a construção da ferramenta proposta inicia-se com a caracterização conceitual e analítica. Na sequência serão descritos os procedimentos de implementação computacional da ferramenta e para determinação do equilíbrio de Nash.

4.2.1 Concepção conceitual e analítica da ferramenta

O suporte ao processo de tomada de decisão coletiva, pelo entendimento das preferências individuais é o objetivo da construção da ferramenta associada entre Teoria dos Jogos e Análise Multicriterial. Deste modo, poderá contribuir para gestão dos potenciais conflitos entre agentes, por meio do apontamento de soluções potencialmente mais realísticas do que as obtidas por consenso ou medidas ponderadoras.

Da verificação dos processos aplicados por algumas iniciativas de avaliação de sustentabilidade, e na experiência do Projeto Sossego no desenvolvimento de metodologias participativas para gestão de recursos hídricos e territorial, desenvolveu-se um fluxo de etapas para a estruturação da ferramenta.

Foram estabelecidos três blocos, sendo o primeiro a pré-aplicação da ferramenta computacional e o terceiro o pós-aplicação. Respectivamente, estas etapas terão como fundamento caracterizar a problemática analisada e transformá-la nos dados de entrada da ferramenta, e interpretar e analisar os resultados obtidos, levando a avaliação dos agentes numa reunião de negociação.

Observou-se, também, estudos de aplicação de métodos de Análise Multicriterial na gestão de recursos hídricos e territorial, pois as etapas de início e fim da ferramenta construída assemelham-se aos processos de construção da análise multicriterial, como determinação de alternativas, pesos e critérios.

As definições das características do jogo, dentre as possibilidades de classificações apontadas pela Teoria dos Jogos, são relevantes para estabelecer as premissas de interação entre os agentes. O jogo foi estabelecido como: não-cooperativo, de soma não-zero, de informação completa, estático, e com possibilidade de adoção de estratégias puras e mistas.

A construção da ferramenta computacional terá uma sessão de descrição própria, apresentada a seguir.

4.2.2 Implementação computacional do modelo

A partir da inserção dos dados de entrada estabelecidos para a ferramenta, faz-se uso da ferramenta Excel para processar automaticamente as informações de modo a fornecer:

- Normalização dos critérios:

Nesta pesquisa será utilizada a função de normalização proposta por Deng (2007), que pode ser visualizada na equação a seguir.

$$p_{ij} = \frac{a_{ij}}{(\sum_{k=1}^n a_{ij}^2)^{1/2}}$$

Onde:

p_{ij} é o valor da alternativa a_{ij} normalizada para o critério “j” quando pretende-se maximizá-lo. No caso de minimização, para o qual o objetivo seja minimizar a quantidade de recursos necessários para instalar a alternativa, utiliza-se a equação acima na forma $1-p_{ij}$.

- Correlação dos fatores peso e indicadores:

A etapa seguinte é a verificação de diversidade e interesses divergentes entre os pesos atribuídos pelos agentes. Uma boa medida é a avaliação de correlação, por exemplo com o Coeficiente de Correlação Produto-Momento de Pearson, que se baseia na covariância e variância das variáveis, conforme apresentado na equação abaixo. É importante notar que quanto menor for o coeficiente de correlação negativa entre eles mais provável será o surgimento de conflitos entre os mesmos.

$$\rho = \frac{cov(X_1, X_2, \dots, X_Z)}{\sqrt{var(X_1) \cdot var(X_2) \cdot \dots \cdot var(X_Z)}}$$

Onde:

X_z são os pesos atribuídos por cada agente aos critérios;

Z é o número de agentes considerados.

- Procedimento matemático do(s) método(s) de Análise Multicriterial selecionados:

Esta etapa é dependente da análise e seleção dos métodos de Análise Multicriterial, mas consiste em adaptar a formulação dos métodos para que a modelagem ocorra no ambiente da ferramenta Excel. A descrição das técnicas de Análise Multicriterial avaliadas está descrita na sessão anterior, 4.1.4.1.

- Determinação da utilidade dos agentes:

Esta etapa dependerá da estratégia definida para obtenção dos valores de utilidade dos agentes. A apresentação dos fatores avaliados consta na sessão 4.1.3.1.

- Análise estatística da matriz de pagamento resultante:

Da matriz de pagamento resultante são extraídas avaliações estatísticas automatizadas dos coeficientes e estados respectivos. São elas: maximização individual para cada agente; minimização individual para cada agente; amplitude de variação dos coeficientes; média; desvio-padrão; percentil (onde pode-se variar o percentual escolhido) e os estados com coeficiente acima do percentil para cada agente e a interseção desta condição entre os jogadores para determinar estados aceitáveis.

Ademais, incluiu-se técnicas clássicas de análise de tomada de decisão em ambiente de incerteza, criados por von Neuman (xxxx), que são os denominados maxmax e maxmin. O maxmax compreende a escolha de cada agente selecionando a composição de melhor resposta dentro da melhor alternativa possível. Já o maxmin corresponde ao coeficiente oriundo do pior retorno possível advindo da escolha da melhor alternativa pelo agente. Como o maxmax é equivalente a maximização individual, apenas adicionou-se os procedimentos de determinação do maxmin.

- Organização da saída de dados compatível para o software de análise do Equilíbrio de Nash: formatação e organização dos dados da matriz de pagamento de modo que ela possa ser interpretada pelo software de análise do equilíbrio de Nash, detalhado na sequência.

4.2.3 A Determinação do Equilíbrio de Nash

O software GAMBIT[®], desenvolvido por McKelvey et al. (2010), realiza a computação de equilíbrio de Nash possui interface gráfica interativa para a construção e análise de jogos na forma estratégica, e possui um grande número de algoritmos para buscar os resultados.

Inicialmente, faz-se a busca e eliminação iterada de estratégias estritamente dominadas. Estas dominadas são aquelas as quais sempre haverá uma opção melhor (que gera mais satisfação) do que ela, ou seja o agente nunca a escolherá. Estratégias que não são estritamente dominadas para um jogador podem ir se tornando estritamente dominadas à medida que estratégias estritamente dominadas de outros jogadores são eliminadas (FIANE, 2010).

Ademais, o software disponibiliza 7 métodos de cálculos, apresentados brevemente abaixo:

- Programação linear: utilizado para análise contendo 2 agentes, com fundamentação baseada no proposto por Koller, Megiddo e Von Stengel (xxxx).
- Complementariedade linear: utilizado para análise contendo 2 agentes, Para jogos estendidos, utiliza fundamentação baseada no proposto por Koller, Megiddo e Von Stengel (xxxx), e aplicado pelo algoritmo desenvolvido por Lemke. Para jogos estratégicos, baseia-se em Lemke e Howson (xxxx).
- Função de minimização: procura por equilíbrios gerando pontos de partida aleatórios e usando gradiente descendente conjugado para minimizar a função Lyapunov do jogo. Essa função é uma função não-negativa que é exatamente zero nos perfis de estratégia que são o equilíbrio de Nash. Observe que esse procedimento não é globalmente convergente, ou seja, não é garantido encontrar todos, ou mesmo algum, equilíbrio de Nash.
- Subdivisão simplicial: implementa o algoritmo de van der Laan, Talman e van Der Heyden (1987). O algoritmo procede construindo uma grade triangulada sobre o espaço de perfis de estratégia mista e usa um método de acompanhamento de caminho para calcular um ponto fixo aproximado. Este ponto fixo aproximado pode então ser usado como ponto de partida um refinamento da grade. O programa continua esse processo com grades mais finas e finas até localizar um perfil de estratégia mista no qual o máximo arrependimento é pequeno. O algoritmo começa com qualquer perfil de estratégia mista que consiste em números racionais como probabilidades. Sem opções, o algoritmo começa com o centróide e calcula um equilíbrio de Nash.
- Método de Newton Global: Govidan e Wilson (2003)

- Sistemas de equações polinomiais: Este programa procura todos os equilíbrios de Nash em um jogo estratégico usando uma abordagem de enumeração de suporte. Essa abordagem computa todos os suportes que poderiam, em princípio, ser o suporte de um equilíbrio de Nash, e então procura um equilíbrio totalmente misto nesse suporte resolvendo um sistema de igualdades e desigualdades polinomiais formado pelas condições de equilíbrio de Nash. A ordenação dos suportes é feita de forma a maximizar o uso de informações previamente computadas, tornando-as adequadas ao cálculo de todos os equilíbrios de Nash.
- Aproximação por polimatriz iterada: Govidan e Wilson (2004)

A escolha de qual metodologia utilizar dentro do software GAMBIT baseou-se em Poter (2008) que avaliou os métodos descritos acima e definiu como melhor adequação a problemas de mais de 2 agentes o processo de subdivisão simplicial.

4.3 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO – BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SOSSEGO

4.3.1 Critérios de Seleção da Área de Estudo

Para exemplificar a aplicabilidade da ferramenta construída selecionou-se uma pequena bacia hidrográfica para aplicação experimental das funcionalidades desenvolvidas. Os critérios de seleção foram:

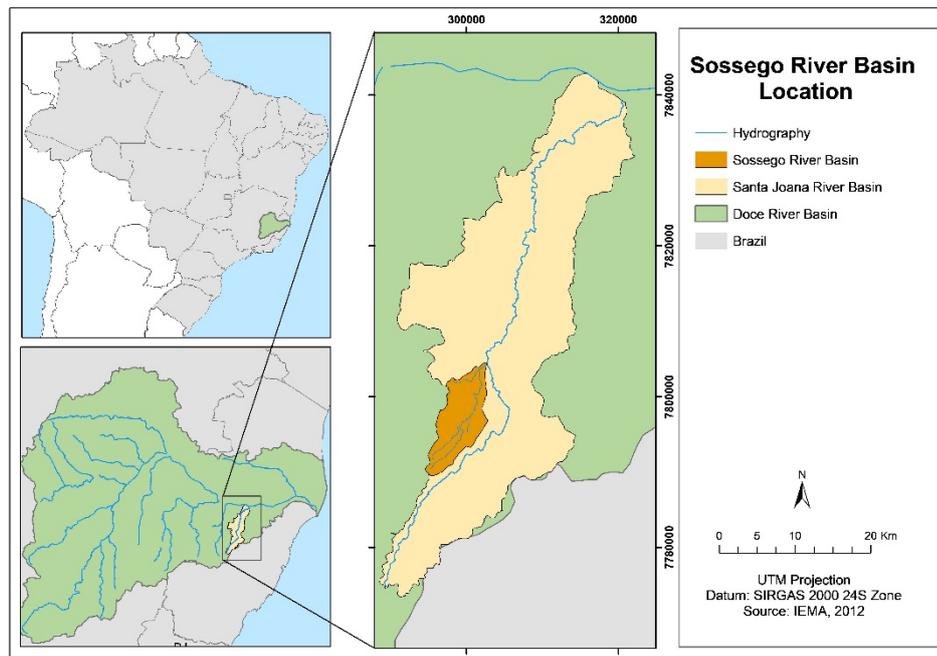
- pequenas bacias hidrográficas localizadas no estado do Espírito Santo que tinham por característica composição de pequenos produtores rurais de base agrícola familiar;
- verificação de iniciativas de auto-organização comunitária;
- disponibilidade de informações, e a existência de projetos que desenvolvam a gestão territorial de forma participativa.

Com base nestes critérios escolheu-se a bacia hidrográfica do Córrego Sossego como região para a aplicação experimental da presente pesquisa. A seguir é apresentada uma caracterização da região, onde encontram-se justificados os critérios acima dispostos.

4.3.2 Caracterização da Bacia Hidrográfica do Córrego Sossego

A bacia hidrográfica do Córrego Sossego possui uma área aproximada de 65km² e está inserida na Bacia do Rio Santa Joana, sub-bacia afluente ao Rio Doce (Figura 4.3.). A região localiza-se no município de Itarana, estado do Espírito Santo, Brasil.

Figura 4.3: Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego Sossego na Bacia do Rio Doce.



Sendo caracterizada por 85% de propriedades agrícolas na faixa entre 10 e 50 ha, onde predomina a agricultura de base familiar. Segundo classificação do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER) a bacia do Córrego Sossego está localizada nas zonas 3 e 6:

A zona 3 é caracterizada por apresentar terras de temperaturas amenas, acidentadas e chuvosas/secas, apresenta temperatura média mínima nos meses mais frios de 9,4 a 11,8 °C e temperaturas médias máximas nos meses mais quentes de 27,8 a 30,7°C. Já a zona 6 é caracterizada por apresentar terras quentes, secas e acidentadas e possuir temperaturas médias mínimas nos meses mais frios de 11,8 a 18 °C e a precipitação média do município de Itarana são de 960 mm, onde os períodos mais secos são os meses de maio a agosto e o período úmido são os meses de janeiro a abril e outubro a dezembro (LABGEST, 2010).

Um dos principais fatores que justificam o destaque é sua utilização como bacia experimental, desde 2002, para desenvolvimento de estudos científicos e tecnológicos de gestão integrada de recursos hídricos com foco no desenvolvimento sustentável regional. Algumas das características da região que levaram ao desenvolvimento deste projeto, denominado Projeto Sossego foram: carência de disponibilidade de recursos hídricos para abastecimento público, irrigação e outras atividades importantes para o desenvolvimento regional; condições de saneamento básico que pudessem comprometer os recursos hídricos; degradação da qualidade dos corpos d'água; degradação da bacia hidrográfica; condições socioeconômicas desfavoráveis por influência da disponibilidade hídrica (qualidade e/ou quantidade) (GEARH, 2003; LABGEST, 2010).

Diversos trabalhos foram realizados, desde então, com o intuito de avaliar e propor diretrizes para melhoria e solução destes problemas. Alguns estudos, que se relacionam as questões de produção agrícola, de água e de solo, principalmente considerando metodologias participativas de avaliação e proposição de melhorias são: GEARH (2003), Quarentei (2008), Quarentei (2010), LABGEST (2010), Poloni (2010), Lopes (2011), Lima (2013), Guerra (2014) e Vieira (2015) e Batista (2016).

Para a presente pesquisa, esta pequena bacia hidrográfica foi selecionada como área de estudo pois além da disponibilidade de informações e do histórico de desenvolvimento de projetos de gestão participativa, apresenta, potencialmente, as condições de divergência entre interesses dos agentes (proprietários rurais, a municipalidade, o Estado, etc.) quanto a gestão territorial. Quarentei (2010) e Lopes (2011) identificaram a existência de preferências diferentes entre os agentes localizados em áreas altas e baixas, quanto a adoção a práticas de uso e manejo do solo e da água (irrigação).

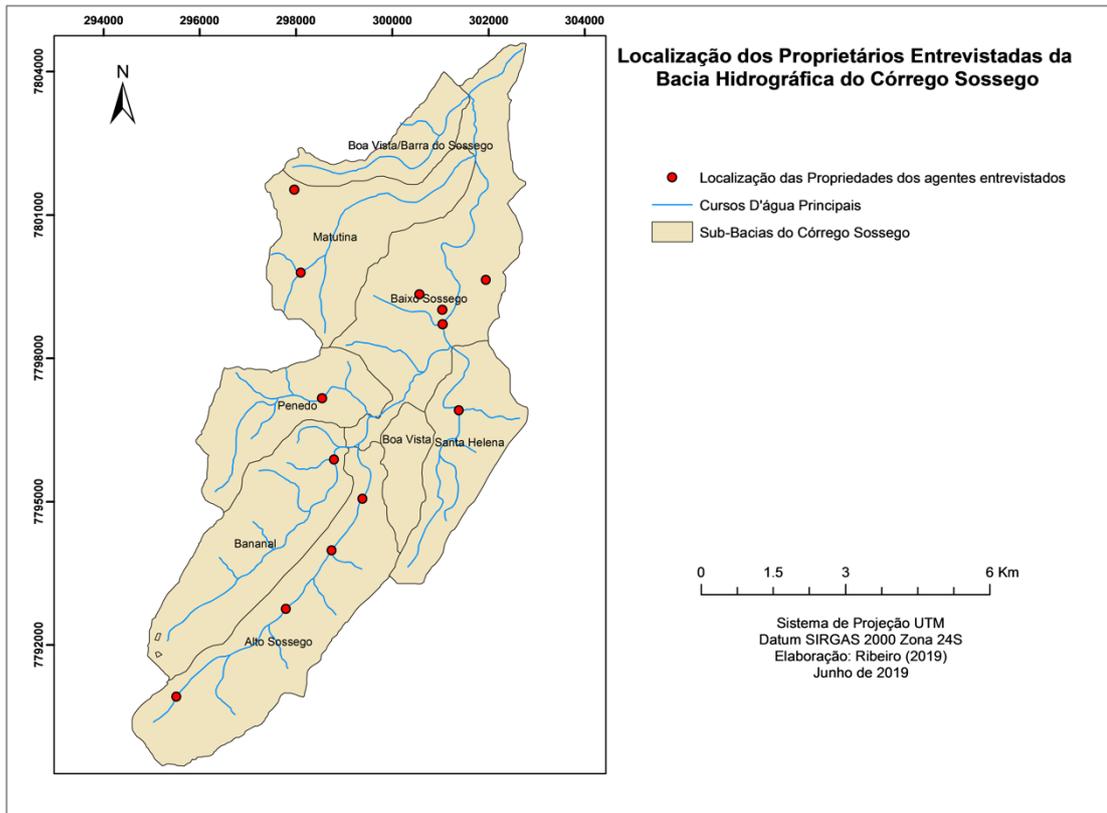
A seguir serão apresentados levantamento de dados realizados com os agentes locais e a descrição de aspectos ambientais, sociais, econômicos e institucionais da região disponíveis para composição de indicadores locais.

4.3.2.1 Levantamento de informações com os agentes locais

No processo de caracterização da bacia hidrográfica para aplicação experimental da ferramenta de associação entre Análise Multicriterial e Teoria dos Jogos tornou-se necessário entrevistar alguns agentes locais (proprietários/produtores rurais) para validação dos prognósticos para as situações socioeconômicas e institucionais da região e para captação da preferência dos agentes aos critérios/indicadores.

Em reunião de preparação para as atividades de campo com o agente local do Instituto Capixaba de Assistência e Extensão Rural (INCAPER) definiu-se 13 produtores rurais dispersos ao longo da bacia hidrográfica. O mapa a seguir expõe a localização dos agentes entrevistados na bacia hidrográfica.

Figura 4.4: Mapa de localização dos proprietários entrevistados na bacia hidrográfica do Córrego Sossego.



As entrevistas foram realizadas entre os dias 07 e 11 de agosto de 2017, individualmente com os proprietários rurais em suas localidades. As imagens a seguir ilustram o processo realizado.

Figura 4.5: Entrevista com proprietários rurais da BH do Córrego Sossego (1).



Figura 4.6: Entrevista com proprietários rurais da BH do Córrego Sossego (2).



O modelo do questionário preenchido ao longo da entrevista está no apêndice A. Nele buscou-se determinar conforme a opinião dos agentes aspectos importantes para uma aplicação do sistema de suporte a decisão elaborado.

A entrevista baseada na aplicação do questionário pode ser dividida em três momentos: uma seção de diagnóstico para atualização e validação dos aspectos de uso de ocupação do solo já levantados em trabalhos anteriores; a segunda parte para identificação da preferências dos agentes; e, a terceira para avaliação da tendência dos critérios em cenários prognósticos.

Inicialmente, nesta segunda seção, perguntava-se aos agentes questões como: se ele considera aspectos de demanda ou necessidade dos outros proprietários na hora de planejar a produção agrícola; o que ele faria para aumentar sua produtividade agrícola; se considera sua propriedade sustentável atualmente; e, como ele vê sua propriedade em termos de produção agrícola e sustentabilidade daqui a 10 anos.

O intuito destes questionamentos era introduzi-los a temática de planejamento e desenvolvimento regional, de forma dinâmica, utilizando o diálogo resultante de suas respostas.

Com a mesma ideia, porém buscando ampliar a observação para a bacia hidrográfica, continuava-se a entrevista com as seguintes questões: identificação dos principais problemas da bacia hidrográfica quanto à produção agrícola e quanto a sustentabilidade; verificação se já presenciou algum conflito relacionado a água; como vê o desenvolvimento da região daqui a 10 anos, enfatizando principalmente mudanças de uso e manejo do solo; e, quais mudanças varia na região se tiver o oportunidade.

Após estas questões de sensibilização, faz -se a verificação de cenários possíveis para o desenvolvimento da bacia hidrográfica, segundo o agente. Este ponto subsidiou a construção dos 3 cenários de avaliação do desenvolvimento regional.

E na sequência, é apresentada uma tabela com fatores de sustentabilidade e produtividade agrícola. É questionado aos agentes que vão dando valor/nota ou classifiquem conforme uma ordenação de preferência, para depois atribuir valores aos critérios apontados. Os agentes também poderiam identificar fatores que não estavam apontados na tabela.

Por fim, a última seção do questionário trazia uma avaliação qualitativa aos agentes quanto aos aspectos sociais, econômicos e institucionais em cenários possíveis de desenvolvimento para a região. Foi perguntado aos agentes como eles enxergavam o referido critério num cenário de desenvolvimento contínuo a realidade atual, num cenário pessimista e num cenário otimista em relação a sustentabilidade agrícola da bacia. Os indicadores avaliados eram: produtividade agrícola e renda; qualidade de vida; nível de assistência técnica e representação em associações de produtores rurais. A resposta destes fatores embasou a definição de coeficientes representativos para alguns indicadores.

Os elementos oriundos do questionário contribuirão para a composição dos dados de entrada da matriz de decisão da aplicação experimental na bacia hidrográfica do Córrego Sossego.

4.3.2.2 Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Córrego Sossego

A composição do diagnóstico da bacia hidrográfica do Córrego Sossego, inicialmente, correspondeu a um levantamento de informações disponibilizadas nos diversos estudos

existentes na região. Buscou-se dados que pudessem contribuir para a definição de indicadores ambientais, sociais econômicos e institucionais da localidade.

O histórico de estudos é longo, mas buscou-se dentre os mais recentes elementos que subsidiassem esta caracterização do território.

Para a determinação de um indicador de demanda hídrica para produção agrícola verificou-se que Daré (2014) calculou o volume diário de água demandado, considerando as culturas irrigadas da bacia hidrográfica do Córrego Sossego. Na tabela abaixo apresenta-se os volumes apresentados no estudo.

Tabela 4.1: Volume diário de água demandada para irrigação por segmento na Bacia Hidrográfica do Córrego Sossego. Fonte: Daré (2014).

Mês	Volume diário de água demandada por segmento (m ³)						
	Banana	Cafeicultura	Fruticultura	Olericultura	Área aberta	Outros Cultivos	Total
JAN	115927	390781	35191	69918	66381	12624	690822
FEV	118198	398436	35880	71288	67681	12871	704354
MAR	105843	356791	32130	63837	60607	11526	630734
ABR	87898	296297	26682	53013	50331	9572	523793
MAI	73562	247974	22331	44367	42122	8011	438367
JUN	65062	219320	19750	39241	37255	7085	387714
JUL	69870	235528	21210	42140	40008	7609	416366
AGO	78600	264954	23860	47405	45007	8559	468386
SET	88757	299195	26943	53532	50823	9665	528915
OUT	101452	341986	30797	61188	58092	11048	604562
NOV	104049	350742	31585	62754	59579	11331	620040
DEZ	104672	352843	31774	63130	59936	11398	623754

Para obter um indicador de demanda hídrica para a região, calculou-se a média entre os meses determinando assim 553.150 m³/dia.

Outra característica possível de ser dimensionada derivou dos estudos de Vieira (2015) que avaliou características físicas, químicas e biológicas do Córrego Bananal, importante afluente do Córrego Sossego. A qualidade da água foi aqui calculada pela proposição do IQA para o trabalho de Vieira (2015) fez duas campanhas, no período seco e chuvoso do anos de 2014.

Tabela 4.2: Análise de Índice de Qualidade da Água do Córrego Bananal. Fonte: Vieira (2015).

Ponto	Campanha	N (mg/l)	DBO (mg/l)*	Sólidos	Col.	P (mg/l)	Temp (C)	OD (mg/l)	PH	Turbidez	IQA
1	1	0.190	2.0	72	430	0.20	24.88	6	5.96	16.3	65
1	2	0.008	4.2	34.5	68	0.13	22.06	6.94	6	103	57
2	1	0.160	2.0	102	460	0.25	23.69	5.83	6.69	42.9	64
2	2	0.240	3.6	35.7	3500	0.14	21.11	7.6	6.14	114	49
3	1	0.270	2.0	128	790	0.15	23.51	7.04	6.39	30.2	66
3	2	0.210	2.0	52.6	1300	0.13	21.54	7.5	7.05	102	55
4	1	0.280	2.0	106	1700	0.26	25.17	5.45	6.55	88.1	56
4	2	0.230	2.0	58.7	1100	0.15	22.22	7.26	6.36	108	54
5	1	0.140	2.0	88	790	0.17	24.44	6.42	6.47	119	54
5	2	0.150	2.0	63.3	1300	0.13	21.63	6.3	6.7	105	53
6	1	0.220	2.0	116	1700	0.15	24.05	7.44	5.82	111	51
6	2	0.220	2.0	61	1300	0.13	21.25	6.73	6.26	77	60
7	1	0.370	2.0	106		0.21	29.43	5.07	5.8	19.3	
7	2	0.008	3.6	37.6	45	0.02	22.63	5.72	5.95	18.7	71
8	1	0.170	2.0	128		0.16	28.36	6.01	6.65	19	
8	2	0.170	3.4	39	790	0.12	22.57	6.93	6.44	72.6	65
9	1	0.170	2.0	140		0.19	29.1	4.92	6.44	89.7	
9	2	0.210	3.8	51	20	0.12	24.58	6.17	6.25	49.1	72
10	1	0.210	4.0	114		0.22	28.13	6.19	6.49	50.4	
10	2	0.180	2.0	58.91	330	0.14	23.64	5.91	6.18	104	55
11	1	0.240	2.0	140		0.32	26.7	3.50	6.42	61.1	
11	2	0.250	3.8	79.7	330	0.14	25.56	3.65	6.4	36.5	58
12	1	0.240	2.0	166		0.16	29.7	5.51	6.48	55.7	
12	2	0.200	2.0	42	330	0.12	24.24	5.72	6.51	96.7	62

* Em algumas análises o resultado obtido foi de menor que 2 mg/l, mas para fins de cálculo utilizou-se o valor 2mg/l.

Considerou-se para o cálculo a média dos resultados do IQA, excluindo-se as análises onde havia componentes faltantes. Assim obteve-se o valor médio de 59 para o curso d'água. Por falta de outros elementos para cálculo nos demais cursos d'água componentes do córrego Sossego e no próprio curso d'água principal, utilizou-se como valor representativo para o indicador de qualidade da água superficial para toda a bacia hidrográfica.

Outro estudo que forneceu elementos para caracterização da bacia hidrográfica foi Batista (2016). No processo de modelagem para determinação do potencial de perda de solo da região, com suporte da ferramenta SWAT foi possível levantar que:

Os tipos de solo da bacia hidrográfica podem caracterizar-se como indicadores de potencial agrícola natural ou de fertilidade. A tabela a seguir apresenta o tipo de solo identificado e a tolerância a perda de solo.

Tabela 4.3: Identificação dos tipos de solo da bacia hidrográfica do Córrego Sossego. Fonte: Batista (2016).

Tipo de Solo	Área (ha)	Área Percentual (%)	Tolerância a perda de solo (ton./ha.ano)
Argissolo	3953.6	66.4	6.71
Gleissolos	13.2	0.2	8.70
Neossolo	486.1	8.2	5.28
Latossolo	1197.5	20.1	10.49
Afloramento Rochoso	307.7	5.1	-
Total	5958.1	100	-

A média ponderada estabelecida dos valores da **Tabela 4.3** indica que na região existe uma tolerância média a perda de solo de 7 ton./ha.ano. Este valor pode ser interpretado como uma medida aproximada da fertilidade natural dos solos agrícolas.

Neste mesmo trabalho Batista (2016) aponta a pluviosidade média mensal da região. Para a determinação de um valor anual de precipitação somou-se os valores mensais, demonstrados na tabela a seguir.

Tabela 4.4: Pluviosidade média mensal para a bacia hidrográfica do Córrego Sossego. Fonte: Batista (2016).

Mês	Pluviosidade média mensal (mm)												
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total
	113.6	61.16	123.64	83.8	22.28	25.84	18.44	5.68	15.24	128.56	118.52	287.6	1004.36

A perda de solo é uma medida importante para avaliação dos fatores físicos que podem impactar a produção agrícola. Na **Tabela 4.5**, apresenta-se os valores calculados por Batista (2016). Para

a determinação de um indicador de perda de solo utilizou-se uma média ponderada dos pontos médios das classes, estabelecendo o valor médio de 41.8 ton./ha.ano.

Tabela 4.5: Classes de perda de solo e áreas ocupadas na bacia hidrográfica do Córrego Sossego. Fonte: Batista (2016).

Classes de perda de solo (ton./ha.ano)	Área (há)	Área Percentual (%)
< 10: nula a pequena	139.1	2.4
10 a 15: moderada	164.9	2.7
15 a 50: média	4565.6	76.6
50 a 120: média a forte	1024.7	17.2
> 120 - forte	63.8	1.1
Total	5958.1	100

Outra informação obtida para a bacia do Córrego Sossego refere-se a uma atualização do mapeamento de uso e ocupação do solo realizado por Batista (2016). A figura e a tabela a seguir expõe as classificações e valores encontrados.

Figura 4.7: Mapa de uso e ocupação da bacia hidrográfica do Córrego Sossego.



Tabela 4.6: Levantamento de usos do solo e área ocupada na bacia hidrográfica do Córrego Sossego.

Uso do solo	Área (há)	Área (%)
Café	555.3	9.3
Eucalipto	130.5	2.1
Mata Nativa	1599.6	26.8
Macega	193.2	3.2
Cultivos permanentes e temporários	244.9	4.0
Pastagem	2283.1	38.3

Uso do solo	Área (há)	Área (%)
Área edificada e afloramento rochoso	620.9	10.3
Banana	142.7	2.4
Solo exposto	139.7	2.3
Brejo	22.3	0.3
Água	23.5	0.4
Coco da Bahia	2.4	0.04
Total	5958.2	100

Da

Tabela 4.6 pode-se inferir o percentual de área agrícola da bacia hidrográfica somando os diversos usos de cultivo, estabelecendo o percentual de 17.8%.

Os valores de produtividade média das atividades agrícolas do município de Itarana-ES, onde localiza-se a região estudada foram calculados em 6600 kg/há por INCAPER (2016). O índice de Desenvolvimento Humano do município foi de 0.684 no ano de 2010 (IDHM, 2010).

Níveis de acesso a assistência técnica aos produtores rurais calculados pela fatoração do número de agentes locais para atender o município (3) pelo número de propriedades agrícolas da região (1250), fornecem um indicador de xxx. Já a representatividade das associações de produtores rurais, de modo semelhante ao anterior, também foi dimensionada pela consideração do número de associações existentes no município (13) pelo número de propriedades existentes na região (1250), estabelecendo o coeficiente de 0.010. As informações que embasaram estes cálculos foram estabelecidas pelo INCAPER (2016).

Em síntese, os elementos ambientais, econômicos, sociais e institucionais levantados para a bacia hidrográfica do Córrego Sossego estão apresentados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7: Valores diagnósticos da Bacia Hidrográfica do Córrego Sossego

Condições diagnosticadas para a bacia hidrográfica do Córrego Sossego	Diagnóstico	Unid.	Fonte
Produtividade agrícola	6600	Kg/ha	IBGE
Demanda Hídrica para produção	553150	M ³ /dia	Daré (2014)

Condições diagnosticadas para a bacia hidrográfica do Córrego Sossego	Diagnóstico	Unid.	Fonte
Qualidade da água no CD	59	-	IQA elaborado com base em Vieira (2015)
Fertilidade do solo	7	Ton./ha.ano	Batista (2014)
Potencial de perda de solo	41.18	Ton./ha.ano	Batista (2014)
Acesso à assistência técnica	0.012	Técnicos/produtor	Levantamento feito pelos autores
Área de cultivo agrícola	17.8	%	Levantamento feito pelos autores
IDH (proxy qualidade de vida)	0.684	-	IDHM (2010)
Número de associações rurais /produtores	0.01	Associações/produtor	Levantamento feito pelos autores
Índice pluviométrico	1004.36	Mm/ano	Batista (2014)

4.4 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO MODELO SSD-GC

Tendo os resultados da aplicação da ferramenta desenvolvida, passa-se a avaliação de desempenho desta sob dois processos. A avaliação comparativa com os métodos de Análise Multicriterial e avaliação de sensibilidade e robustez da ferramenta.

4.4.1 Avaliação comparativa com os métodos de Análise Multicriterial

A avaliação comparativa dos resultados obtidos na aplicação experimental realizada pela ferramenta desenvolvida e por métodos convencionais de Análise Multicriterial. Os métodos escolhidos para tal foram o ELECTRE III e o TOPSIS.

Assim como o modelo construído por este trabalho, a execução dos procedimentos dos métodos selecionados ocorreu de forma automatizada com o uso da ferramenta Excel. A descrição matemática destes métodos encontra-se na sessão 4.1.4.1.

A análise será realizada com base na utilização da ferramenta desenvolvida e dos métodos convencionais de Análise Multicriterial na aplicação experimental na bacia hidrográfica do Córrego Sossego. O intuito desta avaliação será verificar:

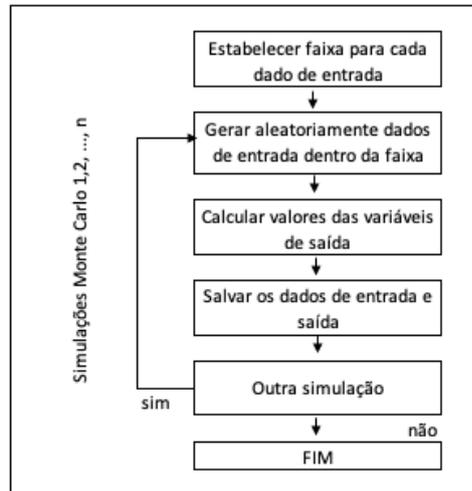
- o diferencial que a ferramenta desenvolvida pode oferecer em relação ao ordenamento comumente apresentado pelos métodos de Análise Multicriterial.
- a variabilidade de resultados que os métodos de Análise Multicriterial possuem entre eles, inclusive no ordenamento. Fato este apontado desde a definição do problema de pesquisa.
- a variação de preferência entre os agentes demonstrada pela consideração individual dos pesos dos agentes. Aqui poder-se-á verificar se pelos métodos TOPSIS e ELECTRE III se há ocorrência de diferentes ordenamentos resultantes entre os agentes, e com isso a possível descaracterização que os métodos possibilitam com a adoção de agrupamentos estatísticos, como médias.

4.4.2 Aplicação do Método de Monte Carlo para Avaliação de Incerteza e Sensibilidade do Ferramenta desenvolvida

A análise de sensibilidade global baseia-se na incerteza sobre a saída dos dados levando em consideração variação de valores e parâmetros de entrada do modelo. Em um cenário de incerteza, os dados de entrada são avaliados e cada parâmetro é analisado em diferentes princípios. O processo, em geral, é repetido a um nível aceitável até que o intervalo de incerteza de saída seja alcançado.

A aplicação do método de Monte Carlo consistiu na inserção de dados artificialmente gerados empregando-se um gerador de número aleatório e uma distribuição de frequência da variável de interesse. Esta técnica numérica é utilizada para conduzir experimentos computacionais envolvendo um modelo matemático que descreve o comportamento de um sistema, através dela é possível examinar efeitos de uma mudança no funcionamento do sistema por alterações no modelo (von Sperling, 2007). O processo está apresentado na Figura 4.8.

Figura 4.8: Fluxograma de aplicação do método de Monte Carlo para análise de incerteza. Fonte: Von Sperling (2007).



Neste trabalho foram realizadas 500 simulações, divididas em 10 interações. Cada interação tem determinado uma faixa de variabilidade diferente dos dados de entrada. O Quadro 4.2 apresenta as bases utilizadas para realizar o método de Monte Carlo.

Quadro 4.2: Descrição das determinações para as simulações de Monte Carlo

Identificação	Descrição geral	Matriz de decisão	Peso dos agentes	Coefficientes do ELECTRE III
Interação 1	Sossego I	Faixa de variação considerando como média os dados de indicadores do Sossego	Variação aleatória de 0 a 10 para cada indicador de cada agente.	P (0.3); Q (0.1); V 0; LA (0.5); LB (0.3)
Interação 2	Aleatório I	Variação aleatória de 0 a 100 para cada indicador e cada cenário	Variação aleatória de 0 a 10 para cada indicador de cada agente.	P (0.3); Q (0.1); V 0; LA (0.5); LB (0.3)
Interação 3	Sossego II	Faixa de variação considerando como média os dados de indicadores do Sossego, mas ampliando a possibilidade de variação	Variação aleatória de 0 a 10 para cada indicador de cada agente.	P (0.15-0.4); Q (0.05-0.15); V 0; LA (0.5); LB (0.3)
Interação 4	BH hipotética I	Faixa de variação com bacia hidrográfica hipotética	Variação aleatória de 0 a 10 para cada indicador de cada agente.	P (0.15-0.4); Q (0.05-0.15); V 0; LA (0.5); LB (0.3)

Identificação	Descrição geral	Matriz de decisão	Peso dos agentes	Coefficientes do ELECTRE III
Interação 5	Aleatório II	Varição aleatória de 0 a 100 para cada indicador e cada cenário, com ordenação entre os cenários	Varição aleatória de 0 a 10 para cada indicador de cada agente.	P (0.15-0.3); Q (0.05-0.15); V 0; LA (0.4-0.6); LB (0.2-0.4)
Interação 6	Sossego Fixo	Valores fixos utilizados na simulação da bacia hidrográfica do Sossego	Varição aleatória de 0 a 10 para cada indicador de cada agente.	P (0.15-0.3); Q (0.05-0.15); V 0; LA (0.4-0.6); LB (0.2-0.4)
Interação 7	Sossego III – agentes fixo	Faixa de variação considerando como média os dados de indicadores do Sossego, mas ampliando a possibilidade de variação	Valores constantes conforme distribuição utilizada no Sossego	P (0.15-0.3); Q (0.05-0.15); V 0; LA (0.4-0.6); LB (0.2-0.4)
Interação 8	BH hipotética I	Faixa de variação com bacia hidrográfica hipotética	Varição aleatória de 0 a 10 para cada indicador de cada agente.	P (0.15-0.3); Q (0.05-0.15); V 0; LA (0.4-0.6); LB (0.2-0.4)
Interação 9	Aleatório III	Varição aleatória de 0 a 100 para cada indicador e cada cenário.	Varição aleatória de 0 a 10 para cada indicador de cada agente.	P (0.15-0.3); Q (0.05-0.15); V 0; LA (0.4-0.6); LB (0.2-0.4)
Interação 10	Aleatório IV	Varição aleatória de 0 a 100 para cada indicador e cada cenário, com ordenação entre os cenários.	Varição aleatória de 0 a 10 para cada indicador de cada agente.	P (0.15-0.3); Q (0.05-0.15); V 0; LA (0.4-0.6); LB (0.2-0.4)

Nestas interações estabelecidas, sequencialmente, foram realizados procedimentos de cálculo de estatística descritiva, testes de normalidade e a obtenção dos coeficientes de incerteza e sensibilidade. Para tanto utilizou-se as ferramentas Excel e o software estatístico SPSS.

Com relação à análise descritiva, foram obtidas as medidas de descrição de média e desvio padrão. A análise descritiva se faz importante no estudo, pois, a partir de tal análise, podemos ter uma descrição inicial do comportamento dos dados analisados em cada interação.

Em sequência, realizou-se testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e de Anderson-Darling. Com base nos dados desses testes é que os cálculos com relação às incertezas poderão ser definidos. Usou-se na execução destes testes estatísticos o padrão de nível de 5% de significância (o mesmo que 95% de confiança).

Com os resultados do teste de normalidade, realizou-se os cálculos de incerteza da ferramenta. Avaliou-se a incerteza padrão tipo A, a incerteza combinada e a expandida.

A incerteza padrão do tipo A é expressa como uma espécie de desvio dos valores observados, de modo que esse tipo de incerteza é calculado da seguinte maneira:

$$u_i = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}},$$

Onde:

$s(x_i)$ é o desvio padrão dos dados inerentes a fonte de incerteza x_i ;

n é o tamanho da amostra (quantidade de medições).

Para cada interação ter-se-á um valor de incerteza padrão do tipo A, entretanto, com o objetivo de medir a incerteza intrínseca a ferramenta como um todo realizou-se o cálculo da incerteza combinada. A formulação para esta determinação foi:

$$u_c = \sqrt{c_1 * u_1^2 + c_2 * u_2^2 + \dots + c_n * u_n^2},$$

Onde:

$c_i, i = 1, 2, \dots, n$, são coeficientes associados à cada interação.

A incerteza expandida é calcula com base na incerteza combinada, diferenciando-se que esta segunda incerteza demonstra-se mais usual para determinação de intervalos de confiança para os valores médios obtidos. A incerteza expandida é dada por:

$$u = k * u_c,$$

Onde:

k é um valor definido com base na probabilidade de abrangência, em que, geralmente, se utiliza $k = 2$ para garantir aproximadamente 95% de abrangência.

Por fim, determinou-se o coeficiente de sensibilidade da ferramenta, que consiste na variação da incerteza padrão obtida com a mudança nos valores dos parâmetros, de modo que o mesmo foi obtido via regressão.

A sensibilidade é a capacidade do método em distinguir, com determinado nível de confiança, concentrações. Sob o ponto de vista prático, a sensibilidade foi constituída pelo coeficiente angular da reta de regressão expresso como:

$$S = dy/dx$$

Em métodos sensíveis, uma pequena diferença na concentração causa grande variação no valor do sinal analítico medido. Esse critério expressa a capacidade do procedimento analítico gerar variação no valor da propriedade monitorada ou medida, causada por pequeno incremento na concentração ou quantidade do analisada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos conceitos, caracterizações e detalhamentos evidenciados na Revisão Bibliográfica e os caminhos estabelecidos pela Metodologia, este capítulo tem por intenção apresentar os resultados dos processos de delimitação, desenvolvimento e desempenho de uma ferramenta de suporte a decisão e análise de conflitos com base na associação da Teoria dos Jogos e Análise Multicriterial. O relacionamento entre as sessões deste capítulo segue o ordenamento dos objetivos específicos.

A parte inicial, referente ao primeiro objetivo específico, propõe-se a avaliar as características necessárias para que as metodologias de suporte à decisão de Análise Multicriterial e Teoria dos Jogos possam ser aplicadas à problemas de Intensificação Sustentável em Pequenas Bacias Hidrográficas. Para tanto, determinou-se o escopo conceitual da Intensificação Sustentável, e como esta pode ser utilizada na abrangência espacial de Bacia Hidrográfica. Em seguida, foram definidas categorias mínimas necessárias para avaliação deste procedimento por indicadores e analisadas as características metodológicas e ferramentais da Teoria dos Jogos e da Análise Multicriterial.

O segundo objetivo específico, sequencial, consiste no desenvolvimento da ferramenta associada entre a Teoria dos Jogos e a Análise Multicriterial, denominada SSD-GC (Sistema de Suporte à Decisão para Análise de Conflitos). A concepção e a aplicação experimental são orientadas ao problema de pesquisa, que é a avaliação da Intensificação Sustentável em pequenas bacias hidrográficas.

Por fim, analisar-se-á o desempenho da ferramenta SSD-GC por meio de comparação aos resultados obtidos pela aplicação exclusiva dos métodos de Análise Multicriterial selecionados e, pela avaliação estatística da incerteza e sensibilidade da ferramenta.

A Figura 5.1 apresenta as relações entre as sessões do presente capítulo através de um fluxograma.

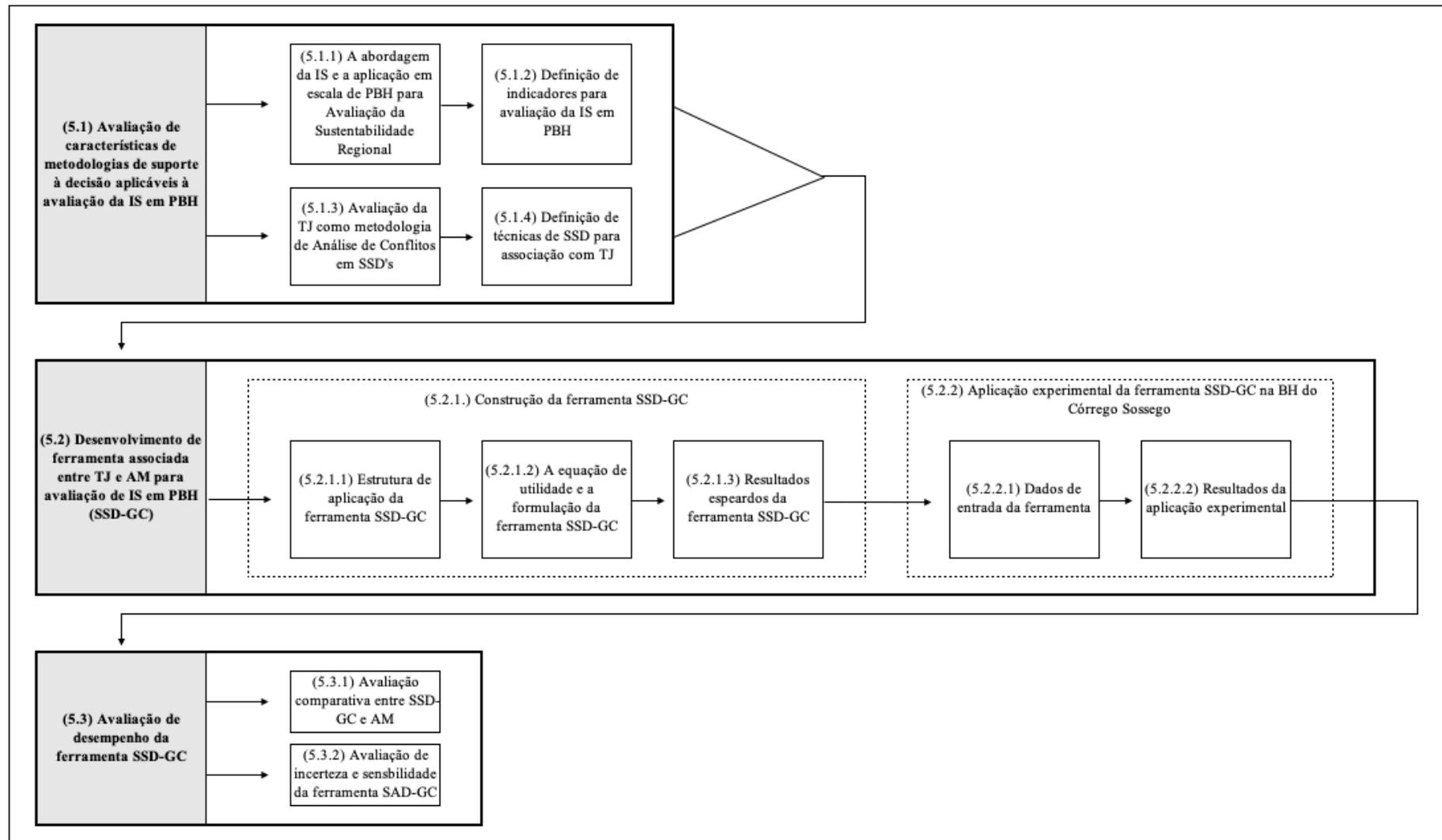


Figura 5.1: Fluxograma de relacionamento dos resultados.

5.1 AVALIAR CARACTERÍSTICAS DAS METODOLOGIAS DE SUPORTE À DECISÃO DA TEORIA DOS JOGOS E ANÁLISE MULTICRITERIAL APLICÁVEIS À AVALIAÇÃO DA INTENSIFICAÇÃO SUSTENTÁVEL EM PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS.

Os primeiros resultados oriundos deste trabalho são aqueles que visaram delimitar a temática da pesquisa, estabelecer indicadores para sua avaliação e analisar ferramentas disponíveis de auxílio à tomada de decisão de Teoria dos Jogos e Análise Multicriterial. Tudo isso com intuito de verificar os elementos essenciais para composição de uma ferramenta de suporte à decisão especialmente aplicável em demandas de análise de conflitos entre os agentes para avaliação da Intensificação Sustentável em Pequenas Bacias Hidrográficas.

Cabe destacar, que inicialmente esta sessão aborda os aspectos de delineamento de escopo da Intensificação Sustentável, pois o conhecimento das características da temática definidas como relevantes e os indicadores selecionados para a avaliação do processo constituem os elementos base para a análise das metodologias de suporte a decisão. Por exemplo, serão levantadas questões acerca de nível de participação dos agentes, utilização de informações quantitativas e qualitativas, estes aspectos então farão parte da análise dos métodos e ferramentas disponível de Teoria dos Jogos e Análise Multicriterial.

5.1.1 A Abordagem da Intensificação Sustentável e a Aplicação em Escala de Bacia Hidrográfica para Avaliação de Sustentabilidade Regional

Em todo estudo é importante delimitar o escopo de abrangência e consonância entre os conceitos. Neste, em especial, devido a questionamentos relacionados à amplitude da utilização do termo Intensificação Sustentável faz-se necessária uma discussão e delineamento das pesquisas realizadas, e também, a avaliação sobre a utilização na escala de pequenas bacias hidrográficas.

A Intensificação Sustentável é um dos conceitos originados nas últimas décadas com o objetivo de orientar o desenvolvimento agrícola, sendo considerado por Mahon et al. (2017) como o

terceiro paradigma desta temática, subsequente a Revolução Verde . Esta descrição aloca ao termo posição central dentro do espectro das metodologias de agricultura sustentável. Cabe destacar, que a Intensificação Sustentável engloba também aspectos da produção animal sustentável, mas como o intuito da pesquisa centra-se em questões ambientais de água e solo, limitou-se a análise a estes aspectos e denominou-se Intensificação Agrícola Sustentável.

No período da construção da temática, na década de 90, voltada à realidade da África subsaariana, tinha como intuito uma contraposição aos métodos usuais de agricultura, evidenciando que a sustentabilidade era encontrada pelo entendimento das características intrínsecas a região e, na subsequente, articulação e diversificação de usos e manejos sob a ocupação do território, de modo a minimizar a necessidade de insumos externos e potencializar as relações de proximidade com fornecedores e mercados consumidores. Tudo isso buscando promover uma conjunção equilibrada entre as demandas de produção agropecuárias e a preservação ambiental.

Neste contexto, sua proposta baseia-se em três princípios: (i) o incremento da produção agrícola por unidade de terra, trabalho ou capital utilizado, (ii) preservação de serviços ecossistêmicos importantes, incluindo aqueles governados por solos saudáveis, e; (iii) capacidade de resiliência a choques e tensões, incluindo mudanças climáticas. Construído sobre o paradigma de igualdade e ênfase na flexibilidade de práticas, em vista da necessidade de adaptação das abordagens para o contexto local, conforme Vanlauwe et al. (2014).

A identificação com os princípios norteadores, a preocupação com o incremento substancial da demanda para atender o aumento populacional global previsto até o ano de 2050 e a evidente popularização e relevância institucional de se considerar sustentável contribuíram para que um grande número de pesquisas e aplicações se identificassem como Intensificação Sustentável, a partir dos anos 2010. Toda essa ampla identificação com a temática levantou discussões e ceticismo sobre a falta de consenso em algumas questões. Estas indagações, segundo Mahon et al. (2017) referem-se a não existência de um conceito universalmente aceito e a definição de atributos e indicadores característicos.

Na caracterização do termo Intensificação Sustentável, em capítulo apropriado, apresentou-se a mais aceita conceituação, que é a sintetizada pela Royal British Society em 2009: fomentar o incremento da produtividade agrícola sem expansão da área, reduzindo os impactos ambientais negativos e ao mesmo tempo aumentando as contribuições de capital natural e fluxo de serviços ambientais. Os debates sobre este ponto não inferem sobre o conteúdo descrito, mas ao enfoque

em partes específicas do significado da temática, ao invés de uma abordagem sistêmica e completa. Ou seja, aproveitam-se de parte da definição que convêm a cada estudo, pesquisa ou aplicação, e não abordam o escopo completo da proposição.

Cook et al. (2015) afirma que as aplicações aproveitam-se do grande diferencial da Intensificação Sustentável que é a ênfase de flexibilidade de práticas, em vista da necessidade de adaptação das abordagens ao contexto local. Ou seja, o conceito não se articula a uma visão particular de produção agrícola, não pré-determina tecnologias, espécies ou componentes ao sistema. E questões também relevantes e presentes no momento de construção do termo são negligenciadas, como: as aspirações de rompimento com o modelo atual de produção; o alcance de resiliência e sustentabilidade na agricultura, com foco em pequenos produtores; o desenvolvimento econômico aliado à justiça social e à integridade ambiental; e a abordagem participativa considerando especificidades locais.

Por fim, críticas feitas por Garnett e Godfray (2012), Bourgeois (2013), Pretty e Bharucha (2014), Cook et al. (2015) e Godfray (2015) mencionam a descaracterização do propósito da Intensificação Sustentável, com base nas seguintes evidências:

- A abordagem da intensificação tem se sobreposto a sustentabilidade, o que significa que tem-se favorecido a promoção de uma agricultura de alta entrada de insumos e investimentos tecnológicos, com foco na produtividade.
- A sustentabilidade tem sido definida de forma demasiadamente restritiva, em termos de eficiência dos recursos, e negligenciado elementos sociais e econômicos, como a justiça social, equidade, subsistência e viabilidade econômica.
- Também, a abstenção da perspectiva de sistema alimentar na literatura de Intensificação Sustentável. Atualmente, visualiza-se foco sobre as questões de produtividade agrícola, enquanto a segurança alimentar, que demanda de uma abordagem holística sob o sistema de agricultura e pecuária, é secundarizada, com a justificativa de dificuldade de tratativas multidimensionais.

O Quadro a seguir sintetiza, comparativamente, a natureza da Intensificação Sustentável em sua aspiração original e na forma como muitas aplicações a utilizam.

Quadro 5.1: Características originais do termo Intensificação Sustentável e as adaptações verificadas nas aplicações atuais.

Características	Aspiração Original	Aplicação Atual
Objetivo principal	Resiliência e sustentabilidade (i)	Intensificação e produtividade
Termo característico	Racionalidade (ii)	Otimização
Abrangência da sustentabilidade	Levar ao desenvolvimento econômico, justiça social e à integridade ambiental (iii)	Conectada aos recursos naturais e ao meio ambiente
Modelo de aplicação	Ruptura com o modelo convencional (iv)	Mudanças incrementais no modelo convencional
Participação	Aplicação local, personalizada (v)	Modelo geral global, replicado nas localidades
Base de conhecimento	Reconhecimento e integração entre os diferentes formas de saberes (tácito,, técnico e científico) (vi)	Conhecimento científico
Modo de produção	Produz diferente (vii)	Produz mais com menos
Escopo	Reconciliação para desenvolvimento sustentável (viii)	Considera a relação entre meio ambiente e a produção
Avaliação	Indicadores multidimensionais e multicriteriais, considerando os efeitos de longo-prazo (ix)	Indicadores facilmente mensuráveis quantitativamente e com impacto a curto prazo
Operadores	Conduzida pelos valores sociais e agentes locais (x)	Conduzida por economistas e agrônomos
Estudos identificados de aplicação	(Pretty, 1997)	Omer et al. (xxxx), Russel et al., 2009; (Balbino Junior et al., 2009);

Fonte: adaptado de Cook et al (2013) e ampliado.

Como pode ser visto no quadro acima, o enfoque dado atualmente à Intensificação Sustentável privilegia a intensificação e produtividade em detrimento de outros aspectos. Além disso, na abordagem atual o entendimento do termo “sustentável” é limitado a questões ambientais, de forma que os aspectos sociais, políticos e institucionais necessários à efetiva sustentabilidade da atividade agrícola são considerados superficialmente, destoando dos princípios e aspirações

pilares do conceito. Evidências podem ser observadas na colocação realizada por Cook et al (2013).

Em contraposição, a concepção original que tinha por objetivo alcançar a resiliência e a sustentabilidade da agricultura por meio de uma abordagem multifuncional, holística e intrinsecamente relacionada com os princípios do desenvolvimento regional sustentável. Além de adotar uma abordagem participativa com a consideração das características locais.

Com todos estes questionamentos, poder-se-ia até questionar a validade do conceito, entretanto, em consonância com os principais autores, coloca-se a necessidade de repactuação do tema, com a volta da abordagem às origens. Este rearranjo interfere diretamente sobre a abordagem estruturada para este trabalho, de modo que, sincroniza à mesma ideologia.

A reciprocidade encontra-se na perspectiva da sustentabilidade na agricultura consistir em continuidade ao longo do tempo, de modo equilibrado e integrado com o ambiente. É válido, assim, que o conceito não seja rígido, pois exalta as múltiplas possibilidades que se aderem a aplicabilidade almejada, demarcando como objetivo final a construção de um desenvolvimento para o local de análise.

Ao optar por abordar o conceito de Intensificação Sustentável considerando as aspirações nas quais foi concebido, reconhece-se a multifuncionalidade da agricultura, que vai além de produzir alimento e perpassa por questões culturais e econômicas. Esta abordagem visa equiparar questões de desenvolvimento econômico, justiça social e integridade ambiental e sobrepujar a intensificação da produção à sustentabilidade da agricultura.

Outras características relevantes são: considerar a sustentabilidade por meio da sua multidimensionalidade, enfatizando os aspectos sociais, ambientais, econômicos, institucionais, dentre outros; e, possibilitar a abordagem sob diferentes níveis espaciais, que vão da área agricultável de uma propriedade agrícola até a esfera global (Mahon et al., 2017).

Como características da sustentabilidade, Cook et al. (2015) determina que a Intensificação Sustentável deve ter as seguintes características na dimensão ambiental: persistência, resiliência, autarquia (capacidade de entregar resultados dentro dos limites do sistema) e benevolência (característica de produzir resultados desejados, sustentando o funcionamento dos serviços ecossistêmicos, sem causar esgotamento do capital natural). Para tanto, ações para o alcance a essas características corresponderiam a:

- integrar processos biológicos e ecológicos, tais como a ciclagem de nutrientes, fixação de nitrogênio no solo e a regeneração, competição, predação e parasitismo em processos de produção alimentar;
- minimizar o uso de entradas não-renováveis que podem causar danos ao meio ambiente ou para a saúde dos agricultores e consumidores;
- fazer uso produtivo do conhecimento e habilidades dos agricultores, melhorando assim a sua autossuficiência e substituindo o capital humano pelas entradas externas;
- fazer uso produtivo do coletivo das pessoas e capacidades de trabalhar em conjunto para resolver problemas agrícolas e de recursos naturais comuns, como pragas, divisas de água, irrigação, floresta, etc.

Observando estas situações em uma comparação de abrangência de aplicação, ressalta-se naturalmente a interconexão entre estas qualidades e a escala de aplicação regional para Intensificação Sustentável. Isso, apesar de poder ser utilizado em variadas amplitudes e abrangências, situa a unidade regional como a mais aderente ao escopo do tema porque possibilita a conexão entre ambiente e sociedade, premissa para promoção do desenvolvimento sustentável, conforme mostrado no quadro 5.01.

Analisando comparativamente, no caso de seleção de unidade de área agricultável ou propriedade rural há possibilidade da atuação (alteração do modelo atual) do agente ser limitada. Principalmente, numa abordagem voltada a pequenos produtores agrícolas, como originalmente a temática foi concebida, é correto associar que estes agentes possuem pouca maleabilidade e, conseqüentemente, efetividade de resultado numa mudança de atuação. Mudanças pontuais podem ter impacto relevante, mas serão limitados ou menores do que os ganhos de escala e externalidades obtidos numa consideração de nível regional.

Por outro lado, ao se avaliar considerando uma escala ampla, como os níveis ecossistêmicos, nacional e global, procedimentos como generalizações e agregações de informações, possivelmente, terão de ser realizados, o que pode descaracterizar ou desconsiderar aspectos relevantes à Intensificação Sustentável. Mas o contrário – santa maria

Na observação dos estudos de caso aplicados da temática poucos são aqueles que abordam a escala regional. Em geral, baseiam-se numa análise local.

Dentro da escala regional, merece destaque a unidade de bacias hidrográficas, em especial, aquelas com área inferior a 100km², consideradas pequenas bacias hidrográficas. Esta unidade possibilita a integração entre os usos e manejos do solo e a organização comunitária, permitindo o planejamento e ações de gestão territorial para proporcionar desenvolvimento à região.

A água, como insumo limitante do desenvolvimento, tem papel de destaque nesta dinâmica de gestão territorial. Por ser um recurso compartilhado nesta unidade (seja superficialmente ou de origem subterrânea), a água demanda medidas de planejamento para alocação eficiente.

Esta distribuição, seguindo as premissas determinadas para a Intensificação Sustentável, deve ser realizada de forma a proporcionar integração entre as demandas de produção agrícola e preservação ambiental. Neste ponto, torna-se observável as vantagens e desvantagens desta escala.

As vantagens associam-se há possibilidade de beneficiamento com externalidades positivas e ganho de escala da produção e da preservação ambiental, quando o planejamento e ações ocorrem coletivamente entre os agentes da região e integradamente entre ambientes. Ou seja, ao atuar conjuntamente os resultados obtidos (em produção e preservação) tendem a ser maiores do que quando há ações individualizadas.

Por exemplo, o planejamento integrado regional para Intensificação Sustentável pode proporcionar a associação das áreas de preservação que antes seriam alocadas individualmente, para composição de uma ou algumas unidades de preservação da bacia hidrográfica designadas as áreas mais suscetíveis e que possibilitem maior efeito resultante do que os fragmentos unitários. Esta organização pode ser aplicada para a água, mas também á aspectos relacionados a potencial de erosão, controle de pragas com pesticidas, otimização do emprego de fertilizantes, etc.

Já a principal desvantagem provém da mesma razão que o benefício, por conta do *modus operandi* integrado, há necessidade de desenvolver uma organização dos agentes intervenientes da região, principalmente, os produtores rurais e os membros do sistema de gestão agrícola e ambiental. Esta associação deve se sobrepôr ao exercício de direito de propriedade individual, pois o planejamento, ação e divisão dos resultados provenientes da bacia hidrográfica serão determinados coletivamente, pois haverá uma re-designação dos usos e manejos do solo na busca por um desenvolvimento regional sustentável.

Esta desvantagem pode ser superada através do emprego de técnicas de suporte a tomada de decisão para situações multicriteriais e coletivas que organizem e demonstrem aos agentes o potencial de melhores retornos produtivos e de conservação em aplicações de Intensificação Sustentável em nível de pequenas bacias hidrográficas.

Para tanto, uma etapa anterior as metodologias de suporte a decisão, consiste na seleção dos indicadores que comporão as avaliações. Estes indicadores serão avaliados na próxima sessão, tendo como base as premissas conceituais e de unidade de aplicação aqui estabelecidas. Em síntese, são:

- Preconizar o incremento da produção agrícola por unidade de terra, trabalho ou capital utilizado. Essa questão relaciona-se diretamente ao conceito da temática e tem sua relevância no uso adequado de terra, insumos e trabalho para que se possa produzir, garantindo qualidade de vida aos produtores.
- Promoção da preservação ambiental e dos serviços ambientais. Aqui, mais do que o foco na preservação ambiental encontra-se a referência de que o meio ambiente é garantidor de serviços que contribuem para bem-estar humano, e portanto, há relação intrínseca entre o que é conservado com o que pode-se ter derivado em retorno.
- Ter por base o paradigma de igualdade entre aspectos da intensificação e sustentabilidade e ênfase na flexibilidade de práticas, em vista da necessidade de adaptação das abordagens para o contexto local. Estas questões vêm da repactuação da temática com sua conspiração original, e relaciona-se a
- Desenvolvimento sustentável, considerando as questões ambientais, sociais, econômicas, institucionais, e tendo por foco padrões racionalidade e ruptura com modelo convencional de produção
- Capacidade de resiliência a choques e tensões externos, (desde variação climática, a aspectos comerciais) em todos os aspectos do desenvolvimento sustentável incluindo mudanças climáticas.
- Valorizar a abrangência regional pelos ganhos de escala possibilitados.
- Envolver os agentes locais na tomada de decisão pois a decisão deve ser coletivamente aceita.
- Destacar uma avaliação de composição multidimensional, com base em distintas características sociais, econômicas, institucionais e ambientais, que consigam capturar as particularidades locais e as mudanças almejadas.

5.1.2 Definição de Indicadores de Água e Solo para Avaliação da Intensificação Agrícola Sustentável

Tendo definido o escopo, passou-se a seleção de indicadores que serão a base para avaliação da Intensificação Agrícola Sustentável em pequenas bacias hidrográficas. Os critérios para seleção dos indicadores provêm das características estabelecidas para a Intensificação Sustentável resultantes da sessão anterior e atributos identificados em indicadores de sustentabilidade levantados em bibliografias.

Baseando-se nestes critérios, que estão detalhados no capítulo de metodologia, foram observados uma centena de indicadores utilizados em inúmeros estudos de avaliação de sustentabilidade que poderiam se enquadrar para avaliar temática. Buscou-se, então, categorizá-los visando agrupar métricas semelhantes, evitar duplicidade e determinar elementos que identificassem uma raiz/origem comum entre os indicadores, e assim, estabelecer um número mínimo de elementos necessários para se avaliar a IS em PBH.

A importância de se ter esta composição mínima é verificada na realidade das pequenas bacias hidrográficas retratada em diversos estudos de mensuração de sustentabilidade, que é a escassez de disponibilidade de informações no formato e escala necessários aos indicadores selecionados. A intenção desta definição mínima é direcionar aos aspectos primordiais da análise da Intensificação Sustentável em pequenas bacias hidrográficas, obtidos sob diferentes formas, seguindo a disponibilidade e características locais, mas que representem no conjunto menção a tal aspecto.

Não se trata de restringir a avaliação, mas sim de orientar e estabelecer características mínimas que na avaliação desta temática deve-se seguir. Estas características poderão ser obtidas sob a forma de indicadores já identificados na literatura e que melhor se adequem a disponibilidade de informações locais, ou poderão ser construídos de forma quantitativa ou qualitativa com os dados que os agentes dispuserem.

É relevante destacar que apenas orienta-se a uma composição característica mínima destes indicadores, mas este fator não é limitante, pois há de se considerar as especificidades locais e os objetivos da avaliação da Intensificação Sustentável, e estas questões podem demandar a inserção de outros indicadores. Assim, com os indicadores mínimos poder-se-á comparar diferentes iniciativas de Intensificação Sustentável e os resultados oriundos das mesmas, com

a ressalva de que cada aplicação é única e tem por base suas características regionais, a análise comparada pode fornecer respostas e sugerir revisões, incrementos e aperfeiçoamentos das iniciativas.

A seleção dentre as opções de indicadores de cada categoria mínima deve seguir como princípio a disponibilidade de informações, o objetivo da avaliação da Intensificação Sustentável e a simplicidade. Pode-se também julgar como incompleta a avaliação da categoria por apenas um dos indicadores selecionados, e com isso, deve-se considerar a utilização associada de mais indicadores.

A ideia é que essa é a composição mínima de uma avaliação inicial e que com o passar do tempo poder-se-á agregar mais elementos para maior robustez das análises realizadas.

Ademais, dividiu-se os indicadores identificados em principais e secundários, onde respectivamente, enquadram-se aqueles com capacidade de satisfazer minimamente a categoria em análise, e os que individualmente expressam parcela do aspecto desejado. Entretanto, não havendo outros componentes mais adequados, utiliza-se os indicadores secundários, em unidade ou composição que gere complementação.

Mantendo o delineamento de 3 dimensões (ambiental, socioeconômico e institucional) e a restrição desta pesquisa à aspectos aderentes à indicadores de água e solo, a composição mínima de indicadores para avaliar a IS em PBH está sintetizada no quadro a seguir.

Quadro 5.2: Determinação de categorias mínimas para avaliação a Intensificação Sustentável em pequenas bacias hidrográficas.

Dimensão	Categorias mínimas	Descrição e Relevância	Indicadores que expressam este aspecto*
Ambiental	Qualidade da água	Expressão característica do conjunto de aspectos físicos, químicos e ambientais da água que representam uma avaliação sobre a qualidade da água. A relevância desta categoria encontra-se na limitação que pode impor a usos da água e, conseqüentemente, no desenvolvimento local	<p>Principais: Índices de qualidade de água (IQA ou DBO);</p> <p>Complementares: Existência de tratamento de efluentes; Tratamento de água para consumo humano.</p>
	Demanda hídrica	A verificação da demanda hídrica para as diversos usos realizados, como abastecimento humano, dessedentação animal e irrigação. Sua importância é destacada pela aderência	<p>Principais: Demanda hídrica para irrigação;</p> <p>Complementares: Uso de água por produtividade; Método de irrigação racional;</p>
	Disponibilidade hídrica	Expressa métricas relacionadas a quantidade de água disponível para realização dos usos. Pode ser vazão, chuva Aqui é avaliada a quantidade de água disponível para os diversos usos.	<p>Principais: Disponibilidade hídrica superficial; Disponibilidade hídrica subterrânea;</p> <p>Complementares: Distribuição da precipitação; Disponibilidade de infraestrutura de reservaçã hídrica</p>
	Fertilidade do solo	Relaciona-se as propriedades químicas e biológicas do solo que demonstrem a quantidade de insumos demandada para produção agrícola, em geral. Como nível de acidez e ph do solo, teor de matéria orgânica	<p>Principais: Fertilidade do solo (componentes químicos e biológicos); Aptidão agrícola dos solos; Grau do uso de fertilizantes; Grau de uso de agrotóxicos; Grau de adoção de práticas conservacionistas;</p> <p>Complementares: Drenagem do solo; Caracterização do solo; Grau de dependência externa de insumos.</p>
	Perda de solo	Relaciona-se as propriedades físicas do solo que demonstrem o potencial de perda de solo, e conseqüentemente, seu impacto sobre	<p>Principal: Potencial de perda de solo;</p> <p>Complementares: Vulnerabilidade natural dos solos à erosão; Tipo de solo; Grau de conservação das estradas vicinais.</p>

	Uso e ocupação do solo	Medidas que buscam representar a diversidade de uso e ocupação do território.	<p>Principais: Diversidade de uso e ocupação do solo; percentual de áreas agrícolas; percentual de cobertura florestal.</p> <p>Complementares:</p> <p>Evolução do desmatamento; Grau de preservação de APPs; Grau de adoção de práticas conservacionistas de manejo do solo; Grau de adoção de práticas ecológicas no solo; Susceptibilidade a eventos extremos.</p>
Socioeconômico	Produtividade agrícola e Renda	Esta categoria visa a representatividade de ao menos um elemento do aspecto econômico. A produtividade é uma medida da produção por unidade de terra, diretamente proporcional a renda obtida.	<p>Principais: Produtividade agrícola; Renda familiar per capita; Rentabilidade da produção; Riqueza produzida por unidade de MDO ou capital investido.</p> <p>Complementares: Crédito rural e nível de endividamento; Diversidade da produção agrícola; Gastos com insumos e tecnologia na produção; Número de propriedades envolvidas; Presença de agroindústria; Risco de perda de produção; Existência de fonte alternativa de renda não agrícola; Grau de produção de alimento para consumo familiar; Tecnificação agrícola; Tipos de mão-de-obra e jornada de trabalho; Risco de perda da produção agrícola;</p>

	Qualidade de vida	Esta categoria visa a representatividade de ao menos um elemento do aspecto social. A qualidade de vida engloba aspectos de educação, saúde e expectativa de vida.	<p>Principal: Qualidade de Vida (IDH)</p> <p>Complementares:</p> <p>Cultura (acesso a lazer, esporte e cultura; existência de povos tradicionais; participação de mulheres no processo; Uso de conhecimentos locais na produção; Presença de agricultura familiar; Suscetibilidade rural; Êxodo rural);</p> <p>Educação (Nível de escolaridade; Nível de capacitação);</p> <p>Saúde (Acesso a serviços de saúde; Número de postos de saúde; Saneamento rural; Segurança alimentar)</p> <p>Moradia (Demografia rural; Reconhecimento de direito sobre a terra; Acesso a meios de comunicação; Acesso a energia elétrica; Tipo de moradia)</p>
Institucional	Políticas públicas, assistência técnica e legislação	O acesso à políticas públicas, assistência técnica e o impacto da legislação demonstram o nível de auxílio e subsídio que os agentes locais podem obter.	<p>Principais: Acesso a assistência técnica de extensão rural; Acesso benefícios sociais;</p> <p>Complementares:</p> <p>Incidência de políticas públicas; Cumprimento da legislação (florestal, ambiental, agrícola);</p>
	Representatividade das associações	A existência e a representatividade de associações, cooperativas, dentre outros expõem o nível e a capacidade de auto-organização local.	<p>Principais: Nível de afiliação e frequência dos produtores rurais em reuniões e assembleias; Número de associações de produtores rurais;</p> <p>Complementares:</p> <p>Existência de comitês de bacias hidrográficas; Existência de conflitos hídricos; Existência de cooperativas</p>

*: Todos os indicadores citados aqui, contem descrição e referências no capítulo de Revisão Bibliográfica, sessão 3.1.5.

Dentre os xx levantados, os indicadores foram categorizados dentro das 3 dimensões consideradas (ambiental, socioeconômica e institucional). Entretanto, este enquadramento em uma dimensão específica é relevante apenas para fins de organização teórica, pois na prática é possível perceber que os indicadores possuem interface em todas as áreas. Por exemplo, a produtividade agrícola está listada como um indicador socioeconômico, mas ela tem reflexos sobre as características ambientais (maior produtividade, maior desgaste de fertilidade do solo), institucionais (maior produtividade, mais organização local) e até sob sua constituição original socioeconômica (maior produtividade, maior renda resultante). Deste modo, não acredita-se que indicadores isolados ou segregados em apenas uma dimensão tenham a capacidade de expressar a sustentabilidade de qualquer sistema, ainda mais com a complexidade e a contraposição entre preservação e produção que a Intensificação Sustentável visa promover.

Assim, com base na listagem de indicadores identificados na literatura e que possuem aderência à temática analisada estudou-se o agrupamento destes e propõe-se a estruturação mínima para a composição da avaliação da Intensificação Sustentável em pequenas bacias hidrográficas.

Nos indicadores ambientais refletem-se os aspectos que proporcionaram o desenvolvimento dos usos do solo, seja para preservação ambiental, como para produção agrícola. Deste modo, o escopo mínimo apontado, em vista da especial atenção desta pesquisa nos atributos de água e solo, estabelece características relativas à qualidade da água, demanda hídrica, disponibilidade hídrica, fertilidade do solo, perda de solo e uso e ocupação do solo.

A relevância destas categorias relaciona-se a capacidade destes em sistematizar minimamente a complexidade do sistema ambiental e representar medidas de insumos e resultado da produção agrícola.

Já os indicadores socioeconômicos, minimamente, devem representar a economia ou renda local, seja através da produtividade agrícola, que remete diretamente ao objetivo da Intensificação Sustentável. Também, a qualidade de vida dos agentes, englobando questões de moradia, educação, saúde, expectativa de vida e cultura. E os representantes da dimensão institucional devem representar a capacidade de organização social e de suporte a assistência e políticas públicas.

Cabe destacar que esta listagem não tem por intuito limitar quais e quantos indicadores devem ser utilizados para avaliar a Intensificação Agrícola Sustentável. Mas sim, orientar e sugerir

indicadores para serem utilizados. A depender das especificidades locais e do objetivo de aplicação esta listagem pode aumentar, mas em número mínimo estas questões se fazem pertinentes.

Ao somar a experiência do processo de levantamento dos indicadores com os princípios necessários para análise de sustentabilidades, foi possível estabelecer diretrizes para nortear a seleção de indicadores e os processos de agregação para composição de avaliação. Ou seja, mesmo com esta pré-seleção mostrada no quadro acima, há de se considerar algumas diretrizes para inserção de outros indicadores a problemática, como: a verificação da adequabilidade a região e ao objetivo em análise; e, a análise da existência de incremento de elementos para avaliação sistemática, de forma complementar aos indicadores relacionados a categorização mínima de forma a não ter duplicidade de informações, o que poderia enviesar a avaliação.

Com base em toda essa diversidade e característica de indicadores precisar-se-á de metodologias para análise conjunta dos mesmos. A formação de índices simplificados, através de médias ou outras medidas ponderadoras não são capazes de expressar a composição de múltiplos agentes explicitada. Assim, orientou-se a Teoria dos Jogos que adiciona aspectos interessantes a análise e busca de soluções para conflitos em processos de tomada de decisão. Serão avaliadas ferramentas existentes baseadas em Teoria dos Jogos.

5.1.3 Avaliação da Teoria dos Jogos como metodologia de Análise de Conflitos em Suporte à Tomada de Decisão

Diante de problemas caracterizados como multidimensionais, multicriteriais e com múltiplos tomadores de decisão, como o aqui explanado, recorre-se usualmente a sistemas de suporte à decisão. Dentre os métodos usuais, converte-se, em última instância, o problema como de otimização, onde há um problema único de decisão com um único objetivo composto para todo o sistema, com uma função objetivo. Considera-se, também, a perfeita cooperação entre os tomadores de decisão para alcançar as soluções ideais do sistema, supondo que que esses agentes contribuam para otimizar a função objetivo sem dar prioridade aos seus próprios objetivos.

Ao trazer a Teoria dos Jogos como uma metodologia associada ao suporte à decisão, buscou-se agregar uma nova abordagem, incorporando a interação estratégica dos agentes na composição

dos resultados. Isso porque na teoria dos jogos, cada decisor joga para otimizar seu próprio objetivo, sabendo que as decisões de outros jogadores afetam seu valor objetivo e que sua decisão afeta as recompensas e decisões dos outros. Também, os resultados estáveis do jogo previstos pela teoria dos jogos não são necessariamente Ótimos de Pareto.

A teoria dos jogos fornece uma simulação mais realista do comportamento baseado em interesses das partes interessadas. A atitude de auto-otimização de jogadores e partes interessadas, representada na teoria dos jogos, muitas vezes resulta em comportamentos não-cooperativos das partes interessadas, mesmo quando o comportamento cooperativo é benéfico para todas as partes. Ademais, esta ciência pode ajudar a fornecer algumas ideias de planejamento, política e design que não estariam disponíveis em outros métodos tradicionais de sistemas de suporte à decisão.

Neste sentido, tornar-se relevante analisar como distintas características da Teoria dos Jogos podem impactar com o contexto abordado de Gestão Integrada de Recursos Hídricos, e, principalmente, a avaliação da Intensificação Sustentável em pequenas bacias hidrográficas.

As diferentes possibilidades de classificações da Teoria dos Jogos fornecem elementos estruturadores do processo de tomada de decisão. E os jogos clássicos servem de exemplificações as possibilidades de interações estratégicas entre os agentes.

Uma variedade de métodos, com raízes teóricas sobre a Teoria dos Jogos tem sido proposto para lidar com conflitos, como apresentado em capítulo anterior. Neste momento de avaliação da Teoria dos Jogos como ferramenta associada para análise de conflitos em problemas multicriteriais cabe analisar as potencialidades e desvantagens de algumas iniciativas.

O primeiro método avaliado foi o Sistema Interativo de Suporte à Negociação Assistida por Computador (Interactive Computer-Assisted Negotiation Support System - ICANS), proposto por Thiessen and Loucks (1992) e Thiessen et al. (1998). Esta ferramenta foi projetada para gestão de conflitos através da orientação dos agentes em tempo real em direção a um acordo mutuamente satisfatório.

O processo de solução do problema, inicialmente, segue as diretrizes da análise multicriterial, com critérios que compõe as alternativas. Estas, são selecionadas e agrupadas conforme a faixa de aceitabilidade estabelecida por cada um dos agentes. O método de análise multicriterial utilizado é semelhante ao MAUT, com funções representativas dos critérios. Os grupos de alternativas aceitáveis são avaliados conforme os princípios da Teoria dos Jogos, buscando

resultados de ótimo de Pareto e Equilíbrio de Nash. As possíveis respostas são levadas para uma negociação interativa entre os agentes.

A utilização de faixa de aceitabilidade é interessante de ser considerada em uma ferramenta para tomada de decisão, pois pode ser ajustada conforme o perfil dos agentes (mais ou menos flexíveis) para orientar a resultados representativos ao problema analisado.

Já análises críticas sobre esta ferramenta encontram-se nas questões de limitação de resultados estáveis avaliados e, principalmente, na forma de considerar a participação dos agentes que ocorre na determinação da faixa de aceitabilidade. Quando se aborda um tema pontual, é relativamente fácil aos agentes definir o que lhes é aceitável, entretanto, em problema complexos, compostos por critérios de características distinta, é mais difícil a estes concretizar uma opinião apenas sobre o produto final. Na proposta a ser desenvolvida, a preferência dos agentes é manifestada sobre os pesos dos critérios na composição das alternativas, assim para cada critério estes informam sua satisfação.

Outra ferramenta, o Modelo Gráfico para Resolução de Conflitos (Graph Model for Conflict Resolution - **GMCR**), proposto inicialmente por Kilgour et al., 1996; Hipel et al., 1997, possui diversos estudos de aplicação. Como informado anteriormente, na sua descrição, este modelo tem a base em Teoria dos Grafos, que torna-o mais intuitivo para os agentes, pela possibilidade de visualização gráfica dos caminhos ao resultado.

A estrutura deste modelo, a partir das informações inseridas de caracterização de jogo (jogadores e alternativas), e estados possíveis, solicita a classificação das preferências de cada agente sobre os estados sob a forma de indicação das relações entre as alternativas ou sobre o ordenamento das mesmas. Sequencialmente, pode-se extrair as respostas que consistem em estados estáveis, considerando o equilíbrio de Nash e metaracionalidades. A versão computacional atualmente existentes, o GMCR plus, é bastante interativa, de fácil manuseio. Tem a possibilidade de formar coalizões, desenho dos grafos do projeto e pós-análise.

O GMCR possui outras funções, bastante interessantes como a análise inversa dos resultados, desenho dos grafos, e a possibilidade de formação de coalisões, mas no desenvolvimento desta nova ferramenta basearemos a análise sobre o básico de constituição do método GMCR que foi descrito acima.

Inicialmente, podemos descrever uma característica do mesmo que difere do almejado por esta pesquisa, que é a necessidade da introdução das alternativas já constituídas, ou seja, não há um

método de análise multicriterial de base para construção das alternativas. Este passo é relevante em problemas complexos e multicriteriais, pois os agentes podem não ter concepção formada sobre a alternativa mas sim, sobre os diversos critérios que o compõe.

Ademais, uma outra diferença reside na base ordinal do estabelecimento de preferência dos agentes. A caracterização ordinal facilita o processo de valoração da preferência, mas quando há um grande número de alternativas os agentes podem não ter como intuitivamente estabelecer esta ordenação. Exemplo: considerando um problema de 5 agentes e 5 alternativas, o agentes terão de ordenar 243 estados possíveis. A utilidade de uma utilidade cardinal determinada quantitativamente tende a facilitar este processo de determinação das preferencias pelos agentes.

A principal vantagem deste método em relação aos demais é a possibilidade de resultados estáveis além do equilíbrio de Nash. As estados de Metaracionalidade adicionam a ferramenta a capacidade de avaliação de estados resultantes de processos de reação e contra-reação dos demais agentes, ou seja, fornece mais elementos de embasamento aos agentes decisores. Entretanto, a obtenção destes outros estados estáveis é possível da Teoria dos Grafos, sendo que sem a sua consideração a inserção destas é mais difícil.

As ferramentas propostas pelos trabalhos de **Leoneti (2012)** e **Leoneti (2016)** propõe uma associação do método de análise multicriterial TOPSIS com a Teoria dos Jogos para subsidiar seleção de estações de tratamento de efluentes, e no segundo trabalho, há uma formalização desta técnica de associação através da concepção de uma função de utilidade.

A utilização de uma equação de utilidade trás o fator quantitativo almejado para a determinação das preferência dos agentes. Esta equação visa representar o procedimento pelo qual ocorre a tomada de decisão dos agentes, ou seja, quais elementos e em que proporção são considerados pelos agentes para construir sua decisão, baseando-se na premissa de racionalidade dos agentes.

Uma vantagem observada pela utilização da função de utilidade é que em problemas de análise regional, onde observa-se uma interdependência entre os fatores e ações sobre o território, pode-se propor a quantificar a representação desta relação entre os agentes. Assim, este procedimento mostrou-se mais adequado a problemática desta pesquisa.

Por fim, cabe discutir o Modelo de Alocação Cooperativa da Água (Cooperative Water Allocation Model – **CWAM**), desenvolvido por Wang (2005) que tem o intuito de promover uma alocação hídrica eficiente numa região que faça uso de uma mesma fonte hídrica. A

eficiência pretendida vem de princípios de otimização individual dos agentes considerados e da Teoria dos Jogos.

Por dimensionar aspectos específicos da condição hídrica disponível para cada agente, associa-se um modelo de distribuição com uma análise física do ciclo hidrológico regional. Torna-se aderente a relação com a proposta de ferramenta a ser desenvolvida, pois como já estabelecido os critérios, principalmente de origem ambiental, podem ser obtidos através de modelagem hidrológica e hidrossedimentológica.

A Teoria dos Jogos é considerada neste modelo na busca de resultados de alocação que não correspondam a otimização, e sim, a estabilidade pelo equilíbrio de Nash.

Ademais, há técnicas derivadas da Teoria dos Jogos como a Teoria do Drama (Howard, 1999) e a Teoria dos Movimentos (Brams, 1994), descritas em capítulo anterior, que são elementos interessantes a se considerar em uma ferramenta de suporte à decisão, entretanto, por se tratar de uma formulação inicial da ferramenta decidiu-se seguir as características fundamentais da temática da Teoria dos Jogos.

Em síntese, a avaliação destas ferramentas evidenciou que a utilização de preceitos da Teoria dos Jogos contribuí na busca de resultados realísticos, uma vez que busca respostas estáveis ao invés de resultados de otimização. Concomitantemente, verificou-se que há pertinência no desenvolvimento de uma nova ferramenta, mesmo considerando que em todas foram encontradas características interessantes, pois a proposição aglutinará características presentes em ferramentas distintas, além de incrementá-las.

Estabeleceu-se como características para a ferramenta a ser desenvolvida, evidenciando sua aplicabilidade sobre problemas de sustentabilidade regional pela a promoção da Intensificação Sustentável em pequenas bacias hidrográficas:

- A necessidade de que a ferramenta tenha como base um processo de construção das alternativas através de análise multicriterial. Pois, a verificação da participação dos agentes na etapa de composição das alternativas, por meio da distribuição dos pesos, mostrou-se mais aderente a complexidade do problema analisado.
- A constituição das preferências por uma base cardinal para possibilitar uma avaliação quantitativa da utilidade dos agentes em cada estado resultante. Principalmente, a utilização de uma função de utilidade demonstrou uma vantagem para avaliação de problemas complexos, multidimensionais, pela representação da inter-relação entre os agentes.

Ademais, deste modo o resultado será representado por coeficientes numéricos, possibilitando, uma diversidade de cálculos e análises.

- O estabelecimento de uma faixa de aceitabilidade pelos agentes possibilitará a consideração de perfis distintos para os agentes, e assim, um processo de negociação potencialmente mais representativo da realidade.
- A busca de resultados estáveis da Teoria dos Jogos, além do Equilíbrio de Nash, apesar de identificar a dificuldade de determinar os resultados de metaracionalidade, quando o método não tem base em Teoria dos Grafos.

5.1.4 Definição de Metodologias de Análise Multicriterial para composição de metodologia de Análise de Conflitos em Suporte à Tomada de Decisão

Verificado os elementos característicos da Teoria dos Jogos, o momento perpassa a avaliação de qual ou quais métodos de Análise Multicriterial demonstram-se mais adequados para compor uma ferramenta de suporte à tomada de decisão em situação de conflito.

As principais vantagens e problemas associados a utilização de métodos de Análise Multicriterial já foram apresentados em capítulos anteriores. Neste contexto específico de análise de conflitos entre agentes na gestão territorial, as principais técnicas de Análise Multicriterial demandam precaução acerca da estratégia de agregação dos pesos utilizadas, que podem descaracterizar potenciais divergências de preferências existentes entre os agentes.

Entretanto, a capacidade destas técnicas de analisar alternativas (e classifica-las) por meio dos critérios que as compõem é alinhado com a premissa assumida por esta pesquisa de que, por vezes, a grande quantidade de fatores a serem analisados num processo de tomada de decisão incapacita o agente a estabelecer preferências diretamente sobre as alternativas, sendo relevante avaliar suas preferências acerca dos critérios componentes de cada alternativa para, assim, formar sua ordem de preferência de alternativas. Analogamente, num modelo de gestão de conflitos esta relação de preferência sobre os critérios tem o potencial de contribuir para a concepção de uma ferramenta robusta e racional de análise e resolução de conflitos.

Para ser considerada na ferramenta em construção, uma ou mais técnicas de Análise Multicriterial servirão de base na estruturação da função de utilidade, que visa quantificar os

coeficientes de satisfação dos agentes em cada estado possível. Este procedimento ocorreu em conformidade com as características identificadas em Leoneti (2012) e Leoneti (2016), que demanda as ferramentas a capacidade de

Assim, as principais metodologias de Análise Multicriterial foram avaliadas com base em sua capacidade de considerar as características intrínsecas aos indicadores listados anteriormente, e critérios relevantes a composição da ferramenta de análise de conflitos. O Quadro abaixo sistematiza a análise das principais metodologias de Análise Multicriterial conforme os critérios que representam estes elementos.

Quadro 5.3: Avaliação dos principais métodos de Análise Multicriterial.

Critérios de avaliação	Métodos de Análise Multicriterial				
	ELECTRE III	TOPSIS	AHP	CP	MAUT
Uso de dados quantitativos e qualitativos	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Tipologia de Pesos	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Fatores limitantes	Sim	Não	Não	Não	Não
Compensação entre critérios	Não	Sim	Sim	Não	Sim
Tratamento de incerteza/ Análise de Sensibilidade	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Robustez (ranqueamento reverso)	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Suporte de softwares	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Integração com ferramentas SIG	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Facilidade de uso	Baixo	Alto	Médio	Médio	Médio
Comparabilidade entre as alternativas	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Comparabilidade entre alternativas e medidas de relação a um ponto fixo (alternativa ideal)	Não	Sim	Não	Sim	Não

Os métodos de Análise Multicriterial foram selecionados com base em avaliações métricas de representatividade de estudos utilizando-os em aplicações voltadas à gestão de recursos hídricos

e territorial. Baseou-se também a escolha na variação tipológica dos métodos entre a classificação realizada por Hajkowicz e Collins (2007).

Os resultados da avaliação foram obtidos por verificação bibliográfica, materiais técnicos das ferramentas e avaliação da formulação das ferramentas.

Inicialmente, pode-se verificar no Quadro 5.3 que todos os métodos analisados responderam positivamente a possibilidade de uso de dados quantitativos e qualitativos e a tipologia de pesos. Estas características são fundamentais ao método de Análise Multicriterial a ser selecionado devido a característica dos elementos analisados no escopo dos indicadores de intensificação sustentável em bacias hidrográficas, que pode abarcar avaliações em que não dispondo de informações quantitativas, promova-se análises qualitativas, oriundas de entrevistas com os agentes. E a possibilidade de diferenciar por pesos a relevância dada aos critérios pelos agentes é determinada como base para distinguir as preferências destes, e conseqüentemente sua representação pela função de utilidade.

A possibilidade de análise de sensibilidade e incertezas também atendida por todos os métodos é relevante pois em muitas análises não há exatidão sobre os dados gerados, tendo-se como melhor resposta uma faixa de valores. A compatibilidade com ferramentas de geoprocessamento também apresentou resposta satisfatória por todos. A relevância desta questão centra-se nos indicadores, principalmente ambientais, considerados na análise que pela possibilidade de integração poderão ser obtidos através de ferramentas de modelagem hidrológicas e hidrossedimentológica e aderidos a ferramenta. Ademais, a possibilidade de integração adiciona a perspectiva de aplicação especializada das ferramentas de Análise Multicriterial.

A característica de compatibilidade entre alternativas inserida para seguir os elementos relevantes para a função de utilidade a ser criada, é uma condição fundamental dos métodos de Análise Multicriterial, e, portanto, seguida por todos os métodos analisados.

Quanto à facilidade de uso, a diferenciação decorre da complexidade matemática dos métodos. Verificando a descrição destes realizada em capítulo anterior, observa-se que os métodos da família ELECTRE demandam maior tempo para aprendizado do que o TOPSIS, que é mais intuitivo e de fácil processo de determinação. Os demais métodos situam-se numa condição intermediária.

Os aspectos de suporte de softwares para confirmação e robustez adjuntos a inserção de fatores limitantes e comparabilidade entre alternativas e medidas de relação a um ponto fixo foram os principais contribuintes à seleção dos métodos de Análise Multicriterial.

A verificação de suporte de softwares confere a possibilidade de verificação dos processos realizados para a construção da ferramenta com implementações já estabelecidas.

A considerações de fatores limitantes, característica identificada apenas no método da família ELECTRE permite inserir coeficientes de relativização e avaliação dos valores, de modo qualificar ou vetar os critérios. A inserção deste atributo a ferramenta em construção possibilitará ponderar sobre a concordância e a discordância entre as alternativas.

Em síntese, destaca-se os amplos potenciais da Análise Multicriterial no apoio a uma área emergente e heterogênea como avaliação de sustentabilidade. A seleção de um determinado método Análise Multicriterial deve basear-se em um conhecimento adequado dos fundamentos da abordagem e da avaliação a ser realizada também. Isso implica o reconhecimento de que alguns aspectos podem ser cobertos apenas por certos métodos e não por outros, de modo que a adoção da abordagem é adaptada à situação de tomada de decisão em questão e não vice-versa.

Todos os métodos de Análise Multicriterial possuem vantagens e desvantagens quando analisados comparativamente, devendo, então, a escolha ocorrer com base na temática avaliada, no objetivo almejado e na experiência e característica do agente aplicador da metodologia. Após avaliação da tabela resultante de análise, tonou-se possível afirmar que:

Os métodos da família ELECTRE, em especial o ELECTRE III, são utilizados quando é desejável quantificar a importância relativa entre os critérios. Segundo Pompermayer (2003), esta técnica é especial, pois apresenta características particulares não encontradas em nenhum outro método multicritério. Tais características influenciaram na escolha do referido método, como as citadas no quadro acima. Uma delas é a sua capacidade de incorporar as imprecisões e incertezas do processo decisório, fixando limiares de indiferença e preferência. Uma outra característica desse método em relação aos demais é a sua natureza não-compensatória, o que significa que uma má pontuação sobre um critério não pode ser compensada por uma boa pontuação sobre outro critério. Outro aspecto relevante é que ele permite a incomparabilidade entre ações quando não há uma clara preferência de uma em relação à outra.

O TOPSIS por sua vez é um método de fácil aplicação e intuitivo de explicação e possibilita a comparabilidade das alternativas em relação a um ponto fixo. Ademais, foi o método utilizado por Leoneti (2012). Já os demais métodos AHP, CP e MAUT também apresentam vantagens interessantes, entretanto, por questões de adequabilidade ao problema analisado e as características necessárias não destacaram-se.

Para o problema analisado todas as classes de Análise Multicriterial avaliadas individualmente não se mostraram satisfatórias quanto a capacidade de considerar e analisar divergência e conflitos entre a opinião/preferência dos agentes tomadores de decisão. Este ponto é muito relevante dentro de um escopo de pesquisa de abrangência territorial sob várias propriedades rurais e também para efetividade do resultado (pois falsas aglomerações estatísticas de preferencias podem não representar a realidade e podem não se concretizar).

Com base nestas considerações, evidenciou-se mais a necessidade de desenvolvimento de uma metodologia para análise de conflitos para tomada de decisão. E, para tanto, selecionou-se dois métodos interessantes de Análise Multicriterial para servir de base a formulação desta proposição, o ELECTRE III e o TOPSIS. Esta escolha justifica-se nas conclusões acima que ressaltam as potencialidades destes métodos e a aderência ao que se almeja avaliar.

Com a seleção dos métodos de Análise Multicriterial encerra-se a discussão sobre os elementos fundamentais a proposta de construção de uma ferramenta associada entre Análise Multicriterial e Teoria dos Jogos para suporte a tomada de decisão em situação de conflitos, considerando a problemática da promoção da Intensificação Sustentável em pequenas bacias hidrográficas. A próxima sessão dedicar-se-á a detalhar a efetiva construção da ferramenta.

5.2 DESENVOLVER FERRAMENTA ASSOCIADA DE ANÁLISE MULTICRITERIAL E TEORIA DOS JOGOS PARA AVALIAÇÃO DA INTENSIFICAÇÃO AGRÍCOLA SUSTENTÁVEL EM ESCALA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

Esta sessão destina-se a descrever e analisar os procedimentos de desenvolvimento da ferramenta SSD-GC (Sistema de Suporte a Decisão para Análise de Conflitos). Para tanto, as etapas consistem na construção e na aplicação experimental desta ferramenta.

5.2.1 Construção da Ferramenta de Suporte a Tomada de Decisão para Análise de Conflitos (SSD-GC)

As sessões anteriores contribuíram para a definição dos elementos norteadores e característicos da ferramenta desenvolvida. Os principais processos, que caracterizam o diferencial desta ferramenta, são: a estruturação das características relevantes, rotina de aplicação, a equação de utilidade e as análises resultantes possíveis com a ferramenta.

5.2.1.1 Concepção Conceitual e Analítica da Ferramenta

O paradigma construtivista foi a base da concepção conceitual e analítica da ferramenta associada entre Teoria dos Jogos e Análise Multicriterial para avaliação da Intensificação Sustentável em pequenas bacias hidrográficas. Esta perspectiva alinha-se com as características estabelecidas desde o escopo da temática, na sessão 5.1.1, pois evoca o envolvimento participativo dos agentes, pelo reconhecimento da necessidade de diversos saberes do processo, com foco em obter modelos estruturados em conformidade com as características intrínsecas de cada localidade.

Ainda relevante à presente proposta, o paradigma construtivista enfatiza que tanto o resultado da análise (a definição de que alternativa atende melhor as preferências dos decisores) quanto o processo de construção do modelo são fundamentais. Ou seja, a estruturação das etapas da ferramenta como o caminho ao qual deve se percorrer, é tão importante quanto os resultados encontrados pela ferramenta. E, também, desdobra-se desta questão que diferentes processos construtivos levarão a diferentes modelos e, conseqüentemente, diferentes resultados.

Incorporando procedimentos característicos dos modelos estudados e da experiência dos estudos do Projeto Sossego em tratar a construção de metodologias participativas para gestão integrada dos recursos hídricos, a estrutura concebida para avaliar a Intensificação Sustentável em pequenas bacias hidrográficas, considerando o problema de múltiplas dimensões, critérios e agentes decisores consiste em 3 momentos: a caracterização da aplicação; a modelagem do conflito, etapa computacional para sistematização dos processos estabelecidos anteriormente com base nas metodologias base; e, a análise dos resultados, que consiste no momento de validação, interpretação, proposição de negociação e resultados da ferramenta. O fluxograma com as etapas da ferramenta é apresentado a seguir.

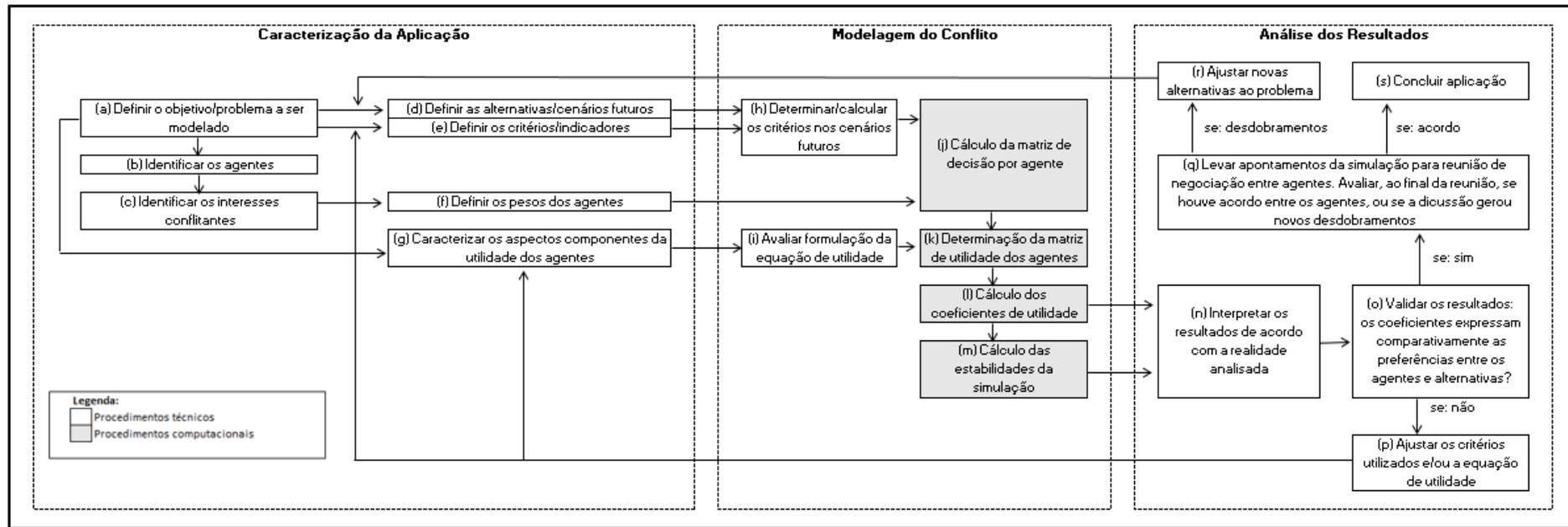


Figura 5.2: Fluxograma estrutural da ferramenta SSD-GC

Observando a disposição do modelo conceitual proposto, inicialmente, destaca-se a necessidade de um agente condutor do processo, para guiar os procedimentos, organizar e executar as etapas computacionais. Esta demanda é comum a todos os processos de suporte a tomada de decisão que tem viés participativo.

Seguindo também as características processuais comuns dos modelos de suporte a decisão de análise multicriterial, foram estabelecidas as etapas iniciais de caracterização da aplicação, como a definição do objetivo almejado (a) e dos agentes envolvidos (b).

O **delineamento do objetivo da aplicação (a)** tem o intuito de nortear a execução das etapas e possibilitar a validação ao final do alcance (ou não) da resposta almejada. Com base no paradigma em que baseia-se este produto, objetivos diferentes geram construções diferentes e, conseqüentemente, resultados diferentes. Assim, no presente estudo, o objetivo consiste em avaliar a Intensificação Sustentável obtida através de mudanças do uso e ocupação do solo em pequenas bacias hidrográficas como caminho para promoção do desenvolvimento sustentável regional.

A **identificação dos agentes (b)** consiste no entendimento de quem são os responsáveis ou influenciam sobre a tomada de decisão em foco de análise. Podem ser pessoas ou instituições que tenham interesse, atuação ou responsabilidade sobre a gestão do objeto em avaliação.

A etapa sequencial, de **identificação dos potenciais conflitos existentes (c)** foi pensada para que se buscasse identificar os conflitos existentes, ou potenciais, entre os agentes considerados de modo que elementos, como critérios que representem este conflito sejam inseridos no processo de tomada de decisão. Esta questão é inserida em virtude do interesse desta pesquisa em analisar circunstâncias onde preferências divergente entre agentes podem fazer com que decisões resultantes de medidas de ponderação e consenso não sejam efetivos para representação da realidade, e potencialmente, não sejam cumpridos.

Esta questão fecha as etapas de delineamento do escopo da aplicação. Em seqüência, procede-se a determinação dos elementos de composição da matriz de decisão que são as alternativas (d), critérios (e) e pesos (f).

As **alternativas (d)**, dentro da aplicação voltada aos problemas de tomada de decisão são as opções que serão avaliadas, podendo ser: diferentes cenários de uso e ocupação do solo que se deseja avaliar; ou, resultados da aplicação de distintas equações de cobrança pelo uso da água;

ou, panoramas diversos possíveis para alocação e/ou reserva hídrica; ou, seleção de áreas estratégicas para ações de recuperação, preservação e pagamento por serviços ambientais.

Uma ressalva importante é a consideração das alternativas como acontecimentos futuros, uma vez que os efeitos resultantes da tomada de decisão dentro do escopo da gestão de recursos hídricos e bacias hidrográficas demandam tempo para serem realizadas e seus resultados observados.

Os **critérios (e)**, por sua vez, correspondem aos indicadores para avaliação das alternativas. Estes, seguindo as premissas estabelecidas para avaliação da Intensificação Sustentável em nível de bacias hidrográficas, deverão representar os aspectos multidimensionais do território e dos recursos hídricos, como características ambientais, socioeconômicas, institucionais e culturais que podem ser influenciadas em virtude das mudanças entre as alternativas. Os critérios devem ser definidos por meio da avaliação da disponibilidade de informações regionais diagnósticas e, sequencialmente, projetados para as situações prognósticas, via métodos de simulação ou perspectiva dos agentes.

Já os **pesos (f)** têm a função de relativizar os critérios conforme o grau de relevância designado para cada agente em seu processo de tomada de decisão. Nesse ponto encontra-se um diferencial da ferramenta proposta à utilização das técnicas consolidadas de suporte à decisão, pois enquanto essas se baseiam na construção de um de consenso entre os agentes, por meio da agregação dos pesos por médias ou medianas, a ferramenta proposta individualiza todo o processo de decisão, para compreender estrategicamente como cada agente forma sua decisão entre as alternativas disponíveis.

Outro aperfeiçoamento aos métodos tradicionais é a **identificação das características relevantes aos agentes em seu processo de decisão (g)**. Este ponto é relevante, porque o processo de tomada de decisão não é sempre igual, baseado nas mesmas premissas, elementos e relações. Os agentes podem apresentar padrões de aceitabilidade distintos, sendo flexíveis ou rígidos. A inter-relação entre as decisões dos agentes e aspectos de influência entre eles podem ser representados sob diferentes expressões matemáticas. Assim a identificação destes aspectos é relevante para validação ou ajuste da função de utilidade da ferramenta.

É importante ao agente condutor discernir sobre a origem dos elementos identificados que influenciam a decisão dos agentes, pois características comportamentais como impulso, egoísmo e altruísmo, afrontam a premissa da racionalidade dos agentes, onde conforme Fiani

A parcela computacional da ferramenta SSD-GC agrega as informações determinadas no momento de caracterização da aplicação como dados de entrada. As células pintadas de amarelo são passíveis de serem modificadas. As abas intermediárias constituem as etapas como técnicas, e ao final tem-se as informações estatísticas disponibilizadas automaticamente pelo modelo.

A Figura 5.4 demonstra a tela de saída automatizada da ferramenta SSD-GC. Os resultados da porção inferior esquerda apresentam as estratégias individuais dos agentes buscando ordenar a faixa de retorno que cada um pode obter em decorrência da escolha de cada cenário disponível. Já na parte superior encontra-se a avaliação de alguns estados estáveis resultantes do jogo. O resultado do equilíbrio de Nash é obtido com o uso de um software específico, denominado Gambit.

Figura 5.4: Imagem da tela de saída da ferramenta SSD-GC.

ESTATÍSTICAS	A 01		A 02		A 03		A 04		A 05		Cenários de interseção Percentil 75 entre os agentes	
	VALOR	ESTADO	VALOR	ESTADO	VALOR	ESTADO	VALOR	ESTADO	VALOR	ESTADO	Número de estados	ESTADOS
MAXIMIZAÇÃO DA FUNÇÃO UTILIDADE	0.286	22311	0.272	22311	0.277	22311	0.294	22311	0.301	22311	4	
MÍNIMIZAÇÃO DA FUNÇÃO UTILIDADE	0.205	Ver Tab Suporte	0.219	Ver Tab Suporte	0.219	31133	0.202	31133	0.183	Ver Tab Suporte		
AMPLITUDE DE VARIAÇÃO	0.081		0.053		0.058		0.092		0.118			
MÉDIA	0.243		0.245		0.244		0.238		0.238			
DESVIO PADRÃO	0.024		0.012		0.013		0.031		0.040			
PERCENTIL 75	0.266		0.253		0.255		0.276		0.285			
MAXIMAX	0.26	Ver Tab Suporte	0.241	Ver Tab Suporte	0.246	Ver Tab Suporte	0.269	31113	0.28	Ver Tab Suporte		
MAXMIN	0.286	22311	0.272	22311	0.277	22311	0.294	22311	0.301	22311		
ESTRATÉGIAS AGENTES - resultados por cenários												
	MAIOR	A01	A02	A03	A04	A05						
	Cn 1	0.258	0.249	0.25	0.294	0.301						
	Cn2	0.286	0.272	0.256	0.231	0.245						
	Cn3	0.231	0.264	0.277	0.227	0.204						
	Resp	Cn2	Cn2	Cn3	Cn 1	Cn 1						
	MENOR	A01	A02	A03	A04	A05						
	Cn 1	0.231	0.219	0.219	0.269	0.28						
	Cn2	0.26	0.241	0.226	0.206	0.224						
	Cn3	0.205	0.233	0.246	0.202	0.183						
	Resp	Cn3	Cn 1	Cn 1	Cn3	Cn3						
	DELTA	A01	A02	A03	A04	A05						
	Cn 1	0.027	0.030	0.031	0.025	0.021						
	Cn2	0.026	0.031	0.030	0.025	0.021						
	Cn3	0.026	0.031	0.031	0.025	0.021						

A partir dos resultados estatísticos, determinam-se as estratégias dos agentes, por meio da avaliação dos coeficientes de utilidade calculados para cada agente em cada possível cenário (l). Das matrizes de utilidade e da observação destas estratégias, busca-se estabelecer possíveis **cenários resultantes (m)** desta interação para o sistema, como situações de otimização e de estabilidade, neste caso, o Equilíbrio de Nash.

Por fim, apresenta-se o conjunto de procedimentos que caracterizam a análise dos resultados, por meio da **interpretação (n)** e **validação (o)** dos coeficientes de utilidade dentro do problema simulado. Caso a validação mostre que o resultado produzido não condiz com as características

da simulação, deve-se **ajustar os critérios utilizados (p)** e refazer os procedimentos de modelagem.

Todos esses resultados, ao final, são levados a uma reunião de **negociação entre os agentes (q)**. Espera-se que o modelo contribua com novos elementos à discussão dos agentes, como o entendimento estratégico dos coeficientes de utilidade para cada agente e as situações resultantes possíveis decorrentes do modelo.

Da negociação pode-se chegar a novas condições de simulação, com novos coeficientes e informações, e assim resultar na necessidade de repetição de etapas da execução do modelo (r); ou, a uma manifestação de acordo, obtida ou não pela cooperação dos agentes, de forma a concluir a aplicação da ferramenta (s).

Enfatiza-se novamente que a execução da ferramenta deve ser realizada de maneira participativa, considerando a representação dos agentes interessados no problema para assegurar que as avaliações realizadas sejam condizentes com a realidade local e sua diversidade.

A seguir serão detalhados especificamente os procedimentos matemáticos de formulação do modelo, em especial a equação de utilidade, ocorrem por processamento computacional automatizado em planilha de dados.

5.2.1.2 A Construção da Equação de Utilidade e a Formulação da Ferramenta

O processo de elaboração de uma ferramenta de suporte tomada de decisão e análise de conflito baseado em teoria dos jogos tem como premissa a utilização de uma equação de utilidade que tem por intuito demonstrar matematicamente o comportamento estratégico dos agentes e a satisfação dos mesmos em cada alternativa.

A função de utilidade, segundo Varian (2003) é caracterizada como um procedimento para atribuir valor às opções mais preferidas, ou seja, uma forma de descrever as preferencias, permitindo a ordenação das alternativas. Pode haver infinitas formas de atribuir a utilidade às

mesmas opções ou alternativas, mas elas devem respeitar as propriedades do ordenamento de preferências dos jogadores.

Seguindo o Teorema da Utilidade Esperada (Von Neumann-Morgenstern, 1953) a equação deve satisfazer as premissas de que as preferências são racionais, contínuas e satisfazem o axioma da independência. Principalmente, é importante qualificar que a utilidade não é a causa das preferências, mas uma descrição das preferências. Os indivíduos não escolhem baseando-se em uma função utilidade; eles simplesmente escolhem o que preferem. Sejam quais forem os processos mentais que os indivíduos utilizem para efetuar suas escolhas, a utilidade é apenas uma indexação matemática para descrever o que eles preferem. Não é o indivíduo que deve se comportar segundo sua função utilidade, mas é a função de utilidade que deve emular o comportamento de escolhas do indivíduo (CUSINATO, 2003).

A questão aqui é a subjetividade ao entorno da definição da equação de utilidade. Ou seja como expressar matematicamente as questões pensadas por cada agente no momento de sua tomada de decisão. Por pressuposto, define-se a premissa da racionalidade dos agentes, que significa que os mesmos aplicam a lógica a premissas dadas para chegar às suas conclusões, consideram apenas premissas justificadas a partir de argumentos racionais e usam evidência empíricas com imparcialidade ao julgar afirmações sobre fatos concretos (FIANE, 2010).

A estruturação de uma equação para medir a utilidade dos agentes torna explícita a questão dos elementos componentes da tomada de decisão dos agentes.

O estabelecimento de uma função de utilidade é um mecanismo de generalização metodológica para obtenção de um número real representativo a todas as combinações possíveis de escolhas (estratégias) dos agentes. É um procedimento validado por Luce e Raiffa (xxxx) e Leoneti (2016).

Por ser um procedimento que envolve inúmeras campos científicos, como psicologia, economia, etc., a escolha do presente trabalho foi basear-se em trabalhos já desenvolvidos que tinham o mesmo intuito de propor equações de utilidade para suporte a decisão multicriterial.

Tendo como base estes levantamentos, o modelo SSD-GC baseou-se na equação de utilidade proposta por Leoneti (2012) e Leoneti (2016).

Leoneti (2012), como já apresentado anteriormente, utilizou a equação de utilidade para avaliar a preferência dos agentes para escolha do sistema de tratamento de efluentes. A equação inter-

relaciona a preferência de cada agente para cada alternativa com as demais agentes, também em suas alternativas. Abaixo, está detalhada a formulação que baseia na alternativa atual decrescida da média das outras alternativas do mesmo agente, somada a média dos outros agentes.

$$\varphi(a_i | a_j, \dots, a_n) = \frac{\left(a_i - \frac{\sum_{k=2}^n |1 - C_{ik}|}{n-1} \right) + \frac{\sum_{k=2}^n a_k}{n-1}}{2}$$

Vale apontar que para preencher a equação, a base foram os dados derivados da metodologia TOPSIS, pelos valores oriundos da proximidade relativa (Ri).

Especificamente para o método proposto estas funções devem também satisfazer as seguintes condições: (i) apresentar valor igual ao da similaridade encontrada entre a alternativa com a alternativa ideal; e (ii) estabelecer valores intermediários com base nos ganhos de troca e estratégias quando comparada com outra alternativa.

Sequencialmente, Leoneti (2016) estabeleceu um modelo de equação de utilidade para avaliação de tomada de decisão de múltiplos agentes em problemas Multicriteriais gerais, o autor caracterizou as preferências como sendo uma função derivada da posição que as alternativas ocupam em relação a dois pontos: a alternativa ideal; e as outras alternativas, numa comparação par-a-par. A equação utilizada é explicitada abaixo.

$$\pi(X, Y_i) = \varphi(X, IA) \cdot \prod_{i=1}^{n-1} [\varphi(x, y_i) \cdot \varphi(y_i, IA)]$$

Onde:

π é a função de utilidade do agente X em relação aos demais agentes (Y_i);

$\varphi(X, IA)$ é a distância da alternativa X em relação à alternativa ideal (IA);

$\varphi(x, y_i)$ é a distância da alternativa x em relação à alternativa Y dos demais agentes (i);

$\varphi(y_i, IA)$ é a distância da alternativa Y dos demais agentes (i) em relação à alternativa ideal (IA); e,

n é o número de alternativas consideradas para cada agente.

Estes dois estudos deram suporte a equação de utilidade utilizada para quantificar a satisfação dos agentes na proposta deste trabalho. A construção ocorreu com algumas adaptações a equação acima apresentada, como uma alteração na fonte de informações acerca da relação entre as alternativas para o índice de concordância proposto pelo método ELECTRE, e alterações nos operadores matemáticos.

A substituição dos parâmetros advindos do TOPSIS para o ELECTRE III, quando retratar a interação entre alternativas, substituindo a relação de proximidade pelo índice de concordância entre alternativas. Este índice (apresentado detalhadamente na seção metodológica 4.1.4.1) tem a formação composta pela avaliação de concordância e discordância entre as alternativas, avaliadas por meio de coeficientes de preferência, indiferença e veto. A mudança foi proposta pela ideia de que ao se considerar apenas a distância não se avalia a compatibilidade entre as alternativas, apenas a proximidade dos valores normalizados. A robustez da análise pode ser considerada maior com as estrutura de coeficientes de preferência, indiferença e veto do método ELECTRE III.

Já as mudanças nos operadores matemáticos ocorreram por adaptação ao objetivo desta aplicação que é a avaliação da Intensificação Sustentável em pequenas bacias hidrográficas. Em detalhe, foi-se pensado como deve se dar o relacionamento entre as alternativas de modo a refletir que o comportamento de cada agente tem reflexo sobre todos os demais, uma vez que qualquer ação sobre o uso e ocupação do solo numa bacia hidrográfica pode gerar interação positiva ou negativa sobre todo o planejamento do território. O mecanismo utilizado foi considerar na equação de cada agente uma influência da escolha dos demais. Evidenciando assim, que a satisfação de um agente, nesta aplicação, não depende apenas da sua decisão sobre suas alternativas, mas é composta em uma parcela, pela decisão dos demais agentes serem favoráveis ou não há sua alternativa.

O índice de concordância entre as alternativas retorna um valor entre 0 e 1, que quando maior representa a satisfação do agente em ficar naquela alternativa (e não trocar de alternativa). E o coeficiente de cada alternativa com a alternativa ideal, oriundo do TOPSIS, foi mantido para fornecer um posicionamento inicial da alternativa dentro do escopo das opções disponíveis.

Assim a equação composta é formada por três parcelas, em concordância com Leoneti (2012 e 2016). Cada parcela corresponde a um terço percentual da formação da equação de utilidade de cada agente em cada alternativa.

A primeira parte deve refletir a satisfação individual com a alternativa em avaliação, e ocorre pela análise posicional desta em relação a alternativa hipotética ideal (IA), advinda do coeficiente Ri do TOPSIS.

A segunda parcela é formada pela avaliação da satisfação do agente em comparação com as outras alternativas disponíveis a este mesmo agente. A determinação matemática desta ocorreu pela composição média dos valores do índice de concordância entre a alternativa em questão e as demais alternativas disponíveis. O índice de concordância entre as alternativas vindo do método ELECTRE III.

E o terceiro elemento é composto pela avaliação dos outros agentes sobre esta alternativa, contendo a posição inicial dela e suas perspectivas de se manterem nela ou trocarem. Ou seja, analogamente correspondem aos fatores apontados anteriormente, mas com a mudança dos agentes em consideração. Como resultado é considerada a média dos agentes e a média das demais alternativas, pois como pressuposto determinou-se a capacidade de influência de um agente para outro como igual.

Tendo por base todas estas contribuições, a equação de utilidade foi:

$$\pi(a_i c_j, a_{i \dots n} c_{j \dots w}) = \frac{\varphi_{a_i}(c_j, c_{IA}) + \frac{\sum_{j=1}^{n-1} \sigma_{a_i}(c_j, c_{j^-})}{n-1} + \left\{ \frac{\left[\frac{\sum_{i=1}^{(w-1)} \varphi_{a_i^-}(c_j, c_{IA})}{w-1} \right] + \left[\frac{\sum_{j=1}^{(n-1)} \sum_{i=1}^{(w-1)} \sigma_{a_i^-}(c_j, c_{j^-})}{(w-1) \cdot (n-1)} \right]}{2} \right\}}{3}$$

Onde:

a: representa os agentes considerados na análise. O número de agentes varia de 1 a w, sendo o sub-índice i a representação do agente atual, e i- significa que está se tratando das estratégias de todos os demais agentes que não o jogador i.

c: representa os cenários possíveis considerados na análise. O número de cenários varia de 1 a n, sendo o sub-índice j a representação do cenário atual, e j- significa que está se tratando das estratégias resultantes de todos os demais cenários que não o cenário j. O cenário IA está associado a composição que resulta no cenário hipotético ideal.

π : representa a função de recompensa do agente i , que especifica uma recompensa para o agente i de acordo com a estratégia (cenário) que ele e os demais agentes adotam.

φ : representa o coeficiente de relação entre o cenário avaliado e o cenário hipotético ideal.

σ : representa o coeficiente de relação entre o cenário avaliado e os demais cenários.

Os coeficientes de relação φ e σ foram estabelecidos por meio de técnicas de Análise Multicriterial já selecionadas e descritas. Respectivamente, serão compostos por parâmetros oriundos do TOPSIS e ELECTRE III.

Como já apresentado, na sessão 4.1.4.1. da metodologia, o coeficiente R_i do TOPSIS representa a relação de distância entre a alternativa i (em avaliação) e a alternativa hipotética ideal (IA). Esta alternativa hipotética é construída pelas melhores respostas a todos os critérios considerados em sua composição.

Já o delta, oriundo do índice de concordância do método ELECTRE III, é formado pela avaliação entre cada conjunto de duas alternativas, considerando a possibilidade de concordância e discordância entre elas. E, para tanto, demanda a informação de percentual de preferência, indiferença e veto.

Algumas outras considerações são válidas sobre a equação proposta:

- O escopo de amplitude do resultado entre 0 e 1. Dando a entender que 0 a satisfação expressa é nula e 1 a satisfação máxima
- A utilização dos fatores médios para suavização da variabilidade da equação.
- E a utilização da representação das parcelas em percentuais de soma e redução.

Assim, o que diferenciou-se do Leoneti (2012) é que enquanto ele reduz sua equação de utilidade pela perspectiva de troca de alternativa pelo agente, a equação aqui disposta considera considerar a perspectiva do agente em ficar na alternativa. E, também, houve o incremento de elementos levados em consideração para formação da terceira parcela, pois enquanto Leoneti (2012) considera apenas a média da satisfação dos agentes com a alternativa, esta equação adiciona também a perspectiva destes em ficar ou sair da alternativa com base nos resultados das demais alternativa.

E, a escolha em basear-se em elementos de soma e redução ao invés das multiplicações diretas propostas em Leoneti (2016) deu-se porque a multiplicação coloca todas as parcelas com potencial de impactar completamente o resultado, ou seja, caso um dos elementos seja zero, todo o resultado dos demais parâmetros será anulado, representando que a satisfação do agente é zero na alternativa. Isso pode não ser representativo, uma vez que mesmo com um único fator contrário, o agente pode não estar atribuindo nulidade a sua satisfação na alternativa, pois há outros fatores envolvidos.

Por fim, vale ressaltar que a equação não se caracteriza como uma etapa isolada do modelo, ela encontra-se inserida no processo de modelagem. A ferramenta SSD-GC realiza os cálculos necessários de modo automático, considerando que a aplicação manteve a formulação da equação de utilidade do modo exposto acima, buscando os coeficientes nas ferramentas de Análise Multicriterial de base (ELECTRE III e TOPSIS).

Com a matriz de pagamento constituída, passa-se a análise dos coeficientes resultantes para cada agente e em cada combinação de cenários simulados formando a matriz de pagamento na busca por soluções possíveis dentro do escopo de possibilidades. Estes processos de análise dos resultados são apresentados na próxima sessão.

5.2.1.3 Resultados Esperados do SSD-GC

Em conformidade com o fluxograma de aplicação da ferramenta SSD-GC (figura 5.2), após a definição da modelagem dos conflitos (sessão anterior), procede-se à análise dos resultados. Como o produto resultante principal caracteriza-se pela matriz de pagamento que demonstra quantitativamente o retorno de cada agente em cada estado possível, é necessária uma etapa de interpretação destes resultados.

Diversas análises podem ser feitas sob as matrizes de pagamento, o Quadro 5.4. apresenta algumas questões possíveis de serem respondidas pela ferramenta e o procedimento para obter essas informações e possíveis explicações para os resultados.

Quadro 5.4: Principais questões a serem respondidas pelo Modelo SSD-GC:

Questões a serem respondidas	Como responde-las	Inferências Possíveis
Qual o melhor cenário e estado para cada agente?	Verificado na tabela de coeficientes, o cenário composto associado ao maior coeficiente para cada agente	<p>- Divergências nos cenários entre agentes: os agentes tendem a almejar a realização de estados diferentes de resultados. Deve haver negociação</p> <p>- Convergência dos cenários entre agentes: evidenciar aos agentes que todos possuem preferências que direcionam ao mesmo estado para a BH. Isso representa que sem interferência de negociação eles alcançarão este estado. Entretanto, é importante lembrar que o estado pode ou não ser o considerado sustentável.</p>
Qual o pior cenário e estado para cada agente?	Verificado na tabela de coeficientes, o cenário composto associado ao menor coeficiente para cada agente	<p>- Divergências nos cenários entre agentes: estrutura de composição de preferencias diferentes entre os agentes.</p> <p>- Convergência dos cenários entre agentes: estrutura de composição de preferencias semelhante entre os agentes.</p>
Quais cenários encontram-se na faixa de aceitabilidade de cada agente?	<p>Verificado na tabela de coeficientes.</p> <p>Determinar no intervalo de valores 0 a 1 faixas que correspondam aceitabilidade (podem ser individuais ou coletivas). Ex: valores situados acima do percentil 75.</p> <p>Por fim, verificar os cenários correspondentes a tais coeficientes para cada agente.</p> <p>É possível aqui também estabelecer perfis de comportamento, como agentes inflexíveis (aqueles que terão uma faixa de aceitabilidade menor) e agentes flexíveis (que terão uma faixa de aceitabilidade mais ampla).</p>	<p>- Estados preferíveis de cada agente e a interseção pode mostrar se há compatibilidade nos resultados esperados. Pode orientar a discussão de aceitabilidade e negociação.</p>
O que pode acontecer se um agente decidir unilateralmente tomar uma opção de ação?	Determinar as situações de equilíbrio de Nash, com auxílio do software Gambit.	<p>- Os cenários resultantes mostram direcionamentos possíveis para toda a BH a partir da tomada de decisão de um único agente, caso este pense apenas em benefício próprio.</p> <p>O direcionamento resultante destes estados são resultados que</p>

Questões a serem respondidas	Como responde-las	Inferências Possíveis
		potencialmente podem ser obtidos sem a necessidade de negociação entre os agentes, ou seja, a tendência para a região.
Há algum agente se beneficiando, sem contrapartida, da decisão acertada pelos demais?	A identificação da ocorrência de um usuário caroneiro (free-rider) ocorre com a visualização dos estados resultantes e a identificação de padrões onde um ou poucos destacam-se dos resultados dos demais agentes, obtendo inclusive retorno maior.	O usuário caroneiro é a identificação de agentes obtém benefícios resultantes da decisão de outros, sem contudo realizar a mesma contrapartida que os demais. Ou seja, eles se beneficiam de atitudes tomadas pelos demais agentes.
Quais estados podem ser considerados sustentáveis?	Esta verificação pode ser obtida ainda na matriz de decisão, pela valoração dos critérios componentes da alternativa sustentável. Nesta aplicação buscase a alternativa que explicita uma condição de equilíbrio entre aspectos produtivos e conservação ambiental.	<ul style="list-style-type: none"> - O estado sustentável é resultado estável: naturalmente aparecerá na discussão dos resultados, restando explicar as vantagens do mesmo e os esforço e ações para que possa ser alcançado. - O cenário sustentável não é um resultado estável: nesta condição é mais difícil demonstrar aos agentes a viabilidade do mesmo, mas deve-se analisar outras possibilidades estatísticas.
Vale a pena cooperar com outros decisores para alcançar o cenário final, benéfico para todos?	Mostrar que a cooperação pode gerar resultados para satisfatórios para todos os agentes, através da avaliação da faixa de aceitabilidade dos agentes ou da amplitude de distância entre as alternativas referenciais e as alternativa cooperativa e sustentável que se deseja promover.	<ul style="list-style-type: none"> - Se o cenário sustentável estiver dentro da inserção das faixas de aceitabilidade dos agentes pode-se mostrar que ele - Ou verificar a distância relativa entre a alternativa preferencial e a sustentável e promover o processo de negociação dos agentes sobre acordos para se alcançar tal condição.

A descrição do quadro acima fornece algumas análises possíveis, entretanto, não há limitações para as interpretações resultantes da matriz de pagamento disponível, a partir de avaliações e procedimentos estatísticos outros. Depois das análises sobre a matriz de pagamento do jogo, as inferências devem ser submetidas aos agentes, para interpretação e validação da representatividade do resultado, conforme determinado na figura 5.2.

5.2.2 Aplicação Experimental da Ferramenta SSD-GC na Bacia Hidrográfica do Córrego Sossego

A aplicação da ferramenta SSD-GC ocorreu na Bacia Hidrográfica do Córrego Sossego visando exemplificar as funcionalidades apresentadas conceitualmente em etapa anterior, apontar demandas de adequação e mostrar a viabilidade da ferramenta para suporte à decisão, especialmente útil para análise de conflitos entre os agentes.

Entretanto, fez-se uma reflexão de que em processos participativos de tomada de decisão o envolvimento, intenção e interação dos agentes pode se manifestar diferentemente caso os mesmos não identifiquem a problemática tratada como relevante e prioritária para a região. Isso quer dizer, que uma aplicação sem a contrapartida da identificação de demanda pelos agentes locais pode fazer com que os agentes adotem preferências que não sejam as que ocorrem naturalmente.

Isso posto, definiu-se a aplicação como etapa experimental onde os levantamentos iniciais foram obtidos em conformidade com a realidade local. Entretanto, o processo finalizou-se com a identificação das estratégias dos agentes pelos coeficientes da matriz de pagamento. Não realizando-se, portanto, as etapas de negociação com os agentes.

A seguir são apresentados os dados de entrada e os resultados da matriz de pagamento obtida para esta aplicação.

5.2.2.1 Dados de entrada para a Aplicação Experimental do SSD-GC na Bacia Hidrográfica do Córrego Sossego

A determinação dos dados de entrada para aplicação experimental da ferramenta SSD-GC na bacia hidrográfica do Córrego Sossego seguiu o fluxograma das etapas de aplicação, exposto na figura 5.2. Aqui serão descritas as etapas componentes do bloco de caracterização da aplicação.

A primeira etapa consiste na definição do objetivo a ser modelado dentro do escopo de avaliação da Intensificação Sustentável em pequenas bacias hidrográficas. Nesta aplicação experimental, selecionou-se ressaltar a viabilidade da Intensificação Agrícola Sustentável como

mecanismo de promoção de desenvolvimento sustentável regional, por ser uma opção em que considera-se o equilíbrio entre as ações de intensificação da produção agrícola e a preservação ambiental.

A necessidade de se organizar coletivamente e definir rumos ao desenvolvimento regional é uma questão relevante aos agentes da bacia hidrográfica do Córrego Sossego, e pode auxiliá-los a minimizar os problemas históricos de déficit hídrico, como detalhado na sessão 4.3.2., de justificativa da área de aplicação experimental. Isso porque a ação descoordenada dos agentes frente a limitação dos recursos hídricos pode levá-los a condições não satisfatórias a todos os agentes, ou seja, não atender as expectativas dos agentes em níveis de produção, por exemplo.

O histórico de experiência do Projeto Sossego e a análise realizada por Lopes (2011) possibilitou a identificação do conflito potencial para a região a divergência dos agentes quanto as práticas de uso, manejo e ocupação do solo estabelecidas pelos diversos agentes da bacia hidrográfica, e, conseqüentemente, têm interações distintas quanto ao rumo do desenvolvimento da região.

Vale destacar que apesar da água estar na propriedade do agente, ela é um bem público, seja em nível superficial ou subterrâneo, e portanto, a definição de usuários e quantidade de uso não é dos proprietários, mas sim dos órgãos ambientais, pelos instrumentos de gestão. Neste exemplo, não é considerada a interferência dos órgãos ambientais, por querer avaliar a interação entre os agentes em um caso sem restrições.

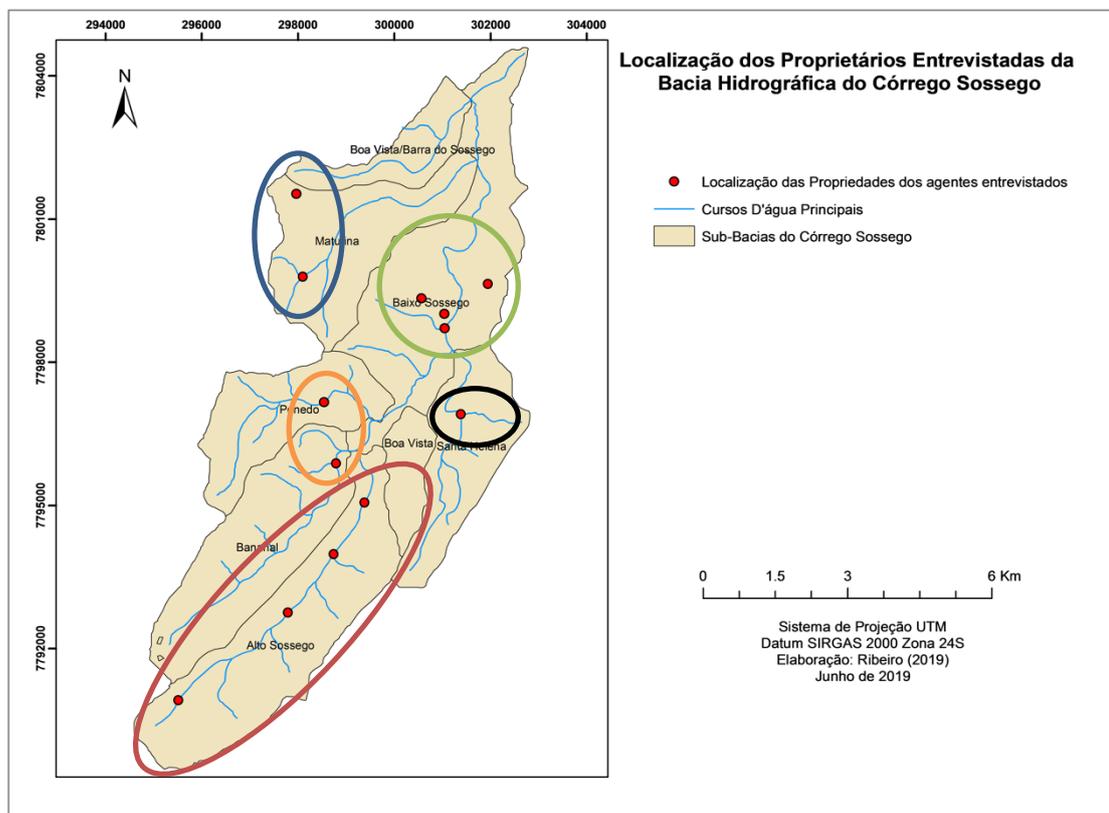
Parte-se do pressuposto que os agentes tomadores de decisão, muitas vezes não são capazes de enxergar a relação de causa-efeito de suas ações temporalmente e espacialmente. A interpretação de suas ações relativas à adoção de práticas de uso e manejo do solo e de suas preferências quanto aos indicadores de sustentabilidade pode auxiliar a representação quanto ao tipo de desenvolvimento realizado e o almejado, pelos agentes, para a região. E é isso que a metodologia proposta dispõe-se a fazer.

A identificação dos agentes, etapa seguinte, ocorreu com suporte de agentes do sistema de gestão local e do histórico de experiência do Projeto Sossego na região. Foram pré-selecionados 15 proprietários rurais com distribuição espacial ao longo da bacia hidrográfica. Com estes agentes foram realizadas entrevistas com intuito de responderem um questionário que avaliasse algumas questões

Das entrevistas, foram descartados alguns agentes e outros agrupados, de modo a formar o máximo de 5 agentes/grupos de simulação (limitação da ferramenta). O resultado do questionário aplicado nas entrevistas serviu de base para definição das alternativas, critérios e pesos dos agentes.

O mapa a seguir expõe a localização dos agentes entrevistados na bacia hidrográfica e a seleção para composição dos 5 agentes considerados nesta aplicação experimental.

Figura 5.5: Mapa de localização dos proprietários entrevistados na bacia hidrográfica do Córrego Sossego, e a formação dos 5 agentes considerados na aplicação da ferramenta.



Adicionar na legenda: Ag 01 (vermelho); Ag 02 (laranja); Ag 03 (preto); Ag 04 (azul); Ag 05 (verde).

Tendo este desenho inicial da problemática, passa-se a organização dos pontos de avaliação. As alternativas, que constituem os cenários prognósticos, foram determinadas após o

levantamento das informações com os agentes. Estes foram questionados a pensar em como enxergavam a bacia hidrográfica no futuro, com relação ao uso, manejo e ocupação do solo. As respostas serviram de base ao delineamento dos cenários que serão analisados.

A base para os cenários prognóstico é o diagnóstico local dos indicadores. A partir dele, para cada indicador foi projetada a evolução de 10 anos seguindo mudanças de uso e ocupação do solo orientadas ao padrão de desenvolvimento estabelecido para cada cenário.

O primeiro cenário prognóstico apresenta a consequência da adoção de características que orientaram o desenvolvimento regional em direção ao aumento da produção agrícola regional. É denominado de produtivista.

O segundo cenário prognóstico, ao qual será muitas vezes referenciado como equilibrado, apresenta as consequências da orientação do desenvolvimento regional à Intensificação Agrícola Sustentável, por meio de mudanças no uso, ocupação e manejo do solo. É esperado que os resultados encontrados para este cenário demonstrem-se como melhor opção (equilíbrio) em uma atuação de organização coletiva e negociada entre os agentes.

O terceiro cenário prognóstico foi construído pela perspectiva do conservadorismo ambiental. Ou seja, demonstra as consequências dos usos, manejos e ocupação do solo em uma ideia de incremento da preservação do meio ambiente por meio de medidas restritivas de produção, preservação das áreas estabelecidas pela legislação, dentre outros.

Com as alternativas delimitadas, parte-se para a definição dos critérios de avaliação, que na ferramenta corresponde aos indicadores de avaliação da Intensificação Agrícola Sustentável em pequenas bacias hidrográficas. A partida desta etapa consiste na verificação de disponibilidade de dados locais para a composição dos indicadores mínimos definidos para avaliação da IS.

Em conformidade com o diagnóstico local realizado no capítulo anterior (sessão 4.3.2.), a validação das informações com os agentes por entrevista e questionários (sessão 4.3.3.), e o estabelecimento de categorias mínimas de indicadores (sessão 5.1.2.) determinou-se 10 indicadores para avaliação da IS na Bacia Hidrográfica do Córrego Sossego. São eles: produtividade agrícola, demanda hídrica para irrigação, disponibilidade hídrica, qualidade de água nos cursos d'água, aptidão natural do solo à agricultura, potencial de perda de solo, percentual de área agrícola, qualidade de vida, representatividade de associações rurais, e, nível de assistência de extensão rural.

Pode-se observar que estes indicadores enquadram-se nas 10 categorias mínimas definidas como base para avaliação, sendo, especificamente, o indicador aptidão natural do solo à agricultura o representante do grupo de fertilidade do solo, e o percentual de área agrícola o emissário da categoria de uso do solo.

A utilização de outros indicadores, talvez, poderia expressar melhor as características do cenário simulado, mas a bacia hidrográfica do Córrego Sossego enquadra-se na realidade de baixa disponibilidade de dados, principalmente relacionados a dimensão ambiental, característica essa semelhante a maioria das bacias hidrográficas de pequeno e médio porte brasileiras. Deste modo, considerando a base de dados secundários disponíveis, os indicadores selecionados demonstraram ser adequados por completarem a demanda mínima das categorias necessárias a avaliação.

Os valores dos indicadores para a condição diagnóstica da bacia hidrográfica do Córrego Sossego advêm da sessão correspondente no capítulo de metodologia. Entretanto, para a construção da matriz de decisão demanda-se a estimativa prognóstica dos indicadores nos cenários simulados, onde são projetadas mudanças do uso, manejo e ocupação do solo durante 10 anos em direção ao modelo de desenvolvimento considerado.

Os indicadores nos cenários prognósticos podem ser determinados através de modelagem computacional prognóstica, consulta a especialistas (método ad-hoc), entrevista com os agentes, dentre outros. Em especial, nesta aplicação cabe a ressalva de que por tratar-se uma análise experimental da ferramenta foram utilizadas em alguns indicadores estas técnicas acima mencionadas, entretanto, em outros indicadores os valores assumidos nos cenários prognósticos foram determinados para ressaltar a distinção entre os resultados e assim possibilitar uma avaliação da ferramenta desenvolvida.

Os valores apresentados para os indicadores ambientais (demanda hídrica para irrigação, disponibilidade hídrica, qualidade de água nos cursos d'água, aptidão natural do solo à agricultura, potencial de perda de solo, percentual de área agrícola) são resultado de simulações computacionais estruturadas a partir do cenário diagnóstico, pela proposição de mudanças de uso e manejo do solo direcionadas à cada escopo.

As projeções dos indicadores de produtividade agrícola, qualidade de vida, representatividade de associações rurais e nível de assistência rural foram determinadas seguindo duas etapas: primeiro, nas entrevistas com os agentes da bacia hidrográfica levantou-se sob suas perspectivas

o comportamento previsto dos indicadores em cada um cenários simulados, se a tendência era de que aumentassem, diminuíssem ou estagnassem em relação ao diagnóstico. Com base na integração da resposta dos agentes foram estabelecidos valores para estes indicadores nos cenários, de forma a ressaltar a aplicabilidade da ferramenta.

De forma a agregar os valores estabelecidos para os indicadores na composição da matriz de decisão estão apresentados na tabela a seguir.

Tabela 5.1: Matriz de decisão composta pelos critérios determinados em cada cenário.

Critérios	Diag.	Cenários Prognósticos			Unid.	
		Cn1 produtivista	Cn2 equilibrado	Cn3 conservacionista		
C1	Produtividade agrícola	6600	6960.00	6800.00	3200.00	Kg/ha
C2	Demanda Hídrica para produção	553150	570500.00	530000.00	405000.00	M³/dia
C3	Qualidade da água no CD	59	54.00	62.00	65.00	-
C4	Fertilidade do solo	7	6.00	8.50	8.00	Ton./ha.ano
C5	Potencial de perda de solo	41.18	52.00	38.00	38.00	Ton./ha.ano
C6	Acesso à assistência técnica	0.012	0.010	0.015	0.007	Técnicos/prod.
C7	% área de cultivo agrícola	17.8	30.00	17.00	12.00	%
C8	IDH (proxy qualidade de vida)	0.684	0.66	0.70	0.68	-
C9	Número de associações rurais /produtores	0.01	0.03	0.04	0.02	Instituições/prod.
C10	Disponibilidade hídrica (índice pluviosidade)	1004.36	1000	1000	1000	Mm/ano

Segue na **Tabela 5.2** uma classificação dos valores normalizados, mostrando para cada critério em qual cenário encontram-se os maiores (verde), médios (amarelo) e menores (vermelho) coeficientes. Lembrando que o objetivo dos critérios C2 e C5 é ser minimizado e os demais é ser maximizado.

Tabela 5.2: Avaliação da relação entre os critérios para cada cenário na composição da matriz de decisão.

Critérios	Cenários		
	CN1	CN2	CN3
C1	0.679	0.664	0.312
C2	0.350	0.396	0.539
C3	0.515	0.592	0.620
C4	0.457	0.648	0.610
C5	0.305	0.492	0.492
C6	0.517	0.776	0.362
C7	0.822	0.466	0.329
C8	0.560	0.594	0.577
C9	0.557	0.743	0.371
C10	0.577	0.577	0.577

A tabela acima possibilita a percepção visual de que há uma variabilidade entre a composição de melhores e piores critérios, nos cenários, formando uma composição diversificada entre eles. Inicialmente, pode-se supor pela presença de muitos critérios com os maiores coeficientes que a melhor composição é a do Cenário 2, direcionado à Intensificação Sustentável, descrito como o mais sustentável.

A correlação entre os cenários está apresentada na tabela abaixo, Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Avaliação da correlação entre os cenários para composição da matriz de decisão.

Cenários	CN1	CN2	CN3
CN1	1.00	0.70	0.34
CN2	0.70	1.00	0.57
CN3	0.34	0.57	1.00

Todos os cenários apresentam uma correlação positiva entre eles, o que significa que apresentam tendência de movimentação para a mesma direção. Isso é característico de uma condição onde apesar de os cenários serem compostos por coeficientes distintos, conjuntamente representam a evolução da região, que pode levar a respostas distintas, mas ainda sim, seguem o mesmo caminho, que é uma evolução.

Agora que os critérios estão avaliados para todos os cenários, passou-se a determinação dos pesos que os agentes atribuíram aos critérios, ou seja, a importância relativa de cada critério

para cada agente. Como informado anteriormente, a entrevista de coleta das preferências foi realizada com 13 agentes localizados em diferentes pontos da bacia hidrográfica do Córrego Sossego.

A ponderação de peso dos 13 entrevistados, com a descrição da localização dos mesmos está apresentada na Tabela 5.4, seguida da síntese dos pesos atribuídos pelos 5 grupos homogêneos de agentes, na Tabela 5.5.

Tabela 5.4: Distribuição de Pesos Gerais dos Agentes Entrevistados

	Agentes Entrevistados												
	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11	E12	E13
Localização*	A	A	A	A	A	A	M	B	B	B	B	B	B
C1	2	1	5	6	5	1	9	1	1	3	4	3	5
C2	4	1	4	3	6	1	10	8	2	2	2	1	5
C3	5	1	7	2	9	1	7	10	3	8	5	7	10
C4	5	1	8	2	7	2	5	9	4	7	10	6	10
C5	9	1	2	10	1	2	7	3	5	4	6	4	1
C6	10	1	1	5	8	1	6	7	6	6	9	2	1
C7	7	1	9	4	1	2	6	1	7	1	8	9	10
C8	3	1	4	1	9	1	7	6	8	9	7	8	10
C9	1	1	9	9	4	2	8	2	9	5	6	10	1
C10	6	1	4	6	3	2	4	4	10	10	1	5	1

* Localização: A (porção alta); M (porção média); B (porção baixa). Agentes entrevistados selecionados destacados em negrito.

Da tabela pode-se observar que os agentes possuíam total liberdade quanto a demarcação de suas preferências, pois poderiam delimitar o valor máximo e mínimo, distribuir preferências de igual valor a distintos critérios.

Por uma limitação da ferramenta, foi realizado o agrupamento das preferências destes agentes para formação de 5 grupos homogêneos. Por ser uma aplicação experimental, aproveitou-se esta junção para evidenciar pesos que mostrassem padrões divergentes entre os agentes. O resultado está sintetizado no Tabela 5.5.

Tabela 5.5: Matriz de ordenamento de pesos (preferência) aos critérios realizado pelos agentes agrupados.

Critérios		Agentes				
		A01	A02	A03	A04	A05
C1	Produtividade agrícola	6	5	9	1	4
C2	Demanda Hídrica para produção	3	6	10	8	2
C3	Qualidade da água no CD	2	9	7	10	5
C4	Fertilidade do solo	2	7	5	9	10
C5	Potencial de perda de solo	10	1	7	3	6
C6	Acesso à assistência técnica	5	8	6	7	9
C7	% área de cultivo agrícola	4	1	6	1	8
C8	IDH (proxy qualidade de vida)	1	9	7	6	7
C9	Número de associações rurais /produtor	9	4	8	2	6
C10	Disponibilidade hídrica (índice pluviosidade)	6	3	4	4	1

A interpretação do comportamento e a localização dos agentes ficou assim definida: agente A1 localizado na porção alta da bacia e considerado com tendência produtivista; o agente A2, também localizado na parte alta, mas com preferências orientadas ao conservacionismo; o agente A3 situado na porção média da região e com preferências produtivista; o agente A4 localizado na parte baixa e com preferencia tendencial ao conservacionismo; e, o agente A5, também disposto na porção baixa da bacia hidrográfica e com preferencia orientada ao conservacionismo.

Esta análise da preferência pela percepção oriunda dos pesos atribuídos é unicamente direcionada para atribuição de características aos agentes. Mas, a referida qualificação poderá ou não ser comprovada pelos resultados da aplicação da ferramenta.

Para interpretar a distribuição de peso dos agentes comparativamente, realizou-se uma análise da correlação entre eles, mostrada a seguir na Tabela 5.6.

Tabela 5.6: Tabela de correlação entre as preferências dos agentes.

Agentes	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1.00	-	-	-	-
A2	-0.70	1.00	-	-	-
A3	0.19	-0.05	1.00	-	-
A4	-0.65	0.77	-0.19	1.00	-
A5	-0.13	0.05	-0.95	0.08	1.00

Estudos de correlação apresentam reciprocidade entre os agentes. Deste modo, pode-se verificar que o agente A1 tem correlação negativa com os agentes A2 e A4, representando que estes agentes possuem preferências em direção opostas. Já com os agentes A3 e A5, o agente A1 apresenta-se próximo a neutralidade.

Do agente A2, além de sua relação negativa com A1, é possível verificar uma compatibilidade significativa com A4. E do agente A3 uma elevada correlação negativa com A5. Entre A4 e A5 mostra-se uma correlação nula.

Dentro da interpretação do comportamento dos agentes, o agente A1 que tem tendência produtivista apresenta distanciamento dos agentes A2 e A4, que possuem característica conservacionista. Estes dois por similaridade tem correlação positiva significativa, e entre os agentes A3 e A5, que respectivamente apresentam tendência produtivista e conservacionista, verifica-se um correlação negativa quase total (-0.95). Sobre a localização dos agentes, neste etapa inicial, ela não mostrou influência relevante.

Por fim, é relevante destacar os coeficientes estabelecidos para o método ELECTRE III, que está presente na constituição da matriz de pagamento. Os coeficientes foram determinados através de ajuste manual para representar melhor resultado. Nesta aplicação não era desejado coeficiente de veto dos parâmetros, utilizados foram desclassificar critérios que demonstrem-se distintos, já o coeficiente limiar de preferência (p) ficou estabelecido em 0,3 para todos os critérios e o coeficiente limiar de indiferença (q) foi de 0,1, também para todos os critérios. Estes servem como referência para determinação da concordância e discordância entre as alternativas, e os valores adotados estão de acordo com o padrão usualmente adotado nas aplicações do ELECTRE III.

Após a apresentação de todos os dados de entrada, segue-se a síntese de todos estes processos na tela de entrada sistema SSD-GC, mostrada na Figura 5.6.

Figura 5.6: Tela dos dados de entrada da ferramenta SSD-GC para simulação da Bacia do Córrego Sossego

Método de Suporte a Tomada de Decisão													
Dados de Entrada													
Coeficientes do ELECTRE III													
Lambdas = 0.3 LambPess = 0.3													
Lista de Critérios/Indicadores				Critério Max ou Min	p	q	v	Descrição dos cenários					
c1	Produtividade agrícola		MAX	0.3	0.1	0							
c2	Demanda Hídrica para produção		MIN	0.3	0.1	0	Cn1	produtivista	uso e manejo do solo voltado à práticas produtivistas				
c3	Qualidade da água no CD		MAX	0.3	0.1	0	Cn2	equilibrado	uso e manejo do solo voltado à práticas de IS				
c4	Fertilidade do solo		MAX	0.3	0.1	0	Cn3	conservacionista	uso e manejo do solo voltado à práticas conservacionistas				
c5	Potencial de perda de solo		MIN	0.3	0.1	0	Cn4						
c6	Acesso à assistência técnica		MAX	0.3	0.1	0	Cn5						
c7	% área de cultivo agrícola		MAX	0.3	0.1	0							
c8	IDH (proxy qualidade de vida)		MAX	0.3	0.1	0							
c9	Número de associações rurais /produtor		MAX	0.3	0.1	0							
c10	Disponibilidade hídrica (índice pluviosidade)		MAX	0.3	0.1	0							
Descrição /localização dos agentes													
							A01	alto / produtivista					
							A02	alto / conservacionista					
							A03	médio / produtivista					
							A04	baixo / meio-termo					
							A05	baixo / conservacionista					
Matriz de Decisão													
		cenários					Preferência dos agentes						
		diagnóstico	Cn1	Cn2	Cn3	Cn4	Cn5	agentes					
			produtivista	equilibrado	conservacionista	0	0	critérios	A01	A02	A03	A04	A05
c1	Produtividade agrícola	6800	5950.00	6800.00	3200.00			c1	6	5	9	1	4
c2	Demanda Hídrica para produção	553150	570500.00	530000.00	405000.00			c2	2	6	10	8	2
c3	Qualidade da água no CD	59	54.00	62.00	65.00			c3	2	9	7	10	5
c4	Fertilidade do solo	7	6.00	8.50	8.00			c4	2	7	5	9	10
c5	Potencial de perda de solo	41.18	52.00	38.00	38.00			c5	10	1	7	3	6
c6	Acesso à assistência técnica	0.02	0.03	0.05	0.007			c6	5	8	6	7	9
c7	% área de cultivo agrícola	17.8	30.00	17.00	12.00			c7	4	1	6	1	8
c8	IDH (proxy qualidade de vida)	0.684	0.66	0.70	0.68			c8	1	9	7	6	7
c9	Número de associações rurais /produtor	0.01	0.03	0.04	0.02			c9	9	4	8	2	6
c10	Disponibilidade hídrica (índice pluviosidade)	1004.36	1000	1000	1000			c10	6	3	4	4	1

5.2.2.2 Resultados da Aplicação Experimental do SSD-GC na Bacia Hidrográfica do Córrego Sossego

Nesta sessão estão apresentados os resultados da aplicação experimental realizada na bacia hidrográfica do Córrego Sossego. A partir da modelagem dos dados de entrada, tem-se como resultado a matriz de pagamentos, preferência que explana quantitativamente a de cada agente em cada estado possível, de acordo com a equação de utilidade estabelecida. A matriz representante desta análise encontra-se no **Apêndice B**.

Desta matriz resultante foram realizados os seguintes procedimentos, correspondentes às etapas interpretação e validação do modelo conceitual SSD-GC desenvolvido (Figura 5.2.): i) avaliação das estratégias individuais dos agentes; ii) análise estatística dos estados disponíveis para cada agente; iii) apresentação dos estados componentes do equilíbrio de Nash; iv) síntese dos resultados com apontamento das diretrizes/interpretações a serem levadas à reunião de negociação entre os agentes.

Inicialmente, procedeu-se a identificação das estratégias individuais dos agentes, conforme exposto na tabela a seguir.

Tabela 5.7: Identificação das estratégias individuais dos agentes.

ESTRATÉGIAS AGENTES - resultados por cenários					
MAIORES RETORNOS	A1	A2	A3	A4	A5
CN 1	0.655	0.652	0.703	0.588	0.700
CN 2	0.596	0.620	0.577	0.594	0.577
CN 3	0.216	0.221	0.224	0.266	0.208
Cenário Maior:	CN 1	CN 1	CN 1	CN2	CN 1
Cenário Menor:	CN3	CN3	CN3	CN3	CN3
MENORES RETORNOS	A1	A2	A3	A4	A5
CN 1	0.582	0.580	0.626	0.515	0.624
CN 2	0.524	0.549	0.500	0.521	0.502
CN 3	0.144	0.150	0.148	0.193	0.132
Cenário Maior:	CN 1	CN 1	CN 1	CN2	CN 1
Cenário Menor:	CN3	CN3	CN3	CN3	CN3

Neste momento, a análise e interpretação são definidas individualmente por cada agente, ou seja, se cada agente olhasse para os seus retornos, independente da decisão dos demais agentes, estes seriam seus retornos máximos e mínimos para cada cenário.

Observando primeiramente o campo de retornos máximos, observa-se que os agentes A01, A02, A03 e A05 terão maior retorno individual se estes escolherem o cenário CN1, de viés produtivista. Já para o agentes A04 o maior retorno está ligado ao cenário CN2, dito equilibrado entre práticas de produção e conservação. E para todos, o cenário CN3, de cunho direcionado a práticas conservacionistas é o de menor retorno. Analogamente, a situação explicada para os maiores retornos é mesma condição demonstrada quando se avalia os menores retornos possíveis de cada cenário.

A análise sequencial avalia questões acerca da flexibilidade de aceitação de mudança de cenário pelos agentes. Para os agentes A3 e A5 até o menor valor associado ao cenário CN1, respectivamente, 0.626 e 0.624 é maior do que os maiores valores associados ao segundo cenário preferido destes, o CN2, que é 0.577 para ambos. Isso indica que estes agentes, presumivelmente, não aceitarão mudar de cenário.

Os agente A1 e A2, apresentam resultados mínimos do CN1 (0.580 e 0.582, respectivamente) que são menores que os maiores retornos do CN2 (0.596 e 0.620), então, podemos interpretar que nesta decisão os agentes preferencialmente escolherão seguir o CN1, mas podem mostra-se flexíveis a aceitação do CN2. Já o agente A4, por sua vez apresenta uma amplitude de retorno

(diferença entre o valor máximo e mínimo do coeficiente para cada cenário) bastante semelhante entre os cenários CN1 e CN2, mostrando-se potencialmente sugestivo a aceitar qualquer uma das duas opções.

Comparando estas perspectivas com aquelas análises comportamentais feitas antes da simulação verifica-se que os agentes A1, A3 e A4 que comprovam ter um padrão de decisão semelhante ao que havia sido pré-avaliado, sendo o primeiro e o segundo de viés produtivista e o terceiro com maior tendência ao conservadorismo (em comparação ao demais agentes, pois ele demonstra aceitar o CN2). Sobre o agente A5, principalmente, a pré-avaliação que o classificava como conservacionista mostrou-se equivocada, pois no resultado individual este mostrou pouco ou nada flexível a outro cenário que não seja o CN1, produtivista.

Para aprofundar as interpretações, são apresentados os resultados estatísticos sobre os estados resultantes, ou seja, sobre a conjunção de cenários escolhidos pelos agentes. A Tabela 5.8, obtida automaticamente pela ferramenta apresenta algumas análises.

Tabela 5.8: Análises estatísticas sobre os coeficientes de utilidade resultantes da simulação e cenários respectivos.

ESTATÍSTICAS	A 1		A 2		A 3		A 4		A 5	
	VALOR	ESTADO								
Maximização	0.655	12222	0.652	21222	0.703	22122	0.594	22222	0.700	22221
Minimização	0.144	33313	0.150	33313	0.148	33313	0.193	33333	0.132	33313
Amplitude	0.511	-	0.502	-	0.555	-	0.401	-	0.568	-
Média	0.453	-	0.464	-	0.462	-	0.448	-	0.456	-
Desvio padrão	0.195	-	0.197	-	0.204	-	0.154	-	0.210	-
Percentil 65	0.582	-	0.600	-	0.564	-	0.555	-	0.564	-
Maxmin	0.582	13313	0.580	31313	0.626	33113	0.521	33323	0.624	33311

Os resultados de otimização obtidos da maximização dos coeficientes para cada agente alinham-se com a estratégia individual destes, observada anteriormente, pois a posição correspondente a cada agente expressa aquele cenário apontado como melhor para ele. Por exemplo, para o agente A1 tem como estado associado ao seu melhor retorno o 12222, isso representa, como expresso na Tabela 5.7, que o mesmo tem a preferência em seguir o cenário CN1.

Neste mesmo ambiente de maximização é possível observar que para cada agente a composição de melhor coeficiente representa seu cenário específico (CN1 para os agentes A1, A2, A3 e A5; e CN2 para A4) conjuntamente com a decisão de que os demais agentes sigam os preceitos de uso e ocupação do solo orientados à Intensificação Sustentável, o CN2. A interpretação desta condição sobre a ocupação de um território é relevante, pois demonstra que os agentes se beneficiariam em nível máximo se todos seguissem um caminho sustentável e ele não (com exceção do agente A4).

Como num ambiente de bacia hidrográfica as ações estão inter-relacionadas, de modo que a ação de um agente gera consequências (positivas ou negativas) sobre os demais, a representação acima desenha a condição de que o agente em foco se beneficiaria de ações conservacionistas adotadas pelos demais agentes. Este aspecto é denominado de usuário caroneiro, que significa que o agente obtém benefícios resultantes da decisão de outros agentes, sem contudo realizar a mesma contrapartida que os demais.

Uma outra questão a ser analisada dentro desta ceara decorre do porquê o usuário caroneiro não se manifesta pela expressão de que o agente em foco prefira o CN1 e que a composição do estado seja com os demais no CN3, que tem mais viés conservacionista do que o CN2. Aqui, a resposta relaciona-se a função de utilidade, onde foi referenciado uma relação positiva entre os agentes, ou seja, os ganhos de um agente impulsionam os ganhos dos demais. Na interpretação da situação representa que por um produtor ter retorno derivado de uma ação produtivista, os demais agentes, provavelmente, observarão e seguirão o mesmo caminho, gerando até a possibilidade de ganho de escala. Assim, é interessante ao produtor que os demais agentes mantenham produção e não apenas ajam de modo conservacionista.

Esta circunstância reflete diretamente sobre a composição dos estados de minimização, onde é demonstrado que sua formação é derivada da seleção por todos os agentes do CN3, com exceção da posição do agente A4 nos estados representantes dos outros agentes, onde está apontado que este teria a posição de CN1, formando o estado 33313. Nesta situação o agente A4 pode ser considerado um usuário caroneiro, tanto que esta não representa sua condição de mínimo retorno. Entretanto, como não é do seu interesse ser um agente focado no produtivismo, a interdependência entre as ações dos agentes, representada na função de utilidade, afirma que a satisfação deste ao seguir pelo cenário CN1 seria a de menor contribuição para os demais agentes, formando assim, os menores retornos.

Retornando a Tabela 5.8 passa-se a avaliação da condição de maxmin, que representa uma condição de escolha pelos agentes baseada no menor retorno possível advindo da melhor alternativa. Nesta resposta os agentes apontam o pior estado que poderia lhes ocorrer em termo de retorno, caso escolhessem suas melhores alternativas, ou seja, está representando em termo de estados resultantes aquela condição avaliada na Tabela 5.7 na parte de menores retornos.

A interpretação desta resposta é que os estados são compostos pela escolha prioritária do agente avaliado (CN1 para os agentes A1, A2, A3 e A5; e CN2 para A4) e que os demais agentes optem por princípios regidos pelo conservacionismo. Mais uma vez, cabe a ressalva de que o agente A4 possui menor satisfação incremental ao demais agentes se seguir o CN1 do que se seguir o CN3.

A análise de percentil possibilita determinar agrupamento de cenários que tem maiores coeficiente de retorno. Neste estudo a determinação do percentil 65 consiste numa forma de determinar os 85 estados preferenciais frente aos 243 possíveis para cada agente. Na interseção entre estas condições tidas como melhores para cada agente, definimos as opções aceitáveis.

O percentual de aceitabilidade, neste caso, 65% pode variar conforme a interpretação de aceitabilidade da simulação e dos agentes, de modo individual ou conjunto. Nesta aplicação, a interseção resultou em 10 cenários, tido como aceitáveis por todos os agentes. São eles: {11111; 11121; 12121; 12122; 12221; 12222; 22121; 22122; 22221; 22222}.

Destacam-se nesta seleção os cenários 11111 que caracteriza como um padrão produtivista coletivo para a região e o 22222 que demonstra um direcionamento a implementação de preceitos da Intensificação Sustentável. O retorno advindo destes cenários onde todos os agentes escolhem a mesma opção são relevantes pois demonstram o ganho de escala, ou seja, potencializam o resultado representado pelo fato de todo os agentes demonstrarem sintonia ao mesmo direcionamento.

Em especial, como o objetivo desta aplicação é promover a Intensificação Sustentável, parte-se a avaliação do estado representante deste (22222) pelo retorno resultante aos agentes, na Tabela 5.9.

Tabela 5.9: Avaliação do retorno aos agentes pelo estado 22222, em relação a outros estados

	A1	A2	A3	A4	A5
Retorno do estado 22222	0.596	0.620	0.577	0.594	0.577
Diferença entre estado de maximização e estado 22222	0.059 (12%)	0.032 (6%)	0.126 (23%)	0.000 (0%)	0.123 (22%)
Diferença entre estado de maxmin e estado 22222	-0.014 (-3%)	-0.040 (-8%)	0.049 (9%)	-0.073 (-18%)	0.047 (8%)

De antemão a análise considera-se o estado 22222 como aceitável para todos os agentes por estar na interseção do percentil 65 de todos. Mas para evidenciar sua viabilidade, além das questões que o qualificam como condição mais sustentável para a bacia hidrográfica, avaliou-se a distância em valores de retorno que este estado encontra-se dos preferenciais a cada agente.

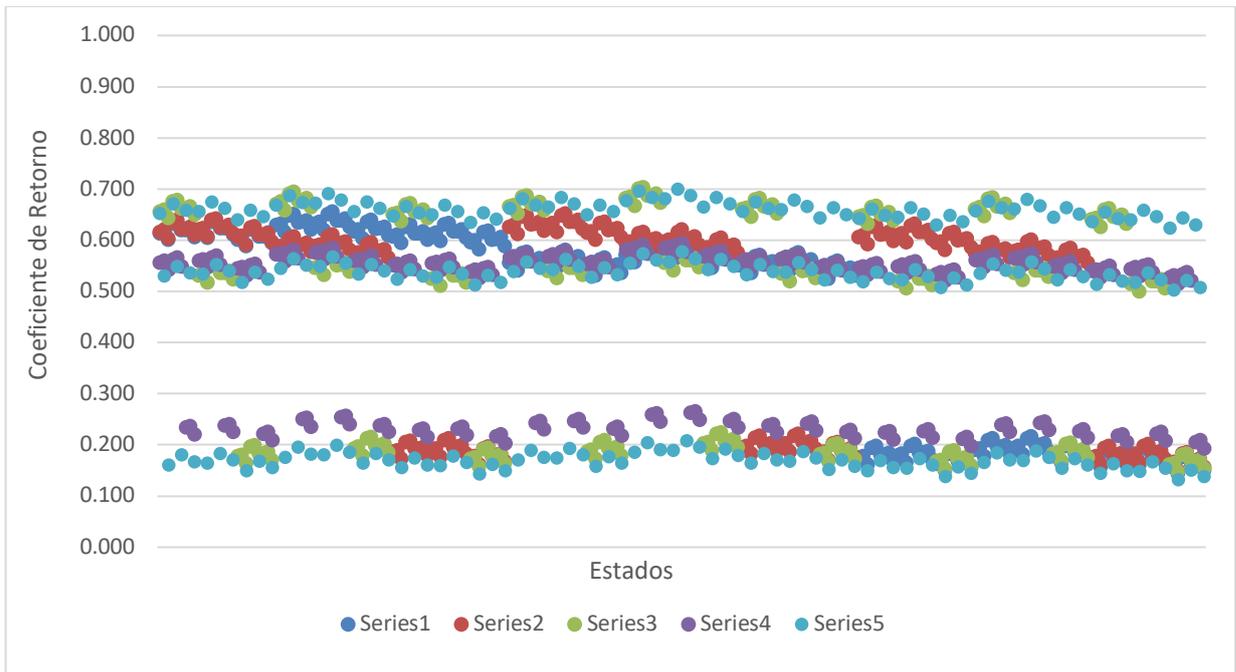
Os valores percentuais informados na tabela acima representam a diferença retratada em termos relativos a amplitude de variação de retorno de cada agente. Assim, consegue-se dimensionar o esforço dos agentes para o alcance do estado mais sustentável. Em relação ao seu estado de maximização, os agentes A3 e A5 serão aqueles que terão de fazer maior esforço (aceitar reduzir seu retorno) para todos alcançarem o estado 22222, e como havia sido mencionado anteriormente, estes mesmos agentes são aqueles que demonstram maior resistência em mudar de cenário. Já o agente A4 encontra seu melhor retorno no cenário CN2, não tendo que mudar de opção.

Quando se apresenta a situação do estado 22222 em relação ao maxmin, que representa a pior resposta oriunda da escolha do agente a sua melhor alternativa, é possível verificar que alguns agentes poderiam tornar-se mais suscetível a aceitação dele, pois até ganhariam em termo de retorno (o sinal negativo representa que o retorno do estado 22222 é maior do que o do maxmin para aquele agente).

O dimensionamento deste esforço relativo a cada agente para alcançar a situação mais sustentável fornece elementos ao processo de negociação no qual consegue valorar a quais agentes o cenário mostra-se vantajoso, e para quais será necessário articular ações de troca e subsídios para que possam aceitar.

Para demonstrar visualmente aos agentes a variabilidade de resultados possíveis nos 243 estados analisados para cada agente, apresenta-se na **Figura 5.7** um gráfico de que relaciona os agentes, aos estados e aos retornos respectivos.

Figura 5.7: Gráfico de representação da variabilidade dos resultados entre os estados .



Duas faixas destacam-se na interpretação do gráfico acima. A primeira, com valores entre 0.1 e 0.3 é formada pelos retornos aos agentes quando estão envolvidas a seleção do CN3. Nesta aplicação experimental observou-se que os agentes tiveram sempre seus menores retornos associados a este cenário, o que demonstra que na região a orientação e restrição de usos em direção a características apenas de conservação ambiental não gera satisfação aos agentes.

A segunda faixa, dos valores entre 0.5 e 0.7 apresentam os conjuntos de estados compostos pelos cenários CN1 e CN2 pelos agentes. É dentro deste escopo que estarão as possibilidades de aceitação dos agentes para a negociação do planejamento do desenvolvimento regional.

Para finalizar as análises cabe buscar possíveis resultados de estados estáveis entre os agentes, que não necessariamente sejam os cenários de otimização. Estes resultados de estabilidade representam condições realísticas, onde não há certeza sobre a escolha dos outros, e cada agente tende a agir de forma a escolher individualmente e independentemente da ação dos outros, de modo a alcançar, ao menos, um resultado que lhe garantirá um coeficiente satisfatório de utilidade. Para tanto, considera-se que o decisor tem conhecimento das estratégias possíveis aos demais, mas realiza sua escolha sem considerar possíveis reações destes a sua movimentação.

O resultado considerando estas condições pode não explicar os cenários de otimização, uma vez que o agente decisor levará em consideração apenas as suas possibilidades de

movimentação entre as diferentes alternativas, e não todas as movimentações possíveis de todos os indivíduos, como é o determinante da condição de maximização. Nesta aplicação experimental, este resultado de cenários estáveis pode explicar condições resultantes para a região caso não haja procedimentos de negociação entre os agentes.

Um dos estados estáveis determinados de forma individual e independente pelos agentes é o Equilíbrio de Nash. A Tabela 5.10 apresenta a condição resultante da busca por estados que representem o Equilíbrio de Nash.

Tabela 5.10 Resultados apresentados para a determinação de cenários de estabilidade, por meio do Equilíbrio de Nash.

Estados	Coeficiente de Retorno				
	A1	A2	A3	A 4	A5
11111	0.613	0.616	0.656	0.556	0.652

Nesta aplicação experimental, apenas 1 estado foi resultante da investigação do equilíbrio de Nash pelo método de estratégias não dominadas, o 11111, ou seja, aquele onde todos os agentes direcionam suas práticas de uso e manejo do solo a práticas produtivistas. Isso representa que pelo processo de eliminação de estratégias completamente dominadas para cada agente, restam os estados de seleção de CN1 por cada agente, orientando ao estado 11111 ao final.

A interpretação a ser informada aos agentes é que caso não haja um processo de negociação a tendência é que individualmente cada agente oriente-se a práticas produtivistas, e conseqüentemente, toda a região. Este resultado pode satisfazer aos agentes, mas não é sustentável, o que poderá implicar em conseqüências ambientais, econômicas, sociais e institucionais negativas e que não foram por este estudo avaliadas.

Para sintetizar todas as análises decorrentes da aplicação da ferramenta SSD-GC na bacia hidrográfica do Córrego Sossego, apresenta-se o **Quadro 5.5**.

Quadro 5.5: Síntese dos resultados obtidos pela aplicação da ferramenta SSD-GC na bacia hidrográfica do Córrego Sossego.

Questões a serem respondidas?	Síntese das respostas para a aplicação experimental na bacia hidrográfica do Córrego Sossego
Qual o melhor cenário e estado para cada agente?	A1: CN1 que compõe o estado 12222 A2: CN1 que compõe o estado 21222 A3: CN1 que compõe o estado 22122 A4: CN2 que compõe o estado 22222 A5: CN1 que compõe o estado 22221
Qual o pior cenário e estado para cada agente?	A1: CN3 que compõe o estado 33313 A2: CN3 que compõe o estado 33313 A3: CN3 que compõe o estado 33313 A4: CN3 que compõe o estado 33333 A5: CN3 que compõe o estado 33313
Quais cenários encontram-se na faixa de aceitabilidade de cada agente?	Os estados na zona de aceitabilidade de todos os agentes são 11111; 11121; 12121; 12122; 12221; 12222; 22121; 22122; 22221; 22222.
O que pode acontecer se um agente decidir unilateralmente tomar uma opção de ação?	A soma destas ações leva ao estado 11111, que caracteriza o estado onde todos os agentes orientam-se a ações denominadas produtivistas.
Há algum agente se beneficiando, sem contrapartida, da decisão acertada pelos demais?	Os agentes A1, A2, A3 e A5 nos estados que geram maior retorno estão atuando como agentes carroneiros dos demais, ou seja, estão recebendo benefícios oriundo de sacrifícios feitos pelos demais.
Quais cenários podem ser considerados sustentáveis?	Desde a construção da aplicação sabe-se que o melhor estado em nível de sustentabilidade é o 22222, onde
Vale a pena cooperar com outros decisores para alcançar o cenário final, benéfico para todos?	O esforço da colaboração dos agentes para alcançar o cenário sustentável é

A partir destas respostas e suas interpretações, as etapas seguintes estabelecidas pelo modelo conceitual consistem em validar estas informações com os agentes e leva-las para uma reunião

de negociação entre os mesmos. Aqui cabe novamente a ressalva de que estes procedimentos finais não foram realizados, por conta da não identificação com a problemática tratada pelos agentes locais e devido a inserção de dados de entrada que visavam mostrar a aplicabilidade da ferramenta, sem contudo ter embasamento na realidade local.

Entretanto, a apresentação da ferramenta e a potencialidade de elementos que podem embasar uma negociação entre agentes subsidiam a apresentação da mesma como um sistema de suporte à decisão para análise de conflitos. Adiante será analisado o desempenho da ferramenta desenvolvida e a comparação com resultados obtidos pelos métodos

5.3 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA FERRAMENTA SSD-GC

Em sequência a construção da ferramenta e sua aplicação experimental torna-se necessário avaliar o desempenho do mesmo. Para tanto, serão realizadas análises de robustez, sensibilidade e incerteza da ferramenta SSD-GC e avaliações comparativas dos resultados gerados em relação a ferramentas de Análise Multicriterial.

5.3.1 Avaliação Comparativa entre a Ferramenta SSD-GC e Métodos Tradicionais de Análise Multicriterial

Esta sessão tem a intenção de analisar comparativamente os resultados gerados pelo SSD-GC e pelos métodos de Análise Multicriterial ELECTRE III e TOPSIS, considerando a aplicação experimental na bacia hidrográfica do Córrego Sossego. Os resultados da ferramenta SSD-GC já foram apresentados, então, na tabela a seguir são dispostos os resultados dos métodos de Análise Multicriterial considerando uma aplicação individual dos agentes (com base em seus próprios pesos) e o agrupamento dos pesos via média geométrica.

Tabela 5.11: Resultado da aplicação da Análise Multicriterial para cada um dos agentes e para a média nos métodos ELECTRE III e TOPSIS.

ELECTRE III				TOPSIS			
	CN1	CN2	CN3		CN1	CN2	CN3
MÉDIA	4	0	-4	MÉDIA	0.505	0.732	0.301
A 1	4	0	-4	A 1	0.545	0.766	0.288
A 2	4	0	-4	A 2	0.444	0.818	0.309
A 3	4	0	-4	A 3	0.586	0.676	0.301
A 4	4	0	-4	A 4	0.291	0.747	0.435
A 5	4	0	-4	A 5	0.569	0.645	0.249

Pode-se dividir a análise desta tabela em três momentos: i) os resultados entre os métodos analisados; ii) a representatividade da análise da média; e, iii) as diferenças entre as respostas dos métodos de Análise Multicriterial e do SSD-GC.

Primeiramente, é possível verificar que os resultados apontados como melhores para os dois métodos de Análise Multicriterial avaliados distinguem-se, sendo para todos os agentes no ELECTRE III o cenário CN1, e no TOPSIS o cenário CN2. Essa diferença de resultados entre métodos é citada por diversos autores, ressaltando a importância de se analisar a adequabilidade da ferramenta ao objetivo da aplicação. A sessão 5.1.4. fez essa discussão entre características relevantes dos métodos de Análise Multicriterial.

Esta indicação de resultados diferentes não é surpreendente, visto que dentro do escopo da Análise Multicriterial esta diferenciação é bastante recorrente, em vista dos diferentes objetivos e formulações que os métodos possuem. Por isso, mais do que o resultado numérico, na aplicação de técnicas de Análise Multicriterial deve-se destacar o processo da construção dos elementos como embasamento da interpretação resultante.

A segunda avaliação decorrente da Tabela 5.11, busca verificar a representatividade da análise ponderada pela média nas técnicas de Análise Multicriterial empregadas. Neste exemplo específico, a utilização da média mostrou-se adequada, uma vez que na simulação do ELECTRE III todos os resultados dos agentes demonstraram o mesmo ordenamento de preferências e na utilização do TOPSIS, apenas houve discordância do pior cenário disposto agente A4.

Essa circunstância representada, no entanto, deve ser considerada com ressalvas, para não evidenciar a utilização de medidas de ponderação como representativas para situações de

potenciais divergências entre a preferência dos agentes. Esses processos estatísticos tem potencial de descaracterizar tais aspectos. A aplicação aqui apenas não identificou diferenças entre os agentes pelos métodos utilizados.

Comparando os resultados obtidos por estes métodos com os resultantes da ferramenta SSD-GC é possível destacar os elementos diferenciais que a ferramenta introduz ao debate de suporte à decisão, como a função de utilidade, os resultados de estabilidade, faixas de aceitabilidade, dentre outras. Entretanto, verifica-se no SSD-GC a maior necessidade de avaliações estatísticas sobre a matriz de resultado e interpretação das mesmas.

Numa análise de aplicação de Intensificação Sustentável em escala de pequenas bacias hidrográficas, como já destacado há questões de complexidade do sistema e das interações estratégicas entre os agentes que apontam maior adequabilidade da ferramenta SSD-GC do que os métodos usuais de Análise Multicriterial.

Tendo feitas as considerações da comparação entre as metodologias e verificada viabilidade da ferramenta construída por este trabalho, parte-se a análise do desempenho desta técnica SSD-GC frente a avaliações de robustez.

5.3.2 Avaliação de Sensibilidade e Incerteza da Ferramenta SSD-GC

As avaliações de sensibilidade e incerteza ocorreram partir das 500 simulações realizadas com aplicação do Sistema de Suporte à Decisão e Gestão de Conflitos (SSD-GC), subdivididas em 10 interações, e que caracterizam diferentes cenários para análise do comportamento da ferramenta frente a variação dos dados de entrada.

Cada interação é composta por 50 simulações que permitem a variação dos dados de entrada dentro de uma faixa de valores. A descrição das interações é apresentada na sessão 4.4.2 do capítulo de metodologia.

A intenção desta seção encontra-se na demonstração de que a ferramenta SSD-GC apresenta variabilidade dos resultados, sendo, portanto, uma ferramenta sensível aos dados de entrada

nela inseridos e com isso modelável para representação da tomada de decisão dos agentes em problemas que envolvem a análise de conflitos.

A primeira avaliação das simulações consiste em uma análise estatística descritiva para determinar os comportamentos médios de cada agente e médio geral, o erro padrão e o desvio-padrão de cada interação. Esta avaliação é importante para verificar as características e potenciais distinções entre interações.

O resultado gerado por cada simulação constitui uma matriz de 5 colunas (1 para cada agente) e 243 linhas (uma para cada estado possível, como são 3 cenários para 5 agentes, tem-se três elevado a quinta potência). Para representação e análise selecionou-se a média e o desvio-padrão dos coeficientes máximos, médios, mínimos e de amplitude de cada interação para cada agente e para o agente médio.

A tabela a seguir apresenta os resultados da análise estatística das interações simuladas.

Tabela 5.12: Estatísticas descritivas das 500 interações simuladas para avaliação da ferramenta SSD-GC.

		Valor Médio das Simulações em relação ao:						Desvio- Padrão em relação ao:					
		A 01	A 02	A 03	A 04	A 05	Média	A 01	A 02	A 03	A 04	A 05	Média
Máximo das simulações:	IT 01	0.634	0.632	0.635	0.634	0.641	0.635	0.110	0.126	0.119	0.122	0.125	0.120
	IT 02	0.413	0.399	0.401	0.403	0.416	0.406	0.135	0.134	0.133	0.139	0.132	0.135
	IT 03	0.752	0.752	0.761	0.760	0.758	0.757	0.124	0.119	0.124	0.118	0.130	0.123
	IT 04	0.753	0.754	0.763	0.761	0.760	0.758	0.125	0.120	0.126	0.120	0.131	0.124
	IT 05	0.433	0.436	0.426	0.429	0.441	0.433	0.162	0.165	0.164	0.158	0.167	0.163
	IT 06	0.563	0.562	0.559	0.567	0.566	0.563	0.110	0.109	0.108	0.103	0.111	0.108
	IT 07	0.768	0.770	0.759	0.762	0.754	0.763	0.109	0.110	0.104	0.108	0.115	0.109
	IT 08	0.737	0.741	0.741	0.735	0.740	0.739	0.143	0.134	0.134	0.131	0.144	0.137
	IT 09	0.381	0.377	0.379	0.377	0.383	0.379	0.116	0.115	0.118	0.111	0.121	0.116
	IT 10	0.435	0.438	0.440	0.436	0.435	0.437	0.154	0.153	0.159	0.157	0.148	0.154
Mínimo das simulações:	IT 01	0.273	0.270	0.268	0.270	0.268	0.270	0.111	0.107	0.106	0.109	0.111	0.109
	IT 02	0.167	0.175	0.172	0.171	0.169	0.171	0.039	0.038	0.045	0.043	0.040	0.041
	IT 03	0.340	0.344	0.337	0.339	0.341	0.340	0.148	0.150	0.152	0.147	0.147	0.149
	IT 04	0.340	0.344	0.336	0.340	0.339	0.340	0.147	0.150	0.151	0.147	0.146	0.148
	IT 05	0.154	0.151	0.161	0.159	0.150	0.155	0.038	0.042	0.039	0.040	0.037	0.039
	IT 06	0.200	0.198	0.199	0.197	0.203	0.199	0.061	0.060	0.064	0.052	0.061	0.060
	IT 07	0.358	0.352	0.359	0.359	0.364	0.359	0.158	0.155	0.152	0.156	0.152	0.154

		Valor Médio das Simulações em relação ao:						Desvio-Padrão em relação ao:					
		A 01	A 02	A 03	A 04	A 05	Média	A 01	A 02	A 03	A 04	A 05	Média
	IT 08	0.276	0.268	0.265	0.266	0.262	0.268	0.125	0.133	0.121	0.123	0.132	0.127
	IT 09	0.166	0.166	0.167	0.169	0.169	0.167	0.049	0.046	0.044	0.046	0.046	0.046
	IT 10	0.150	0.153	0.153	0.157	0.154	0.154	0.036	0.037	0.037	0.036	0.041	0.037
Média das simulações:	IT 01	0.445	0.446	0.445	0.445	0.450	0.446	0.070	0.071	0.070	0.072	0.076	0.072
	IT 02	0.281	0.280	0.281	0.279	0.281	0.280	0.052	0.049	0.053	0.052	0.051	0.051
	IT 03	0.555	0.557	0.557	0.557	0.558	0.557	0.106	0.108	0.106	0.107	0.109	0.107
	IT 04	0.556	0.558	0.557	0.557	0.558	0.557	0.106	0.108	0.106	0.107	0.109	0.107
	IT 05	0.282	0.282	0.282	0.282	0.283	0.282	0.056	0.055	0.054	0.054	0.054	0.055
	IT 06	0.375	0.373	0.372	0.374	0.374	0.374	0.067	0.066	0.066	0.065	0.066	0.066
	IT 07	0.582	0.580	0.578	0.580	0.579	0.580	0.091	0.090	0.089	0.089	0.091	0.090
	IT 08	0.500	0.504	0.504	0.504	0.503	0.503	0.076	0.077	0.076	0.074	0.080	0.077
	IT 09	0.269	0.267	0.268	0.268	0.271	0.268	0.041	0.040	0.042	0.043	0.042	0.042
	IT 10	0.284	0.286	0.286	0.286	0.286	0.286	0.056	0.057	0.056	0.058	0.054	0.056
Amplitude das simulações:	IT 01	0.361	0.362	0.367	0.364	0.373	0.365	0.169	0.188	0.173	0.184	0.181	0.179
	IT 02	0.246	0.224	0.228	0.232	0.248	0.236	0.151	0.153	0.159	0.161	0.153	0.155
	IT 03	0.413	0.407	0.424	0.420	0.418	0.416	0.177	0.171	0.178	0.175	0.178	0.176
	IT 04	0.414	0.410	0.427	0.421	0.421	0.419	0.177	0.171	0.178	0.176	0.177	0.176
	IT 05	0.279	0.285	0.265	0.270	0.291	0.278	0.175	0.183	0.179	0.176	0.187	0.180
	IT 06	0.362	0.365	0.360	0.370	0.363	0.364	0.099	0.101	0.106	0.088	0.114	0.102
	IT 07	0.410	0.417	0.400	0.402	0.390	0.404	0.191	0.183	0.180	0.186	0.189	0.186
	IT 08	0.461	0.472	0.475	0.469	0.478	0.471	0.203	0.201	0.187	0.188	0.207	0.197
	IT 09	0.215	0.212	0.212	0.208	0.214	0.212	0.146	0.147	0.144	0.140	0.150	0.145
	IT 10	0.285	0.285	0.287	0.279	0.281	0.283	0.172	0.174	0.183	0.177	0.172	0.176

A tabela de estatísticas descritivas demonstra que a ferramenta SSD-GC possui significativa variabilidade nos coeficientes resultantes quando faz-se uma avaliação comparativa entre as interações. Este ponto está diretamente relacionado a variabilidade de dados de entrada aplicados as interações.

Quando se analisa a variação entre agentes, numa observação baseada no padrão médio dos coeficientes resultantes, não é possível verificar uma variabilidade significativa. Este fato não representa, no entanto, o que ocorre ao longo dos 243 estados possíveis que cada simulação obtêm para cada agente. É que a média é uma medida de ponto central e como a faixa de variação entre as interações é semelhante, esta não é capaz de apontar significativas diferenças.

Já quando se observa o lado direito da tabela que refere-se ao desvio-padrão das interações ele tem o intuito de evidenciar que a variabilidade encontrada nos resultados é bem pequena,

levando em consideração a escala dos dados. Também, os valores da variabilidade, representada pelo desvio padrão, sofrem alterações com a mudança no tipo da interação, assim como os valores médios, o que dá indícios de que a alteração nos valores dos parâmetros é relevante.

Desta métrica também pode-se obter o erro padrão que, neste caso, por ser um valor bem pequeno considerando a escala dos dados, dá indícios de uma boa precisão do instrumento de medição sob estudo.

Em sequência, passa-se a avaliação do teste de normalidade dos resultados para verificar se estes seguem uma distribuição normal de probabilidade. Este passo é relevante pois influenciará no cálculo dos coeficientes de incerteza. A tabela a seguir apresenta o resultado pelos métodos de Komogorov-Smirnov (KS) e Anderson-Darling (AS).

Tabela 5.13: Resultado dos testes de normalidade para as interações de avaliação da ferramenta SSD-GC.

Interações	Testes de Normalidade	Estatística	P - Valor
IT 01	KS	0.090	0.000
	AD	1026.000	0.000
IT 02	KS	0.184	0.000
	AD	4175.600	0.000
IT 03	KS	0.088	0.000
	AD	899.710	0.000
IT 04	KS	0.085	0.000
	AD	847.400	0.000
IT 05	KS	0.164	0.000
	AD	3578.700	0.000
IT 06	KS	0.129	0.000
	AD	1679.500	0.000
IT 07	KS	0.113	0.000
	AD	1169.400	0.000
IT 08	KS	0.069	0.000
	AD	647.510	0.000
IT 09	KS	0.164	0.000
	AD	3327.600	0.000
IT 10	KS	0.179	0.000
	AD	3712.100	0.000

Legenda: KS: Teste de Komogorov-Smirnov; AD: Anderson-Darling.

Os resultados apresentados pelos testes de Komogorov-Smirnov e Anderson-Darling demonstram que as interações não possuem dados que seguem a distribuição normal de probabilidade, isto é, rejeita-se a hipótese de que os dados sob análise seguem uma distribuição Normal de probabilidade ao nível de 5% de significância (o mesmo que 95% de confiança). Este resultado é determinante para definição da metodologia de cálculo dos coeficientes de sensibilidade.

Após a execução dos testes de normalidade, foram obtidos os coeficientes de incerteza e sensibilidade. Com relação às incertezas, foram obtidas a incerteza padrão, para cada interação, a incerteza combinada, que considerou o conjunto total de simulações e a incerteza expandida, que é utilizada para elaborar intervalos de confiança para a simulação.

Os resultados do cálculo das incertezas e sensibilidade, são apresentados na tabela Tabela 5.14

Tabela 5.14: Coeficientes de incerteza e sensibilidade das 10 interações realizadas para avaliação da ferramenta SSD-GC.

Interações	Incerteza Padrão	Coefficiente de Sensibilidade	Incerteza Combinada	Incerteza Expandida
IT 01	0.00145	0.00326	0.00442	0.00884
IT 02	0.00098	0.00354		
IT 03	0.00170	0.00305		
IT 04	0.00170	0.00396		
IT 05	0.00111	0.00355		
IT 06	0.00133	0.00283		
IT 07	0.00164	0.00351		
IT 08	0.00176	0.00308		
IT 09	0.00083	0.00304		
IT 10	0.00111	0.00388		

Levando em consideração os resultados apresentados na Tabela 5.14, pode-se extrair as seguintes interpretações:

- Os valores da incerteza padrão, que reflete as imprecisões da modelagem em cada interação pouco se alteram com a mudança na interação, representando que apesar da variação nos parâmetros, a ferramenta SSD-GC permanece praticamente com o mesmo nível de incerteza.
- A interação que obteve o maior coeficiente de incerteza foi a Interação 08, com um valor de incerteza padrão igual a $0,00176 = 0,176\%$. Sendo assim, pode-se dizer que o instrumento de medição sob estudo possui um baixíssimo nível de incerteza.

Observe que existe uma incerteza padrão para cada interação, entretanto, é importante se ter um valor que caracterize a incerteza do instrumento como um todo, isto é, uma incerteza geral. Para tanto, foram obtidos os coeficientes de incerteza combinada e incerteza expandida. A incerteza combinada fornece um valor geral para a incerteza do instrumento e, para o estudo em questão, obtivemos um valor de incerteza combinada igual a $0,00442 = 0,442\%$, de modo que pode-se dizer que esse é um baixíssimo valor de incerteza para o instrumento de medição. Com relação à incerteza expandida, ela nos dá um valor de incerteza que pode-se utilizar para montar intervalos de confiança para os valores médios observados de cada interação. Para o estudo em questão, o valor de incerteza expandida foi igual a $0,00884$.

Se tratando dos coeficientes de sensibilidade, apesar de ter-se valores baixos, quando comparado aos valores respectivos de incertezas padrão, pode-se dizer que o instrumento de medição sob estudo é sensível a mudanças nos valores dos parâmetros.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho teve por objetivo propor e avaliar uma metodologia, baseada na associação da Análise Multicriterial e Teoria dos Jogos, para tomada de decisão em situação de conflito visando a promoção da Intensificação Sustentável em pequenas bacias hidrográficas. Em síntese, esta ferramenta teve melhores respostas se comparada à utilização exclusiva destas técnicas. Isso porque o agrupamento agregou à modelagem multicriterial etapas de identificação e gestão de potenciais conflitos entre os agentes envolvidos no processo de decisão dos usos e manejos do solo. Consequentemente, levou à obtenção de soluções potencialmente mais realísticas, estáveis, com maior potencial de satisfazer as preferências da maioria dos envolvidos, e deste modo, mais sustentáveis.

Outras relevantes conclusões inferidas ao longo da pesquisa são:

- A abordagem da Intensificação Agrícola Sustentável em escala de pequenas bacias hidrográficas mostrou-se aderente a concepções metodológicas de desenvolvimento rural sustentável, pois desde a sua concepção, a temática busca agregar a análise aspectos sociais, econômicos, ambientais e institucionais relacionados ao sistema analisado. Em especial, sua aplicabilidade flexível e adaptativa das características locais orienta ações de manejo e gestão integrados do território, buscando equilibrar a aparente dicotomia entre a intensificação da produção agrícola e a sustentabilidade ambiental. A principal vantagem associada a adoção da unidade de pequenas bacias é o potencial ganho de escala de produção e sustentabilidade decorrentes de um planejamento territorial integrado. Entretanto, esta mesma questão insere na temática a necessidade de gerir potenciais conflitos entre os agentes locais ali inseridos.
- A avaliação de metodologias de sustentabilidade usualmente decorre sob a forma índices e indicadores, que devem representar as características locais. Entretanto, características como alta diversidade encontrada na literatura, complexidade de analisar sistemas multidimensionais, não representatividade dos indicadores, duplicidade de fatores considerados e baixa disponibilidade de informações regionais podem dificultar e/ou enviesar a análise realizada. Para subsidiar aplicações voltadas a avaliação da Intensificação Agrícola Sustentável definiu-se uma composição mínima representativa do sistema, por meio de categorias que enquadraram grupos de indicadores. As categorias são: qualidade da água; disponibilidade hídrica; demanda hídrica; fertilidade do solo; perda de solo;

produtividade agrícola e renda; qualidade de vida; acesso a políticas públicas; assistência técnica e legislação; e, representatividade de associações locais. Estas classes visam orientar a seleção dos indicadores componentes das análises, considerando as especificidades locais, e possibilitar aspectos de comparabilidade entre as avaliações realizadas.

- A análise das metodologias de Análise Multicriterial e Teoria dos Jogos para subsidiar a construção de uma ferramenta de suporte a tomada de decisão pela gestão de conflitos, verificou que há grande diversidade de técnicas e ferramentas disponíveis na literatura, e que cada uma delas apresenta vantagens e desvantagens que devem ser avaliadas e selecionadas conforme o objetivo da aplicação. Com foco na avaliação da Intensificação Agrícola Sustentável em pequenas bacias hidrográficas, buscou-se selecionar características que evidenciassem resultados realísticos da situação, não necessariamente respostas otimizadas ou obtidas de consensos ponderadores. Verificou-se que há pertinência no desenvolvimento de uma nova ferramenta, mesmo considerando que em todas foram encontradas características interessantes, pois a proposição aglutinará características presentes em ferramentas distintas, além de incrementá-las. Da Teoria dos Jogos encaminhou-se atributos como a utilização de faixas de aceitabilidade para os agentes e medidas de preferências, por meio de uma função de utilidade. Já derivado da Análise Multicriterial, incorporou-se a relevância do processo de construção de alternativas por meio de critérios. Ademais, as características como possibilidade de incorporar fatores limitantes e pontos fixos de comparabilidade de alternativas, resultaram na seleção dos métodos ELECTRE III e TOPSIS para subsidiar a função de utilidade.
- Da ferramenta associada entre técnicas de análise multicriterial e teoria dos jogos, denominada SSD-GC (Sistema de Suporte à Decisão para Análise de Conflitos) observa-se o incremento dos elementos possíveis de serem levados à discussão, de modo a favorecer uma tomada de decisão pelos agentes numa reunião de negociação, com maior conhecimento e consciência do processo e de sua participação. Isso porque a ferramenta propõe-se a detalhar o processo de formação da decisão de cada agente e a buscar diferentes soluções possíveis, para fornecer aos tomadores de decisão uma seleção de propostas que tenham maiores chances de serem aceitas pelo grupo e o prévio descarte das propostas que seriam quase ou certamente rejeitadas pelo grupo.
- Na aplicação experimental na bacia verificou-se que a ferramenta SSD-GC exemplificou suas possibilidades de demonstrar resultados e trouxe elementos para embasar numericamente aos agentes da bacia hidrográfica que uma decisão cooperativa e articulada entre eles pode levar a região a um cenário sustentável que ainda satisfaz suas preferências

(cenário este em que todos os agentes adotam práticas de uso e manejo do solo condizentes a Intensificação Agrícola Sustentável). O que difere de um dos possíveis resultados estáveis decorrido de práticas individuais e independentes entre os agentes que poderia levar a região a condições de pressão ambiental em virtude da ênfase destes na adoção de práticas com foco produtivista.

- Por fim, do desempenho da ferramenta SSD-GC verifica-se a distinção entre os resultados e procedimentos de análise obtidos em comparação à técnicas consolidadas de Análise Multicriterial. E, pode-se referenciar a ferramenta desenvolvida como um sistema de suporte à decisão útil para subsidiar tomadas de decisão em situações de conflitos, em resultado a identificação de sua sensibilidade decorrente da variância dos dados de entrada.

As recomendações para pesquisas futuras nesta temática centram-se em aspectos de aperfeiçoamento e aplicabilidade da ferramenta SSD-GC, como :

- Aplicar efetivamente e completamente o modelo SSD-GC em uma bacia hidrográfica, contemplando principalmente as etapas de negociação entre os agentes. Trabalhar aspectos da interpretação dos coeficientes para os agentes de modo a não gerar mais discórdia e sim favorecer a cooperação dos mesmos.
- Estabelecer uma interface amigável e intuitiva para a utilização da ferramenta.
- Adicionar a problemática tratada a influência de uma agente institucional com poder de gestão sobre o território.
- Inserir a ferramenta outras possibilidades de resultados estáveis, como as metaracionalidades;
- Avaliar a aplicabilidade da ferramenta em outros trabalhos na área de gestão de recursos hídricos e desenvolvimento territorial, como enquadramento de cursos hídricos, pagamento por serviços ecossistêmicos, etc.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FALTAM VÁRIAS REFERÊNCIAS – SERÃO ADICIONADAS ESSA SEMANA

ATTANASIO, C. M. et al. A importância das áreas ripárias para a sustentabilidade hidrológica do uso da terra em microbacias hidrográficas. **Bragantia**, v. 71, n. 4, p. 493–501, 2012.

BAKER, D., BRIDGES, D., HUNTER, R., JOHNSON, G., KRUPA, J., MURPHY, J. SORENSON, K. Guidebook to Decision- Making Methods, Department of Energy, USA. 2001.

BATISTA, V. M. DE. **Análise de conflitos no processo de definição da cobrança no sistema de gestão hídrica do estado da Paraíba**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2013.

BRAGA, B.; BARBOSA, P.S.F.; NAKAYAMA, P.T. Sistemas de Suporte à Decisão em Recursos Hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n.3, p. 73-95, 1998.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 09 jan. 1997. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1997.

CARRARO, C.; MARCHIORI, C.; SGOBBI, A. Applications of Negotiation Theory to Water Issues. **Nota Di Lavoro, Fondazione Eni Enrico Mattei**, v. 1–65, n. 65, 2005.

CARRARO, C.; MARCHIORI, C.; SGOBBI, A. Negotiating on water: insights from non-cooperative bargaining theory. **Environment and Development Economics**, v. 12, n. 2, p. 329–349, 2007.

CINELLI, M.; COLES, S. R.; KIRWAN, K. Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. **Ecological Indicators**, v. 46, p. 138–148, 2014.

DINAR, A.; RATNER, A.; YARON, D. Evaluating Cooperative Game Theory in Water Resources. **Theory and Decision**, v. 32, p. 1–20, 1992.

FIANI, R. Teoria dos Jogos. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

GETIRANA, A. C. V; DE FÁTIMA MALTA, V. Investigating Strategies of an Irrigation Conflict. **Water Resources Management**, v. 24, n. 12, p. 2893–2916, 2010.

GOVINDAN, K.; JEPSEN, M.B. ELECTRE: a comprehensive literature review on methodologies and applications. **European Journal of Operational Research**, v. 250, n.1, p. 1-29, 2016.

GRECO, S.; EHRGOTT, M.; FIGUEIRA, J.R. Multiple Criteria Decision Analysis: state of the art surveys. 2 ed. New York: Springer, 2016.

GRUPO DE ESTUDOS E AÇÕES EM RECURSOS HÍDRICOS – GEARH. Departamento de Engenharia Ambiental/Centro Tecnológico/Universidade Federal do Espírito Santo (DEA/CT/UFES). **Desenvolvimento de Instrumento para a Gestão de Recursos Hídricos do Norte do Espírito Santo - GEARH-NES**. Edital CT-HIDRO/FINEP 01/2001. Relatório Final. v. 1. 2003

GUERRA, S. C. S. **Subsídio ao aprimoramento do manejo da irrigação de consórcios agroflorestais em situação de escassez hídrica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES, 2014.

HAJKOWICZ, S.; COLLINS, K. A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management. **Water Resources Management**, v. 21, n. 9, p. 1553–1566, 2007.

HAJKOWICZ, S.; HIGGINS, A. A comparison of multiple criteria analysis techniques for water resource management. **European Journal of Operational Research**, v. 184, n. 1, p. 255–265, 2008.

JATO-ESPINO, D. et al. A review of application of multi-criteria decision making methods in construction. **Automation in Construction**, v. 45, p. 151–162, 2014.

LABORATÓRIO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E DESENVOLVIMENTO REGIONAL– LABGEST. **Estudo da relação entre produtividade agrícola e volume de água aplicada na irrigação na bacia experimental do Córrego Sossego – ES**. Fundação Espírito-santense de Ciência e Tecnologia - FAPES. Relatório final de pesquisa. 2010.

LEE, C. S. Multi-objective game-theory models for conflict analysis in reservoir watershed management. **Chemosphere**, v. 87, n. 6, p. 608–613, 2012.

LEONETI, A. B. **Teoria dos jogos e sustentabilidade na tomada de decisão: aplicação a sistemas de tratamento de esgoto.** p. 167, 2012.

LEONETI, A. B. Utility Function for modeling Group Multicriteria Decision Making problems as games. **Operations Research Perspectives**, v. 3, p. 21–26, 2016.

LOPES, M. E. P. de A. **Avaliação de racionalidade do uso da água na agricultura: desenvolvimento de modelos conceituais e de procedimento metodológico em apoio à co/auto-Gestão de microbacia.** 2011. 406 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES, 2011.

LUCE, R.D.; HOWARD, R. **Games and Decisions: introduction and critical surveys.** New York: Wiley, 1957.

MADANI, K. Game theory and water resources. **Journal of Hydrology**, v. 381, n. 3–4, p. 225–238, 2010.

MALTA, V. F. **A busca de uma solução de compromisso em problemas de conflitos em recursos hídricos utilizando um modelo de análise de conflitos – MACPROL.** 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, 2006.

MCKELVEY, R. D.; MCLENNAN, A. M.; TUROCY, T.L. **Gambit: Software Tools for Game Theory.**, 2010. Disponível em: <http://www.gambit-project.org>

NASH, J. Non-cooperative games. **Annals of Mathematics**, v. 54, p. 286-295, 1951

PEDROSA, V.A. **Soluções de Conflitos na Água.** 1 ed. Vitória: ArcelorMittal, 109 p. 2017.

PETERS, H. **Game Theory: a multi-leveled approach.** 2 ed. New York: Springer, 2015.

PODIMATA, M. V.; YANNOPOULOS, P. C. Evolution of Game Theory Application in Irrigation Systems. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 4, p. 271–281, 2015.

POLONI, D. M. **Desenvolvimento e aplicação de procedimento metodológico em suporte ao planejamento participativo para redução de perda de solos em pequenas bacias hidrográficas com emprego da EUPS.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) –

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES, 2010.

PORTO, M.F.; PORTO, R.L.L. (2008). Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, 22(63), 43–60. 2008.

PORTO, R. L. L.; AZEVEDO, L. G. T. **Sistemas de Suporte a Decisões aplicados a problemas de Recursos Hídricos**. In: PORTO, R. L. L. (Org.). Técnicas quantitativas para o gerenciamento de Recursos Hídricos. Porto Alegre: Editora Universidade / UFRGS / Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1997. p. 43-95.

QUARENTEI, L. M. **Elementos para a discussão do conflito de uso e gestão de água na bacia hidrográfica do córrego do sossego, Itarana/ES**. Monografia (Graduação em Geografia), Vitória-ES, Universidade Federal do Espírito Santo. 2008.

QUARENTEI, L. M. **Território e territorialidades na bacia hidrográfica do Córrego Sossego: o uso de escalas de análise para a apreensão de conflitos de gestão de recursos hídricos**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Vitória-ES, Universidade Federal do Espírito Santo. 2010.

RAQUEL, S. et al. Application of game theory for a groundwater conflict in Mexico. **Journal of Environmental Management**, v. 84, n. 4, p. 560–571, 2007.

READ, L.; MADANI, K.; INANLOO, B. Optimality versus stability in water resource allocation. **Journal of Environmental Management**, v. 133, p. 343–354, 2014.

ROY, B. ELECTRE III: un algorithme de method de classements fonde sur une representation floue des preferences en presence de critères multiples. **Cahiers de CERO**, v. 20, n.1, p. 3-24, 1978.

SENSARMA, S. R.; OKADA, N. Redefining the Game in Local Water Management Conflict: A Case Study. **Water Resources Management**, v. 24, n. 15, p. 4307–4316, 2010.

SKARDI, M. J. E.; AFSHAR, A.; SOLIS, S. S. Simulation-optimization model for non-point source pollution management in watersheds: Application of cooperative game theory. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 17, n. 6, p. 1232–1240, 2013.

TEIXEIRA, E.C. (Org.) **Recursos Hídricos e Desenvolvimento Socioeconômico**. Vitória: Enfoque Comunicação e marketing. 166p. 2003.

VARIAN, H.R. **Microeconomia: princípios básicos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2003.

VIEIRA, B.M. **Avaliação da qualidade das águas e de sua compatibilidade com os usos em microbacias hidrográficas rurais com déficit hídrico quantitativo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES, 2015.

VIEIRA, Z. M. C. L. **Metodologia de análise de conflitos na implantação de medidas de gestão da demanda urbana de água**. 255p. Tese (Doutorado em Recursos naturais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2008.

YOON, K.; HWANG, C. L. TOPSIS (technique for order preference by similarity to ideal solution)–a multiple attribute decision making, w: **Multiple attribute decision making–methods and applications**. 1981.

LOURENÇO, F. R.; KANEKO, T. M.; PINTO, T. J. A. Estimativa da incerteza em ensaio de detecção de endotoxina bacteriana pelo método de gelificação. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 41, n. 4, p. 438-443, 2005.

APENDICE A

Questionário aplicado aos agentes da bacia hidrográfica do Córrego Sossego

IMAGEM DO QUESTIONÁRIO PREENCHIDO - ESCANEAR

APÊNDICE B

Matriz de pagamento resultante da aplicação experimental na Bacia do Córrego Sossego

ESTADOS	CENÁRIO POR AGENTE					RESULTADO DA FUNÇÃO DE UTILIDADE POR AGENTE				
	A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
11111	1	1	1	1	1	0.613	0.616	0.656	0.556	0.652
11112	1	1	1	1	2	0.616	0.620	0.659	0.560	0.530
11113	1	1	1	1	3	0.600	0.603	0.643	0.543	0.161
11121	1	1	1	2	1	0.632	0.635	0.675	0.563	0.671
11122	1	1	1	2	2	0.635	0.639	0.678	0.566	0.549
11123	1	1	1	2	3	0.619	0.622	0.662	0.549	0.180
11131	1	1	1	3	1	0.619	0.622	0.662	0.234	0.658
11132	1	1	1	3	2	0.622	0.626	0.665	0.237	0.536
11133	1	1	1	3	3	0.606	0.609	0.649	0.221	0.167
11211	1	1	2	1	1	0.617	0.620	0.530	0.560	0.656
11212	1	1	2	1	2	0.620	0.623	0.533	0.563	0.534
11213	1	1	2	1	3	0.604	0.607	0.517	0.547	0.164
11221	1	1	2	2	1	0.636	0.639	0.549	0.566	0.675
11222	1	1	2	2	2	0.639	0.642	0.552	0.570	0.553
11223	1	1	2	2	3	0.623	0.626	0.536	0.553	0.183
11231	1	1	2	3	1	0.623	0.626	0.536	0.238	0.662
11232	1	1	2	3	2	0.626	0.629	0.539	0.241	0.540
11233	1	1	2	3	3	0.610	0.613	0.523	0.225	0.170
11311	1	1	3	1	1	0.601	0.605	0.177	0.545	0.640
11312	1	1	3	1	2	0.604	0.608	0.180	0.548	0.518
11313	1	1	3	1	3	0.588	0.591	0.164	0.531	0.149
11321	1	1	3	2	1	0.620	0.624	0.196	0.551	0.659
11322	1	1	3	2	2	0.623	0.627	0.199	0.554	0.537
11323	1	1	3	2	3	0.607	0.610	0.183	0.537	0.168
11331	1	1	3	3	1	0.607	0.611	0.183	0.222	0.646
11332	1	1	3	3	2	0.610	0.614	0.186	0.226	0.524
11333	1	1	3	3	3	0.594	0.597	0.170	0.209	0.155
12111	1	2	1	1	1	0.629	0.584	0.671	0.572	0.668
12112	1	2	1	1	2	0.632	0.588	0.675	0.575	0.545
12113	1	2	1	1	3	0.615	0.571	0.658	0.559	0.176
12121	1	2	1	2	1	0.648	0.603	0.690	0.578	0.687
12122	1	2	1	2	2	0.651	0.607	0.694	0.581	0.564
12123	1	2	1	2	3	0.634	0.590	0.677	0.565	0.195
12131	1	2	1	3	1	0.635	0.590	0.677	0.250	0.674
12132	1	2	1	3	2	0.638	0.594	0.681	0.253	0.551
12133	1	2	1	3	3	0.621	0.577	0.664	0.236	0.182
12211	1	2	2	1	1	0.632	0.588	0.546	0.576	0.672
12212	1	2	2	1	2	0.636	0.591	0.549	0.579	0.549
12213	1	2	2	1	3	0.619	0.575	0.532	0.562	0.180

ESTADOS	CENÁRIO POR AGENTE					RESULTADO DA FUNÇÃO DE UTILIDADE POR AGENTE				
	A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
12221	1	2	2	2	1	0.651	0.607	0.565	0.582	0.691
12222	1	2	2	2	2	0.655	0.610	0.568	0.585	0.568
12223	1	2	2	2	3	0.638	0.594	0.551	0.569	0.199
12231	1	2	2	3	1	0.638	0.594	0.552	0.254	0.678
12232	1	2	2	3	2	0.642	0.597	0.555	0.257	0.555
12233	1	2	2	3	3	0.625	0.581	0.538	0.240	0.186
12311	1	2	3	1	1	0.617	0.573	0.193	0.560	0.656
12312	1	2	3	1	2	0.620	0.576	0.196	0.563	0.534
12313	1	2	3	1	3	0.603	0.559	0.179	0.547	0.164
12321	1	2	3	2	1	0.636	0.592	0.212	0.566	0.675
12322	1	2	3	2	2	0.639	0.595	0.215	0.570	0.553
12323	1	2	3	2	3	0.622	0.578	0.198	0.553	0.183
12331	1	2	3	3	1	0.623	0.579	0.199	0.238	0.662
12332	1	2	3	3	2	0.626	0.582	0.202	0.241	0.540
12333	1	2	3	3	3	0.609	0.565	0.185	0.225	0.170
13111	1	3	1	1	1	0.607	0.186	0.650	0.551	0.647
13112	1	3	1	1	2	0.611	0.189	0.653	0.554	0.524
13113	1	3	1	1	3	0.594	0.173	0.637	0.537	0.155
13121	1	3	1	2	1	0.626	0.205	0.669	0.557	0.666
13122	1	3	1	2	2	0.630	0.208	0.672	0.560	0.543
13123	1	3	1	2	3	0.613	0.192	0.656	0.544	0.174
13131	1	3	1	3	1	0.613	0.192	0.656	0.229	0.653
13132	1	3	1	3	2	0.617	0.195	0.659	0.232	0.530
13133	1	3	1	3	3	0.600	0.179	0.643	0.215	0.161
13211	1	3	2	1	1	0.611	0.190	0.524	0.555	0.650
13212	1	3	2	1	2	0.614	0.193	0.528	0.558	0.528
13213	1	3	2	1	3	0.598	0.176	0.511	0.541	0.159
13221	1	3	2	2	1	0.630	0.209	0.543	0.561	0.669
13222	1	3	2	2	2	0.633	0.212	0.547	0.564	0.547
13223	1	3	2	2	3	0.617	0.195	0.530	0.547	0.178
13231	1	3	2	3	1	0.617	0.196	0.530	0.232	0.656
13232	1	3	2	3	2	0.620	0.199	0.534	0.235	0.534
13233	1	3	2	3	3	0.604	0.182	0.517	0.219	0.165
13311	1	3	3	1	1	0.596	0.174	0.172	0.539	0.635
13312	1	3	3	1	2	0.599	0.177	0.175	0.542	0.512
13313	1	3	3	1	3	0.582	0.161	0.158	0.526	0.143
13321	1	3	3	2	1	0.615	0.193	0.191	0.545	0.654
13322	1	3	3	2	2	0.618	0.196	0.194	0.548	0.531
13323	1	3	3	2	3	0.601	0.180	0.177	0.532	0.162
13331	1	3	3	3	1	0.602	0.180	0.178	0.217	0.641
13332	1	3	3	3	2	0.605	0.183	0.181	0.220	0.518
13333	1	3	3	3	3	0.588	0.167	0.164	0.203	0.149
21111	2	1	1	1	1	0.555	0.626	0.665	0.566	0.662

ESTADOS	CENÁRIO POR AGENTE					RESULTADO DA FUNÇÃO DE UTILIDADE POR AGENTE				
	A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
21112	2	1	1	1	2	0.558	0.629	0.668	0.569	0.539
21113	2	1	1	1	3	0.541	0.612	0.652	0.552	0.170
21121	2	1	1	2	1	0.574	0.645	0.684	0.572	0.681
21122	2	1	1	2	2	0.577	0.648	0.687	0.575	0.558
21123	2	1	1	2	3	0.560	0.631	0.671	0.559	0.189
21131	2	1	1	3	1	0.561	0.632	0.671	0.243	0.668
21132	2	1	1	3	2	0.564	0.635	0.674	0.247	0.545
21133	2	1	1	3	3	0.547	0.618	0.658	0.230	0.176
21211	2	1	2	1	1	0.558	0.629	0.539	0.569	0.665
21212	2	1	2	1	2	0.562	0.633	0.542	0.573	0.543
21213	2	1	2	1	3	0.545	0.616	0.526	0.556	0.174
21221	2	1	2	2	1	0.577	0.648	0.558	0.576	0.684
21222	2	1	2	2	2	0.581	0.652	0.561	0.579	0.562
21223	2	1	2	2	3	0.564	0.635	0.545	0.562	0.193
21231	2	1	2	3	1	0.564	0.635	0.545	0.247	0.671
21232	2	1	2	3	2	0.568	0.639	0.548	0.250	0.549
21233	2	1	2	3	3	0.551	0.622	0.532	0.234	0.180
21311	2	1	3	1	1	0.543	0.614	0.186	0.554	0.650
21312	2	1	3	1	2	0.546	0.617	0.190	0.557	0.527
21313	2	1	3	1	3	0.530	0.600	0.173	0.540	0.158
21321	2	1	3	2	1	0.562	0.633	0.205	0.560	0.669
21322	2	1	3	2	2	0.565	0.636	0.209	0.563	0.546
21323	2	1	3	2	3	0.549	0.619	0.192	0.547	0.177
21331	2	1	3	3	1	0.549	0.620	0.192	0.232	0.656
21332	2	1	3	3	2	0.552	0.623	0.196	0.235	0.533
21333	2	1	3	3	3	0.536	0.606	0.179	0.218	0.164
22111	2	2	1	1	1	0.570	0.594	0.681	0.581	0.677
22112	2	2	1	1	2	0.573	0.597	0.684	0.584	0.555
22113	2	2	1	1	3	0.557	0.580	0.667	0.568	0.185
22121	2	2	1	2	1	0.589	0.613	0.700	0.587	0.696
22122	2	2	1	2	2	0.592	0.616	0.703	0.591	0.574
22123	2	2	1	2	3	0.576	0.599	0.686	0.574	0.204
22131	2	2	1	3	1	0.576	0.600	0.687	0.259	0.683
22132	2	2	1	3	2	0.579	0.603	0.690	0.262	0.561
22133	2	2	1	3	3	0.563	0.586	0.673	0.246	0.191
22211	2	2	2	1	1	0.574	0.597	0.555	0.585	0.681
22212	2	2	2	1	2	0.577	0.601	0.558	0.588	0.558
22213	2	2	2	1	3	0.561	0.584	0.541	0.572	0.189
22221	2	2	2	2	1	0.593	0.616	0.574	0.591	0.700
22222	2	2	2	2	2	0.596	0.620	0.577	0.594	0.577
22223	2	2	2	2	3	0.580	0.603	0.560	0.578	0.208
22231	2	2	2	3	1	0.580	0.603	0.561	0.263	0.687
22232	2	2	2	3	2	0.583	0.607	0.564	0.266	0.564

ESTADOS	CENÁRIO POR AGENTE					RESULTADO DA FUNÇÃO DE UTILIDADE POR AGENTE				
	A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
22233	2	2	2	3	3	0.567	0.590	0.547	0.249	0.195
22311	2	2	3	1	1	0.558	0.582	0.202	0.569	0.665
22312	2	2	3	1	2	0.562	0.585	0.205	0.573	0.543
22313	2	2	3	1	3	0.545	0.569	0.189	0.556	0.173
22321	2	2	3	2	1	0.577	0.601	0.221	0.576	0.684
22322	2	2	3	2	2	0.581	0.604	0.224	0.579	0.562
22323	2	2	3	2	3	0.564	0.588	0.208	0.562	0.192
22331	2	2	3	3	1	0.564	0.588	0.208	0.247	0.671
22332	2	2	3	3	2	0.568	0.591	0.211	0.250	0.549
22333	2	2	3	3	3	0.551	0.575	0.195	0.234	0.179
23111	2	3	1	1	1	0.549	0.195	0.660	0.560	0.656
23112	2	3	1	1	2	0.552	0.198	0.663	0.563	0.533
23113	2	3	1	1	3	0.536	0.182	0.646	0.547	0.164
23121	2	3	1	2	1	0.568	0.214	0.679	0.566	0.675
23122	2	3	1	2	2	0.571	0.217	0.682	0.569	0.552
23123	2	3	1	2	3	0.555	0.201	0.665	0.553	0.183
23131	2	3	1	3	1	0.555	0.201	0.666	0.238	0.662
23132	2	3	1	3	2	0.558	0.204	0.669	0.241	0.539
23133	2	3	1	3	3	0.542	0.188	0.652	0.224	0.170
23211	2	3	2	1	1	0.553	0.199	0.534	0.564	0.660
23212	2	3	2	1	2	0.556	0.202	0.537	0.567	0.537
23213	2	3	2	1	3	0.540	0.186	0.520	0.550	0.168
23221	2	3	2	2	1	0.572	0.218	0.553	0.570	0.679
23222	2	3	2	2	2	0.575	0.221	0.556	0.573	0.556
23223	2	3	2	2	3	0.558	0.205	0.539	0.557	0.187
23231	2	3	2	3	1	0.559	0.205	0.540	0.242	0.666
23232	2	3	2	3	2	0.562	0.208	0.543	0.245	0.543
23233	2	3	2	3	3	0.545	0.192	0.526	0.228	0.174
23311	2	3	3	1	1	0.537	0.183	0.181	0.548	0.644
23312	2	3	3	1	2	0.540	0.186	0.184	0.551	0.522
23313	2	3	3	1	3	0.524	0.170	0.167	0.535	0.152
23321	2	3	3	2	1	0.556	0.202	0.200	0.554	0.663
23322	2	3	3	2	2	0.559	0.205	0.203	0.558	0.541
23323	2	3	3	2	3	0.543	0.189	0.186	0.541	0.171
23331	2	3	3	3	1	0.543	0.189	0.187	0.226	0.650
23332	2	3	3	3	2	0.546	0.192	0.190	0.229	0.528
23333	2	3	3	3	3	0.530	0.176	0.173	0.213	0.158
31111	3	1	1	1	1	0.175	0.606	0.645	0.546	0.642
31112	3	1	1	1	2	0.178	0.609	0.648	0.549	0.519
31113	3	1	1	1	3	0.161	0.592	0.632	0.532	0.150
31121	3	1	1	2	1	0.194	0.625	0.664	0.552	0.661
31122	3	1	1	2	2	0.197	0.628	0.667	0.555	0.538
31123	3	1	1	2	3	0.180	0.611	0.651	0.539	0.169

ESTADOS	CENÁRIO POR AGENTE					RESULTADO DA FUNÇÃO DE UTILIDADE POR AGENTE				
	A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
31131	3	1	1	3	1	0.181	0.612	0.651	0.224	0.648
31132	3	1	1	3	2	0.184	0.615	0.654	0.227	0.525
31133	3	1	1	3	3	0.167	0.598	0.638	0.210	0.156
31211	3	1	2	1	1	0.179	0.609	0.519	0.549	0.645
31212	3	1	2	1	2	0.182	0.613	0.523	0.553	0.523
31213	3	1	2	1	3	0.165	0.596	0.506	0.536	0.154
31221	3	1	2	2	1	0.198	0.628	0.538	0.556	0.664
31222	3	1	2	2	2	0.201	0.632	0.542	0.559	0.542
31223	3	1	2	2	3	0.184	0.615	0.525	0.542	0.173
31231	3	1	2	3	1	0.185	0.615	0.525	0.227	0.651
31232	3	1	2	3	2	0.188	0.619	0.529	0.230	0.529
31233	3	1	2	3	3	0.171	0.602	0.512	0.214	0.160
31311	3	1	3	1	1	0.163	0.594	0.167	0.534	0.630
31312	3	1	3	1	2	0.166	0.597	0.170	0.537	0.507
31313	3	1	3	1	3	0.150	0.580	0.153	0.521	0.138
31321	3	1	3	2	1	0.182	0.613	0.186	0.540	0.649
31322	3	1	3	2	2	0.185	0.616	0.189	0.543	0.526
31323	3	1	3	2	3	0.169	0.599	0.172	0.527	0.157
31331	3	1	3	3	1	0.169	0.600	0.173	0.212	0.636
31332	3	1	3	3	2	0.172	0.603	0.176	0.215	0.513
31333	3	1	3	3	3	0.156	0.586	0.159	0.198	0.144
32111	3	2	1	1	1	0.190	0.574	0.661	0.561	0.657
32112	3	2	1	1	2	0.193	0.577	0.664	0.564	0.535
32113	3	2	1	1	3	0.177	0.560	0.647	0.548	0.165
32121	3	2	1	2	1	0.209	0.593	0.680	0.568	0.676
32122	3	2	1	2	2	0.212	0.596	0.683	0.571	0.554
32123	3	2	1	2	3	0.196	0.579	0.666	0.554	0.184
32131	3	2	1	3	1	0.196	0.580	0.667	0.239	0.663
32132	3	2	1	3	2	0.199	0.583	0.670	0.242	0.541
32133	3	2	1	3	3	0.183	0.566	0.653	0.226	0.171
32211	3	2	2	1	1	0.194	0.578	0.535	0.565	0.661
32212	3	2	2	1	2	0.197	0.581	0.538	0.568	0.538
32213	3	2	2	1	3	0.181	0.564	0.522	0.552	0.169
32221	3	2	2	2	1	0.213	0.597	0.554	0.571	0.680
32222	3	2	2	2	2	0.216	0.600	0.557	0.574	0.557
32223	3	2	2	2	3	0.200	0.583	0.541	0.558	0.188
32231	3	2	2	3	1	0.200	0.584	0.541	0.243	0.667
32232	3	2	2	3	2	0.203	0.587	0.544	0.246	0.544
32233	3	2	2	3	3	0.187	0.570	0.528	0.229	0.175
32311	3	2	3	1	1	0.178	0.562	0.182	0.549	0.645
32312	3	2	3	1	2	0.182	0.565	0.185	0.553	0.523
32313	3	2	3	1	3	0.165	0.549	0.169	0.536	0.154
32321	3	2	3	2	1	0.197	0.581	0.201	0.556	0.664

ESTADOS	CENÁRIO POR AGENTE					RESULTADO DA FUNÇÃO DE UTILIDADE POR AGENTE				
	A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
32322	3	2	3	2	2	0.201	0.584	0.204	0.559	0.542
32323	3	2	3	2	3	0.184	0.568	0.188	0.542	0.173
32331	3	2	3	3	1	0.184	0.568	0.188	0.227	0.651
32332	3	2	3	3	2	0.188	0.571	0.191	0.230	0.529
32333	3	2	3	3	3	0.171	0.555	0.175	0.214	0.160
33111	3	3	1	1	1	0.169	0.175	0.640	0.540	0.636
33112	3	3	1	1	2	0.172	0.178	0.643	0.543	0.514
33113	3	3	1	1	3	0.156	0.162	0.626	0.527	0.144
33121	3	3	1	2	1	0.188	0.194	0.659	0.546	0.655
33122	3	3	1	2	2	0.191	0.197	0.662	0.550	0.533
33123	3	3	1	2	3	0.175	0.181	0.645	0.533	0.163
33131	3	3	1	3	1	0.175	0.181	0.646	0.218	0.642
33132	3	3	1	3	2	0.178	0.184	0.649	0.221	0.520
33133	3	3	1	3	3	0.162	0.168	0.632	0.205	0.150
33211	3	3	2	1	1	0.173	0.179	0.514	0.544	0.640
33212	3	3	2	1	2	0.176	0.182	0.517	0.547	0.517
33213	3	3	2	1	3	0.160	0.166	0.500	0.530	0.148
33221	3	3	2	2	1	0.192	0.198	0.533	0.550	0.659
33222	3	3	2	2	2	0.195	0.201	0.536	0.553	0.536
33223	3	3	2	2	3	0.179	0.185	0.519	0.537	0.167
33231	3	3	2	3	1	0.179	0.185	0.520	0.222	0.646
33232	3	3	2	3	2	0.182	0.188	0.523	0.225	0.523
33233	3	3	2	3	3	0.166	0.172	0.506	0.208	0.154
33311	3	3	3	1	1	0.157	0.163	0.161	0.528	0.624
33312	3	3	3	1	2	0.160	0.166	0.164	0.531	0.502
33313	3	3	3	1	3	0.144	0.150	0.148	0.515	0.132
33321	3	3	3	2	1	0.176	0.182	0.180	0.534	0.643
33322	3	3	3	2	2	0.179	0.185	0.183	0.538	0.521
33323	3	3	3	2	3	0.163	0.169	0.167	0.521	0.151
33331	3	3	3	3	1	0.163	0.169	0.167	0.206	0.630
33332	3	3	3	3	2	0.166	0.172	0.170	0.209	0.508
33333	3	3	3	3	3	0.150	0.156	0.154	0.193	0.138

