

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANDRÉ DE SIQUEIRA CAMPOS BOCLIN**

**PROGNÓSTICO DE SUSTENTABILIDADE COMO APOIO À  
DECISÃO NO LICENCIAMENTO AMBIENTAL:  
Desenvolvimento de método utilizando Dinâmica de Sistemas,  
*Lógica Fuzzy e Backcasting.***

Florianópolis  
2014



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANDRÉ DE SIQUEIRA CAMPOS BOCLIN**

**PROGNÓSTICO DE SUSTENTABILIDADE COMO APOIO À  
DECISÃO NO LICENCIAMENTO AMBIENTAL:  
Desenvolvimento de método utilizando Dinâmica de Sistemas,  
*Lógica Fuzzy e Backcasting.***

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.  
Área de Concentração: Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial.  
Orientadora: Prof<sup>a</sup>.Dora Maria Orth, Dr<sup>a</sup>.  
Coorientador: Prof. Renato de Mello, Dr.

Florianópolis  
2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

DE SIQUEIRA CAMPOS BOCLIN, ANDRÉ  
PROGNÓSTICO DE SUSTENTABILIDADE COMO APOIO À DECISÃO NO  
LICENCIAMENTO AMBIENTAL : Desenvolvimento de método  
utilizando Dinâmica de Sistemas, Lógica Fuzzy e Backcasting  
/ ANDRÉ DE SIQUEIRA CAMPOS BOCLIN ; orientadora, Dora Maria  
Orth ; coorientador, Renato de Mello. - Florianópolis, SC,  
2014.

183 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Avaliação de Impactos  
Ambientais. 3. Licenciamento Ambiental. 4. Índices  
Ambientais. 5. Lógica Fuzzy. I. Orth, Dora Maria. II. de  
Mello, Renato. III. Universidade Federal de Santa  
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. IV.  
Título.

André de Siqueira Campos Boclin

**PROGNÓSTICO DE SUSTENTABILIDADE COMO APOIO À  
DECISÃO NO LICENCIAMENTO AMBIENTAL:  
Desenvolvimento de método utilizando Dinâmica de Sistemas,  
Lógica *Fuzzy* e *Backcasting*.**

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de “Doutor” em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Florianópolis, 05 de maio de 2014.

---

Prof. Roberto Caldas de Andrade Pinto, Ph.D  
Coordenador do PPGEC

---

Prof.<sup>a</sup> Dora Maria Orth, Dr.<sup>a</sup>  
Orientadora/UFSC

---

Prof. Renato de Mello, Dr.  
Coorientador/UFSC

**Banca Examinadora:**

---

Prof.<sup>a</sup>. Lenise Grando Goldner, Dr.<sup>a</sup>.  
UFSC/ECV

---

Prof.<sup>a</sup>. Lia Caetano Bastos, Dr.<sup>a</sup>.  
UFSC/ECV

---

Prof. Antônio Edésio Jungles, Dr.  
UFSC/ECV

---

Prof.<sup>a</sup>. Marly Monteiro de Carvalho, Dr.<sup>a</sup>.  
Universidade de São Paulo

---

Prof. Miguel Antonio Bueno da Costa, Dr.  
Universidade Federal de São Carlos



*Este trabalho é dedicado à Léia, minha  
esposa, parceira de todos os momentos.*



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar ao IBAMA, instituição na qual me orgulho de trabalhar e que me permitiu dedicação exclusiva a esta pesquisa.

Agradeço à minha família pelo apoio em todos os momentos, em especial nos reveses da vida.

Agradeço à Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Dora Maria Orth pela orientação paciente, segura e serena.

Agradeço ao amigo e coorientador Prof. Dr. Renato de Mello, mentor intelectual desta pesquisa, pela orientação precisa, técnica e atual.

Agradeço também ao amigo Jorge Musse pelas horas que me dedicou, ensinando os meandros do STELLA<sup>®</sup>.

Agradeço ainda ao empresário e amigo Alexandre Stodieck e à Socioambiental Consultores Associados, por permitirem o uso do empreendimento Eco Resort Ilha de Porto Belo e seus respectivos estudos ambientais, no estudo de caso.

Por fim agradeço à UFSC e ao PPGEC, por me acolherem como aluno de doutorado, me oferecendo a maravilhosa oportunidade, de novamente frequentar uma sala de aula em uma Universidade.



*“Quanto mais estudamos os principais problemas de nossa época, mais somos levados a perceber que eles não podem ser entendidos isoladamente. São problemas sistêmicos, o que significa que estão interligados e são interdependentes.”*

(CAPRA, 1995)



## RESUMO

Esta tese apresenta o desenvolvimento de um método de previsão da sustentabilidade ambiental de projetos. Este método utiliza a base de dados de estudos de avaliação de impacto ambiental e usa a lógica *fuzzy* para agregação de informações ambientais e socioeconômicas. O método também simula dinamicamente as mudanças nos sistemas em análise, considerando possíveis cenários futuros construídos sob o enfoque de *backcasting*. A construção dos cenários futuros é realizada após a definição dos padrões desejados e indesejados pelos órgãos licenciadores considerando as discussões sobre as questões de interesse entre os *stakeholders*. Partindo-se de cenários tendenciais, idealizam-se cenários futuros possíveis, desejáveis e indesejáveis. As variáveis são agregadas com o uso do *software fuzzyTECH*<sup>®</sup> e as simulações das dinâmicas dos cenários são modeladas utilizando o *software STELLA*<sup>®</sup>. O método visa o apoio à decisão no licenciamento ambiental e foi testado em uma simulação de licenciamento ambiental de um *resort*, demonstrando ser adequado para estimar a sustentabilidade ambiental de projetos, pela avaliação de índices locais de sustentabilidade. O método permite a simulação de diversos cenários e habilita a comparação entre os cenários analisados, favorecendo as decisões.

**Palavras chave:** Avaliação de Impactos Ambientais. Licenciamento Ambiental. Índices Ambientais. Lógica *Fuzzy*. Dinâmica de Sistemas. *Backcasting*.



## ABSTRACT

This thesis presents the developing of a method for predicting the environmental sustainability of projects. This method uses environmental impact assessment database and employs fuzzy logic for the aggregation of environmental and socioeconomic information. The method also simulates dynamically the changes in the analysed systems, considering possible future scenarios constructed under a backcasting approach. The construction of future scenarios is performed after defining the desired and undesired standards by environmental agencies, considering the discussions about the issues of concern among the stakeholders. Starting from emerging scenarios, the possible future scenarios, desirable and undesirable are idealized. Variables are aggregated using the *fuzzyTECH*<sup>®</sup> software and the simulations of the dynamics of the scenarios are modelled using the *STELLA*<sup>®</sup> software. The method aims at supporting decision-making in environmental licensing and was tested in an environmental licensing simulation of a resort, proving to be suitable for estimating the environmental sustainability of projects, by the evaluation of local sustainability indices. The method allows the simulation of various scenarios and enables comparison among the analyzed scenarios, favouring decisions.

**Keywords:** Environmental Impact Assessment. Environmental Licensing. Environmental Indices. Fuzzy Logic. Dynamic Systems. Backcasting.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de um modelo de inferência de Mamdani. ....	69
Figura 2: Localização da Ilha João da Cunha.Fonte: SDS (2014).....	94
Figura 3: Diagrama de agregação - desenho <i>fuzzyTECH</i> <sup>®</sup> . ....	110
Figura 4: Diagrama de interação dinâmica dos componentes dos sistemas socioambientais. Gerado com o <i>software</i> STELLA <sup>®</sup> .....	148
Figura 5: Diagrama representando a dinâmica do cenário provável, em um intervalo de 12 anos. Gerado com auxílio do <i>software</i> STELLA <sup>®</sup> . ....	153
Figura 6: Variação do estado dos componentes ambientais (estoques) Cenário Provável. Gerado com o <i>software</i> STELLA <sup>®</sup> .....	154
Figura 7: Variação do estado da sustentabilidade (estoques) Cenário Provável. Gerado com o <i>software</i> STELLA <sup>®</sup> .....	154
Figura 8: Diagrama representando a dinâmica do cenário desejável, em um intervalo de 12 anos. Gerado com auxílio do <i>software</i> STELLA <sup>®</sup> . ....	157
Figura 9: Variação do estado dos componentes ambientais (estoques) Cenário Desejável. Gerado com o <i>software</i> STELLA <sup>®</sup> .....	158
Figura 10: Variação do estado da sustentabilidade (estoques) Cenário Desejável. Gerado com o <i>software</i> STELLA <sup>®</sup> .....	158
Figura 11: Diagrama representando a dinâmica do cenário indesejável, em um intervalo de 12 anos. Gerado com auxílio do <i>software</i> STELLA <sup>®</sup> .....	162
Figura 12: Variação do estado dos componentes ambientais (estoques) Cenário Indesejável. Gerado com o <i>software</i> STELLA <sup>®</sup> .....	163
Figura 13: Variação do estado da sustentabilidade (estoques) Cenário Indesejável. Gerado com o <i>software</i> STELLA <sup>®</sup> .....	163



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Sinopse dos Métodos de AIA e atividades de estudo.....	48
Quadro 2: Uma breve descrição dos 22 tipos de métodos.....	50
Quadro 3: <i>Forecasting</i> e <i>Backcasting</i> . .....	64
Quadro 4: Representação esquemática do método de pesquisa .....	79
Quadro 5: Representação esquemática das etapas do Método de Previsão da Sustentabilidade Ambiental.....	83
Quadro 6: Descrição dos componentes básicos para a criação de um modelo em STELLA <sup>®</sup> .....	90
Quadro 7: Fases do empreendimento .....	101
Quadro 8: Possíveis impactos ambientais .....	102
Quadro 9: Programas ambientais do empreendimento.....	104
Quadro 10: Distribuição esquemática dos elementos constituintes do diagrama <i>fuzzy</i> .....	109
Quadro 11: Lista das variáveis de entrada no <i>fuzzyTECH</i> <sup>®</sup> .....	111
Quadro 12: Lista das variáveis de saída no <i>fuzzyTECH</i> <sup>®</sup> .....	111
Quadro 13: Bloco de regras “Regras_biótico” .....	118
Quadro 14: Impactos e Programas ambientais - componente físico .....	129
Quadro 15: Impactos e Programas ambientais - componente biótico .....	132
Quadro 16: Impactos e Programas ambientais - componente social .....	135
Quadro 17: Impactos e Programas ambientais - componente econômico .....	139

Quadro 18: Impactos e Programas ambientais - componente cultural.  
..... 143

Quadro 19: Expressões matemáticas que regulam o processo de  
simulação ..... 150

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Indicadores e índices ambientais obtidos para o período de 12 anos. Cenário provável – Agregação utilizando o <i>software fuzzyTECH</i> <sup>®</sup> .....	122
Tabela 2: Indicadores e índices ambientais obtidos para o período de 12 anos. Cenário desejável – Agregação utilizando o <i>software fuzzyTECH</i> <sup>®</sup> .....	124
Tabela 3: Indicadores e índices ambientais obtidos para o período de 12 anos. Cenário indesejável – Agregação utilizando o <i>software fuzzyTECH</i> <sup>®</sup> .....	126
Tabela 4: Comparativo entre índices físicos e respectivos indicadores, nos três cenários estudados.....	130
Tabela 5: Comparativo entre índices bióticos e respectivos indicadores, nos três cenários estudados.....	133
Tabela 6: Comparativo entre índices sociais e respectivos indicadores, nos três cenários estudados.....	137
Tabela 7: Comparativo entre índices econômicos e respectivos indicadores, nos três cenários estudados.....	141
Tabela 8: Comparativo entre índices econômicos e respectivos indicadores, nos três cenários estudados.....	144
Tabela 9: Estoques anuais acumulados – Cenário Provável. Gerado com auxílio do <i>software STELLA</i> <sup>®</sup> .....	155
Tabela 10: Estoques anuais acumulados – Cenário Desejável. Gerado com auxílio do <i>software STELLA</i> <sup>®</sup> Fonte: o autor (2014).....	160
Tabela 11: Estoques anuais acumulados – Cenário Indesejável. Gerado com auxílio do <i>software STELLA</i> <sup>®</sup> .....	165



## **SIGLAS**

- AIA: Avaliação de Impacto Ambiental
- ANA: Agência Nacional de Águas
- BSum: Bounded Sum
- CASAN: Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
- CELESC: Centrais Elétricas de Santa Catarina S/A
- CETESB: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
- CoA: Centre of Area
- CoG: Centre of Gravity
- CoM: Centre of Maximum
- CoS: Centre of Sum
- DDE: Dynamic Data Exchange
- DoS: Degree of Support
- EIA: Estudo de Impacto Ambiental
- ETA: Estação de Tratamento de Águas
- ETE: Estação de Tratamento de Esgotos
- GEE: Gases de Efeito Estufa
- GPS: Global Positioning System
- IBAMA: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IQA: Índice de Qualidade das Águas
- kWh: Quilowatt-hora
- MoM: Mean of Maximum
- RIMA: Relatório de Impacto ao Meio Ambiente

- RPPN: Reserva Particular do Patrimônio Natural
- SDS: Secretaria de Estado de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina
- SIG: Sistema de Informação Geográfica
- STELLA: Structural Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation
- SWOT: Strengths Weaknesses Opportunities Threats
- UFSC: Universidade Federal de Santa Catarina
- WCED: World Commission on Environment and Development

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 .....	29
1. INTRODUÇÃO.....	29
1.1. Tema de pesquisa.....	29
1.2. Contextualização .....	30
1.3. Problema de pesquisa .....	32
1.4. Premissas.....	32
1.5. Objetivos .....	34
1.6. Delimitação da Pesquisa .....	35
1.7. Resultados .....	35
1.8. Estrutura da Tese .....	37
CAPÍTULO 2.....	39
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	39
2.1 Desenvolvimento Sustentável e Sustentabilidade.....	39
2.1.1 Licenciamento ambiental .....	42
2.1.2 Avaliação de Impacto Ambiental .....	43
2.1.2.1 Identificação dos impactos .....	44
2.1.2.2 Predição dos impactos .....	45
2.1.2.3 Avaliação dos impactos .....	46
2.1.2.4 Métodos de Avaliação de Impacto Ambiental .....	47
2.2 Indicadores e Índices.....	53
2.3 Dinâmica de Sistemas.....	56
2.4 Resiliência .....	59
2.5 Cenários .....	60
2.6 <i>Backcasting</i> .....	62
2.7 Lógica <i>Fuzzy</i> .....	66
2.8 Gestão Territorial.....	72
CAPÍTULO 3.....	77
3. MATERIAIS E MÉTODOS DE PESQUISA.....	77
3.1 Abordagem adotada .....	77
3.2 Etapas de pesquisa .....	77
3.3 Materiais utilizados.....	80
CAPÍTULO 4.....	81
4. DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO DE PREVISÃO DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL.....	81

4.1	Considerações iniciais.....	81
4.2	Construção do diagrama de agregação.....	84
4.3	Desenho de cenários - backcasting.....	85
4.4	Agregação dos indicadores .....	87
4.5	Construção do diagrama de interação dinâmica .....	89
4.6	Modelagem dinâmica do sistema socioambiental em estudo.....	90
4.7	Monitoramento dos indicadores.....	91
CAPÍTULO 5 .....		93
5.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DO EMPREENDIMENTO.....	93
5.1	Área de Estudo.....	93
5.1.1	Ilha João da Cunha .....	95
5.1.2	Município de Porto Belo, Santa Catarina - Brasil.....	97
5.1.3	O Empreendimento Eco Resort Ilha de Porto Belo.....	100
5.2	Os Impactos Ambientais.....	101
5.3	Audiência Pública .....	105
CAPÍTULO 6 .....		107
6.	APLICAÇÃO EXPERIMENTAL DO MÉTODO DE PREVISÃO DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL.....	107
6.1	Seleção dos indicadores e construção do diagrama de agregação.....	107
6.2	Construção de cenários exploratórios e normativos .....	112
6.2.1	Cenário provável .....	112
6.2.2	Cenário desejável .....	113
6.2.3	Cenário indesejável .....	115
6.3	A obtenção de índices socioambientais locais.....	116
6.3.1	Desenvolvimento do método de agregação .....	116
6.3.2	Agregação dos indicadores .....	117
6.3.4	Configuração utilizada .....	117
6.3.5	Valoração dos indicadores .....	119
6.3.6	Obtenção dos índices ambientais locais .....	128
6.3.6.1	Obtenção dos índices físicos .....	128
6.3.6.2	Obtenção dos índices bióticos .....	131
6.3.6.3	Obtenção dos índices sociais.....	135
6.3.6.4	Obtenção dos índices econômicos.....	139
6.3.6.5	Obtenção dos índices culturais .....	142

6.4	Modelagem dinâmica da sustentabilidade.....	146
6.4.1	Construção do diagrama de interação dinâmica com STELLA <sup>®</sup> .....	147
6.4.2	Definição dos critérios de simulação.....	149
6.4.3	Resultados da simulação dinâmica do modelo.....	151
6.4.3.1	Simulação do Cenário Provável .....	152
6.4.3.2	Simulação do Cenário Desejável.....	156
6.4.3.3	Simulação do Cenário Indesejável.....	160
6.5	Monitoramento dos indicadores .....	165
CAPÍTULO 7.....		167
7.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	167
7.1	Sobre o método de previsão da sustentabilidade ambiental proposto .....	167
7.2	Sobre o alcance dos objetivos propostos.....	168
7.3	Sobre a aplicação experimental do método de previsão da sustentabilidade ambiental.....	169
7.4	Recomendações .....	172
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		173



## CAPÍTULO 1

### 1. INTRODUÇÃO

#### 1.1. Tema de pesquisa

O tema central desta pesquisa é o licenciamento ambiental e as possibilidades de se estimar a sustentabilidade de atividades e empreendimentos, com base em estudos de avaliação de impacto ambiental.

O processo decisório em procedimentos de licenciamento ambiental se apoia principalmente em estudos de Avaliação de Impactos Ambientais (AIA). A *International Association for Impact Assessment – IAIA* (1999) define Avaliação de Impacto Ambiental - AIA como: “*processo de identificação, previsão, avaliação e mitigação dos efeitos relevantes – biofísicos, sociais e outros - de propostas de desenvolvimento antes de decisões fundamentais serem tomadas e de compromissos serem assumidos*”.

Em outras palavras AIA é um processo vinculado ao licenciamento ambiental, de caráter prévio, composto por um conjunto de atividades com o objetivo de identificar, prever, avaliar, interpretar e comunicar informações sobre os efeitos ambientais significativos ou impactos decorrentes de uma ação ou uma proposta de atividade ou de empreendimento. Além disso, um processo de AIA propõe medidas mitigadoras dos impactos negativos, medidas potencializadoras dos impactos positivos e medidas compensatórias dos impactos negativos que não podem ser mitigáveis. Para alcançar estes objetivos, um importante volume de dados e informações é produzido.

Esta pesquisa propõe que os dados e informações que integram um estudo de AIA de uma atividade ou de um empreendimento, além de permitirem a construção de prognósticos sobre os impactos ambientais, também possam, de forma adicional, ser a base para a construção de prognósticos sobre a sustentabilidade da atividade ou empreendimento proposto, considerando as peculiaridades do projeto e do local de implantação.

De acordo com Mayer (2008), a sustentabilidade é determinada por meio de três características principais: resiliência a perturbações, conveniência para as sociedades humanas e limites de escala temporal e espacial, ou seja, é o resultado de um processo dinâmico de ajustes constantes.

A sustentabilidade, segundo Costanza *et al.* (1992), está relacionada com a habilidade do sistema em manter sua estrutura e função com o passar do tempo, em face de *stress* externo. Segundo o autor, esta definição se aplica a todos os sistemas complexos, desde células aos ecossistemas e aos sistemas econômicos, ou seja, é abrangente e multi-escala e permite que os sistemas possam crescer e se desenvolver, como resultado de influências naturais e culturais.

A compreensão de sistemas complexos e dinâmicos requer o auxílio de modelos que os representem adequadamente. Segundo Martelanc (1998), a Dinâmica de Sistemas possibilita construir um modelo da realidade com suas variáveis essenciais. A Dinâmica de Sistemas aplica-se principalmente ao estudo de sistemas que se modificam ao longo do tempo e que possuem ciclos ou laços de realimentação. Os laços de realimentação, ou *feedbacks*, são considerados os blocos de construção dos sistemas e é o fundamento da Dinâmica de Sistemas (Stanley e Zhu, 1996; Forrester, 1998). No que diz respeito à dinâmica de sistemas alguns programas computacionais foram desenvolvidos, dos quais os mais utilizados são: DYNAMO<sup>®</sup>, STELLA<sup>®</sup>, PowerSim<sup>®</sup>, VenSim<sup>®</sup> e Mosaikk-SimTek<sup>®</sup>.

## 1.2. Contextualização

Com o advento da Política Nacional do Meio Ambiente instituída pela Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 (BRASIL, 1981), estabeleceu-se no Brasil a obrigatoriedade do prévio licenciamento ambiental para a construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, considerados efetiva e potencialmente poluidores.

O instrumento que orienta o processo de licenciamento ambiental é a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA). Essa avaliação objetiva um exame sistemático dos impactos ambientais de uma ação proposta e indica medidas mitigadoras e compensatórias desses impactos ao meio ambiente.

Os métodos de AIA são estruturados visando à obtenção, análise, comparação, combinação e organização de um importante conjunto de dados e informações sobre uma proposta de desenvolvimento associada ao local pretendido para sua implantação e os impactos ambientais decorrentes das respectivas ações de planejamento, instalação, operação e quando for o caso desativação.

Nos casos em que os estudos efetuam análises de cenários, estes se restringem a cenários tendenciais com a inserção do empreendimento.

Isso não significa, contudo, ser esse o cenário futuro desejado, especialmente quando estão presentes conflitos de uso dos recursos ambientais, com reflexos percebidos principalmente no meio socioeconômico, representando uma expectativa de futuro incerto.

As incertezas quanto ao futuro, em relação à atividade a ser licenciada, levam muitas vezes a reações adversas da comunidade atingida, gerando fortes confrontos entre empreendedores, entes públicos, ambientalistas e comunidade, resultando, muitas vezes, em intermináveis demandas judiciais, comprometendo cronogramas e orçamentos.

Por essas razões, os empreendimentos capazes de causar significativos impactos ambientais, deveriam ter incorporado em seus projetos a consideração do seu comportamento futuro, no contexto da dinâmica de possíveis cenários desejados, indesejados e tendenciais, tanto em aspectos técnicos funcionais, como em relação à respectiva expectativa de sustentabilidade.

Os estudos de AIA sempre têm como objetivo avaliar sistemas complexos e dinâmicos, onde os impactos ambientais muitas vezes atuam de forma cumulativa e sinérgica, requerendo análises conjuntas e integradas, dos diversos componentes ambientais impactados. Para realizar as atividades inerentes a um estudo de AIA diversos métodos podem ser utilizados e em geral mais de um método é usado. Esses métodos podem ser classificados, de maneira geral, em matrizes de interação, listas de controle e diagramas de redes (Canter, 1996; Kassim e Simoneiti, 2005). Dentro dessa classificação diversos métodos foram desenvolvidos.

No Brasil os métodos de AIA mais utilizados são os baseados nas Matrizes de Interação, que relacionam as atividades do projeto com os fatores ambientais afetados. As Matrizes de Interação atendem de forma satisfatória questões como identificação dos impactos, descrição dos meios afetados, predição e avaliação dos impactos, seleção da ação proposta segundo valoração das alternativas e ainda comunicação dos resultados dos estudos. Contudo, são insuficientes em dar o tratamento adequado às inter-relações que ocorrem entre os componentes físicos, bióticos, sociais, econômicos e culturais dos sistemas socioambientais, nem às suas interações dinâmicas (Canter, 1996; Kassim e Simoneiti, 2005).

Outros métodos utilizados no Brasil, porém com menor frequência, são os baseados nos Diagramas de Redes ou Redes de Interação, que mostram as relações sequenciais de causa e efeito, decorrentes de uma ação impactante. Este método, utilizado para

identificação de impactos, permite uma boa representação de impactos diretos e indiretos, de segunda e terceira ordem e assim por diante. Uma limitação dos Diagramas de Redes é a restrita capacidade de representar sistemas complexos e dinâmicos (Perdicoulis e Glasson, 2006; Sánchez, 2008).

Apesar das limitações inerentes de cada método, as avaliações de impacto ambiental vêm sendo realizadas em procedimentos de licenciamento ambiental, valendo-se do arsenal de métodos atualmente disponíveis.

### **1.3. Problema de pesquisa**

Considerando o cenário apresentado, que caracteriza o contexto referente à elaboração de estudos de AIA, os quais subsidiam as decisões em procedimentos de licenciamento ambiental, identifica-se o seguinte problema de pesquisa: “Para que os processos de licenciamento ambiental sejam orientados pela perspectiva do comportamento dinâmico dos cenários futuros dos sistemas socioambientais, projetando a sustentabilidade das atividades e empreendimentos, necessita-se de um método que represente, para um período de tempo determinado, as inter-relações existentes entre os componentes socioambientais afetados, característicos de sistemas complexos e dinâmicos”.

### **1.4. Premissas**

Diante do problema de pesquisa identificado, propõe-se um método de previsão da sustentabilidade ambiental, como apoio à decisão no licenciamento ambiental, que simule dinamicamente as interações e as mudanças nos sistemas socioambientais a serem avaliados, permitindo a construção de prognósticos de sustentabilidade de empreendimentos, em cenários de interesse, desejáveis e indesejáveis, utilizando modelos de simulação computacional.

Propõe-se que os estudos de AIA, que subsidiam as decisões, além de permitirem a construção de prognósticos sobre os impactos ambientais também possam ser a base para a construção de prognósticos sobre a sustentabilidade desses empreendimentos.

Considerou-se ser possível prever a sustentabilidade mediante a utilização de índices de sustentabilidade dos cenários escolhidos. Em geral os índices de sustentabilidade abrangem níveis regionais (Zilans e Abolina, 2009), nacionais (Pillariseti e Van Den Bergh, 2010; Leukhardt e Allen, 2013), ou ainda globais. No presente caso o objetivo

é a previsão da sustentabilidade de empreendimentos, por isso optou-se pela utilização de índices locais de sustentabilidade, particulares para o objeto a ser licenciado, no local onde a atividade se desenvolverá.

*Uma localidade é considerada sustentável na medida em que é capaz de evitar a degradação e manter a saúde de seu sistema ambiental, reduzir a desigualdade social, prover seus habitantes de um ambiente construído saudável, bem como construir pactos políticos e ações de cidadania que o permitam enfrentar desafios presentes e futuros [BRAGA E GONÇALVES DE FREITAS, 2002, p 2].*

Considerou-se também que índices locais de sustentabilidade podem ser obtidos como resultado da interação dinâmica entre índices ambientais locais que representam e qualificam o estado dos componentes dos sistemas socioambientais. Os índices ambientais locais que informam sobre os componentes socioambientais são os índices físico, biótico, social, econômico e cultural, todos estes particulares para o objeto a ser licenciado, no local onde a atividade se desenvolverá.

O diagnóstico das áreas de influência, bem como a descrição do empreendimento, em conjunto com a avaliação dos impactos ambientais e os respectivos programas ambientais, que compõem os estudos de AIA, fornece a base de dados utilizada para a construção dos cenários e dos respectivos prognósticos de sustentabilidade.

A simulação da interação dinâmica entre os sistemas qualificados pelos índices ambientais, que representam o desempenho de seus componentes, gera informação sobre a expectativa de desenvolvimento sustentável.

Prever a sustentabilidade de cenários futuros de interesse pode trazer respostas às incertezas e expectativas geradas pela implantação de empreendimentos ou atividades capazes de provocar significativas alterações nos componentes físico, biótico, social, econômico e cultural dos sistemas afetados. Considerando o importante conteúdo de um estudo de AIA, é natural que este sirva de base para a construção dos prognósticos de sustentabilidade.

A avaliação de cenários desejados e indesejados traz a possibilidade de se discutir o futuro que se quer, com sustentabilidade. A construção destes cenários, ditos normativos, requerem uma técnica retroprojetiva, assim a abordagem de *backcasting* é adequada a este propósito. Os estudos de AIA que subsidiam decisões nos

procedimentos de licenciamento ambiental, lidam com sistemas complexos e dinâmicos, por essa razão a avaliação de cenários futuros devem ser feitos à luz da dinâmica de sistemas, utilizando um *software* especialista em simulação dinâmica, como o STELLA<sup>®</sup>.

A agregação de variáveis por meio da lógica *fuzzy* já se mostrou eficiente, conforme demonstrado por Boclin e Mello (2006), por essa razão a agregação dos indicadores utiliza o *software fuzzyTECH*<sup>®</sup>.

## 1.5. Objetivos

O Objetivo Geral da pesquisa é desenvolver um método de previsão da sustentabilidade ambiental, como apoio à decisão no licenciamento ambiental, utilizando os conceitos de dinâmica de sistemas, lógica *fuzzy* e *backcasting*.

Os Objetivos Específicos são:

- Identificar e selecionar os fatores chaves que podem ser usados como indicadores de estado, dos meios físico, biótico, social, econômico e cultural dos sistemas estudados;
- Construir, utilizando a abordagem de *backcasting*, os cenários futuros a perseguir e a evitar, objetivando a sustentabilidade ambiental do empreendimento estudado;
- Agregar, por meio da lógica *fuzzy*, os indicadores de estado em índices ambientais que qualificam os sistemas socioambientais;
- Simular dinamicamente as interações dos sistemas socioambientais, em cenários exploratórios tendenciais e normativos, desejados e indesejados;
- Possibilitar aos decisores uma melhor compreensão da dinâmica dos diversos cenários, habilitando decisões mais robustas que viabilizem a construção de cenários futuros com sustentabilidade;
- Disponibilizar um método para a avaliação de sustentabilidade ambiental, capaz de aprimorar os procedimentos de licenciamento ambiental;
- Aplicar o modelo na avaliação da sustentabilidade ambiental de um empreendimento turístico planejado para a Ilha João da Cunha em Porto Belo, Santa Catarina.

## 1.6. Delimitação da Pesquisa

Esta pesquisa não pretende emitir qualquer juízo de valor sobre a conveniência de se licenciar ou não o empreendimento Eco Resort Ilha de Porto Belo, aqui utilizado como estudo de caso. Também não pretende analisar ou avaliar o EIA/RIMA referente ao empreendimento e muito menos emitir qualquer comentário ou julgamento sobre seu conteúdo. Esta pesquisa apenas utiliza estes estudos como base de dados, com o devido consentimento dos empreendedores e consultores. Dessa forma, os resultados obtidos são independentes e particulares para as condições estabelecidas nas simulações.

O método de previsão da sustentabilidade, proposto nesta pesquisa, constitui uma ferramenta adicional e complementar àquelas utilizadas no licenciamento ambiental, permitindo as avaliações de cenários complexos e dinâmicos. Toma-se como princípio que, o licenciamento ambiental por interferir na dinâmica e nos processos territoriais, determinando se, onde e como empreendimentos ou atividades serão instalados e operados, se constitui claramente numa ferramenta de gestão territorial sustentável.

Dessa forma, novas tecnologias além das usuais, serão utilizadas para o aperfeiçoamento dos processos de licenciamento ambiental e de gestão territorial. Nessa pesquisa utiliza-se a definição de gestão territorial adotada por Debetir e Orth, visando tornar clara a relação com a gestão ambiental:

*“Em uma abordagem municipal há conflito entre o uso e ocupação do solo e a preservação dos recursos naturais. Essa questão, tratada pela gestão territorial, engloba a gestão ambiental (com função de preservação dos recursos naturais) e a gestão urbana e rural (com função de atendimento às atividades humanas de habitação, trabalho, lazer e circulação)”* (DEBETIR e ORTH, 2007 p.44).

## 1.7. Resultados

O método simula, para um período de tempo pré-definido, as interações entre os componentes físico, biótico, social, econômico e cultural, que identificam e caracterizam os cenários idealizados. Estes componentes ambientais são qualificados por meio de indicadores de

estado, que revelam informações sobre as respectivas condições de qualidade. Cada cenário, tendencial, desejado ou indesejado, é modelado por meio dos *softwares fuzzyTECH*<sup>®</sup> e *STELLA*<sup>®</sup>.

O *fuzzyTECH*<sup>®</sup> agrega os indicadores de estado dos componentes físico, biótico, social, econômico e cultural, em índices ambientais. Estes índices estruturam os modelos utilizados pelo *STELLA*<sup>®</sup> nas simulações dinâmicas das possíveis interações entre os componentes ambientais citados, conforme as características de cada cenário.

O método permite a operação com variáveis difusas ou nebulosas, de forma contínua, além de fazer inferências sobre valores econômicos, sociais, culturais e indicadores ambientais. Possibilita aos decisores uma melhor compreensão da dinâmica dos diversos cenários e tendências, habilitando decisões mais robustas que viabilizem a construção de cenários futuros com sustentabilidade.

O método auxilia na avaliação das respostas aos programas ambientais destinados à mitigação e compensação de impactos ambientais e monitorar o desempenho ambiental dos seus indicadores, possibilitando assim ajustes de gestão. Facilita o planejamento estratégico para gestão territorial, capacitando decisores para a melhor compreensão dos diversos cenários e tendências, objetivando a sustentabilidade dos sistemas em análise.

O método foi aplicado em uma simulação do desempenho ambiental futuro de um resort destinado ao turismo de negócios e de lazer, planejado para a Ilha João da Cunha no município de Porto Belo, Santa Catarina, Sul do Brasil. O período considerado na simulação foi de 12 (doze) anos, que se mostrou suficiente para os propósitos da pesquisa. Três cenários foram idealizados para a simulação, sendo um provável de ocorrer, um desejável, portanto a ser perseguido e outro indesejável, ou seja, a ser evitado.

Ho e Wang (2005) simularam a interação dinâmica entre subsistemas, qualificados por indicadores, de forma a definir caminhos para a sustentabilidade, aplicados ao planejamento urbano de *Hsinchu Science City* em Taiwan e concluíram que tal abordagem permite a construção de cenários sustentáveis para a localidade estudada.

O método proposto oferece uma alternativa inovadora que permite e facilita a discussão das mudanças necessárias à ruptura de cenários tendenciais. Isso viabiliza o planejamento de ações que possam garantir a sustentabilidade de atividades e empreendimentos, com o olhar num futuro, comparando cenários possíveis, tanto os tendenciais como os desejáveis e indesejáveis.

Os aspectos inovadores do método são:

- Permitir a operação com variáveis nebulosas de forma contínua, além de fazer inferências sobre valores econômicos, sociais, culturais e indicadores ambientais;
- Possibilitar aos decisores uma melhor compreensão dos diversos cenários e tendências, habilitando decisões que viabilizem a construção de cenários futuros com sustentabilidade;
- Construir os cenários normativos segundo a abordagem de *backcasting*, agregar as variáveis por lógica *fuzzy* e modelar dinamicamente os sistemas socioambientais estudados;
- Disponibilizar um método para a previsão da sustentabilidade ambiental de cenários de interesse, como apoio à decisão ao licenciamento ambiental.

## 1.8. Estrutura da Tese

Para atender aos objetivos desse trabalho, a tese foi estruturada em sete capítulos. O primeiro capítulo trata da apresentação do tema da pesquisa, sua contextualização, definição do problema da pesquisa com proposição método de previsão da sustentabilidade ambiental que se pretende confirmar além das premissas adotadas. Neste capítulo se apresentam também os objetivos e a delimitação da pesquisa, os resultados esperados e uma breve descrição da estrutura da tese.

O segundo capítulo apresenta a revisão da literatura sobre a fundamentação teórica que sustenta a formulação do método proposto, o qual se destina à avaliação da sustentabilidade ambiental, em apoio à decisão no licenciamento ambiental. Para tanto se buscou conceitos e contribuições científicas sobre desenvolvimento sustentável, licenciamento ambiental, avaliação de impacto ambiental, indicadores e índices ambientais, dinâmica de sistemas, resiliência, cenários, *backcasting*, lógica *fuzzy* e gestão territorial.

O terceiro capítulo apresenta os materiais e métodos utilizados na pesquisa. Neste capítulo descreve-se o método de abordagem, que se caracteriza por ser um método exploratório com estudo de caso, aborda as etapas da pesquisa e os materiais utilizados que foram os *softwares fuzzyTECH*<sup>®</sup>, *STELLA*<sup>®</sup> e *Microsoft Excel*<sup>®</sup>, o Plano Diretor do Município de Porto Belo e respectivas cartas temáticas, além do EIA/RIMA do empreendimento Eco Resort Ilha de Porto Belo, utilizado como estudo de caso.

O quarto capítulo trata do desenvolvimento do método de previsão da sustentabilidade ambiental, como apoio à decisão no

licenciamento ambiental, abordando as seis principais etapas: 1) Seleção dos indicadores e construção do diagrama de agregação; 2) Construção de cenários; 3) Agregação de indicadores de estado em índices socioambientais locais; 4) Construção do diagrama de interação dinâmica dos sistemas; 5) Simulação da dinâmica dos sistemas socioambientais avaliados e 6) Monitoramento dos indicadores.

O quinto capítulo trata da caracterização da área de estudo e do empreendimento Eco Resort Ilha de Porto Belo, que foram utilizados para o estudo de caso, no qual o método proposto foi aplicado. Neste capítulo apresenta-se uma breve descrição do empreendimento em questão, além de um sucinto diagnóstico da Ilha João da Cunha e do município de Porto Belo. Apresentam-se ainda os impactos ambientais esperados pela instalação e operação do citado empreendimento, os programas ambientais planejados para mitigar e compensar os respectivos impactos ambientais e por fim os resultados da audiência pública na qual o RIMA do empreendimento foram apresentados e discutidos com a comunidade interessada.

O sexto capítulo descreve a aplicação experimental do método proposto, iniciando pela seleção dos indicadores e construção do diagrama de agregação, seguindo com a construção dos cenários exploratório e normativos, a obtenção dos índices socioambientais locais mediante a agregação de indicadores de estado, a construção do diagrama de interação dinâmica dos componentes dos sistemas socioambientais avaliados, a simulação dinâmica da sustentabilidade ambiental e o monitoramento dos indicadores.

O sétimo capítulo apresenta as principais considerações acerca do desenvolvimento do método de previsão da sustentabilidade ambiental, sua aplicação, as conclusões finais da tese e recomendações de pesquisas futuras complementares.

## CAPÍTULO 2

### 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A presente pesquisa foi fundamentada nos conceitos de desenvolvimento sustentável, avaliação de impactos ambientais, cenários e suas construções, *backcasting*, lógica *fuzzy*, dinâmica de sistemas, resiliência e gestão territorial. Assim apresenta-se a seguir uma revisão da respectiva literatura.

#### 2.1 Desenvolvimento Sustentável e Sustentabilidade

Desenvolvimento sustentável é definido pela primeira vez em 1987 na WCED - *World Commission on Environment and Development* (Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento), presidida pela Primeira Ministra da Noruega Gro Harlem Brundtland, no relatório denominado “Our Common Future”, mais conhecido por relatório Brundtland.

*“O desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades. Ele contém em si dois conceitos-chave: o conceito de necessidades, em particular as necessidades essenciais dos pobres do mundo, aos quais deve ser dada prioridade absoluta; e a ideia de limitações impostas pelo estado da tecnologia e da organização social sobre a capacidade do meio ambiente para satisfazer as necessidades presentes e futuras” (WCED, 1987 p. 43).*

O relatório Brundtland, segundo Brüseke (1994), parte de uma visão complexa das causas dos problemas socioeconômicos e ecológicos da sociedade global. Propõem integrar a questão ambiental ao desenvolvimento econômico, destacando a interligação entre economia, tecnologia, sociedade e política, chamando a atenção para uma nova postura ética, caracterizada pela responsabilidade entre as gerações e entre os membros da sociedade.

O termo Sustentabilidade tem sido interpretado de diversas maneiras a depender da abordagem: ecológica, econômica ou social. Dobson (1996) observou que existem mais de 300 definições de sustentabilidade.

O conceito de sustentabilidade, segundo Vos (1997), se originou com biólogos e ecologistas, que o usavam para descrever as taxas as quais os recursos renováveis podem ser extraídos ou danificados pela poluição, sem ameaçar a integridade subjacente dos ecossistemas, ou seja, mantendo-se estáveis. Isso remete ao conceito de resiliência que, de acordo com Van Den Bergh (2007), pode ser considerado como um conceito de estabilidade estrutural global, baseado na ideia de que podem existir múltiplos ecossistemas, localmente estáveis.

Uma interpretação econômica do desenvolvimento sustentável, segundo Barbier *et al.* (1990), é possível e se concentra sobre as preocupações tradicionais de eficiência econômica e distribuição equitativa da renda. Esta interpretação envolve a seguinte sequência: (a) a fim de garantir que as futuras gerações não sejam prejudicadas pela atual geração, é necessário uma compensação real das futuras gerações pela geração atual, com base em exigências hipotéticas de compensação decorrentes de análises convencionais de custo-benefício; (b) a forma em que a compensação ocorre é através de uma transferência de bens de capital, e (c) esta compensação de capital significa a transferência do capital social atual, em termos de valor, para as futuras gerações.

Para Costanza (1991), o conceito de sustentabilidade deve ser inserido, na relação dinâmica entre o sistema econômico humano e os sistemas ecológicos mais abrangentes, caracterizados por possuírem taxa de mudança mais lenta. A vida humana, para que uma relação seja sustentável, deve continuar indefinidamente, com crescimento e desenvolvimento da sua cultura. Os efeitos das atividades humanas devem permanecer adequados, de modo a não destruir a biodiversidade e as funções do sistema ecológico de suporte à vida.

Solow (1974; 1986; 1992; 1993) e Hartwick (1977; 1978; 1990) apresentaram a ideia de sustentabilidade fraca que admite que capital humano possa ser substituído por capital natural; eventuais problemas decorrentes do decréscimo do capital natural seriam resolvidos, no futuro, por novas tecnologias. Contraopondo-se à sustentabilidade fraca, a sustentabilidade forte pressupõe que o capital humano e capital natural são complementares, mas não intercambiáveis.

Nas palavras de Hediger (2006), a base teórica do paradigma da sustentabilidade fraca é a teoria neoclássica do crescimento econômico e da acumulação de capital incluindo recursos não renováveis. A teoria da sustentabilidade fraca enfatiza a necessidade de se manter intacto, ao longo do tempo, o estoque de capital total, ou seja, o capital natural e o capital feito pelo homem. Por outro lado, a teoria da sustentabilidade forte está alicerçada sobre o fundamento termodinâmico de uma

economia em estado de equilíbrio, isto é, implica um princípio físico que se baseia nas leis da termodinâmica e dos processos de crescimento biológico e enfatiza a necessidade de se manter o estoque de capital natural, em vez de capital total como pré-requisito do desenvolvimento sustentável.

Com uma abordagem social, Drakakis-Smith (1995) definiu a sustentabilidade para as cidades como padrão de desenvolvimento que (1) satisfaz a exigência de equidade, justiça social e direitos humanos; (2) atende às necessidades humanas básicas; (3) permite a autodeterminação social e étnica; (4) promove a conscientização e integridade do meio ambiente, e (5) promove a conscientização das interligações entre vários seres vivos em todo espaço e no tempo.

Uma atividade “sustentável” significa, segundo Begon *et al.* (2006), que ela pode ser continuada ou repetida em um futuro previsível. A preocupação surge porque muitas atividades humanas são claramente insustentáveis. Sustentabilidade torna-se assim um dos conceitos fundamentais – talvez o conceito central – em uma preocupação cada vez mais ampla sobre o destino da Terra e as comunidades ecológicas que a ocupam.

Segundo Vos (2007), quase todas as definições de sustentabilidade compartilham partes dos elementos centrais. Todas apresentam uma forma de olhar para os problemas ambientais em relação à economia e à sociedade. Outra parte essencial do conceito de sustentabilidade que a distingue de outras formas de ver o meio ambiente, economia ou sociedade é o foco na equidade intergeracional.

O desenvolvimento sustentável se refere, segundo Brüll *et al.* (2011), tanto ao bem-estar dos seres humanos como de outras comunidades, principalmente no que diz respeito às gerações futuras, uma vez que a sociedade humana é vitalmente dependente da integridade dos ecossistemas e das funções de suporte de vida que ecossistemas proporcionam. O conceito de "serviços ecossistêmicos" busca internalizar o valor do capital natural para as tomadas de decisões econômicas e políticas.

Desenvolvimento sustentável significa, portanto, desenvolvimento social e econômico estável, equilibrado, socialmente justo, com mecanismos de distribuição das riquezas geradas e com capacidade de considerar a fragilidade, a interdependência e as escalas de tempo próprias e específicas dos recursos naturais. Não se concebe o desenvolvimento como um processo estático. Ao contrário é um processo dinâmico que abrange as relações sociais, econômicas e culturais, inseridas em um ambiente biofísico com o qual interage.

A Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 (BRASIL, 1981), que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, tem como objetivo implícito o desenvolvimento sustentável. Esta lei instituiu alguns instrumentos, em nível federal, dentre os quais se destacam:

- O estabelecimento de padrões de qualidade ambiental;
- O zoneamento ambiental;
- A avaliação de impactos ambientais;
- O licenciamento ambiental;
- A criação de penalidades disciplinares e compensatórias relativas à degradação ambiental.

Dentre estes instrumentos, tratar-se-á, a seguir do Licenciamento Ambiental.

### **2.1.1 Licenciamento ambiental**

Licenciamento Ambiental, no Brasil, é o procedimento no qual o Poder Público, investido na sua atribuição constitucional, exerce o controle das ações humanas que interferem no meio ambiente, compatibilizando o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental. Por princípio, tem caráter preventivo de tutela do meio ambiente, que consiste em antecipar-se na adoção de medidas que evitem ou minimizem danos ao ambiente.

O procedimento administrativo do licenciamento ambiental deve cumprir rito próprio e primar pela publicidade, observando os princípios constitucionais - legalidade, impessoalidade, moralidade, publicidade e eficiência – aos quais estão afetos os entes da administração pública direta e indireta de qualquer dos Poderes da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, conforme Art. 37 da Constituição Federal (Brasil, 1988). Assim a cada requisição, bem como a cada concessão de licença ambiental deve ser dado conhecimento à sociedade.

Nos casos em que se exige EIA/RIMA, deve-se tornar público que o estudo foi apresentado e que o RIMA encontra-se a disposição para consulta. A participação pública é garantida nas Audiências Públicas que tem por finalidade expor aos interessados o conteúdo do produto em análise e do seu referido RIMA, dirimindo-se dúvidas e recolhendo dos presentes as críticas e sugestões a respeito.

O licenciamento ambiental se destaca como um importante instrumento da política ambiental, alinhado com o conceito de desenvolvimento sustentável, tem, por princípio, a mediação do

desenvolvimento econômico com o uso racional dos recursos naturais, de modo a assegurar a sustentabilidade dos sistemas socioambientais. Além disso, o Licenciamento Ambiental permite ao empreendedor conhecer as consequências ambientais do seu negócio ou atividade, e identificar de que forma essas consequências, sejam positivas ou negativas, podem ser gerenciadas.

A decisão de se conceder ou não as licenças ambientais, é subsidiada pela avaliação dos impactos ambientais, que integram os estudos ambientais.

### **2.1.2 Avaliação de Impacto Ambiental**

Avaliação de Impacto Ambiental – AIA, segundo Sánchez (2008), é um procedimento consolidado para a coleta e organização de dados, que considera os efeitos de projetos de desenvolvimento sobre a qualidade ambiental e a produtividade dos recursos naturais, em associação ao licenciamento das atividades utilizadoras dos recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras. Tem caráter prévio e é vinculado ao processo decisório.

O processo de Avaliação de Impacto Ambiental inclui atividade de análise multicriterial, pelo qual as consequências futuras de uma ação proposta ou em curso são identificadas e avaliadas. De acordo com Bolea (1984), a diferença entre a situação do meio ambiente futuro, modificado pela realização de um projeto, e a situação do meio ambiente futuro, tal como teria evoluído sem o projeto, é considerado como impacto ambiental. Por essa razão a AIA deve avaliar todas as alternativas viáveis de um projeto, inclusive a alternativa de não ação, isto é, avaliar a evolução natural do ambiente onde o projeto estaria inserido, sem a sua execução. Dessa forma os impactos ambientais são identificados, permitindo a escolha da alternativa mais apropriada.

*“para se estimar adequadamente o impacto de um projeto, faz-se mister a elaboração de cenários de como evoluiria o ecossistema sem o projeto e de como evoluirá com o projeto. Deve considerar-se que há sempre alguma capacidade de suporte e reação do ecossistema. Assim o impacto é calculado a partir de ambos, definindo-se como a resultante da perturbação sobre o sistema e da reação do ecossistema” (LIMA, 2001, p.50).*

A avaliação de impacto ambiental desempenha ainda as seguintes funções:

- Instrumento de apoio à decisão;
- Instrumento de apoio à concepção de projetos;
- Instrumento de negociação entre os atores sociais, e
- Instrumento de gestão ambiental.

A avaliação de impacto ambiental é consagradamente constituída por três fases básicas, a saber:

- Identificação dos Impactos;
- Predição dos Impactos, e
- Avaliação dos Impactos.

Na sequência apresenta-se uma breve descrição das três fases de AIA.

### **2.1.2.1 Identificação dos impactos**

A fase de identificação dos impactos ambientais integra a fase dos diagnósticos. Caracteriza-se por ser, em geral, uma atividade objetiva, que identifica cada etapa ou intervenção do empreendimento e suas alternativas, capaz de operar modificações nos meios físico, biótico e socioeconômico, e as consequências advindas dessas modificações. Os impactos ambientais identificados são então classificados de acordo com suas características, conforme Magrini (1990):

❖ Características de valor:

- Positivo: quando uma ação resulta em melhoria de um componente ambiental;
- Negativo: quando uma ação resulta em prejuízo a um componente ambiental.

❖ Características de ordem ou de origem:

- Direto: quando é resultado de uma ação direta do homem, estabelecendo uma relação direta de causa e efeito, também identificado como impacto ambiental primário ou de primeira ordem;
- Indireto: decorrente do anterior é resultado de uma reação ou uma cadeia de reações em relação à ação, também são identificados como impactos ambientais secundários ou de segunda ordem, terciários ou de terceira ordem, até os de enésima ordem.

❖ Características espaciais ou de abrangência:

- Local: quando a consequência da ação afeta o próprio sítio e suas imediações;

- Regional: quando a consequência da ação se propaga além das suas imediações;
- Estratégico: quando a consequência da ação se propaga por uma grande região, ou extrapola as fronteiras do país, ou ainda afeta um componente ambiental de interesse nacional.
  - ❖ Características temporais ou dinâmicas:
- Imediato: quando a consequência da ação ocorre em seguida à sua realização;
- Médio ou longo prazo: quando a consequência ocorre após ter decorrido algum tempo da ação;
- Temporário ou reversível: quando a consequência da ação ocorre por certo tempo, havendo condições para o componente ambiental evoluir para uma situação semelhante à preexistente;
- Permanente ou irreversível: quando a consequência da ação ocorre por um tempo indeterminado, inexistindo condições para o componente ambiental evoluir para uma situação semelhante à preexistente.
- Contínuo: quando a consequência da ação ocorre sem interrupções, no período de sua manifestação;
- Descontínuo: quando a consequência da ação ocorre alternada com interrupções, no período de sua manifestação.
  - ❖ Características de interação:
- Cumulativos: quando as consequências de uma ou mais ações se manifestam em um componente ambiental, com resultados equivalentes ao somatório dos efeitos individuais de cada ação;
- Sinérgicos: quando as consequências de uma ou mais ações se manifestam, de forma potencializada, em um componente ambiental, cujos resultados vão além do simples somatório dos efeitos individuais de cada ação.

A classificação apresentada busca explicitar a dinâmica espaço-temporal dos impactos ambientais, e dessa forma, delimitar a sua ação e respectivos efeitos, já que estes se propagam, espacialmente e temporalmente, através de uma complexa rede de interações.

### **2.1.2.2 Predição dos impactos**

A predição dos impactos ambientais é a fase dos prognósticos, onde estes são caracterizados e suas magnitudes são analisadas. A magnitude de um impacto ambiental é a medida de alteração no valor de

um parâmetro ou de um componente ambiental, de forma qualitativa ou quantitativa. Segundo Westman (1985) normalmente são utilizados cinco métodos na predição de impactos ambientais:

- Estudos de casos que permitam extrapolar os efeitos de uma ação similar sobre o mesmo ecossistema ou outro ecossistema semelhante;
- Modelos conceituais ou quantitativos que efetuem previsões das interações do ecossistema;
- Bioensaios de estudos de microcosmo que simulem os efeitos das perturbações sobre os componentes dos ecossistemas, sob condições controladas;
- Estudos de perturbações no campo que evidenciem respostas, de parcela da área proposta para o projeto, às perturbações experimentais;
- Considerações teóricas que propiciem a predição dos efeitos a partir da teoria ecológica vigente.

A fase de predição dos impactos ambientais, utilizando qualquer dos métodos acima, também envolve limitações, relativas à previsão do comportamento de sistemas dinâmicos e complexos.

### **2.1.2.3 Avaliação dos impactos**

Nesta fase são atribuídos parâmetros de importância ou de significância, caracterizada por uma valoração subjetiva ou normativa. A importância de um impacto ambiental deve revelar o quanto este é importante ou significativo para a qualidade dos ambientes afetados e envolve um julgamento de valor.

Cantarino (2001) observa que, em geral os graus de importância ou de significância atribuídos pela equipe técnica multidisciplinar, responsável pela execução dos estudos, são diferentes daqueles atribuídos, tanto pelos decisores quanto pela comunidade afetada.

Prever impactos ambientais em relação a um projeto, destinado a uma determinada região é, segundo Ab'Saber (1994), uma atividade técnico-científica essencialmente multidisciplinar, que trata de refletir sobre um quadro complexo de consequências em cadeia, que podem ocorrer como resultado da sua execução. Necessita-se para tanto, de um diagnóstico do cenário preexistente de ocupação espacial e qualidade ambiental, em contraponto com os prognósticos dos possíveis cenários a serem criados, em diferentes horizontes temporais.

#### **2.1.2.4 Métodos de Avaliação de Impacto Ambiental**

Segundo Lakatos e Marconi (1994, p.83) “*método é o conjunto de atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo...*”. Segundo Bisset (1982), métodos de avaliação de impactos ambientais são os mecanismos estruturados para coletar, analisar, comparar e organizar informações e dados sobre os impactos ambientais de uma proposta; ou ainda segundo Horberry (1984), é a sequência de passos recomendados para coleccionar e analisar os efeitos de uma ação sobre a qualidade ambiental e a produtividade do sistema natural, e avaliar os seus impactos ambientais nos receptores natural, socioeconômico e humano.

Os principais métodos de avaliação de impactos ambientais, hoje disponíveis, foram desenvolvidos para a solução de problemas específicos. Aperfeiçoados ao longo dos anos e adaptados para serem aplicados em várias situações, esses métodos em geral contém um alto grau de subjetividade.

Como assinala Canter (1998), a busca pelo método ideal para satisfazer todas as questões científicas e políticas relacionadas com o processo de avaliação de impacto ambiental está em curso desde 1970. Diversos métodos têm sido utilizados ao longo das últimas décadas para atender as diversas atividades necessárias na condução de estudos de impacto. Os objetivos das várias atividades diferem como também diferem os métodos utilizáveis para cada atividade.

Nos Quadros 1 e 2 apresenta-se uma sinopse e uma breve descrição de vinte e dois tipos de métodos utilizados em sete atividades típicas de AIA, conforme Canter (1998).

**Quadro 1: Sinopse dos Métodos de AIA e atividades de estudo.**

TIPOS DE MÉTODOS DE AIA	DEFINIÇÃO DE QUESTÕES (ESCOPO)	IDENTIFICAÇÃO DE IMPACTOS	DESCRIÇÃO DO AMBIENTE AFETADO	PREVISÃO DE IMPACTOS	AVALIAÇÃO DE IMPACTOS	TOMADA DE DECISÃO	COMUNICAÇÃO DE RESULTADOS
(1) ANÁLOGIAS (COMPARAÇÃO E ESTUDOS DE CASO)	X	X		X	X		
(2) CHECKLISTS		X	X				X
(3) CHECKLISTS FOCADAS NAS DECISÕES					X	X	X
(4) ANÁLISE DE CUSTO BENEFÍCIO AMBIENTAL				X	X	X	
(5) OPINIÃO DE ESPECIALISTAS		X		X	X		
(6) SISTEMAS ESPECIALISTAS	X	X	X	X	X	X	
(7) ÍNDICES OU INDICADORES	X		X	X	X		X
(8) TESTES EM LABORATÓRIO E MODELOS EM ESCALA		X		X			
(9) AVALIAÇÃO DA PAISAGEM			X	X	X		
(10) REVISÃO DE LITERATURA		X		X	X		
(11) CÁLCULOS DE BALANÇO DE MASSAS (INVENTÁRIOS)				X	X		X
(12) MATRIZES	X	X		X	X	X	X
(13) MONITORAMENTO (BASE)			X		X		
(14) MONITORAMENTO (ESTUDOS DE CAMPO)				X	X		
(15) REDES		X	X	X			

Continua

**Continuação**

(16) SOBREPOSIÇÃO DE MAPAS - SIG			X	X	X		X
(17) MOSAICOS DE FOTOGRAFIAS			X	X			X
(18) MODELAGEM QUALITATIVA (CONCEITUAL)			X	X			
(19) MODELAGEM QUANTITATIVA			X	X			
(20) AVALIAÇÃO DE RISCOS	X	X	X	X	X		
(21) CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS				X		X	
(22) EXTRAPOLAÇÃO DE TENDÊNCIAS			X	X			

**Fonte: Canter (1998)** X = potencial para o uso direto do método para a atividade listada.

## Quadro 2: Uma breve descrição dos 22 tipos de métodos.

- (1) **Analogias:** se referem à informação de projetos existentes de um tipo semelhante ao projeto que está sendo abordado, com informações de monitoramento relativas aos impactos conhecidos, usados como uma analogia aos impactos esperados do projeto proposto.
- (2) **Checklists:** existem muitas variações de *checklists* ou listas de verificação, sendo este tipo de método uma abordagem bastante utilizada. Conceitualmente, listas de verificação normalmente contêm uma série de itens, questões de impacto, ou questões, que o usuário deve resolver.
- (3) **Checklists focadas na decisão:** estão relacionadas principalmente à comparação e realização de análises de compensação para as alternativas. A este respeito, tais métodos são úteis para a síntese de informação em relação a cada alternativa viável.
- (4) **Análise custo-benefício ambiental (ACBA):** ACBA complementa a análise custo-benefício tradicional, com maior atenção para o valor econômico dos recursos ambientais, e para a avaliação dos impactos do projeto proposto e as alternativas sobre tais recursos.
- (5) **Opinião de especialista:** também referido como o julgamento profissional. Representa um método largamente utilizado. Ferramentas específicas que podem ser utilizadas para facilitar o desenvolvimento da informação incluem a condução de estudos Delphi, o uso de processo de avaliação de adaptação ambiental para delinear modelos qualitativo/quantitativo objetivando a previsão de impacto, ou o desenvolvimento de modelos separados para os processos ambientais.
- (6) **Sistemas especialistas:** se referem a um tipo de método, que se baseia no conhecimento e julgamento de especialistas em determinadas áreas temáticas. Tal conhecimento é codificado, através de uma série de regras ou heurísticas, em sistema especialista em *software* de computador.
- (7) **Índices e indicadores:** se referem às características selecionadas ou parâmetros de meios ambientais ou recursos, que representam as medidas mais amplas da qualidade/quantidade de tais meios ou recursos. Especificamente, os índices se referem a qualquer informação numérica ou categorizada que pode ser usada para descrever a previsão ambiental e avaliação de impacto. Os índices são baseados na agregação de indicadores selecionados e sua avaliação.

Continua

### Continuação

(8) **Testes em laboratório e Modelos em escala:** se referem à realização de testes específicos ou experiências para obter informação qualitativa ou quantitativa relativa aos impactos previstos de determinados tipos de projetos em determinados locais geográficos.

(9) **Avaliação da paisagem:** são métodos úteis principalmente para estética ou avaliação visual de recursos. São derivados da agregação de indicadores, com informação relevante para uma pontuação geral e caracterização do ambiente (semelhante ao número 7).

(10) **Revisão da literatura:** refere-se à informação recolhida sobre os tipos de projetos e seus impactos típicos. Como observado para “análogos”, tais informações podem ser úteis para delinear os impactos potenciais, quantificando as mudanças previstas, e identificar medidas de mitigação.

(11) **Cálculo de balanço de massas:** refere-se aos inventários das condições existentes em comparação com a variação de tais condições que resultariam da ação proposta. Os estoques são frequentemente utilizados para avaliar emissões de poluentes atmosféricos e da água, juntamente com resíduos sólidos e perigosos a serem gerados.

(12) **Matrizes de interação:** representam um tipo amplamente utilizado de método dentro do processo de AIA. Variação de matrizes de interação simples tem sido desenvolvida para enfatizar características particulares desejáveis.

(13) **Monitoramento (base):** refere-se a medidas utilizadas para estabelecer as condições ambientais existentes e interpretar o significado das mudanças previstas a partir de uma ação proposta.

(14) **Monitoramento (estudos de campo):** de receptores análogos representa uma abordagem especializada em que o monitoramento pode ser realizado a partir de impactos reais resultantes de projetos do mesmo tipo do projeto que está sendo analisado.

(15) **Redes:** delineiam conexões ou relações entre as ações do projeto e os impactos resultantes. Eles também são conhecidos como árvores de impacto, cadeias de impacto, diagramas de causa e efeito, ou diagramas de consequência. As redes são úteis para mostrar as relações de impacto primárias, secundárias, e terciárias.

### Continua

**Continuação**

(16) **Sobreposição de mapas:** foi utilizada no início da prática de EIA, consiste no conjunto de mapas sobrepondo um mapa de base e exibindo diferentes ambientais características. A aplicação dos sistemas de informação geográfica (SIG) apoiados pelo uso de computador com esta técnica representa um tipo emergente de método.

(17) **Mosaicos de fotografias:** ou fotomontagens são ferramentas úteis para apresentar a qualidade visual do cenário e os potenciais impactos visuais de uma ação proposta. Este tipo de método está relacionado com avaliação da paisagem.

(18) **Modelagem Qualitativa:** refere-se a métodos em que a informação descritiva é utilizada para abordar as ligações entre várias ações e mudanças resultantes em componentes ambientais. Tal modelagem é normalmente baseada em opinião de especialistas (julgamento profissional, conforme descrito anteriormente) e usa modelos de computador.

(19) **Modelagem Quantitativa:** refere-se a métodos que podem ser utilizados para tratar especialmente as alterações ambientais previstas como resultado de ações propostas. Modelos quantitativos podem abranger desde modelos simplificados a complicados modelos tridimensionais de computador que requerem entrada extensa de dados.

(20) **Avaliação de riscos:** refere-se a uma ferramenta inicialmente utilizada para estabelecer padrões ambientais baseados em riscos à saúde. Ele abrange a identificação do risco, consideração de relações dose-resposta, a condução de uma avaliação da exposição a agentes perigosos e a avaliação dos riscos associados. As avaliações de riscos podem ser vistos a partir da perspectiva da saúde humana e riscos ecológicos.

(21) **Construção de cenários:** refere-se a considerar futuros alternativos, como resultado de diferentes suposições iniciais. A construção de cenários é utilizada dentro do campo de planejamento, e tem aplicabilidade em AIA, particularmente no contexto das avaliações ambientais estratégicas.

(22) **Extrapolação de tendência:** refere-se a métodos que utilizam as tendências históricas e estendê-las para o futuro baseada em suposições relacionadas com as condições persistentes ou alteradas.

**Fonte: Canter (1998)**

Considerando o conjunto de atividades sistemáticas que estruturam o método proposto nesta pesquisa, em comparação com as descrições apresentadas no **Quadro 1: Sinopse dos Métodos de AIA e atividades de estudo** e no **Quadro 2: Uma breve descrição dos 22 tipos de métodos** é possível compreender que se trata de um método que utiliza componentes de diversos métodos, a saber:

- Julgamento de especialistas;
- Índices e indicadores;
- Monitoramento;
- Redes;
- Modelagem qualitativa;
- Modelagem quantitativa;
- Construção de cenários.

## 2.2 Indicadores e Índices

Indicador é uma medida do comportamento de um sistema em termos de atributos expressivos e perceptíveis, constituída por uma ou mais variáveis que, isoladamente ou associadas, revelam significados mais amplos sobre os aspectos e fenômenos a que se referem; nas palavras de Hammond *et al.* (1995) é “*algo que provê a direção para os aspectos mais significativos ou torna perceptível uma tendência ou fenômeno que não são imediatamente detectáveis*”.

Os indicadores descrevem processos específicos e são particulares a esses processos, e por isso não há um conjunto de indicadores globais adaptáveis a qualquer realidade.

Normalmente os indicadores são descritivos ou normativos. Os indicadores descritivos refletem as condições reais, como o estado do meio ambiente ou a pressão sobre o meio ambiente. Os indicadores normativos medem ou comparam as distâncias entre as condições reais e as de referência.

O uso de indicadores ambientais em avaliação de impactos é corrente nas principais estruturas responsáveis por licenciamento e estudos de impactos por todo o mundo. Como um dos principais exemplos, cita-se o modelo “Pressão-Estado-Resposta” desenvolvido pela OCDE (2002), que é constituído pelas seguintes classes de indicadores:

- Indicadores de Pressão: descrevem as pressões diretas e indiretas das atividades humanas sobre o meio ambiente e que se traduzem por alterações na qualidade do ambiente e na qualidade e quantidade dos recursos naturais;

- Indicadores de Estado: caracterizam a qualidade do ambiente e a qualidade e a quantidade dos recursos naturais, permitindo obter uma percepção do seu estado;
- Indicadores de Resposta: evidenciam os esforços efetuados pela sociedade, em resposta às alterações no estado do ambiente.

Os indicadores ambientais também podem ser classificados em três grupos: grupo dos indicadores individuais, grupo dos indicadores temáticos e o grupo dos indicadores sistêmicos (World Bank, 1997). Outra classificação usual os agrupa em indicadores absolutos e indicadores relativos. Os indicadores absolutos são os valores primários da perturbação e representam o consumo de um recurso ou a emissão de um poluente. Os indicadores relativos visam avaliar a eficiência ambiental das atividades humanas em relação aos seus parâmetros de desempenho, são associados aos dados de produção, aos custos envolvidos ou às emissões totais (CANTARINO, 2001).

Os indicadores ambientais permitem uma análise da eficiência da gestão ambiental, do controle ambiental adotado pelas atividades humanas e da qualidade do ambiente em que essas atividades ocorrem. Podem ser expressos em valores discretos ou escalares (numéricos), ou em valores linguísticos, que expressem padrões de referência, como por exemplo: impróprio, crítico ou poluído.

Canter (1996) define índice ambiental, no sentido amplo, como um número, ou uma classificação descritiva de uma grande quantidade de dados ou informação ambiental, cujo propósito principal é simplificar a informação para que possa ser útil aos decisores e ao público, sendo diferente de um indicador ambiental, que são medidas simples de fatores ou espécies biológicas, indicativas do sistema biofísico ou socioeconômico.

A título de exemplo cita-se o Índice de Qualidade da Água – IQA; índice desenvolvido pela CETESB em 1975, adaptado do índice similar, desenvolvido em 1970 pela *National Sanitation Foundation - NSF* dos Estados Unidos, para avaliar a qualidade da água bruta, visando seu uso para o abastecimento público, após tratamento (ANA, 2005). É composto por nove parâmetros ou indicadores, a saber:

- Oxigênio dissolvido;
- Coliformes termotolerantes;
- Potencial hidrogeniônico - pH;
- Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO<sub>5,20</sub>;
- Temperatura da água;

- Nitrogênio total;
- Fósforo total;
- Turbidez, e
- Resíduo total.

Canter (1996) acrescenta que, em termos de estudos de impacto, os índices ambientais podem ser úteis para satisfazer um ou mais dos seguintes objetivos:

- Resumir os dados ambientais existentes;
- Comunicar informação sobre a qualidade do meio afetado;
- Avaliar a vulnerabilidade ou suscetibilidade à contaminação de uma determinada categoria ambiental;
- Centrar-se seletivamente nos fatores ambientais chaves;
- Servir como base para a expressão do impacto, na previsão das diferenças entre o valor do índice com a execução do projeto, e o valor do mesmo índice sem a execução do projeto.

O desenvolvimento de índices numéricos ou de classificação da qualidade ambiental, da vulnerabilidade do meio ambiente ou da contaminação das atividades humanas está associado, segundo Canter (1996), à realização de várias etapas que incluem a identificação dos fatores chaves que possam ser utilizados como indicadores, a atribuição de pesos de importância relativa, o estabelecimento de funções de escala ou de outros métodos de avaliação dos fatores, a determinação e realização de um adequado método de agregação, e a aplicação e verificação em campo.

Pode-se concluir então que, índices são obtidos a partir de um conjunto de variáveis ou indicadores, que combinados, agregados ou integrados, segundo critérios específicos, revelam uma medida abrangente sobre os aspectos, fenômenos ou sistemas, aos quais se propõem representar.

O uso de indicadores reduz a subjetividade das estimativas pessoais, proporcionando maior confiabilidade às avaliações. Toro *et al.* (2012) propuseram um método para determinar a importância da vulnerabilidade a que sistemas físicos, bióticos e socioeconômicos estão suscetíveis. O método utilizado para quantificar a importância da vulnerabilidade é baseado em um conjunto de fatores ambientais e indicadores que fornecem uma visão abrangente da situação ambiental. Peche e Rodriguez (2009 e 2011) desenvolveram um método de EIA, baseado na lógica *fuzzy*, que permitiu a agregação dos impactos ambientais, com base em suas propriedades, em um indicador de impacto global.

## 2.3 Dinâmica de Sistemas

Um sistema é entendido como uma unidade na qual os elementos componentes formam um todo organizado que interagem entre si, afetando-se mutuamente, de modo a alcançar um objetivo comum. Um sistema é dinâmico se a resposta presente depende de um estímulo pretérito.

As relações e conexões entre os componentes de um sistema são chamadas de estrutura do sistema. Um exemplo conhecido de um sistema complexo e dinâmico é um ecossistema. A estrutura de um ecossistema pode ser definida pelas interações entre populações de animais e vegetais, as taxas de nascimento e morte, a disponibilidade de alimentos e água, e outras variáveis específicas de um determinado ecossistema, devendo incluir as variáveis importantes que influenciam o sistema.

Dinâmica de Sistemas é uma metodologia ou abordagem que tem por objetivo a análise e o estudo do funcionamento de sistemas complexos e dinâmicos, ou seja, sistemas que sofrem alterações ao longo do tempo. Constitui-se de um conjunto de técnicas e ferramentas utilizadas para explicitar os inter-relacionamentos entre as diversas variáveis de um sistema, permitindo a visualização das consequências de estímulos gerados internamente. Opera com ciclos de retroalimentação interna e atrasos que afetam o comportamento do sistema como um todo. É baseada em uma estrutura direta de fluxos e estoques, projetada para modelar sistemas com numerosas variáveis.

*“Dinâmica de sistemas é um conjunto de técnicas de pensamento e modelos de computador que ajuda os seus praticantes a começar entender sistemas complexos, como o corpo humano ou a economia nacional ou o clima da Terra. Ferramentas de Sistemas nos ajudam a manter o controle de múltiplas interligações; eles nos ajudam a ver as coisas como um todo”.*  
(MEADOWS, 1991)

No livro *Industrial Dynamics*, de 1961, o Dr. Jay W. Forrester, do MIT - Massachusetts Institute of Technology, apresentou pela primeira vez a filosofia e metodologia de Dinâmica de Sistemas Originalmente idealizada para as ciências de gestão e engenharia, desenvolveu-se progressivamente sendo aplicada na análise dos fatores sociais, econômicos, físicos, químicos, biológicos e sistemas ecológicos.

Para construir modelos que representam sistemas dinâmicos, Forrester traçou um paralelo com os sistemas hidrodinâmicos, compostos por reservatórios ou cisternas, ligados por canais, com ou sem atrasos, variando seus fluxos padrão, com a ocorrência de fatores exógenos.

Dinâmica de Sistemas também pode ser usada, segundo Martin (1997), para analisar as mudanças estruturais na forma como uma parte de um sistema pode afetar o seu comportamento como um todo. Mais uma vez referindo-se a um ecossistema, pode-se testar o impacto de uma seca ou analisar o impacto da eliminação de uma espécie animal, em particular, sobre o comportamento do sistema.

Segundo Forrester (1995), desde os anos 1960, a Dinâmica de Sistemas vem construindo uma base mais eficaz do que anteriormente existia para a compreensão da mudança e complexidade. O campo repousa em três fundamentos:

- Crescente conhecimento sobre como as laços de retroalimentação (*feedback loops*), contendo fluxos de informação, tomada de decisão e de ação, controlam as mudanças em todos os sistemas.
- Computadores pessoais, para simular o comportamento de sistemas que são complexos demais para o ataque com a matemática convencional, descrições verbais, ou métodos gráficos. Excelentes *softwares* de fácil utilização já estão disponíveis.
- A constatação de que a maior parte do conhecimento existente sobre estruturas dinâmicas reside na cabeça das pessoas.

Laços de realimentação, ou *feedback loops*, segundo Stanley e Zhu (1996) e Forrester (1998), são os elementos básicos estruturais dos sistemas. A realimentação ou *feedback* é responsável por quase todo comportamento dinâmico em sistemas. Para usar com sucesso a dinâmica de sistemas como ferramenta de aprendizagem, é preciso entender os efeitos de *feedback loops* em sistemas dinâmicos.

*“Nós não vivemos em um mundo unidirecional no qual um problema leva a uma ação que leva a uma solução. Em vez disso, vivemos em um ambiente circular em desenvolvimento. Cada ação é baseada nas condições atuais, tais ações afetam as condições futuras, e as condições alteradas são a base para uma ação seguinte. Não há começo nem fim ao processo. Laços de retroalimentação interconectam as pessoas. Cada*

*“pessoa reage ao eco de suas ações passadas, bem como de ações passadas dos outros”*  
(FORRESTER, 1998).

Uma maneira de usar a dinâmica de sistemas para entender o *feedback* é com um *software* de simulação em um computador. A simulação por computador é uma ferramenta muito útil para explicar sistemas, no entanto, de acordo com Stanley e Zhu (1996), é preciso também ser capaz de usar outra ferramenta de simulação, a simulação mental, ou seja, ser capaz de construir um modelo mental. Um forte conjunto de habilidades mentais de simulação irá melhorar a capacidade de validar, depurar e entender sistemas dinâmicos e modelos.

Um modelo mental pode ser correto em estrutura e suposições, mas segundo Foster (1995), a mente humana é capaz de elaborar implicações erradas para o futuro, porque, segundo o autor, a mente do ser humano não é confiável na compreensão do que a informação disponível significa, em termos de comportamento.

A compreensão e interpretação de sistemas complexos e dinâmicos não é tarefa trivial, prever o comportamento desses sistemas requer o auxílio de modelos que os representem adequadamente. A simulação por computador se encaixa perfeitamente com os modelos mentais por utilizar as informações mentalmente armazenadas e, em seguida, exibir a dinâmica das consequências. A Dinâmica de Sistemas constrói a comunicação em dois sentidos, entre os modelos mentais e modelos de simulação computacionais.

Segundo Garcia (2011), é importante assinalar a diferença existente entre duas classes de modelos: os modelos de predição, que visam fornecer dados, os mais precisos possíveis, sobre a situação futura do sistema modelado, e os modelos de gestão, que se destinam principalmente a comparar alternativas e estabelecer qual é melhor. Nos modelos de gestão não há necessidade de tal precisão porque as comparações são igualmente úteis. A dinâmica de sistemas elabora modelos desta segunda classe.

Segundo Santos (1995), modelagem é o processo de estabelecer relações entre entidades importantes de um sistema. Cada modelador desenvolve um modelo mental básico (a visão ou imagem que o modelador tem do sistema real) a partir do qual é construído um modelo específico simplificado, ou seja, um recorte que considera somente as variáveis de interesse para o estudo. Ao experimentar com esse modelo simplificado deseja-se aumentar o entendimento do modelo base e também do sistema real caracterizado por esse modelo.

Ainda segundo Santos (1995), a construção de modelos utilizando o menor subconjunto de variáveis que descrevem adequadamente o sistema real é uma qualidade desejável, evidenciando-se assim a importância de se avaliar a suficiência de informações. A habilidade em modelagem depende também de experiência, conhecimento, intuição, julgamento, percepção e imaginação.

Um modelo matemático, segundo Aracil (1995) é, essencialmente, um conjunto de equações. Para processar precisa-se da ajuda de computadores. Uma vez programado em um computador é possível experimentar o modelo. Este processo é referido como simulação do sistema em computador e requer ferramentas apropriadas. No que diz respeito à dinâmica de sistemas alguns programas foram desenvolvidos, dos quais, segundo, os mais utilizados são: DYNAMO<sup>®</sup>, STELLA<sup>®</sup>, PowerSim<sup>®</sup>, VenSim<sup>®</sup> e Mosaikk-SimTek<sup>®</sup>.

## 2.4 Resiliência

Resiliência foi originalmente definida por Holling (1973, p. 14) como “*uma medida da persistência de sistemas e de sua capacidade de absorver mudanças e perturbações e ainda manter as mesmas relações entre as populações ou variáveis de estado*”. Ainda segundo Holling (1973), é a quantidade de perturbação que um ecossistema pode suportar sem alterar processos e estruturas auto-organizados (definida como estados estáveis alternativos). Outros autores como Pimm (1991), Tilman e Downing (1994), Ives (1995), Mittelbach *et al.* (1995) e Neubert e Caswell (1997), consideram a resiliência como um tempo de retorno a um estado estável após uma perturbação.

Segundo Carpenter (2003), os sistemas dinâmicos se caracterizam pelos *feedbacks* e relações não lineares entre os seus componentes. Essas interações e *feedbacks* podem resultar em longos períodos de estagnação relativa, pontuadas por mudanças muito rápidas às novas condições ou “regimes” quando os sistemas estão sobrecarregados por uma perturbação. O sistema permanece naquele regime por causa de *feedbacks* entre os seus componentes, que impedem que o sistema se afaste muito. No entanto, se um sistema se move para um novo regime, novos *feedbacks* irão se formar para manter o sistema no novo regime.

Walker *et al.* (2004) definiu resiliência como a capacidade de um sistema para absorver perturbações e de se reorganizar enquanto passa por mudanças, de forma a ainda manter a mesma função, identidade, estrutura e *feedbacks*, o que significa ficar na mesma bacia de atração.

O conceito de domínios ou bacias de atração, segundo Gallopín (2006), é central para a noção de resiliência. Significa a porção do espaço que abriga o estado de um sistema dinâmico, que contém um “atrator” em direção ao qual o estado do sistema tende a ir, sendo, portanto, uma região do espaço de estados onde o sistema tenderia a permanecer na ausência de perturbações fortes.

Observando que todos os sistemas reais estão permanentemente expostos a perturbações, Gallopín (2006) complementa que, um estado muitas vezes é empurrado para fora do estado estável, mas tenderá a voltar a ele.

Exemplos clássicos de mudanças entre estados alternativos incluem, segundo Gunderson *et al.* (2010), transições de recifes de coral para pedras cobertas de algas, de pastagens para paisagens dominadas por vegetação arbustiva, e de água clara para turva em lagos de água doce. Associadas a cada uma dessas mudanças, estão mudanças na oferta dos serviços dos ecossistemas, por exemplo, produção de peixe, potencial de pastagens, oportunidades de turismo e recreação.

Ainda segundo Gunderson *et al.* (2010), no centro do conceito de resiliência está o conceito de um sistema sócio-ecológico. Questões de gestão de recursos naturais não são apenas questões ecológicas ou sociais, mas sim de vários elementos integrados. Estes sistemas, em que os componentes culturais, políticos, sociais, econômicos, ecológicos, tecnológicos e outros interagem, são referidos como sistemas sócio-ecológicos. Os sistemas sócio-ecológicos enfatizam a perspectiva em que os ecossistemas são integrados com a sociedade humana.

Resiliência ecológica é, portanto uma propriedade inerente de ecossistemas e está relacionada ao comportamento dinâmico auto-organizado desses ecossistemas ao longo do tempo.

## 2.5 Cenários

Segundo Godet (2000), um cenário é um conjunto formado pela descrição de uma situação futura e do encaminhamento dos acontecimentos que permitem passar da situação de origem a essa situação futura. Segundo o autor, os cenários são normalmente utilizados para conceber estratégias de atuação alternativas, o que envolve frequentemente uma análise SWOT - *strengths* (pontos fortes), *weaknesses* (pontos fracos), *opportunities* (oportunidades) e *threats* (ameaças).

De acordo com Porter (1989), cenário é definido como uma visão internamente consistente da realidade futura, baseada em um conjunto

de suposições plausíveis sobre as incertezas importantes que podem influenciar o objeto. Assim, os cenários tratam da descrição de um futuro, possível ou desejável, para um sistema e seu contexto, bem como do caminho ou da trajetória que o conecta com a situação inicial do objeto de estudo. A essência da construção de cenários futuros reside na delimitação e no tratamento dos processos e dos eventos incertos.

De acordo com Godet (2000), um cenário não é a realidade futura, mas um meio de representá-la, com vista a iluminar a ação presente à luz dos futuros possíveis e desejáveis. A prova da realidade e a preocupação de eficácia devem guiar a reflexão prospectiva para uma melhor interpretação da realidade e da história. É assim que os cenários só têm credibilidade e utilidade se respeitarem cinco condições de rigor: pertinência, coerência, verossimilhança, importância e transparência. Segundo o autor distinguem-se dois grandes tipos de cenários:

- Exploratórios: partem das tendências passadas e presentes e conduzem a futuros verossímeis;
- Normativos, ou de antecipação: são construídos a partir de imagens alternativas do futuro, podem ser desejados ou, pelo contrário, temidos; são concebidos de forma **retro projetiva** (grifo nosso).

Vergragt e Quist, (2011) acrescenta que três classes de cenários ou futuros podem ser distinguidas, respondendo-se às perguntas:

- a) o que vai acontecer? - (extrapolações de tendências, negócios como cenários habituais);
- b) o que poderia acontecer? - (previsões, prospecções, cenários estratégicos), e
- c) o que deveria acontecer? (cenários normativos como aqueles usados em *backcasting*).

Segundo Godet (2000) é importante distinguir uma fase exploratória de identificação dos desafios do futuro e uma fase normativa de definição das escolhas estratégicas possíveis e desejáveis, para não perder a orientação definida, em face desses desafios. A distinção entre estes dois tempos é tanto mais justificada quanto a escolha das estratégias é condicionada pela incerteza mais ou menos forte que pesa sobre os cenários e pela natureza mais ou menos contrastada dos cenários mais prováveis.

A revisão bibliográfica de cenários ou de métodos de cenários tem poucas citações de seu uso na perspectiva de micro escala. A maioria das reflexões sobre os princípios e conceitos das pesquisas em cenários foi produzida em referência a empresas corporativas e processo de tomada de decisão em macro escala. Os fundamentos do uso da

prospectiva de cenários com um foco geográfico mais limitado ou um foco mais social tem tido pouca consideração até o momento.

Segundo Buarque (2003) a construção de cenários lida, normalmente, com sistemas altamente complexos – sistemas não lineares que apresentam múltiplas interdependências entre suas variáveis, bem como efeitos de realimentação e atrasos entre elas – e dinâmicos, que convivem com contínuas mudanças estruturais e com elevado grau de incerteza sobre os caminhos dessas mudanças. Normalmente esses cenários devem lidar com realidades nas quais os resultados de uma mudança original não são proporcionais às causas, também múltiplas e diversificadas.

Segundo o mesmo autor, os sistemas complexos caracterizam-se por processos de retroalimentação que estabelecem condições de auto-organização e de mudança. Em qualquer sistema complexo e não linear existiriam dois mecanismos de regulação diferenciados: a retroalimentação positiva, a qual cria uma dinâmica de autorreforço dos processos de desorganização provocando reação em cadeia, e a retroalimentação negativa, que, por sua vez, se compõe de mecanismos de autorregulação, os quais se contrapõem ao processo de desorganização e reequilibram o sistema.

## 2.6 *Backcasting*

De acordo com Dreborg (1996), *backcasting* é uma abordagem para analisar opções futuras, aplicada em questões complexas de longo prazo, envolvendo muitos aspectos da sociedade, bem como de inovações tecnológicas e mudanças. *Backcasting* é um tipo de estudo de cenário, aplicado para cenários normativos, assim é especialmente indicado para apoiar a construção de um caminho que leve a um futuro desejável de um cenário sustentável.

Segundo Robinson (1990), a abordagem *backcasting* pode ser descrita como um exercício no qual se trabalha a partir dos cenários desejáveis para trás com o objetivo de se determinar que tipo de medidas seriam necessárias para atingi-lo. Para Giurco *et al.* (2011), *backcasting* é uma abordagem para visionar futuros alternativos que são descontínuos do *status quo* (frequentemente insustentável), e também para analisar o caminho de transição, através da qual estes futuros alternativos podem ser realizados. É, portanto, uma abordagem explicitamente normativa. O uso de métodos de *backcasting* não é apenas sobre como futuros desejáveis podem ser atingidos, mas também

sobre a análise dos níveis para os quais futuros indesejáveis podem ser evitados ou enfrentados.

Dreborg (1996) sustenta que o *forecasting* tradicional se baseia nas tendências dominantes e, portanto provavelmente não gera soluções baseadas na quebra de tendências. Abordagens de *backcasting*, devido ao seu caráter normativo e de solução de problemas, são muito mais adaptadas a problemas de longo prazo e soluções de sustentabilidade de longo prazo. Ainda segundo o autor, estudos de *backcasting* devem ter o objetivo de fornecer aos formadores de políticas e ao público em geral interessado, imagens do futuro como um pano de fundo para a formação de opinião e tomada de decisão.

Enquanto Dreborg (1996) entende que os fundamentos do *forecasting* e do *backcasting* são diversos e devem ser usados em casos distintos, outros autores como Höjer e Mattson (2000) sugerem que o *backcasting* e as diferentes abordagens de *forecasting* são complementares, favorecendo o *backcasting* particularmente em casos em que as tendências atuais levam em direção a um estado desfavorável, assim adicionaram um passo em sua abordagem de *backcasting* no qual as previsões e a visão desejada são comparadas. Se for difícil atingir a visão de acordo com as previsões mais confiáveis, cálculos de modelos e outras estimativas, o propósito do *backcasting* deve ser gerar imagens do futuro ou cenários que satisfaçam os objetivos.

Os autores também enfatizam a importância de examinar como alcançar um estado futuro que seja identificado como desejável. Isto inclui trabalhar para trás a partir desse futuro desejável para verificar a viabilidade física e social da rota em direção a esse futuro, identificando as medidas e ações necessárias para atingir esse futuro e usando modelos e ferramentas comuns de *forecasting* para quantificar as consequências de diferentes medidas.

A principal justificativa para um estudo de *backcasting*, segundo Höjer *et al.* (2011), é que ele pode conectar metas de curto prazo e de longo prazo, identificar potenciais conflitos entre as medidas necessárias para atingir vários alvos, e mostrar as consequências de realmente atingir os objetivos definidos. Todos estes três benefícios são muito importantes para o desenvolvimento de políticas de longo prazo e de curto prazo.

De acordo com Dreborg (1996), para a comparação entre *backcasting* e *forecasting*, as seguintes questões filosóficas são de interesse particular:

- A distinção entre o contexto de descoberta e o contexto de justificativa;

- Se a teleologia é um modo específico de entender ou se pode ser reduzida à causalidade;
- Determinismo e previsibilidade do desenvolvimento da sociedade. Incerteza e indeterminação estão relacionadas a essas questões.

Para melhor compreensão do *backcasting*, apresenta-se o Quadro 3 que traz uma comparação entre o *backcasting* e o *forecasting*.

**Quadro 3: *Forecasting e Backcasting.***

	<b>FORECASTING</b>	<b>BACKCASTING</b>
<b>Visões filosóficas</b>	Causalidade; determinismo; contexto de justificativa.	Causalidade e teleologia; indeterminação parcial; contexto de descoberta.
<b>Perspectiva</b>	Tendências dominantes; futuros prováveis; possíveis ajustes marginais; como se adaptar às tendências.	Problema social com necessidade de solução; futuros desejáveis; escopo para escolha humana; decisões estratégicas; conservar a liberdade de ação.
<b>Abordagem</b>	Extrapolar tendências no futuro; análise de sensibilidade.	Definir futuros desejáveis; analisar consequências e condições para que esses futuros aconteçam.
<b>Métodos</b>	Vários modelos econométricos.	Extrapolações parciais e condicionais destacando polaridades interessantes e limites tecnológicos.
<b>Técnicas</b>	Vários algoritmos matemáticos.	----- ( <i>sic</i> )

**Fonte: DREBORG (1996)**

*Backcasting* é, segundo Quist e Vergragt (2006), uma abordagem para construção de cenários normativos, por natureza, e que tanto quanto possível deve incluir a participação dos interessados, o que a torna multi e transdisciplinar. As partes interessadas, ou *stakeholders*, são importantes, não só por causa de seu conhecimento no contexto específico, mas também para conseguir apoio e comprometimento com os resultados e concretizar a agenda específica de ação e acompanhamento.

O foco da abordagem *backcasting* está, segundo Quist e Vergragt (2006), nos objetivos relacionados com os estados futuros desejáveis, e é visto como um processo participativo e uma abordagem orientada para o processo. Assim, os objetivos não devem refletir apenas os futuros

desejáveis, mas também o processo. Os objetivos em estudos *backcasting* podem então incluir o seguinte:

- Geração de opções normativas para o futuro, colocando-os na agenda de fóruns relevantes;
- Visões de futuro ou cenários normativos;
- Agenda de acompanhamento contendo atividades para diferentes grupos de interessados contribuindo para a realização do futuro desejável;
- Aprendizagem dos *stakeholders* com relação às opções e suas consequências.

Embora a maioria das abordagens encontradas na literatura mostrem diferenças nos métodos aplicados, formas de participação dos interessados e do número de passos, Quist e Vergragt (2006) conseguiram generalizar e traduzi-los em um quadro metodológico para *backcasting* participativo, que consiste em cinco etapas:

1. Orientação estratégica do problema;
2. Construção de cenários futuros sustentáveis;
3. *Backcasting*;
4. Análise, elaboração e definição de agenda de acompanhamento e ação;
5. Incorporação dos resultados e geração e execução de acompanhamento ou monitoramento.

O uso do *backcasting* é reconhecido academicamente como método consolidado, principalmente quando desenvolvido usando programação dinâmica e aplicado ao planejamento de grandes sistemas viários (WEMBO, 2002), e quando trata de planejamento do manejo de recursos hídricos, tal como a modelagem de bacia hidrográfica (KIEKEN, 2002) e o planejamento para a sustentabilidade de águas urbanas (MITCHELL, 2003).

Musse (2010) associou o *Backcasting* e a Dinâmica de Sistemas como instrumentos para criar conhecimento em sistemas complexos, visando à tomada de decisão, tendo por base a participação efetiva de todos os interessados no problema.

A construção de cenários futuros, adotando-se a abordagem de *backcasting*, deve ser feita de forma participativa, segundo Wangel (2011), por incluir uma variedade de perspectivas e tipos de conhecimento dos cenários, criar consensos e mapear conflitos, para gerar capacitação da comunidade, aprendizagem social e desenvolvimento de capacidades, e para aumentar a legitimidade dos cenários resultantes.

Uma característica fundamental das abordagens do backcasting participativo, segundo Robinson *et al.* (2011), é que eles envolvem futuros preferenciais dos participantes, em vez de partir de metas e objetivos fornecidos externamente. O que se obtém é a oportunidade para permitir participantes para articular suas próprias visões de futuros desejáveis, e aprender, através do processo de análise de cenário, as consequências e as relações de compromisso associadas a essas preferências. Isso permite que um tipo de processo de aprendizagem social no qual as preferências iniciais sobre os resultados futuros são ajustados como consequências e os compromissos se tornam aparentes.

Robinson *et al.* (2011) descreveram os progressos recentes na utilização das abordagens participativas baseadas em cenários *backcasting*, para a pesquisa de sustentabilidade que misturam análises quantitativas e qualitativas a fim de explorar futuros alternativos à mudança climática, desenvolvidos de uma gama de projetos governamentais, acadêmicos e do setor privado no *Lower Mainland of British Columbia*, Canadá.

Walker *et al.* (1999) propuseram um método de avaliação da atividade turística de uma região que permite o planejamento do seu desenvolvimento. Trata-se de um simulador baseado no conceito do Pensamento Sistêmico. O pensamento sistêmico é uma abordagem para definir problemas, formular e testar possíveis soluções. Ele se concentra na identificação das causas subjacentes dos problemas e, através do uso de simulação em computador, avalia as consequências de respostas de gestão e outros cenários. O simulador, que usa a interface do *software* VENSIM<sup>®</sup>, tem como objetivo permitir a avaliação de uma ampla gama de fatores econômicos, sociais, ambientais e uso da terra, que poderiam afetar o desenvolvimento do turismo ou ser afetado pelo turismo na região.

O método proposto na presente pesquisa apresenta significativas diferenças, ou seja, a abordagem *backcasting* para a construção dos cenários normativos e a integração das variáveis por lógica *fuzzy*. Para a simulação da dinâmica das interações dos sistemas estudados, utiliza-se *software* STELLA<sup>®</sup>, similar ao VENSIM<sup>®</sup>.

## 2.7 Lógica Fuzzy

Na década de 1960, o professor Lotfali Askar Zadeh, da Universidade de Berkeley, desenvolveu a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* com o objetivo de fornecer um ferramental matemático que contemplasse os aspectos imprecisos do raciocínio lógico dos seres

humanos e de situações ambíguas, não passíveis de processamento por meio da lógica binária, fundamentada na lógica booleana. Em outras palavras, o desenvolvimento da Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* foi impulsionado pela necessidade de um método capaz de expressar de uma maneira sistemática, quantidades imprecisas, vagas e mal definidas.

A lógica *fuzzy* foi inicialmente construída a partir dos conceitos da lógica aristotélica, com seus operadores definidos aos moldes dos tradicionalmente utilizados. Todavia, motivado na maioria das vezes por necessidades de caráter puramente prático, novos operadores foram definidos ao longo do tempo.

A lógica tradicional ou de Aristóteles como também é conhecida, apresenta para cada premissa lógica dois extremos: ou é completamente verdadeiro ou completamente falso. Já para a lógica *fuzzy*, uma premissa pode ser parcialmente verdadeira e ou parcialmente falso segundo o grau de certeza. Em outras palavras a Teoria *Fuzzy* estabelece que dois eventos opostos possam coexistir assim um elemento pode pertencer, em certo grau, a um conjunto e, em outro grau, a outro conjunto, ou seja, um determinado elemento pode pertencer a mais de um conjunto *fuzzy*, com diferentes graus de pertinência.

Na teoria clássica dos conjuntos, um elemento do universo pertencente a um (ou mais) conjunto(s) ou não. Isto é, a pertinência de um elemento é *crisp* – ela é sim ou não. Já para a teoria dos conjuntos *fuzzy*, ocorre uma caracterização mais ampla, sugerindo um grau de pertinência para cada elemento que pode assumir qualquer valor dentro do intervalo  $[0,1]$ . Se o grau de pertinência é zero, o elemento não pertence ao conjunto, no entanto, se o grau de pertinência é 1 o elemento pertence 100% ao conjunto. Os valores intermediários entre 0 e 1 fazem com que o elemento pertença parcialmente ao conjunto (ZADEH, 1965).

O grau para o qual o valor de uma figura técnica satisfaz o conceito linguístico de um termo de uma variável linguística é chamado de Grau de Pertinência. Para uma variável contínua esse grau é expresso por uma função chamada de Função de Pertinência. A função de pertinência é uma representação gráfica da magnitude de participação de cada dado de entrada. Essa função associa uma ponderação com cada uma das entradas que são processadas, define a sobreposição funcional entre elas, e finalmente determina uma resposta, ou dado de saída.

As regras usam os valores de entrada das pertinências como fatores de ponderação para determinar suas influências nos conjuntos difusos da saída final. Uma vez que as funções são deduzidas, escaladas, e combinadas, elas são defuzzificadas em uma resposta discreta que

dirige o sistema. Há funções de pertinências diferentes associadas com cada dado de entrada e saída.

A função de pertinência mapeia cada elemento de  $X$  para um grau de pertinência (ou valor de associação) entre 0 e 1. Obviamente, a definição de um conjunto *fuzzy* é uma simples extensão da definição de um conjunto clássico em que a função característica é permitida ter qualquer valor entre 0 e 1. Se os valores de todos os membros da função  $\mu_A(x)$  são limitados a 0 ou 1, então  $A$  é reduzido a um conjunto clássico e  $\mu_A(x)$  é a função característica de  $A$ .

A propriedade fundamental da lógica convencional é que a função de pertinência é bivalente, enquanto que a propriedade fundamental da lógica *fuzzy* é que a função de pertinência  $\mu_A(x)$  tem todos os valores dentro do intervalo  $[0,1]$ . Isso significa que um elemento pode ser membro de um conjunto, parcialmente, indicado por um valor fracionário dentro do intervalo numérico (SHAW & SIMÕES, 1999).

Segundo Almeida & Evsukoff (2003), o modo mais comum de armazenar informações em uma base de conhecimento *fuzzy* é a representação por meio de regras de produção *fuzzy*. As regras de produção normalmente são compostas de duas partes principais:

SE <situação> ENTÃO <ação>

A parte SE (antecedente) da regra descreve a situação, para a qual ela é designada e a parte ENTÃO (consequente) descreve a ação do sistema *fuzzy* nesta situação. A situação (parte SE da regra) compõe um conjunto de condições que, quando satisfeitas, mesmo parcialmente, determinam o processamento da ação (parte ENTÃO da regra) através de um mecanismo de inferência *fuzzy*, ou seja, dispara uma regra. Por sua vez, a ação compõe um conjunto de diagnósticos que são gerados com o disparo da regra. As ações das regras disparadas são processadas em conjunto e geram uma resposta quantitativa para cada variável de saída do sistema.

Os blocos de regras contêm as estratégias de controle de um sistema de lógica *fuzzy*. Cada bloco de regra limita todas as regras para o mesmo contexto. Um contexto é definido pelas mesmas regras das variáveis de entrada e de saída. Cada operação de composição de bloco de regras gera um conjunto de resultados de pertinências em campos pré-definidos, segundo a lógica *fuzzy*.

Para dar peso a cada uma das regras, é utilizado o “Grau de Suporte (DoS)”. Estes pesos são atribuídos segundo o entendimento de especialista e decisores, a respeito da importância destas regras, podendo os mesmos variar entre 0 (zero) e 1 (um).

A definição completa de um bloco de regras requer a determinação de um operador de agregação de resultados. Se mais de uma regra *fuzzy* é disparada pelo mesmo termo, a agregação de resultado define como calcular o resultado final para este termo.

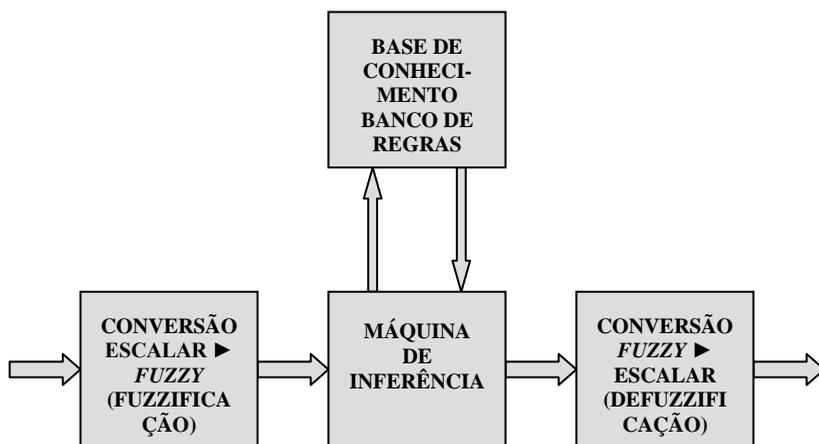
Para determinar os métodos de inferência do bloco de regras, um operador de agregação e um operador de agregação de resultado devem ser especificados, dessa forma, a inferência *fuzzy* consiste em três etapas computacionais: Agregação, Composição e Agregação de Resultado.

Modelos de inferência *fuzzy* específicos são utilizados conforme as propriedades sintáticas definidas, ou seja, o modelo de processamento definido para o sistema de conhecimento *fuzzy* depende basicamente da forma de armazenamento de informações escolhidas.

Mamdani (1974) propôs um método de inferência que foi por muitos anos um padrão para a utilização dos conceitos da lógica *fuzzy* em processamento de conhecimento. As regras de produção em um modelo de Mamdani possuem relações *fuzzy* tanto em suas *situações* como em suas *ações*.

Na figura 1, é apresentado um diagrama do modelo de inferência *fuzzy* de Mamdani utilizado num sistema de processamento de conhecimento *fuzzy*.

**Figura 1: Diagrama de um modelo de inferência de Mamdani.**



Fonte: Adaptado de CAMPOS FILHO (2004)

O modelo de inferência de Mamdani possui módulos de interface que transformam as variáveis de entrada baseadas em grandezas

numéricas, em conjuntos *fuzzy* equivalentes e, posteriormente, as variáveis *fuzzy* geradas em variáveis numéricas proporcionais, adequadas para os sistemas de atuação existentes.

Outro modelo de inferência *fuzzy* utilizado é o de Takagi-Sugeno (1985). Este modelo consiste em um sistema de inferência capaz de descrever, de forma exata ou aproximada, sistemas dinâmicos não lineares por meio de um conjunto de sistemas dinâmicos lineares, localmente válidos, interpolados de forma suave, não linear e convexa. Este modelo também possui uma estrutura baseada em regras, com a diferença de que os consequentes das regras não são conjuntos *fuzzy* como nos modelos linguísticos (Mamdani é um modelo linguístico). Esses consequentes são formados por funções *crisp* (não *fuzzy*) que mapeiam as entradas do modelo em sua saída.

Por ser uma representação mais compacta e eficiente computacionalmente do que um sistema de Mamdani, o sistema Sugeno presta-se à utilização de técnicas adaptativas para a construção de modelos difusos. Estas técnicas podem ser usadas para personalizar as funções de pertinência, de modo que o sistema *fuzzy* modele melhor os dados.

Segundo Shaw & Simões (1999), a fuzzificação é um mapeamento do domínio de números reais (em geral discretos) para o domínio *fuzzy*. Fuzzificação também representa que há atribuição de valores linguísticos, descrições vagas ou qualitativas, definidas por funções de pertinência às variáveis de entrada.

Na defuzzificação, também segundo Shaw & Simões (1999), o valor da variável linguística de saída, inferida pelas regras *fuzzy* será traduzido num valor discreto. O objetivo é obter-se um único valor numérico discreto que melhor represente os valores *fuzzy* inferidos da variável linguística de saída. Assim a defuzzificação é uma transformação inversa que traduz a saída do domínio *fuzzy* para o domínio discreto.

Segundo Oliveira Jr. (1999) e Shaw & Simões (1999), os métodos mais usados de defuzzificação são Centro da Área (CoA) ou Centro de Gravidade (CoG), Centro de Máximos (CoM) e, Média de Máximos (MoM). Zimmermann (1996) cita também o método Centro das Somas (CoS).

Segundo Shaw & Simões (1999) o método Centro da Área (CoA), também chamado de método do Centro de Gravidade (CoG), calcula o centroide da área composta que representa o termo de saída *fuzzy* ( $\mu_{out}$ ), esse termo de saída *fuzzy* é composto pela união de todas as contribuições de regras. Este método apresenta pequenos problemas

quando as funções de pertinência não possuem sobreposição, onde o centro geométrico da figura na realidade não deveria ter significado físico, outro fator é que se mais de uma regra tiver a mesma saída *fuzzy* há uma sobreposição de áreas que não é devidamente contabilizada.

No método Centro de Máximos (CoM), segundo Shaw & Simões (1999), os picos das funções de pertinência representados no universo de discurso da variável de saída são usados, enquanto ignoram-se as áreas das funções de pertinência. Nesse método as contribuições múltiplas de regras são consideradas. Considerando as funções de pertinência para a variável linguística *fuzzy* de saída, os valores não nulos do vetor de possibilidades de saída são posicionados nos picos correspondentes.

Assumindo que representam pesos, o valor de saída defuzzificado, discreto, é determinado achando-se o ponto de apoio onde os pesos ficam equilibrados. Assim as áreas das funções de pertinência não desempenham nenhum papel e apenas os máximos (pertinências *singleton*) são usados. A saída discreta é calculada como uma média ponderada dos máximos, cujos pesos são os resultados da inferência. Ainda segundo os autores, quando uma função de pertinência tiver mais de um máximo deve-se optar por usar o método da Média de Máximos (MoM).

As abordagens Centro da Área (CoA) e Centro de Máximos (CoM) resultam em soluções de melhor compromisso entre as possíveis saídas com multiplicidade de disparo de conjuntos *fuzzy* enquanto que a abordagem Média de Máximos (MoM) resulta em solução mais plausível, por desconsiderar o formato das funções de pertinência de saída.

O método de defuzzificação Centro de Somas (CoS), segundo Zimmermann (1996), é uma versão simplificada do método CoA, que não leva em conta a agregação consequente dos conjuntos *fuzzy*, mas considera o conjunto *fuzzy* resultante de cada regra de avaliação individualmente. Assim a sobreposição de áreas que normalmente existe devido à imprecisão das regras é considerada mais de uma vez. O algoritmo correspondente a este método tem a vantagem de ser muito mais rápido para calcular e, portanto, foi adotado na maioria dos algoritmos de controle *fuzzy*.

Segundo Shaw & Simões (1999), os métodos de defuzzificação podem ser contínuos ou descontínuos. Um método de defuzzificação é dito contínuo se uma mudança infinitamente pequena numa variável de entrada não causa uma mudança abrupta nas variáveis de saída. Os métodos CoM e CoA são contínuos, já o método MoM é descontínuo. Isso se deve ao fato de que o melhor compromisso jamais pode saltar

para um valor diferente com uma pequena mudança nas entradas. Por outro lado, a solução mais plausível não é única e assim pode saltar para um valor diferente.

Segundo Zimmermann (1996), defuzzificação é um método amplamente utilizado não apenas no controle *fuzzy*, mas também na análise de decisão, e outras áreas afins. O objetivo é sempre o de transformar um vetor ou uma função (um conjunto *fuzzy*) em um número *crisp*. Assim, certas características do conjunto *fuzzy* devem ser agregadas para esse número. Nesse sentido, a defuzzificação pode ser considerada como um processo de agregação de informações.

A escolha de um método apropriado de defuzzificação pode ser baseada em um axioma ou uma justificação empírica e deve também ter em conta o esforço computacional. Portanto, um método de defuzzificação ideal não existe. Em vez disso, um bom método deve considerar os seguintes critérios:

4. Esforço computacional: o método é lento ou rápido, quando implementado como um algoritmo? A ferramenta de controle *fuzzy*, em uso, suporta esse método?

4. Representação do objetivo: Um determinado objetivo poderia ser perseguido (por exemplo, a consideração de todos os resultados da regra, a eliminação das desambiguações)?

4. Continuidade: Em algumas aplicações, é preferível ter uma mudança contínua na ação de controle, ao invés de etapas discretas.

4. Plausibilidade: Será que o método de defuzzificação produz uma ação de controle plausível, ou seja, a ação de controle corresponde ao resultado da interface?

Como se verá adiante, nesta pesquisa será utilizado o método Centro de Máximos.

## 2.8 Gestão Territorial

Para Kaufmann (2003) o uso da terra e dos recursos naturais de forma sustentável, depende de uma “política global territorial”. Para implantar essa política, é necessário Gestão Territorial. A Gestão Territorial deve se basear em Administração Fundiária, que é definida como “o processo de determinação, registro e divulgação de informações sobre a posse, o valor e o uso da terra, na implantação das políticas de gestão territorial”. Administração Fundiária como Administração de Empresas deve ser capaz de recorrer a um confiável sistema de contabilidade, que fornece aos administradores informações corretas, completas e atualizadas.

A gestão territorial abrange as ações de avaliação, planejamento, execução, monitoramento e controle, com o objetivo do melhor desempenho e melhoria contínua dos processos territoriais, do desenvolvimento equilibrado das regiões e da organização física do espaço, segundo uma diretriz ou política.

O Brasil ainda não possui uma Política de Ordenamento Territorial aprovada (desde 2006 existe uma proposta de Plano que pode ser acessada no sítio do Ministério da Integração Nacional, Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional, em Publicações - <http://www.mi.gov.br/desenvolvimentoregional/publicacoes/pnot.asp>), no entanto, as políticas públicas setoriais existentes, de alguma forma, interagem com o território. Importantes políticas de gestão territorial são o Gerenciamento Costeiro e Zoneamento Ecológico Econômico, entre outras.

No tocante à gestão do território, o Município é o principal responsável pela condução da política de uso e ocupação do solo, cujo objetivo é resgatar e ordenar o desenvolvimento das funções sociais do seu território, garantir o bem-estar de seus habitantes e garantir que a propriedade urbana cumpra sua função social, de acordo com os critérios e instrumentos estabelecidos no Estatuto da Cidade - Lei Federal 10.257/2001 (Brasil, 2001), que estabelece diretrizes gerais da política urbana.

Como instrumento básico da política urbana municipal, o Plano Diretor pode ser definido como um conjunto de princípios e regras orientadoras da ação dos agentes que constroem e utilizam o espaço urbano. O Plano Diretor parte de uma leitura da cidade real, envolvendo temas e questões relativos aos aspectos urbanos, sociais, econômicos e ambientais, que embasa a formulação de hipóteses realistas sobre as opções de desenvolvimento e modelos de ocupação do território.

O Plano Diretor deve ser construído a partir da leitura da realidade local, envolvendo os mais variados setores da sociedade – públicos e privados, e deve estabelecer a destinação que se quer dar às diferentes regiões do município. Isso corresponde a um macro zoneamento, ou seja, a divisão do território em unidades territoriais que expressem o destino que o município pretende dar às suas diferentes áreas ou zonas.

O zoneamento estabelece um referencial espacial para o uso e a ocupação do solo. Define inicialmente grandes áreas de ocupação: zona rural (por exemplo, para produção de alimentos, exploração de minérios, produção de madeira) e a zona urbana (residências, indústrias, comércio e serviços, equipamentos públicos). O que tem de novo, desde o advento

da política ambiental, é a importância dada à reserva obrigatória de áreas, por todos os municípios brasileiros, com a finalidade de preservação dos recursos naturais, como um patrimônio público. No Brasil, essas áreas são classificadas de Unidades de Conservação, conforme a Lei Federal 9985/2000 (Brasil, 2000).

Considerando a forma mais simples de classificação administrativa, o território do município brasileiro ainda é constituído em zona urbana e zona rural, onde se integram as Unidades de Conservação. Pelas grandes dimensões das propriedades rurais no Brasil, as exigências de mapeamento para as realidades urbana e rural são diferentes, determinando a confecção de produtos cartográficos específicos.

O município deverá, portanto, planejar o ordenamento do seu território com base em uma Cartografia Cadastral Municipal, que deverá refletir as necessidades de detalhamento exigidas para a zona rural, com uma Cartografia Cadastral Rural, e uma Cartografia Cadastral Urbana para refletir as necessidades de detalhamento exigidas para a zona urbana.

Para Conyers e Hills (1984) “planejamento é um processo contínuo que envolve decisões ou escolhas, sobre modos alternativos de usar os recursos disponíveis com o objetivo de alcançar metas específicas em algum momento no futuro”.

Orea (1994) define planejamento como “um processo racional de tomada de decisões para a definição de uma imagem objetiva coerente e de um rumo futuro de ação e previsão orientada a consegui-la, que pretende resolver os problemas atuais, prevenir os potenciais, satisfazer as necessidades e aspirações futuras, e aproveitar as oportunidades do sistema sócio-físico”.

Segundo Maximiano (1995), “o processo de planejar consiste em tomar decisões antecipadamente. Certas decisões são tomadas de imediato, assim que o problema ocorre, e seu alcance esgota-se com a resolução desse mesmo problema. Outras decisões, ao contrário, visam definir um objetivo ou curso de ação para o futuro. Elas são formuladas no presente, para serem postas em prática no futuro. Não apenas serão postas em prática num futuro que pode estar próximo ou distante, mas também têm o objetivo de influenciar esse mesmo futuro”.

O planejamento territorial tem como foco a ocupação ordenada do território, o aproveitamento racional das potencialidades locais e regionais, a orientação de investimentos em infraestrutura, a redução de desigualdades regionais, buscando o desenvolvimento social e econômico em bases sustentáveis.

O planejamento ambiental tem como foco a conservação dos sistemas ambientais. Para Christofolletti (1999) planejamento ambiental “envolve os programas de utilização dos sistemas ambientais, como elemento condicionante de planos nas escalas espaciais do local, regional e nacional, uso do solo rural, execução de obras de engenharia e planejamento econômico. Em função de focalizar os ecossistemas e os geossistemas (sistema físico), os seus objetivos podem sublinhar perspectivas ecológicas e geográficas”.

O conhecimento do território e sua gestão são favorecidos pela tecnologia. Segundo Orth *et al.* (2000) a evolução tecnológica da sociedade humana tem disponibilizado meios importantes para aplicação na gestão territorial. As “geotecnologias” são um conjunto de técnicas e processos que visam estudar e monitorar os espaços terrestres com seus elementos naturais, ou construídos pelo homem. Eles atendem às necessidades de levantamentos, organização e análise de dados multivariados e multifinalitários.

Entre as tecnologias disponíveis para aplicação na Gestão Territorial Orth *et al.* (2000) destacam: a) GPS, que permite localizar pontos terrestres com uma agilidade nunca antes imaginada e sua utilização está sendo rapidamente difundida; b) Sensoriamento Remoto, com as fotos aéreas e as imagens tomadas a partir de satélites, permite retratar o espaço terrestre e acompanhar sua evolução; c) Programas computacionais de bancos de dados gráficos – cartografia digital – e alfanuméricos – compostos por letras e números na forma de tabelas, listas - permitem armazenar e manipular grandes conjuntos de dados.

Outros programas computacionais, chamados de Sistemas de Informações Geográficas, permitem relacionar os dois tipos de arranjos de dados – gráficos e alfanuméricos – para realizar complexas análises automatizadas.

A utilização nesta pesquisa, de *softwares* como o *fuzzyTECH*<sup>®</sup>, o *STELLA*<sup>®</sup>, aplicados à Gestão Territorial irá contribuir para o aperfeiçoamento do processo decisório, na escolha de caminhos sustentáveis.



## **CAPÍTULO 3**

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS DE PESQUISA**

Neste Capítulo serão apresentados os procedimentos metodológicos referentes à pesquisa e sua realização, bem como os materiais utilizados.

#### **3.1 Abordagem adotada**

O tema central da presente pesquisa é do licenciamento ambiental e as possibilidades de se estimar a sustentabilidade de atividades e empreendimentos, com base em estudos de avaliação de impacto ambiental. Aborda a complexidade e a dinâmica dos sistemas socioambientais, suas interações e as possibilidades de escolhas, pela sociedade, de uma vida ambientalmente sustentável.

A orientação metodológica é a pesquisa experimental, que envolveu extenso levantamento bibliográfico elaborado a partir de materiais já publicados, constituído principalmente de livros, artigos de periódicos e materiais disponibilizados na Internet e culminou com um estudo de caso. Em relação à natureza, a pesquisa pode ser classificada, segundo Silva e Menezes (2001) como pesquisa aplicada, pois objetiva gerar conhecimento para aplicação prática em soluções de problemas específicos, além de envolver verdades e interesses locais.

#### **3.2 Etapas de pesquisa**

O método de pesquisa pode ser descrito pelas etapas: revisão bibliográfica e construção da fundamentação teórica, seleção do estudo de caso, construção do método, e aplicação experimental do método.

A etapa da revisão bibliográfica e construção da fundamentação teórica permitiu: a) contextualizar o tema de pesquisa - licenciamento ambiental - como parte importante no processo de gestão territorial com visão de sustentabilidade, e b) desenhar a pesquisa pelas definições de problema, as premissas adotadas, objetivo e técnicas disponíveis.

A etapa de seleção do estudo de caso foi realizada no acervo do IBAMA, órgão do governo federal com diversas atribuições, entre elas o licenciamento ambiental no Brasil nas situações em que se configura a competência federal. Após o inventário de casos de Usinas Hidrelétricas, Portos, Rodovias e Empreendimentos Turísticos e da

análise dos respectivos estudos ambientais, foi escolhido o empreendimento Eco Resort Ilha de Porto Belo.

A razão dessa escolha foi a dimensão do empreendimento aliado ao local projetado para sua implantação. Por tratar-se de uma ilha com boa condição de conservação, a modelagem dinâmica da interação dos componentes ambientais se mostrava mais fácil em razão da baixa interferência de outros fatores com potencial de modificar as condições físico-bióticas e socioeconômicas da ilha. Além disso, cita-se a disponibilidade de material técnico que compõe o EIA/RIMA e concordância do empreendedor e dos consultores ambientais na utilização desse material.

A etapa de construção do método foi realizada com base no referencial teórico e nas premissas adotadas.

A etapa de aplicação experimental do método utilizou os dados e informações do estudo de AIA e serviu para a construção do modelo. O modelo foi construído para a realidade do estudo de caso selecionado nesta pesquisa. Para aplicação do modelo proposto em outras situações, devem ser feitas adaptações, considerando a nova realidade em estudo.

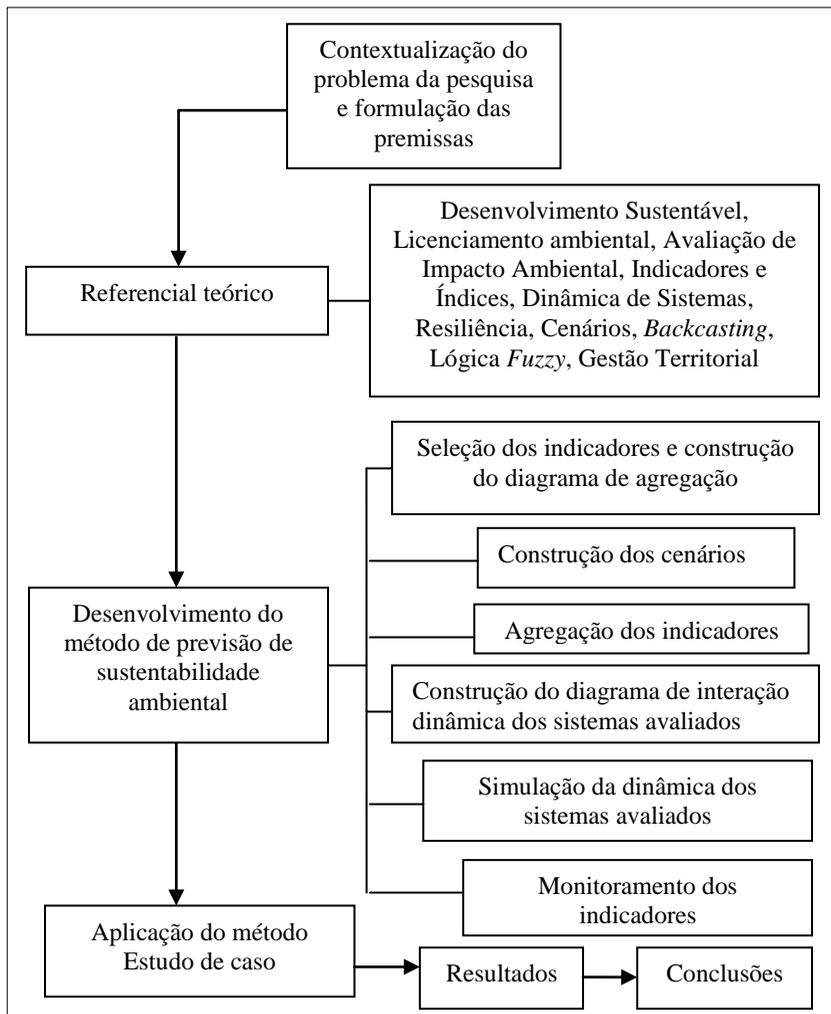
O método está alicerçado em uma base teórica que abrange os seguintes temas: Desenvolvimento Sustentável, Licenciamento ambiental, Avaliação de Impacto Ambiental, Indicadores e Índices, Dinâmica de Sistemas, Resiliência, Cenários, *Backcasting*, Lógica *Fuzzy* e Gestão Territorial. Estes temas foram estudados mediante pesquisa bibliográfica dos seus conceitos base e das recentes contribuições científicas envolvendo os temas citados.

A partir da fundamentação teórica, segue-se o desenvolvimento do método proposto na tese que associa o *Backcasting*, a Lógica *Fuzzy* e a Dinâmica de Sistemas como instrumentos para criar conhecimento em sistemas complexos, visando à tomada de decisão. O método se apoia em seis passos principais: 1) Seleção dos indicadores e construção do diagrama de agregação; 2) Construção de cenários; 3) Agregação de indicadores de estado em índices socioambientais locais; 4) Construção do diagrama de interação dinâmica dos sistemas; 5) Simulação da dinâmica dos sistemas socioambientais avaliados e 6) Monitoramento dos indicadores.

O método foi testado, durante o processo de construção, em uma aplicação experimental no empreendimento turístico denominado “Eco-Resort Ilha de Porto Belo”, planejado para a Ilha João da Cunha em Porto Belo, Santa Catarina. Os resultados então são discutidos permitindo tecer conclusões e recomendações sobre a pesquisa.

O Quadro 4 mostra a representação esquemática das etapas da pesquisa, com seu detalhamento apresentado na seqüência.

**Quadro 4: Representação esquemática do método de pesquisa**



**Fonte: o autor (2014)**

### 3.3 Materiais utilizados

Os materiais utilizados na pesquisa são constituídos de:

- Estudos, levantamentos e documentos técnicos que integram o EIA/RIMA do empreendimento Eco Resort Ilha de Porto Belo, planejado para ser implantado na Ilha João da Cunha, em Porto Belo, Santa Catarina;
- Plano Diretor do município de Porto Belo, e suas respectivas Cartas Temáticas, disponíveis em: <http://portobelo.sc.gov.br/cms/pagina/ver/codMapaItem/16028#.U61oJZRdXT0>;
- *Softwares fuzzyTECH*<sup>®</sup>, *STELLA*<sup>®</sup>, e Microsoft Excel<sup>®</sup>;
- Material bibliográfico que embasa a Fundamentação Teórica, relacionado nas REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

## CAPÍTULO 4

### 4. DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO DE PREVISÃO DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

#### 4.1 Considerações iniciais

O método proposto parte do princípio de que é possível projetar a sustentabilidade, mediante a utilização de índices de sustentabilidade dos cenários escolhidos. No caso da avaliação da sustentabilidade de empreendimentos, objetivando apoiar decisões em licenciamento ambiental, o que importa é obter índices locais de sustentabilidade, particulares para o objeto a ser licenciado, no local onde a atividade se desenvolverá.

Outro princípio adotado é que índices locais de sustentabilidade resultam da interação dinâmica entre índices ambientais locais que representam e qualificam os componentes dos sistemas socioambientais. O método considera que os índices ambientais locais que informam sobre os componentes socioambientais são os índices físico, biótico, social, econômico e cultural, todos estes particulares para o objeto a ser licenciado, no local onde a atividade se desenvolverá.

A aplicação do método de previsão da sustentabilidade segue a seguinte rotina de procedimentos:

1. Inicialmente são identificados os fatores chaves que servem como indicadores de estado;
2. A seguir é construído o diagrama de agregação, que segue o desenho esquemático de um dendrograma *fuzzy*;
3. Segue-se com a construção do cenário exploratório tendencial, que é o cenário mais provável de ocorrer;
4. Definido o cenário provável, segue-se à atribuição de valores aos indicadores de estado, conforme as características deste cenário, para o período de tempo definido para a simulação (neste caso 12 anos);
5. Após a atribuição dos valores aos indicadores, é necessário definir a configuração do *software fuzzyTECH*<sup>®</sup>, estabelecendo as regras das operações de fuzzificação e defuzzificação;
6. Dados os valores dos indicadores, para cada ano do período de simulação, e definidas as regras no *fuzzyTECH*<sup>®</sup>, procede-se à agregação dos indicadores de estado em índices socioambientais locais, correspondentes ao cenário provável;

7. Segue-se com a construção do diagrama de interação dinâmica dos componentes dos sistemas socioambientais avaliados, com o auxílio do *software* STELLA<sup>®</sup>;

8. Após a obtenção dos índices locais, procede-se à definição das configurações do *software* STELLA<sup>®</sup>, ou seja, a definição das sentenças lógicas que comandam o processo de simulação dinâmica das interações dos sistemas socioambientais avaliados;

9. Definidas as regras do STELLA<sup>®</sup>, tem início a simulação das interações dinâmicas deste cenário – cenário provável;

10. Com base nos resultados obtidos, constroem-se os cenários normativos, desejado e indesejado;

11. Definidos os cenários normativos, são atribuídos valores aos indicadores de estado, considerando as características destes cenários;

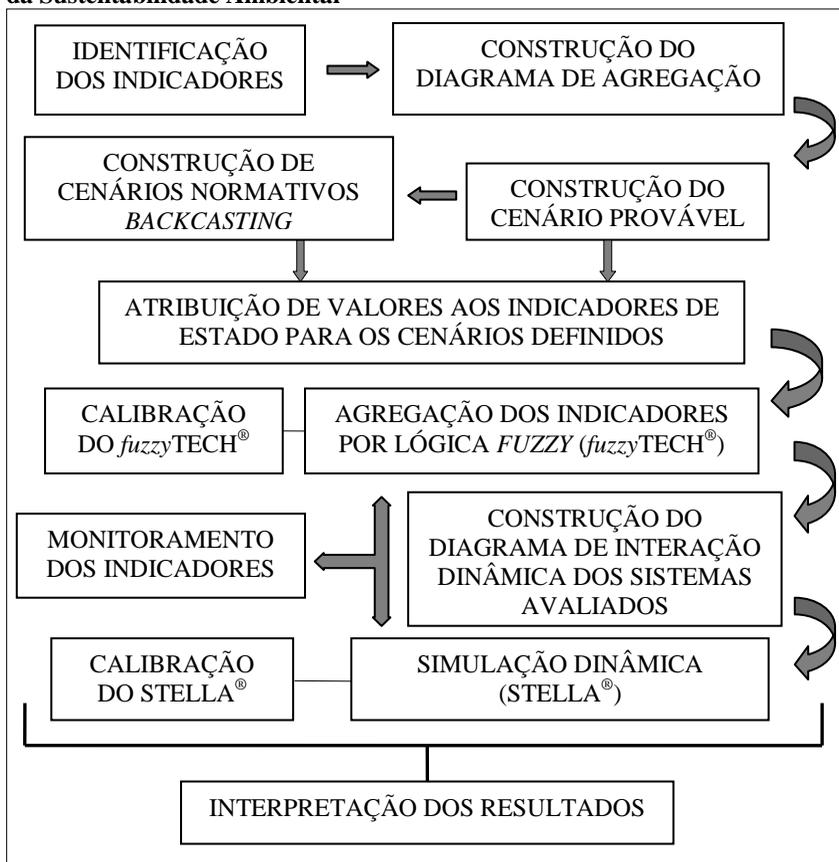
12. A seguir procede-se às novas agregações dos indicadores, bem como às simulações das interações dinâmicas, para o período de tempo estabelecido para as simulações, e para os dois cenários definidos.

13. O monitoramento dos indicadores, ao longo do período de simulação permite a análise do desempenho real de cada indicador, tendo como objetivo a comparação com os valores previamente atribuídos, permitindo ajustes nas interpretações e simulações e caso necessário correções em ações de execução e de gestão.

O monitoramento visa controlar o desempenho real do empreendimento por meio de coleta de dados, estudo e acompanhamento contínuo e sistemático do mesmo conjunto de indicadores de estado escolhido. Os resultados do monitoramento podem fornecer parâmetros que comparados com os valores atribuídos na fase de predição do desempenho do empreendimento ao longo do tempo permitem, caso necessário, que ajustes sejam efetuados nas ações executivas e de gestão, de acordo com o cenário escolhido.

O método de previsão da sustentabilidade ambiental, como apoio à decisão no licenciamento ambiental, proposto nesta tese, pode ser representado de forma esquemática, conforme apresentado no Quadro 5.

**Quadro 5: Representação esquemática das etapas do Método de Previsão da Sustentabilidade Ambiental**



Fonte: o autor (2014)

Na aplicação do método de previsão da sustentabilidade ambiental, existem cinco momentos considerados cruciais: a construção do diagrama de agregação, a construção dos cenários, a atribuição de valores aos indicadores de estado, a construção do diagrama de interação dinâmica e a definição das regras de simulação dinâmica dos sistemas socioambientais avaliados.

A construção do diagrama de agregação, que segue o modelo esquemático de um dendrograma *fuzzy*, inclui a seleção dos indicadores que irão representar e qualificar os componentes ambientais do sistema

estudado. Nesta etapa é importante selecionar uma cesta de indicadores suficientes para representar o modelo que será utilizado na simulação.

A construção dos cenários, que deve ser feita de forma participativa entre os interessados, deve representar a expectativa de um futuro possível. Recomenda-se que os cenários normativos, desejáveis e indesejáveis, sejam construídos a partir do cenário exploratório mais provável de ocorrer. Dessa forma é possível identificar os pontos fracos e fortes que podem ser alterados e explorados.

A construção do diagrama de interação dinâmica e a definição das regras de simulação é talvez a etapa mais desafiadora. Esse diagrama deve ser a sequência do diagrama de agregação, ou seja, os índices ambientais obtidos pela agregação dos indicadores irão interagir, segundo as regras lógicas estabelecidas para a simulação dinâmica. Essas regras de simulação deverão ser definidas conforme o entendimento dos especialistas, sobre como os componentes ambientais se relacionam, tendo em mente que se trata de um modelo, que retrata parte do sistema estudado.

## **4.2 Construção do diagrama de agregação**

A construção de um diagrama de agregação permite representar o sistema socioambiental em estudo e tem início com a seleção dos fatores chaves que servirão como indicadores de estado dos subsistemas físico, biótico, social, econômico e cultural.

Assim, esses subsistemas são divididos em componentes que permitem informar sobre a qualidade, funcionando como indicadores de estado, sendo estes componentes estruturados e identificados, como tal, pelos decisores. Nesta fase, apenas são identificados estes indicadores e suas estruturas esquemáticas. A sequência desta montagem gera uma representação que vai sendo detalhada até que seus componentes possam ser caracterizados e medidos em unidades técnicas primárias.

O dendrograma, tendo em vista que sua composição é *top-down*, é a representação gráfica de decomposições lógicas de decisões principais em secundárias, até que os indicadores possam ser medidos em escalas primárias, por especialistas do assunto. Esse dendrograma é estruturado de forma a agregar as informações dos indicadores de estado em índices ambientais locais.

Na presente pesquisa foi escolhido como estudo de caso o licenciamento de um empreendimento turístico. A escolha dos indicadores levou em conta a natureza do empreendimento, assim além dos indicadores de mudança de estado da qualidade ambiental, captados

nos estudos ambientais, foram selecionados também, indicadores de sustentabilidade do turismo como atividade socioeconômica.

A escolha dos indicadores tomou como referências iniciais Choi e Sirakaya (2006), que propuseram indicadores para medir o desenvolvimento do turismo comunitário, dentro de um quadro sustentável, e também García-Melón *et al.* (2012), que propuseram um método que combinou ANP - Analytic Network Process e técnica Delphi, para avaliar o turismo sustentável, aplicada no Parque Nacional Los Roques na Venezuela.

### **4.3 Desenho de cenários - backcasting**

O estudo de cenários possíveis, exploratórios – tendenciais, ou normativos – desejáveis e indesejáveis, nos quais os fatos podem acontecer, é determinante para a escolha do futuro desejado. Assim, são montados cenários que contemplem, dentro de limites possíveis, as expectativas da sociedade representada pelo setor produtivo, pelo setor governamental, pelos ambientalistas, pela academia e principalmente pela comunidade atingida pelos impactos da obra.

O cenário futuro normativo, desejado ou indesejado, é a projeção para o futuro do arranjo entre atores, processos técnicos e recursos, considerando os objetivos de política pública, atividade ou empreendimento em discussão. Estes cenários normativos são construídos sob a perspectiva da abordagem de *backcasting*.

A abordagem de *backcasting* primeiro cria uma visão de futuro, ou cenário normativo, depois olha para trás e vê como esse futuro pode ser alcançado, antes de definir e planejar atividades de acompanhamento e desenvolver estratégias que levem a esse futuro. O objetivo é perceber que mudanças tecnológicas, culturais, comportamentais e organizacionais podem ocorrer no período planejado.

O cenário é inicialmente desenhado como um mapa de relações entre variáveis e fluxos, de acordo com os objetivos e metas para cada subsistema, no caso os subsistemas físico, biótico, social, econômico e cultural. As simulações são feitas a partir deste cenário final. Ele deve ser completo e suportar tantos detalhes quanto os técnicos e *stakeholders* puderem representar quantitativa e qualitativamente.

No presente estudo de caso a participação dos interessados não foi possível, por isso optou-se por aproveitar o resultado da participação da sociedade, na audiência pública realizada em 15 de outubro de 2008, que discutiu o empreendimento Eco Resort Ilha de Porto Belo e o seu

respectivo RIMA, elaborado por Socioambiental Consultores Associados.

A participação pública está prevista em processos de licenciamento ambiental, no Brasil, pelas Resoluções CONAMA n.º 001/86, n.º 009/87 e n.º 237/97, com os objetivos de:

- garantir a divulgação de informações sobre os projetos a serem licenciados, em especial quanto aos possíveis riscos à qualidade ambiental das áreas de influência dos empreendimentos e sobre as medidas mitigadoras e de controle ambiental destinadas a reduzir esses efeitos;
- captar as expectativas e inquietações das populações afetadas e permitir ao órgão licenciador recolher as manifestações e os interesses dos diferentes grupos sociais.

A análise das dúvidas e anseios da sociedade, captados durante a audiência pública, subsidia a construção de cenários normativos, desejados e indesejados pela comunidade, a partir da inserção do empreendimento no território e sua evolução ao longo do tempo.

É importante ressaltar que, em muitos casos o cenário que representa a construção de um futuro sustentável, não depende apenas do empreendedor por abranger medidas da responsabilidade de outros atores, incluindo o Poder Público, especialmente quando se trata de investimentos em infraestrutura. Nesses casos, o cenário normativo é dependente de terceiros e deve ser avaliado com as devidas considerações.

A geração de cenários, e suas análises, implicam em simular e conhecer o que se pretende com a implantação do projeto, detalhando qualitativamente os objetivos e metas a serem atingidos. Devem ser explicitados os benefícios a serem gerados e quais grupos sociais e econômicos serão beneficiados pela redução dos danos ou pelas melhorias ambientais.

Esses cenários construídos com a abordagem de *backcasting*, são modelados com auxílio dos *softwares* STELLA<sup>®</sup> e *fuzzyTECH*<sup>®</sup>. Os modelos gerados no STELLA<sup>®</sup> permitem compreender a dinâmica do funcionamento e da evolução temporal dos arranjos socioambientais que interagem para formar e modificar as relações territoriais. O *fuzzyTECH*<sup>®</sup> permitem agregar as variáveis que alimentam os modelos gerados no STELLA<sup>®</sup>. A interligação entre os *softwares* *fuzzyTECH*<sup>®</sup> e STELLA<sup>®</sup> é feita com auxílio do Microsoft Excel<sup>®</sup>.

#### 4.4 Agregação dos indicadores

Os modelos dinâmicos criados no ambiente do *software* STELLA<sup>®</sup> utilizaram dados fornecidos pelo *software* fuzzyTECH<sup>®</sup>, que efetuaram a agregação das variáveis de interesse. Estas variáveis são indicadores de estado, que trazem informações sobre a qualidade ambiental dos componentes dos meios físico, biótico, social, econômico e cultural, referentes aos cenários escolhidos. Entende-se por qualidade ambiental, conforme Tauk (1991): “*A expressão das condições e dos requisitos básicos que um ecossistema detém, de natureza física, química, biológica, social, econômica, tecnológica e política, resultantes da dinâmica dos mecanismos de adaptação e dos mecanismos de auto-superação dos ecossistemas*”.

Tendo-se o diagrama de agregação que representa o sistema socioambiental em estudo, estruturado de forma esquemática no dendrograma *fuzzy* e tendo-se os cenários para simulação, a etapa seguinte consiste na valoração, em cada cenário, dos indicadores capazes de informar sobre meios que representam os sistemas socioambientais. O método combina e detalha os componentes dos meios físico, biótico, social, econômico e cultural, com seus indicadores. Esses indicadores podem tomar formas discretas ou difusas e são agregados nos blocos de regras do dendrograma tipo *top-down*, por meio de operações básicas dos conjuntos *fuzzy*.

A decomposição dos indicadores em seus elementos constituintes é feita *top-down*, entretanto, as inferências dos valores que estes assumem são definidas *bottom-up*. Cada composição tem regras próprias, segundo o entendimento que especialistas e decisores têm da importância relativa dos indicadores.

A estrutura do sistema identifica o fluxo de análise da lógica *fuzzy*, a partir de variáveis de entrada para as variáveis de saída. A *fuzzificação* na interface de entrada traduz valores discretos em graus de pertinência às funções *fuzzy*. A análise *fuzzy* acontece em blocos que contêm as regras de controle linguístico. Os resultados das operações nestes blocos de regras são também variáveis linguísticas. A *defuzzificação* nas saídas traduz as variáveis linguísticas em variáveis discretas.

Os resultados ou saídas são valores *fuzzy* que alimentam outras entradas, conforme o sentido do fluxo de dados que compõem o dendrograma de decisão. Estas saídas podem ser defuzzificadas em valores discretos (*crisp*), que expressam os graus de pertinência aos termos das variáveis de saída.

A grande vantagem do uso de um sistema de inferência *fuzzy* é que todas as condições estabelecidas nos blocos de regras são controláveis, propiciando um método transparente de agregação. Como dito por Alonso *et al.* (2009) "... os sistemas clássicos são vistos como caixas pretas, pois fórmulas matemáticas definem o mapeamento entre entradas e saídas. Ao contrário, sistemas fuzzy podem ser vistos como caixas cinza no sentido de que todos os elementos de todo o sistema podem ser verificados e entendidos por um ser humano".

Para a definição das funções de pertinência aos termos das variáveis de entrada e de saída, foram utilizadas funções não lineares, simétricas, monotônicas, tipo "S". As funções não lineares permitem transições contínuas e suaves nos valores de pertinência. Também se buscou utilizar um método de defuzzificação contínuo, ou seja, onde uma variável de saída não sofre uma mudança abrupta em decorrência de uma mudança pequena em uma variável de entrada.

Assim, o método adotado de defuzzificação foi o Centro de Máximos (CoM), que é definido pela equação (1):

$$x_{final} = \frac{(x_1 \mu_1 + x_2 \mu_2 + \dots + x_n \mu_n)}{(\mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_n)} \quad \dots(1)$$

onde " $x_n$ " é o valor numérico típico para a dimensão da função de pertinência " $n$ ", e " $\mu_n$ " é o grau de pertinência em que a função de pertinência " $n$ " foi dimensionado.

O Centro de Máximos (CoM) usa apenas os máximos das funções de pertinência. Uma saída discreta é calculada como uma média ponderada dos máximos, ponderados pelos resultados de inferência (Shaw e Simões, 1999).

O sistema referente ao estudo de caso é um sistema monotônico crescente, assim, para garantir a monotonicidade (Kouloumpis *et al.*, 2008; Kouikoglou e Phillis, 2009; Phillis e Davis, 2009; Phillis *et al.*, 2011) as regras de inferência foram configuradas com o operador compensatório de agregação Gamma (Prod/Sum), e o agregador de resultado BSum (Soma Limitada), onde todas as variáveis de entrada – indicadores - exerceram forte influência na composição do resultado das variáveis de saída – índices.

O operador Gamma consiste no produto entre a soma algébrica fuzzy e o produto fuzzy. A Equação 2 apresenta este operador:

$$\mu = \left( \prod_{i=1}^n \mu_i \right)^{1-\gamma} \left( 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \right)^{\gamma} \quad \dots(2)$$

onde  $\mu$  representa a função de pertinência combinada Gamma,  $\mu_i$  é a função de pertinência de  $i$  (antecedente SE) e o índice gamma ( $\gamma$ ) é um parâmetro escolhido no intervalo (0,1). Se  $\gamma = 0$  a combinação *fuzzy* resulta no produto algébrico, e quando  $\gamma = 1$  esta combinação equivale à soma algébrica.

Os operadores e os interessados também pode definir o grau de suporte (DoS) de cada regra, em uma escala de zero a um. Zero significa que a regra não será disparada, e os valores entre zero e um representa a relevância de uma regra especial no bloco.

A estruturação das variáveis em um dendrograma permite avaliar as interações existentes entre os elementos de dados, e a operação através do *fuzzyTECH*<sup>®</sup> admite a análise das interações julgadas convenientes, nos diversos níveis do dendrograma.

#### 4.5 Construção do diagrama de interação dinâmica

Na Dinâmica de Sistemas, os modelos computacionais construídos também se baseiam em diagramas. Os modelos elaborados com o uso do *software* STELLA<sup>®</sup> são compostos de apenas quatro blocos, que são utilizados na montagem dos diagramas.

O comportamento de cada bloco do diagrama é especificado na forma de equações diferenciais. No momento da simulação, cada uma dessas equações diferenciais é integrada numericamente. Os principais elementos presentes em um diagrama de blocos são estoques, fluxos, conversores e conectores.

Os estoques modelam quantidades de matéria ou energia, como por exemplo, o tamanho de uma população. Fluxos modelam o escoamento de uma determinada quantidade de energia ou matéria por unidade de tempo para dentro ou para fora dos estoques como, por exemplo, taxa de nascimentos ou taxa de mortes ocorridas por ano.

Os conversores são utilizados para suprir necessidades da modelagem computacional, como realizar algumas operações aritméticas, obter parâmetros de entrada do modelo ou realizar conversões de unidades.

Os conectores são artifícios utilizados pela ferramenta de modelagem para modelar fluxos de informação entre os componentes anteriores, podem ser como fios que carregam informação, enquanto que, os fluxos podem ser pensados como tubos que carregam coisas. Os conectores são extremamente úteis para a modelagem de retroalimentações.

Um resumo descritivo dos elementos básicos, necessários para a criação de um modelo simples no STELLA<sup>®</sup> é apresentado a seguir, no Quadro 6.

**Quadro 6: Descrição dos componentes básicos para a criação de um modelo em STELLA<sup>®</sup>**

	<p><b>Reservatório</b>- O estoque são acumulações num “reservatório”. Coleta o que quer que flui nele. Libera o que quer que flui fora dele.</p>
	<p><b>Conversor</b> – O conversor tem um papel fundamental nas conexões e interconexões do modelo. Abriga os valores das constantes, define entradas externas ao modelo, calcula relacionamentos algébricos, e saques como o repositório para funções gráficas. Converte entradas em saídas, ou vice-versa.</p>
	<p><b>Conector</b> – O conector deve conectar os elementos do modelo. O <i>software</i> fornece dois tipos distintos de conectores: o conector de ação e o conector de informação. Os conectores de ação são representados por um fio sólido. Os conectores de informação são representados por um fio tracejado.</p>
	<p><b>Fluxo (entrada e saída)</b> - O fluxo deve encher e drenar acumulações. A cabeça da seta na tubulação do fluxo indica o sentido do fluxo positivo. (entrada e saída dos reservatórios)</p>

Fonte: ALBUQUERQUE (2005)

#### 4.6 Modelagem dinâmica do sistema socioambiental em estudo

O processo de modelagem com STELLA é feito em seis etapas:

- O foco: é o estabelecimento das definições de objetivos, dos padrões de referências de comportamentos e dos diagramas de desenvolvimento dos sistemas;
- O mapa: é a representação de estruturas de fluxos, estoques e reguladores, onde se pode identificar cadeias, atores chave e acumuladores;
- A modelagem: contém a definição dos fluxos, dos *loops*, da álgebra e do estabelecimento dos valores dos parâmetros das constantes, dos valores iniciais e das funções gráficas;
- A simulação: verifica erros lógicos, garante a robustez da programação, testa alternativas, faz análise de sensibilidade e cenários;

- A comunicação: busca explicações causais e permite interações dentro do modelo;
- A realimentação: aprimora o modelo, buscando o que faltou e o que sobrou.

O foco é estabelecido pelos “decisores”. Os cenários das situações atuais serão as bases para entrada de dados e montagem do mapa da programação. A ferramenta STELLA<sup>®</sup> também permite que seus usuários associem gráficos a estoques e fluxos de maneira que ele possa observar como esses elementos variam no tempo.

No presente caso, as simulações de cenários futuros dependem principalmente de três condicionantes, a saber: *i*) do estado atual em que se encontram a Ilha João da Cunha e o município de Porto Belo; *ii*) das decisões políticas sobre como se deseja estes sistemas no futuro, e *iii*) da previsão de disponibilidade de recursos para atingir os objetivos.

As etapas de modelagem, simulação e interpretações fazem parte de um trabalho de equipe, no qual as entradas de dados e definições de equações que regem as relações entre variáveis são feitas em conjunto com especialistas e *stakeholders*.

#### **4.7 Monitoramento dos indicadores**

O método consiste na estimativa do desempenho futuro de um conjunto de indicadores agregados em índices, que interagem entre si ao longo do tempo, portanto de forma dinâmica, permitindo antever as condições de sustentabilidade de determinado projeto ou atividade, para cada cenário idealizado. Com a execução das ações inerentes à instalação e operação desse projeto ou atividade, as estimativas ou previsões de desempenho dos indicadores e índices podem ou não se confirmar. Por essa razão o método prevê o monitoramento sistemático do mesmo conjunto de indicadores e índices, durante o período adotado na simulação, com o objetivo de acompanhar os seus reais desempenhos, em decorrência da efetiva instalação e operação do empreendimento.

A própria abordagem *backcasting* inclui uma etapa de monitoramento dos resultados decorrentes das ações necessárias à concretização dos cenários normativos, definidas em agenda específica, conforme metodologia proposta por Quist e Vergragt (2006), já mencionada no Capítulo 2. Os resultados decorrentes dessas ações se manifestam no desempenho do conjunto de indicadores e índices, ao longo do tempo.

Os resultados do monitoramento podem fornecer parâmetros que, comparados com os valores atribuídos inicialmente, indiquem a necessidade de ajustes nas ações executivas e de gestão, de acordo com o cenário escolhido.

Dessa forma o monitoramento cumpre com os seguintes objetivos, adaptado de Sánchez (2008):

1. Verificar o real desempenho dos indicadores e índices;
2. Comparar com as estimativas efetuadas;
3. Detectar alterações de estado não previstas, nos componentes ambientais;
4. Definir ações corretivas necessárias à concretização dos cenários estabelecidos;
5. Afinar a sensibilidade dos especialistas, na estimativa de desempenho futuro dos indicadores e índices.

## **CAPÍTULO 5**

### **5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DO EMPREENDIMENTO**

#### **5.1 Área de Estudo**

A área de abrangência da presente pesquisa compreende a ilha João da Cunha e o município de Porto Belo, localizados no estado de Santa Catarina, Sul do Brasil. A seguir apresenta-se uma breve e resumida caracterização dessas áreas e do empreendimento Eco-Resort Ilha de Porto Belo, que constituem as áreas do estudo de caso. As informações ora apresentadas são excertos textuais compilados dos cinco volumes dos Estudos de Impacto Ambiental - EIA, elaborado em 2008 pela empresa SOCIOAMBIENTAL - Consultores Associados Ltda. Essa breve e resumida caracterização é suficiente para o entendimento dos sistemas socioambientais envolvidos.

Informações completas sobre a descrição e caracterização do empreendimento e de suas áreas de influência, do diagnóstico e do prognóstico ambiental, da avaliação dos impactos ambientais, suas medidas mitigadoras e seus programas ambientais, estão disponíveis no EIA, que pode ser consultado no Núcleo de Licenciamento Ambiental da Superintendência do IBAMA em Santa Catarina, localizada em Florianópolis. Cópias dos estudos também podem ser encontradas para consultas na FATMA - Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina, e na Prefeitura Municipal de Porto Belo/SC.

A Figura 2 apresenta mapa de localização da área de estudo, em ortofotomosaico de 2011/2012 (SDS, 2014), cuja imagem permite visualizar o bom estado de conservação da cobertura vegetal da Ilha, sendo possível identificar, na extremidade Nordeste, uma mancha de vegetação mais clara, que identifica uma área que, até pouco tempo, era ocupada por lavoura.

Figura 2: Localização da Ilha João da Cunha.



Fonte: SDS (2014).

### **5.1.1 Ilha João da Cunha**

#### **Meio físico**

A Ilha João da Cunha ou ilha de Porto Belo, encontra-se sob a jurisdição do município de Porto Belo e está localizada em meio às águas da enseada de Porto Belo. Estende-se na direção nordeste – sudoeste, apresentando cerca de 1.400 m de comprimento e larguras, máxima, mínima e média de aproximadamente 500 m, 150 m e 340 m respectivamente, e uma área total de 390.886 m<sup>2</sup>.

Apresenta altitudes bem distribuídas, com intervalos altimétricos entre 10 e 30 m de altitude, seguido dos intervalos entre 30-50 m, 50–70 m e 0-10m. Excepcionalmente no local denominado “Mirante” a cota atinge 73 m acima do nível do mar. A declividade na Ilha João da Cunha apresenta-se de forma suave, sem formações escarpadas. Predominam as declividades entre 0° e 25° (69%), seguidas das declividades entre 25° e 45° (30%) e acima de 45° (1%).

A Ilha João da Cunha apresenta pequenas feições hidrográficas com cursos pluviais de regimes torrenciais que não excedem 150 metros. As contribuições também são pequenas ao longo do tempo, tendo-se baixas permanências de fluxos superficiais. Hidrologicamente estes fluxos concentrados possuem características de cursos pluviais condicionando a ocorrência de grandes vazões aos períodos de maior pluviosidade.

No setor abrigado da ilha, voltado para região continental, existem duas praias, a praia João da Cunha, que se estende por 425 m na direção nordeste e a Prainha, com 15 m de extensão, orientada na direção leste-oeste.

#### **Meio biótico**

A Ilha João da Cunha destaca-se não apenas por sua proximidade com o continente, mas também pelas características naturais, especialmente quanto à significativa presença de vegetação florestal, ainda que em grande parte de caráter secundário, representa importante ecossistema insular do bioma Mata Atlântica.

Atualmente a cobertura vegetal predominantemente é de vegetação secundária de porte arbóreo, em diferentes estágios sucessionais de regeneração, configurando ambientes florestais alterados significativamente em sua composição florística e estrutura vegetacional em decorrência dos usos antrópicos pretéritos.

A maior parte da ilha está coberta por Floresta Ombrófila Densa em estágio avançado de regeneração, alcançando 30,13 ha de um total de 37,49 ha de cobertura vegetal, o que representa 80,37%. A segunda tipologia vegetal mais abundante da ilha é a Floresta Ombrófila Densa em estágio médio de regeneração, que totaliza 6,29 ha, equivalente a 16,78% da área de cobertura vegetal da ilha. Em seguida registra-se pequena área com vegetação em estágio inicial de regeneração, com 0,4 ha, correspondente a 1,07% da cobertura vegetal existente. A área coberta por vegetação exótica (bambuzal) corresponde a 0,66 ha, isto é, 1,76% da área de cobertura vegetal.

Relativamente à fauna, o estudo conclui que na Ilha João da Cunha não foi identificadas espécies ameaçadas de extinção, tanto na mastofauna (mamíferos), como na avifauna (aves), e herpetofauna (anfíbios e répteis).

### **Meio socioeconômico**

A partir da década de 1970 a Ilha João da Cunha ou Ilha de Porto Belo passou a ser intensamente utilizada como local de acampamento por grupos de visitantes. A proximidade com a costa (menos de um quilômetro) facilitava o acesso. Como resultados desta atividade restaram muitas toneladas de lixo, danos causados por vários incêndios pequenos, mas perigosos, além de abertura indiscriminada de trilhas no meio da mata, retirada de plantas ornamentais, caça de pássaros e a falta de um sistema de tratamento dos efluentes gerados pelos turistas.

Até dezembro de 1996, a Ilha João da Cunha era utilizada como uma área de acampamento sem nenhum controle e infraestrutura, resultando num grande problema socioambiental: lixo por toda a parte, lançamento inadequado de esgoto, agressões à fauna e flora e a falta de segurança eram práticas comuns. Apesar do potencial turístico, a ilha não trazia nenhum benefício econômico à comunidade.

A fim de aproveitar a vocação turística da Ilha João da Cunha e suas potencialidades, e objetivando reverter o quadro de degradação que havia, foi implantado uma infraestrutura básica que modificou completamente o cenário, recuperando a área em processo acentuado de degradação.

Desde 1996 a empresa - Ilha João da Cunha Participações e Empreendimentos Ltda. - vem estruturando no local o empreendimento ecoturístico denominado Ilha de Porto Belo. Trata-se de um empreendimento totalmente integrado com o meio ambiente e comunidade, pela forma de gestão aplicada, não só pelas boas práticas

ambientais adotadas, mas também pela revitalização da economia turística no município, com geração e distribuição de renda na economia local. Todo o processo passou por licenciamento ambiental junto ao IBAMA.

A estrutura atual da ilha conta com um trapiche para embarque e desembarque, quiosques e restaurante para atendimento ao turista, um pequeno museu natural, trilha ecológica e subaquática e infraestrutura de abastecimento de água, geração de energia, tratamento de efluentes. O lixo gerado é acondicionado em um depósito, e regularmente removido para aterros sanitários no continente.

Atualmente o empreendimento recebe em média, por temporada, cerca de oitenta mil turistas de várias regiões do Brasil e do mundo, que se hospedam entre Florianópolis e Balneário Camboriú ou visitam a região a bordo de navios de cruzeiros que aportam na Baía de Porto Belo. A visitação obedece a um sistema de controle baseado em estudos de capacidade de suporte.

### **5.1.2 Município de Porto Belo, Santa Catarina - Brasil**

#### **Meio físico**

A península de Porto Belo está localizada entre as coordenadas geográficas 27°07' e 27°13' de latitude sul e 48°28' e 48°42' de longitude oeste, onde se situam os municípios de Porto Belo e Bombinhas. A península possui cerca de 130 km<sup>2</sup> de unidade territorial, sendo que o município de Porto Belo ocupa 95,835 km<sup>2</sup> desta área.

Do ponto de vista geomorfológico, a península de Porto Belo compreende duas feições distintas: a) Embasamento Cristalino Exposto, compartimentado na serra do rio Tijucas, a qual por sua vez integra as Serras do Leste Catarinense e b) Planície Costeira ou Planície Litorânea, formada por uma série de feições geomorfológicas e fácies sedimentares associadas.

Porto Belo faz parte da bacia hidrográfica do rio Tijucas, compondo com as bacias hidrográficas dos rios Biguaçu, Cubatão do Sul e da Madre a Região Hidrográfica 8 – Litoral Centro.

Porto Belo é drenado principalmente pelas bacias dos rios Perequê (4.035 ha), do Porto Belo (1.675 ha) e Bacia Santa Luzia ou dos Bobos (3.419 ha), localizados em toda sua extensão sobre a planície litorânea, sendo que todos desembocam no mar.

## **Meio biótico**

No município de Porto Belo as áreas naturais apresentam basicamente dois tipos de vegetação, que são descritos a seguir:

- Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas;
- Floresta Ombrófila Densa Sub-montana.

Formações pioneiras, como restingas e manguezais, também estão presentes, instalando-se sobre áreas com solos instáveis, resultantes de deposições sedimentares contínuas ao longo do litoral, nas margens dos cursos d'água e ao redor de pântanos, lagoas e lagoas.

As áreas preservadas no território de Porto Belo estão representadas pela Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN Morro de Zimbros e pela Área de Proteção Ambiental - APA da Ponta do Araçá.

## **Meio socioeconômico**

De acordo com o IBGE, o município de Porto Belo possui área de 95,835 Km<sup>2</sup>, tendo-se apurado, no Senso Demográfico de 2010, uma população residente de 16.083 pessoas, sendo 7.998 homens, 8.085 mulheres, em 9.330 domicílios recenseados. Essa população corresponde a uma densidade demográfica de 167,82 hab./Km<sup>2</sup>.

A economia do município de Porto Belo vem crescendo continuamente nos últimos anos, graças às atividades turísticas que o município vem desenvolvendo. Apesar de o turismo ser forte apenas nos três meses de verão, isso tem sido fundamental para que a cidade continue crescendo e se desenvolvendo. Devido a esse crescimento constante, o município vem sofrendo com a falta de infraestrutura, estradas e saneamento básico.

Cada vez mais, o investimento no turismo da região constitui-se como uma importante alternativa para atividades econômicas, sendo considerado um fator de desenvolvimento econômico, político, culturais e sociais. Entre os principais benefícios do turismo estão geração de trabalho e renda, captação de divisas para o município, atração de investimentos, valorização dos produtos locais e preservação do meio ambiente e do patrimônio. A base turística de Porto Belo está na ação portuária, abrigando os grandes transatlânticos e intermediando caminhos para as praias de Bombinhas.

No contexto turístico vivenciado por Porto Belo, considera-se o turismo náutico como um grande propulsor de atividades econômicas. A recepção de barcos – veleiros de grandes calados - motiva a elaboração

do projeto de implantação do Terminal Portuário Turístico, financiado pelo Ministério do Turismo em substituição ao atual trapiche central.

Outro ponto de significativo impacto na economia local é a atividade pesqueira, reforçada pela maricultura praticada por 18 produtores que ocupam 35,25 ha do espaço marinho local e estão representados pela Associação dos Maricultores de Porto Belo, resultando numa importante alternativa socioeconômica.

A segurança do município é feita pelas polícias civil e militar, que atendem às necessidades da população local. O maior índice de ocorrências é de pequenos furtos entre os meses de janeiro e fevereiro. A média se mantém ao longo dos últimos 5 anos, a partir dos dados oficiais da Polícia Militar: 22 casos de furtos ao mês.

O abastecimento de água no município é fornecido pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento - CASAN, empresa de economia mista responsável pela captação, tratamento e distribuição de água potável. A captação de água bruta é realizada no rio Perequê, que faz divisa com o município de Itapema, manancial pertencente à Bacia Hidrográfica do rio Perequê. A Estação de Tratamento de Água - ETA está localizada no Bairro Perequê em Porto Belo, composta por um sistema convencional de clarificação e tratamento final para potabilização da água.

Por não haver no município uma Estação de Tratamento de Esgoto - ETE, grande parte da população utiliza o sistema Fossa Séptica/Sumidouro. As muitas ligações clandestinas que descarregam o esgoto nos diversos braços de rios que cortam o município e desembocam principalmente nas praias de Perequê e Itapema, representam um grave problema ambiental e de saúde pública.

Em relação aos resíduos sólidos, a coleta é realizada diretamente pela prefeitura, através da Secretaria Municipal de Transportes e Obras. A quantidade de resíduos sólidos coletados no município é de 400 Toneladas/Mês - no verão essa quantidade é superada. O destino final se dá no aterro sanitário de Biguaçu.

A CELESC – (Centrais Elétricas de Santa Catarina S/A) é operadora e administradora do sistema de distribuição de energia elétrica de Porto Belo. O consumo médio é de 2.391.828 kWh para uma demanda de 2.840.000 kWh. Durante a temporada de verão o consumo sobe para aproximadamente 3.197.530 kWh com uma demanda de 3.037.000 kWh.

O acesso ao centro do município se dá pela rodovia SC-412, que liga a BR-101 até a Av. Governador Celso Ramos, onde existe um intenso trânsito de caminhões, que a utilizam como acesso aos

municípios vizinhos. Nos meses de verão e feriados prolongados o acesso a Porto Belo fica congestionado, pois este serve de passagem também ao município de Bombinhas, tornando o trânsito bem tumultuado. Faltam calçadas, ciclovias, sinalização e transportes coletivos de qualidade, o que gera um grande desconforto à população local e ao turista.

A infraestrutura de apoio ao turismo náutico conta, desde dezembro de 2011, com o Píer Turístico de Porto Belo Prefeito Manoel Felipe da Silva Neto. A estrutura possui 185 metros de comprimento e possibilita a atracação de seis *tenders* ao mesmo tempo. Também permite operações das embarcações da Associação de Pescadores Artesanais de Porto Belo que, durante a temporada de verão, também explora a atividade turística com passeios de barco, traslado para a Ilha de Porto Belo e saídas para pescarias em grupo.

Em termos de transporte coletivo o município tem muitas deficiências. Possui apenas dois itinerários: Centro/Araçá/Centro e Centro/Santa Luzia/Centro. São oferecidos pouquíssimos horários, com uma periodicidade de aproximadamente 2,5 horas. A frota é composta por apenas dois veículos e atende a aproximadamente 90 passageiros/dia. Nos meses de verão há uma demanda bem maior que a oferta.

### **5.1.3 O Empreendimento Eco Resort Ilha de Porto Belo**

O Eco-Resort Ilha de Porto Belo é um empreendimento hoteleiro voltado para hospedagens de maior e menor permanência, incorporando os conceitos de resort e pousada, que contará com uma infraestrutura básica de hotel de lazer, uma pousada e bangalôs integrados com as belezas naturais da ilha.

As edificações são predominantemente horizontais e dispersas, de modo a não criar grandes massas edificadas. Para estimular a ocupação fora de temporada foi incorporada também uma infraestrutura para eventos visando o turismo de negócios.

O Resort está subdividido em dois blocos principais - Hotel Ponta Norte e Pousada Ponta Sul – além de bangalôs distribuídos ao longo da ilha em áreas sem restrição ambiental legal ou onde a necessidade de supressão de vegetação é a menor possível. A estrutura de lazer contará com áreas de relaxamento, contemplação e exercícios, dentro das limitações ambientais permitidas. Tratando-se de uma ilha, sem acesso rodoviário, estão previstos trapiches para embarque e desembarque e travessias subaquáticas de distribuição de água e energia.

A infraestrutura de serviços contará com o apoio à hospedagem, tanto na ilha como no continente, localizadas no município de Porto Belo, incluindo escritórios, estacionamento, além da infraestrutura municipal existente, tais como vias públicas e cais de atracação entre outras.

O empreendimento foi submetido ao licenciamento ambiental pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, tendo sido apresentado pelos empreendedores o Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA, nos termos da legislação vigente. As diversas etapas e ações do empreendimento são listadas no Quadro 7:

**Quadro 7: Fases do empreendimento**

FASE	AÇÃO
<b>Fase I: Planejamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudos e Projetos</li> <li>• Divulgação e Marketing</li> </ul>
<b>Fase II: Instalação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mobilização e desmobilização de mão de obra</li> <li>• Logística para construção</li> <li>• Limpeza do terreno</li> <li>• Terraplenagem</li> </ul>
<b>Fase II: Instalação (continuação)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Travessias subaquáticas</li> <li>• Infraestrutura (água/esgoto/drenagem/lixo/energia)</li> <li>• Arruamento e pavimentação</li> <li>• Construção das edificações</li> </ul>
<b>Fase III: Operação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hotelaria</li> <li>• Visitação pública</li> </ul>

Fonte: Socioambiental (2008)

## 5.2 Os Impactos Ambientais

Segundo o EIA/RIMA, foram identificados 32 impactos, sendo destes 09 relativos ao Meio Físico, 04 ao Meio Biótico e 19 ao Meio Socioeconômico, conforme lista apresentada no Quadro 8:

**Quadro 8: Possíveis impactos ambientais**

<b>Impactos Ambientais Identificados</b>	
Meio Físico (9)	1. Impermeabilização do solo com implicações no aumento do escoamento superficial da água
	2. Risco de carreamento de sedimentos para a área marinha
	3. Risco de contaminação das águas subterrâneas por irrigação do esgoto tratado do empreendimento
	4. Risco de poluição das águas pelo esgoto sanitário do canteiro de obras
	5. Geração de áreas degradadas pelas obras de engenharia
	6. Demanda por bota-foras
	7. Geração de resíduos da construção civil
	8. Risco de possíveis alterações geomorfológicas decorrentes da instalação dos trapiches/ancoradouros
	9. Risco de contaminação por óleo diesel durante a implantação e operação
Meio Biótico (4)	10. Supressão da vegetação
	11. Redução de hábitat da fauna terrestre
	12. Distúrbios à fauna
	13. Distúrbios às comunidades aquáticas
Meio Socioeconômico (19)	14. Aumento da arrecadação de impostos
	15. Geração de empregos
	16. Risco de não inclusão da mão de obra local nas oportunidades de emprego criadas
	17. Fortalecimento da vocação turística do município e redução de sua sazonalidade
	18. Criação e expansão de oportunidades de negócios (dinamização da economia local)
	19. Risco de redução do número de visitantes na ilha, com consequente queda de receita do transporte realizado pela comunidade local
	20. Risco de especulação imobiliária
21. Geração de tráfego lento por transporte de cargas durante a implantação (materiais de construção)	

Continua

Continuação

Meio Socioeconômico (19)	22. Aumento da demanda de abastecimento de água potável
	23. Aumento da geração de esgoto sanitário na ilha
	24. Aumento da demanda do consumo de energia elétrica
	25. Aumento da geração de resíduos sólidos na ilha
	26. Risco de pressão sobre a capacidade de carga da praia
	27. Geração de expectativas e incertezas nas comunidades em relação ao empreendimento
	28. Alteração da paisagem
	29. Risco de conflito de espaço marítimo
	30. Risco de interferência no patrimônio arqueológico
	31. Risco de Interferência na funcionalidade da estrutura urbana da cidade
	32. Contribuição do Eco-Resort para a redução da emissão de gases do efeito estufa (GEE)

**Fonte: Socioambiental (2008)**

Os impactos ambientais relacionados no Quadro 8 foram descritos e avaliados no EIA, para os quais foram recomendadas medidas mitigadoras e compensatórias, distribuídas em Programas Ambientais. Esses impactos e as respectivas medidas mitigadoras e compensatórias, bem como os respectivos Programas Ambientais foram considerados para efeito da construção dos cenários normativos, juntamente com os questionamentos formulados pela comunidade, na Audiência Pública.

O Quadro 9 apresenta os programas ambientais propostos para o empreendimento.

**Quadro 9: Programas ambientais do empreendimento**

<b>Programa de Gestão e Supervisão Ambiental do Empreendimento</b>		
<b>Meio Físico</b>	<b>Programa de Sustentabilidade das Edificações</b>	Subprograma de Drenagem, Controle de Erosão e Sedimentação
		Subprograma de Sustentabilidade das Águas
		Subprograma de Sustentabilidade de Energia
		Subprograma de Uso Racional de Materiais e Recursos
		Subprograma de Implantação Sustentável do Entorno
		Subprograma de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil
	Programa de Recuperação de Áreas Degradadas	
	Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos	
	Programa de Gerenciamento de Transporte (operação e implantação)	
	Programa de Monitoramento	
<b>Meio Biótico</b>		Programa de Supressão da Vegetação
		Programa de Monitoramento e Resgate da Fauna
<b>Meio Socioeconômico</b>		Programa de Comunicação Social e Relações Públicas
		Programa de Priorização de Mão de obra Local
		Programa de incentivo à capacitação e ao empreendedorismo local
		Programa de Adequação do Serviço de Traslado Ilha / Continente
		Programa de Apoio à Elaboração do Plano de Desenvolvimento Local de Turismo Sustentável
		Programa de prevenção contra efeitos da especulação imobiliária
		Programa de Uso das Águas da Baía de Porto Belo
		Programa de Proteção do Patrimônio Arqueológico
	Programa de Monitoramento e Manutenção da Qualidade da Paisagem	

Continua

Continuação

<b>Programa de Implantação das Medidas Compensatórias</b>	Subprograma de Implantação da Compensação Ambiental Formal
	Subprograma de Implantação da Medida de Compensação Socioambiental e Cultural (Reserva Ambiental e Escola Belo Porto)
	Subprograma de Atendimento às Demandas por Infraestrutura Básica do Atual Empreendimento Existente na Ilha

**Fonte: Socioambiental (2008)**

É no meio socioeconômico que poderão ocorrer as principais modificações, na área continental do município, em decorrência da instalação e operação do Eco-Resort Ilha de Porto Belo e é em relação às possíveis modificações passíveis de ocorrer nesse meio que residem as principais angústias e questionamentos da comunidade.

A Audiência Pública realizada para a apresentação do empreendimento e discussão do respectivo Relatório de Impacto ao Meio Ambiente – RIMA, captou, registrou e deu encaminhamento a essas angústias e questionamentos.

### **5.3 Audiência Pública**

A Audiência Pública, ocorrida em 15 de outubro de 2008, que apresentou e discutiu com a comunidade o Relatório de Impacto ao Meio Ambiente – RIMA do Eco-Resort Ilha de Porto Belo, seguiu o roteiro padrão para esse tipo de evento. Inicialmente o empreendedor apresentou o empreendimento, em seguida a equipe de consultores responsáveis pela elaboração dos Estudos de Impacto Ambiental – EIA, discorreu sobre os possíveis impactos ambientais decorrentes do empreendimento, em todas as suas fases. Após um breve intervalo iniciou-se a fase dos questionamentos, com a participação da comunidade de Porto Belo.

Os questionamentos oferecidos estão relacionados abaixo, na forma de tópicos e servem como base de construção de cenários normativos:

- Geração de empregos utilizando mão de obra local;
- Alteração do cotidiano do município em decorrência do empreendimento, em especial na fase de operação;
- Segurança de hóspedes e visitantes, expostos à fauna da ilha (risco de contato com animais peçonhentos ou perigosos);

- Definição de alguma Compensação Ambiental à Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN Morro dos Zimbros, já existente e localizada em Porto Belo;
- Estruturação da Escola Belo Porto;
- Receio de o empreendimento transformar-se num “centro comercial” (sendo citado como exemplo o empreendimento Costão do Santinho), resultando em prejuízo para o comércio local;
- Empreendimento versus fontes poluidoras do entorno (falta de saneamento em Porto Belo, entre outras);
- Empreendimento versus uso do espaço náutico (lançamento ou vazamento de óleo no mar);
- Estrutura de apoio náutico para o transporte de visitantes e hóspedes da ilha;
- Destinação final do lodo decorrente do tratamento de esgoto (proposta de combinar com o lixo orgânico em compostagem e utilizar como adubo);
- Segurança pública (receio de que o empreendimento atraia criminalidade);
- Criação de uma Unidade de Conservação em Porto Belo.

Além dos questionamentos apresentados pela comunidade, o representante do Ministério Público Federal, presente na Audiência Pública, manifestou-se contrário ao empreendimento, justificando ser contra a qualquer tipo de ocupação nas ilhas costeiras do litoral brasileiro, tendo em vista o tratamento diferenciado que estes territórios encontram na Constituição Federal, possuindo *status* de propriedade da União. Considerou que a vocação da ilha é ser um espaço para a preservação ambiental, com acesso ao público para visitação, entendendo ser adequado o seu uso atual.

O representante do Ministério Público considerou ainda que os estudos ambientais não foram suficientemente aprofundados, não permitindo conhecer a dinâmica da ilha, e ainda considerou que os impactos decorrentes das pressões de ocupação da parte Continental de Porto Belo e os impactos decorrentes das pressões de uso e ocupação da parte marítima de Porto Belo, tanto por pescadores, maricultores, bares flutuantes, pelo Iate Clube e pelos transatlânticos, não foram analisados de forma integrada e sim isoladamente. Concluiu afirmando “*a necessidade de esclarecimentos desses pontos, até para se poder ter uma ideia melhor de como será Porto Belo no futuro*”.

## **CAPÍTULO 6**

### **6. APLICAÇÃO EXPERIMENTAL DO MÉTODO DE PREVISÃO DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL**

O método de construção de prognósticos de sustentabilidade ambiental, como apoio à decisão no licenciamento ambiental, aplicado ao empreendimento Eco Resort Ilha de Porto Belo é calçado em seis etapas principais, a saber:

- Seleção dos fatores chaves que servirão como indicadores e construção do diagrama de agregação que representa o sistema socioambiental estudado;
- Construção de cenários exploratórios e normativos;
- Obtenção de índices socioambientais locais a partir da agregação de indicadores de estado, para cada cenário;
- Construção do diagrama de interação dinâmica dos componentes dos sistemas socioambientais em estudo;
- Modelagem dinâmica referente à evolução temporal da integração entre os índices ambientais, para cada cenário, e
- Monitoramento dos indicadores.

As etapas que compõem o método de construção de prognósticos de sustentabilidade ambiental, não formam uma sequência fechada, onde uma etapa se inicia apenas com a conclusão da anterior. São etapas com execuções paralelas e complementares.

#### **6.1 Seleção dos indicadores e construção do diagrama de agregação**

Tratando-se de empreendimento vinculado ao segmento da economia relacionado ao turismo, é nesse contexto que os prognósticos de sustentabilidade devem gravitar. Segundo a OMT (2003), a sustentabilidade do turismo como atividade econômica está relacionada com a melhoria da qualidade de vida das comunidades anfitriãs, com benefícios econômicos e sociais não só para os residentes, mas também para as empresas, com a promoção de uma qualidade elevada na experiência do visitante, com a manutenção da qualidade do ambiente, com a distribuição equitativa tanto dos benefícios como dos custos, com a compreensão dos impactos do turismo no ambiente cultural, humano e material, com a melhoria das infraestruturas sociais e de cuidados de saúde.

Assim o modelo de previsão da sustentabilidade do empreendimento Eco Resort Ilha de Porto Belo foi construído com o viés de análise da sustentabilidade ambiental, inserida no contexto do turismo como atividade econômica.

A representação do ambiente por meio de seus componentes constituintes – físico, biótico e socioeconômico - é prática consagrada e usual nos estudos de AIA. Contudo, a representação e qualificação desses componentes por meio de indicadores não são triviais. A representação do componente biótico, por meio de indicadores de estado, por exemplo, pode englobar indicadores de flora, tais como conectividade, fragmentação e conservação entre outros. Isso significa que a representação e qualificação dos componentes de um sistema ambiental, por meio de indicadores, podem ser mais ou menos precisas, a depender da cesta de indicadores selecionados.

Destaca-se, contudo que a seleção e avaliação de uma cesta de indicadores mais diversificada e mais específica, demandam recursos humanos, equipamentos e recursos financeiros não disponibilizados para esta pesquisa.

O modelo que representou os sistemas socioambientais que podem ser impactados pela instalação e operação do empreendimento foi composto com a quantidade e qualidade de indicadores e índices que foram considerados suficientes para a demonstração do método. Para um melhor entendimento dos indicadores, optou-se por subdividir o meio socioeconômico nos meios social, econômico e cultural. Assim, considerando as peculiaridades do local e do empreendimento, os índices foram desdobrados nos seguintes indicadores:

- Índice Físico: Água do Mar e Solo.
- Índice Biótico: Fauna, Flora e Habitat.
- Índice Social: Infraestrutura e Serviços Públicos, Espaço marítimo e Segurança.
- Índice Econômico: Emprego e Renda, Arrecadação de Impostos e Oportunidades de Negócios.
- Índice Cultural: Educação e Capacitação, Paisagem e Patrimônio Cultural.

A definição das áreas de abrangência dos indicadores considerou as peculiaridades do local e do empreendimento, além de especificidades do indicador. Alguns indicadores estão limitados à Ilha João da Cunha, como “solo”, “flora”, “habitat” e “paisagem”; os demais alcançam também o município de Porto Belo. O indicador “água do

mar” abrange as águas da baía de Porto Belo. O indicador “fauna” abrange duas áreas diferentes; no que se refere à fauna terrestre, está limitado à ilha, em relação à fauna marinha, abrange a existente na baía de Porto Belo.

Para a agregação desses indicadores de estado, foi utilizado o *software fuzzyTECH*<sup>®</sup>. O desenho esquemático das árvores foi feito *top-down*, conformando o sistema *fuzzy* que é mostrado na Figura 3. Este desenho esquemático corresponde ao diagrama de agregação que representa, de forma particular, os sistemas socioambientais de interesse. Ele contém as variáveis de entrada, que são os indicadores de estado, os blocos de regras e as variáveis de saída, que são os índices ambientais. As linhas de conexão simbolizam o fluxo de dados.

O esquema da figura 3, que corresponde ao diagrama de agregação, é um modelo *fuzzy* que usa dois estágios de inferência se – então, e é constituído por variáveis de entrada, variáveis de saída, bloco de regras com as respectivas regras, e as funções de pertinência que qualificam as variáveis. Estes elementos estão distribuídos conforme Quadro 10:

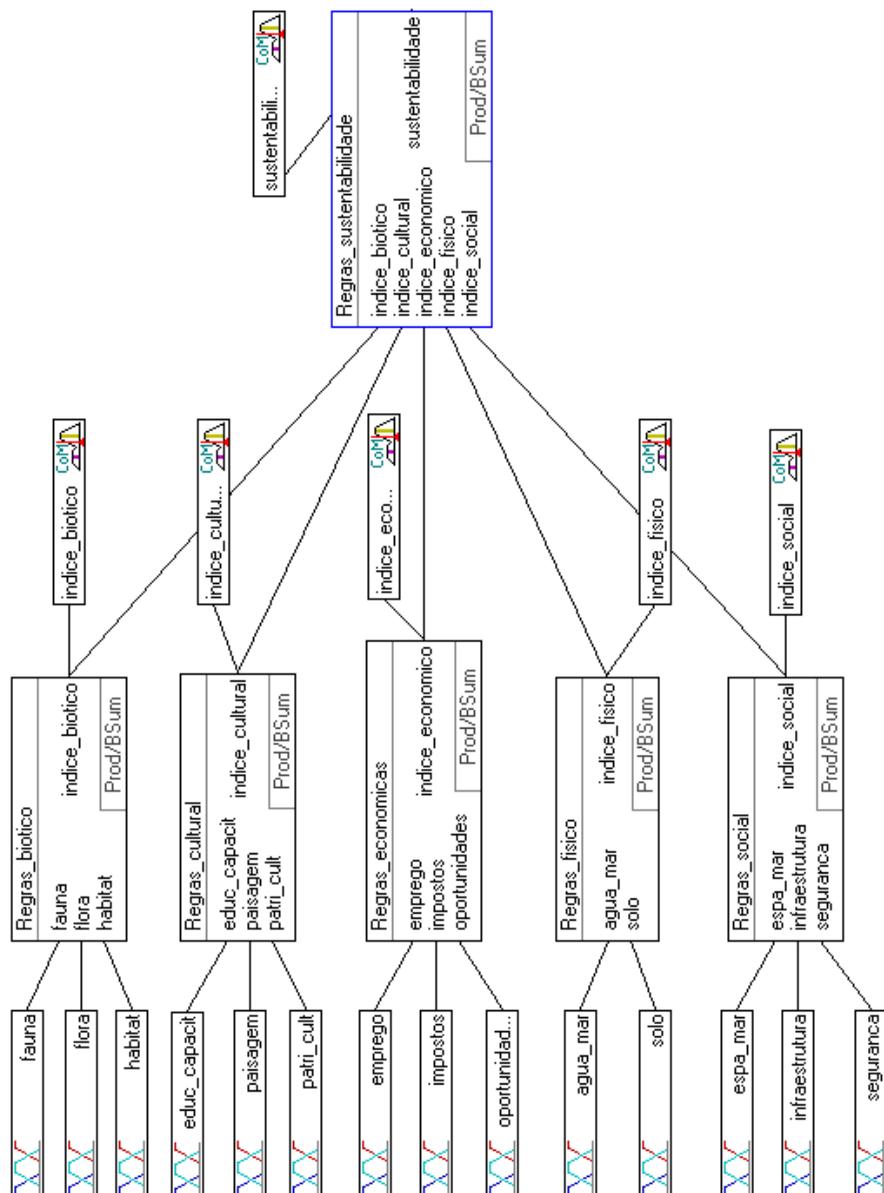
**Quadro 10: Distribuição esquemática dos elementos constituintes do diagrama *fuzzy***

Elementos constituintes	Quantidade
Variáveis de entrada	14
Variáveis de saída	6
Blocos de regras	6
Regras	360
Funções de pertinência	62

**Fonte: o autor (2014)**

Por se tratar de pesquisa acadêmica, para testar o funcionamento do método, buscou-se simplificar o modelo que representa os sistemas socioambientais que podem ser impactados pela instalação e operação do empreendimento, por isso optou-se pela seleção de um conjunto genérico de indicadores. Evidentemente maior precisão e confiança podem ser obtidas utilizando-se um conjunto de indicadores mais específicos.

Figura 3: Diagrama de agregação - desenho *fuzzyTECH*®.



Fonte: o autor (2014)

Dessa forma, considerando as peculiaridades do local e do empreendimento, foram selecionados os indicadores relacionados no Quadro 11:

**Quadro 11: Lista das variáveis de entrada (indicadores) no *fuzzyTECH*<sup>®</sup>**

<b>Indicador ou variável de entrada</b>	<b>Nome do Indicador</b>
agua_mar	Água do Mar
educ_capacit	Educação e Capacitação
emprego	Emprego
espa_mar	Espaço marítimo
fauna	Fauna
flora	Flora
habitat	Habitat
impostos	Impostos
infraestrutura	Infraestrutura
oportunidades	Oportunidades
paisagem	Paisagem
patri_cult	Patrimônio Cultural
seguranca	Segurança
solo	Solo

**Fonte: o autor (2014)**

No Quadro 10 os indicadores estão dispostos em ordem alfabética, com as denominações possíveis aceitas pelo *software* e também com as suas denominações usuais.

O resultado da agregação dos indicadores ou variáveis de entrada são índices ambientais locais, específicos para a situação analisada. Estes índices estão relacionados no Quadro 12:

**Quadro 12: Lista das variáveis de saída (índices) no *fuzzyTECH*<sup>®</sup>**

<b>Índice ou variável de saída</b>	<b>Nome do índice</b>
índice_biótico	Índice Biótico
índice_cultural	Índice Cultural
índice_econômico	Índice Econômico
índice_fisico	Índice Físico
índice_social	Índice Social

**Fonte: o autor (2014)**

## 6.2 Construção de cenários exploratórios e normativos

O método permite a simulação de diversos cenários, que podem ser exploratórios ou normativos, habilitando a análise e a comparação das situações de interesse dos *stakeholders*, favorecendo as decisões.

Foram considerados três cenários distintos para simulação, um exploratório e dois normativos. O cenário exploratório considerou que os impactos ambientais esperados se concretizaram e que os programas ambientais foram efetivos, alcançando as metas planejadas. É um cenário tendencial, e o mais provável de ocorrer; será denominado, daqui em diante, de cenário provável.

Com base nos resultados fornecidos pelas simulações que compõem o cenário provável, é possível construir dois cenários normativos. Um reúne condições desejadas sendo, portanto um cenário a ser perseguido. O outro cenário, ao contrario reúne condições indesejadas, ou seja, um cenário a ser evitado. Os cenários normativos foram construídos segundo a abordagem de *backcasting*, ou seja, posicionado nos futuros idealizados, avaliou-se que fatores, tecnológicos, estruturais ou comportamentais seriam capazes de quebrar as tendências do cenário exploratório.

### 6.2.1 Cenário provável

Neste cenário, exploratório e tendencial, o futuro se caracteriza pela evolução natural dos sistemas socioambientais, com a inserção do empreendimento. Isto significa considerar, tanto os efeitos ao longo do tempo, dos consequentes impactos ambientais, identificados e avaliados pelos estudos ambientais, como também os efeitos das ações de mitigação e compensação dos impactos negativos, além dos efeitos das ações de maximização ou potencialização dos impactos positivos, que integram os programas ambientais.

Este é o cenário considerado no EIA, no qual o empreendimento é instalado e operado segundo as recomendações propostas nos estudos ambientais, as instalações e edificações são executadas observando as boas práticas de engenharia e gestão, e seguindo os padrões de qualidade e rigor estabelecidos pelas normas técnicas pertinentes. Este cenário considera ainda que os programas ambientais são executados e alcançam as metas estabelecidas.

Ressalte-se que este cenário também vai ao encontro dos anseios da comunidade interessada e atingida pelo empreendimento, já que os programas ambientais recomendados nos estudos ambientais

contemplam ações, limitadas às responsabilidades do empreendedor, que respondem aos questionamentos apresentados na audiência pública, que apresentou o empreendimento e discutiu o respectivo RIMA.

### **6.2.2 Cenário desejável**

Na construção deste cenário, utilizando-se a abordagem de *backcasting*, idealiza-se qual futuro sustentável e possível se deseja alcançar e assim, posicionando-se neste futuro hipotético, olha-se para trás, ou seja, em direção ao presente, para verificar a viabilidade física e social de caminhos em direção a esse futuro, identificando as medidas e ações necessárias para atingi-lo. É importante perceber que mudanças tecnológicas, culturais, comportamentais e organizacionais podem ocorrer no período planejado.

Na impossibilidade de se construir este cenário de forma participativa, utilizou-se dos resultados obtidos na Audiência Pública que apresentou o RIMA à comunidade interessada e potencialmente atingida pelo empreendimento, muito embora os questionamentos apresentados pela comunidade atingida naquela audiência estejam adequadamente tratados no cenário provável, naquilo que é da responsabilidade do empreendedor.

Optou-se então por construir este cenário normativo, a partir dos resultados obtidos pelas simulações que envolvem o cenário provável, identificando deficiências e propondo modificações possíveis, que impulsionam o desempenho dos indicadores e índices para patamares mais favoráveis, que representam melhores condições para alcançar níveis de sustentabilidade mais elevados.

Sob esta perspectiva, buscou-se identificar responsabilidades, mapear conflitos, e relações de compromisso associadas, envolvendo empreendedor, comunidade, lideranças políticas e decisores, de forma que trouxesse legitimidade aos cenários resultantes. Concluiu-se então que as deficiências do cenário provável têm origem em fatores alheios ao empreendedor, ou seja, resultam de deficiências na infraestrutura do Município de Porto Belo, especialmente no que se refere à mobilidade urbana e saneamento, identificadas nos estudos ambientais, deficiências essas da responsabilidade do poder público e que, a partir do engajamento de todos os interessados, esses problemas poderiam ser enfrentados.

Ressalta-se que os estudos ambientais propuseram o Programa de Apoio à Elaboração do Plano de Desenvolvimento Local de Turismo

Sustentável, como forma de sanar essas deficiências, na esfera de responsabilidade do empreendedor.

A concretização deste cenário, na abordagem *backcasting*, depende de um plano de ação com uma agenda e cronograma específicos, onde as medidas necessárias à sua realização são executadas de acordo com cronograma a ser comprometido entre as partes. Além disso, um plano de monitoramento acompanha a execução das ações necessárias, permitindo quando for o caso a correção de rumos.

Assim, considerou-se que no cenário futuro desejável idealizado, os problemas pré-existent de infraestrutura, viária e de transportes, e também de saneamento básico são resolvidos. Os conflitos envolvendo o uso do espaço marítimo também são resolvidos, bem assim as questões de segurança pública. Os empreendedores locais são capacitados para aproveitar as oportunidades de negócios e tanto os funcionários do resort como os prestadores de serviços e pescadores, que tem no turismo o foco das suas atividades, tem elevado a sua percepção das questões ambientais, resultado de treinamento e capacitação.

Além dessa abordagem, considerou-se também ser possível avançar em uma alternativa de projeto capaz de reduzir as necessidades de supressão de vegetação, buscando-se assim uma ocupação menos impactante. A nova alternativa proposta elimina as edificações localizadas na porção sul/sudoeste da Ilha João da Cunha, isto é, a pousada sul com 15 apartamentos, três módulos de bangalôs e o trapiche sul. Como forma de compensar possíveis perdas econômicas, admite-se ampliar a capacidade das estruturas projetadas para a ponta norte/nordeste, caracterizada por apresentar ambientes mais alterados, de forma a receber as estruturas eliminadas. Com isso o hotel da ponta norte passaria de 80 para 95 unidades de hospedagem e os módulos de bangalôs passariam de 14 para 17, com três unidades de hospedagem cada. Esta alternativa além de manter a capacidade instalada do resort, representa uma redução nos custos de instalação por não abrir outra frente de obra e conserva importantes fragmentos de Mata Atlântica em estágios avançados de regeneração, na Ilha João da Cunha.

Neste cenário, o futuro se caracteriza, portanto por ser uma meta a ser alcançada, desejada e possível. No entanto, excetuando-se as alterações de projeto propostas, as outras ações necessárias para corrigir as deficiências do cenário provável não dependem exclusivamente do empreendedor, mas sua concretização pode ser impulsionada pelo seu empenho e capacidade para mobilizar a comunidade local, suas lideranças e representantes. Este cenário reúne condições tais que

elevam o desempenho dos indicadores, melhorando os índices ambientais locais, resultando em níveis mais elevados de sustentabilidade.

Considera-se que este cenário fictício é o que corresponde às expectativas da comunidade, do poder público e também do empreendedor, uma vez que, hipoteticamente foi construído em conjunto, em processo participativo. Assim, além de dar tratamento aos questionamentos da comunidade, a exemplo do cenário provável, vai além ao propor quebra de tendências pelo engajamento entre empreendedor, comunidade e lideranças políticas, na construção de um futuro possível, desejável, com sustentabilidade.

É importante destacar que este é apenas um dos cenários desejáveis possíveis, outros cenários reunindo outras condições desejáveis também podem ser construídos. Por essa razão recomenda-se que a idealização e construção dos cenários sejam exaustivamente discutidas e compromissadas pelos interessados.

### **6.2.3 Cenário indesejável**

Este cenário normativo, ao contrário, é um dos cenários a serem evitados. Construído também a partir dos resultados obtidos pelas simulações que envolvem o cenário provável, as deficiências identificadas foram exacerbadas, impulsionando o desempenho dos indicadores e índices para patamares desfavoráveis, que representam condições adversas para o alcance de bons níveis de sustentabilidade.

O cenário indesejável, aqui idealizado, tem como característica a gestão temerária do empreendimento, desde a fase de instalação continuando na fase de operação, onde os riscos são mal avaliados ao se privilegiar a redução de custos negligenciando a qualidade e a técnica. Neste cenário considera-se que as normas técnicas que balizam os padrões e limites a serem observados nas obras civis, são menosprezadas, e que os programas ambientais recomendados não são implantados. Esta situação determina o agravamento dos impactos ambientais decorrentes do empreendimento.

O cenário indesejável considera também que as obras e melhorias que integram planos locais, estaduais e federais de desenvolvimento, não foram executadas. Como resultado os projetos oficiais de turismo sustentável não evoluem, os projetos de adequação e melhoria dos sistemas viários e de transporte não são executados, como também não são executados os projetos de saneamento básico, agravando os problemas pré-existentes de infraestrutura.

Estas condições afetam o desempenho de todos os indicadores, determinando condições desfavoráveis ao alcance da sustentabilidade.

Este cenário fictício simula uma condição indesejada por todos os envolvidos, ou seja, comunidade atingida, poder público e empreendedor. Propositadamente exagerou-se nas condições adversas, para efeito de simulação. Evidentemente trata-se de um cenário pouco provável de ocorrer, até porque é de fácil constatação, tanto pela comunidade atenta e vigilante, como pelo poder público fiscalizador.

### **6.3 A obtenção de índices socioambientais locais**

Para a obtenção de índices socioambientais locais, foi desenvolvido um método que estrutura a agregação de indicadores de estado, na forma de *soft decision trees*, conforme foi desenvolvido por Boclin e Mello (2006), de acordo com trabalho apresentado por Oлару e Wehenkel (2003).

São avaliados os estados dos componentes físicos, bióticos, sociais, econômicos e culturais, derivados da implantação de um projeto ou atividade, em determinado ambiente. O critério de referência é o estado ou qualidade do meio ambiente revelado por indicadores ambientais, agrupados e combinados em operações lógicas de sistemas *fuzzy*. Estes são arranjados em dendrogramas estruturados tipo *top-down*, onde em cada nó as saídas, ou resultados, são definidos em razão de bloco de regras. As variáveis de entrada e saídas tanto podem ser discretas como difusas, sendo operadas por meio de operadores “se”, “e”, “ou”, “então”. O resultado das operações *fuzzy*, são índices ambientais que qualificam os respectivos componentes físicos, bióticos, sociais, econômicos e culturais.

#### **6.3.1 Desenvolvimento do método de agregação**

O método ora desenvolvido tem como objetivo a obtenção de um conjunto de índices, resultantes da agregação de indicadores de estado, por meio da lógica *fuzzy*, como em Silvert (2000). Consiste da apreciação, por especialistas, dos componentes socioambientais envolvidos, avaliando-se o estado ou qualidade desses componentes, como flora, fauna, solo, infraestrutura, e paisagem, entre outros, atribuindo-se um valor, nota ou peso para cada componente, utilizado como indicador de estado. Estes são agregados em blocos que representam as dimensões dos meios físico, biótico, social, econômico e cultura.

Os valores que os índices assumem nas agregações direcionadas especialmente para cada local, objeto e tempo são específicos àquela situação.

O modelo aqui apresentado trata a decisão como uma combinação de critérios temáticos. Cada critério é resultado de combinações de indicadores, que vão sendo desdobrados em forma de árvores de decisões, até que um determinado componente possa ser avaliado diretamente por especialistas ou por *stakeholders*. A estrutura foi composta por seis árvores correspondentes aos temas: físico, biótico, social, econômico e cultural, onde as variáveis de entrada são indicadores de estado estimados diretamente por medições ou avaliações de especialistas.

### 6.3.2 Agregação dos indicadores

Foi utilizado o *software fuzzyTECH*<sup>®</sup> para a agregação das variáveis, que são indicadores de estado que qualificam os meios físico, biótico, social, econômico e cultural. Esses indicadores tomaram formas discretas e foram agregados nos blocos de regras do dendrograma tipo *top-down*, por meio de operações básicas dos conjuntos *fuzzy*.

A estrutura do sistema identifica o fluxo de análise da lógica *fuzzy*, a partir de variáveis de entrada para as variáveis de saída. A fuzzificação na interface de entrada traduz valores discretos ou escalares em graus de pertinência às funções *fuzzy*. A análise *fuzzy* acontece em blocos que contêm as regras de controle linguístico. Os resultados das operações nestes blocos de regras são funções *fuzzy*. A defuzzificação nas saídas traduz essas funções *fuzzy* em variáveis discretas.

### 6.3.4 Configuração utilizada

Na fuzzificação as variáveis de entrada – indicadores - assumiram valores discretos ou escalares, que variaram de “0” a “1”, onde “0” representou o pior estado e “1” representou o melhor estado. Foram definidos três termos ou variáveis linguísticas para descrever cada variável de entrada – baixo, médio, e alto – cujas funções de pertinência foram representadas por uma função não linear, simétrica, monotônica, tipo “S”, onde os patamares superiores foram configurados com 0% de amplitude.

Na defuzzificação as variáveis de saída – índices – foram defuzzificadas pelo método CoM – Center of Maximum, que é um método de defuzzificação contínuo e que confere resultados de melhor

compromisso. Os índices variaram de “0” a “1”, onde “0” representou o pior desempenho e “1” o melhor desempenho dos indicadores.

Na inferência de segunda ordem, cada variável de saída foi descrita por três termos ou variáveis linguísticas (baixo, médio e alto). Na inferência de primeira ordem, variável de saída resultante, identificada como “sustentabilidade”, foi descrita por cinco termos ou variáveis linguísticas (muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto).

A razão de usar cinco termos para descrever apenas a variável de saída “sustentabilidade” é o número de regras. Se todas as variáveis de saída fossem descritas por cinco variáveis linguísticas, seriam necessárias 1875 regras. Este elevado número de regras não é gerado automaticamente pelo *fuzzyTECH*<sup>®</sup>. Ressalta-se, contudo, que essa configuração foi suficiente para demonstração do método.

Em ambos os estágios de inferência, as funções de pertinência das variáveis de saída foram representadas por uma função não linear, simétrica, monotônica, tipo “S”, onde os patamares inferiores foram configurados com 0% de amplitude.

Na configuração da regra de inferência foi estabelecido que o índice gama  $\gamma$  assumiu valor zero assim o operador compensatório de agregação Gamma resultante foi o produto algébrico “Prod”. O operador para agregação de resultado foi “BSum”.

Por fim o grau de suporte - “Degree of Support” (DoS) de cada regra, que pode variar de zero a um, foram todos calibrados em “1”.

O Quadro 13 traz um exemplo de um bloco de regras utilizado no modelo, no caso o bloco de regras “Regras\_biótico”, com 3 entradas, 1 saída e 27 regras.

**Quadro 13: Bloco de regras “Regras\_biótico”**

SE			ENTÃO	
fauna	flora	habitat	DoS	índice_biotico
baixo	baixo	baixo	1.00	baixo
baixo	baixo	médio	1.00	baixo
baixo	baixo	alto	1.00	médio
baixo	médio	baixo	1.00	baixo
baixo	médio	médio	1.00	médio
baixo	médio	alto	1.00	médio
baixo	alto	baixo	1.00	médio

Continua

Continuação

baixo	alto	médio	1.00	médio
baixo	alto	alto	1.00	alto
médio	baixo	baixo	1.00	baixo
médio	baixo	médio	1.00	médio
médio	baixo	alto	1.00	médio
médio	médio	baixo	1.00	médio
médio	médio	médio	1.00	médio
médio	médio	alto	1.00	alto
médio	alto	baixo	1.00	médio
médio	alto	médio	1.00	alto
médio	alto	alto	1.00	alto
alto	baixo	baixo	1.00	médio
alto	baixo	médio	1.00	médio
alto	baixo	alto	1.00	alto
alto	médio	baixo	1.00	médio
alto	médio	médio	1.00	alto
alto	médio	alto	1.00	alto
alto	alto	baixo	1.00	alto
alto	alto	médio	1.00	alto
alto	alto	alto	1.00	alto

Fonte: o autor (2014)

### 6.3.5 Valoração dos indicadores

Os índices ambientais foram obtidos por simulação, abrangendo um período de 12 (doze) anos, compreendendo a instalação e a operação do empreendimento. Simulações por períodos mais longos, alcançando um prazo maior da operação, são plenamente exequíveis, bastando definir uma nova calibração nos *softwares* utilizados – *fuzzyTECH*<sup>®</sup> e *STELLA*<sup>®</sup>. Contudo, para efeito de teste do modelo, a simulação por um período de 12 anos foi suficiente e apresentou resultados conclusivos.

De forma ideal, a atribuição de valores aos indicadores deve ser feita pela equipe multidisciplinar de *experts* que elaborou os estudos ambientais. Como neste estudo de caso isso não foi possível, foram consultados cinco consultores ambientais (2 biólogos, 1 geólogo, 1 oceanógrafo, 1 economista) com expertise em avaliação de impactos

ambientais, conhecedores do projeto, dos estudos ambientais e do local pretendido para a implantação. Os cenários previamente idealizados foram a eles apresentados e discutidas as suas características.

A convergência de valores para cada indicador foi alcançada utilizando-se um método sistemático, baseado na técnica Delphi. Foram efetuadas três rodadas de avaliação para se chegar a um consenso.

Os especialistas foram instados a atribuir valores futuros aos indicadores selecionados, variando de “zero” a “um”, para cada cenário idealizado, onde zero significa o pior estado e um o melhor, considerando-se:

- i) A natureza, o porte e a localização pretendida para o empreendimento;
- ii) O resultado da avaliação dos impactos ambientais que integra o EIA;
- iii) A expectativa, ao longo do tempo, dos efeitos das ações de mitigação e compensação dos impactos negativos e potencialização dos impactos positivos, que integram os Programas Ambientais projetados para o empreendimento;
- iv) As características dos cenários idealizados.

Embora tenham sido elaboradas séries temporais anuais para os valores dos indicadores e índices, para cada cenário, desde o ano zero até o ano 12, a atribuição dos valores aos indicadores não foi efetuada ano a ano. Verificou-se ser mais plausível e também mais fácil, fazer estimativas da variação dos valores dos indicadores, a partir de um valor inicial de referência, considerando intervalos de tempo mais longos do que os intervalos anuais.

Assim os especialistas iniciaram atribuindo valores para o ano zero, considerado o valor inicial de referência e que corresponde ao momento pré-existente, ou seja, sem o empreendimento, quando foi possível avaliar o estado real dos componentes ambientais. Nesse momento não foram feitas estimativas de desempenho futuro e sim foram atribuídos valores aos indicadores, considerando-se as constatações do *status quo*, realizadas *in loco*.

Na sequência, a atribuição dos valores aos indicadores foi feita a partir da estimação de seus comportamentos futuros, considerando duas fases distintas; a fase de instalação e a fase de operação.

Na instalação, cuja duração é estimada pelos estudos ambientais em 27 meses, o momento considerado para a estimação dos valores compreendeu aquele de maior atividade, ou seja, o momento onde as possíveis mudanças de estado dos componentes ambientais são mais

expressivas e que no caso, corresponde ao ano 2, desde o início das obras.

Na operação, os componentes ambientais, desse novo ambiente modificado, tendem para um novo estado de equilíbrio. Para esta fase foram convencionados três momentos para a estimação dos valores, a saber:

- i) A fase inicial da operação, quando os tensores decorrentes das atividades de instalação não estão mais presentes e o ambiente inicia o processo de recuperação e que no caso, corresponde ao ano 4, desde o início das obras;
- ii) A fase intermediária ou de maturação da operação, quando os efeitos dos programas ambientais são percebidos e o processo de recuperação ambiental está em franca evolução e que no caso, corresponde ao ano 8, desde o início das obras;
- iii) A fase de estabilização da operação, que correspondente à estabilização do empreendimento, quando os programas ambientais de mitigação e compensação de impactos ambientais estão consolidados e que no caso, corresponde ao período a partir do ano 12, desde o início das obras.

A partir do conjunto de valores definidos para os indicadores, as séries anuais foram completadas por meio de ajustes lineares.

O ponto fraco da técnica utilizada para a valoração dos indicadores, baseada no julgamento de especialistas é a subjetividade, uma vez que os resultados dependem de fatores como o nível de conhecimento dos especialistas, o grau de sensibilidade para perceber potenciais modificações no ambiente e experiência acumulada. Entretanto a subjetividade é inerente às avaliações de impacto ambiental e pode ser minimizada com técnicas de convergência, como as baseadas em Delphi, por exemplo.

A seguir apresenta-se uma descrição dos cenários idealizados, bem com os índices ambientais obtidos pela agregação dos indicadores de estado, para os 12 (doze) anos que compreendem o período de simulação, para cada cenário idealizado. As Tabelas 1, 2 e 3 a seguir, apresentam tabelas com os valores atribuídos aos indicadores de estado, bem como os valores dos índices ambientais locais resultantes da agregação das variáveis com o uso do *software fuzzyTECH*<sup>®</sup>, para os cenários provável, desejável e indesejável, respectivamente.

**Tabela 1: Indicadores e índices ambientais obtidos para o período de 12 anos. Cenário provável – Agregação utilizando o *software fuzzyTECH*<sup>®</sup>**

<b>INDICADORES</b>	<b>ANO 0</b>	<b>ANO 1</b>	<b>ANO 2</b>	<b>ANO 3</b>	<b>ANO 4</b>	<b>ANO 5</b>	<b>ANO 6</b>	<b>ANO 7</b>	<b>ANO 8</b>	<b>ANO 9</b>	<b>ANO 10</b>	<b>ANO 11</b>	<b>ANO 12</b>
<b>agua_mar</b>	0,700	0,500	0,400	0,450	0,500	0,535	0,565	0,585	0,600	0,615	0,625	0,640	0,650
<b>educ_capacit</b>	0,300	0,400	0,410	0,420	0,440	0,460	0,480	0,500	0,520	0,540	0,560	0,580	0,600
<b>emprego</b>	0,500	0,575	0,625	0,500	0,525	0,535	0,550	0,575	0,600	0,625	0,650	0,675	0,700
<b>espa_mar</b>	0,700	0,550	0,500	0,550	0,600	0,625	0,645	0,660	0,670	0,675	0,670	0,660	0,650
<b>fauna</b>	0,600	0,500	0,450	0,500	0,550	0,565	0,570	0,575	0,580	0,585	0,590	0,595	0,600
<b>flora</b>	0,600	0,500	0,450	0,500	0,550	0,600	0,650	0,665	0,675	0,685	0,690	0,695	0,700
<b>habitat</b>	0,700	0,600	0,450	0,475	0,500	0,525	0,535	0,545	0,555	0,565	0,580	0,590	0,600
<b>impostos</b>	0,600	0,615	0,650	0,550	0,600	0,665	0,695	0,725	0,730	0,735	0,740	0,745	0,750
<b>infraestrutura</b>	0,400	0,395	0,375	0,385	0,425	0,500	0,515	0,520	0,525	0,540	0,550	0,560	0,575
<b>oportunidades</b>	0,400	0,425	0,450	0,395	0,410	0,425	0,465	0,515	0,550	0,595	0,635	0,675	0,700
<b>paisagem</b>	0,800	0,475	0,450	0,465	0,485	0,500	0,515	0,530	0,545	0,560	0,575	0,590	0,600
<b>patri_cult</b>	0,500	0,500	0,450	0,485	0,500	0,515	0,530	0,545	0,560	0,570	0,580	0,590	0,600
<b>seguranca</b>	0,600	0,575	0,550	0,575	0,585	0,600	0,625	0,630	0,635	0,640	0,645	0,650	0,650
<b>solo</b>	0,700	0,500	0,425	0,450	0,500	0,575	0,615	0,635	0,650	0,665	0,675	0,685	0,700

**Continua**

**Continuação**

<b>ÍNDICES</b>	<b>ANO 0</b>	<b>ANO 1</b>	<b>ANO 2</b>	<b>ANO 3</b>	<b>ANO 4</b>	<b>ANO 5</b>	<b>ANO 6</b>	<b>ANO 7</b>	<b>ANO 8</b>	<b>ANO 9</b>	<b>ANO 10</b>	<b>ANO 11</b>	<b>ANO 12</b>
<b>índice_biotico</b>	0,5907	0,5147	0,4911	0,4993	0,5060	0,5201	0,5444	0,5552	0,5636	0,5725	0,5787	0,5846	0,5907
<b>índice_cultural</b>	0,5962	0,4847	0,4830	0,4897	0,4952	0,4983	0,5008	0,5034	0,5073	0,5125	0,5198	0,5292	0,5394
<b>índice_economico</b>	0,5000	0,5193	0,5539	0,4865	0,5038	0,5422	0,5727	0,6031	0,6111	0,6219	0,6349	0,6501	0,6634
<b>índice_fisico</b>	0,6176	0,5000	0,4786	0,4940	0,5000	0,5089	0,5251	0,5379	0,5494	0,5622	0,5715	0,5829	0,5964
<b>índice_social</b>	0,5696	0,4939	0,4780	0,4899	0,5161	0,5370	0,5545	0,5643	0,5720	0,5774	0,5769	0,5744	0,5712
<b>sustentabilidade</b>	0,5831	0,4815	0,4648	0,4684	0,4886	0,5065	0,5289	0,5476	0,5600	0,5739	0,5854	0,5984	0,6118

**Fonte: o autor (2014)**

**Tabela 2: Indicadores e índices ambientais obtidos para o período de 12 anos. Cenário desejável – Agregação utilizando o *software fuzzyTECH*<sup>®</sup>**

<b>INDICADORES</b>	<b>ANO 0</b>	<b>ANO 1</b>	<b>ANO 2</b>	<b>ANO 3</b>	<b>ANO 4</b>	<b>ANO 5</b>	<b>ANO 6</b>	<b>ANO 7</b>	<b>ANO 8</b>	<b>ANO 9</b>	<b>ANO 10</b>	<b>ANO 11</b>	<b>ANO 12</b>
<b>agua_mar</b>	0,700	0,500	0,400	0,450	0,500	0,545	0,585	0,625	0,675	0,725	0,775	0,825	0,875
<b>educ_capacit</b>	0,300	0,400	0,450	0,515	0,565	0,615	0,655	0,695	0,735	0,755	0,775	0,790	0,800
<b>emprego</b>	0,500	0,575	0,625	0,500	0,625	0,750	0,785	0,815	0,835	0,845	0,855	0,865	0,875
<b>espa_mar</b>	0,700	0,550	0,500	0,550	0,600	0,675	0,695	0,725	0,745	0,765	0,785	0,800	0,850
<b>fauna</b>	0,600	0,500	0,450	0,500	0,550	0,575	0,590	0,615	0,630	0,645	0,660	0,680	0,700
<b>flora</b>	0,600	0,500	0,450	0,500	0,575	0,625	0,665	0,695	0,715	0,735	0,755	0,775	0,800
<b>habitat</b>	0,700	0,600	0,450	0,485	0,525	0,545	0,585	0,645	0,685	0,725	0,750	0,775	0,800
<b>impostos</b>	0,600	0,615	0,650	0,550	0,600	0,765	0,795	0,825	0,830	0,835	0,840	0,845	0,850
<b>infraestrutura</b>	0,400	0,395	0,375	0,400	0,475	0,550	0,585	0,600	0,650	0,700	0,750	0,800	0,850
<b>oportunidades</b>	0,400	0,425	0,450	0,395	0,485	0,625	0,665	0,715	0,750	0,795	0,835	0,875	0,885
<b>paisagem</b>	0,800	0,675	0,650	0,665	0,675	0,685	0,695	0,700	0,725	0,745	0,785	0,825	0,850
<b>patri_cult</b>	0,500	0,500	0,450	0,485	0,525	0,625	0,665	0,715	0,735	0,775	0,800	0,825	0,850
<b>seguranca</b>	0,600	0,675	0,650	0,685	0,700	0,725	0,735	0,745	0,750	0,765	0,775	0,775	0,775
<b>solo</b>	0,700	0,500	0,425	0,450	0,500	0,575	0,615	0,635	0,650	0,665	0,675	0,685	0,700

**Continua**

**Continuação**

<b>ÍNDICES</b>	<b>ANO 0</b>	<b>ANO 1</b>	<b>ANO 2</b>	<b>ANO 3</b>	<b>ANO 4</b>	<b>ANO 5</b>	<b>ANO 6</b>	<b>ANO 7</b>	<b>ANO 8</b>	<b>ANO 9</b>	<b>ANO 10</b>	<b>ANO 11</b>	<b>ANO 12</b>
<b>índice_biotico</b>	0,5907	0,5147	0,4911	0,4998	0,5110	0,5330	0,5624	0,5998	0,6273	0,6547	0,6744	0,6919	0,7080
<b>índice_cultural</b>	0,5962	0,5415	0,5328	0,5487	0,5599	0,5882	0,6151	0,6468	0,6729	0,6945	0,7116	0,7245	0,7325
<b>índice_economico</b>	0,5000	0,5193	0,5539	0,4865	0,5367	0,6761	0,7007	0,7185	0,7248	0,7295	0,7341	0,7391	0,7409
<b>índice_fisico</b>	0,6176	0,5000	0,4786	0,4940	0,5000	0,5098	0,5290	0,5496	0,5803	0,6192	0,6602	0,6978	0,7261
<b>índice_social</b>	0,5696	0,5416	0,5138	0,5511	0,5834	0,6232	0,6382	0,6558	0,6695	0,6873	0,7024	0,7142	0,7313
<b>sustentabilidade</b>	0,5831	0,5035	0,4880	0,4936	0,5265	0,6016	0,6402	0,6817	0,7169	0,7548	0,7895	0,8333	1,0000

**Fonte: o autor (2014)**

**Tabela 3: Indicadores e índices ambientais obtidos para o período de 12 anos. Cenário indesejável – Agregação utilizando o *software fuzzyTECH*<sup>®</sup>**

<b>INDICADORES</b>	<b>ANO 0</b>	<b>ANO 1</b>	<b>ANO 2</b>	<b>ANO 3</b>	<b>ANO 4</b>	<b>ANO 5</b>	<b>ANO 6</b>	<b>ANO 7</b>	<b>ANO 8</b>	<b>ANO 9</b>	<b>ANO 10</b>	<b>ANO 11</b>	<b>ANO 12</b>
<b>agua_mar</b>	0,700	0,350	0,300	0,310	0,320	0,330	0,340	0,350	0,360	0,370	0,380	0,390	0,400
<b>educ_capacit</b>	0,300	0,250	0,200	0,220	0,210	0,250	0,230	0,270	0,260	0,280	0,270	0,290	0,300
<b>emprego</b>	0,500	0,300	0,200	0,200	0,215	0,230	0,220	0,240	0,235	0,255	0,275	0,290	0,300
<b>espa_mar</b>	0,700	0,300	0,250	0,250	0,300	0,310	0,315	0,330	0,345	0,360	0,375	0,390	0,400
<b>fauna</b>	0,600	0,300	0,250	0,250	0,300	0,310	0,315	0,320	0,325	0,330	0,335	0,340	0,350
<b>flora</b>	0,600	0,300	0,250	0,250	0,300	0,310	0,315	0,330	0,345	0,360	0,375	0,390	0,400
<b>habitat</b>	0,700	0,400	0,300	0,250	0,300	0,350	0,375	0,390	0,410	0,420	0,430	0,440	0,450
<b>impostos</b>	0,600	0,300	0,250	0,250	0,300	0,315	0,330	0,345	0,360	0,370	0,380	0,390	0,400
<b>infraestrutura</b>	0,400	0,300	0,200	0,200	0,215	0,230	0,220	0,240	0,235	0,255	0,275	0,290	0,300
<b>oportunidades</b>	0,400	0,250	0,200	0,220	0,210	0,250	0,230	0,270	0,260	0,280	0,270	0,290	0,300
<b>paisagem</b>	0,800	0,400	0,300	0,250	0,300	0,350	0,375	0,390	0,410	0,420	0,430	0,440	0,450
<b>patri_cult</b>	0,500	0,300	0,200	0,200	0,215	0,220	0,225	0,235	0,245	0,260	0,275	0,290	0,300
<b>seguranca</b>	0,600	0,300	0,250	0,250	0,300	0,315	0,330	0,345	0,360	0,370	0,380	0,390	0,400
<b>solo</b>	0,700	0,300	0,250	0,250	0,300	0,310	0,315	0,320	0,325	0,330	0,335	0,340	0,350

**Continua**

**Continuação**

<b>ÍNDICES</b>	<b>ANO 0</b>	<b>ANO 1</b>	<b>ANO 2</b>	<b>ANO 3</b>	<b>ANO 4</b>	<b>ANO 5</b>	<b>ANO 6</b>	<b>ANO 7</b>	<b>ANO 8</b>	<b>ANO 9</b>	<b>ANO 10</b>	<b>ANO 11</b>	<b>ANO 12</b>
<b>índice_biotico</b>	0,5907	0,3781	0,3225	0,3124	0,3571	0,3792	0,3888	0,4005	0,4123	0,4221	0,4311	0,4395	0,4486
<b>índice_cultural</b>	0,5962	0,3497	0,2920	0,2925	0,2989	0,3157	0,3127	0,3312	0,3338	0,3497	0,3532	0,3709	0,3815
<b>índice_economico</b>	0,5000	0,3365	0,2884	0,2925	0,2989	0,3171	0,3086	0,3306	0,3263	0,3438	0,3502	0,3674	0,3781
<b>índice_fisico</b>	0,6176	0,4035	0,3523	0,3552	0,3920	0,4023	0,4096	0,4166	0,4300	0,4300	0,4362	0,4422	0,4506
<b>índice_social</b>	0,5696	0,3571	0,2975	0,2975	0,3185	0,3306	0,3274	0,3446	0,3452	0,3637	0,3830	0,3985	0,4093
<b>sustentabilidade</b>	0,5831	0,2403	0,1803	0,1797	0,1991	0,2181	0,2177	0,2390	0,2437	0,2644	0,2782	0,2989	0,3150

**Fonte: o autor (2014)**

### **6.3.6 Obtenção dos índices ambientais locais**

Os índices ambientais locais, considerados nesta pesquisa como índice físico, índice biótico, índice social, índice econômico e índice cultural, foram obtidos por meio da agregação do conjunto de indicadores selecionados.

Durante a instalação do empreendimento, no segundo ano após o início das obras, se verifica o pico das atividades no canteiro de obras. Esse momento se caracteriza por imprimir grandes perturbações nos componentes físico, biótico, social, econômico e cultural, perturbações essas captadas pelos indicadores de estado selecionados. Dessa forma é esperada uma queda nos níveis apresentados pelos indicadores, que a depender do cenário tende a se recuperar, refletindo os resultados das ações previstas nos programas ambientais.

Concluída a fase de instalação, o meio econômico experimenta uma fase de declínio, passível de ser superada a depender do cenário estudado. Este declínio é observado em todos os empreendimentos, uma vez que, encerrada a fase de instalação, as empreiteiras, que de certa forma dinamizavam a economia local, se retiram.

#### **6.3.6.1 Obtenção dos índices físicos**

Os índices físicos resultam da agregação dos indicadores “agua\_mar” e “solo”. Estes indicadores revelam informações sobre o estado da água do mar e do solo, respectivamente a partir do diagnóstico ambiental e da avaliação dos possíveis impactos ambientais decorrentes do empreendimento.

A composição dos indicadores que integram o índice físico local considerou os efeitos dos impactos ambientais a seguir relacionados, combinados com os efeitos esperados dos correspondentes programas ambientais. É importante destacar que o indicador “agua\_mar” abrange as águas da Baía de Porto Belo, enquanto que o indicador “solo” abrange apenas a Ilha João da Cunha. O Quadro 14 apresenta os impactos ambientais esperados para o componente físico e os respectivos programas ambientais.

#### Quadro 14: Impactos e Programas ambientais - componente físico

<p><b>Impactos ambientais:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Risco de carreamento de sedimentos para a área marinha;</li> <li>▪ Risco de contaminação das águas subterrâneas por irrigação do esgoto tratado do empreendimento;</li> <li>▪ Risco de poluição das águas pelo esgoto sanitário do canteiro de obras;</li> <li>▪ Risco de possíveis alterações geomorfológicas decorrentes da instalação dos trapiches/ancoradouros;</li> <li>▪ Risco de contaminação por óleo diesel durante a implantação e operação;</li> <li>▪ Impermeabilização do solo com implicações no aumento do escoamento superficial da água;</li> <li>▪ Geração de áreas degradadas pelas obras de engenharia;</li> <li>▪ Demanda por bota-foras, e</li> <li>▪ Geração de resíduos da construção civil.</li> </ul>	<p><b>Programas ambientais:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Drenagem, Controle de Erosão e Sedimentação;</li> <li>▪ Sustentabilidade das Águas;</li> <li>▪ Uso Racional de Materiais e Recursos;</li> <li>▪ Implantação Sustentável do Entorno;</li> <li>▪ Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil;</li> <li>▪ Recuperação de Áreas Degradadas;</li> <li>▪ Gerenciamento de Resíduos Sólidos, e</li> <li>▪ Monitoramento.</li> </ul>
--	---

**Fonte: adaptado de SOCIOAMBIENTAL (2008)**

A Tabela 4, a seguir, ilustra o desempenho dos indicadores na obtenção dos índices físicos, nos três cenários idealizados.

Tabela 4: Comparativo entre índices físicos e respectivos indicadores, nos três cenários estudados.

Ano	INDICADORES						ÍNDICES		
	agua_mar			solo			Físico		
	Provável	Desejável	Indesejável	Provável	Desejável	Indesejável	Provável	Desejável	Indesejável
00	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,6176	0,6176	0,6176
01	0,500	0,500	0,350	0,500	0,500	0,300	0,5000	0,5000	0,4035
02	0,400	0,400	0,300	0,425	0,425	0,250	0,4786	0,4786	0,3523
03	0,450	0,450	0,310	0,450	0,450	0,250	0,4940	0,4940	0,3552
04	0,500	0,500	0,320	0,500	0,500	0,300	0,5000	0,5000	0,3920
05	0,535	0,545	0,330	0,575	0,575	0,310	0,5089	0,5098	0,4023
06	0,565	0,585	0,340	0,615	0,615	0,315	0,5251	0,5290	0,4096
07	0,585	0,625	0,350	0,635	0,635	0,320	0,5379	0,5496	0,4166
08	0,600	0,765	0,360	0,650	0,650	0,325	0,5494	0,5803	0,4300
09	0,615	0,725	0,370	0,665	0,665	0,330	0,5622	0,6192	0,4300
10	0,625	0,775	0,380	0,675	0,675	0,335	0,5715	0,6602	0,4362
11	0,640	0,825	0,390	0,685	0,685	0,340	0,5829	0,6978	0,4422
12	0,650	0,875	0,400	0,700	0,700	0,350	0,5964	0,7261	0,4506

Fonte: o autor (2014)

O desempenho dos indicadores, no cenário provável, revela que a evolução do índice físico no período simulado, tende à estabilização em níveis equivalentes aos apresentados antes do início das obras, após recuperar-se das perturbações determinadas pela fase de instalação. Este é um resultado esperado determinado pela a ação positiva dos programas ambientais.

No cenário desejável observa-se que o indicador “agua\_mar” apresenta uma evolução mais vigorosa, a partir do ano 4. Esse comportamento se deve a melhoria do estado (qualidade) das águas da Baía de Porto Belo, resultado da execução de obras de saneamento. Já o indicador “solo” não apresenta alterações na sua evolução, já que as condições que caracterizam o cenário desejável, não afetam os fatores que determinam o seu comportamento. O resultado da agregação destes indicadores determina o comportamento do índice físico, que apresenta uma evolução em níveis superiores aos observados antes do início das obras.

No cenário indesejável observa-se que tanto o indicador “agua\_mar” quanto o indicador “solo”, apresentam fraco desempenho. A evolução do comportamento destes indicadores, ao longo do período de simulação, revela que no cenário indesejável o índice físico tende a se estabilizar em níveis bastante inferiores aos observados antes do início das obras.

Este resultado decorre da forma de gestão do empreendimento, desde a fase de instalação continuando na fase de operação. Neste cenário considera-se que os programas ambientais recomendados não são implantados. Esta situação determina o agravamento dos impactos ambientais decorrentes do empreendimento, comprometendo componentes do meio físico.

### **6.3.6.2 Obtenção dos índices bióticos**

Os índices bióticos resultam da agregação dos indicadores “fauna”, “flora” e “habitat”. Estes indicadores revelam informações sobre o estado da fauna terrestre e marinha, sobre o estado da vegetação, e sobre o estado do habitat da fauna terrestre respectivamente, a partir do diagnóstico ambiental e da avaliação dos possíveis impactos ambientais decorrentes do empreendimento.

A composição dos indicadores que integram o índice biótico local considerou os efeitos dos impactos ambientais a seguir relacionados, combinados com os efeitos esperados dos correspondentes programas

ambientais. O Quadro 15 apresenta os impactos ambientais esperados para o componente biótico e os respectivos programas ambientais.

**Quadro 15: Impactos e Programas ambientais - componente biótico**

<b>Impactos ambientais:</b>	<b>Programas ambientais:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Distúrbios à fauna;</li> <li>▪ Distúrbios às comunidades aquáticas;</li> <li>▪ Supressão da vegetação, e</li> <li>▪ Redução de habitat da fauna terrestre.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Monitoramento e controle da supressão da vegetação;</li> <li>▪ Programa de Recuperação de Áreas Degradadas;</li> <li>▪ Monitoramento e resgate da fauna, e</li> <li>▪ Implantação da Reserva Ambiental.</li> </ul>

**Fonte: adaptado de SOCIOAMBIENTAL (2008)**

A Tabela 5, a seguir, ilustra o desempenho dos indicadores na obtenção dos índices bióticos, nos três cenários idealizados.

Tabela 5: Comparativo entre índices bióticos e respectivos indicadores, nos três cenários estudados.

Ano	INDICADORES									ÍNDICES		
	fauna			flora			habitat			Biótico		
	Prová vel	Desejá vel	Indesejá vel	Prová vel	Desejá vel	Indesejá vel	Prová vel	Desejá vel	Indesejá vel	Prová vel	Desejá vel	Indesejá vel
00	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,700	0,700	0,700	0,5907	0,5907	0,5907
01	0,500	0,500	0,300	0,500	0,500	0,300	0,600	0,600	0,400	0,5147	0,5147	0,3781
02	0,450	0,450	0,250	0,450	0,450	0,250	0,450	0,450	0,300	0,4911	0,4911	0,3225
03	0,500	0,500	0,250	0,500	0,500	0,250	0,475	0,485	0,250	0,4993	0,4998	0,3124
04	0,550	0,550	0,300	0,550	0,575	0,300	0,500	0,525	0,300	0,5060	0,5110	0,3571
05	0,565	0,575	0,310	0,600	0,625	0,310	0,525	0,545	0,350	0,5201	0,5330	0,3792
06	0,570	0,590	0,315	0,650	0,665	0,315	0,535	0,585	0,375	0,5444	0,5624	0,3888
07	0,575	0,615	0,320	0,665	0,695	0,330	0,545	0,645	0,390	0,5552	0,5998	0,4005
08	0,580	0,630	0,325	0,675	0,715	0,345	0,555	0,685	0,410	0,5636	0,6273	0,4123
09	0,585	0,645	0,330	0,685	0,735	0,360	0,565	0,725	0,420	0,5725	0,6547	0,4221
10	0,590	0,660	0,335	0,690	0,755	0,375	0,580	0,750	0,430	0,5787	0,6744	0,4311
11	0,595	0,680	0,340	0,695	0,775	0,390	0,590	0,775	0,440	0,5846	0,6919	0,4395
12	0,600	0,700	0,350	0,700	0,800	0,400	0,600	0,800	0,450	0,5907	0,7080	0,4486

Fonte: o autor (2014)

O desempenho dos indicadores, no cenário provável, revela que a evolução do índice biótico no período simulado, tende à estabilização em níveis equivalentes aos apresentados antes do início das obras. Este é um resultado esperado já que o projeto demanda pouca supressão de vegetação, com maior concentração em áreas revestidas por vegetação em estágio inicial de regeneração e vegetação exótica, mantendo conservada a maior parte da ilha, ou seja, mantendo habitat para fauna terrestre. Destaca-se ainda a ação benéfica dos programas ambientais.

No cenário desejável observa-se que os três indicadores selecionados, que compõem o índice biótico, começam a apresentar uma evolução um pouco mais vigorosa, a partir do ano 3 e 4. Esse comportamento se deve a melhoria do estado (qualidade) das águas da Baía de Porto Belo, resultado da execução de obras de saneamento, o que reflete em melhores condições para a fauna marinha. Além disso, se deve considerar a alternativa de projeto neste cenário, que resulta em uma ocupação menos agressiva aliada à manutenção de importantes fragmentos de vegetação em estágio avançado de regeneração.

A implantação do plano local de desenvolvimento do turismo sustentável também acaba por influenciar positivamente no processo de recuperação de áreas degradadas na ilha, melhorando, ainda que levemente o desempenho dos indicadores de estado “fauna” (já influenciado positivamente pelo subcomponente fauna marinha) “flora” e “habitat”. O resultado da agregação destes indicadores determina o comportamento do índice biótico local, que apresenta uma evolução tendendo à estabilização em níveis levemente superiores aos observados antes do início das obras.

No cenário indesejável observa-se que os três indicadores apresentam fraco desempenho. A evolução do comportamento destes indicadores, ao longo do período de simulação, revela que no cenário indesejável, o índice biótico tende a se estabilizar em níveis bastante inferiores aos observados antes do início das obras.

Este resultado decorre da forma de gestão do empreendimento, desde a fase de instalação continuando na fase de operação. Neste cenário considera-se que os programas ambientais “Monitoramento e controle da supressão da vegetação”, “Programa de Recuperação de Áreas Degradadas” e “Monitoramento e resgate da fauna” não são implantados, determinando o agravamento dos impactos ambientais decorrentes do empreendimento, comprometendo componentes do meio biótico.

### 6.3.6.3 Obtenção dos índices sociais

Os índices sociais resultam da agregação dos indicadores “espa\_mar”, “infraestrutura” e “segurança”. Estes indicadores revelam informações sobre o estado da infraestrutura existente na ilha e no continente, bem como os serviços públicos prestados, sujeitos à pressão de uso. Revelam também informações sobre o estado da segurança pública, e sobre o espaço marítimo e a possibilidade de ocorrência de conflitos de uso, a partir do diagnóstico ambiental e da avaliação dos possíveis impactos ambientais decorrentes do empreendimento.

A composição dos indicadores que integram o índice social local considerou os efeitos dos impactos ambientais a seguir relacionados, combinados com os efeitos esperados dos correspondentes programas ambientais. Embora os estudos ambientais não tenham identificado impactos afetando a segurança, este é um fator decisivo à garantia de sustentabilidade da atividade turística. O Quadro 16 apresenta os impactos ambientais esperados para o componente social e os respectivos programas ambientais.

#### **Quadro 16: Impactos e Programas ambientais - componente social**

<b>Impactos ambientais:</b>	<b>Programas ambientais:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geração de tráfego lento por transporte de cargas durante a implantação (materiais de construção);</li> <li>▪ Aumento da demanda de abastecimento de água potável;</li> <li>▪ Aumento da geração de esgoto sanitário na ilha;</li> <li>▪ Aumento da demanda do consumo de energia elétrica;</li> <li>▪ Aumento da geração de resíduos sólidos na ilha;</li> <li>▪ Risco de pressão sobre a capacidade de carga da praia;</li> <li>▪ Risco de interferência na funcionalidade da estrutura urbana da cidade, e</li> <li>▪ Risco de conflito de espaço marítimo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sustentabilidade de Energia;</li> <li>▪ Apoio à Elaboração do Plano de Desenvolvimento Local de Turismo Sustentável;</li> <li>▪ Uso das Águas da Baía de Porto Belo;</li> <li>▪ Atendimento às Demandas por Infraestrutura Básica do Atual Empreendimento Existente na Ilha, e</li> <li>▪ Gerenciamento de Transporte (instalação e operação).</li> </ul>

**Fonte: adaptado de SOCIOAMBIENTAL (2008)**

A Tabela 6, a seguir, ilustra o desempenho dos indicadores na obtenção dos índices sociais, nos três cenários idealizados.

O desempenho dos indicadores, no cenário provável, revela que a evolução do índice social no período simulado, tende à estabilização em níveis levemente inferiores aos apresentados antes do início das obras.

Os fatores que influenciam o comportamento dos indicadores que compõem o índice social não se limitam aos impactos ambientais e respectivos programas acima referidos; estes sim sob o controle do empreendedor. Os três indicadores são fortemente influenciados pelo crescimento do turismo na região, e esta atividade tende a sofrer incremento ao longo dos anos.

O comportamento do indicador “espa\_mar”, que diz respeito ao uso do espaço marítimo e conflitos de uso deste espaço, revela uma evolução ligeiramente ascendente, após uma importante retração em razão das perturbações causadas na fase de instalação. Esta evolução apresenta tendência a se estabilizar em níveis levemente inferiores aos observados antes do início das obras. A recuperação, embora tímida, é resultado das ações positivas dos programas ambientais, em especial “Apoio à Elaboração do Plano de Desenvolvimento Local de Turismo Sustentável” e “Uso das Águas da Baía de Porto Belo”.

O indicador “infraestrutura” não se limita à infraestrutura necessária ao funcionamento do resort, este sob o controle do empreendedor, mas inclui aquela que pode influenciá-lo, como saneamento básico e infraestrutura viária e transportes. Estes fatores também são fortemente influenciados pelo crescimento do turismo na região, cujo incremento pode comprometer o desempenho deste indicador.

Tabela 6: Comparativo entre índices sociais e respectivos indicadores, nos três cenários estudados.

Ano	INDICADORES									ÍNDICES		
	espa_mar			infraestrutura			segurança			Sociais		
	Prová vel	Desejá vel	Indesejá vel	Prová vel	Desejá vel	Indesejá vel	Prová vel	Desejá vel	Indesejá vel	Prová vel	Desejá vel	Indesejá vel
00	0,700	0,700	0,700	0,400	0,400	0,400	0,600	0,600	0,600	0,5696	0,5696	0,5696
01	0,550	0,550	0,300	0,395	0,395	0,300	0,575	0,675	0,300	0,4939	0,5416	0,3571
02	0,500	0,500	0,250	0,375	0,375	0,200	0,550	0,650	0,250	0,4780	0,5138	0,2975
03	0,550	0,550	0,250	0,385	0,400	0,200	0,575	0,685	0,250	0,4899	0,5511	0,2975
04	0,600	0,600	0,300	0,425	0,475	0,215	0,585	0,700	0,300	0,5161	0,5834	0,3185
05	0,625	0,675	0,310	0,500	0,550	0,230	0,600	0,725	0,315	0,5370	0,6232	0,3306
06	0,645	0,695	0,315	0,515	0,585	0,220	0,625	0,735	0,330	0,5545	0,6382	0,3274
07	0,660	0,725	0,330	0,520	0,600	0,240	0,630	0,745	0,345	0,5643	0,6558	0,3446
08	0,670	0,745	0,345	0,525	0,650	0,235	0,635	0,750	0,360	0,5720	0,6695	0,3452
09	0,675	0,765	0,360	0,540	0,700	0,255	0,640	0,765	0,370	0,5774	0,6873	0,3637
10	0,670	0,785	0,375	0,550	0,750	0,275	0,645	0,775	0,380	0,5769	0,7024	0,3830
11	0,660	0,800	0,390	0,560	0,800	0,290	0,650	0,775	0,390	0,5744	0,7142	0,3985
12	0,650	0,850	0,400	0,575	0,850	0,300	0,650	0,775	0,400	0,5712	0,7313	0,4093

Fonte: o autor (2014)

No cenário provável o comportamento deste indicador revela uma evolução levemente ascendente, após uma pequena retração em razão das perturbações causadas na fase de instalação, apresentando tendência a se estabilizar em níveis superiores aos observados antes do início das obras. Esta recuperação é resultado das ações positivas dos programas ambientais, acima relacionados.

O indicador “segurança” também não se limita a informar sobre o estado da segurança pública na ilha, mas especialmente no seu entorno e principalmente no município de Porto Belo. O desempenho deste indicador é fortemente influenciado pelo crescimento do turismo na região.

Neste cenário o comportamento do indicador “segurança” revela uma evolução levemente ascendente, após se recuperar de pequena retração verificada na fase de instalação, apresentando uma tendência de se estabilizar em níveis levemente superiores aos observados no início das obras. A recuperação verificada no desempenho deste indicador se deve a ações positivas do programa “Apoio à Elaboração do Plano de Desenvolvimento Local de Turismo Sustentável”. Turismo Sustentável, entre outras coisas demanda investimentos em segurança pública.

No cenário desejável observa-se que os três indicadores selecionados, que compõem o índice social, apresentam uma evolução mais vigorosa. Esse comportamento se deve a execução de obras, ações e programas previstos nos planos de adequação e melhoria das infraestruturas viárias e de transporte, de saneamento básico, e de desenvolvimento do turismo sustentável.

Estas iniciativas acabam por influenciar positivamente a segurança pública e resolvem os gargalos de infraestrutura, determinando o desempenho ascendente dos indicadores. O resultado da agregação destes indicadores determina o comportamento do índice social, que apresenta uma evolução tendendo à estabilização em níveis bastante superiores aos observados antes do início das obras.

No cenário indesejável observa-se que os três indicadores apresentam fraco desempenho. A evolução do comportamento destes indicadores, ao longo do período de simulação, revela que no cenário indesejável, o índice social tende a se estabilizar em níveis bastante inferiores aos observados antes do início das obras.

Este é um resultado esperado, determinado pelo crescimento do turismo como atividade econômica, em um cenário com deficiências em infraestrutura viária e de transporte, com problemas de saneamento básico e com problemas de segurança, causados pela não execução de obras e ações previstas em planos de desenvolvimento locais e

regionais, deficiências estas que se agravam com o crescimento desordenado da atividade.

#### 6.3.6.4 Obtenção dos índices econômicos

Os índices econômicos resultam da agregação dos indicadores “emprego”, “impostos” e “oportunidades”. Estes indicadores revelam informações sobre o estado do emprego e da renda, sobre o estado da arrecadação de taxas e impostos, e sobre o estado das oportunidades de negócios geradas, a partir do diagnóstico ambiental e da avaliação dos possíveis impactos ambientais decorrentes do empreendimento.

A composição dos indicadores que integram o índice econômico local considerou os efeitos dos impactos ambientais a seguir relacionados, combinados com os efeitos esperados dos correspondentes programas ambientais. O Quadro 17 apresenta os impactos ambientais esperados para o componente econômico e os respectivos programas ambientais.

#### Quadro 17: Impactos e Programas ambientais - componente econômico

<b>Impactos ambientais:</b>	<b>Programas ambientais:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geração de empregos;</li> <li>▪ Risco de não inclusão da mão de obra local nas oportunidades de emprego criadas;</li> <li>▪ Fortalecimento da vocação turística do município e redução de sua sazonalidade;</li> <li>▪ Risco de redução do número de visitantes na ilha, com consequente queda de receita do transporte realizado pela comunidade local;</li> <li>▪ Criação e expansão de oportunidades de negócios (dinamização da economia local),</li> <li>▪ Aumento da arrecadação de impostos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Priorização de Mão de obra Local;</li> <li>▪ Adequação do Serviço de Traslado Ilha / Continente;</li> <li>▪ Incentivo à capacitação e ao empreendedorismo local, e</li> <li>▪ Apoio à Elaboração do Plano de Desenvolvimento Local de Turismo Sustentável.</li> </ul>

Fonte: adaptado de SOCIOAMBIENTAL (2008)

A Tabela 7, a seguir, ilustra o desempenho dos indicadores na obtenção dos índices econômicos, nos três cenários idealizados.

O desempenho dos indicadores, no cenário provável, revela que a evolução do índice econômico no período simulado, tende à estabilização em níveis superiores aos apresentados antes do início das obras. Este é um resultado esperado, já que o empreendimento é naturalmente um indutor potencial do desenvolvimento econômico local, por estar voltado ao atendimento da atividade de turismo, em local onde esta é a vocação natural.

Os três indicadores são fortemente influenciados pelo crescimento do turismo na região, atividade que impulsiona a economia local. Esta atividade tende a sofrer incremento ao longo dos anos, sendo esperado, portanto aumento na oferta de empregos, aumento na geração de oportunidades de negócios e como consequência aumento na arrecadação de impostos. Contribui para o bom desempenho dos indicadores de estado que compõem o índice econômico local, as ações positivas dos programas ambientais.

No cenário desejável observa-se que os três indicadores selecionados, que compõem o índice econômico, apresentam uma evolução mais vigorosa. Esse comportamento se deve a execução de obras, ações e programas previstos nos planos de adequação e melhoria das infraestruturas viárias e de transporte, de saneamento básico, e de desenvolvimento do turismo sustentável.

Estas iniciativas, além de promover melhorias na segurança pública e resolver os gargalos de infraestrutura, determinam o desempenho ascendente dos indicadores econômicos, afetando positivamente a oferta de empregos, as oportunidades de negócios e elevando com isso a arrecadação de impostos.

Tabela 7: Comparativo entre índices econômicos e respectivos indicadores, nos três cenários estudados.

Ano	INDICADORES									ÍNDICES		
	emprego			impostos			oportunidades			Econômicos		
	Provável	Desejável	Indesejável	Provável	Desejável	Indesejável	Provável	Desejável	Indesejável	Provável	Desejável	Indesejável
00	0,500	0,500	0,500	0,600	0,600	0,600	0,400	0,400	0,400	0,5000	0,5000	0,5000
01	0,575	0,575	0,300	0,615	0,615	0,300	0,425	0,425	0,250	0,5193	0,5193	0,3365
02	0,625	0,625	0,200	0,650	0,650	0,250	0,450	0,450	0,200	0,5539	0,5539	0,2884
03	0,500	0,500	0,200	0,550	0,550	0,250	0,395	0,395	0,220	0,4865	0,4865	0,2925
04	0,525	0,625	0,215	0,600	0,600	0,300	0,410	0,485	0,210	0,5038	0,5367	0,2989
05	0,535	0,750	0,230	0,665	0,765	0,315	0,425	0,625	0,250	0,5422	0,6761	0,3171
06	0,550	0,785	0,220	0,695	0,795	0,330	0,465	0,665	0,230	0,5727	0,7007	0,3086
07	0,575	0,815	0,240	0,725	0,825	0,345	0,515	0,715	0,270	0,6031	0,7185	0,3306
08	0,600	0,835	0,235	0,730	0,830	0,360	0,550	0,750	0,260	0,6111	0,7248	0,3263
09	0,625	0,845	0,255	0,735	0,835	0,370	0,595	0,795	0,280	0,6219	0,7295	0,3438
10	0,650	0,855	0,275	0,740	0,840	0,380	0,635	0,835	0,270	0,6349	0,7341	0,3502
11	0,675	0,865	0,290	0,745	0,845	0,390	0,675	0,875	0,290	0,6501	0,7391	0,3674
12	0,700	0,875	0,300	0,750	0,850	0,400	0,700	0,885	0,300	0,6634	0,7409	0,3781

Fonte: o autor (2014)

O resultado da agregação destes indicadores determina o comportamento do índice econômico, que apresenta uma evolução tendendo à estabilização em níveis bastante superiores aos observados antes do início das obras.

No cenário indesejável observa-se que os três indicadores apresentam fraco desempenho. A evolução do comportamento destes indicadores, ao longo do período de simulação, revela que no cenário indesejável, o índice econômico tende a se estabilizar em níveis bastante inferiores aos observados antes do início das obras.

Este é um resultado decorrente da forma de gestão do empreendimento. Neste cenário considera-se que não foi utilizada a mão de obra local, por ter baixa qualificação. Considera-se também que os programas ambientais recomendados, em especial “Incentivo à capacitação e ao empreendedorismo local”, não foram implantados. A consequência é a não criação de empregos e o não aproveitamento de oportunidades de negócios pelos empreendedores locais, implicando na redução da arrecadação de impostos.

### **6.3.6.5 Obtenção dos índices culturais**

Os índices culturais resultam da agregação dos indicadores “educ\_capacit”, “paisagem” e “patri\_cult”. Estes indicadores revelam informações sobre o estado da educação e da capacitação da mão de obra local e dos empreendedores, frente às oportunidades de negócios criadas. Revelam ainda informações sobre o estado da paisagem da ilha e das respectivas possibilidades de alteração e também sobre o estado do patrimônio cultural, tangível e intangível, a partir do diagnóstico ambiental e da avaliação dos possíveis impactos ambientais decorrentes do empreendimento.

A composição dos indicadores que integram o índice cultural local considerou os efeitos dos impactos ambientais a seguir relacionados, combinados com os efeitos esperados dos correspondentes programas ambientais.

Embora os estudos ambientais não tenham identificado impactos afetando a educação e a necessidade de capacitação, este é um fator decisivo à garantia de sustentabilidade da atividade turística, tanto que foram propostos programas ambientais com estes conteúdos. O Quadro 18 apresenta os impactos ambientais esperados para o componente cultural e os respectivos programas ambientais.

**Quadro 18: Impactos e Programas ambientais - componente cultural**

<p><b>Impactos ambientais:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Risco de interferência no patrimônio arqueológico, e</li> <li>▪ Alteração da paisagem.</li> </ul>	<p><b>Programas ambientais:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Proteção do Patrimônio Arqueológico;</li> <li>▪ Monitoramento e Manutenção da Qualidade da Paisagem;</li> <li>▪ Apoio à Elaboração do Plano de Desenvolvimento Local de Turismo Sustentável;</li> <li>▪ Implantação da Escola Belo Porto, e</li> <li>▪ Incentivo à capacitação e ao empreendedorismo local.</li> </ul>
---	---

**Fonte: adaptado de SOCIOAMBIENTAL (2008)**

A Tabela 8, a seguir, ilustra o desempenho dos indicadores na obtenção dos índices culturais, nos três cenários idealizados.

O desempenho dos indicadores, no cenário provável, revela que a evolução do índice cultural no período simulado, tende à estabilização em níveis inferiores aos apresentados antes do início das obras.

Os fatores que influenciam o comportamento dos indicadores, que compõem o índice cultural local, não se limitam aos impactos ambientais e respectivos programas acima referidos. Além destes influenciam na sustentabilidade as condições de educação da comunidade e a capacitação das forças de trabalho e dos empreendedores locais, para promoção de melhorias contínuas na qualidade de vida da comunidade.

Neste cenário, o comportamento do indicador “educ\_capacit”, que diz respeito às condições de educação da comunidade e da capacitação de trabalhadores e empreendedores locais, revela uma evolução ascendente, apresentando tendência a se estabilizar em níveis superiores aos observados antes do início das obras. Esta trajetória é resultado das ações positivas dos programas ambientais, em especial “Implantação da Escola Belo Porto”, e “Incentivo à capacitação e ao empreendedorismo local”.

Tabela 8: Comparativo entre índices econômicos e respectivos indicadores, nos três cenários estudados.

Ano	INDICADORES									ÍNDICES		
	educ_capacit			paisagem			patri_cult			Culturais		
	Prová vel	Desejá vel	Indesejá vel	Prová vel	Desejá vel	Indesejá vel	Prová vel	Desejá vel	Indesejá vel	Prová vel	Desejá vel	Indesejá vel
00	0,300	0,300	0,300	0,800	0,800	0,800	0,500	0,500	0,500	0,5962	0,5962	0,5962
01	0,400	0,400	0,250	0,475	0,675	0,400	0,500	0,500	0,300	0,4847	0,5415	0,3497
02	0,410	0,450	0,200	0,450	0,650	0,300	0,450	0,450	0,200	0,4830	0,5328	0,2920
03	0,420	0,515	0,220	0,465	0,665	0,250	0,485	0,485	0,200	0,4897	0,5487	0,2925
04	0,440	0,565	0,210	0,485	0,675	0,300	0,500	0,525	0,215	0,4952	0,5599	0,2989
05	0,460	0,615	0,250	0,500	0,685	0,350	0,515	0,625	0,220	0,4983	0,5882	0,3157
06	0,480	0,655	0,230	0,515	0,695	0,375	0,530	0,665	0,225	0,5008	0,6151	0,3127
07	0,500	0,695	0,270	0,530	0,700	0,390	0,545	0,715	0,235	0,5034	0,6468	0,3312
08	0,520	0,735	0,260	0,545	0,710	0,410	0,560	0,735	0,245	0,5073	0,6729	0,3338
09	0,540	0,755	0,280	0,560	0,720	0,420	0,570	0,775	0,260	0,5125	0,6945	0,3497
10	0,560	0,775	0,270	0,575	0,730	0,430	0,580	0,800	0,275	0,5198	0,7116	0,3532
11	0,580	0,790	0,290	0,590	0,740	0,440	0,590	0,825	0,290	0,5292	0,7245	0,3709
12	0,600	0,800	0,300	0,600	0,750	0,450	0,600	0,850	0,300	0,5394	0,7325	0,3815

Fonte: o autor (2014)

No cenário provável o comportamento do indicador “paisagem” revela que após uma importante retração em razão das perturbações causadas na fase de instalação, a sua evolução apresenta tendência a se estabilizar em níveis um pouco inferiores aos observados antes do início das obras.

Este comportamento é esperado, já que o empreendimento se instala em uma ilha cuja paisagem natural encontra-se bastante conservada e as edificações que constituem a infraestrutura do resort, por mais integrada à paisagem, representam alterações, ainda que estas sejam minimizadas pelo efeito positivo do programa ambiental “Monitoramento e Manutenção da Qualidade da Paisagem”.

O indicador “patri\_cult” diz respeito às condições do patrimônio cultural, tangível e intangível. O tangível é representado pelo patrimônio arqueológico da ilha, e o intangível é representado pela cultura e tradições locais. Este indicador é fortemente influenciado pelo crescimento do turismo na região, que ocorrendo sem planejamento, pode resultar em perda de identidade cultural da comunidade, deteriorando a cultura e as tradições locais, além de danos materiais às relíquias arqueológicas.

Neste cenário o comportamento do indicador revela uma evolução levemente ascendente, após se recuperar de pequena retração verificada na fase de instalação, apresentando uma tendência de se estabilizar em níveis pouco superiores aos observados no início das obras. A recuperação verificada no desempenho deste indicador se deve a ações positivas dos programas “Apoio à Elaboração do Plano de Desenvolvimento Local de Turismo Sustentável”, “Proteção do Patrimônio Arqueológico” e “Implantação da Escola Belo Porto”.

No cenário desejável observa-se que o comportamento dos indicadores “educ\_capacit” e “patri\_cult”, apresenta uma forte evolução ascendente, tendendo a estabilização em níveis bastante superiores aos observados antes do início das obras. Esse comportamento é fortemente influenciado pelos resultados obtidos com a execução de obras, ações e programas previstos nos planos de adequação e melhoria das infraestruturas viária e de transporte, de saneamento básico, e de desenvolvimento do turismo sustentável, planos estes que dinamizam os componentes sociais e econômicos, captados pelos respectivos índices.

Neste cenário, o comportamento do indicador “paisagem” revela uma evolução levemente ascendente, após se recuperar de pequena retração verificada na fase de instalação, apresentando uma tendência de se estabilizar em níveis pouco inferiores aos observados no início das obras.

Trata-se de um resultado esperado e coerente, considerando-se que mesmo com as condições deste cenário influenciando favoravelmente o comportamento dos indicadores, e ainda que o programa ambiental “Monitoramento e Manutenção da Qualidade da Paisagem” seja executado com total zelo, ainda assim as condições originais da paisagem natural são modificadas pelo empreendimento.

O resultado da agregação destes indicadores determina o comportamento do índice cultural local, que apresenta uma evolução tendendo à estabilização em níveis pouco superiores aos observados antes do início das obras.

No cenário indesejável observa-se que os três indicadores apresentam fraco desempenho. A evolução do comportamento destes indicadores, ao longo do período de simulação, revela que no cenário indesejável, o índice cultural local tende a se estabilizar em níveis bastante inferiores aos observados antes do início das obras.

Este é um resultado esperado, determinado pela forma de gestão do empreendimento, desde a instalação e continuando na operação. Neste cenário indesejável, considera-se que os programas ambientais recomendados não são implantados, o que determina o fraco desempenho dos indicadores de estado que integram o índice cultural local.

#### **6.4 Modelagem dinâmica da sustentabilidade**

O modelo estruturado no *fuzzyTECH*<sup>®</sup> simula possíveis cenários para o empreendimento Eco Resort Ilha de Porto Belo, e representa a agregação entre os indicadores de estado, que são variáveis de entrada, na composição dos índices físico, biótico, social, econômico e cultural, que são variáveis de saída. Estes índices alimentam o modelo criado em *STELLA*<sup>®</sup>, que simula dinamicamente a sustentabilidade do sistema, para os mesmos cenários.

Após a obtenção dos índices ambientais locais, referentes aos componentes físico, biótico, social, econômico e cultural, do empreendimento Eco Resort Ilha de Porto Belo, estes são transferidos para o modelo criado com o *software* *STELLA*<sup>®</sup>, para simulação das interações entre os respectivos componentes ambientais, na composição da sustentabilidade futura do empreendimento.

Musse (2010), em sua pesquisa de doutorado intitulada “*BACKCASTING E DINÂMICA DE SISTEMAS COMO INSTRUMENTOS PARA CRIAR CONHECIMENTO EM SISTEMAS COMPLEXOS, VISANDO À TOMADA DE DECISÃO*”, demonstrou

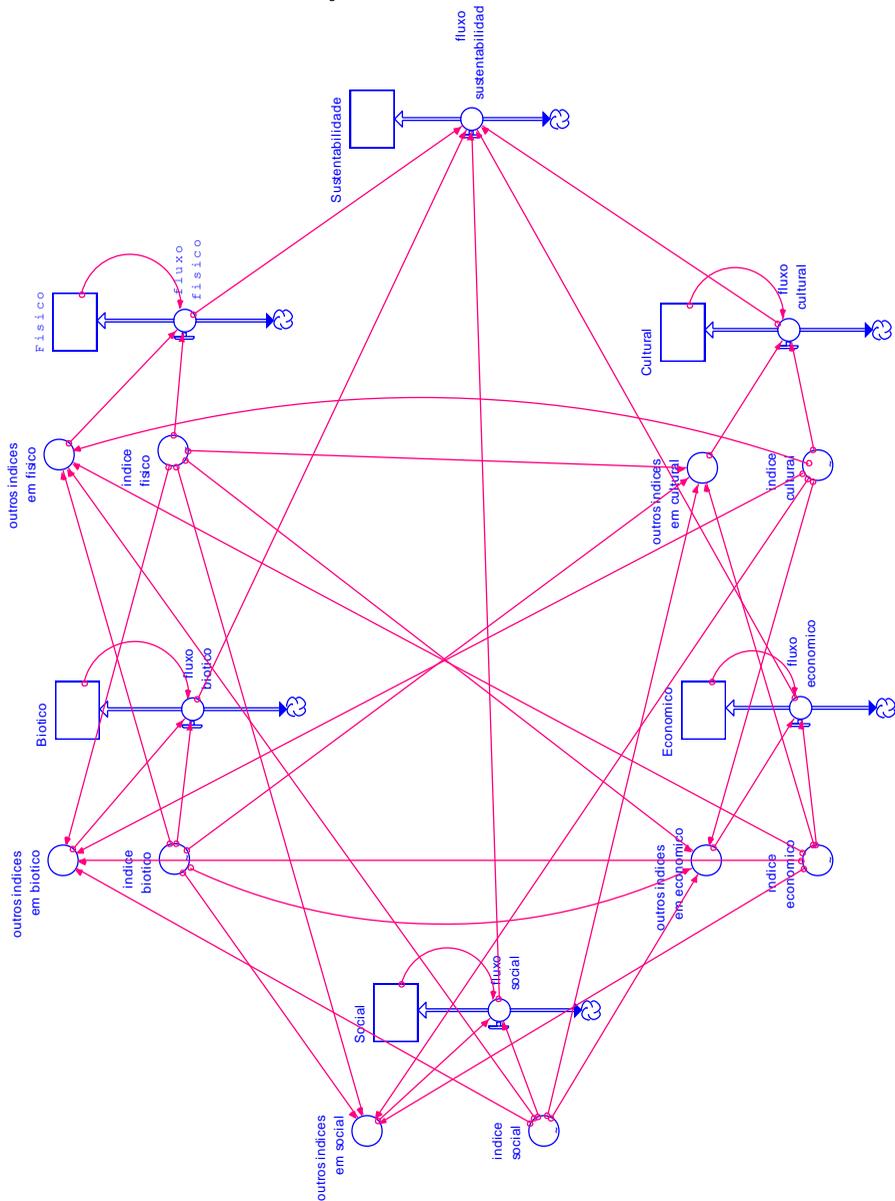
que as simulações efetuadas do presente para o futuro e do futuro para o presente não apresentaram diferenças significativas, sendo totalmente desnecessária a realização dos dois tipos de simulação. Assim, as simulações realizadas nesta pesquisa foram feitas apenas partindo-se do presente em direção ao futuro, ou seja, seguindo a abordagem de “*forecasting*”, que é compatível com a configuração nativa do *software* STELLA<sup>®</sup>. Importante destacar, contudo que a construção dos cenários normativos seguiu a orientação “*backcasting*”.

#### **6.4.1 Construção do diagrama de interação dinâmica com STELLA<sup>®</sup>**

O diagrama de interação dinâmica do sistema, gerado no ambiente do STELLA<sup>®</sup>, é representado por reservatórios, fluxos, conversores e conectores. Os reservatórios são caixas de acumulação ou estoques, que no caso acumulam o estado ou qualidade dos componentes ambientais. Os fluxos são registros que regulam a entrada e saída de dados dos reservatórios, de acordo com critérios pré-estabelecidos, no caso os fluxos são bidirecionais. Os conversores são estruturas que contem as informações capazes de alterar os estoques acumulados, no caso estas informações são os valores dos índices obtidos para os componentes ambientais locais, derivados da implantação do empreendimento Eco Resort Ilha de Porto Belo. Os conectores fazem as interligações entre os elementos do sistema, determinando o modo de interação.

A Figura 4 mostra o diagrama gerado com auxílio do *software* STELLA<sup>®</sup>, que representa a dinâmica das interações entre as dimensões dos meios físico, biótico, social, econômico, social e cultural, e como resultado a sustentabilidade do empreendimento.

**Figura 4: Diagrama de interação dinâmica dos componentes dos sistemas socioambientais. Gerado com o software STELLA®.**



**Fonte: o autor (2014).**

### 6.4.2 Definição dos critérios de simulação

Nos critérios definidos para a modelagem do sistema socioambiental em estudo considerou-se que o período de simulação é de 12 (doze) anos, desde o início da instalação. Considerou-se ainda que o estado de cada componente ambiental é fortemente influenciado pelo correspondente índice ambiental, e que cada componente ambiental sofre alguma influência dos outros índices ambientais, porém em menor grau. Por exemplo, o componente físico é fortemente influenciado pelo índice físico e influenciado em menor grau pelos índices biótico, social, econômico e cultural.

Assim considerou-se que o estoque de estado ou qualidade de cada componente ambiental – Físico, Biótico, Social, Econômico e Cultural – depende da interação de dois fatores, a saber:

- (i) De seus respectivos índices, com peso 0,9 e
- (ii) Das variáveis “outros índices”, com peso 0,1.

A atribuição desses pesos pode variar de acordo com critérios estabelecidos pelos *stakeholders* e especialistas, em razão de interpretações de como se dão as relações entre os componentes ambientais.

Considerou-se também que a interação entre os estoques dos componentes Físico, Biótico, Social, Econômico e Cultural não se dá linearmente, ocorrendo um processo de retroalimentação negativa, que age no equilíbrio dos próprios estoques. Este processo atua no controlador de fluxo de dados que alimentam os estoques, de forma a contabilizar os dados em fluxo. Por exemplo, o estoque do componente “Físico” é dado pela expressão (3):

$$\mathbf{Físico} = (\mathbf{índice físico} \times \mathbf{0.9} + \mathbf{outros índices em físico} \times \mathbf{0.1}) - \mathbf{Físico} \quad \dots(3)$$

Considerou-se também que, na composição das variáveis “outros índices em...”, cada índice é computado com igual peso. Assim, ainda para o componente “Físico”, essa variável é definida pelo somatório do produto dos demais índices pelo peso 0.25, onde “outros índices em físico” é dado pela expressão (4):

$$\mathbf{outros índices em físico} = \mathbf{índice biótico} \times \mathbf{0.25} + \mathbf{índice social} \times \mathbf{0.25} + \mathbf{índice econômico} \times \mathbf{0.25} + \mathbf{índice cultural} \times \mathbf{0.25} \quad \dots(4)$$

A atribuição desses pesos pode variar de acordo com critérios estabelecidos pelos *stakeholders* e especialistas, em razão da importância atribuída aos componentes ambientais.

As interpretações de como se dão as relações entre os componentes ambientais e qual a importância a eles atribuída, se baseiam em conhecimento formal técnico científico dos especialistas e

suas experiências acumuladas, como também conhecimento informal, adquirido e construído pelos locais, em anos de observações empíricas. Essa troca de experiências é importante na formação de convicções sobre o comportamento dos componentes ambientais.

A composição do estoque de sustentabilidade se dá pela média aritmética do somatório dos reguladores de fluxo de estoque de cada componente Físico, Biótico, Social, Econômico e Cultural, conforme a expressão (5):

$$\text{Sustentabilidade} = (\text{fluxo\_fisico} + \text{fluxo\_biotico} + \text{fluxo\_social} + \text{fluxo\_economico} + \text{fluxo\_cultural}) / 5 \quad \dots(5)$$

Os estoques iniciais (**INIT**) de estado ou qualidade dos componentes Físico, Biótico, Social, Econômico e Cultural e também de Sustentabilidade, correspondem aos valores iniciais de cada índice no ano “0” (zero), ou seja, a situação pré-existente ao início das obras, obtidos pela agregação dos indicadores e índices, utilizando o *fuzzyTECH*<sup>®</sup>.

Assim, as expressões matemáticas que regem a forma como os índices ambientais são operados pelos reguladores de fluxo, que controlam os níveis dos estoques dos reservatórios, são apresentadas no Quadro 19:

**Quadro 19: Expressões matemáticas que regulam o processo de simulação**

Componente ambiental	Expressões matemáticas
<b>Físico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Físico(t) = Físico(t - dt) + (fluxo_fisico) × dt</li> <li>▪ INIT Físico = 0.6176</li> <li>▪ fluxo_fisico = ((indice_fisico × 0.9 + outros_indices_em_fisico × 0.1) - Físico)</li> <li>▪ outros_indices_em_fisico = (indice_biotico × 0.25) + (indice_social × 0.25) + (indice_economico × 0.25) + (indice_cultural × 0.25)</li> </ul>
<b>Biótico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Biótico(t) = Biótico(t - dt) + (fluxo_biotico) × dt</li> <li>▪ INIT Biótico = 0.5907</li> <li>▪ fluxo_biotico = ((indice_biotico × 0.9 + outros_indices_em_biotico × 0.1) - Biótico)</li> <li>▪ outros_indices_em_biotico = (indice_fisico × 0.25) + (indice_social × 0.25) + (indice_economico × 0.25) + (indice_cultural × 0.25)</li> </ul>

Continua

Continuação

<b>Social</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>Social(t) = Social(t - dt) + (fluxo\_social) \times dt</math></li> <li>▪ <math>INIT\ Social = 0.5907</math></li> <li>▪ <math>fluxo\_social = ((indice\_social \times 0.9 + outros\_indices\_em\_social \times 0.1) - Social)</math></li> <li>▪ <math>outros\_indices\_em\_social = (indice\_economico \times 0.25) + (indice\_cultural \times 0.25) + (indice\_fisico \times 0.25) + (indice\_biotico \times 0.25)</math></li> </ul>
<b>Econômico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>Econômico(t) = Econômico(t - dt) + (fluxo\_economico) \times dt</math></li> <li>▪ <math>INIT\ Econômico = 0.5000</math></li> <li>▪ <math>fluxo\_economico = ((indice\_economico \times 0.9 + outros\_indices\_em\_economico \times 0.1) - Econômico)</math></li> <li>▪ <math>outros\_indices\_em\_economico = (indice\_social \times 0.25) + (indice\_cultural \times 0.25) + (indice\_fisico \times 0.25) + (indice\_biotico \times 0.25)</math></li> </ul>
<b>Cultural</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>Cultural(t) = Cultural(t - dt) + (fluxo\_cultural) \times dt</math></li> <li>▪ <math>INIT\ Cultural = 0.5962</math></li> <li>▪ <math>fluxo\_cultural = ((indice\_cultural \times 0.9 + outros\_indices\_em\_cultural \times 0.1) - Cultural)</math></li> <li>▪ <math>outros\_indices\_em\_cultural = (indice\_social \times 0.25) + (indice\_economico \times 0.25) + (indice\_fisico \times 0.25) + (indice\_biotico \times 0.25)</math></li> </ul>
<b>Sustentabilidade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>Sustentabilidade(t) = Sustentabilidade(t - dt) + (fluxo\_sustentabilidade) \times dt</math></li> <li>▪ <math>INIT\ Sustentabilidade = 0.5831</math></li> <li>▪ <math>fluxo\_sustentabilidade = (fluxo\_fisico + fluxo\_biotico + fluxo\_social + fluxo\_economico + fluxo\_cultural) \div 5</math></li> </ul>

**Fonte: o autor (2014)**

Os critérios de simulação acima estabelecidos são os mesmos para os três cenários idealizados. Qualquer resultado, efeito de resiliência não quantificado, embora presente, não é computado.

### 6.4.3 Resultados da simulação dinâmica do modelo

Definidos os critérios para a modelagem do sistema socioambiental em estudo, a simulação utilizando o *software* STELLA®

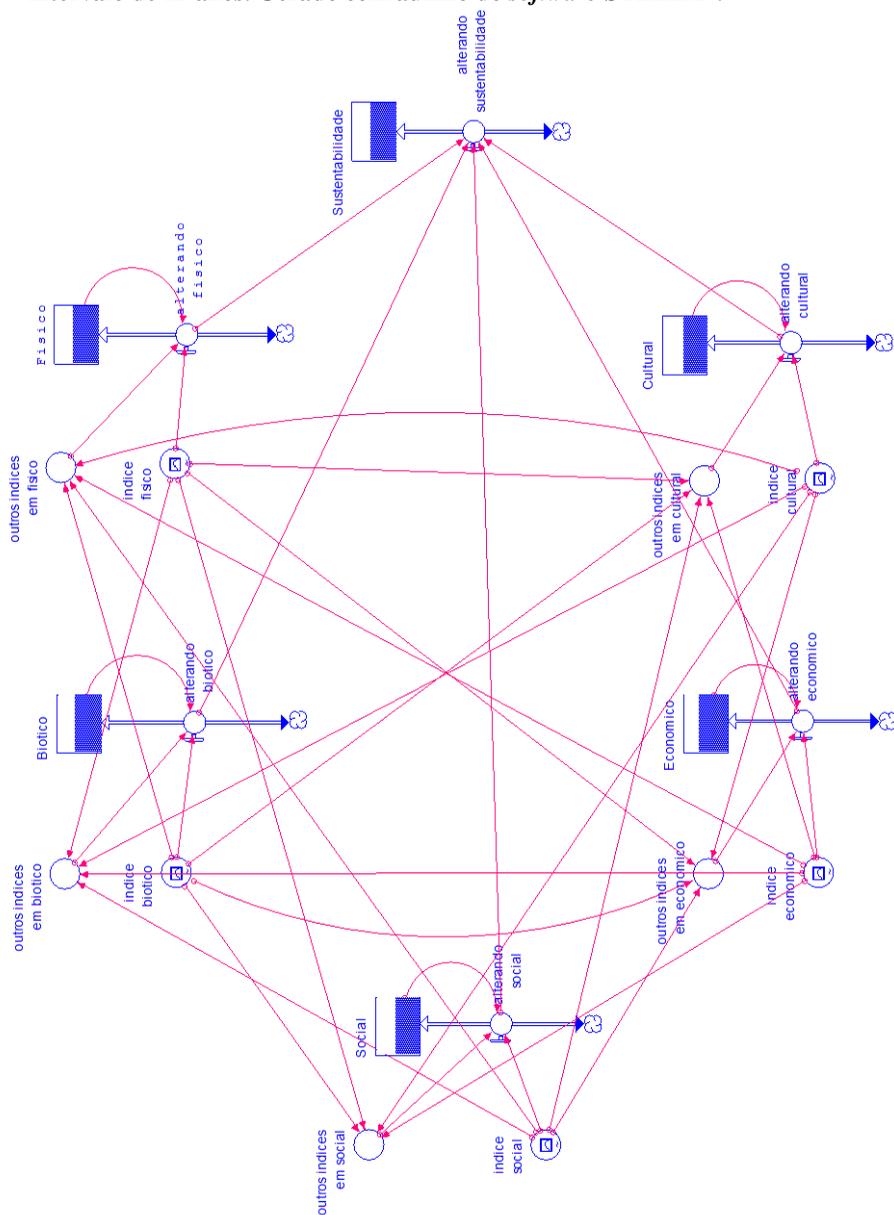
permite a obtenção das possíveis respostas que o sistema oferece, acerca do comportamento futuro de cada componente ambiental analisado, bem como da sustentabilidade resultante. Estas respostas são representadas por gráficos e tabelas, que facilitam a interpretação do modelo.

#### **6.4.3.1 Simulação do Cenário Provável**

No cenário provável, já descrito, as simulações que representam o comportamento dinâmico das interações entre os componentes físico, biótico, social, econômico e cultural, que determinam o comportamento dinâmico da sustentabilidade do empreendimento, ao longo de 12 anos, podem ser mais bem compreendidas quando analisadas por meio dos gráficos e tabelas geradas.

O modelo apresentado na Figura 5 representa as interações entre as dimensões dos meios físico, biótico, social, econômico, social e cultural, e como resultado a sustentabilidade do empreendimento, ao longo do período simulado. Os estoques de qualidade são formados pela interação de todos os índices, como pode ser percebido pela análise dos diagramas que representam o sistema. Neste modelo é possível observar os estoques de qualidade dos componentes ambientais e da sustentabilidade, ao final do 12º (décimo segundo) ano de simulação.

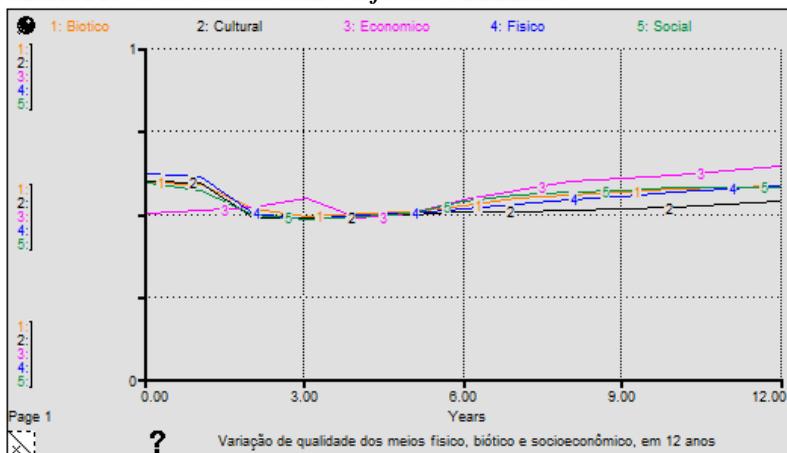
**Figura 5: Diagrama representando a dinâmica do cenário provável, em um intervalo de 12 anos. Gerado com auxílio do software STELLA®.**



**Fonte: o autor (2014).**

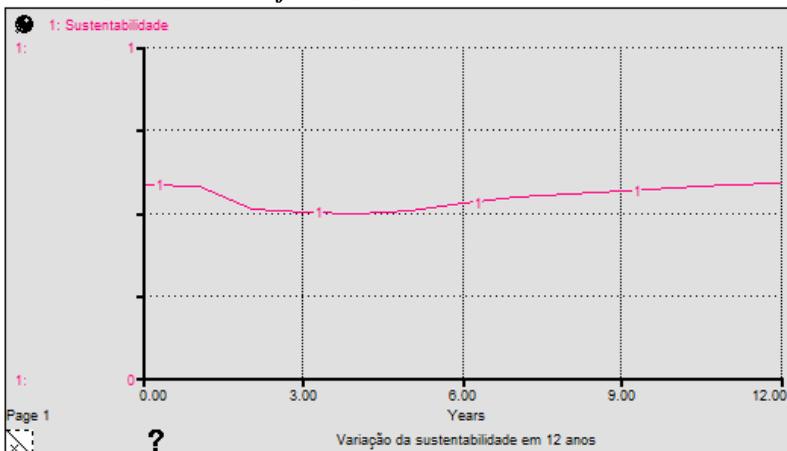
A variação dos estoques de estado ou qualidade dos componentes ambientais e da sustentabilidade do empreendimento, ao longo dos 12 (doze) anos, pode ser mais bem compreendida observando-se os gráficos das Figuras 6 e 7.

**Figura 6: Variação do estado dos componentes ambientais (estoques) Cenário Provável. Gerado com o software STELLA®.**



Fonte: o autor (2014).

**Figura 7: Variação do estado da sustentabilidade (estoques) Cenário Provável. Gerado com o software STELLA®.**



Fonte: o autor (2014).

O gráfico da Figura 6 mostra as curvas dos estoques de estado dos componentes físicos, bióticos, sociais, econômicos e culturais, formados pela interação entre os respectivos índices locais, conforme regra já descrita. O gráfico da Figura 7 mostra a curva dos estoques de sustentabilidade, formada pela interação de todos os componentes ambientais considerados.

Observa-se que, neste cenário, as curvas partem dos estoques iniciais, representados pelo estado pré-existente dos componentes ambientais, sofrem um declínio em razão das perturbações causadas na fase de instalação e iniciam um processo de recuperação, determinado pela ação dos programas ambientais, tendendo a estabilização em níveis próximos aos iniciais, com alguma variação para mais e para menos, no décimo segundo ano da simulação.

O comportamento da curva de sustentabilidade indica que, neste cenário, as perturbações provocadas no ambiente e que modificam os sistemas socioambientais, são controladas, alcançando níveis satisfatórios de sustentabilidade.

Os valores dos estoques de estado ou qualidade dos componentes ambientais e sustentabilidade, assumidos ao longo das curvas geradas pelos gráficos das Figuras 6 e 7 são apresentados na Tabela 9.

**Tabela 9: Estoques anuais acumulados – Cenário Provável. Gerado com auxílio do *software* STELLA®**

Table 1 (Estoques acumulados por ano)						
Years	Biotico	Cultural	Economico	Fisico	Social	Sustentabilidade
0	0.590700	0.596200	0.500000	0.617600	0.590700	0.583100
1	0.588715	0.593527	0.509352	0.612252	0.570252	0.578880
2	0.513178	0.486928	0.517203	0.500315	0.494978	0.506580
3	0.491827	0.484740	0.546777	0.480890	0.480365	0.500980
4	0.498373	0.489973	0.487173	0.493735	0.490148	0.495940
5	0.505165	0.494578	0.498865	0.497290	0.500703	0.503380
6	0.520250	0.501175	0.539588	0.510450	0.535038	0.525360
7	0.543787	0.505637	0.568550	0.526900	0.552625	0.543560
8	0.554898	0.509572	0.596810	0.539760	0.562860	0.556840
9	0.563235	0.513972	0.604797	0.550810	0.570585	0.564740
10	0.572100	0.519600	0.615325	0.563088	0.576388	0.573360
11	0.578407	0.526870	0.627583	0.572107	0.576832	0.580420
Final	0.584555	0.536080	0.641868	0.583068	0.575630	0.588300

Fonte: o autor (2014)

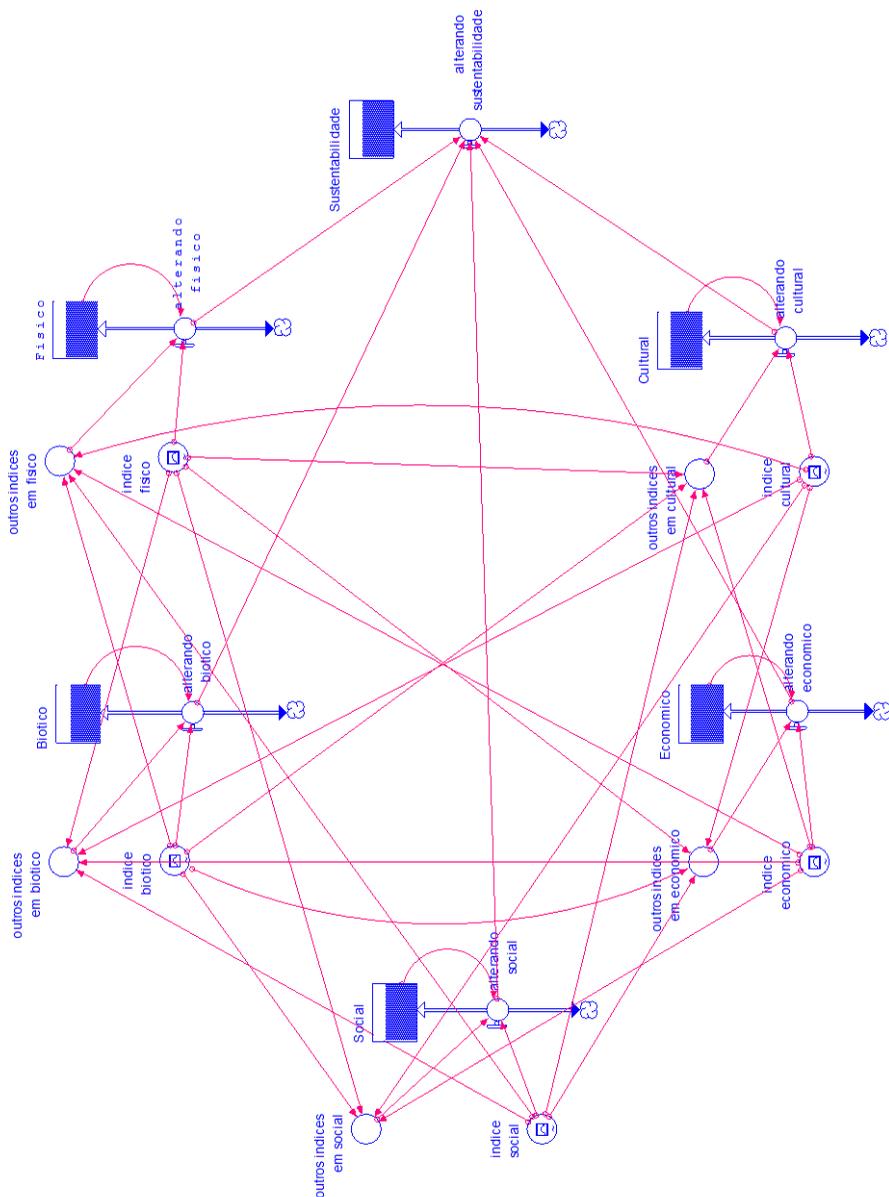
A análise dos gráficos e quadros que traduzem o comportamento do sistema socioambiental representado no modelo do cenário provável revela que a evolução dinâmica do sistema tende a estabilização assumindo valores que traduzem o alcance da sustentabilidade pelo empreendimento, caso ocorra a plena execução dos programas ambientais recomendados pelos estudos ambientais.

#### **6.4.3.2 Simulação do Cenário Desejável**

As simulações que representam o comportamento dinâmico das interações entre os componentes físico, biótico, social, econômico e cultural, que determinam o comportamento dinâmico da sustentabilidade do empreendimento, referentes ao cenário desejável, ao longo de 12 anos, podem ser mais bem compreendidas quando analisadas por meio dos gráficos e tabelas geradas.

O modelo apresentado na Figura 8 representa as interações entre as dimensões dos meios físico, biótico, social, econômico, social e cultural, e como resultado a sustentabilidade do empreendimento, referentes ao cenário desejável, ao longo do período simulado. Os estoques de qualidade são formados pela interação de todos os índices, como pode ser percebido pela análise dos diagramas que representam o sistema. Neste modelo é possível observar os estoques de qualidade dos componentes ambientais e da sustentabilidade, ao final do 12º (décimo segundo) ano de simulação.

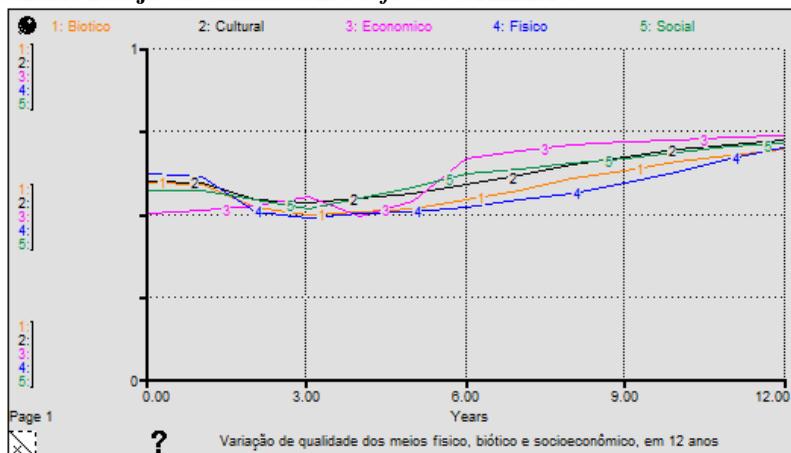
**Figura 8: Diagrama representando a dinâmica do cenário desejável, em um intervalo de 12 anos. Gerado com auxílio do software STELLA®.**



**Fonte: o autor (2014).**

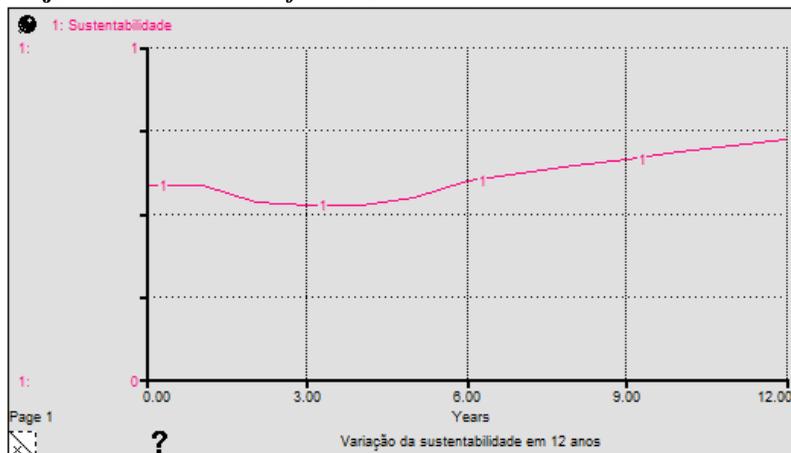
A variação dos estoques de estado ou qualidade dos componentes ambientais e da sustentabilidade do empreendimento, ao longo dos 12 (doze) anos, pode ser mais bem compreendida observando-se os gráficos das Figuras 9 e 10.

**Figura 9: Variação do estado dos componentes ambientais (estoques) Cenário Desejável. Gerado com o *software* STELLA®.**



Fonte: o autor (2014).

**Figura 10: Variação do estado da sustentabilidade (estoques) Cenário Desejável. Gerado com o *software* STELLA®.**



Fonte: o autor (2014).

O gráfico da Figura 9 mostra as curvas dos estoques de estado dos componentes físicos, bióticos, sociais, econômicos e culturais, formados pela interação entre os respectivos índices locais, conforme regra já descrita. O gráfico da Figura 10 mostra a curva dos estoques de sustentabilidade, formada pela interação de todos os componentes ambientais considerados.

Observa-se que, neste cenário, as curvas partem dos estoques iniciais, representados pelo estado pré-existente dos componentes ambientais, sofrem um declínio em razão das perturbações causadas na fase de instalação e iniciam uma acentuada recuperação. Este processo, no décimo segundo ano da simulação, alcança níveis superiores aos iniciais, com alguma variação e ainda tende a ascensão.

Destaca-se que a característica deste cenário, que impulsiona o desempenho positivo dos componentes socioambientais, é a condição favorável resultante da modificação do projeto inicial representada pela redução da ocupação, além das obras, ações e programas que integram planos de desenvolvimento locais e também do resultado dos programas ambientais.

O comportamento da curva de sustentabilidade indica que, neste cenário, as perturbações provocadas no ambiente e que modificam os sistemas socioambientais, são controladas, alcançando níveis ótimos de sustentabilidade.

Os valores dos estoques de estado ou qualidade dos componentes ambientais e sustentabilidade, assumidos ao longo das curvas geradas pelos gráficos das Figuras 9 e 10 são apresentados na Tabela 10.

**Tabela 10: Estoques anuais acumulados – Cenário Desejável. Gerado com auxílio do software STELLA®**

Table 1 (Estoques acumulados por ano) ?						
Years	Biótico	Cultural	Econômico	Físico	Social	Sustentabilidade
0	0.590700	0.596200	0.500000	0.617600	0.569600	0.583100
1	0.588715	0.593527	0.509352	0.612252	0.570252	0.583100
2	0.515790	0.539240	0.519815	0.502927	0.539327	0.531700
3	0.493968	0.530455	0.548917	0.483030	0.513830	0.522320
4	0.501828	0.544615	0.490190	0.496752	0.546715	0.524300
5	0.514400	0.557187	0.536887	0.504775	0.577750	0.546480
6	0.539632	0.587932	0.664845	0.519333	0.618558	0.594340
7	0.568235	0.614348	0.689248	0.539010	0.634560	0.617360
8	0.604088	0.645213	0.707950	0.560163	0.653088	0.642380
9	0.630757	0.670658	0.716070	0.589633	0.667683	0.663240
10	0.657492	0.692318	0.722943	0.626430	0.686018	0.685320
11	0.677168	0.709718	0.729405	0.664743	0.701668	0.704820
Final	0.694600	0.723125	0.735900	0.699763	0.714113	0.721780

**Fonte: o autor (2014)**

A análise dos gráficos e quadros que traduzem o comportamento do sistema socioambiental representado no modelo do cenário desejável revela que a evolução dinâmica do sistema demonstra um desempenho superior dos índices ambientais. Este desempenho significa o alcance da sustentabilidade pelo empreendimento, com tendência a alcançar níveis ainda mais elevados, caso ocorra a plena execução dos programas ambientais recomendados pelos estudos ambientais, combinados com a execução das obras e melhorias nas infraestruturas viárias, de transporte e de saneamento básico, previstas em planos de desenvolvimento locais.

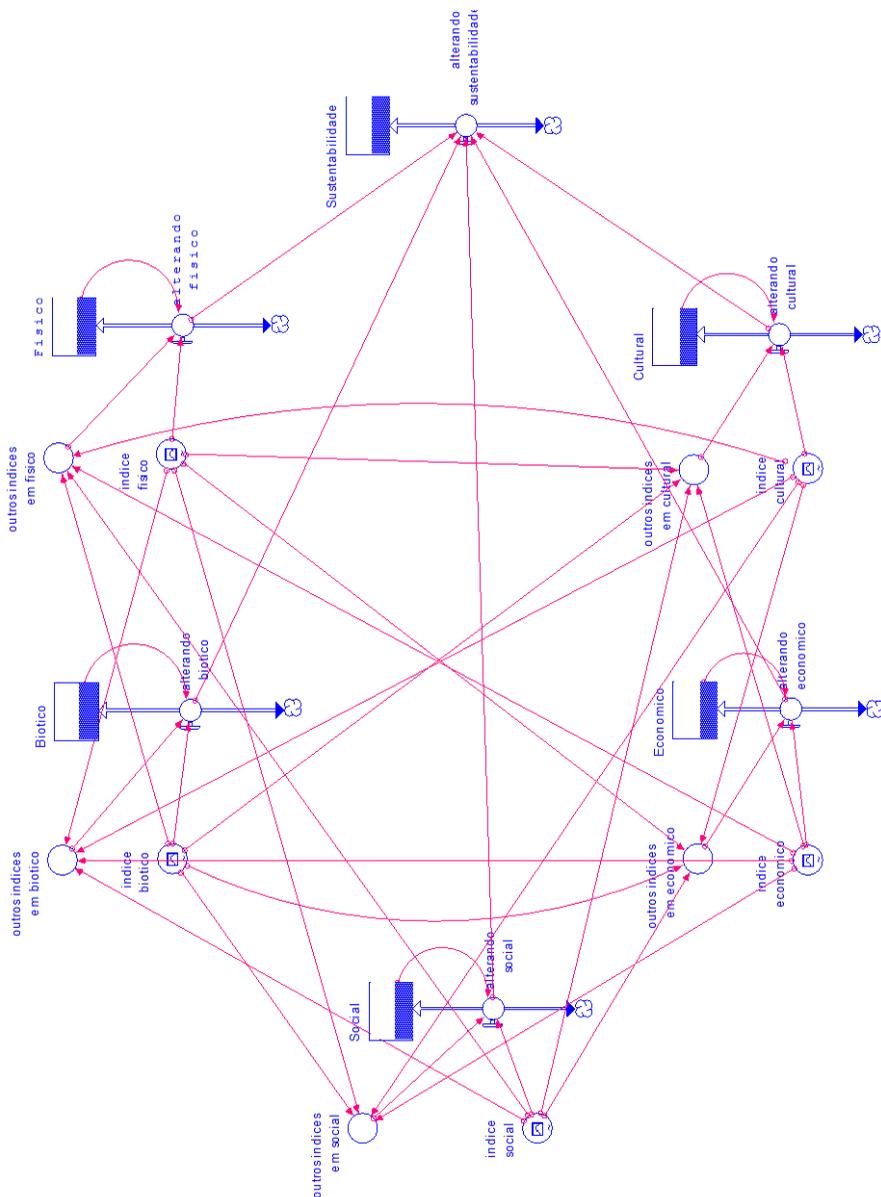
#### **6.4.3.3 Simulação do Cenário Indesejável**

As simulações que representam o comportamento dinâmico das interações entre os componentes físico, biótico, social, econômico e cultural, que determinam o comportamento dinâmico da sustentabilidade do empreendimento, referentes ao cenário indesejável, ao longo de 12 anos, podem ser mais bem compreendidas quando analisadas por meio dos gráficos e tabelas geradas.

O modelo apresentado na Figura 11 representa as interações entre as dimensões dos meios físico, biótico, social, econômico, social e cultural, e como resultado a sustentabilidade do empreendimento, referentes ao cenário indesejável, ao longo do período simulado. Os

estoques de qualidade são formados pela interação de todos os índices, como pode ser percebido pela análise dos diagramas que representam o sistema.

**Figura 11: Diagrama representando a dinâmica do cenário indesejável, em um intervalo de 12 anos. Gerado com auxílio do software STELLA®.**

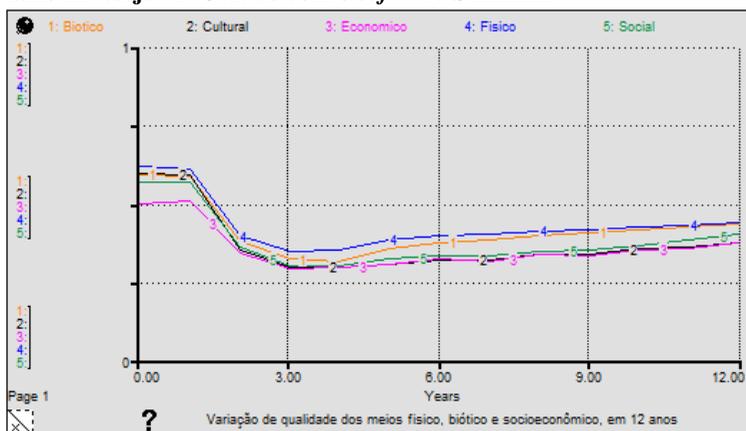


**Fonte: o autor (2014).**

Neste modelo é possível observar os estoques de qualidade dos componentes ambientais e da sustentabilidade, ao final do 12º (décimo segundo) ano de simulação.

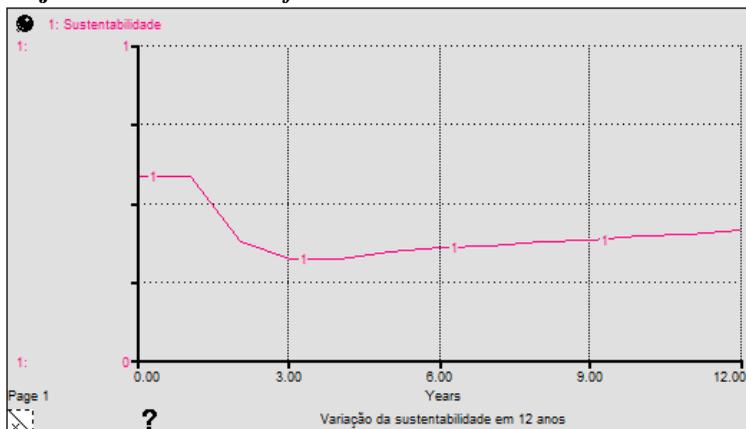
A variação dos estoques de estado ou qualidade dos componentes ambientais e da sustentabilidade do empreendimento, ao longo dos 12 (doze) anos, pode ser mais bem compreendida observando-se os gráficos das Figuras 12 e 13.

**Figura 12: Variação do estado dos componentes ambientais (estoques) Cenário Indesejável. Gerado com o software STELLA®.**



Fonte: o autor (2014).

**Figura 13: Variação do estado da sustentabilidade (estoques) Cenário Indesejável. Gerado com o software STELLA®.**



Fonte: o autor (2014).

As curvas dos estoques de qualidade dos componentes dos meios físico, biótico, social, econômico e cultural, referentes aos cenários, provável, desejável e indesejável, são representações gráficas do resultado da ação de cada índice interagindo com os demais.

O gráfico da Figura 12 mostra as curvas dos estoques de estado dos componentes físicos, bióticos, sociais, econômicos e culturais, formados pela interação entre os respectivos índices locais, conforme regra já descrita. O gráfico da Figura 13 mostra a curva dos estoques de sustentabilidade, formada pela interação de todos os componentes ambientais considerados.

Observa-se que, neste cenário, as curvas partem dos estoques iniciais, representados pelo estado pré-existente dos componentes ambientais, sofrem um forte declínio em razão das perturbações causadas na fase de instalação, a partir do qual iniciam um inexpressivo processo de recuperação, determinado unicamente por um efeito de resiliência não quantificado, tendendo a estabilização em níveis muito inferiores aos iniciais, no décimo segundo ano da simulação.

Destaca-se, que a característica deste cenário, que determina o desempenho negativo dos componentes socioambientais, é a condição desfavorável resultante, não só da não execução de obras, ações e programas que integram planos de desenvolvimento locais, como também da forma de gestão do empreendimento, desde a instalação e continuando na sua operação.

O comportamento da curva de sustentabilidade indica que, neste cenário, as perturbações provocadas no ambiente e que modificam os sistemas socioambientais, não são controladas, alcançando níveis muito baixos de sustentabilidade.

Os valores dos estoques de estado ou qualidade dos componentes ambientais e sustentabilidade, assumidos ao longo das curvas geradas pelos gráficos das Figuras 12 e 13 são apresentados na Tabela 11.

**Tabela 11: Estoques anuais acumulados – Cenário Indesejável. Gerado com auxílio do software STELLA®**

Table 1 (Estoques acumulados por ano)						
Years	Biotico	Cultural	Economico	Fisico	Social	Sustentabilidade
0	0.590700	0.596200	0.500000	0.617600	0.569600	0.583100
1	0.588715	0.593527	0.509352	0.612252	0.570252	0.583100
2	0.376460	0.351610	0.340060	0.398685	0.358085	0.373260
3	0.321005	0.294317	0.291168	0.347080	0.299130	0.318820
4	0.312103	0.294690	0.294690	0.349553	0.299065	0.318300
5	0.354098	0.303173	0.303173	0.384635	0.320323	0.341360
6	0.375422	0.319860	0.321085	0.395635	0.332898	0.357260
7	0.383877	0.317290	0.313703	0.402078	0.330153	0.357700
8	0.396025	0.335388	0.334863	0.410113	0.347113	0.372980
9	0.406790	0.338103	0.331540	0.416590	0.348077	0.376500
10	0.417070	0.353720	0.348558	0.423982	0.365970	0.390140
11	0.426055	0.357893	0.355268	0.430518	0.383968	0.399020
Final	0.435025	0.375000	0.371938	0.437387	0.399150	0.411980

Fonte: o autor (2014)

A análise dos gráficos e quadros que informam sobre o comportamento do sistema socioambiental representado no modelo do cenário indesejável, revela que a evolução dinâmica do sistema demonstra um desempenho inferior dos índices ambientais. Este desempenho significa que o empreendimento não reúne condições para alcançar a sustentabilidade.

As condições que podem determinar a ocorrência de um cenário desta natureza devem ser evitadas.

## 6.5 Monitoramento dos indicadores

O monitoramento ao longo do período de simulação, por meio de coleta de dados, estudo e acompanhamento contínuo e sistemático do mesmo conjunto de indicadores de estado escolhido, permite a análise do desempenho real de cada indicador, tendo como objetivo a comparação com os valores previamente atribuídos, permitindo ajustes nas interpretações e simulações e caso necessário correções em ações de execução e de gestão.

Com a execução das ações inerentes à instalação e operação do empreendimento, as previsões de desempenho dos indicadores e índices podem ou não se confirmar. Os resultados do monitoramento podem fornecer parâmetros que, comparados com os valores atribuídos na fase de predição do desempenho futuro do empreendimento, permitam que

ajustes sejam efetuados nas ações executivas e de gestão, de acordo com o cenário escolhido.

O monitoramento dos indicadores tem início com a instalação do empreendimento, continuando durante a sua operação, pelo mesmo período considerado para as simulações. No monitoramento, o conjunto de indicadores e índices deve ser reavaliado pelo mesmo grupo de especialistas que estimou o seu desempenho futuro.

A atribuição de valores aos indicadores, nas fases executiva e operacional deve seguir a mesma técnica adotada na fase de predição dos valores futuros atribuídos ao conjunto de indicadores. As diferenças observadas, caso existam, devem ser analisadas de forma a definir se existe necessidade de adoção de medidas corretivas visando à concretização dos cenários idealizados e também devem alimentar novas simulações, ano a ano, permitindo o ajuste fino na avaliação da sustentabilidade ambiental da atividade. Tais diferenças podem ainda servir de parâmetro de afinação da sensibilidade do grupo de especialistas, na avaliação de indicadores.

## CAPÍTULO 7

### 7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A proposta de um método que associa três ferramentas, *Backcasting*, Dinâmica de Sistemas e Lógica *Fuzzy*, como instrumento para tratar sistemas complexos, visando à tomada de decisão, surgiu da observação sobre como estes sistemas são tratados, corriqueiramente, no contexto do licenciamento ambiental, ou seja, foi observado que os sistemas socioambientais são avaliados isoladamente e de forma estática. Dessa forma os resultados produzidos pelos processos de AIA não consideram o que realmente ocorre na vida real, que é a interação dinâmica entre esses sistemas.

A questão central desta tese, que se constitui do seu objetivo geral, é o desenvolvimento de um método de previsão da sustentabilidade ambiental, como apoio à decisão no licenciamento ambiental, utilizando os conceitos de dinâmica de sistemas, lógica *fuzzy* e *backcasting*. O objetivo geral foi alcançado, no entanto, se reconhece que o modelo desenvolvido ainda não se encontra acabado, trata-se ainda de um modelo de pesquisa, que necessita continuação no seu desenvolvimento.

#### 7.1 Sobre o método de previsão da sustentabilidade ambiental proposto

O método está alicerçado na projeção e avaliação de sustentabilidade ambiental, envolvendo multicritérios, integrando a agregação de variáveis por lógica *fuzzy*, com programação dinâmica para avaliação de cenários, construídos segundo a técnica de *backcasting*, objetivando o apoio à decisão na escolha e conquista de cenários futuros sustentáveis.

O método permite estimar a sustentabilidade ambiental por meio da avaliação de índices locais de sustentabilidade, específicos e particulares para o objeto a ser licenciado, no local onde a atividade se desenvolverá, considerando os cenários escolhidos.

Os índices locais de sustentabilidade resultam da interação dinâmica entre índices que representam e qualificam os componentes dos sistemas socioambientais. Considerou-se que os índices locais que informam sobre os componentes ambientais são os índices referentes aos meios físico, biótico, social, econômico e cultural. Os componentes ambientais que constituem e qualificam esses meios, são utilizados

como indicadores de estado, que revelam informações sobre as respectivas condições de qualidade. Cada cenário, provável, desejado ou indesejado, é modelado por meio dos *softwares fuzzyTECH*<sup>®</sup> e *STELLA*<sup>®</sup>.

O *fuzzyTECH*<sup>®</sup> agrega os indicadores de estado referentes aos componentes que constituem os meios físico, biótico, social, econômico e cultural, em índices ambientais. Estes índices estruturam os modelos utilizados pelo *STELLA*<sup>®</sup> nas simulações dinâmicas das possíveis interações entre os meios citados, conforme as características de cada cenário.

O método permite a simulação de diversos cenários, que podem ser exploratórios ou normativos, o que habilita a análise e a comparação das situações de interesse dos *stakeholders*, favorecendo as decisões.

## 7.2 Sobre o alcance dos objetivos propostos

Os objetivos específicos da pesquisa também foram alcançados. O primeiro deles, **“Identificar e selecionar os fatores chaves que podem ser usados como indicadores de estado, dos meios físico, biótico, social, econômico e cultural, dos sistemas estudados”**, foi alcançado por meio da definição dos índices e indicadores considerados suficientes para a análise pretendida. Assim os índices foram desdobrados nos seguintes indicadores:

- Índice Físico: Água do Mar e Solo.
- Índice Biótico: Fauna, Flora e Habitat.
- Índice Social: Infraestrutura e Serviços Públicos, Espaço marítimo e Segurança.
- Índice Econômico: Emprego e Renda, Arrecadação de Impostos e Oportunidades de Negócios.
- Índice Cultural: Educação e Capacitação, Paisagem e Patrimônio Cultural.

O segundo objetivo específico, **“Construir os cenários futuros a perseguir e a evitar, objetivando a sustentabilidade ambiental do empreendimento estudado”**, também foi alcançado, por meio da construção de três cenários. Um cenário exploratório que representa a situação mais provável de ocorrer, e dois cenários normativos que representam as situações desejadas e indesejadas, respectivamente.

O terceiro objetivo específico, **“Agregar, por meio da lógica fuzzy, os indicadores de estado em índices ambientais que qualificam os sistemas socioambientais”**, foi alcançado por meio do uso do *software fuzzyTECH*<sup>®</sup>. Foram elaboradas séries temporais anuais

com os valores dos indicadores, para cada cenário, abrangendo um período de 12 anos. Os valores atribuídos aos indicadores considerou o efeito dos impactos ambientais avaliados no EIA, bem como o efeito ao longo dos anos, dos respectivos programas ambientais. Estes indicadores, já valorados, foram agregados segundo regras “se”, “e”, “ou” e “então”.

O quarto objetivo específico, “**Simular dinamicamente as interações dos sistemas socioambientais, em cenários exploratórios tendências e normativos, desejados e indesejados**”, foi alcançado por meio do uso do *software* STELLA®. Este *software*, especialista em simular o comportamento de sistemas complexos e dinâmicos, é uma ferramenta com interface interativa de fácil manuseio de programação. Os resultados das simulações foram expressos por meio de gráficos e tabelas, que permitem a interpretação dos fenômenos ocorridos.

O quinto objetivo específico, “**Possibilitar aos decisores uma melhor compreensão da dinâmica dos diversos cenários, habilitando decisões mais robustas que viabilizem a construção de cenários futuros com sustentabilidade**” foi alcançado. O método se mostrou eficiente na simulação dinâmica da evolução dos cenários idealizados, permitindo aos decisores compreender a interação que existe entre os componentes ambientais.

O sexto objetivo específico, “**Disponibilizar um método para a avaliação de sustentabilidade ambiental, capaz de aprimorar os procedimentos de licenciamento ambiental**”, também foi alcançado, uma vez que permitiu uma análise integrada e dinâmica dos componentes ambientais envolvidos, avaliando vários cenários e níveis de sustentabilidade.

O sétimo e último objetivo específico, “**Aplicar o modelo na avaliação da sustentabilidade ambiental de um empreendimento turístico planejado para a Ilha João da Cunha em Porto Belo, Santa Catarina**”, foi alcançado e permitiu testar e reconhecer o poder da ferramenta na construção de cenários sustentáveis.

### **7.3 Sobre a aplicação experimental do método de previsão da sustentabilidade ambiental**

O método foi testado em um empreendimento turístico denominado “Eco-Resort Ilha de Porto Belo”, planejado para a Ilha João da Cunha no município de Porto Belo, Santa Catarina.

Três cenários foram selecionados, um cenário exploratório – cenário provável, e dois cenários normativos – cenário desejável e

cenário indesejável. O cenário provável (exploratório) considerou que os impactos ambientais esperados se concretizaram e que os programas ambientais foram efetivos, alcançando as metas planejadas. Os cenários normativos foram construídos a partir do cenário provável, segundo a abordagem de backcasting, ou seja, posicionando-se nos futuros hipotéticos idealizados e verificando a viabilidade física e social de caminhos em direção a esse futuro, identificando as medidas e ações necessárias para atingi-lo, avaliando-se que fatores, tecnológicos, estruturais, comportamentais e organizacionais poderiam ocorrer no período planejado e seriam capazes de quebrar as tendências do cenário exploratório.

Definidos os cenários, uma equipe de especialistas é incentivada a atribuir valores aos indicadores que qualificam os componentes ambientais que representam os sistemas socioambientais em análise. Os valores são atribuídos prevendo-se o comportamento futuro desses indicadores, a cada ano em um período de 12 (doze) anos.

Os indicadores são então agregados em índices ambientais locais, por meio de regras e procedimentos apoiados na lógica *fuzzy*. Estes índices então alimentam os modelos gerados com auxílio do *software* STELLA<sup>®</sup>, especialista na modelagem de sistemas complexos e dinâmicos, que simula a interação entre os componentes físico, biótico, social, econômico e cultural, e as condições de sustentabilidade, decorrente dessa interação.

A simulação dinâmica da evolução dos cenários revelou que o cenário provável e o cenário desejável apresentam resultados considerados favoráveis, com alguma variação e com comportamentos diferentes. Enquanto o cenário provável se estabiliza em níveis de sustentabilidade próximos aos iniciais, no décimo segundo ano da simulação, o cenário desejável além de apresentar níveis superiores de sustentabilidade ao final do mesmo período de simulação, ainda demonstra tendência de elevação desses níveis.

Este resultado significa que os investimentos em infraestrutura de mobilidade urbana, saneamento e desenvolvimento local de turismo sustentável, realizados conforme plano de ação traçado e compromissado entre as partes, cuja execução é monitorada pelos interessados, ou seja, poder público, comunidade e empreendedor, é capaz de apresentar resultados positivos, com benefícios compensadores sendo, portanto um cenário de interesse da sociedade.

Considerando os resultados obtidos nas simulações, em especial os resultados do cenário provável e do cenário desejável, e considerando que as melhorias e avanços que caracterizam o cenário desejável estão,

na sua maioria, fora do controle exclusivo do empreendedor, exceto no que se refere à possibilidade de se adotar o projeto alternativo, que implica em menores impactos ambientais e conserva a capacidade da estrutura hoteleira com menores custos, pode-se afirmar que um dos cenários possíveis de interesse é o que combina o cenário provável com o projeto alternativo de *resort*.

Embora fictícios, a simulação dinâmica da evolução dos cenários idealizados, revela o poder da ferramenta apresentada. É importante destacar uma característica positiva do método que é a sua interatividade. Os *softwares* utilizados - *fuzzyTECH*<sup>®</sup> e *STELLA*<sup>®</sup>, permitem que, por exemplo em uma apresentação pública ou a um grupo de decisores, os sistemas avaliados possam ser modificados por meio da definição de novos valores de indicadores de estado e de índices, manipulando-se diretamente os seus controles. Isto permite simular situações alternativas, ou ainda outros cenários mais ou menos otimistas ou pessimistas.

Os resultados obtidos com a aplicação experimental do método, no estudo de caso, mostraram a sua viabilidade e aptidão como ferramenta de apoio à decisão para o planejamento ambiental, para a gestão territorial e, também ao licenciamento ambiental. Com isso, pode-se afirmar que o método proposto atende os objetivos desta pesquisa.

A precisão e confiabilidade dos resultados dependem de cinco importantes questões, a saber:

- A construção do diagrama de agregação, que deve representar o sistema socioambiental avaliado;
- A construção de cenários que devem representar, da forma mais fiel possível, as expectativas dos *stakeholders*, tanto no cenário provável quanto nos cenários desejado e indesejado;
- A atribuição de valores aos indicadores de estado;
- A construção do diagrama de interação dinâmica dos componentes dos sistemas socioambientais, que deve representar a forma como esses componentes se relacionam;
- A adequada definição das regras e sentenças lógicas que comandam a simulação dinâmica dos sistemas socioambientais avaliados.

## 7.4 Recomendações

Recomenda-se que esta pesquisa seja ampliada, visando:

- Integrar os modelos em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), de forma a permitir a confecção de mapas de sustentabilidade, mapas de valores ambientais e mapas de zonas homogêneas necessárias ao zoneamento ecológico econômico.
- Estruturação do método de definição de valores dos indicadores, na etapa de agregação para definição dos índices e também do método de definição dos pesos que regulam a maneira como esses componentes interagem dinamicamente. Sugere-se o uso do método Delphi, quando os atores são cooperativos. Quando a relação entre os atores é conflitante, sugere-se o uso de ferramentas disponibilizadas pela Teoria dos Jogos.
- Melhorias nas interfaces de entrada e saída das variáveis, para facilitação da operação do sistema e do entendimento dos resultados, por parte dos *stakeholders* não especialistas.
- Elaboração de um roteiro detalhado e amigável para a operação do sistema.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. (Org.); MÜLLER-PLATENBERG, C. **Previsão de Impactos: O Estudo de Impacto Ambiental no Leste, Oeste e Sul. Experiências no Brasil, na Rússia e na Alemanha.** São Paulo: Edusp, 1994. 569 p.

ALBUQUERQUE, F. G. (Coord.). **INTRODUÇÃO AO *software STELLA*® 8.0.** Laboratório de Modelagem Ambiental e de Recursos Hídricos. Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa. Universidade Católica de Brasília. Brasília. DF. 2005. 12p.

ALMEIDA, P. E. M. de & EVSUKOFF, A. G. **Sistemas *Fuzzy*.** In: REZENDE, S. O. (Org.). **Sistemas Inteligentes: fundamentos e aplicações.** São Paulo: Ed. Manole, 2003, p. 169-202.

ALONSO, J. M., MAGDALENA, L., GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, G. **Looking for a good fuzzy system interpretability index: An experimental approach.** International Journal of Approximate Reasoning 51 (2009) 115–134.

ARACIL, J. **DINÁMICA DE SISTEMAS.** Isdef, Madrid, España, Primera Edición: Marzo - 1995.

BARBIER, E. B.; MARKANDYA, A.; PEARCE, D. W. **Environmental sustainability and cost-benefit analysis.** Environment and Planning A, 1990, volume 22, pages 1259-1266.

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecology: from individuals to ecosystems.** Blackwell Publishing Ltd 4th. Ed, 2006, 759 p.

BOCLIN, A. de S. C. & MELLO, R. de. **A decision support method for environmental impact assessment using a fuzzy logic approach.** Ecological Economics, v.58, Issue 1, p.170 - 181. Elsevier Ltd. Grã Bretanha, 2006.

BOLEA, M. E.; **.Evaluación de impacto ambiental.**, Fundación MAFPRE, Madrid, 1984.

BRAGA, T. M.; GONÇALVES de FREITAS, A. P. **Índice de Sustentabilidade Local: uma avaliação da sustentabilidade dos municípios do entorno do Parque Estadual do Rio Doce (MG).** Anais do XIII Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais, realizado em Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil de 4 a 8 de novembro de 2002.

BRASIL. ANA - Agência Nacional de Águas. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil** / Agência Nacional de Águas, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. - Brasília: ANA, SPR, 2005.

BRASIL – CONSTITUIÇÃO DA REPUBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. **Diário Oficial [da] União**, Brasília 05 out. 1988, P. 1 (ANEXO).

BRASIL. LEI Nº 6.938, DE 31 DE AGOSTO DE 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] União**, Brasília 02 set. 1981, P. 16509.

BRASIL. LEI Nº 9.985, DE 18 DE JULHO DE 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial [da] União**, Brasília 18 jul. 2000, P. 1.

BRASIL. LEI Nº 10.257, DE 10 DE JULHO DE 2001. Regulamenta os artigos. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. **Diário Oficial [da] União**, Brasília 11 jul. 2001, P. 1.

BRÜLL, A.; VAN BOHEMEN, H.; COSTANZA, R.; MITSCH, W.J. **Benefits of ecological engineering practices**. *Procedia Environmental Sciences* 9 (2011) 16 – 20.

BRÛSEKE, F. J. O Problema do Desenvolvimento Sustentável in: CAVALCANTI C. (Org.) **DESENVOLVIMENTO E NATUREZA: Estudos para uma sociedade sustentável**. Instituto de Pesquisas Sociais, Fundação Joaquim Nabuco, Ministério de Educação, Governo Federal, Recife, Brasil. 1994. p. 262.

BUARQUE, S. C. **Metodologia e técnicas de construção de cenários globais e regionais**. IPEA, Texto para discussão nº 939, Brasília, 2003.

CAMPOS FILHO, P. **Método para apoio à decisão na verificação da sustentabilidade de uma unidade de conservação, usando lógica fuzzy**. 2004. 210 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

CANTARINO, A. **Instrumentos Aplicados ao Licenciamento Ambiental**. Rio de Janeiro: LIMA/COPPE/UFRJ, 2001. 198 p.

CANTER, L. W. **ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT**. 2 Ed. McGraw-Hill, Inc. USA. 1996. 660 p.

CANTER, L. W. **Methods for Effective Environmental Information Assessment (EIA) Practice. In: Environmental Methods Review: Retooling Impact Assessment for the New Century**. Army Environmental Policy Institute, Georgia Institute of Technology and International Association for Impact Assessment. Published: Fargo, North Dakota, USA: The Press Club, March 1998.

CAPRA, F. A **TEIA DA VIDA - UMA NOVA COMPREENSÃO CIENTÍFICA DOS SISTEMAS VIVOS**. Editora Cultrix, São Paulo, 1995, 249 p.

CARPENTER, S.R. **Regime shifts in lake ecosystems: pattern and variation**. Excellence in Ecology No. 15. Oendorf/Luhe, Germany: International Ecology Institute; 2003.

CHOI, H. C. SIRAKAYA, E. **Sustainability indicators for managing community tourism**. Tourism Management 27 (2006) 1274–1289. 2006, ScienceDirect, Elsevier Inc.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1999, 236 p.

CONYERS, D. & HILLS, P. **An introduction to development planning in the third world**. Fort William, Scotland: John Wiley & Sons, (Public Administration in Developing Countries), 1984, 271 p.

COSTANZA, R. **The Science and Management of Sustainability**. Ecological Economics. Columbia University Press, New York, NY. 1991.

COSTANZA, R. Toward an operational definition of ecosystem health. In: CONSTANZA, R.; HASKEL, B. D.; NORTON, B. G. (Org.). **Ecosystem health: new goals for environmental management**. Washington, DC: Island, 1992.

DEBETIR, E. & ORTH, D. **Estratégias de gestão para unidades de conservação**. Cap.2 in: Unidades de Conservação: Gestão e Conflitos. Florianópolis, Insular, 2007.

DOBSON, A. **Environmental Sustainabilities: an analysis and a typology**. Environmental Politics, 5: 401-428, 1996.

- DRAKAKIS-SMITH, D: **Third-World cities: sustainable urban development I**. *Urban Studies* 1995, 32(4/5):659-677.
- DREBORG, K. H. **Essence of backcasting**. *Futures*, v. 28, n. 9, p. 813-828, 1996.
- FORRESTER, J. W. **Counterintuitive Behavior of Social Systems** (D-4468). System Dynamics Group, Massachusetts Institute of Technology. 1995, 30 p.
- FORRESTER, J. W. **Designing the Future**. (D-4726) Universidad de Sevilla. Sevilla, Spain December 15, 1998.
- FORRESTER, J. W. **System Dynamics and Learner-Centered-Learning in Kindergarten through 12th Grade Education** (D-4337), System Dynamics Group, Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology. 1993, 20 p.
- GALLOPÍN, G. C. **Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity**. *Global Environmental Change* 16 (2006) 293–303. 2006 Elsevier Ltd.
- GARCIA, J.M. **Sysware. La toma de decisiones empresariales en un mundo complejo**. 2ª Ed. Barcelona, Espanha. 2011. 316p.
- GARCÍA-MELÓN, M. GÓMEZ-NAVARRO, T. ACUÑA-DUTRA, S. **A combined ANP-delphi approach to evaluate sustainable tourism**. *Environmental Impact Assessment Review* 34 (2012) 41–50. Elsevier Inc.
- GIURCO, D. COHEN, B. LANGHAM, E. WARNKEN, M. **Backcasting energy futures using industrial ecology**. *Technological Forecasting & Social Change* 78 (2011) 797–818.
- GODET, M. A **“caixa de ferramentas” da prospectiva estratégica - Problemas e métodos**. CEPES – Centro de Estudos de Prospectiva e Estratégia – Lisboa, 2000. 97 p.
- GUIMARÃES, R. **FNDCT: Uma nova Missão. Ciência e Tecnologia no Brasil: Política Industrial, Mercado de Trabalho e Instituições de Apoio**. Rio de Janeiro: Editora FGV: p. 257-332, 1995.
- GUNDERSON, L. KINZIG, A. QUINLAN, A. WALKER, B. CUNDHILL, G. BEIER, C. CRONA, B. & BODIN, Ö. **Assessing resilience in social-ecological systems: Workbook for practitioners**. Resilience Alliance. 2010.

HAMMOND, A. *et al.* **ENVIRONMENTAL INDICATORS: A Systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development.** World Resources Institute, Washington, DC, USA, 1995. 58 p.

HARTWICK, J. **Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources.** *American Economic Review*, 67: 972-974, 1977.

HARTWICK, J. **Natural resource accounting and economic depreciation.** *Journal of Public Economics*, 43: 291-304, 1990.

HARTWICK, J. **Substitution among exhaustible resources and intergenerational equity.** *Review of Economic Studies*, 45: 347-354, 1978.

HEDIGER, W. **WEAK AND STRONG SUSTAINABILITY, ENVIRONMENTAL CONSERVATION AND ECONOMIC GROWTH.** *NATURAL RESOURCE MODELING*. Volume 19, Number 3, 2006.

HO, Y. WANG, S. **System Dynamics Model for the Sustainable Development of Science City.** 23rd International Conference of the System Dynamics Society, July 17 – 21, 2005, Boston, USA.

HÖJER, M. & MATTSSON, L. G. **Determinism and backcasting in future studies.** *Futures* 32 (2000) 613–634.

HÖJER, M. GULLBERG, A. PETTERSSON, R. **Backcasting images of the future city—Time and space for sustainable development in Stockholm.** *Technological Forecasting & Social Change* 78 (2011) 819–834

HOLLING, C.S. **Resilience and stability of ecological systems.** *Annual Review of Ecology and Systematics* 4, 1–23. 1973.

IVES, A. R. **Measuring resilience in stochastic-systems.** *Ecological Monographs*. 65:217– 33. 1995.

KAUFMANN, J. **Cadastre as the Basic Tool for Land Administration – Need for a Big Leap Forward.** . Federação Internacional de Geômetras - FIG. Switzerland, 2003.

KIEKEN, H. **Integrating structural changes in future research and modelling on the Seine River Basin.** *Proceedings of the 1st Biennial*

Meeting of the International Environmental Modelling and *software* Society. 2002.

KOUIKOGLOU, V.; PHILLIS, Y. **On the monotonicity of hierarchical sum-product fuzzy systems.** *Fuzzy Sets and Systems* 160 (2009) 3530–3538.

KOULOUMPIS, V. D. KOUIKOGLOU, V. S. PHILLIS, Y. A. (2008) **Sustainability Assessment of Nations and Related Decision Making Using Fuzzy Logic.** *IEEE SYSTEMS JOURNAL*, VOL. 2, Nº. 2, JUNE 2008, pp 224 – 236.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de Metodologia Científica.** São Paulo: Editora Atlas S.A., 1994. 270 p.

LEUKHARDT, F. ALLEN, S. (2013). **How environmentally focused is the German sustainability strategy? A critical discussion of the indicators used to measure sustainable development in Germany.** *Environment, Development and Sustainability* 15:149–166. DOI 10.1007/s10668-012-9380-6.

LIMA, L. H. **Controle do patrimônio ambiental brasileiro: A contabilidade como condição para o desenvolvimento sustentável.** Rio de Janeiro: EdUERJ, 2001. 360 p.

LIU, K.F.R. & LAI, J.H. **Decision-support for environmental impact assessment: A hybrid approach using fuzzy logic and fuzzy analytic network process.** *Expert Systems with Applications* 36 (2009) 5119–5136. Elsevier Ltd. Grã Bretanha, 2009.

LIU, K.F.R. & YU, C.W. **Integrating case-based and fuzzy reasoning to qualitatively predict risk in an environmental impact assessment review.** *Environmental Modelling & software* 24 (2009) 1241–1251. Elsevier Ltd. Grã Bretanha, 2009.

MAGRINI, A. **Avaliação de impactos ambientais.** p. 85-108. In MARGULIS, S. (Ed.). **Meio Ambiente – Aspectos Técnicos e Econômicos.** Rio de Janeiro: IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada, 1990. 238 p.

MAMDANI, E. H. **Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant.** *Proceedings of the IEE (Control and Science)*, Vol. 121, p. 298-316. 1974.

- MARTIN, L. A. **The First Step (D-4694)**. System Dynamics in Education Project, System Dynamics Group, Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology. 1997. 59 p.
- MAXIMIANO, A. C. A. **Introdução à Administração**. São Paulo: Atlas, 1995.
- MEADOWS, D. H. **System Dynamics Meets the Press**. *The Global Citizen*. pp. 1-12, Washington, DC, Island Press. 1991.
- MITCHELL, C. & WHITE, S. **Forecasting and backcasting for sustainable urban water futures**. *Water* Vol. 30 N° 5. P. 25-28. 2003.
- MITTELBACH, G. TURNER, A. HALL, D. RETTIG, J. **Perturbation and resilience - a long-term, whole-lake study of predator extinction and reintroduction**. *Ecology* 76:2347– 60. 1995.
- MOREIRA, I. V. D. **Origem e Síntese dos Principais Métodos de Avaliação de Impacto Ambiental – AIA**. In: MAIA – Manual de Avaliação de Impactos Ambientais. Curitiba: SURHEMA/GTZ, 1992.
- MUSSE, J. de O. **BACKCASTING E DINÂMICA DE SISTEMAS COMO INSTRUMENTOS PARA CRIAR CONHECIMENTO EM SISTEMAS COMPLEXOS, VISANDO À TOMADA DE DECISÃO**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento da Universidade Federal de Santa Catarina. Tese de Doutorado. UFSC. Florianópolis. 2010.
- NEUBERT, M. G. CASWELL, H. **Alternatives to resilience for measuring the responses of ecological-systems to perturbations**. *Ecology* 78:653–65. 1997.
- OCDE. **Rumo a um Desenvolvimento Sustentável – Indicadores Ambientais**. Tradução de Ana Maria S. F. Teles. Salvador: NEAMA/CRA, 2002. 244 p.
- OLARU, C. WEHENKEL, L. **A complete fuzzy decision tree technique**. *Fuzzy Sets and Systems* 138 (2003) 221–254. Elsevier Pub.
- OLIVEIRA JÚNIOR, H. A. **Lógica Difusa: aspectos práticos e aplicações**. Rio de Janeiro: Interciência, 1999. 192 p.
- OMT. **Turismo internacional: Uma perspectiva global**. 2. ed. São Paulo: Bookman, 2003.
- OREA, D. G. **Evaluación de Impacto Ambiental**. 2 ed., Madrid: Editorial Agrícola Española, 1994. 259 p.

ORTH, D. M.; ARAÚJO, R. D. & GUEDES, A. **Novas tecnologias para a gestão do espaço urbano.** In: ENTAC 2000, 2000, Salvador - BA. ENTAC 2000. Salvador - BA: 2000. V.07. p.75-85.

PECHE, R. & RODRÍGUEZ, E. **Environmental impact assessment procedure: A new approach based on fuzzy logic.** Environmental Impact Assessment Review 29 (2009) 275–283. Elsevier Ltd. Grã Bretanha, 2009.

PECHE, R. RODRÍGUEZ, E. **Environmental impact assessment by means of a procedure based on fuzzy logic: A practical application.** Environmental Impact Assessment Review 31 (2011) 87–96.

PHILLIS, Y. A. GRIGOROUDIS, E. KOUIKOGLOU, V. S. (2011). **Sustainability ranking and improvement of countries.** Ecological Economics 70 (2011) 542–553.

PHILLIS, Y. A.; DAVIS, B. J. (2009). **Assessment of Corporate Sustainability via Fuzzy Logic.** J Intell Robot Syst 55:3–20. DOI 10.1007/s10846-008-9289-3.

PILLARISSETTI, J. R. VAN DEN BERGH, J. C. J. M. (2010). **Sustainable nations: what do aggregate indexes tell us?** Environment, Development and Sustainability 12:49–62. DOI 10.1007/s10668-008-9179-7.

PIMM, S. L. **The Balance of Nature?** Chicago: Univ. Chicago Press. 434 pp. 1991.

PORTER, M. **Vantagem competitiva – criando e sustentando um desempenho superior.** Rio de Janeiro: Campus, 1989.

QUIST, J. VERGRAGT, P. **Past and future of backcasting: The shift to stakeholder participation and a proposal for a methodological framework.** Futures 38 (2006) 1027–1045. Elsevier Ltd. 2006.

ROBINSON, J. BURCH, S. TALWAR, S. O'SHEA, M. WALSH, M. **Envisioning sustainability: Recent progress in the use of participatory backcasting approaches for sustainability research.** Technological Forecasting & Social Change 78 (2011) 756–768. ScienceDirect, Elsevier Inc, 2011.

ROBINSON, J. **Futures under glass: a recipe for people who have to predict.** Futures 22 (8), p. 820-842, 1990.

ROBINSON, J.; BURCH, S.; TALWAR, S.; O'SHEA, M.; WALSH, M. **Envisioning sustainability: Recent progress in the use of participatory backcasting approaches for sustainability research.** *Technological Forecasting & Social Change* 78 (2011) 756–768.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos.** Oficina de textos. São Paulo, 2008. 495 p.

SANTA CATARINA. SDS – Secretaria de Estado de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina, Serviços WMS – Ortofotomosaico de SC – 2011/2012. Disponível em <http://www.sigsc.sds.sc.gov.br/wms.jsp>. Acessado em 28/03/2014.

SANTOS, A. C. K. **Introdução à modelagem computacional na educação.** Rio Grande, RS: Editora da FURG, 1995. 121 p.

SHAW, I. S. & SIMÕES, M. G. **Controle e Modelagem FUZZY.** São Paulo: FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo e Editora Edgard Blücher Ltda., 1999. 165p.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração da dissertação.** 3. ed. Florianópolis: LED/UFSC, 2001.

SILVERT, W. **Fuzzy indices of environmental conditions.** *Ecological Modelling* 130 (2000) 111–119. 2000 Elsevier Science B.V.

SOCIOAMBIENTAL, C. A. **Estudos de Impacto Ambiental – EIA do Eco-Resort Ilha de Porto Belo (Porto Belo/SC).** 5 volumes. Florianópolis. 2008.

SOLOW, R. **An Almost Practical Step toward Sustainability.** *Resources for the Future*, Washington DC. 1992.

SOLOW, R. **An almost practical step toward sustainability.** *Resources Policy*, 2: 162-172, 1993.

SOLOW, R. **On the intergenerational allocation of natural resources.** *Scandinavian Journal of Economics*, 88(1): 141-149, 1986.

SOLOW, R. **The economics of resources and the resources of economics.** *American Economic Review*, 64: 1-14, 1974.

STAMM, H. R. **MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL (AIA) EM PROJETOS DE GRANDE PORTE: ESTUDO DE CASO DE UMA USINA TERMELÉTRICA.** Tese de doutorado apresentada e aprovada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSC, 2003.

- STANLEY, L. ZHU, H. **Beginner Modeling Exercises - Section 5 - Mental Simulation of Combining Feedback in First-Order Systems.** Massachusetts Institute of Technology, 1996.
- TAKAGI, T. e SUGENO, M. **Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control.** IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics SMC-15(1): 116-132. 1985.
- TAUK, S.M.; GOBBI, N.; FOWLER, H.G Editores. **ANÁLISE AMBIENTAL: UMA VISÃO MULTIDISCIPLINAR.** EDUNESP/FAPESP. 1991. 2ª Edição.1996, 206p.
- TILMAN, D. DOWNING, J. A. **Biodiversity and stability in grasslands.** Nature 367:363–65. 1994.
- TORO, J. DUARTE, O. REQUENA, I. ZAMORANO, M. **Determining Vulnerability Importance.** Environmental Impact Assessment Review 32 (2012) 107–117.
- VAN DEN BERGH, J. **Sustainable Development in Ecological Economics,** in Handbook of Sustainable Development, Edited by Atkinson, G., Dietz, S. & Neumayer, E. Cheltenham: Edward Elgar. 2007.
- VERGRAGT, P. J. QUIST, J. **Backcasting for sustainability: Introduction to the special issue.** Technological Forecasting & Social Change 78 (2011) 747–755.
- VOS, R. O. **Competing approaches to sustainability: dimensions of controversy,** in Flashpoints in Environmental Policymaking: Controversies in Achieving Sustainability, ed. by Kamieniecki S, Gonzalez G. A. and Vos R. O. State University of New York Press, Albany NY, pp. 1–27 (1997).
- VOS, R. O. **Defining sustainability: a conceptual orientation.** Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 82:334–339 (2007).
- WALKER, A. P. A. GREINER, A R. MCDONALD, B D. LYNE, V. **The Tourism Futures Simulator: a systems thinking approach.** Environmental Modelling & software 14 (1999) 59–67. ScienceDirect, Elsevier Inc, 1999.
- WALKER, B., HOLLING, C.S., CARPENTER, S.R., KINZIG, A., **Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems.** Ecology and Society vol. 9, issue 2, art. 5. 2004.

WANGEL, J. **Exploring social structures and agency in backcasting studies for sustainable development.** Technological Forecasting & Social Change 78 (2011) 872–882.

WCED. World Commission on Environment and Development. **Our Common Future.** Oxford University Press, New York. 1987.

WEMBO, X. & HUDSON C. **System Dynamics Based Traffic Flow Simulation.** 20th System Dynamics Conference, Palermo, Italy, 2002.

WESTMAN, W. E. **Ecology, Impact Assessment, and Environmental Planning.** Ed: Wiley, John & Sons, Incorporated. New York, 1985, 544 p.

ZADEH, L. A. **Fuzzy Sets. Information and Control.** USA, v. 8, n. 3 p. 338-353, 1965.

ZILANS, A. ABOLINA, K. (2009). **A methodology for assessing urban sustainability: Aalborg commitments baseline review for Riga, Latvia.** Environment, Development and Sustainability 11:85–114. DOI 10.1007/s10668-007-9099-y.

ZIMMERMANN, H. J. **Fuzzy set theory and its applications.** Kluwer Academic Publishers. Boston/Dordrecht/London. 3<sup>a</sup> Ed. 1996. 435 p.