



INCLUINDO SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS NOS ESTUDOS DE LOCALIZAÇÃO INDUSTRIAL: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA FUZZY-HIERÁRQUICA

Guilherme Weber Martins

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Orientador: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Rio de Janeiro

Maio de 2017

INCLUINDO SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS NOS ESTUDOS DE LOCALIZAÇÃO
INDUSTRIAL: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA FUZZY-HIERÁRQUICA

Guilherme Weber Martins

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Examinada por:

Prof. Carlos Alberto Nunes Cosenza, D.Sc.

Prof. Francisco Antônio de Moraes Accioli Dória, D.Sc.

Prof. Cláudio Henrique dos Santos Grecco, D.Sc.

Prof. Paulo Victor Rodrigues de Carvalho, D.Sc.

Prof. Ricardo Silva Kubrusly, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MAIO DE 2017

Martins, Guilherme Weber

Incluindo Serviços Ecológicos nos Estudos de Localização Industrial: uma Proposta Metodológica Fuzzy-Hierárquica / Guilherme Weber Martins. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017.

XIII, 102 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Carlos Alberto Nunes Cosenza.

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2017.

Referências Bibliográficas: p. 92-102.

1. Localização Industrial. 2. Serviços Ecológicos. 3. Lógica Fuzzy. 4. Processo de Hierarquia Analítica (AHP). 5. Sustentabilidade. I. Cosenza, Carlos Alberto Nunes. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

DEDICATÓRIA

A todos os meus mestres, que me possibilitaram chegar a esse ponto de
minha vida e carreira, e a todos os meus alunos, minha principal
motivação para concluir esta fase.

AGRADECIMENTOS

Ao grande amigo e Emérito Professor Doutor CARLOS ALBERTO NUNES COSENZA, pela sábia e segura orientação, pela confiança em mim depositada e pelo inestimável apoio e exemplo, a quem serei eternamente grato por me guiar e me incentivar a ingressar na carreira acadêmica.

Aos Profs. DÓRIA, GRECCO, PAULO VICTOR E KUBRUSLY por me darem a honra de participarem da banca avaliadora de minha tese.

A minha mãe, MONIKA WEBER MARTINS, que me fez compreender que são nos momentos mais difíceis que devemos nos manter serenos e buscar forças para continuar.

Ao meu grande amigo, pai e professor, GETÚLIO MARQUES MARTINS, por todas as muitas horas de conversas, discussões, ajuda e companhia, sem as quais a elaboração dessa tese teria sido impossível.

Ao meu amor, MANI TEBET DE A. MARINS, por todo o apoio, conselhos, incentivos, amor, paciência, compreensão e companhia nesse momento tão difícil da minha vida e carreira.

Aos amigos do LABFUZZY, pelo incentivo e inestimável apoio, durante o período de pesquisa desta tese, em grande parte desenvolvida em suas companhias nas dependências do LABFUZZY.

A todo o corpo técnico do PEP, em especial, a PERLA, LINDALVA, ROBERTA, PEDRO e ao Prof. SAMUEL, pela amizade e ajuda em vencer todos os trâmites burocráticos da universidade.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, por me conceder um período especial para cursar o doutorado e elaborar esta tese. E aos amigos e colegas do Departamento de Ciências Econômicas, do ICESA e do ICHS, pelo apoio e incentivo e por me acolherem tão bem na UFRRJ.

E, por fim, a todos os meus alunos, que foram a minha maior motivação e sem os quais essa jornada não teria tido o menor sentido.

PENSAMENTOS INSPIRADORES

"The scientific man does not aim at immediate results. He does not expect that his ideas will be readily taken up... His duty is to lay the foundation for those who are to come, and point the way."

[*Nikola Tesla*]

“O mundo real é cheio de imprecisão, incerteza e parcialidade, especialmente parcialidade de verdade, certeza e possibilidade. ”

[*Lotfi Zadeh*]

“[...] é marca de uma mente instruída se satisfazer com o grau de precisão que a natureza do assunto admite, e não buscar exatidão onde apenas uma aproximação da verdade é possível”.

[*Aristóteles, 384-322 a.C.*]

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

INCLUINDO SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS NOS ESTUDOS DE LOCALIZAÇÃO INDUSTRIAL: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA FUZZY-HIERÁRQUICA

Guilherme Weber Martins

Maio/2017

Orientadores: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Programa: Engenharia de Produção

Esta tese visa dar aos estudos de localização industrial uma contribuição rumo à sustentabilidade. Para tanto, propõe-se uma abordagem metodológica fuzzy-hierárquica que permite incluir serviços ecossistêmicos (SE) regionais no processo de escolha locacional. A definição de SE estabelecida pelo *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA) é adotada nas suas quatro categorias. Duas relações críticas da dinâmica indústria-ecossistema regional, a dependência das indústrias por SE e o impacto das indústrias nos SE, são exploradas para viabilizar essa inclusão. Envolvendo uma variável inerente às indústrias e outra inerente aos ecossistemas regionais, essas duas relações estabelecem condições primárias para uma localização baseada na sustentabilidade. Na relação de dependência, as variáveis são a própria dependência das indústrias pelos SE e a disponibilidade regional dos SE, enquanto na relação de impacto, o próprio impacto das indústrias nos SE e a saúde regional dos SE. De mensuração complexa e difícil em termos absolutos, essas variáveis são mensuradas em termos relativos, com base em julgamento de especialistas, utilizando, como ferramenta, a Análise de Extensão Fuzzy-AHP de Chang. Dessa forma, mensurações relativas fuzzy de cada uma dessas variáveis, para cada categoria de SE, são formalmente obtidas. Benefícios e custos associados a cada par indústria-ecossistema regional são, então, definidos e computados em função dessas variáveis, e respectivos indicadores de sustentabilidade econômico-ambiental, definidos como as correspondentes razões entre tais benefícios e custos, são também computados. Finalmente, o ordenamento desses indicadores provê a informação de suporte a decisões locacionais mais sustentáveis econômica e ambientalmente.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

INCLUDING ECOSYSTEMS SERVICES INTO INDUSTRIAL LOCATION
STUDIES: A FUZZY-HIERARCHIC METHODOLOGICAL APPROACH

Guilherme Weber Martins

May/2017

Advisor: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Department: Production (Industrial) Engineering

This thesis aims to give to industrial location studies a contribution towards sustainability. For such, we propose a fuzzy-hierarchical methodological approach that enables including regional ecosystem services (ES) into the locational selection process. We adopt the definition of ES by the Millennium Ecosystem Assessment (MEA) in their four categories. We exploit two critical relations in the industry-ecosystem dynamic, the dependence of industries upon ES and the impact of industries upon ES, to turn feasible this inclusion. Involving a variable inherent in industries and another inherent in regional ecosystems, these two relations establish primary conditions for a location selection based on sustainability. In the dependence relation, the variables are the very industry dependence on ES and the regional availability of ES, while, in the impact relation, the variables are the very impact of the industries on ES and the regional health of ES. Of complex and difficult measurement in absolute terms, these variables are measured in relative terms, based on expert judgment, using Chang's Fuzzy-AHP Extension Analysis as tool. Thus, relative fuzzy measures of each of these variables, for each ES category, are formally obtained. Then, benefits and costs associated with each pair industry-regional ecosystem are defined and computed as functions of these variables, and respective indicators of economic-environmental sustainability, defined as the corresponding ratios between such benefits and costs, are computed as well. Finally, the ranking of these indicators provides the information in support of more economically and environmentally sustainable locational decisions.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO TEMÁTICA.....	1
1.1.1 QUESTÃO DA SUSTENTABILIDADE.....	3
1.1.2 A QUESTÃO DA VALORAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS.....	4
1.1.3 LOCALIZAÇÃO INDUSTRIAL E SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS.....	7
1.2 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	9
1.3 OBJETIVOS.....	10
1.4 HIPÓTESES.....	10
1.5 JUSTIFICATIVA.....	12
1.6 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	14
1.7 ORGANIZAÇÃO DA TESE.....	16
CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA.....	18
2.1 SUSTENTABILIDADE DAS ATIVIDADES PRODUTIVAS.....	18
2.1.1 ECONOMIA ECOLÓGICA.....	22
2.2 FATORES LOCACIONAIS.....	27
2.2.1 A CONTRIBUIÇÃO DOS ESTUDOS TEÓRICOS DE LOCALIZAÇÃO.....	28
2.2.2 A CONTRIBUIÇÃO DOS ESTUDOS EMPÍRICOS DE LOCALIZAÇÃO.....	30
2.2.3 FATORES DE LOCALIZAÇÃO INTERNACIONAL.....	32
2.2.4 DISCUSSÃO.....	37
2.3 SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS.....	38
2.3.1 AVALIAÇÃO ECOSISTÊMICA DO MILÊNIO.....	39
2.3.2 SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS COMO FATORES LOCACIONAIS.....	41
CAPÍTULO 3 – MENSURAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS.....	45
3.1 VALOR ECONÔMICA TOTAL – VET.....	49
3.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A VALORAÇÃO ECONÔMICA DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS.....	54
3.2.1 RECALCULO DOS VALORES MARGINAIS.....	54
3.2.2 INCERTEZA, IGNORÂNCIA E NÃO-FAMILIARIDADE.....	55
3.2.3 TEMPO, DISTRIBUIÇÃO E VALORAÇÃO.....	56
3.3 METODOLOGIA AHP E CONSIDERAÇÃO SOBRE MENSURAÇÃO RELATIVA.....	57
3.3.1 A METODOLOGIA FUZZY AHP.....	58
3.3.2 CONCEITO BÁSICO DE FUZZY AHP.....	59
3.3.3 AHP COMO FERRAMENTA PARA MENSURAÇÃO DE INTANGÍVEIS.....	61
3.3.4 MENSURAÇÃO RELATIVA DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS.....	65
3.3.5 VARIÁVEIS, VALORES LINGÜÍSTICOS E ESCALA DE CORRESPONDÊNCIA NUMÉRICA.....	68
CAPÍTULO 4 – PROPOSTA METODOLÓGICA FUZZY HIERÁRQUICA.....	71
4.1 SÍNTESE DA DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	71
4.1.1 DECLARAÇÃO DO PROBLEMA.....	73
4.2 PROPOSTA METODOLÓGICA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA.....	74
4.2.1 EXPRESSANDO A SUSTENTABILIDADE EM TERMOS DOS SE.....	75
4.2.2 HIPÓTESES ADOTADAS PARA A SOLUÇÃO DO PROBLEMA.....	76
4.2.3 DISCUSSÃO E ESTRUTURA CONCEITUAL E METODOLÓGICA DE SOLUÇÃO DO PROBLEMA	76

4.3 DETALHAMENTO DA ABORDAGEM.....	78
4.3.1 CONSTRUÇÃO DAS MATRIZES DE COMPARAÇÃO PARITÁRIA FUZZY E CÔMPUTO DOS VETORES DE PRIORIDADE.....	79
4.3.2 ESCALA DE CORRESPONDÊNCIA NUMÉRICO-CONCEITUAL FUZZY.....	81
4.3.3 UMA BREVE NOTA SOBRE PRECISÃO E INFORMAÇÃO BASEADA EM PERCEPÇÃO..	83
4.3.4 ANÁLISE DE EXTENSÃO FUZZY DE CHANG – FEA DE CHANG.....	84
4.3.5 CÔMPUTO DOS BENEFÍCIOS E CUSTOS ASSOCIADOS AOS SE.....	85
4.3.6 CÔMPUTO DOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE ECONÔMICO-AMBIENTAL DE CADA PAR DE INDÚSTRIA-ECOSSISTEMA REGIONAL.....	86
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO.....	88
5.1 CONCLUSÕES.....	88
5.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91

LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

Figura 1. Ligação entre Serviços Ecossistêmicos e o Bem-estar Humano.....	39
Figura 2. Arcabouço de Valoração dos Serviços Ecossistêmicos.....	46
Figura 3. Diagrama Esquemático de Resolução do Problema.....	77
Figura 4. Diagrama Esquemático de Comparação Paritária.....	79
Figura 5. Comparações Paritárias, Cômputo do Valor de Extensão Fuzzy e Formação das Matrizes D, A, H, e I.....	81
Gráfico 1. Grau de Possibilidade.....	59
Gráfico 2. Representação Fuzzy dos Quantificadores dos Valores Comparativos Linguísticos.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Fatores Locacionais Críticos.....	33
Tabela 2. Categorias de Valores dos SE dentro do Arcabouço VET.....	51
Tabela 3. Métodos e Abordagens de Valoração dos Serviços Ecossistêmicos.....	52
Tabela 4. Correspondência Numérico-Conceitual Fuzzy de Comparação Paritária.....	68

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

AHP: Analytic Hierarchy Process

AEM: Avaliação Ecosistêmica do Milênio

CBA: Cost Benefit Analysis

CMMAD: Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento

FAHP – Fuzzy Analytic Hierarchy Process

FEA – Fuzzy Extent Analysis

MAH: Modelo de Análise Hierárquica

MEA: Millennium Ecosystem Assessment

SC: Serviços Culturais

SE: Serviços Ecosistêmicos

SP: Serviços de Provisão

SR: Serviços de Regulação

SS: Serviços de Suporte

VET: Valor Econômico Total

TEEB: The Economics of Ecosystem and Biodiversity

UNCHE: United Nations Conference on the Human Environment

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO TEMÁTICA

O tema desta tese de doutorado compreende os estudos de localização industrial no contexto das atuais questões de sustentabilidade. Examina-se o problema da inclusão dos serviços ecossistêmicos nesses estudos.

Nesse exame, procura-se reunir elementos analítico-conceituais e empíricos capazes de fundamentar uma proposta metodológica destinada a integrar os serviços ecossistêmicos ao processo de escolha locacional como fatores condicionantes primários dessa escolha. A meta subjacente, obviamente, é a subordinação da escolha locacional das indústrias ao princípio do desenvolvimento sustentável.

Embora a forma mais imediata de viabilizar essa integração pareça ser a mera inclusão de tais serviços como fatores locais na estrutura do processo tradicional, sua qualificação como condicionantes primários da localização (em virtude da meta de sustentabilidade) sugere uma seleção preliminar, baseada exclusivamente nesses serviços. Tal seleção preliminar serviria para excluir, do conjunto de ecossistemas regionais candidatos à localização, aqueles incapazes de acomodar as indústrias numa relação sustentável. Quer dizer, essa seleção funcionaria como uma espécie de “filtro”, anterior ao processo tradicional de seleção.

O tema envolve questões epistemológicas complexas, cuja compreensão exige, além de uma familiarização com o arcabouço analítico clássico da teoria da localização, o entendimento de princípios, tais como o princípio do ‘desenvolvimento sustentável’, e conceitos associados, como o de capital natural e de serviços ecossistêmicos, recentemente incorporados em disciplinas afins com este tema, em particular a economia ecológica e a ecologia industrial.

Envolve também questões metodológicas, tais como, por exemplo, a da estrutura conceitual e computacional de modelos, métodos e técnicas utilizados nos processos de decisão, ao lado de questões relacionadas à modelagem de atributos ou propriedades regionais associadas aos serviços ecossistêmicos, com vistas a propiciar análises comparativas e, assim, efetivamente servir de base para critérios locais no processo de localização industrial.

Envolve ainda questões relacionadas com os elementos métricos da abordagem,

especialmente no que concerne à precisão das mensurações, cuja busca deve ser limitada a níveis compatíveis com a natureza do problema. A compreensão e conscientização quanto a esses níveis, no que diz respeito aos objetivos da abordagem, permite racionalizar esforços de modelagem analítica e de rigor computacional, particularmente aqueles que seriam direcionados para a explicitação de complexas funções e processos naturais, entre os quais os pertinentes à biodiversidade, transformações de fatores físicos e químicos, processos climatológicos etc., que normalmente tornam difícil, quando não injustificável, mensurações determinísticas clássicas.

Longe de querer examinar toda essa complexidade, embora se reconheça que um “juízo de valor” de seu agregado holístico se mostre extremamente necessário para efeito de análise comparativa das interações entre as atividades produtivas humanas e os ecossistemas naturais, procuramos direcionar os esforços da pesquisa para a análise das relações econômico-ambientais que caracterizam a dinâmica indústria-ecossistema. Essas relações têm mais a ver com a natureza decisória do problema, permitindo alinhar a estrutura conceitual da proposta de solução do problema com o escopo da decisão.

Assim, nosso intento, com a análise dessas relações, é identificar variáveis descritivas de atributos ou propriedades regionais associadas aos serviços ecossistêmicos que tenham conexão com demandas das indústrias ou com interações destas com o meio ambiente, de forma a caracterizar, a partir da perspectiva da sustentabilidade, esses serviços como fatores condicionantes da escolha locacional.

Para isso, no entanto, outra questão sensível, a questão da valoração de tais atributos e/ou propriedades, é vital para a abordagem, porque provê as informações métricas que possibilitam, entre outras coisas, estimar utilidades ou benefícios que as indústrias podem obter dos serviços ecossistêmicos regionais, e/ou, então, os impactos (ou custos) que são impostos a esses serviços, variáveis estas que podem ser utilizadas de uma forma coerente na derivação de parâmetros condicionadores da escolha locacional.

Nesse sentido, uma questão central da abordagem é a da estimação desses benefícios, bem como também a da estimação dos custos associados à implantação, funcionamento e desenvolvimento das indústrias nas regiões e respectiva utilização dos serviços ecossistêmicos. Reitera-se que o interesse por essas estimativas está no seu potencial como base de comparações entre as alternativas de localização, mediante uma análise custo/benefício, que é definida na estrutura de nossa abordagem como indicador

da sustentabilidade econômico-ambiental da relação indústria-ecossistema regional.

Portanto, de uma perspectiva mais estreita e pragmática, três questões específicas se encontram intimamente ligadas ao problema considerado. São elas:

1^a) a questão da sustentabilidade das atividades humanas, particularmente a da produção industrial em sua dinâmica relacional com os ecossistemas regionais;

2^a) a questão da inserção dos serviços ecossistêmicos como fatores de localização nos estudos locacionais das indústrias; e

3^a) a questão da valoração (econômica) dos serviços ecossistêmicos.

Para melhor perceber a relevância do problema e justificar a proposta de solução aqui apresentada, fazemos, nas subseções seguintes, uma breve abordagem de cada uma delas, cujos aspectos serão descritos com mais detalhes à medida que forem apresentadas e discutidas nos capítulos seguintes. Iniciamos com a sustentabilidade das atividades humanas, mesmo porque é aquela que motiva a presente proposta.

1.1.1 A QUESTÃO DA SUSTENTABILIDADE

Nas últimas décadas, as atividades humanas modificaram os ecossistemas naturais de forma mais rápida e ampla do que nunca antes na história. Nossa sociedade e economia se beneficiaram grandemente dos recursos naturais disponíveis, mas tais benefícios foram obtidos à custa da diminuição da biodiversidade e da degradação dos ecossistemas. No entanto, a degradação da biodiversidade e dos recursos e processos que são fornecidos pelos ecossistemas naturais tem implicações importantes de longo prazo, e em alguns casos, de curto prazo, para a viabilidade das atividades humanas.

Em razão disso, ganhou importância o conceito da sustentabilidade que passou a ser considerado como um conceito fundamental a embasar as relações humanas com o meio ambiente. Tendo aparecido pela primeira vez em uma Conferência das Nações Unidas em 1972 - a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano (*United Nations Conference on the Human Environment* - UNCHE), realizada na Suécia, na cidade de Estocolmo – esse conceito deu origem à expressão “desenvolvimento sustentável”.

Apesar de essa expressão não ter sido explicitamente usada na Declaração de Estocolmo sobre o meio ambiente, o conceito pôde ser extraído de seus princípios, sendo considerado um objetivo a ser alcançado juntamente com a paz e o desenvolvimento econômico e social.

Apresentando uma fundamentação claramente sistêmica, a sustentabilidade diz respeito à possibilidade de manutenção e perpetuação de um sistema específico. Para fins de entendimento das atividades humanas no planeta, encontramos uma de suas melhores definições na ecologia, que considera um sistema sustentável como sendo aquele capaz de enfrentar perturbações externas sem comprometer suas funções, estabelecendo assim, também, o conceito de resiliência como definido por Brand (2009).

O caráter multidisciplinar da sustentabilidade, por outro lado, provocou o inevitável desenvolvimento de novas linhas de pensamento e teorias, em grande parte conflitantes com o conhecimento já consolidado. Dentro da ciência econômica temos o nascimento da Economia Ecológica como uma alternativa teórica à corrente neoclássica ortodoxa prevalecente, a Economia Ambiental.

A Economia Ecológica vai buscar nas disciplinas de biologia, ecologia e na termodinâmica os principais fundamentos e analogias para a sua formulação, em oposição à formulação mecanicista típica da economia tradicional, o que lhe permite ter uma visão de funcionamento do mundo e das atividades humanas muito mais ampla. Para essa nova corrente, o conceito de entropia é de fundamental importância para se entender a atividade econômica, principalmente a atividade produtiva de transformação ou a produção industrial.

Entretanto, as consequências disto foram as dificuldades encontradas para modelar economicamente as relações entre ecossistemas e atividades humanas e valorar atributos ou propriedades relevantes pertinentes ou associados a estes novos objetos de estudo, como é o caso dos serviços ecossistêmicos. É o que brevemente mostramos a seguir.

1.1.2 A QUESTÃO DA VALORAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

Esta questão é crucial para o funcionamento das economias de mercado. Especialmente a valoração econômica. Sem a possibilidade de se chegar a um valor econômico dos recursos disponíveis, o problema de alocação se torna muito difícil, gerando na maioria das vezes ineficiências. Apesar de partir de visões de mundo diferentes, a economia ecológica guarda conceitos e problemas comuns à economia tradicional, sendo o problema da valoração um deles, e talvez, um dos mais difíceis de solucionar.

Para a abordagem econômico-ecológica o problema da alocação dos recursos adquire uma outra dimensão. A dinâmica ecológica e a complexidade inerente ao funcionamento dos ecossistemas, resultado de interações entre organismos vivos e a totalidade dos fatores físicos que formam o meio ambiente, representam um desafio adicional significativo para o equacionamento do problema da valoração econômica.

A literatura econômica e ambiental é extensa em propostas de contabilização e valoração dos recursos naturais e dos serviços ecossistêmicos, como será apresentado ao longo deste trabalho. Apesar de algumas propostas serem utilizadas com algum sucesso, a natureza evolutiva, não linear, dos milhares de elementos que compõem os ecossistemas, cada um dos quais possuindo variados graus de complexidade, torna praticamente inviável a elaboração de qualquer modelo determinístico, minimamente genérico, baseado no conhecimento de cada componente individualmente.

Dentre as várias propriedades que caracterizam a complexidade analítica dos ecossistemas, duas apresentam importância crucial para a integração entre ecossistemas, sistema econômico e bem-estar humano: a variabilidade e a resiliência (ANDRADE; ROMEIRO, 2009).

A variabilidade dos ecossistemas consiste na mudança dos estoques e fluxos de serviços ecossistêmicos ao longo do tempo, devido, principalmente, a fatores estocásticos, intrínsecos e extrínsecos, enquanto a resiliência pode ser considerada como a capacidade de os ecossistemas retornarem ao seu estado natural após um evento de perturbação.

As atividades econômicas só são sustentáveis quando os ecossistemas que as alicerçam são resilientes. Num entendimento mais recente, COSTANZA (2012) introduz o conceito de *saúde ecossistêmica*, que inclui os conceitos de *organização*, *vigor* e *resiliência*, ampliando assim este conceito.

Uma das concepções teóricas formuladas pela corrente econômica-ecológica, que estabeleceu uma relação entre os ecossistemas e o sistema econômico, foi a de capital natural, que inclui os sistemas ecológicos, depósitos minerais e outros componentes e aspectos do mundo natural, equivalendo ao que a corrente econômica tradicional chama de 'terra'.

Esse conceito permitiu avançar sobre a questão da valoração econômica na medida em que o valor dos ecossistemas e recursos naturais, agora capital natural, passou a se relacionar ao fluxo de bens e serviços que eles são capazes de oferecer às sociedades humanas de maneira sustentável.

O capital natural é formado por um conjunto de funções ecossistêmicas, que podem ser definidas como os processos e componentes biológicos, geoquímicos e físicos que estão presentes em um ecossistema (De GROOT et al., 2002).

Colocado de uma forma mais simples, as funções ecossistêmicas dizem respeito à capacidade de processos e componentes naturais proverem bens e serviços para satisfazer as necessidades humanas.

Os serviços ecossistêmicos, por sua vez, são definidos, segundo DAILY (1997), como as condições e processos através dos quais os ecossistemas naturais e as espécies que os constituem, sustentam e tornam possível a vida humana. Numa visão mais econômica, os serviços ecossistêmicos quando combinados a outros capitais disponíveis ao homem, na definição de COSTANZA (2006), capital humano, social e manufaturado, geram um fluxo de bem-estar aos seres humanos.

O conceito de serviços ecossistêmicos passou, assim, a desempenhar um papel fundamental dentro do arcabouço econômico-ecológico, tendo em vista o reconhecimento dos fluxos de serviços gerados pelos ecossistemas para o bem-estar humano e para o suporte da vida no planeta.

Apesar de ser um conceito já abordado e discutido desde a década de 1970, tanto por economistas quanto por ecólogos, sua consolidação e popularização parece ter ocorrido com o lançamento, em 2001, da Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA, 2001), um extenso programa de pesquisas sobre mudanças ambientais com o apoio das Nações Unidas e de diversos governos e instituições internacionais, cujo objetivo foi fornecer bases científicas para a gestão sustentável dos ecossistemas, permitindo a provisão contínua dos serviços por eles gerados.

Levando esses argumentos em consideração, nossa proposta tem por base princípios e conceitos da economia ecológica. Dada a complexidade característica dessa vertente teórica, fica evidente que qualquer metodologia que busque prover uma valoração econômico-monetária absoluta dos serviços ecossistêmicos será altamente custosa e ainda assim incompleta.

Em alguns casos, como, por exemplo, o da escolha de sítio para o desenvolvimento de alguma atividade produtiva, cuja tomada de decisão envolve um número limitado de alternativas, uma maneira eficiente de contornar esse problema é utilizar a mensuração relativa direta sem a necessidade de uma unidade ou escala de referência.

Dado que esse tipo de mensuração requer comparações entre alternativas,

baseadas em atributos ou propriedades de locais potencialmente capazes de acomodar aquela atividade e tendo em vista que essa comparação é feita por percepção, é preciso contar com a ajuda de experts, i.e., de profissionais com conhecimento e experiência nessas questões temáticas.

Dentro do escopo desta tese e da perspectiva de nossa abordagem, esse é o caso da localização industrial em sua relação com os serviços ecossistêmicos regionais, de que tratamos no item seguinte.

1.1.3 LOCALIZAÇÃO INDUSTRIAL E SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

A análise da influência da localização espacial no processo produtivo é uma questão que vem sendo discutida pelos teóricos da localização, desde que Von Thünen¹ lançou, há quase dois séculos, suas ideias sobre os fatores que determinavam o preço e a forma por meio da qual a produção agrícola era disposta no espaço regional.

De acordo com MARTINS (2010), o estudo das relações dos fatores intervenientes na localização de uma planta produtiva “são, *a priori*, questões com implicações vitais nas estratégias empresariais e nas políticas de desenvolvimento de uma região ou país”. Acrescenta ele que, “da perspectiva da economia regional, essa questão revela-se um problema de condicionalidade espacial”, quer dizer, um problema que envolve estudos sobre como e com que intensidade o espaço geográfico, ou, em outros termos, os ecossistemas regionais, interagem com as atividades econômicas, uma vez que estas se encontram, necessariamente, condicionadas pela distribuição espacial dos recursos de produção e pelos aglomerados humanos”.

Entretanto, longe de um consenso quanto aos fatores determinantes da localização industrial, com um corpo de conceitos e princípios “distintos e por vezes antagônicos” e divididas praticamente em duas correntes principais - a *clássica / neoclássica* e a *institucional / evolucionária*, as diferentes teorias existentes acabaram por “despender tempo e esforço em controvérsias muitas vezes improdutivas, na tentativa de tirar uma da outra o crédito por eventuais propostas e avanços teóricos” (MARTINS, 2010).

O reconhecimento da necessidade de um debate aberto entre essas correntes acabou dando lugar a uma busca por uma integração mais efetiva entre as diversas

¹ Johann Heinrich von Thünen (1826), conforme citacao de Schumpeter, Joseph A. (1954): *Historia del Análisis Económico*: 524-529. Barcelona: Editorial Ariel, segunda edição, 1982.

teorias locacionais. Os resultados têm sido caracterizados por conjunções de abordagens quantitativas e qualitativas em modelos unificados de localização industrial (JOHNSTON, 1986; LAMBOOY, 1986; HEALEY & ILBERY, 1990; WALMSLEY & LEWIS, 1993).

Contudo, devido aos múltiplos e diferentes tipos de indústrias, a enumeração dos fatores locacionais que determinam ou contribuem para a atratividade de uma região para fins de implantação e desenvolvimento de atividades industriais só seria possível empiricamente e, assim mesmo, mediante o estudo de casos individuais de indústrias específicas.

Consciente dessa questão, BADRI (2007) afirma que alguns fatores locacionais são considerados gerais para grande parte, senão a totalidade das indústrias. Com base em uma revisão das teorias da localização, esse autor agrupa esses fatores em 14 categorias distintas, a saber: transporte, mão-de-obra, matéria-prima, presença de sítios industriais, utilidades, mercados, apoio governamental, estrutura de impostos, clima, infraestrutura comunitária, situação política internacional, proximidade de mercados internacionais, regulação governamental e fatores econômicos. Conforme se pode constatar, nesses grupos não há qualquer menção explícita aos serviços ecossistêmicos.

Não obstante, diversos estudos já fazem alguma consideração em relação aos serviços ecossistêmicos. Entre tais estudos estão o planejamento urbano e rural e as escolhas locacionais para indústrias. Observa-se que todos tratam do uso do solo, e, “particularmente no que concerne às implantações de peças de infraestruturas de produção de bens e serviços demandados pela sociedade” (MARTINS, 2010). Assim, “portos, aeroportos, fazendas agrícolas, indústrias e outros equipamentos urbanos ou rurais, todos envolvem interação com os ecossistemas e, dessa forma, requerem algum tipo de análise incluindo considerações sobre os benefícios e impactos associados aos seus serviços e funções” (MARTINS, *op. cit.*).

Apesar da importância desses estudos, poucos têm procurado incluir explicitamente os serviços ecossistêmicos no problema da localização industrial. Essa escassez de estudos é relativamente surpreendente, em face da destacada importância desses serviços para as indústrias e outros empreendimentos, mas talvez derive da complexidade das rotinas computacionais utilizadas para estimar os benefícios e custos associados com sua apropriação e impactos.

1.2 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O problema objeto de exame desta tese é o da localização industrial com foco voltado para a sustentabilidade econômico-ambiental das relações entre indústrias e ecossistemas regionais. Entre as diferentes relações existentes entre indústrias e ecossistemas regionais, duas são reconhecidas como críticas da perspectiva da sustentabilidade: a relação de dependência da indústria pelos serviços ecossistêmicos regionais (ou a demanda da indústria por esses serviços) e a relação de impacto da indústria sobre tais serviços (ou o custo associado com a implantação, operação e desenvolvimento da indústria na região) (CEFIC, 2013).

Da perspectiva da sustentabilidade econômico-ambiental, a relação de dependência implica uma disponibilidade de estoque e fluxos de serviços ecossistêmicos pela região. Essa disponibilidade deve ser capaz de atender continuamente a indústria, sem comprometer a possibilidade ou o potencial de o ecossistema regional atender outras atividades humanas agora e no futuro (trata-se aqui de buscar aderência ao princípio do desenvolvimento sustentável). Já a relação de impacto implica uma saúde ecossistêmica regional capaz de suportar as perturbações provocadas pela implantação, funcionamento e eventual desenvolvimento da indústria, recuperando e mantendo o seu estado original, em termos de organização, vigor e resiliência ecossistêmica.

Nosso problema consiste na inclusão, no processo de escolha locacional, dos serviços ecossistêmicos regionais como condicionantes primários da localização. Condicionantes primários, porque, nas suas quatro categorias (serviços de suporte, serviços de provisão, serviços de regulação e serviços culturais), conforme definidas pelo MEA (2005), e em alguma proporção, os SE são utilizados (ou consumidos) direta ou indiretamente pelas indústrias em seus processos de produção.

O uso dos SE pelas indústrias, mesmo em pequena escala, tem impactos na *sustentabilidade ambiental*² dos ecossistemas regionais candidatos à localização e, por consequência, na sustentabilidade econômico-ambiental das relações indústria-ecossistema. O objetivo da inclusão dos SE nos estudos locacionais, portanto, é

² A **sustentabilidade ambiental** consiste na manutenção das funções e componentes dos ecossistemas para assegurar que continuem viáveis – capazes de se auto-reproduzir e se adaptar a alterações, para manter a sua variedade biológica. É também a capacidade que o ambiente natural tem de manter as condições de vida para as pessoas e para os outros seres vivos, tendo em conta a habitabilidade, a beleza do ambiente e a sua função como fonte de energias renováveis.

assegurar que a escolha locacional seja condicionada, em caráter primário, por essa sustentabilidade.

Trata-se, portanto, de dotar o processo de escolha locacional de mecanismos e procedimentos que possibilitem avaliar, comparativamente e em caráter primário, a *sustentabilidade econômico-ambiental* entre *indústrias e regiões candidatas à localização*. Uma rotina preliminar ao processo de escolha locacional tradicional, quer dizer, realizada antes e em separado do processo de seleção tradicional, que tenha por resultado o ordenamento dessa sustentabilidade econômico-ambiental, permite, mediante análise por inspeção, instruir a continuidade do processo decisório de seleção, funcionando como uma espécie de “filtro” anterior ao processo tradicional de seleção. Esse é o espírito de nossa proposta.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral desta tese é apresentar uma abordagem metodológica destinada a incluir os serviços ecossistêmicos nos estudos de localização industrial, com vistas a alinhar esses estudos com o princípio do desenvolvimento sustentável.

O objetivo operacional é que essa inclusão viabilize, aos serviços ecossistêmicos, tal como viabiliza aos demais fatores locacionais, a função de condicionante da escolha locacional, porém, condicionante primário.

Em face de dificuldades de mensuração de variáveis descritivas das relações entre serviços ecossistêmicos e indústrias em termos absolutos, que constitui a práxis normal da valoração clássica de fatores locacionais pelas modelagens determinísticas tradicionais, nossa tese defende uma alternativa metodológica de valoração relativa direta, com base em julgamento de especialistas, propondo uma estrutura analítica Fuzzy-AHP, como ferramenta de mensuração, que contorna essas dificuldades de valoração e provê uma solução adequada para o problema.

1.4 HIPÓTESES

A hipótese central adotada nesta tese é a de que mensurações relativas diretas de variáveis complexas representativas ou descritivas de atributos, propriedades ou comportamentos de objetos envolvidos em processos de decisão, entre os quais se inclui o processo de escolha locacional, se forem realizadas com base em julgamento

comparativo de *experts*, são mais apropriadas para elicitar a dominância relativa de seus valores e, assim, dar suporte à decisão.

Hipóteses como esta, em princípio, só podem ser testadas empiricamente, mediante comprovação de casos recursivos. Neste caso particular, por envolver conceitos topológicos ordinais, a sistemática de raciocínio se apoia em um quadro de argumentação estritamente tautológico. Assim, a assertiva conclusiva é verificada como verdadeira por recursividade, para diferentes variáveis complexas, comprovando a verdade da hipótese (adequação da mensuração relativa para elicitar a dominância dos valores mensurados, com base no julgamento de *experts*). A aceitação da hipótese automaticamente descarta métodos ou processos de topologia cardinal, tais como os que envolvem a modelagem determinística de valoração absoluta, geralmente de concepção e aplicação mais complexa e difícil.

Uma hipótese acessória relevante é que se tais julgamentos comparativos (ou “juízos de valor” comparativos) forem representados ou modelados quantitativamente por conjuntos fuzzy, é possível obter um “proxy” das medidas relativas das variáveis, por vezes até melhor que aquela obtida a partir de razões de medidas absolutas.

O motivo disso é que os conjuntos fuzzy (ou números fuzzy) representativos das expressões linguísticas de comparação paritária (por exemplo, igualmente, razoavelmente mais, extremamente mais etc.), que integram os “valores linguísticos comparativos” das variáveis sob mensuração, não apenas internalizam a imprecisão associada à vagueza e ambiguidade inerentes a essa valoração relativa (uma característica natural da percepção e linguagem humanas), mas também a imprecisão (e/ou incerteza) associada à complexidade da valoração perceptiva absoluta, dado que ambas as valorações são operadas simultaneamente no cérebro do *expert*.

Trata-se de um talento natural que o cérebro humano possui e que as máquinas ainda não são capazes de imitar, e que, segundo ZADEH (1975), deve ser explorado quando se busca uma solução “tolerante à imprecisão, robusta e de baixo custo”. Por ser tolerante a dados imprecisos, a abordagem fuzzy internaliza a imprecisão e/ou incerteza associadas aos valores das variáveis nas funções de pertinência desses valores (números) fuzzy. A complexidade da mensuração absoluta por percepção das variáveis decorre da agregação de processos, funções e interações de toda ordem de uma grande quantidade de fatores que concorrem para a formação da variável e que, na maioria dos casos, são descritos por modelos determinísticos simplificados e, portanto, necessariamente incompletos e imprecisos.

Assim, em resumo, nossa hipótese acessória é que nas decisões locacionais, modelos de localização baseados em metodologias de mensuração relativa são capazes de atingir resultados igualmente válidos e muito provavelmente menos custosos, por se valerem de processos lógico-matemáticos que abrem mão da exatidão de se trabalhar com valores mensuráveis em termos quantitativos, pretensiosamente precisos e absolutos, para trabalhar com valores mensuráveis em termos qualitativos, aproximados e relativos.

Constitui uma premissa adicional desta pesquisa o argumento de que, como as atividades industriais têm como objetivo final aumentar o nível de bem-estar dos seres humanos, parte considerável da demanda da humanidade por serviços ecossistêmicos é suprida indiretamente por meio das indústrias, de modo que são estas últimas os agentes que utilizam diretamente a maioria dos serviços ecossistêmicos. Dessa maneira, pelo expediente da transitividade, fazemos a suposição de que as indústrias são as demandantes de parte do fluxo de serviços ecossistêmicos utilizados em benefício da sociedade.

1.5 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista o atual reconhecimento das limitações às atividades humanas impostas pelo meio ambiente, grande esforço tem sido empreendido para desenvolver modelos que permitam melhor compreender os efeitos dessas atividades sobre o meio ambiente. Em razão da organização econômica mundial se basear quase que exclusivamente na lógica capitalista e nos mecanismos de mercado, para tratar da alocação de recursos escassos, a maior parte dos trabalhos acadêmicos têm se concentrado em metodologias que permitam realizar, com maior precisão, a valoração e contabilização da sustentabilidade, dos serviços ecossistêmicos ou dos efeitos das ações do homem.

Sob essa perspectiva, notamos a clara tentativa de integrar essa nova realidade - a do desenvolvimento sustentável - às formas tradicionais de se abordar determinados problemas. Considerando a visão econômica da sustentabilidade, verificamos um continuado empenho no sentido de reduzir o nível de incerteza a respeito do valor econômico dos recursos naturais e dos serviços ecossistêmicos, isto é, tem se buscado aumentar o nível de informação econômica a respeito desses recursos.

Apesar do reconhecimento da complexidade característica dos sistemas econômico-ecológicos e das limitações da ciência para compreender todas as relações envolvidas, métodos determinísticos de valoração têm encontrado grande aceitação dentro e fora do meio acadêmico, figurando inclusive em forma de plataformas online e softwares abertos. Alternativamente, pouco tem sido feito no sentido de se desenvolver modelos econômicos ou de tomada de decisão que consigam trabalhar com a incerteza e imprecisão na mensuração dos recursos ambientais ao invés de procurar mensurá-las em termos quantitativos absolutos.

A elaboração de modelos econômico-ecológicos que busquem representar as interações entre atividades humanas e ecossistemas precisam dar conta tanto da forma como os ecossistemas contribuem para o bem-estar humano quanto de como as atividades humanas modificam os ecossistemas, considerando os efeitos de retroalimentação dessas interações. Segundo ROMEIRO (2004), para qualquer modelagem econômico-ecológica três são os requisitos necessários:

- i) profundo conhecimento das disciplinas envolvidas (no caso, economia e ecologia);
- ii) identificação e estruturação adequada do problema e ser estudado; e
- iii) entendimento mútuo entre os pesquisadores (economistas e ecólogos) sobre as escalas e os propósitos da ferramenta de modelagem.

Vários modelos econômico-ecológicos foram desenvolvidos com propósitos diversos, desde modelos puramente conceituais, que buscam melhor entender relações entre agentes e atributos de um determinado sistema, até modelos de cunho mais prático e objetivo, que buscam dar subsídios a políticas públicas ou a tomadas de decisão por parte de agentes sociais e econômicos. Cada modelo busca níveis variados de precisão, generalidade e realismo, dependendo do propósito ao qual ele se destina, de forma que a tentativa de maximizar esses três atributos pode vir a resultar em uma ferramenta ineficaz ou altamente custosa (MAY, 2010).

Em face desse cenário, talvez faça todo sentido limitar os esforços de modelagem e o rigor computacional da mensuração dos objetos da pesquisa, tomando por base o que Aristóteles afirma em sua obra "Ética a Nicomano", Livro I, no tocante à questão da precisão:

“[...] é marca de uma mente instruída se satisfazer com o grau de precisão que a natureza do assunto admite, e não buscar exatidão onde apenas uma aproximação da verdade é possível”.

Mesmo com a proliferação de modelos determinísticos de valoração, poucas foram as iniciativas no sentido de incorporar aos modelos tradicionais de localização industrial o princípio do desenvolvimento sustentável, de modo que essa área de estudo se encontra carente de propostas tanto clássicas quanto alternativas, que abordem a questão ambiental.

A presente proposta metodológica, portanto, justifica-se por pretender suprir essa lacuna nos estudos locacionais, incluindo a consideração dos serviços ecossistêmicos como fatores da localização industrial.

Embora já advogada por um grande número de profissionais e acadêmicos, esses serviços ainda não são incluídos na modelagem locacional de maneira explícita. Parte dos problemas relacionados com essa não inclusão deve-se à dificuldade e complexidade de uma valoração absoluta dos custos e benefícios associados com os serviços ecossistêmicos nas relações indústria-ecossistema, que nossa abordagem, inspirada na afirmação de Aristóteles, procura solucionar, com a utilização de uma heurística analítica ao mesmo tempo original e inovadora, apoiada em um processo de valoração relativa direta das variáveis envolvidas, que se vale da quantificação fuzzy de juízos de valor comparativo providos por experts.

1.6 METODOLOGIA DA PESQUISA

Os métodos de pesquisa adotados no presente trabalho foram o exploratório e o explicativo. A pesquisa exploratória, seguindo os preceitos de CERVO e BERVIAN (1996), buscou maior familiarização com o tema pesquisado, explorando uma revisão bibliográfica e documental, com vistas a consolidar o entendimento de conceitos e princípios, aprimorar análises, despertar intuições e, eventualmente, construir hipóteses.

No que concerne ao objeto da pesquisa, a revisão bibliográfica concentrou-se em duas áreas principais, a que trata de questões referentes à sustentabilidade e ao princípio do desenvolvimento sustentável, incluindo o estudo dos ecossistemas naturais e conceitos associados, tais como o de capital natural, serviços ecossistêmicos e biodiversidade, e, é claro, aquela que trata da teoria locacional, particularmente, de questões pertinentes à localização industrial. Quer dizer, parte substancial da pesquisa bibliográfica foi realizada sobre as recentes disciplinas da economia ecológica e da ecologia industrial.

A revisão documental se concentrou na leitura e análises de relatórios das principais conferências e iniciativas internacionais, com destaque para o Relatório Brundtland (1987), a Agenda 21 (1992), e o Relatório-Síntese do Millennium Ecosystem Assessment, de 2005, e em normas e guias institucionais abordando a questão da sustentabilidade e a consideração e inclusão do princípio do desenvolvimento sustentável no planejamento e projetos de implantação, operação e desenvolvimento de atividades produtivas humanas.

A pesquisa explicativa, ainda segundo LAKATOS e MARCONI (2011), é realizada, com vistas a ampliar generalizações, estruturar e definir modelos teóricos. Com efeito, ao analisar o problema em foco, nosso intento foi estender, quer dizer, generalizar as aplicações de técnicas e processos metodológicos clássicos, tais como o Processo de Hierarquia Analítica (AHP – Analytic Hierarchy Process), com os elementos da Teoria dos Conjuntos Fuzzy (ZADEH, 1965), de forma a aproveitar as vantagens relativas de um e outro método, na concepção e aplicação de uma abordagem mais versátil, flexível e de baixo custo.

Em particular, por se tratar de um problema de decisão e tendo em vista as dificuldades em aplicar métodos determinísticos tradicionais de valoração absoluta, optamos pelo estudo da valoração relativa, que tem no AHP uma de suas ferramentas mais versáteis e de fácil emprego (SAATY, 2008).

Para isto, relacionamos conceitos e princípios dos assuntos estudados, visando ao atendimento dos objetivos da tese, dessa forma, obtendo uma visão mais clara do problema examinado e identificando atributos e características do objeto de pesquisa (os serviços ecossistêmicos regionais) em sua relação com as demandas e interações da dinâmica indústria-ecossistema, com a finalidade de definir parâmetros capazes de permitir a comparação entre alternativas locais, por força de dedução lógica.

Como é de conhecimento no meio científico, a pesquisa explicativa demanda maior dedicação de esforços no sentido de refletir e teorizar sobre o objeto de estudo e, dessa forma, obter as sínteses necessárias ao desdobramento dos trabalhos de pesquisa (LAKATOS; MARCONI, 2011). Assim, para efeito dessa demanda, nossa pesquisa fez uma reavaliação das relações econômico-ambientais da dinâmica interativa indústria-ecossistema regional, procurando teorizar sobre o tipo de influência que as variáveis explicativas dessas relações exerciam sobre o processo de escolha locacional, selecionando aquelas que estabeleciam o caráter condicional da relação e explicavam o porquê e o como dessa influência.

Dessa forma, embora um exemplo ilustrativo pudesse ser apresentado como uma maneira de deixar mais claro o procedimento proposto pela nossa metodologia, exigiria um esforço no sentido de caracterizar e modelar, em termos relativos fuzzy, as variáveis envolvidas na relação ecossistema e sistemas econômicos. Como esse relacionamento é particular de cada tipo de indústria, isso, por si só, já constitui uma pesquisa específica o que foge ao escopo desta tese. O relacionamento desenvolvido para o exemplo seria meramente fictício, muito provavelmente desenvolvido mediante uma indução para trás, desse caso particular, e sua utilidade seria exclusivamente para consolidar aspectos práticos de procedimentos da propostas que já se encontram justificados.

1.7 ORGANIZAÇÃO DA TESE

O restante desta tese está organizado da seguinte maneira. No capítulo 2, fazemos uma revisão da literatura pertinente, iniciando com uma discussão sobre sustentabilidade das atividades humanas e desenvolvimento sustentável, considerações sobre a disciplina da economia ecológica e sua preocupação com a modelagem e valoração dos serviços ecossistêmicos. Em seguida abordamos os fatores locacionais e as contribuições dos estudos teóricos e empíricos de localização, oferecendo uma visão sobre os processos de tomada de decisão subjacentes a essas teorias, concluindo essa revisão com uma comparação e algumas considerações finais e uma breve abordagem sobre fatores de localização internacionais. A seção final deste capítulo é dedicada à descrição do conceito de serviços ecossistêmicos, tendo como principal fonte o relatório síntese do Millennium Ecosystem Assessment (2005).

O capítulo 3 aborda a questão da mensuração dos serviços ecossistêmicos, começando com o método do Valor Econômico Total (VET), seguida de uma seção sobre a valoração econômica dos serviços ecossistêmicos, que inclui, em subseções específicas, considerações quanto ao recálculo dos valores marginais, quanto à incerteza, ignorância e não-familiaridade, e quanto ao tempo, distribuição e valoração associadas. A seção final deste capítulo é dedicada à apresentação de metodologias e processos de mensuração relativa de objetos e variáveis linguísticas, terminando com uma subseção sobre mensuração relativa de serviços ecossistêmicos e uma última destinada a definir as variáveis, valores linguísticos e escala de correspondência numérico-conceitual de suporte à proposta metodológica da tese.

No capítulo 4, apresenta-se a abordagem metodológica *fuzzy*-hierárquica, objeto de nossa proposta. Inicia-se esse capítulo com uma definição e caracterização do problema, acrescida de sua declaração formal. Em seguida, faz-se a descrição geral da abordagem, explicando a estrutura conceitual e analítica que lhe serve de suporte. Nessa descrição, identificam-se os diferentes componentes da estrutura e respectivas contribuições para os objetivos da tese. Uma seção específica é dedicada ao detalhamento das etapas da abordagem e do envolvimento desses componentes no processo de localização, incluindo esclarecimentos sobre conceitos e princípios do referencial teórico, premissas adotadas, modelos e processos explorados, rotinas e procedimentos computacionais utilizados, incluindo, onde julgado necessário, a argumentação pertinente com respectivas justificativas.

Finalmente, o capítulo 5 fecha a tese com uma síntese dos trabalhos de pesquisa e uma descrição das conclusões alcançadas, seguida de comentários sobre as limitações e apresentação de sugestões para pesquisa futura.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, fazemos uma revisão da literatura pertinente, iniciando com uma discussão sobre sustentabilidade das atividades humanas e desenvolvimento sustentável, considerações sobre a disciplina da economia ecológica ressaltando sua importância como fundamentação teórica do princípio da sustentabilidade e sua preocupação com a modelagem e valoração dos serviços ecossistêmicos. Em seguida abordamos os fatores locais e as contribuições dos estudos teóricos e empíricos de localização, incluindo considerações sobre fatores de localização internacionais, oferecendo uma visão sobre os processos de tomada de decisão subjacentes a essas teorias. A seção final deste capítulo é dedicada à descrição do conceito de serviços ecossistêmicos, tendo como principal fonte o relatório síntese do Millennium Ecosystem Assessment (2005), e uma argumentação sobre a sua consideração como fator locacional.

A seção a seguir procura melhor esclarecer essas questões à luz do conceito de sustentabilidade.

2.1 SUSTENTABILIDADE DAS ATIVIDADES PRODUTIVAS

A partir da segunda metade do século XX considerações a respeito da influência das atividades humanas sobre o meio ambiente ganharam peso no meio acadêmico. Vários campos da ciência buscaram aprofundar os estudos sobre as inter-relações entre as atividades humanas e os ecossistemas, em particular a ecologia e a economia. Dentro deste contexto temos o nascimento de uma nova corrente teórica dentro das ciências econômicas, a Economia Ecológica, que se consolida com o trabalho seminal de Nicholas Georgescu-Roegen, “*The Entropy Law and the Economic Process*” publicado em 1971 (GEORGESCU-ROEGEN, 1971), que vê a economia conectada e sustentada por um fluxo de energia, materiais e serviços ecossistêmicos, apontando para a importância econômica das leis de conservação de massa e energia, e a lei de entropia.

A Economia Ecológica tem sido utilizada como arcabouço teórico de muitos estudos que buscam integrar atividades econômicas com a dinâmica ecossistêmica. Nos estudos de engenharia e economia industrial a economia ecológica teve grande influência no desenvolvimento da disciplina de ecologia industrial, que se preocupa

fundamentalmente com os usos e fluxos de materiais e de energia locais, regionais e globais nos produtos, processos, setores industriais e economias (AYRES, 1989; GRAEDEL; ALLENBY, 1995).

A economia ecológica e a ecologia industrial trazem, assim, um novo entendimento do sistema econômico e do sistema produtivo, no qual as atividades do ser humano, tanto no nível micro como no macro, são reconhecidas como inseridas em um sistema maior, respectivamente na região ou na Terra como um todo e, desta forma, afetam e são afetadas pelo meio ambiente. Esta afetação envolve, em outras palavras, benefícios e impactos nas funções da biodiversidade e nos serviços ecossistêmicos associados.

Esse esforço único de sistematização das informações relativas aos serviços ecossistêmicos e sua contribuição para o bem-estar humano demonstra o fato de que a comunidade internacional reconhece a necessidade e a urgência de se tomarem medidas inovadoras no sentido de proteger os ecossistemas, dosando a sua preservação com os objetivos de desenvolvimento econômico.

Um aspecto especialmente desafiador da integração entre os serviços ecossistêmicos e as atividades produtivas é que a interpretação de informações ecológicas coletadas de uma escala espaço-temporal não significa necessariamente que ela possa ser aplicada em outra. Em razão da complexidade envolvida na interpretação das informações disponíveis e mesmo da limitação dos conhecimentos científicos disponíveis, não é possível prever as consequências no tempo da utilização do capital natural que se pretende valorar, isto é, “não é possível saber as consequências no tempo da degradação de uma dada função ecossistêmica” (ANDRADE; ROMEIRO, 2009, pp 12).

Fica clara a dificuldade de integração entre sistemas ecológicos e econômicos, de modo que o desenvolvimento de qualquer modelo econômico-ecológico que busque tratar o fluxo e estoque de bens e serviços ecossistêmicos, sob a perspectiva ou não da valoração econômica, exigirá um esforço integrado multidisciplinar. Esse esforço integrado multidisciplinar abrange, portanto, duas áreas centrais, a das relações humanas e a das relações ecossistêmicas ou ecológicas, abordando três importantes subsistemas: os ecossistemas, a economia e a sociedade. Para COSTANZA et al. (1993), faz-se necessário o desenvolvimento de uma abordagem econômica ecológica que leve em conta esses três subsistemas e que consiga considerar a dinâmica de mudanças dos valores dos serviços ecossistêmicos em função da interdependência entre

as diferentes partes dos modelos e suas diferentes escalas temporais e espaciais.

Mais de vinte anos se passaram desde que COSTANZA et al. (op. cit.) publicaram esse trabalho e, no entanto, ainda hoje essa necessidade não foi totalmente satisfeita. O avanço das abordagens, em que pesem o esforço integrado interdisciplinar e consequentes melhorias de entendimento e de tratamento analítico do fluxo e estoque de bens e serviços ecossistêmicos ainda enfrenta problemas de incorporação dos efeitos espaciais e temporais, é lento e mantém a tendência de valorar os fatores envolvidos em termos determinísticos absolutos.

A modelagem clássica de localização industrial, como é largamente conhecida, busca dar soluções a um problema que é eminentemente de condicionalidade espacial, no qual o relacionamento entre atividades produtivas e o ambiente é o principal foco de análise. Tradicionalmente esse relacionamento tem sido considerado uma relação de oferta e demanda de fatores locacionais reconhecidos como críticos para a implantação e funcionamento da indústria.

Ao se estabelecer as regiões como ofertantes e as indústrias como demandantes de fatores locacionais, o problema de condicionalidade espacial torna-se bastante claro, a localização de atividades produtivas está condicionada ao nível de oferta de fatores locacionais por regiões alternativas. Está no cerne do problema, portanto, questões sobre como e com que intensidade o espaço geográfico exerce influências sobre as atividades econômicas (MARTINS, 2010).

O entendimento de que não apenas as regiões exercem influência sobre as atividades econômicas, mas estas também exercem influência sobre as regiões, muitas das vezes condicionando sua localização em tais regiões, expandiu o estudo das teorias de localização, aproximando-o dos estudos de economia regional e de geografia econômica. A localização de atividades produtivas como política de desenvolvimento regional, isto é, como indutoras do desenvolvimento de uma região, deixa clara a influência que as atividades econômicas exercem sobre os espaços geográficos.

Dentro dos estudos de localização, apesar da questão ambiental não ser algo completamente novo, a dificuldade dos modelos de tratarem o relacionamento entre atividades produtivas e ecossistemas, em particular a adequação dos recursos ambientais à categoria de fatores locacionais, tem se mostrado uma das grandes limitações dos modelos desenvolvidos. A consideração desses fatores locacionais, de certa forma, já inclui alguma preocupação sobre a interação da indústria com os ecossistemas naturais, mas apenas na medida em que os ecossistemas beneficiam a produção, como, por

exemplo, ao considerar matérias primas naturais, “clima” e condições topográficas (“terra”). Quer dizer, a rigor, a modelagem ainda se prendia à concepção ou entendimento da separação entre o sistema produtivo e o meio ambiente, sendo este último apenas considerado com uma fonte de matérias primas, características climáticas favoráveis e depósito de dejetos da produção.

O conceito de desenvolvimento sustentável ainda carece de uma definição precisa, tendo no Relatório Brundtland, apresentado em 1987 pela primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, responsável por chefiar a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), a sua definição mais empregada que o estabelece como “aquele que satisfaz as necessidades atuais sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas necessidades”.

Apesar das dificuldades de se definir com clareza o que se entende por desenvolvimento sustentável, pode-se dizer que a sua importância como um dos princípios norteadores das atividades humanas encontra-se plenamente consolidada, configurando-se, em grande medida, como o principal ponto de convergência das ciências que buscam, dentre outras coisas, compreender a interação do ser humano com o meio ambiente, assim como os seus efeitos.

A componente desenvolvimento, do desenvolvimento sustentável, apresenta um caráter eminentemente antropocêntrico, sendo caracterizado, muitas vezes, como um conceito multidimensional. Apesar da dimensão econômica ser comumente a de maior destaque, em função do chamado efeito cascata (SACHS, 2004), e de certo modo a mais relevante para esse trabalho, ela não pode ser estudada isoladamente, estando interconectada a pelo menos três outras principais áreas: ecologia, política/social e cultural. SACHS (2002), no entanto, chama a atenção para outras quatro áreas: espacial, psicológica, política nacional e internacional, levantando outras questões relevantes de interação do ser humano com seu meio, com a sociedade e consigo mesmo.

A importância da dimensão econômica presente na conceituação de desenvolvimento sustentável fica clara, uma vez que se levanta a questão da satisfação de necessidades humanas (em última instância). Numa visão economicista o problema levantado consiste na alocação intertemporal de recursos naturais escassos e finitos (levando-se em conta como relevante o tempo de vida da humanidade no planeta), o que pressupõe a sua utilização de forma racional e, portanto, a definição de limites para seu uso (MAY, 2010). O desenvolvimento sustentável tem como um de seus pilares justamente essa escala de utilização que, impulsionada pelo acelerado processo de

industrialização e urbanização vivenciado por grande parte das economias mundiais, atingiu níveis extremamente elevados.

Essa nova escala inédita das atividades humanas, baseada grandemente no uso intensivo de combustíveis fósseis, além de causar desequilíbrios ambientais sem precedentes, pressionou fortemente a base de recursos naturais do planeta. O meio acadêmico passou, assim, a dedicar parte considerável de seus esforços no resgate e fortalecimento das teorias que pudessem melhorar o entendimento desse problema.

Na próxima seção, esta questão é melhor apreciada da perspectiva da disciplina da economia ecológica

2.1.1 ECONOMIA ECOLÓGICA

A Economia Ecológica tem sua origem nos trabalhos de Nicholas GEORGESCU-ROEGEN (1971), DALY(1973), BOULDING (1978) e AYRES e KNEESE (1969), muito embora esta expressão não tenha sido utilizada por eles anteriormente. A disciplina institucionalizou-se em 1988, com o surgimento da sociedade internacional de economia ecológica, juntamente com o periódico *Ecological Economics*. O campo de pesquisa básico concentra-se na verificação do quanto inserida na natureza está a economia humana, destacando a importância de analisar e verificar a relevância dos processos de transformação química, física e biológica nos processos econômicos.

CECHIN e VEIGA (2010) levantam alguns tópicos cruciais que fundamentam a economia ecológica. Dentre eles, destacam-se o conceito de sistemas, de metabolismo voltado para o aspecto socioambiental, da associação da termodinâmica à economia, do próprio sistema produtivo e do ceticismo concernente a esta temática.

Em relação ao conceito de sistemas, esta vertente observa a economia como um subsistema aberto de um sistema finito, o qual é aberto para a entrada de energia solar e fechado para a saída de materiais, sendo a “macroeconomia parte de um ecossistema que a envolve e a sustenta, diferentemente da economia convencional que delimita a natureza como ramo da macroeconomia” (CECHIN; VEIGA, 2010, p. 34).. Há na Economia Ecológica três tipos de sistemas: isolados, abertos e fechados

Sistemas isolados são os que não envolvem trocas de energia nem matéria com seu exterior. O único exemplo razoável é o do próprio universo. No extremo oposto estão os sistemas abertos, que regularmente trocam matéria e energia com seu meio

ambiente, como é o caso da economia. E os sistemas fechados só importam e exportam energia, mas não matéria, como é o caso do planeta Terra.

CAVALCANTI (2010) aponta falhas na visão econômica da economia tradicional, justamente por ela não considerar a existência de conexão entre o sistema ecológico e as atividades de consumo e produção, fato amplamente evidenciado nos manuais de introdução à disciplina, conforme reforça CECHIN e VEIGA (2010), sobre o reducionismo assumido pela economia convencional concernente ao diagrama do fluxo circular da renda.

A análise apresentada pelo diagrama do fluxo circular da renda, apesar de extremamente simples, continua sendo a base de partida para o entendimento das relações entre os agentes e de como um sistema econômico se estrutura. Ainda que sob uma ótica ampliada, com a inclusão de novos agentes e variáveis no modelo, as especificidades sobre os efeitos das ações destes agentes sobre o ambiente não entram em pauta adequadamente, já que o meio ambiente é visto unicamente como uma fonte de matérias-primas e depositário dos rejeitos do processo produtivo.

Além do fluxo real e monetário circulante no sistema econômico, há também o fluxo de matéria degradada e energia dissipada inerente à transformação destes recursos naturais em bens e serviços, fator que afeta sobremaneira o estado geral do ambiente sem que haja devido cômputo deste impacto no sistema de preços (KUWAHARA, 2014).

Um modelo cujas simplificações não interfiram fortemente na representação dos fluxos naturais do ecossistema e seja capaz de permitir o controle do princípio da resiliência no ambiente tornou-se fundamental. CECHIN (2008) informa sobre alguns serviços ambientais que não têm valor monetário, mas são fundamentais para a vida, tais como a regulação do clima, a manutenção dos ciclos biogeoquímicos, a reciclagem de nutrientes, a resiliência ecossistêmica, entre outros.

Quando se fere o princípio da resiliência, nota-se que os recursos ambientais se esgotam, por ter sido atingido o limite de capacidade de regeneração do sistema, fato originado pelo uso intensivo de matéria e energia de forma incompatível com a sustentabilidade da atividade econômica. Isto faz com que haja um desvio considerável no comportamento médio dos ecossistemas (ROMEIRO, 2010).

Com base nestas insustentabilidades, a Economia Ecológica absorveu três visões básicas a respeito das problemáticas ambientais e sobre o rumo do processo econômico, são elas: a “economia do astronauta”, ligada ao inglês radicado nos Estados Unidos,

Kenneth Boulding (1910-1993); o “decrescimento”, elaborado pelo matemático romeno radicado nos Estados Unidos, Nicholas Georgescu-Roegen (1906-1994); e a “condição estacionária”, abordada pelo mais influente economista ecológico da atualidade, Herman E. Daly (1938-) (CECHIN; VEIGA, 2010).

O trabalho desses três cientistas evidencia que a preocupação fundamental da economia ecológica não está voltada às questões de “alocação de recursos” e de “repartição de renda” - ainda que estas dimensões tenham sua importância e tenham concentrado os maiores esforços do pensamento econômico até os dias atuais - mas à questão da escala dos sistemas econômicos. Quer dizer, nesta ótica, a relação direta entre o tamanho físico da economia e do ecossistema tem que estar em uma escala ótima para que o subsistema econômico não se torne antieconômico com o seu crescimento e não deixe de gerar o que mais se almeja no estudo econômico, o bem-estar social.

A questão da valoração econômica é um ponto crucial no funcionamento das economias de mercado. Sem a possibilidade de se chegar a um valor dos recursos disponíveis, o problema de alocação torna-se muito difícil, gerando na maioria das vezes ineficiências. Apesar de partir de visões de mundo diferentes, a economia ecológica guarda conceitos comuns à economia tradicional, sendo o problema da valoração um deles, e talvez, um dos mais difíceis de solucionar.

Para a abordagem econômico-ecológica a dificuldade de alocação dos recursos adquire uma outra dimensão. A dinâmica ecológica e a complexidade inerente ao funcionamento dos ecossistemas, resultado de interações entre organismos vivos e a totalidade dos fatores físicos que formam o meio ambiente, representam um desafio adicional significativo para o equacionamento do problema da valoração econômica.

A literatura econômica e ambiental é extensa em propostas de contabilização e valoração dos recursos naturais e dos ecossistemas, como será apresentado ao longo do trabalho. Apesar de algumas propostas serem utilizadas com algum sucesso, a natureza evolutiva, não linear, dos milhares de elementos que compõem os ecossistemas, cada um possuindo variados graus de complexidade, torna praticamente inviável a elaboração de qualquer modelo determinístico, minimamente genérico, baseado no conhecimento de cada componente individualmente.

Dentre as várias características que conferem complexidade a análise dos ecossistemas, duas apresentam importância crucial para a integração entre ecossistemas, sistema econômico e bem-estar humano: a variabilidade e a resiliência (MAY, 2010). A

variabilidade dos ecossistemas consiste na mudança dos estoques de fluxos ao longo do tempo devido, principalmente, a fatores estocásticos, intrínsecos e extrínsecos, enquanto a resiliência pode ser considerada como a habilidade de os ecossistemas retornarem ao seu estado natural após um evento de perturbação. As atividades econômicas só são sustentáveis quando os ecossistemas que as alicerçam são resilientes.

Uma das concepções teóricas formuladas pela corrente econômica-ecológica, que estabeleceu uma relação entre os ecossistemas e o sistema econômico, foi a de capital natural, e inclui os sistemas ecológicos, depósitos minerais e outros aspectos do mundo natural, que equivale ao que a corrente econômica tradicional chama de 'terra'. Esse conceito permitiu avançar sobre a questão da valoração econômica na medida em que o valor dos ecossistemas e recursos naturais, agora capital natural, passou a se relacionar ao fluxo de bens e serviços que eles são capazes de oferecer às sociedades humanas de maneira sustentável.

O capital natural é formado por um conjunto de funções ecossistêmicas, as quais podem ser definidas como os processos e componentes biológicos, geoquímicos e físicos que estão presentes em um ecossistema (De GROOT et al., 2002). Colocado de uma forma mais simples, as funções ecossistêmicas dizem respeito a capacidade de processos e componentes naturais proverem bens e serviços para satisfazer as necessidades humanas. Os serviços ecossistêmicos, por sua vez, são definidos, segundo DAILY (1997), como as condições e processos através das quais os ecossistemas naturais e as espécies que os constituem, sustentam e tornam possível a vida humana. Numa visão mais econômica, os serviços ecossistêmicos quando combinados a outros capitais disponíveis ao homem, na definição de COSTANZA (2006): capital humano, social e manufaturado, geram um fluxo de bem-estar aos seres humanos.

O conceito de serviços ecossistêmicos passou, assim, a desempenhar um papel fundamental dentro do arcabouço econômico-ecológico, tendo em vista o reconhecimento dos fluxos de serviços gerados pelos ecossistemas para o bem-estar humano e para o suporte da vida no planeta. Apesar de ser um conceito já abordado e discutido desde a década de 1970, tanto por economistas quanto por ecólogos, sua consolidação e popularização ocorreu com o lançamento, em 2001, da Avaliação Ecosistêmica do Milênio (MEA 2001), um extenso programa de pesquisas sobre mudanças ambientais com o apoio das Nações Unidas e de diversos governos e instituições internacionais, que teve como objetivo fornecer bases científicas para a

gestão sustentável dos ecossistemas, permitindo a provisão contínua dos serviços por eles gerados.

Esse esforço único de sistematização das informações relativas aos serviços ecossistêmicos e sua contribuição para o bem-estar humano demonstra o fato de que a comunidade internacional reconhece a necessidade e a urgência de se tomarem medidas inovadoras no sentido de proteger os ecossistemas, dosando a sua preservação com os objetivos de desenvolvimento econômico.

Sob uma perspectiva estritamente econômica, ao reduzir os ecossistemas a um estoque de capital natural, seu valor poderia ser estimado pelo valor presente do fluxo de renda futura proporcionado pelos serviços ecossistêmicos a ele relacionado. No entanto, um aspecto especialmente desafiador deste processo é que a interpretação de informações ecológicas coletadas de uma escala espaço-temporal não significa necessariamente que ela possa ser aplicada em outra. Em razão da complexidade envolvida na interpretação das informações disponíveis e mesmo da limitação dos conhecimentos científicos disponíveis, não é possível prever as consequências no tempo da utilização do capital natural que se pretende valorar, isto é, “não é possível saber as consequências no tempo da degradação de uma dada função ecossistêmica” (ANDRADE; ROMEIRO, 2009, pp 12).

Fica clara a dificuldade de integração entre sistemas ecológicos e econômicos, de modo que o desenvolvimento de qualquer modelo econômico-ecológico que busque tratar o fluxo e estoque de bens e serviços ecossistêmicos, sob a perspectiva ou não da valoração econômica, exigirá um esforço integrado multidisciplinar. Esse esforço integrado multidisciplinar abrange, portanto, duas áreas centrais, a das relações humanas e a das relações ecossistêmicas ou ecológicas, abordando três importantes subsistemas: os ecossistemas, a economia e a sociedade. Para COSTANZA et al. (1993), faz-se necessário o desenvolvimento de uma abordagem econômica ecológica que leve em conta esses três subsistemas e que consiga considerar a dinâmica de mudanças dos valores dos serviços ecossistêmicos em função da interdependência entre as diferentes partes dos modelos e suas diferentes escalas temporais e espaciais.

A elaboração de modelos econômicos-ecológicos que busquem representar as interações entre atividades humanas e ecossistemas precisam dar conta tanto da forma como os ecossistemas contribuem para o bem-estar humano quanto de como as atividades humanas modificam os ecossistemas, considerando os efeitos de feedback dessas interações. Segundo ROMEIRO (2004), para qualquer modelagem econômico-

ecológica três são os requisitos necessários: i) profundo conhecimento das disciplinas envolvidas (no caso, economia e ecologia); ii) identificação e estruturação adequada do problema e ser estudado, e; iii) entendimento mútuo entre os pesquisadores (economistas e ecólogos) sobre as escalas e os propósitos da ferramenta de modelagem.

Vários modelos econômico-ecológicos foram desenvolvidos com propósitos diversos, desde modelos puramente conceituais, que buscam melhor entender relações entre os agentes e atributos de um determinado sistema, até modelos de cunho mais prático e objetivo, que buscam dar subsídios a políticas públicas ou a tomada de decisão por parte de agentes sociais e econômicos. Cada modelo irá buscar níveis variados de precisão, generalidade e realismo, dependendo do propósito ao qual ele se destina, de forma que a tentativa de maximizar esses três atributos pode vir a resultar em uma ferramenta ineficaz ou altamente custosa (MAY, 2010).

2.2 FATORES LOCACIONAIS

A modelagem clássica de localização industrial, como é largamente conhecida, busca dar soluções a um problema que é eminentemente de condicionalidade espacial, no qual o relacionamento entre atividades produtivas e o ambiente é o principal foco de análise. Tradicionalmente esse relacionamento tem sido considerado uma relação de oferta e demanda de fatores locacionais reconhecidos como críticos para a implantação e funcionamento da indústria.

Ao se estabelecer as regiões como ofertantes e as indústrias como demandantes de fatores locacionais, o problema de condicionalidade espacial torna-se bastante claro, a localização de atividades produtivas está condicionada ao nível de oferta de fatores locacionais por possíveis regiões. Está no cerne do problema, portanto, questões sobre como e com que intensidade o espaço geográfico exerce influências sobre as atividades econômicas (MARTINS, 2010).

Historicamente, o foco da pesquisa de localização industrial tem sido sobre as variáveis que influenciam a escolha do local para novas empresas. A importância das variáveis é demonstrada pelo seu uso extensivo nos estudos envolvendo a seleção de sítio, independente de filiação teórica. As diversas correntes teóricas repetidamente enfatizam a importância dos fatores críticos de demanda (localização dos concorrentes, proximidade aos mercados de consumo, etc.) e fatores de custo (terra, mão-de-obra,

materiais, transporte etc.), apesar de divergirem consideravelmente sobre a importância relativa desses fatores locais e sobre as metodologias de tomada de decisão.

Em um extenso levantamento realizado por BADRI (2007) sobre as principais contribuições teóricas e empíricas aos estudos de localização, fica clara a importância que se atribuiu aos fatores locais na tomada de decisão, sendo possível, a partir desse levantamento, identificar 205 fatores locais considerados críticos para a localização, classificados em 14 grupos. O estudo aponta principalmente para as contribuições teóricas das correntes neoclássicas, no entanto, é possível identificar a contribuição das correntes gerencialista, institucional e evolucionária no levantamento dos trabalhos empíricos e em particular no reconhecimento dos fatores locais de ordem internacional.

O estudo desenvolvido por BADRI (op. cit.) aponta ainda para a necessidade de se desenvolver maneiras de se mensurar a importância dos fatores locais identificados na tomada de decisão local. Tais medidas podem vir a ser úteis tanto para pesquisadores quanto para tomadores de decisões corporativas. As medidas também podem ser usadas para desenvolver modelos teóricos e de decisão para aprofundar a pesquisa na área e aumentar a compreensão do próprio processo de decisão. Com uma melhor compreensão do processo, sistemas de apoio à decisão podem ser desenvolvidos para incorporar tais modelos de decisão.

A seguir apresentamos uma síntese do levantamento feito por BADRI (op. cit.), destacando as contribuições dos principais estudos teóricos e empíricos para a definição dos principais fatores determinantes da localização. Ao final apresentamos a Tabela 1 (página 34) que sumariza os fatores críticos discutidos pelos autores pesquisados, além das conclusões do trabalho e uma breve crítica.

2.2.1 A CONTRIBUIÇÃO DOS ESTUDOS TEÓRICOS DE LOCALIZAÇÃO

Os trabalhos analíticos anteriores a 1960 estavam preocupados em interpretar a localização de plantas individuais ou indústrias com base no arcabouço conceitual fornecido pela teoria econômica neoclássica. O objetivo dessa abordagem teórica era a busca pela localização ótima em um determinado período de tempo, e foi muito apropriada para a análise de localização de indústrias básicas e pesadas como as de ferro e aço. Não por outra razão esses estudos receberam a denominação de abordagem neoclássica.

THÜNEN (1875) desenvolveu o quadro geral para a análise econômica da Teoria da Localização utilizando a abordagem de "menor custo" para a localização. LAUNHARDT (1885) demonstrou a importância dos custos de transporte, explicando as diferenças na localização da indústria em função de variações nos fatores de custo e demanda de locais alternativos. WEBER (1909) desenvolveu uma teoria abrangente em 1909 na qual três fatores locais determinantes são considerados: custos de transporte, custos de mão-de-obra, e o que Weber chamou de forças de aglomeração (WEBER, 1929). Desde a sua publicação a teoria de Weber tem sido alvo de diversas revisões. Em particular, a maioria dos teóricos subsequentes tem absorvido ensinamentos do arcabouço weberiano ao formularem suas próprias teorias.

Em 1929, HOTELLING (1929) produziu um artigo pioneiro que estabeleceu as fundações do que ficou conhecido como interdependência local, formulando que as empresas tenderiam a localizar-se em direção ao centro da área de mercado em vez de se dispersar. LERNER e SINGAR (1937) contestaram a crença de HOTELLING (1929) de que os produtores tenderão sempre a se agrupar, principalmente em razão de três fatores locais determinantes: o tamanho do mercado, o custo de transporte, e o preço que os consumidores estão dispostos a pagar por uma mercadoria entregue.

Ainda com base nos estudos de HOTELLING (op. cit.) outros autores, dentre os quais BALVERS e SZERB (1996), fizeram grandes contribuições ao introduzirem na análise variáveis inerentes ao ambiente econômico como a incerteza e o risco a ela associado. SMITHIES (1941) e CHAMBERLAIN (1946) expandiram a compreensão da interdependência entre empresas como condicionante da localização, enquanto OHLIN (1935, 1952), em cima da mesma temática, buscou integrar as teorias do comércio regional e as teorias de localização. Em resumo, esses escritores, trabalhando de forma independente, descobriram três influências gerais, que têm um grande efeito sobre a localização da planta, a curva de custo marginal, o tipo de curva de demanda e as taxas de remessa.

Em 1954, LÖSCH (1954) identificou a maximização dos lucros como fator determinante para a localização, tendo apresentado sua teoria do lucro máximo já em 1939 (LÖSCH, 1939), estabelecendo, assim, que as decisões de localização de uma empresa podem ser determinadas a partir de suas curvas de custo e da demanda de mercado. Em 1956, GREENHUT (1956) apresentou uma teoria geral da localização da planta. Seu propósito era integrar a teoria da localização com a prática e formular uma teoria de localização geral envolvendo fatores de custo e demanda. No mesmo período,

ISARD (1956) publicou “Location and Space Economy”, em uma tentativa de desenvolver princípios para uma teoria geral da localização, fundamentado principalmente nos trabalhos de Von Thünen, Lösch e Weber.

A principal característica da abordagem neoclássica é a utilização de modelos matemáticos para explicar a localização de firmas. Os fatores locais de maior relevância são em sua maioria relacionados a custos (i.e. custo da mão-de-obra, de transportes, incentivos fiscais, etc.), dada sua tratabilidade do ponto de vista quantitativo, em que se pode definir, inclusive, uma relação direta com o espaço. A decisão de localização fica, portanto, atrelada as margens de lucratividade relacionada à disponibilidade dos fatores de produção associada a uma determinada localidade (MARTINS, 2010).

2.2.2 A CONTRIBUIÇÃO DOS ESTUDOS EMPÍRICOS DE LOCALIZAÇÃO

As abordagens alternativas a corrente neoclássica, por sua natureza histórico/empírico-dedutiva, característica principalmente das abordagens institucionalista e evolucionária, sempre estiveram associadas a um maior número de estudos empíricos. A partir desses trabalhos muitas variáveis de caráter não-econômico passaram a ser consideradas como importantes fatores locais .

Entre 1970 e 1980, houve um crescente interesse pelas instituições culturais da sociedade, sistema de valores e inovação. Esses novos padrões foram incorporados a uma nova abordagem, a abordagem institucional, que encara o comportamento das firmas como sendo resultado de suas negociações com uma variedade de agentes locais e nacionais.

A abordagem mais recente, que vem sendo desenvolvida desde o início de 1990, é uma teoria de tomada de decisão, embasada em princípios de economia evolucionária. Essa abordagem é baseada em comportamentos rotineiros no lugar de escolhas racionais. Ao invés de descrever o comportamento de indivíduos ou firmas, como se eles otimizassem uma função, dada algumas restrições, economistas evolucionistas partem do pressuposto de que a maior parte do comportamento humano segue rotinas (BOSCHMA; FRENKEN, 2006).

A abordagem comportamental dá ênfase a fatores menos concretos, como considerações próprias de cada firma. Por exemplo, ao se decidir por uma nova localização, as firmas tendem a escolher regiões mais próximas, uma vez que a falta de

conhecimento das características de áreas mais distantes (incompletude de informação) as tornam menos suscetíveis de serem escolhidas. Além disso, as teorias institucionais e evolucionistas enfatizam que o comportamento humano é guiado por rotina e instituições, que fornecem a base para a tomada de decisões em um ambiente de incerteza.

De acordo com a abordagem institucional, fatores não materiais como confiança e capital social, desempenham um papel em todos os níveis da economia. A decisão por localização e realocação das firmas é o resultado de interação da firma com fornecedores, governos, sindicatos trabalhistas, e outras instituições. Como defendido pela economia evolucionista, firmas relutam em mudar sua localização porque elas competem com base em seus conhecimentos, rotinas e competências que são construídas com o tempo (e em um ambiente em particular) e que são difíceis de serem copiadas por possíveis concorrentes (BOSCHMA; FRENKEN, 2004).

A revisão de estudos empíricos de localização industrial feita por BADRI (2007) revela alguns dos fatores mais influentes na decisão de localizar plantas industriais em locais particulares (LUTTRELL, 1962; SMITH, 1966; KARASKA, 1969; CAMERON; CLARK, 1966; CARNOY, 1972; KEEBLE, 1976; DORWARD, 1979; COBB, 1982; FORBES, 1982; LLOYD; MASON, 1984; WALTERS; WHEELER, 1984; BRUSCO, 1985; MASON; HARRISON, 1985; MAZZAROL; CHOO, 2003; WOOD; PARR, 2005). Os fatores de localização industrial citados a maior parte das vezes são: a distância ao mercado, a distância aos materiais, as taxas salariais prevalentes (custos trabalhistas), a produtividade dos trabalhadores, a disponibilidade do trabalho, a adequação do transporte, a proximidade dos produtores, o clima industrial, custos de transporte, disponibilidade de terra para futuras ampliações de locais, custo e disponibilidade de serviços públicos, clima político para os negócios, crescimento populacional e níveis de renda dos consumidores. Esses fatores podem ser classificados em três categorias básicas: mercados, trabalho e ambiente comunitário.

Ainda segundo BADRI (op. cit.) alguns novos fatores de localização industrial surgiram que valem a pena considerar, listados a seguir. Esses fatores incluem proximidade com escolas, faculdades e universidades (AUDRETSCH; STEPHEN, 1996), interação entre localização e gosto pelo acesso remoto (DEGRYSE, 1996), tipo de ligação entre as indústrias verticalmente ligadas (VENABLES, 1996; CAROD, 2005), características das tendências da população (DREZNER; DREZNER, 1996), mudanças na localização dos usuários (HANSEN; ROBERTS, 1996), quantidade Do

potencial de desenvolvimento esperado na região (WOJAN; PULVER, 1995), o nível de salários (MANDERS, 1995, MA, 2006), as mudanças nas taxas de transporte (MAI; HWANG, 1994; MAZZAROL; CHOO, 2003), localização de outros concorrentes (SERRA; REVELLE, 1994, CIESLIK, 2005, SIEBERT, 2006), tipos e disponibilidade de recursos (VAUGHN, 1994, CHAN, 2005), efeito das mudanças na demanda local (JUSTMAN, 1994; FIGUEIREDO et al., 2002), e leis sobre resíduos e poluição perigosos (GROOTHUIS; MILLER, 1994).

2.2.3 FATORES DE LOCALIZAÇÃO INTERNACIONAL

O rápido crescimento econômico dos anos 60, que resultou em um excepcional volume de investimentos em novos estabelecimentos industriais na Europa ocidental, América do Norte e Japão, provocou um aumento no interesse tanto do meio acadêmico como dos realizadores de políticas industriais pelas práticas de decisão de localização industrial. O reconhecimento por alguns autores da existência de fatores internacionais de localização está de certa forma associada a influência das correntes teóricas gerencialista, institucional e evolucionária nos estudos de localização.

A literatura sobre localização industrial num contexto internacional divide-se em duas categorias: estudos empíricos e trabalhos que desenvolvem conceitos teóricos. Ambos sugerem fortemente que o investidor de longo prazo em países estrangeiros percebe que as reações dos governos de acolhimento provavelmente serão muito complexas (VERNON, 1968, 1971; TOMBACK, 1995).

VERNON (1968, 1971) e SKINNER (1985) identificaram a localização internacional de plantas como uma forma de estratégia global integrada, com vistas a contornar problemas inerentes a operação internacional como o risco associado a variação nas taxas de câmbio de longo prazo, diferentes legislações tributárias e financeiras.

De acordo com BADRI (2007), em um levantamento de 118 plantas operadas por empresas americanas na América Latina, Europa e Ásia, BASS, MCGREGOR e WALTERS (1977) tentaram identificar os fatores que guiaram a decisão da administração de investir no exterior. Os principais determinantes identificados nesse estudo foram: acessibilidade, serviços básicos disponíveis, ambiente, custos de local, industrialização, disponibilidade de mão-de-obra e pessoal, impostos e incentivos de hospedagem, reputação da área, natureza do governo anfitrião e suas políticas.

RUMMEL e HEENAN (1978) estudaram o processo empreendido por multinacionais para analisar o risco político. Seu estudo revela uma série de fatores considerados importantes na tomada de decisões de localização industrial internacional, que incluem instabilidade doméstica, conflito estrangeiro, clima político e clima econômico.

Outros estudos trataram das desvantagens de localizar no exterior. BALLANCE (1987) analisou o efeito dos incentivos nas decisões de localização. O estudo fornece informações sobre tais incentivos como subsídios em dinheiro, férias fiscais, empréstimos com juros baixos e depreciação acelerada. Ele observa que as empresas que consideram apenas as vantagens financeiras de localizar nessas áreas podem sofrer consequências negativas.

De acordo com PIPER (1971) a importância dos aspectos não-econômicos não tem sido sistematicamente explorada. Fatores sociais e políticos também podem ser importantes; por exemplo, as corporações multinacionais podem espalhar seus riscos criando fábricas em diferentes países (VERNON, 1968, 1971; BELLI, 1970). Mesmo razões pessoais podem determinar onde uma planta deve ser localizada no exterior (BASS, MCGRAGOR; WALTERS, 1977). Estudos mais recentes (VASTAG et al., 1996) enfatizam as características demográficas do ambiente em que a empresa atua.

O surgimento de "blocos econômicos", "mercados unificados" ou "mercados comuns" trouxe outras dimensões de localização internacional, onde as empresas desejam estar mais próximas umas das outras (ENGELSTOFT et al., 2003; PARR, 2005). Os pesquisadores enfatizam que a integração econômica pode mudar os incentivos para localizar em certas regiões. Outros pesquisadores identificam-se com o fato de que tais forças de integração econômica têm ditado novas regras para o novo tomador de decisão de localização (YURIMOTO; MASUI, 1995). LINDSAY et al. (1995) e YOUNG (1994) sugerem que os mercados internacionais se tornaram mais abertos como consequência da redução das barreiras comerciais locais. Eles sugerem que o aumento da abertura é susceptível de ter profundas implicações para as decisões de localização. Muitos outros compartilham tais pontos de vista (MACCARTHY; ATTHIRAWONG, 2003, SOMLEV; HOSHIMOTO, 2005, CHAN, 2005).

Estudos recentes de localização internacional enfatizaram a importância de outros fatores relacionados ao risco político de tais decisões (registro da estabilidade do governo, estrutura do governo, consistência da política governamental e atitude do governo para o investimento interno). Muitos observam que o risco político está sujeito

a um alto grau de subjetividade quanto aos fatores causais, portanto, a dificuldade em formular uma posição política clara (ANNETT, 2001; SMITH-HAMILTON; OMAR, 2005).

Outros estudos recentes têm enfatizado a importância dos fatores socioculturais. Muitos também observam que as diferenças socioculturais são o que moldam as decisões de localização. Cidades e regiões estão competindo para atrair investimentos estrangeiros diretos e talentos criativos. A cultura tornou-se um importante fator de localização e um fator-chave para aumentar a atratividade local e regional. A abordagem do "multiplicador cultural" é usada para medir os fluxos de renda direta resultantes dessas atividades, enquanto o conceito de externalidades é empregado para analisar os efeitos indiretos (DZIEMBOWSKA-KOWALSKA e FUNK, 2000).

A Tabela 1, extraída de BADRI (2007), sumariza o extenso trabalho de levantamento e classificação dos fatores locais identificados nas principais referências que compõem o corpo teórico da localização industrial, que o leitor interessado poderá acessar no trabalho do autor.

Tabela 1. Fatores Locacionais Críticos

FATORES LOCACIONAIS	DESCRIÇÃO	LITERATURA DE REFERÊNCIA
TRANSPORTE	Instalações de oleodutos. Infraestrutura aeroportuária. Estradas. Estradas de ferro. Serviços de transporte por caminhão. Transporte fluvial. Custos de envio da matéria-prima. Custo do transporte de produtos acabados. Disponibilidade dos serviços postais. Armazenagem e instalações de armazenamento. Disponibilidade de pontos de venda por atacado.	Hoover, 1937; Losch, 1954; Greenhut, 1956, 1962; Alexander et al., 1959; McMillan, 1965; Beckmann, 1968; Chisholm, 1971; Fales and Moses, 1972; Nelson, 1973; Lowe and Moryadas, 1975; Bater and Walker, 1977; Moriarty, 1980; Hoyle et al., 1981; Schmenner, 1982; McKinnon, 1983, 1989; Haitani and Marquis, 1990; Gold, 1991; Pietlock, 1992; Thisse et al., 1996.
MERCADO DE TRABALHO	Trabalho de baixo custo. Atitude dos trabalhadores. Trabalho gerencial. Mão de obra qualificada. Taxas de salários. Mão de obra não qualificada. Uniões. Nível educacional do trabalho. Confiabilidade do trabalho. Disponibilidade de mão de obra masculina. Disponibilidade de trabalho feminino. Custo de vida. Estabilidade do trabalhador.	Greenhut, 1956, 1962; McMillan, 1965; Townroe, 1969; Olson, 1971; Carnoy, 1972; Rees, 1972, 1983; Norcliffe, 1975; Sant, 1975; Keeble, 1976; Friedman, 1977; Pred, 1977; Dicken and Lloyd, 1978; Gudgin, 1978; Moriarty, 1980; Cobb, 1982; Massey and Meegan, 1982; Schmenner, 1982; Dorfman and Route, 1983; Malecki, 1984; Massey, 1984; Noyelle and Stanback, 1984; Grundwald and Flamm, 1985; Saxenian, 1985; Dicken, 1986; Lund, 1986; Ballance, 1987; Hanson, 1988;

		Schoenberger, 1988; Haitani and Marquis, 1990; Coughlin et al., 1990, 1991; Gold, 1991; Pietlock, 1992; Wheeler and Mody, 1992.
MATÉRIAS-PRIMAS	Proximidade aos fornecedores. Disponibilidade de matérias-primas. Perto de componentes. Disponibilidade de instalações de armazenamento de matérias-primas e componentes. Localização dos fornecedores. Custo do frete.	Weber, 1929; Greenhut, 1956, 1981; McMillan, 1965; Auty, 1975; Miller, 1977; Moriarty, 1980; Schmenner, 1982 & Storper, 1985; Wheeler and Mody, 1992.
MERCADOS	Mercado consumidor existente. Mercado de produtores existente. Potencial mercado consumidor. Antecipação do crescimento dos mercados. Custos de envio para áreas de mercado. Serviços de marketing. Posição competitiva favorável. Tendências da renda. Tendências populacionais. Características do consumidor. Localização dos concorrentes. Futuras oportunidades de expansão. Tamanho do mercado. Proximidade às indústrias relacionadas.	Fetter, 1924; Hotteling, 1929; Hoover, 1948; Losch, 1954; Greenhut, 1956, 1962, 1981; McMillan, 1965; Chisholm, 1971; Carnoy, 1972; Beyers, 1974; Foust, 1975; Miller, 1977; Pred, 1977; Dorward, 1979; Moriarty, 1980; Schmenner, 1982; Dorfman and Route, 1983; Gough, 1984; Walters and Wheeler, 1984; Saxenian, 1985; Lund, 1986; Tosh et al., 1988; McKinnon, 1989; Haitani and Marquis, 1990; Pietlock, 1992; Simons, 1992; Wheeler and Mody, 1992.
PARQUES INDUSTRIAIS	Acessibilidade da terra. Custo de terrenos industriais. Parque industrial desenvolvido. Espaço para futura expansão. Taxas de seguro. Disponibilidade de instituições de crédito. Proximidade com outras indústrias. Projetos de desenvolvimento industrial comunitário. Atitude dos agentes de financiamento.	Hoover, 1948; Greenhut, 1956; Eversley, 1965; McMillan, 1965; Smith, 1966, 1981; Chisholm, 1971; Spooner, 1974; Bater and Walker, 1977; Gudgin, 1978; Lipietz, 1980; Moriarty, 1980; Sable, 1982; Schmenner, 1982; Kostler, 1984; Lloyd and Mason, 1984; Norcliffe, 1984; Brusco, 1985; Grundwald and Flamm, 1985; Hall, 1985, 1985; Mason and Harrison, 1985; Mason, 1987; Hudson, 1988; Coughlin et al., 1990, 1991; McConnell and Schwab, 1990; Wheeler and Mody, 1992.
UTILITIES	Atitude dos agentes de utilidade. Abastecimento de água, custo e qualidade. Instalações descartáveis de resíduos industriais. Disponibilidade de combustíveis. Custo dos combustíveis. Disponibilidade de energia elétrica. Custo de energia elétrica. Disponibilidade de gás. Adequação das instalações de esgoto. Disponibilidade de carvão e instalações nucleares.	Greenhut, 1956; McMillan, 1965; Bater and Walker, 1977; Heckman, 1978; Moriarty, 1980; Forbes, 1982; Schmenner, 1982 & Walters and Wheeler, 1984; McConnell and Schwab, 1990; Gold, 1991; Pietlock, 1992; Rex, 1993.
ATITUDE GOVERNAMENTAL	Construindo ordenanças. Códigos de zoneamento. Leis de compensação. Leis de seguros. Inspeções de segurança. Nuisance e leis de poluição de fluxo.	Greenhut, 1956; McMillan, 1965; Schmenner, 1982; Rees, 1983; Hudson, 1988; Tosh et al., 1988; Coughlin et al., 1990, 1991; Young, 1994.

TRIBUTAÇÃO	Base de avaliação fiscal. Imposto sobre a propriedade industrial. Estrutura estatal do imposto sobre as sociedades. Operações isentas de impostos. Imposto de vendas estadual.	Greenhut, 1956; McMillan, 1965; Moriarty, 1980; Schmenner, 1982; Tosh et al., 1988; Haitani and Marquis, 1990; Coughlin et al., 1990, 1991; Wheeler and Mody, 1992; Fleischman, 1995; Young, 1994; Luce, 1994.
CLIMA	Quantidade de queda de neve. Queda de chuva por cento. Condições de vida. Humidade relativa. Temperatura média mensal. Poluição do ar.	Greenhut, 1956; McMillan, 1965; Dean, 1972; Spooner, 1974; Moriarty, 1980; Schmenner, 1982; Haitani and Marquis, 1990; McConnell and Schwab, 1990.
COMUNIDADE	Faculdades e instituições de pesquisa. Atitude dos residentes da comunidade. Qualidade das escolas. Instalações religiosas. Instalações de biblioteca. Instalações recreativas. Atitude dos líderes comunitários. Instalações médicas. Centros comerciais. Hotéis e motéis. Bancos e instituições de crédito. Posição comunitária de expansão futura.	Greenhut, 1956; Eversley, 1965; McMillan, 1965; Dean, 1972; Spooner, 1974; Bater and Walker, 1977; Mason and Harrison, 1977; Massey, 1977, 1979, 1984; Gudgin, 1978; Moriarty, 1980; Schmenner, 1982; Rees, 1983; Grundwald and Flamm, 1984; Lloyd and Mason, 1984; Malecki, 1984; Hall, 1985; Dicken, 1986; Ballance, 1987; Mason, 1987; Haitani and Marquis, 1990; McConnell and Schwab, 1990; Simons, 1992; Rex, 1993.

FATORES DE LOCALIZAÇÃO INTERNACIONAL

SITUAÇÃO POLÍTICA DO PAÍS ESTRANGEIRO	Relações com o Ocidente. História do país. Estabilidade do regime. Protecção contra a expropriação. Tratados e pactos. Atitude nas Nações Unidas. Tipo de alianças militares. Atitude em relação ao capital estrangeiro.	Carnoy, 1972; Dicken and Lloyd, 1978; Anell and Nygren, 1980; Hughes and Ohlin, 1980 & Ballance, 1987; Wheeler and Mody, 1992; Young, 1994.
COMPETIÇÃO E SOBREVIVÊNCIA INTERNACIONAL	Material e trabalho. Oportunidades de mercado. Disponibilidade de capital. Proximidade aos mercados internacionais.	Friedman, 1977; Ballance, 1978; Forbes, 1982; Grundwald and Flamm, 1985; Haitani and Marquis, 1990; Pietlock, 1992; Wheeler Mody, 1992.
FATORES ECONÓMICOS	Padrão de vida. Renda "per capita. Força da moeda contra o dólar americano. Status da balança de pagamentos. Auxílios governamentais.	Thunen, 1875; Olson, 1971; Carnoy, 1972; Friedman, 1977; Dicken and Lloyed, 1978; Forbes, 1982; Hudson, 1983, 1988; Walters, 1984; Ballance, 1987; Schoenberger, 1988; Haitani and Marquis, 1990; Coughlin et al., 1990, 1991; Pietlock, 1992; Wheeler and Mody, 1992.
REGULAÇÃO GOVERNAMENTAL	Clareza das leis de investimento corporativo. Regulamentos sobre joint ventures e fusões. Regulamentos sobre a transferência de rendimentos para fora do país. Tributação de empresas estrangeiras. Leis de propriedade estrangeira. Requisitos sobre qual percentual de funcionários pode ser	Anell and Nyrgren, 1980; Hudson, 1983; Ward, 1982; Rees, 1983; Haitani and Marquis, 1990; Coughlin et al., 1990, 1991; Wheeler and Mody, 1992. Thunen, 1875; Olson, 1971; Carnoy, 1972; Friedman, 1977; Dicken and Lloyed, 1978; Forbes, 1982; Hudson, 1983, 1988; Walters,

	estrangeiro. Prevalência da burocracia burocrática. Regulamentos relativos aos controles de preços. Requisitos para a criação de corporações locais.	1984; Ballance, 1987; Schoenberger, 1988; Haitani and Marquis, 1990; Coughlin et al., 1990, 1991; Pietlock, 1992; Wheeler and Mody, 1992.
--	--	---

Fonte: BADRI (2007)

2.2.4 DISCUSSÃO

O estudo conduzido por BADRI (2007), até a presente data, é uma das poucas iniciativas no sentido de mapear os chamados fatores críticos de localização. Além do levantamento de 205 fatores locacionais considerados críticos para a localização, foi desenvolvida uma metodologia de mensuração absoluta desses fatores, baseada em questionários e em uma escala fixa de valores submetidos a avaliação de profissionais, em nível de gerência superior, de mais de 3000 empresas selecionadas ao acaso em todo o mundo. O resultado apresentado segue a metodologia proposta por CRONBACH (1951), na qual se mede a correlação entre as respostas dadas a um questionário, utilizando uma mesma escala de medição, através da elaboração de um coeficiente α a partir da variância dos itens individuais e da variância da soma dos itens de cada avaliador de todos os itens.

Com medidas empiricamente desenvolvidas, o trabalho sugere que essas medidas venham a ser utilizadas para o desenvolvimento de modelos teóricos e de decisão para aprofundar as pesquisas na área e aumentar a compreensão do próprio processo de decisão.

Ao consolidar aspectos teóricos relacionados aos fatores locacionais através de um extenso trabalho empírico, BADRI (op. cit.) deixa evidente a importância desses fatores como variáveis-chaves para a tomada de decisão sobre localização. Um ponto relevante, no entanto, é que mesmo sendo um dos estudos mais abrangentes desenvolvidos até o momento, as questões ambientais e de sustentabilidade não figuram como uma variável considerada como crítica para a localização.

A próxima seção buscará abordar a questão da sustentabilidade como uma variável relevante para as decisões locacionais a partir do conceito de serviços ecossistêmicos que, conforme propomos, devem ser considerados como fatores críticos para a localização de atividades produtivas.

2.3 SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

Ecossistemas saudáveis proporcionam uma variedade de serviços críticos para a sociedade, desde água limpa, sequestro de carbono até a polinização (DAILY, 1997).

A sociedade, desde há muito, reconheceu o valor de serviços ecossistêmicos específicos e tem formulado políticas para protegê-los, preservando assim o meio ambiente (THOMPSON, 2008). Os Estados Unidos, por exemplo, no final do século 19, criaram as 'florestas nacionais' especificamente para garantir dois serviços ecossistêmicos que as florestas saudáveis proporcionam: "condições favoráveis de abastecimento de água", e um "suprimento contínuo de madeira". Várias cidades, como San Francisco e Seattle, há muito protegem suas bacias hidrográficas, a fim de garantir água potável para as suas populações (THOMPSON, 2006).

Para MUNK (2015) os serviços ecossistêmicos incluem tanto a organização ou estrutura do ecossistema como, também, processos e funções, não significando que essas expressões sejam sinônimas. A estrutura e as funções dos ecossistemas são estudadas há anos, sem qualquer referência aos serviços prestados aos seres humanos. Pressupõe-se, então, que não há serviços sem beneficiários. Portanto, só há serviço se existir uma relação com a sociedade, mesmo que indiretamente. Caso não ocorra essa relação, ocorrerão somente processos ecológicos (FISHER et al., 2009).

No entanto, enquanto políticas ambientais há muito reconheceram a importância de serviços ecossistêmicos específicos, estudos científicos recentes têm enfatizado a penetração e grande importância econômica de tais serviços, documentado seu declínio, e instado a sua utilização para incentivar e direcionar políticas ambientais nacionais e global (KAREIVA et al., 2011, DAILY; MATSON, 2008, MEA, 2005, COSTANZA et al., 1997).

Devido ao fato de os ecossistemas produzirem esses bens e serviços praticamente da mesma forma pela qual o capital humano, o capital financeiro e o capital manufaturado produzem outros bens e serviços, a literatura sobre serviços ecossistêmicos, por vezes, refere-se a ecossistemas como "capital natural."

Os termos "serviços dos ecossistemas" e "capital natural" ambos se referem ao fato de que a própria natureza fornece produtos e serviços de valor para a sociedade, e que o bem-estar humano, portanto, depende da proteção da natureza. Por essa razão, os termos são frequentemente usados como sinônimos.

Como já mencionado, a conscientização e discussão sobre os serviços proporcionados pelos ecossistemas não constituem atividades novas, embora os termos "serviços ecossistêmicos" e "capital natural" serem de uso recente. A atual onda de estudos sobre os serviços ecossistêmicos, no entanto, tem aumentado drasticamente a atenção para o conceito em círculos políticos. Como resultado, um número crescente de governos tem explicitamente incorporado os serviços ecossistêmicos em suas leis e políticas (THOMPSON, 2008).

Diversos estudos têm afirmado que estes serviços ecossistêmicos são de grande valor econômico para a sociedade. Em um estudo inicial e controverso, COSTANZA et al. (1997) estimaram que os serviços proporcionados pelos ecossistemas somaram entre US\$ 16 trilhões e US\$ 54 trilhões por ano em valor, provavelmente superando o PIB global anual que, na ocasião do estudo, era de US\$ 19 trilhões. Embora vários economistas tenham criticado a metodologia do estudo de Costanza, todos concordam que o valor econômico dos serviços dos ecossistemas é vasto (HEAL, 2000; PEARCE, 1998).

2.3.1 AVALIAÇÃO ECOSISTÊMICA DO MILÊNIO

Durante a última década, cientistas e outros pesquisadores promoveram o conceito de serviços ecossistêmicos e estudaram formas pelas quais ele pode ajudar a melhorar a gestão ambiental. Um estudo global principal, o *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA, 2005), examinou o estado dos ecossistemas e dos serviços dos ecossistemas em todo o mundo. A estrutura conceitual do trabalho

“pressupõe que o homem seja parte integrante dos ecossistemas, e que existe uma interação dinâmica entre ele e as outras partes dos ecossistemas, sendo que as mudanças na condição humana regem, direta e indiretamente, as mudanças nos ecossistemas, causando assim alterações no bem-estar humano. (MEA, 2005, vii)

De acordo com MEA (2005), serviços ecossistêmicos são benefícios que os ecossistemas proporcionam ou disponibilizam para o bem-estar humano, que por sua vez está relacionado a cinco aspectos principais relacionado diretamente com a provisão dos serviços ecossistêmicos: liberdade de escolha, acesso aos elementos básico para uma vida saudável, saúde; boas relações sociais e segurança (Figura 1) (MUNK, 2015).

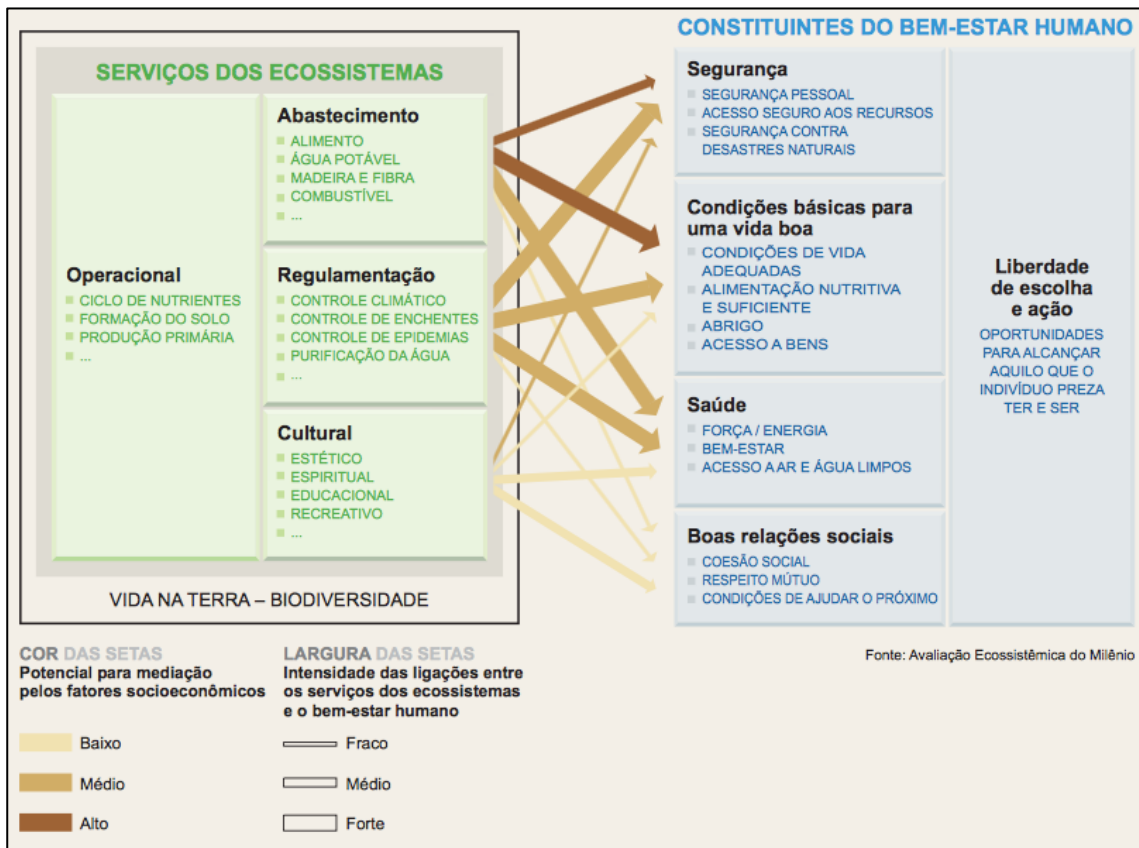


Figura 1. Ligações entre os Serviços Ecossistêmicos e o Bem-estar Humano

Fonte: AEM, 2005

Uma tipologia de crescente aceitação pela comunidade acadêmica e gerencial, originalmente sugerida pela Avaliação Ecosistêmica do Milênio (MEA, 2003), divide os serviços ecossistêmicos em quatro categorias básicas:

- 1) serviços de provisão ou de fornecimento: bens, como alimentos, fibras ou água doce, que os ecossistemas fornecem e os seres humanos consomem ou usam;
- 2) serviços de regulação: serviços, como o de redução de inundações, recuperação de solos e de purificação de água, que sistemas naturais saudáveis, tais como os pântanos, podem fornecer;
- 3) serviços culturais: benefícios intangíveis, como a fruição estética ou inspiração religiosa, que a natureza fornece frequentemente; e
- 4) serviços de suporte: processos e funções básicas, tais como a formação do solo e a reciclagem de nutrientes, que são essenciais para a prestação dos primeiros três tipos de serviços ecossistêmicos.

O estudo “*The Economics of Ecosystem and Biodiversity*” (TEEB, 2010), apresenta uma classificação semelhante ao do MEA, no entanto, suas pequenas

diferenças são consideradas um refinamento na compreensão dos serviços ecossistêmicos por alguns autores (MUNK, 2015). O TEEB estabelece quatro categorias para os SE: serviços de provisão; serviços de regulação; serviços de habitat; e serviços culturais e amenidades. Os serviços de suporte são considerados um subconjunto de processos ecológicos, já os serviços de habitat estão relacionados importância dos ecossistemas em prover habitat para as espécies e promover a proteção do *pool* genético.

Estudos acadêmicos em curso sobre tais serviços também tem mudado a maneira pela qual os políticos e outros tomadores de decisão agora pensam sobre o conceito. Ao invés de olhar para os serviços ecossistêmicos em uma base individual, estudo recente tem enfatizado que os ecossistemas podem fornecer uma ampla gama de serviços diferentes. COSTANZA (2008) ressalta que apesar dos esforços no sentido de identificação e categorização dos serviços ecossistemas serem importantes, o desenvolvimento de tipologias próprias associados a propósitos variados não deve ser descartada. A academia tem também, procurado, cada vez mais, valorar os serviços e desenvolver novos métodos, facilmente replicáveis, de valorá-los para fins públicos e privados (KAREIVA et al., 2011).

O mapeamento dos serviços ecossistêmicos de uma região bem como a forma como se encontram distribuídos são informações relevantes tanto para ações voltadas a conservação desses serviços quanto para a possibilidade de serem utilizados de maneira sustentável. Uma classificação que utilize características espaciais dos SE pode ser bastante útil, tanto para questão de planejamento territorial e conservação quanto para escolha de sítios para implantação de atividades produtivas. FISHER et al. (2009) estabelece que os SE podem ser ofertados e utilizados localmente, caracterizando uma provisão “in situ”; podem, ainda, apresentar distribuições direcionais, quando o serviço beneficia uma localidade específica, e omnidirecionais, quando os serviços beneficiam uma localidade tendo sido produzidos em outra.

Todo este esforço, principalmente a partir do MEA, tem ajudado a evidenciar o enorme valor que os serviços ecossistêmicos têm para os seres humanos, incluindo o valor que é diretamente traduzível em termos econômicos.

2.3.2 SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS COMO FATORES LOCACIONAIS

Tomando como referência a Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA, 2005),

conforme apresentado na sessão anterior, o conceito de serviços ecossistêmicos desempenha um papel fundamental na compreensão das interações entre ecossistemas e sistemas econômicos, de modo que sua incorporação em modelos econômicos seja um caminho para o alinhamento da modelagem aos princípios da sustentabilidade ambiental e do desenvolvimento sustentável.

A partir da publicação da Avaliação Ecosistêmica do Milênio (MEA, 2005), tanto os órgãos ambientais globais quanto os nacionais passaram a incluir em seus programas de trabalho a pesquisa da relevância dos serviços ecossistêmicos para a sociedade, como por exemplo a US Environmental Protection Agency (2006). Um número crescente de universidades e organizações não governamentais criaram programas para ajudar a medir, valorar e avaliar os serviços dos ecossistemas, tais como o Projeto Capital Natural, uma joint venture entre a Universidade de Stanford, The Nature Conservancy, o World Wildlife Fund, e a Universidade de Minnesota (KAREIVA et al. 2011).

É inegável a aceitação das ideias contidas no MEA (2005) nos campos das políticas públicas e do planejamento territorial. Por outro lado, a incorporação desses conceitos as práticas empresariais, em particular do setor produtivo industrial, tem ocorrido de forma gradual. De acordo com MEA (op. cit.) dois terços dos serviços ecossistêmicos estão sendo degradados ou utilizados de maneira insustentável, o que tem sérias ramificações em todo o mundo. Em particular, o estudo destaca que as empresas e as indústrias serão afetadas de três formas importantes, caso as tendências atuais de degradação se mantiverem:

- 1 – Custos adicionais internalizados pelo setor primário será repassado ao setor secundário e terciário, alterando o ambiente operacional de negócios.
- 2 – O ambiente na qual as empresas operam será alterado também por alteração na preferência dos consumidores, nas expectativas dos acionistas, nas políticas governamentais, no bem estar dos funcionários, na disponibilidade de recursos financeiros e de seguro.
- 3 – Novas oportunidades de negócios emergirão a partir crescente da demanda por formas mais eficientes ou diferentes de uso dos serviços dos ecossistemas, de forma a mitigar os impactos ou controlar ou comercializar os serviços.” (AEM, 2005, pp 4)

Talvez as características mais evidentes da dependência das indústrias por serviços ecossistêmicos seja a sua utilização nos processo produtivos e sua incorporação nos produtos ou serviços finais comercializados. No entanto, conforme cresce a demanda pelos serviços oferecidos pelos ecossistemas, diminui a habilidade destes de responder à demanda, uma vez que a capacidade de fornecimento desses serviços

depende de complexas interações biológicas, químicas e físicas que são, por sua vez, afetadas pelas atividades humanas (MEA, 2005).

A integração dos serviços ecossistêmicos como fatores locacionais nos processos de decisão de localização, precisam, portanto, considerar a noção de saúde do ecossistema. Modelos e análises de localização que busquem ser verdadeiramente bem sucedidos, em termos sustentáveis, devem perseguir o objetivo mais amplo de projetar ecossistemas saudáveis, que podem ser novas formas de interação que desempenhem as funções desejadas e produzam uma gama de serviços ecossistêmicos valiosos. Desta forma, o processo de localização de atividades humanas (industriais ou não) pode ser tratado não apenas como um processo de controle de impactos e de adequação de fluxos matérias e de serviços, mas como o "design de ecossistemas sustentáveis que integram a sociedade humana com seu ambiente natural em benefício de ambos" (COSTANZA, 2012).

A visão de COSTANZA (op. cit.) é amplamente explorada no MEA (2005), que destaca que o desenvolvimento das atividades empresariais e industriais estarão cada vez mais restringidas tanto por forças do mercado, a medida que os consumidores e outros *stakeholders* tornam-se mais conscientes dos impactos das atividades produtivas sobre o planeta, quanto pela regulamentação e regulação governamental, que forçarão as empresas e buscarem novas estratégias no sentido de desenvolverem inter-relações saudáveis entre suas atividades e os ecossistemas, isto é, incorporarem em suas decisões informações disponíveis sobre a condição atual e futura dos ecossistemas e seus serviços.

Quanto as restrições imposta as empresas pela limitação na capacidade do meio ambiente de prover os serviços ecossistêmicos, a medida que sofrem com a degradação, acredita-se que seis grandes mudanças têm ou terão impactos profundamente negativos sobre as atividades produtivas humanas: escassez de água, mudanças climáticas, mudanças nos habitats, perda da biodiversidade e espécies invasoras, a exploração excessiva dos oceanos e a sobrecarga de nutrientes.

A degradação dos serviços ecossistêmicos podem ter implicações na liberdade de operação de uma empresa, sua reputação e valor de marca, custo do capital e risco percebido pelos investidores. Adicionalmente, a perda de serviços dos ecossistemas pode afetar os insumos e operações de produção, aumentando assim os custos. No entanto, à medida que procuramos soluções e as preferências dos consumidores por serviços dos ecossistemas mudam, as oportunidades de negócios aumentam a partir de

novas tecnologias e modelos de negócios.

Para melhor compreender as implicações destas tendências futuras nos serviços dos ecossistemas, o MEA (2005) desenvolveu um conjunto de cenários para explorar as relações entre os serviços dos ecossistemas e o bem-estar humano. Os cenários são diferentes dos exercícios globais anteriores devido ao atual foco dado aos serviços ecossistêmicos e os efeitos dos ecossistemas na sociedade e no bem-estar humano e ilustram as diferentes escolhas que podem ser feitas e algumas das questões a serem enfrentadas. Em todos os cenários, há uma tendência comum quanto à redução da disponibilidade dos serviços de suporte, de regulação e culturais com o intuito de aumentar a disponibilidade dos serviços de provisão.

CAPÍTULO 3

MENSURAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

Esse capítulo aborda a questão da mensuração dos serviços ecossistêmicos, começando com o método do Valor Econômico Total (VET), seguida de uma seção sobre a valoração econômica dos serviços ecossistêmicos, que inclui, em subseções específicas, considerações quanto ao recálculo dos valores marginais, quanto à incerteza, ignorância e não-familiaridade, e quanto ao tempo, distribuição e valoração associadas. A seção final deste capítulo é dedicada à apresentação de metodologias e processos de mensuração relativa de objetos e variáveis linguísticas, terminando com uma subseção sobre mensuração relativa de serviços ecossistêmicos e uma última destinada a definir as variáveis, valores linguísticos e escala de correspondência numérico-conceitual de suporte à proposta metodológica da tese.

Como exposto no capítulo anterior, uma premissa principal desta tese é a de que serviços ecossistêmicos podem e devem ser tratados como fatores locacionais para a localização de atividades humanas, em particular atividades industriais, que tendem a ter impactos significativos sobre o ambiente na qual elas se instalam.

Do ponto de vista econômico, a biodiversidade (e os ecossistemas) podem ser vistos em grande medida como parte de nosso capital natural e o fluxo de serviços ecossistêmicos como os juros desse capital que a sociedade recebe (COSTANZA e DALY, 1992). Dessa maneira, podemos entender que uma empresa deverá buscar se localizar em uma área com um dado nível de biodiversidade e capital natural capazes de manter um fluxo futuro de serviços ecossistêmicos para garantir suas atividades, a qualidade ambiental e o bem-estar humano duradouros (TEEB, 2010).

A elaboração de modelos que utilizem os serviços ecossistêmicos como fatores locacionais ou como um critério para qualquer tomada de decisão econômica, enfrenta dois problemas principais: (i) a complexidade das interações entre atividade humana e os ecossistemas e (ii) a conversão de valores biofísicos em valores economicamente computáveis. O primeiro problema está associado ao nível de simplificação que se considera razoável fazer de modo a não comprometer a análise. As muitas modelagens das funções e dos serviços ecossistêmicos a elas associados diferenciam-se justamente em termos das simplificações feitas sobre determinados aspectos ambientais e de interação da atividade humana com o ecossistema. Quanto mais simples o modelo,

menos realista. Por outro lado, em um modelo muito detalhado e, portanto, mais realista, mais difícil será interpretar os resultados e determinar como os diferentes efeitos se inter-relacionam. Este é um ponto crucial, que talvez explique por que a maioria dos modelos em uso, até agora, têm negligenciado ou simplificado sobremaneira a questão da sustentabilidade.

O segundo problema, diz respeito a valoração ambiental. Nesse sentido, as questões ambientais e os ecossistemas têm estado no centro de muitas discussões filosóficas recentes sobre o valor. Fundamentalmente, esses debates sobre o valor dos ecossistemas derivam de dois pontos de vista. O primeiro é que os valores dos ecossistemas e seus serviços não são antropocêntricos e que as espécies não-humanas têm interesses ou direitos morais para si próprios. O outro, que inclui a abordagem econômica da avaliação, é que todos os valores são antropocêntricos (SAGOFF, 2007). Apesar do entendimento geral de que todas as formas de valor podem, em última instância, contribuir para decisões sobre o uso, preservação ou restauração do ecossistema, a maioria dos métodos de valoração concentram-se nas fontes de valor que podem ser capturadas através da avaliação econômica (NRC, 2004).

A necessidade de valoração dos serviços ecossistêmicos está ligada a uma questão econômica fundamental, a de que cada escolha e decisão é precedida de uma pesagem de valores entre as diferentes alternativas (BINGHAM et al., 1995). Os sistemas ecológicos sustentam uma grande variedade de serviços ecossistêmicos que são essenciais para o desempenho econômico e o bem-estar humano. No entanto, poucos são os mercados organizados, com o nível de informação suficiente sobre processos e componentes ecossistêmicos, capazes de precificar bens e serviços ecossistêmicos. Isto coloca limitações estruturais na capacidade dos mercados de fornecer imagens abrangentes dos valores ecológicos envolvidos nos processos de decisão (MEA, 2005). Além disso, uma falha na informação resulta da dificuldade de quantificar a maioria dos serviços ecossistêmicos em termos comparáveis aos serviços e bens feitos pelo homem (COSTANZA et al., 1997). Dessa perspectiva, a lógica por trás da valoração do ecossistema é desvendar as complexidades das relações sócio-ecológicas, explicitar como as decisões humanas afetariam os valores dos serviços ecossistêmicos e expressar essas mudanças de valor em unidades (por exemplo, monetárias) que permitam sua incorporação em processos de tomada de decisão (MOONEY et al., 2005).

Tradicionalmente podemos separar os métodos de valoração ecossistêmicas em

dois grupos distintos, ligados a paradigmas consideravelmente diferentes: métodos biofísicos, constituídos por uma variedade de abordagens biofísicas, e métodos baseados em preferências, que apresentam uma fundamentação fortemente econômica.

A valoração biofísica utiliza uma perspectiva de "custo de produção" que deriva valores de medições dos custos físicos (por exemplo, em termos de mão-de-obra, requisitos de superfície, energia ou insumos materiais) para a produção de um determinado bem ou serviço. Esta abordagem consideraria os custos físicos de manter um dado estado ecológico.

Em contraste com as abordagens biofísicas de valoração, os métodos baseados nas preferências baseiam-se em modelos de comportamento humano e na suposição de que os valores surgem das preferências subjetivas dos indivíduos. Esta perspectiva pressupõe que os valores dos ecossistemas são mensuráveis em termos monetários, e que, posteriormente, as medidas monetárias oferecem uma forma de estabelecer compromissos envolvidos em usos alternativos dos ecossistemas.

Apesar das duas abordagens basearem-se em teorias do valor e arcabouços axiomáticos distintos, o que torna inviável a elaboração de um modelo híbrido, ambas tem em comum o fato de tocarem em pontos importantes a respeito da sustentabilidade, abordando as três dimensões consideradas fundamentais para a valoração dos ecossistemas: econômica, sociocultural e ecológica (FARBER et al., 2002; LIMBURG et al. 2002; HOWARTH; FARBER 2002; WILSON; HOWARTH 2002; DE GROOT et al., 2002; COSTANZA et al., 2011; COSTANZA, 2012). Considerações a respeito da resiliência ou saúde ecossistêmica³ é um ponto compartilhado por ambas, bem como a valoração de determinados aspectos dos ecossistemas sem valor de uso para os seres humanos como, por exemplo, o valor relacionado à preservação de uma espécie para que ela continue a existir.

O esquema a seguir, extraído de DE GROOT (2002), deixa claro o arcabouço para a valoração e avaliação integrada das funções, bens e serviços ecossistêmicos, independente da abordagem utilizada.

³ Conceito desenvolvido por Costanza (2012) através do qual se expande o conceito de resiliência ecossistêmica.

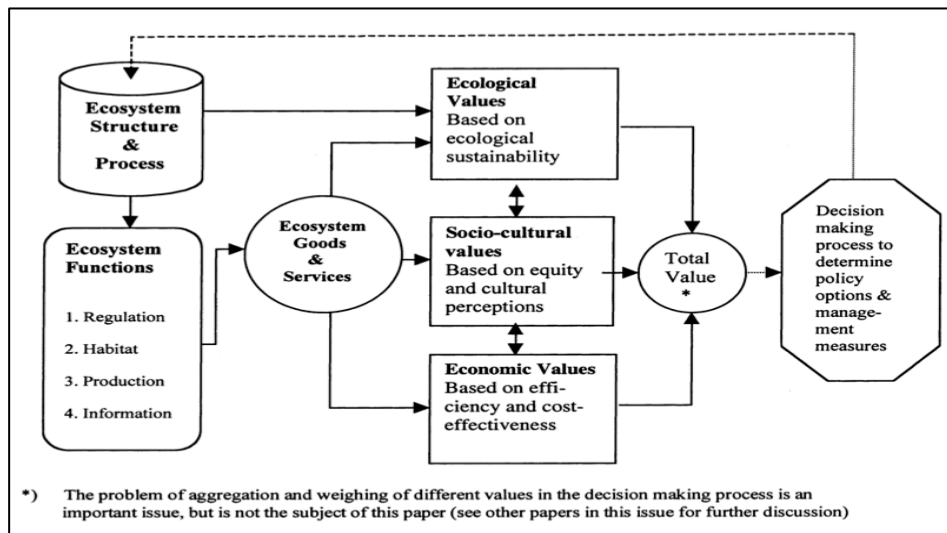


Figura 2. Arcabouço de Valoração dos Serviços Ecosistêmicos

Fonte: DE GROOT, 2002

Para fins de valoração em termos absolutos, as duas abordagens tem suas vantagens e limitações. Vários são os modelos baseados tanto em uma quanto na outra. BAGSTAD et al. (2013) faz um extenso levantamento dos principais modelos utilizados tanto em pesquisas científicas quanto pelo mercado, destacando as 17 ferramentas mais empregadas para valoração, muitas na fora de softwares ou plataformas online, deixando evidente que a valoração absoluta, monetária ou não, dos serviços ecossistêmicos tem se destacado com uma das áreas de pesquisa mais ativas em economia ambiental.

Dentre as abordagens baseadas em preferências, uma das principais metodologias de avaliação utilizada tem sido a do Valor Econômico Total (VET) (PLOTTU; PLOTTU, 2007). Levando em consideração os conhecimentos consolidados e as orientações a respeito da utilização dos recursos ecossistêmicos estabelecidas pelo MEA (2003), o VET tem se mostrado como o arcabouço mais abrangente e é, sem dúvidas, o mais amplamente utilizado para identificar e quantificar a contribuição dos serviços ecossistêmicos para o bem-estar humano.

Apesar da proliferação das metodologias de valoração absoluta de recursos ecossistêmicos, muito se discute sobre a real validade e necessidade de se valorar ou precificar, em termos monetários, os bens e serviços ecossistêmicos, em particular os recursos intangíveis. Dificuldades tanto de natureza econômica quanto ecossistêmica revelam que, ainda que se atribuam valores para determinados recursos ecossistêmicos, muito provavelmente esses nunca serão uma representação precisa do verdadeiro valor.

Portanto, em termos de agregação de informação necessária para a tomada de decisão, o processo de valoração absoluta apresenta sérias limitações, levantando questionamentos sobre a relação entre o resultado sub-ótimo alcançado e esforço despendido para alcançá-lo.

Para a tomada de decisão que envolva um número limitado de escolhas, metodologias baseadas na valoração relativa têm se mostrado altamente eficientes para tratar problemas complexos, como o de valoração de recursos ecossistêmicos. No entanto, poucas são as iniciativas nesse sentido. Podemos destacar a metodologia utilizada pelo Serviço de Conservação de Recursos Naturais (NRCS, 2013) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, que vem utilizando a valoração relativa dos serviços ecossistêmicos para fins de adoção de políticas ambientais.

A escolha locacional de atividades industriais é um processo de tomada de decisão que pode se valer grandemente da valoração relativa dos serviços ecossistêmicos para fins de hierarquização de alternativas locacionais. Para tanto, é necessário a utilização de uma metodologia capaz de capturar as informações ecossistêmicas, principalmente no que diz respeito a sustentabilidade dos sistemas econômico-ecológicos.

Na próxima seção apresentaremos uma visão geral da estrutura do Valor Econômico Total e os principais métodos utilizados para a valoração dos serviços ecossistêmicos. Em seguida são feitas algumas considerações a respeito das limitações de se utilizar métodos de valoração absoluta. Por último apresentamos a metodologia Fuzzy-AHP como uma ferramenta para se produzir mensurações relativas de atributos ou propriedades relacionados aos serviços ecossistêmicos para fins de tomada de decisão.

3.1 VALOR ECONÔMICO TOTAL - VET

Na estrutura do VET o valor de um ecossistema deve levar em conta dois aspectos distintos. O primeiro é o valor agregado dos benefícios de serviços ecossistêmicos fornecidos em um dado estado. O segundo aspecto refere-se à capacidade do sistema para manter esses valores em face da variabilidade e perturbação. Esses valores são normalmente chamados, respectivamente, de valor de “saída” (output value), e valor de "seguro" (ATIKINSON et al., 2006, TEEB, 2010).

O VET, enquadrando-se como uma das abordagens baseadas em preferências,

apresenta uma visão de valor eminentemente antropocêntrica estabelecendo o valor do ecossistema como a soma dos valores de todos os fluxos de serviços que o capital natural gera, tanto agora quanto no futuro - apropriadamente descontados. O VET abrange todos os componentes da utilidade ou desutilidade derivada de serviços de ecossistema usando uma unidade de conta comum: dinheiro ou qualquer unidade de medida baseada no mercado que permita comparações dos benefícios de vários bens. Refletindo esse embasamento econômico, os fluxos de serviços são avaliados por mudanças marginais em sua provisão.

Os benefícios correspondentes ao "valor de saída" do ecossistema podem abranger valores dispares como o controle dos fluxos de água por florestas tropicais nubladas ou a mitigação de danos causados por tempestades e outros riscos naturais por manguezais. A elicitación desses tipos de valores pode ser geralmente tratada com os métodos disponíveis para a avaliação monetária baseada em mercados diretos ou, na sua ausência, em técnicas de preferências reveladas ou declaradas, como discutiremos mais adiante.

O valor do seguro dos ecossistemas está intimamente relacionado com a capacidade de auto-organização e de resiliência do sistema, ou com a noção expandida de COSTANZA (2012) de saúde ecossistêmica, que implica na capacidade do sistema de manter sua estrutura e função ao longo do tempo diante do estresse externo". A saúde ecossistêmica está relacionada portanto ao ponto de ruptura ou limiar de um ecossistema (MEA, 2005), que na maioria dos casos não é conhecido até que seja atingido, ou nem mesmo nesses casos. A questão operacional, no entanto, permanece: como medir a saúde ecossistêmica e o limiar ecossistêmico em termos econômicos.

Dentro do paradigma econômico neoclássico, os serviços ecossistêmicos que são entregues e consumidos na ausência de transações de mercado podem ser vistos como uma forma de externalidades positivas, de modo que a literatura econômica desenvolveu uma série de métodos para valorar esses benefícios "invisíveis" dos ecossistemas, muitas vezes com o objetivo de incorporá-los a uma análise de custo-benefício e internalizar as externalidades. A fim de captar de forma abrangente o valor econômico do ambiente, foram identificados diferentes tipos de valores econômicos negligenciados pelos mercados e os métodos de medição foram progressivamente aperfeiçoados. De fato, a avaliação de bens e serviços ambientais não comercializados está associada a uma grande e ainda crescente literatura em economia ambiental (TEEB, 2010).

A classificação dos valores adotada pelo VET, desenvolvida originalmente por KRUTILLA (1967), apesar de não ter utilizado os termos empregados hoje, divide o valor total dos ecossistemas em valores de uso e de não-uso, cada um desagregado em outras componentes.

Os valores de uso podem ser associados a bens privados ou quase-privados, para os quais normalmente existem preços de mercado. Valores de uso no arcabouço do VET são por vezes divididos em duas categorias: (i) valores de uso direto, normalmente relacionados aos serviços de provisão e culturais, isto é, aos benefícios obtidos do uso direto desses SE; e (ii) valores de uso indireto, normalmente associados a serviços de regulação e de suporte, que podem ser entendidos como serviços públicos que geralmente não se refletem em transações de mercado.

Outros valores que derivam sua concepção dos valores de uso receberam a denominação de valores de opção ou quase opção. Os valores de opção dizem respeito à possibilidade de uso futuro de um determinado serviço de ecossistema, enquanto os valores de quase-opção estão ligados a problemas de incerteza e/ou racionalidade limitada que impossibilitam se conhecer os benefícios futuros de um determinado serviço ecossistêmico, sendo o seu valor associado a um prêmio de seguro ou como o valor de aguardar a resolução da incerteza.

Os valores de não-uso dos ecossistemas são aqueles valores que não envolvem usos diretos ou indiretos do serviço do ecossistema em questão. Eles refletem a satisfação que os indivíduos derivam do conhecimento de que a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos são mantidos e que outras pessoas têm ou terão acesso a eles (KOLSTAD, 2000). No primeiro caso, os valores de não-uso são geralmente chamados de valores de existência, enquanto que nos últimos, eles são associados a valores altruístas ou a valores de legado (quando preocupados com a equidade entre gerações).

Deve-se notar que os valores de não-uso envolvem maiores desafios para a avaliação do que os valores de uso, pois os valores de não-uso estão relacionados a propriedades morais, religiosas ou estéticas, para os quais geralmente não existem mercados. Isso é diferente de outros serviços que estão associados com a produção e avaliação de coisas tangíveis ou condições. Os serviços culturais e os valores de não-uso em geral envolvem a produção de experiências que ocorrem na mente do avaliador. Esses serviços são, portanto, coproduzidos por ecossistemas e pessoas em um sentido mais profundo do que outros serviços (KAREIVA et al., 2011). A Tabela 2 a seguir fornece uma visão geral das ligações entre diferentes categorias de valores de serviços

de ecossistemas dentro do arcabouço VET.

Tabela 2. Categorias de Valores dos SE dentro do arcabouço VET

TIPO DE VALOR	SUBTIPO	SIGNIFICADO
Valores de Uso	Uso Direto	Resultados do uso humano direto da biodiversidade
	Uso Indireto	Derivado dos serviços de regulação prestados por espécies e ecossistemas
	Opção	Relaciona-se à importância que as pessoas atribuem à disponibilidade futura de serviços ecossistêmicos para benefício pessoal
Valores de não-uso	Legado	Valor atribuídos aos indivíduos pelo fato de as gerações futuras terem também acesso aos benefícios das espécies e dos ecossistemas.
	Altruísmo	Valor agregado pelos indivíduos ao fato de que outras pessoas da presente geração têm acesso aos benefícios proporcionados pelas espécies e ecossistemas.
	Existência	Valor relacionado à satisfação que os indivíduos derivam do mero conhecimento de que espécies e ecossistemas continuam a existir.

Fonte: TEEB, 2010.

No âmbito do VET, os valores são derivados, se disponíveis, de informações de comportamento individual fornecidas por transações de mercado relacionadas diretamente ao serviço do ecossistema.

Na ausência de tais informações, a informação sobre os preços deve ser derivada de transações de mercado paralelas que estão associadas indiretamente com o bem a ser valorizado. Se não existirem informações diretas e indiretas sobre os preços dos serviços ecossistêmicos, podem ser criados mercados hipotéticos para obter valores.

Estas situações correspondem a uma categorização comum das técnicas disponíveis utilizadas para valorizar os serviços ecossistêmicos: (a) abordagens de avaliação direta do mercado, (b) abordagens de preferências reveladas e (c) abordagens de preferências declaradas.

A Tabela 3 a seguir sumariza os principais métodos utilizados, as abordagens utilizadas e quais tipos de valores eles se prestam a estimar.

Tabela 3. Métodos e Abordagens de Valoração de SE

ABORDAGEM		MÉTODO	VALOR
Valoração a Mercado	Baseado em Preço	Preço de Mercado	Uso direto e indireto
	Baseado em Custo	Custo Evitado	Uso direto e indireto
		Custo de Reposição	Uso direto e indireto
		Custo de Mitigação / Restauração	Uso direto e indireto
	Baseado em Produção	Abordagem de Função de Produção	Uso indireto
		Renda do Fator	Uso indireto
Preferências Reveladas		Custo de Transporte	Uso direto e indireto
		Preço Hedônico	Uso direto e indireto
Preferências Declaradas		Valoração Contingente	Uso e não-uso
		Modelagem de Escolha / Análise Conjunta	Uso e não-uso
		Classificação Contingente	Uso e não-uso
		Avaliação de Grupo Deliberativo	Uso e não-uso

Fonte: TEEB, 2010.

Alguns métodos de avaliação são mais apropriados do que outros para avaliar determinados serviços ecossistêmicos e para a eliciação de componentes de valores específicos. Os serviços de regulação são avaliados principalmente através de custos evitados, custos de substituição e restauro, ou avaliação contingente; serviços culturais através de custos de viagem (recreação, turismo ou ciência), preços hedônicos (informação estética) ou avaliação contingente (benefícios espirituais - ou seja, valor de existência); serviços de provisão, através de métodos baseados na abordagem da função de produção e na avaliação direta do mercado.

Não obstante as inúmeras metodologias de valoração existentes para tratar os diferentes tipos de serviços ecossistêmicos, ou os diferentes tipos de valores, seguindo a concepção do VET, a validade dessas metodologias continua sendo um dos principais problemas na valoração ecossistêmica. Fora os problemas associados a complexidade ou mesmo ao real entendimento das interações entre sistemas econômicos e os ecossistemas, essas metodologias de valoração apresentam limitações tanto de ordem operacional quanto econômica. Como não pretendemos nos debruçar especificamente

sobre as limitações de cada uma das metodologias, a próxima seção levanta, brevemente, apenas os principais problemas e limitações de ordem econômica associados a essas metodologias.

3.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A VALORAÇÃO ECONÔMICA DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

Baseado no princípio de que os mercados conduzem a uma alocação eficiente de bens de mercado, utilizando o mecanismo dos preços como fulcro para equilibrar a oferta e a procura, muitos economistas argumentam que se pudéssemos determinar os valores monetários para os bens não-mercantis, poderíamos usar o mecanismo de mercado para alocá-los eficientemente. Como resultado, uma das áreas de pesquisa mais ativas em economia ambiental é o cálculo de "preços" para bens não-mercantis. Uma vez que os preços são estabelecidos, precisamos de um mecanismo para internalizar esses valores no sistema de mercado. Embora seja criticamente importante estabelecer o valor dos bens e serviços não-mercantis, é controverso se o estabelecimento de valores monetários, que são idênticos aos valores de mercado, é apropriado ou significativo. Internalizar esses valores não é, em qualquer caso, uma tarefa simples.

Um dos problemas, o da circularidade, diz respeito a utilização dos preços para determinar uma escala ótima de valores quando, no entanto, esses preços já se baseavam em uma escala inicial anterior. Um problema semelhante surge quando tentamos atribuir valores de mercado a serviços ecossistêmicos, de forma a determinar os custos e benefícios associados a mudanças da escala pertinente a suas mensurações. No entanto, mesmo se pudéssemos superar esse problema, ainda teríamos de enfrentar uma série de dificuldades. DALY e FARLEY (2012) destacam as mais importantes no nível dos mercados, que iremos explorar aqui: o *recalculo dos valores marginais*; *incerteza, ignorância e não-familiaridade*; e *escala temporal*.

3.2.1 RECALCULO DOS VALORES MARGINAIS

O preço é o valor de troca, ou o valor de uso marginal do bem ou serviço em questão. Valor de uso é o valor total, ou o valor de todas as unidades em conjunto. O valor de uso da água é infinito, mas onde este recurso é muito abundante, o valor de uma unidade adicional se aproxima de zero. No entanto, quando a água é extremamente escassa, uma unidade adicional pode significar a diferença entre a vida e a morte, de

modo que seu valor marginal também se torna imensuravelmente grande. O mesmo vale para qualquer bem ou serviço essencial, como as funções de suporte à vida dos ecossistemas: quando um recurso essencial é escasso, o valor marginal é extremamente alto e aumenta rapidamente com a crescente escassez.

Com a crescente escassez dos recursos naturais nas últimas décadas seus valores marginais dispararam, razão pela qual os economistas agora tentam calcular seus valores. À medida que nos aproximamos dos limites ecológicos, o valor marginal e, portanto, o "preço" desses bens e serviços aumentará muito rapidamente.

Para internalizar o valor dos ecossistemas, precisaríamos recalculá-los continuamente, centralizar a informação e depois devolvê-la ao mecanismo de mercado via impostos ou subsídios. No entanto, calcular o valor de tais recursos é muito caro e centralizar o conhecimento e alimentá-lo de volta para o mecanismo de preços exigiria uma burocracia enorme e dispendiosa. O paradoxo é que os mercados constantemente e quase sem custos recalculam os preços com base em informações descentralizadas com intervenção governamental mínima. No entanto, esta abordagem de alocação seria dispendiosa e centralizada e exigiria uma intervenção governamental de grande escala.

3.2.2 INCERTEZA, IGNORÂNCIA E NÃO-FAMILIARIDADE

Além disso, os métodos de avaliação de bens não-comerciais estão repletos de problemas. A maioria depende de mercados construídos artificialmente ou de maneiras de inferir valores não-mercantis através dos mercados existentes. Dois problemas em particular merecem discussão: o nosso desconhecimento da função ecossistêmica e nossa falta de familiaridade com a valoração de bens não-mercantis.

Como exemplo, o método de avaliação contingente constrói um mercado hipotético basicamente perguntando às pessoas o que elas estariam dispostas a pagar por um determinado bem ou serviço não comercializado. Um problema é que: “

“até mesmo os especialistas desconhecem todos os bens e serviços que os ecossistemas saudáveis fornecem, como eles os fornecem, os impactos das atividades humanas em sua provisão, onde se encontram os limites ecológicos críticos e o quando esses limites são ultrapassados.” (DAILY e FARLEY, 2012, p 460)

Se emitimos um determinado fluxo de poluentes num lago, qual será o impacto? Que serviços do ecossistema serão perdidos? O fluxo de resíduos se acumulará, causando piores danos ao longo do tempo - talvez perda irreversível? A perda do

sistema que está sendo poluído afetará outros sistemas? Qual é a escala de tempo envolvida? Mesmo que fosse possível aos peritos resolver todas essas incertezas (o que não é) e disseminar essa informação para a população em geral, as pessoas não têm experiência com os mercados desses bens e serviços e ainda teriam dificuldade em atribuir valores de troca significativos.

3.2.3 TEMPO, DISTRIBUIÇÃO E VALORAÇÃO

Outro problema é o fator tempo. A maioria dos bens e serviços ecossistêmicos é renovável e, portanto, proporcionará benefícios para o futuro indefinido. Uma decisão típica é se sacrificar um fluxo renovável de um fundo-serviço natural para um serviço de fundo não-renovável (artificial) ou a liquidação de uma única vez do estoque. Isso exige que comparemos valores atuais com valores futuros. A taxa de desconto será tipicamente uma das variáveis mais importantes na determinação do valor, e não há uma regra objetiva acordada para determinar uma taxa apropriada.

Devemos também reconhecer que a questão do que deve ser deixado para o futuro é inerentemente uma decisão ética relativa às distribuições intergeracional. Os economistas convencionais argumentam que a questão não é de distribuição, mas sim de alocação eficiente. Se um recurso for suficientemente mais valioso no futuro do que no presente, deve ser salvo para o futuro. Portanto, maximizar o valor presente líquido (VPL) da utilização dos recursos conduzirá à atribuição ótima. No entanto, o VPL é o valor dos recursos presentes e futuros para esta geração. Isso corresponde a uma regra de propriedade que atribui direitos de propriedade à geração atual, que é livre para interferir no acesso do futuro aos recursos. Sob esta abordagem, tudo o que importa é o valor dos recursos para a geração atual.

Para DALY e FARLEY (2012), como alternativa, poderíamos atribuir alguns direitos de propriedade de recursos às gerações futuras. Por exemplo, a atribuição de direitos através de uma regra de responsabilidade deixaria esta geração livre para utilizar recursos, desde que compensasse o futuro com uma quantidade equivalente de outros recursos. De acordo com uma regra de inalienabilidade, o futuro teria direito a uma certa parcela de recursos, e o presente seria obrigado a deixá-los. Essas três regras são simplesmente distribuições iniciais diferentes de recursos, e cada uma delas resultaria em um conjunto diferente de preços para recursos de mercado e não-mercantis. Qual regra usar é uma decisão ética, não uma questão de eficiência alocativa.

3.3 METODOLOGIA AHP E CONSIDERAÇÕES SOBRE MENSURAÇÕES RELATIVAS

Desenvolvido por Thomas L. SAATY (1980) como um método de tomada de decisão, o Processo de Hierarquia Analítica (AHP em inglês, de *Analytic Hierarchy Process*) tem por objetivo sistematizar a utilização da informação disponível, formalizando e, portanto, tornando clara a maneira do ser humano pensar ao tomar decisões.

Segundo SAATY (2008), para tomarmos uma decisão, precisamos conhecer o problema, a necessidade e o propósito da decisão, os critérios da decisão, seus subcritérios, as partes interessadas, os grupos afetados e as ações alternativas a serem tomadas. Em seguida, tentamos determinar a melhor alternativa ou, no caso da alocação de recursos, precisamos de prioridades para as alternativas para alocar a respectiva parcela apropriada dos recursos.

A tomada de decisão, normalmente, envolve muitos critérios e subcritérios usados para classificar as alternativas de uma decisão. Portanto, não apenas é necessário criar prioridades para as alternativas com relação aos critérios ou subcritérios em termos dos quais elas precisam ser avaliadas, mas também para os subcritérios em relação aos critérios e destes em relação a um objetivo mais elevado, ou, se eles dependerem das alternativas, em termos das próprias alternativas.

O Processo de Hierarquia Analítica busca classificar alternativas de decisão, permitindo que se selecione a melhor, quando o tomador de decisão tem a sua disposição vários critérios. O AHP consiste em três operações principais, que são: a construção de hierarquia, a análise de prioridade e a verificação de consistência. Em primeiro lugar, os tomadores de decisão precisam dividir problemas de decisão multicritérios complexos em suas partes componentes, de forma que possíveis atributos sejam organizados em vários níveis hierárquicos. Depois disso, os tomadores de decisão precisam comparar cada conjunto no mesmo nível de uma forma par a par, baseado em sua própria experiência e conhecimento. Uma vez que as comparações são realizadas por meio de julgamentos pessoais ou subjetivos, pode ocorrer algum grau de inconsistência. Para garantir que os julgamentos sejam consistentes, a operação final chamada verificação de consistência é incorporada ao processo para medir o grau de consistência entre as comparações par a par, calculando a razão de consistência. Se for verificado que a razão de consistência excede o limite, os tomadores de decisão devem

rever suas avaliações, revisando as comparações paritárias. Uma vez que todas as comparações entre pares são realizadas em todos os níveis e são provadas consistentes, os julgamentos podem então ser sintetizados para descobrir o ranking de prioridade de cada critério e seus atributos.

A medição dos critérios, no entanto, pode se tornar uma tarefa desafiadora, seja por questões de limitação na obtenção das informações relevantes em razão de incerteza, ambiguidade, ou vagueza, ou algumas vezes pela própria inexistência de uma unidade na qual o critério possa ser mensurado, como é o caso de fatores intangíveis.

É amplamente reconhecido que a maioria das decisões tomadas no mundo real ocorre em um ambiente em que as metas e restrições, devido à sua complexidade, não são conhecidas com precisão e, portanto, o problema não pode ser exatamente definido ou representado precisamente por um valor *crisp*. Para lidar com o tipo de informação qualitativa, imprecisa ou mesmo problemas de decisão mal estruturados, a teoria dos conjuntos *fuzzy* é sugerida por BELMAN e ZADEH (1970) como uma ferramenta de modelagem para sistemas complexos que podem ser controlados pelos seres humanos, mas são difíceis de definir exatamente. Na maioria dos problemas do mundo real, alguns dos dados de decisão podem ser avaliados com precisão, enquanto outros não.

Apesar da conveniência do AHP em lidar com os critérios quantitativos e qualitativos de decisão multicritério em problemas de decisão com base em juízos de valor, a falta de clareza e vagueza existentes em muitos problemas de tomada de decisão pode contribuir para julgamentos imprecisos de tomadores de decisão em abordagens AHP convencionais. Para muitos autores (BOUYSSOU et ali., 2000, Van LAARHOVEN e PEDRYCZ, 1993, BOENDER et ali., 1989), uma técnica que combine a Lógica Fuzzy com o AHP, ou técnica Fuzzy-AHP, pode ser vista como um método analítico mais avançado, mostrando-se capaz de descrever de forma mais eficiente tomadas de decisão que envolvam esses tipos de problema.

3.3.1 A METODOLOGIA FUZZY AHP

Existem diversos métodos Fuzzy-AHP (FAHP) propostos por vários autores. Todos se apresentam como abordagens sistemáticas para o problema de tomada de decisão e seleção de alternativas utilizando os conceitos da Teoria dos Conjuntos Fuzzy e análise hierárquica estruturada. O trabalho mais antigo em Fuzzy-AHP foi apresentado por LAARHOVEN e PEDRYCZ (1983), que comparou relações fuzzy

descritas por funções de pertinência triangulares. Em 1985, BUCKLEY (1985) estende a análise hierárquica empregando razões fuzzy no lugar de razões exatas (*crisp*). Assim, se uma alternativa A é considerada mais importante do que a alternativa B, a razão usada pode ser *aproximadamente 3 para 1*, ou *entre 2 para 1 e 4 para 1*, ou *no máximo 5 para 1*, etc. CHANG (1992) introduz uma nova abordagem para a manipulação do Fuzzy-AHP, usando números fuzzy triangulares para a escala de correspondência numérico-conceitual de comparação e o uso do método de análise de extensão para os valores de extensão sintética das comparações par a par.

A análise de extensão de CHANG (1996) sobre o FAHP depende do grau de possibilidades de cada valor sintético de extensão fuzzy ser maior que o outro. De acordo com as respostas dos especialistas nos formulários de perguntas, os correspondentes valores fuzzy triangulares para as variáveis linguísticas são colocados e para um nível particular na hierarquia, a matriz de comparação paritária é construída.

Tendo como base o artigo de Chang (1996) – *Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP*, e a crítica feita por WANG et al. (2008), a seguir será apresentado a formalização do método de análise de extensão de CHANG (op. cit.) conforme é apresentado naquele artigo. No Capítulo 4 desta tese este método é empregado para fins de decisão locacional.

3.3.2 CONCEITO BÁSICO DE FUZZY AHP

Considere uma matriz de comparação fuzzy expressa por:

$$\tilde{A} = (\tilde{a}_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} (1, 1, 1) & (l_{12}, m_{12}, u_{12}) & \cdots & (l_{1n}, m_{1n}, u_{1n}) \\ (l_{21}, m_{21}, u_{21}) & (1, 1, 1) & \cdots & (l_{2n}, m_{2n}, u_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ (l_{n1}, m_{n1}, u_{n1}) & (l_{n2}, m_{n2}, u_{n2}) & \cdots & (1, 1, 1) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

Onde $\tilde{a}_{ij} = (u_{ij}, m_{ij}, l_{ij}) = \tilde{a}_{ij}^{-1} = (1/u_{ij}, 1/m_{ij}, 1/l_{ij})$ para $i, j = 1, \dots, n$ e $i \neq j$.

Para calcular o vetor de prioridades da matriz de comparações fuzzy acima, Chang (1996) sugere o seguinte método de extensão.

Em primeiro lugar, soma-se cada linha da matriz de comparação fuzzy \tilde{A} por operações aritméticas fuzzy:

$$RS_i = \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} = \left(\sum_{j=1}^n l_{ij}, \sum_{j=1}^n m_{ij}, \sum_{j=1}^n u_{ij} \right), \quad i = 1, \dots, n \quad (2)$$

Em segundo lugar, normaliza-se a soma das linhas por,

$$\tilde{S}_i = \frac{RS_i}{\sum_{j=1}^n RS_j} = \left(\frac{\sum_{j=1}^n l_{ij}}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n u_{kj}}, \frac{\sum_{j=1}^n m_{ij}}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n l_{kj}}, \frac{\sum_{j=1}^n u_{ij}}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n m_{kj}} \right), i = 1, \dots, n \quad (3)$$

Em terceiro lugar, computa-se o grau de possibilidade de $\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j$ pela seguinte equação:

$$V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j) = \begin{cases} 1, & \text{se } m_i \geq m_j, \\ \frac{u_i - l_j}{(u_i - m_i) - (m_j - l_j)}, & \text{se } l_j \leq u_i, \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad i, j = 1, \dots, n; j \neq i \quad (4)$$

onde $\tilde{S}_i = (l_i, m_i, u_i)$ e $\tilde{S}_j = (l_j, m_j, u_j)$.

O grau de possibilidade de $\tilde{S}_i = (l_i, m_i, u_i) \geq \tilde{S}_j = (l_j, m_j, u_j)$ é definido pela equação (7):

$$V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j) = \sup_{y \geq x} \left[\min(\mu_{\tilde{S}_i}(x), \mu_{\tilde{S}_j}(y)) \right] \quad (5)$$

Quando um par (x, y) existe, tal que $x \geq y$ e $\mu_{\tilde{S}_i}(x) = \mu_{\tilde{S}_j}(y) = 1$, então temos $V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j) = 1$. Como \tilde{S}_i e \tilde{S}_j são números fuzzy convexos temos que:

$$V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j) = 1 \text{ sse } m_i \geq m_j, \quad (6)$$

$$V(\tilde{S}_j \geq \tilde{S}_i) = hgt(\tilde{S}_i \cap \tilde{S}_j) = \mu_{\tilde{S}_i}(d) \quad (7)$$

Onde d é a abscissa do ponto de interseção mais elevado entre $\mu_{\tilde{S}_i}$ e $\mu_{\tilde{S}_j}$ (ver gráfico 1).

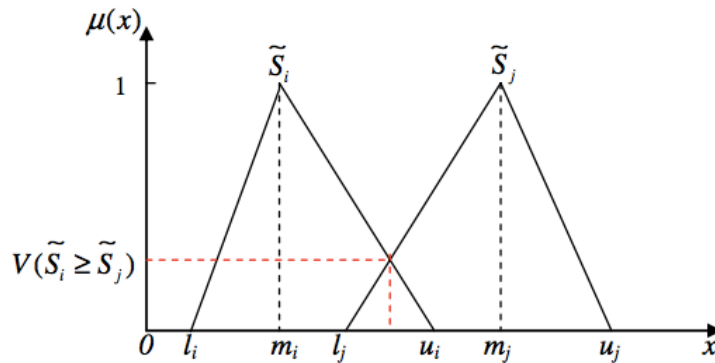


Gráfico 1 – Grau de Possibilidade

Fonte: WANG et al., 2008

Quando $\tilde{S}_i = (l_i, m_i, u_i) \geq \tilde{S}_j = (l_j, m_j, u_j)$, a ordenada de d é dada pela equação (9):

$$V(\tilde{S}_j \geq \tilde{S}_i) = hgt(\tilde{S}_i \cap \tilde{S}_j) = \frac{u_i - l_j}{(m_i - u_i) - (m_j - l_j)} \quad (8)$$

Finalmente, define-se o vetor de prioridades $W = (w_1, \dots, w_n)^T$ da matriz de comparação fuzzy \tilde{A} como:

$$w_i = \frac{V(\tilde{S}_j \geq \tilde{S}_i / j = 1, \dots, n; j \neq i)}{\sum_{k=1}^n V(\tilde{S}_k \geq \tilde{S}_j / j = 1, \dots, n; j \neq k)}, \quad i = 1, \dots, n. \quad (9)$$

Segundo WANG et al. (2008), no entanto, a formula de normalização (3) proposta por Chang (1996) está errada. WANG et al. (2006) propõem o que consideram uma formulação mais correta para a normalização de pesos fuzzy triangulares, como mostrado a seguir:

$$\begin{aligned} \tilde{S}_i &= \frac{RS_i}{\sum_{j=1}^n RS_j} \\ &= \left(\frac{\sum_{j=1}^n l_{ij}}{\sum_{j=1}^n l_{ij} + \sum_{k=1, k \neq i}^n \sum_{j=1}^n u_{kj}}, \frac{\sum_{j=1}^n m_{ij}}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n m_{kj}}, \frac{\sum_{j=1}^n u_{ij}}{\sum_{k=1}^n u_{ij} + \sum_{k=1, k \neq i}^n \sum_{j=1}^n u_{kj}} \right), \quad (10) \\ & \quad i = 1, \dots, n \end{aligned}$$

3.3.3 A METODOLOGIA AHP COMO FERRAMENTA PARA MENSURAÇÃO DE INTANGÍVEIS

Tradicionalmente, toda a modelagem matemática da realidade tem sido descrita assumindo-se que a todas as coisas se pode, de alguma forma, atribuir valores numéricos, que variam de menos infinito a mais infinito (SAATY, 2008). Isso se baseia na suposição de que todos os fatores essenciais são mensuráveis. No entanto, há um número muito maior de fatores que não sabemos como medir do que há aqueles para os quais existem medidas. A possibilidade de se medir intangíveis abriria muito mais espaço para interpretações científicas do que temos sido capazes de fazer até o momento. Ainda segundo SAATY (op cit), a medição numérica deve ser interpretada pelo seu significado e utilidade de acordo com sua prioridade para servir a uma determinada decisão, não tendo a mesma prioridade para todos os problemas. Sua importância, portanto, é relativa, de modo que se torna necessário derivar prioridades relativas nas tomadas de decisões.

Em termos práticos, medição significa a utilização de uma escala com um conjunto de números aplicada para medir um conjunto de objetos e, conseqüentemente, um mapeamento dos objetos para os números. Além disso, um julgamento apropriado deve ser usado para interpretar as leituras da escala de maneira a usá-las na prática. Portanto, o julgamento também é essencial (SAATY, 2013).

Uma das principais utilidades das avaliações relativas, grandemente explorada pela modelagem AHP, é a mensuração de fatores intangíveis. A mensuração de fatores intangíveis enfrenta a dificuldade de não possuir uma escala de referência. Por outro lado, os fatores podem ser comparados aos pares. A capacidade de fazer comparações é um talento que todo ser humano possui (SAATY, 1980), um talento associado a nossa capacidade de perceber diferentes intensidades ou matizes de características, propriedades ou comportamento dos objetos, que nos permite não apenas discriminá-los entre si mas também ordená-los em relação a tais características, propriedades ou comportamentos.

O Processo de Hierarquia Analítica (AHP) pode ser descrito como um processo psicofísico descritivo que pode ser usado para tomar decisões ao lidar com a mensuração de intangíveis usando o julgamento humano.

“Nenhum instrumento pode ser concebido para medi-los (os intangíveis) além da própria mente, que também deve interpretar o seu significado. Intangíveis deixam um impacto em nossas mentes, que são biologicamente dotadas para responder às influências, fazendo comparações conscientemente e subconscientemente.” (SAATY, 2013, pp 194).

Os tangíveis têm medições geralmente em escalas de proporção com unidades arbitrárias que são sempre interpretadas usando juízos quanto ao propósito particular que as medições servem. Comparações diretas são necessárias para estabelecer medições de propriedades intangíveis que não têm escalas de medição. Nesse caso, o valor derivado para cada elemento depende de quais outros elementos é comparado. Através do AHP escalas relativas podem ser derivadas fazendo comparações em pares usando juízos numéricos a partir de uma escala absoluta de números. Tais medidas, quando usadas para representar comparações, podem ser relacionadas e combinadas para definir uma escala cardinal de números absolutos que é mais forte do que uma escala de razão. Isso é necessário quando fatores intangíveis precisam ser adicionados e multiplicados entre si e com fatores tangíveis.

SAATY (2008) propôs a metodologia AHP como uma ferramenta para a

mensuração de valores intangíveis e para a integração entre variáveis tangíveis e intangíveis para fins de tomada de decisão. O trabalho de Saaty mostra a generalidade da metodologia AHP como método de medida suficientemente preciso para produzir resultados numéricos que estão próximos do que se obtém por métodos convencionais, servindo assim para validar seu uso na medição de intangíveis quando pessoas informadas estão envolvidas.

Outra relevante e justificável aplicação de mensuração relativa, que defendemos nesta tese, é para valorar características, propriedades ou comportamentos de objetos ou de relações entre objetos, cuja mensuração absoluta precisa é simplesmente impossível, pela total falta de compreensão do objeto em si, ou é extremamente custosa e demorada, em razão, muitas das vezes, da complexidade inerente ao objeto ou ao seu relacionamento sistêmico com outros objetos, que nos parece ser o caso dos serviços ecossistêmicos na sua relação com as indústrias.

O conceito de complexidade, conforme estabelece a Teoria Geral dos Sistemas, é geralmente usado para descrever objetos, sistemas ou relações compostas de muitas partes ou ligações que interagem entre si de múltiplas formas para um determinado fim e cujas características, propriedades ou comportamentos são difíceis senão impossíveis de mensurar ou determinar com precisão. Neste sentido, constatamos que o conceito de complexidade é similar ao conceito de intangibilidade dos objetos. Portanto, no que concerne à dinâmica das relações entre indústrias e ecossistemas, nos parece que a complexidade é a característica típica identificada.

Ao defendermos a extensão da ferramenta AHP de mensuração relativa de Saaty para objetos complexos, tais como essas relações entre serviços ecossistêmicos e processos industriais, nos baseamos nessa similaridade entre os conceitos de intangibilidade e complexidade. No nosso entendimento, a complexidade é aqui caracterizada pela intangibilidade dos diferentes componentes, processos e funções que concorrem para a formação dos serviços ecossistêmicos, que torna muitas vezes intangível a mensuração absoluta precisa.

A complexidade em descrever o comportamento dos sistemas resulta da grande quantidade de componentes, processos e funções, e/ou da dificuldade em reunir informações ou dados precisos sobre o sistema ou suas partes. Modelos precisos de sistemas complexos são muitas vezes matematicamente intratáveis. Neste ponto, talvez seja oportuno lembrar o que ZADEH (1972) argumenta sobre complexidade e precisão. Afirma ele que "a preocupação excessiva com a precisão se tornou uma influência

estonteante na teoria dos sistemas (...), em grande parte porque ela tende a concentrar a pesquisa neste campo sobre aqueles e somente aqueles problemas que são suscetíveis de soluções exatas".

Em suas considerações, Zadeh continua argumentando que "técnicas quantitativas convencionais de análise de sistemas são intrinsecamente inadequadas para lidar com sistemas humanísticos ou, com qualquer sistema cuja complexidade seja comparável à dos sistemas humanísticos". O motivo desta inadequação é categoricamente resumido no que esse autor chamou de "princípio da incompatibilidade", que, em termos informais, declara que "...à medida que a complexidade de um sistema cresce, nossa capacidade de fazer declarações precisas e significativas sobre seu comportamento diminui até que um limiar é alcançado, além do qual precisão e significância (ou relevância) se tornam características quase mutuamente exclusivas" (ZADEH, 1973).

Segundo DUBOIS e PRADE (1980), "a determinação de um modelo satisfatório para um processo complexo é uma questão de aproximação". De forma mais específica, quando sistemas complexos se encontram sob consideração, não faz sentido nenhum tentar encontrar um modelo que melhor se ajuste aos dados. O problema passa a ser o de "determinar que modelos são tão bons quanto possível, dado que nenhum modelo igualmente simples ou mais simples pode ser apontado como uma melhor aproximação aos dados" (DUBOIS e PRADE op. cit.). Tais modelos passam a ser denominados de "admissíveis".

Não obstante, seja no caso de intangíveis ou de objetos complexos, um instrumento que temos a nossa disposição para mensurá-los e interpretar seus significados é a própria mente humana, biologicamente dotada para receber as informações que chegam desprovidas de uma escala numericamente mensurável, fazendo comparações conscientemente e subconscientemente. Utilizando-se de razões, remove a arbitrariedade da unidade e cria escalas absolutas relativas. É uma forma de medição que ocorreu muito antes da introdução dos sistemas de coordenadas gerais para medições físicas (SAATY, 2008).

3.3.4 MENSURAÇÃO RELATIVA DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

Como já destacado, para situações de tomada de decisão que envolvam

complexidade e um número limitado de escolhas, a busca por valores absolutos é desnecessária, e no caso da valoração de serviços ecossistêmicos, altamente custosa e de validade e precisão questionáveis, conforme discutido nas seções anteriores. Em situações como essa, a avaliação relativa apresenta-se como uma opção mais adequada.

A metodologia proposta nesta tese busca estabelecer valores relativos para as relações que se formam entre o sistema econômico, aqui representado pelas atividades industriais produtivas, e o ecossistema, aqui representado pelas funções ecossistêmicas e os serviços a elas relacionadas. Para tanto, utiliza-se um processo fuzzy AHP, que combina lógica Fuzzy, empregada para capturar a percepção de especialistas, ao Processo de Hierarquia Analítica (AHP), valendo-se das vantagens de ambos e, portanto, sendo capaz de tratar com mais propriedade o problema de valoração das relações existentes entre sistemas econômicos e ecológicos.

Essa proposta foi concebida com o intuito de explicitar valores relativos para as variáveis descritivas das relações existentes entre serviços ecossistêmicos, de regiões selecionadas, e atividades produtivas, de forma que pudessem ser consideradas nos processos de decisão de localização e relocação de projetos industriais. No entanto, fica claro que o modelo é relativamente mais geral e abrangente, podendo ser utilizado para estabelecer valores relativos de qualquer fator locacional em relação a uma atividade produtiva, desde que haja especialistas capazes avaliar esse relacionamento.

A utilização da lógica fuzzy se dá em razão da dificuldade de se mensurar ou mesmo de se descrever totalmente a complexa relação que existe entre os sistemas econômicos e os ecossistemas, isto é, em que medida os serviços ecossistêmicos, em particular aqueles com características mais subjetivas ou intangíveis, beneficiam ou são afetados pelas atividades produtivas. Na presença de vagueza, indefinição de contornos ou ambiguidade das informações disponíveis, os valores conseguidos através dos processos tradicionais de mensuração/valoração, como apresentados na seção anterior, revelam-se incertos e imprecisos, levantando questionamentos sobre a sua validade. A lógica fuzzy e a teoria dos conjuntos fuzzy prestam-se justamente a resolver esses problemas, capturando a vagueza, a indefinição de contornos e a ambiguidade das informações disponíveis, mediante a conversão dos termos linguísticos descritivos dessas avaliações em números fuzzy (conjuntos fuzzy) que podem ser computados com rigor e precisão matemáticas.

De acordo com ZADEH (2001) os seres humanos têm uma capacidade notável para realizar uma grande variedade de tarefas físicas e mentais sem quaisquer medições

e quaisquer cálculos. A lógica fuzzy oferece muitas vantagens para a modelagem ecológica, incluindo: a capacidade de modelar relacionamentos que não são conhecidos com certeza; a capacidade de modelar relacionamentos complexos cheios de ciclos de retroalimentação; a capacidade de incluir variáveis abstratas e agregadas em modelos; e a facilidade e velocidade de obtenção e combinação de diferentes fontes de conhecimento (ÖZESMI e ÖZESMI, 2004).

A metodologia, portanto, utiliza o julgamento dos especialistas para avaliar quatro variáveis que estão envolvidas em duas relações complexas: (1^a) a dependência das indústrias pelos SE disponibilizados ou ‘ofertados’ pelos ecossistemas regionais; e (2^a) os impactos da implantação e operação das indústrias na saúde desses ecossistemas, ou, o que resulta no mesmo, na saúde dos SE. Observa-se que, em cada uma dessas relações, se identifica a interação de uma variável inerente às atividades industriais e outra inerente aos processos e funções ecossistêmicas. Na primeira relação, as variáveis envolvidas são a *dependência das indústrias por SE* e as *disponibilidades regionais dos SE*, enquanto na segunda, os *impactos das indústrias nos SE* e a *saúde regional dos SE*.

De concepção aparentemente simples, as variáveis consideradas apresentam um grau de complexidade, incerteza e abstração, em seus relacionamentos, significativo. Portanto, antes do processo de avaliação, algumas considerações importantes precisam ser feitas a respeito dessas variáveis, i.e., dos relacionamentos entre os serviços ecossistêmicos e as indústrias, bem como a respeito da forma como os especialistas devem avaliar essas relações dentro da metodologia.

A relação de *dependência* é a mais evidente e tem a ver com a importância relativa de cada um dos SE para o processo produtivo de cada uma das indústrias, isto é, com que intensidade um dado SE é relevante para uma indústria em relação às demais, quer dizer, qual a dependência por um dado SE em relação às demais indústrias. Essa relação se estende à região na medida em que, em certos casos, o próprio fato de uma indústria se apropriar dos SE ou simplesmente operar na região poder vir a comprometer a *disponibilidade* ou fluxo de serviços ecossistêmicos da região, caso haja algum impacto na capacidade da região de sustentar esse fluxo de serviços, o que nos leva a questão da *saúde ecossistêmica*.

Saúde ecossistêmica é descrita por COSTANZA (2012) como uma medida abrangente e multiescalar do vigor, organização e resiliência do sistema. Está, portanto, intimamente ligada a ideia de sustentabilidade que implica “na capacidade do sistema

de manter sua estrutura (organização) e função (vigor) ao longo do tempo diante do estresse externo (resiliência)”. Ainda segundo COSTANZA (2012) para que a interação entre ecossistemas e sistemas econômicos seja verdadeiramente bem-sucedida, deve-se perseguir o objetivo mais amplo de projetar ecossistemas saudáveis, que podem ser novas combinações de funções ecossistêmicas desejadas, que produzam uma gama de serviços ecossistêmicos valiosos, e atividades humanas produtivas, de modo a produzir "designs de ecossistemas sustentáveis que integrem a sociedade humana com seu ambiente natural em benefício de ambos”.

Ainda sobre a dependência das indústrias pelos serviços ecossistêmicos, pelas descrições dos SE feitas no capítulo dois, fica claro que algumas atividades industriais não irão demandar alguns desses serviços e no caso do serviço de suporte, nenhuma atividade irá demanda-lo diretamente. No entanto, todas as atividades podem, em algum nível, exercer impactos na capacidade da região de ofertar esses serviços e, dessa forma, comprometer a sustentabilidade da operação da indústria.

A respeito dos bens e serviços de provisão, esses em sua maioria possuem valores de mercado, de forma que já são normalmente considerados como fatores locais em qualquer modelo de localização, principalmente como fontes de matérias-primas ou fontes de energia. Sua relação com a indústria se dá, portanto, de forma direta e está ligada a uma disponibilidade sustentável de um fluxo desses serviços para atender a atividade industrial.

Os serviços de regulação podem ter significativa importância para determinadas atividades produtivas. Por exemplo, um setor da agroindústria pode depender de um determinado nível de precipitação anual para que seja economicamente viável, ou de um sistema biológico relativamente estável de modo que pragas e doenças não se proliferem com facilidade. A dinâmica dos ventos pode ser crucial para a decisão na localização de um aeroporto ou de parques eólicos para a produção de energia.

Os serviços culturais caracterizam-se por sua dimensão não material, no entanto, seus valores estéticos ou de inspiração podem ter efeitos sobre o ambiente organizacional ou mesmo sobre as relações sociais dentro de uma empresa, podendo inclusive ter um efeito sobre a imagem da empresa. Já outras atividades podem valer-se diretamente desses serviços como, por exemplo, o ecoturismo e a atividade hoteleira.

Serviços de apoio diferem dos serviços de provisão, regulação e culturais, na medida em que os seus impactos sobre as pessoas são indiretos ou ocorrem durante um intervalo grande de tempo. Por exemplo, os seres humanos não utilizam diretamente os

serviços de formação de solo, embora mudanças nessa situação afetem indiretamente as pessoas através do impacto no serviço de provisão de produção de alimentos.

Quanto à avaliação pelos especialistas, muitas são as técnicas que podem ser utilizadas para capturar suas opiniões e percepções. No caso de problemas complexos, como o de valoração de recursos ecossistêmicos, uma que vem se destacando, desde o trabalho de ÖZESMI e ÖZESMI (2004), é o mapeamento cognitivo fuzzy (Fuzzy Cognitive Mapping – FCM). Os mapas cognitivos fuzzy são ferramentas especialmente aplicáveis e úteis para modelar relacionamentos complexos entre variáveis, mostrando-se capaz de reunir o conhecimento de muitos especialistas de diferentes disciplinas e modelar suas percepções e ideias sociais de como os sistemas funcionam. Essa possibilidade de se reunir conhecimentos específicos e aprofundados tanto a respeito dos sistemas econômicos quanto dos ecossistemas é essencial para a conservação de um ecossistema e o estabelecimento de uma indústria de forma sustentável.

3.3.5 VARIÁVEIS, VALORES LINGUÍSTICOS E ESCALA DE CORRESPONDÊNCIA NUMÉRICA

A avaliação comparativa das variáveis em relação a cada uma das categorias de SE adotará os seguintes valores linguísticos comparativos.

Valores linguísticos da variável *dependência da indústria por SE*: ***igualmente dependente, levemente mais dependente que, razoavelmente mais dependente que, fortemente mais dependente que e extremamente mais dependente que.***

Valores linguísticos da variável *disponibilidade regional de SE*: ***igualmente disponível, levemente mais disponível que, razoavelmente mais disponível que, fortemente mais disponível que e extremamente mais disponível que.***

Valores linguísticos da variável *saúde regional de SE*: ***igualmente saudável, levemente mais saudável, razoavelmente mais saudável, fortemente mais saudável e extremamente mais saudável.***

Valores linguísticos da variável *impacto da indústria nos SE*: ***igualmente impactante, levemente mais impactante, razoavelmente mais impactante, fortemente mais impactante e extremamente mais impactante.***

Neste ponto, chamamos a atenção para o fato de que cada valor linguístico comparativo é formado sintaticamente por um quantificador de comparação e o respectivo núcleo semântico da variável linguística, a saber, os adjetivos ***dependente***,

disponível, saudável e impactante. Assim, com quantificadores de comparação comuns formando os valores comparativos linguísticos das quatro variáveis, um mesmo conjunto de números triangulares fuzzy, conforme apresentado abaixo, pode ser usado para representá-los quantitativamente.

Tabela 4. Correspondência Numérico-Conceitual Fuzzy de Comparações Paritárias

QUANTIFICADOR COMPARATIVO LINGUÍSTICO	NÚMERO FUZZY CORRESPONDENTE
IGUALMENTE	(1, 1, 3)
LEVEMENTE MAIS	(1, 3, 5)
RAZOAVELMENTE MAIS	(3, 5, 7)
FORTEMENTE MAIS	(5, 7, 9)
EXTREMAMENTE MAIS	(7, 9, 9)

Fonte: Elaboração própria

Note-se que os números *fuzzy* triangulares desta nova escala preservam em seus núcleos (pertinência 1) os números *crisp* da escala fundamental de correspondência numérico-conceitual de Saaty e dispensam os intermediários 2, 4, 6 e 8, que são capturados pelas respectivas funções de pertinência dos números fuzzy. O gráfico a seguir mostra essa representação matemática.

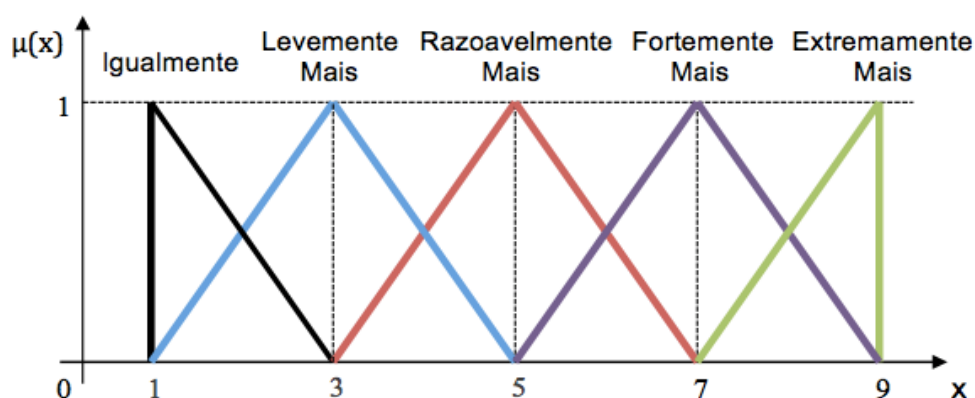


Gráfico 2: Representação Fuzzy dos Quantificadores dos Valores Comparativos Linguísticos

Fonte: Elaboração própria

Ao avaliar cada variável em relação a cada categoria de SE, o especialista deve atentar para o fato de que estas constituem um conjunto de bens e serviços e, portanto, devem ser apreciadas de uma maneira holística. Essa avaliação deve ser, de certa

maneira, análoga a avaliação proposta pelo arcabouço do Valor Econômico Total, isto é, os especialistas devem ser capazes de levar em conta, para cada variável, tanto os chamados valores de uso como os de não-uso, com uma vantagem adicional: a de poderem levar em conta conceitos de difícil valoração monetária, como é o caso da saúde ecossistêmica, e relacionamentos mais complexos como processos de retroalimentação entre o sistema econômico e os ecossistemas.

CAPÍTULO 4

PROPOSTA METODOLÓGICA FUZZY HIERÁRQUICA

Neste capítulo, apresenta-se a abordagem metodológica *fuzzy*-hierárquica, objeto de nossa proposta. Tendo em vista que o problema se encontra parcialmente descrito no Capítulo 1 - Introdução, inicia-se o presente capítulo com uma definição e caracterização do problema, acrescida de sua declaração formal. Em seguida, faz-se a descrição geral da abordagem, explicando a estrutura conceitual e analítica que lhe serve de suporte. Nessa descrição, identificam-se os diferentes componentes da estrutura e respectivas contribuições para os objetivos da tese.

Uma seção específica é dedicada ao detalhamento das etapas da abordagem e do envolvimento desses componentes no processo de localização, incluindo esclarecimentos sobre conceitos e princípios do referencial teórico, premissas adotadas, modelos e processos explorados, rotinas e procedimentos computacionais utilizados, incluindo, onde julgado necessário, a argumentação pertinente com respectivas justificativas.

4.1 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Conforme já apresentado, o problema em tela é o da localização industrial no contexto das atuais questões de sustentabilidade. Quer dizer, é o problema da escolha de região ou sítio onde implantar uma indústria, condicionada esta escolha à sustentabilidade econômico-ambiental que caracteriza a dinâmica das relações entre ecossistema regional e indústria, uma dinâmica que, a priori, se caracteriza por uma utilização (ou consumo), pela indústria, dos SE disponíveis ou disponibilizados (ou supridos) pelos ecossistemas regionais e consequentes impactos derivados dessa utilização.

Nossa proposta consiste em incluir, no processo de escolha, os serviços ecossistêmicos regionais como condicionantes primários da localização, porque, nas suas quatro categorias (serviços de suporte, serviços de provisão, serviços de regulação e serviços culturais) e em alguma proporção, são utilizados (ou consumidos) pelas indústrias direta ou indiretamente em seus processos de produção.

Nessa condição, serviços ecossistêmicos regionais podem ser entendidos como *benefícios que as indústrias obtêm dos ecossistemas regionais* aonde venham ser implantadas e, da perspectiva de nossa abordagem, devem substituir os fatores terra e clima da análise locacional clássica.

A implantação e eventual expansão das indústrias e o uso dos SE para atendimento de suas dependências, mesmo em pequena escala, tem impactos na *sustentabilidade ambiental* dos ecossistemas regionais candidatos à localização e, por consequência, na sustentabilidade econômico-ambiental indústria-ecossistema. O objetivo da inclusão dos SE, portanto, é assegurar que a escolha locacional seja condicionada, em caráter primário, por essa sustentabilidade.

Isso é feito em parte mediante análise e explicitação do comprometimento da saúde do ecossistema regional, derivado da implantação e operação (e eventual desenvolvimento) de uma indústria em uma região. Como já é de conhecimento geral, o princípio norteador da sustentabilidade, em termos informais, exige que a instalação, operação e desenvolvimento de atividades humanas em uma determinada região não comprometam a capacidade de o ecossistema regional continuar a proporcionar serviços que outras atividades humanas, agora e no futuro, possam depender.

Tal comprometimento naturalmente ocorre quando o uso dos SE se dá em proporções superiores à **capacidade** de os ecossistemas restabelecerem seus **estoques e fluxos** desses serviços. Trata-se, portanto, de dotar o processo de escolha locacional de mecanismos e procedimentos que possibilitem avaliar comparativamente a *sustentabilidade econômico-ambiental* entre *indústrias e regiões candidatas à localização*.

Nossa abordagem procura fazer isso, conforme já mencionado nesta tese, caracterizando as regiões em termos da *disponibilidade* e *saúde* dos serviços ecossistêmicos, e mediante a caracterização das indústrias em termos de *dependência* pelos SE e respectivos *impactos* nos SE (ou na saúde dos ecossistemas regionais), impactos estes derivados da implantação, operação e desenvolvimento das indústrias.

Neste ponto, é interessante notar que as variáveis *disponibilidade* (ou oferta) regional e a *dependência* (ou demanda) das indústrias pelos SE lembram os elementos centrais do Modelo de Análise Hierárquica COPPE-Cosenza (Modelo COPPE-Cosenza), no qual nossa abordagem originalmente se inspira.

Publicado, em 1981, a estrutura conceitual e algorítmica do Modelo COPPE-Cosenza (1981) vem servindo de paradigma para diferentes teses de doutorado,

dissertações de mestrado e monografias de pós-graduação, além de artigos em periódicos e apresentações em congressos e conferências, envolvendo escolha de localização de empreendimentos industriais, diagnósticos e condutas médicas, estratégias gerenciais etc.

Um dos estudos mais emblemáticos utilizando o Modelo COPPE-Cosenza foi o realizado para a Petrobrás, na localização de plantas de Biodiesel no Nordeste do Brasil. Esse estudo envolveu quase 1800 municípios brasileiros candidatos à localização e avaliou, para fins de decisão, entre outras coisas, aqueles municípios estrategicamente localizados para sediar áreas de plantio de mamona, instalação de plantas esmagadoras de sementes e instalações de refino de óleo, entre outros.

O algoritmo do Modelo COPPE-Cosenza, tanto em sua versão “crisp” quanto na sua versão fuzzy, adota valores linguísticos absolutos para a oferta regional e para a demanda industrial por fatores, e explicita o ordenamento hierárquico das alternativas, em princípio, a partir da distância assimétrica entre oferta e demanda. Uma das grandes vantagens do Modelo COPPE-Cosenza é o potencial de examinar simultaneamente milhares de sítios potenciais, um reconhecido desafio matemático para as modelagens determinísticas tradicionais.

4.1.1 DECLARAÇÃO DO PROBLEMA

Tendo em vista o exposto, nosso problema pode ser declarado formalmente da seguinte maneira:

*“Sejam n indústrias em busca de regiões para se instalar e m regiões alternativas potencialmente capazes de acomodar essas indústrias. Sejam as indústrias caracterizadas por suas **dependências** (δ) por cada uma das quatro categorias de serviços ecossistêmicos (**SP, SR, SC e SS**) e pelos **impactos** (\mathbf{i}) que suas respectivas implantações, operações e desenvolvimentos têm sobre cada uma dessas categorias de serviços ecossistêmicos. Sejam os ecossistemas regionais candidatos à localização caracterizados pelas **disponibilidades** (α) e pela **saúde** (η) de cada um desses serviços nas regiões. Sejam **benefícios** (β) e **custos** (Y) associados a cada par indústria-ecossistema regional, definidos e computados como funções dessas variáveis; e sejam **indicadores de sustentabilidade econômico-ambiental** (σ) de cada um desses pares, definidos e computados como a **razão** entre os **benefícios** e **custos** assim computados.*

Deseja-se saber em que região localizar cada uma das indústrias de forma a assegurar sustentabilidade econômico-ambiental a cada par indústria-região. ”

Problemas desta natureza encontram-se na agenda executiva tanto de grupos empresariais, quanto de agências de planejamento central dos governos dos países, particularmente após a adoção da agenda mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável durante a Cúpula das Nações Unidas em setembro de 2015 (ONU, 2015) composta por 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) e 169 metas a serem atingidos pelos países até 2030.⁴

A seção seguinte descreve como nossa proposta metodológica resolve esse problema.

4.2 PROPOSTA METODOLÓGICA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

Antes de descrever toda a abordagem objeto de nossa proposta é conveniente fazer uma breve descrição de como o problema é resolvido. Em termos estruturais a proposta é extremamente simples. Ela parte da valoração relativa das quatro variáveis mencionadas na declaração do problema. Para essa valoração, a proposta conta com o julgamento de especialistas (e/ou outras partes interessadas ou com ingerência na localização) como elementos métricos que alimentam uma estrutura Fuzzy AHP – a Análise de Extensão Fuzzy de Chang (CHANG, 1996) – utilizada como ferramenta de mensuração relativa.

Em seguida, **benefícios** (β) e **custos** (γ) associados a cada par indústria-ecossistema regional, definidos como funções dessas variáveis, são computados. Na sequência, **indicadores de sustentabilidade econômico-ambiental** (σ) de cada um desses pares, definidos como a **razão** entre os **benefícios** e **custos** assim estimados, são também computados. O ordenamento hierárquico desses indicadores fornece a informação necessária para a decisão locacional.

⁴ Nesta agenda estão previstas ações mundiais nas áreas de erradicação da pobreza, segurança alimentar, agricultura, saúde, educação, igualdade de gênero, redução das desigualdades, energia, água e saneamento, padrões sustentáveis de produção e de consumo, mudança do clima, cidades sustentáveis, proteção e uso sustentável dos oceanos e dos ecossistemas terrestres, crescimento econômico inclusivo, infraestrutura, industrialização, entre outros. Os temas podem ser divididos em quatro dimensões principais: Social - relacionada às necessidades humanas, de saúde, educação, melhoria da qualidade de vida e justiça; Ambiental - trata da preservação e conservação do meio ambiente, com ações que vão da reversão do desmatamento, proteção das florestas e da biodiversidade, combate à desertificação, uso sustentável dos oceanos e recursos marinhos até a adoção de medidas efetivas contra mudanças climáticas; Econômica - aborda o uso e o esgotamento dos recursos naturais, a produção de resíduos, o consumo de energia, entre outros; e Institucional - diz respeito às capacidades de colocar em prática os ODS.

4.2.1 EXPRESSANDO A SUSTENTABILIDADE EM TERMOS DOS SE

Embora o uso dos SE por indústrias (o que implica *dependência* ou demanda das indústrias por SE) possa ser estimado com alguma precisão (afinal, o planejamento da produção industrial já pressupõe conhecimento da demanda por insumos), é difícil, senão quase impossível, fazer o mesmo em relação à capacidade de restabelecimento dos estoques e fluxos de SE pelos ecossistemas regionais. A complexidade dos mecanismos, processos e funções biológicas e não biológicas envolvidas na produção (ou *disponibilização*) dos SE pelos ecossistemas, conforme já explicado anteriormente, inibe o exercício de estimação determinística, mormente se for realizada em termos quantitativos absolutos.

Pelas mesmas razões, pode-se afirmar também que é difícil e quase impossível obter uma estimação determinística absoluta e precisa dos *impactos* das indústrias nos SE, bem como da *saúde* exibida por estes.

Assim, em que pese os notáveis esforços realizados no sentido de se obter uma mensuração de estoques e fluxos dos SE de diferentes ecossistemas naturais, conforme já extensamente discutido nos capítulos anteriores, nossa abordagem abandona o veio determinístico tradicional para adotar uma metodologia de mensuração relativa, apoiada em uma heurística fuzzy-hierárquico-analítica. Por meio dessa heurística, é possível mensurar comparativamente a *dependência* das indústrias pelos SE e o *impacto* das indústrias nos SE, bem como a *disponibilidade* e a *saúde* dos SE nas regiões, e, a partir de tais mensurações relativas, estimar benefícios e custos associados a cada par indústria-região. Uma vez estimados esses benefícios e custos, razões benefício/custo permitem inferir o status da sustentabilidade econômico-ambiental de cada um desses pares indústria-região.

A *rationale* subjacente a essa heurística é simples. Baseia-se nas relações de dependência e de impacto entre indústrias e ecossistemas regionais, que envolvem cada uma delas, duas variáveis relevantes do problema: uma variável inerente às indústrias e outra inerente aos ecossistemas regionais. Na relação de dependência, as variáveis envolvidas são:

- a própria *dependência* (ou '*demanda*') das indústrias por SE; e
 - a *disponibilidade* (ou '*oferta*') de estoques e fluxos regionais de SE;
- Enquanto, na relação de impacto, são:
- os *impactos* das indústrias nos ecossistemas regionais, ou nos SE; e

- a *saúde* desses *ecossistemas*, ou, o que é o mesmo, a *saúde dos SE regionais*.

Entretanto, para proceder a essas mensurações, algumas hipóteses são admitidas.

4.2.2 HIPÓTESES ADOTADAS PARA A SOLUÇÃO DO PROBLEMA

A primeira e principal hipótese é a de que *se encontram associados a essas duas relações, benefícios e custos que podem ser estimados em termos das variáveis envolvidas*. À relação de *dependência*, por óbvio, têm que estar associados os *benefícios*, enquanto à relação de *impacto* estão associados os *custos*. Isto é mostrado com mais detalhes adiante neste capítulo.

A segunda hipótese é a de que *a sustentabilidade econômico-ambiental de cada par indústria-ecossistema regional pode ser inferida da razão benefício/custo desse par, a partir de valores estimados em virtude da primeira hipótese*.

A terceira hipótese é a de que, *em face da característica ordinal da solução do problema, essas mensurações servem melhor aos propósitos da abordagem se forem computadas em termos relativos*.

Esta terceira hipótese nos mostrou a conveniência de optar por um processo de resolução cuja estrutura metodológica e computacional já forneça o resultado em valores relativos. Daí nossa opção pelo Processo de Hierarquia Analítica (AHP – Analytic Hierarchy Process) de SAATY (1980), para base metodológica da abordagem. Porém, tendo em vista as imprecisões associadas à vagueza e ambiguidade inerentes aos julgamentos humanos, a escala fundamental de SAATY é adaptada com números fuzzy, para possibilitar a captura e tratamento dessas características. Finalmente, partimos da premissa de que o julgamento (avaliação por percepção) de especialistas, ao compararem pares de indústrias e regiões com respeito a essas variáveis, constituem elementos métricos suficientes para o nível de precisão que o problema admite.

4.2.3 DISCUSSÃO E ESTRUTURA CONCEITUAL E METODOLÓGICA DE SOLUÇÃO DO PROBLEMA

Um mapa mental da dinâmica interativa indústrias-ecossistemas regionais, com o propósito de explicitar o papel desempenhado pelos serviços ecossistêmicos nessa dinâmica, deixa claro que a *sustentabilidade das relações econômico-ambientais entre indústrias e regiões* ($\tilde{\sigma}_{ij}$) pode ser inferida da razão entre os *benefícios* ($\tilde{\beta}_{ij}$) que as

indústrias obtêm dos SE apropriados dos ecossistemas regionais e os *custos* ($\tilde{\gamma}_{ij}$) associados com essa apropriação (claro, apropriação, em princípio, implicitamente considerando benefícios obtidos não apenas com a implantação e operação, mas também com eventuais desenvolvimento da indústria na região).

Em termos formais, podemos escrever:

$$\tilde{\sigma}_{ij} = \tilde{\beta}_{ij} \oslash \tilde{\gamma}_{ij}, \quad i=1, \dots, m, j=1, \dots, n \quad (11)$$

Onde: $\tilde{\sigma}_{ij}$ – sustentabilidade entre indústria i e região j

$\tilde{\beta}_{ij}$ – Benefícios obtidos pela indústria i com os SE da região j

$\tilde{\gamma}_{ij}$ – Custos associados aos impactos da indústria i na região j

Quer dizer, no contexto desta abordagem, a sustentabilidade ($\tilde{\sigma}$) é inferida com base na razão benefício/custo ($\tilde{\beta}/\tilde{\gamma}$) associada a cada par indústria-região.

Note-se que os benefícios utilizados neste conceito de sustentabilidade constituem um agregado geral de todos os benefícios obtidos pela indústria i com o uso dos diferentes SE da região j.

Acrescente-se ainda que este entendimento deriva de nossa definição estendida do MEA (2005) de que os SE podem ser entendidos como “benefícios que as indústrias obtêm dos ecossistemas”, o que é perfeitamente válido, tendo em vista o fato de que a sociedade, ao consumir produtos industriais, acaba se beneficiando desses SE, ainda que de forma indireta.

Por estas razões, podemos deduzir que esse agregado geral de benefícios obtidos dos ecossistemas pelas indústrias, em atendimento às dependências destas, representam os benefícios gerais que concorrem para a determinação da sustentabilidade conforme definida anteriormente.

Assim, a partir desse entendimento, **benefícios** ($\tilde{\beta}$) são, portanto, uma função da **disponibilidade** ($\tilde{\alpha}$) dos SE na região e da **dependência** ($\tilde{\delta}$) da indústria pelos SE, i.e.:

$$\tilde{\beta} = f(\tilde{\alpha}, \tilde{\delta}) \quad (12)$$

Por outro lado e mediante um raciocínio análogo, deduzimos que os custos estão associados aos impactos sobre a saúde dos SE regionais, em decorrência da implantação, operação e eventual desenvolvimento das indústrias. **Custos** ($\tilde{\gamma}$) são,

portanto, obtidos a partir da *saúde dos ecossistemas regionais* ($\tilde{\eta}$) e dos *impactos da indústria nos SE* (\tilde{i}), i.e., são uma função de $\tilde{\eta}$ e \tilde{i} :

$$\tilde{\gamma} = f(\tilde{\eta}, \tilde{i}) \quad (13)$$

A explicitação dessas funções é apresentada mais adiante neste capítulo, após as variáveis **A**, **D**, **H** e **I** terem suas rotinas computacionais explicitadas.

A Figura 3, a seguir, apresenta um diagrama esquemático da estrutura metodológica de resolução do problema.

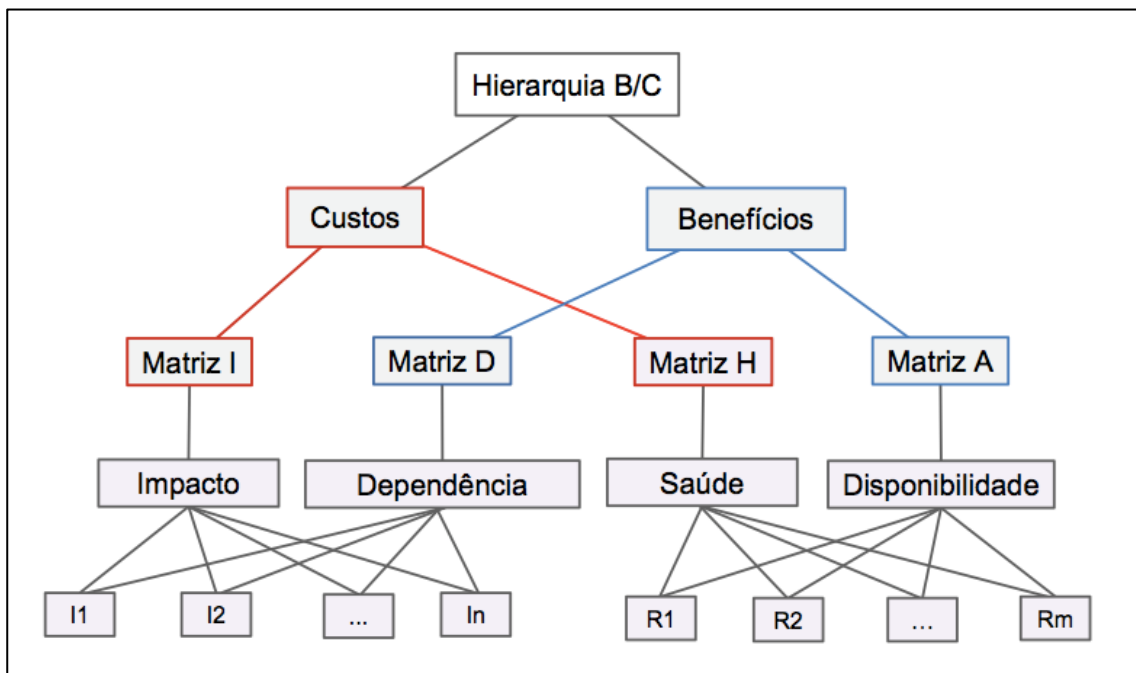


Figura 3. Diagrama Esquemático de Resolução do Problema

Fonte: Elaboração própria

4.3 DETALHAMENTO DA ABORDAGEM

Nossa abordagem começa com o emprego de rotinas Fuzzy-AHP para determinar o valor relativo das variáveis (linguísticas) $\tilde{\delta}$, $\tilde{\alpha}$, \tilde{i} e $\tilde{\eta}$, respectivamente *dependência*, *disponibilidade*, *impacto* e *saúde*, envolvidos na explicitação das duas relações relevantes, identificadas entre indústrias e ecossistemas regionais, conforme já explicado.

A base dessas rotinas é a Análise Extensiva Fuzzy de Chang (Chang, 1996), ou FEA de Chang (FEA - Fuzzy Extent Analysis). Essas rotinas FAHP são realizadas

observando a estrutura de blocos apresentada nos dois níveis inferiores do diagrama da Figura 3.

Ali vemos, do lado esquerdo, que blocos representativos das n diferentes indústrias se ligam a duas variáveis: *dependência por SE* e *impacto nos SE*. Isso significa que as indústrias são comparadas entre si, aos pares (ou, de forma paritária), com respeito a cada uma dessas duas variáveis. Do mesmo modo, do lado direito, vemos blocos representativos das m regiões ligadas a duas variáveis: *disponibilidade de SE* e *saúde de SE*. Isso indica, igualmente, que as regiões são comparadas entre si, aos pares (ou, de forma paritária), com respeito a cada uma dessas duas variáveis. Cada conjunto de comparações paritárias com respeito a cada uma de tais variáveis gera uma matriz de comparação. Na próxima seção, se explica isso em detalhes.

4.3.1 CONSTRUÇÃO DAS MATRIZES DE COMPARAÇÃO PARITÁRIA FUZZY E CÔMPUTO DOS VETORES DE PRIORIDADE.

Como os SE estão classificados em quatro categorias - serviços de suporte (SS), serviços de provisão (SP), serviços de regulação (SR) e serviços culturais (SC) – temos quatro matrizes de comparação paritária por variável, duas envolvendo as indústrias e duas envolvendo as regiões. Os dois níveis inferiores do nosso diagrama geram, portanto, um total de 16 matrizes de comparação paritária.

Cada uma dessas matrizes é manipulada por meio dos procedimentos computacionais do FEA de Chang, para gerar os vetores de prioridade correspondentes. Esses vetores representam respectivamente os valores relativos das variáveis *dependência* e *impacto* de cada uma das indústrias em relação aos SE, e os valores relativos das variáveis *disponibilidade* e *saúde* dos SE de cada uma das regiões consideradas. Teremos, portanto, um total de 16 vetores de prioridades, i.e., 16 vetores de valores relativos, cada um deles derivado de uma matriz de comparação paritária.

Em prosseguimento à aplicação da análise de extensão Fuzzy do AHP, para cada conjunto matriz paritária – vetor de prioridade, devem ser realizados os procedimentos computacionais para verificação da consistência dos julgamentos, mediante o cômputo da razão de consistência correspondente.

Por exemplo, a Matriz de Comparação Paritária da Dependência das Indústrias por Serviços de Suporte, graficamente representada pelo diagrama da Figura 4 a seguir, será uma matriz $n \times n$, contendo n^2 comparações paritárias \tilde{d}_{ij}^{SS} . Após as manipulações

computacionais segundo o FEA de Chang, obteremos um vetor de prioridade $n \times 1$, que contém os valores da dependência relativa $\tilde{\delta}_i^{SS}$ de cada indústria i pelos Serviços de Suporte. Na sequência, verifica-se a consistência dos julgamentos, por meio do computo da razão de consistência, repetindo-se ou não a avaliação, caso esteja fora ou não dos parâmetros estabelecidos pelo método.

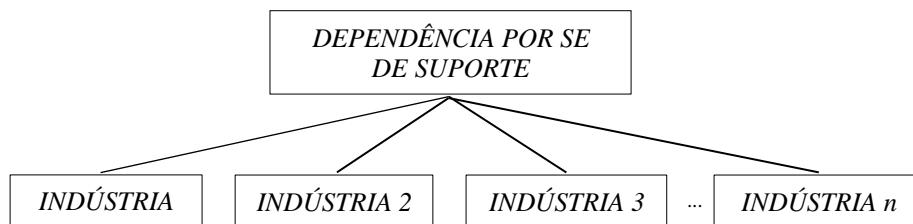


Figura 4. Diagrama Esquemático de Comparação Paritária

Fonte: Elaboração própria

Executando essa rotina para cada um dos outros SE (provisão, regulação e culturais), teremos um total de 4 vetores $n \times 1$, cada um dos quais contendo os valores da dependência relativa de cada indústria pelo respectivo serviço ecossistêmico considerado. Uma matriz D , $n \times 4$, de dependências relativas das indústrias pelos SE, formada pela justaposição desses vetores $n \times 1$, reúne essas informações.

De forma análoga, a rotina e procedimentos anteriores são repetidos para cada uma das três outras variáveis: Disponibilidade, Saúde e Impacto, conforme mostrado na Figura 4. Assim, são obtidas as outras matrizes A , H e I , respectivamente denominadas de *matriz de disponibilidades relativas dos SE por região*, *matriz de saúde relativa dos SE por região* e *matriz de impactos relativos das indústrias por SE regional*.

Fazendo SE^k ($k = 1, \dots, 4$), representar as categorias de SE (SS, SP, SR e SC), conforme definidas pelo MEA; I_i , ($i = 1, \dots, n$), representar as indústrias em busca de localização; e R_j , ($j = 1, \dots, m$), representar as regiões candidatas à localização, o conjunto de matrizes de comparação paritária do problema, seu desdobramento computacional em vetores de valores relativos fuzzy e as matrizes finais formadas pela justaposição desse vetores são sumarizados conforme mostrado adiante na Figura 5.

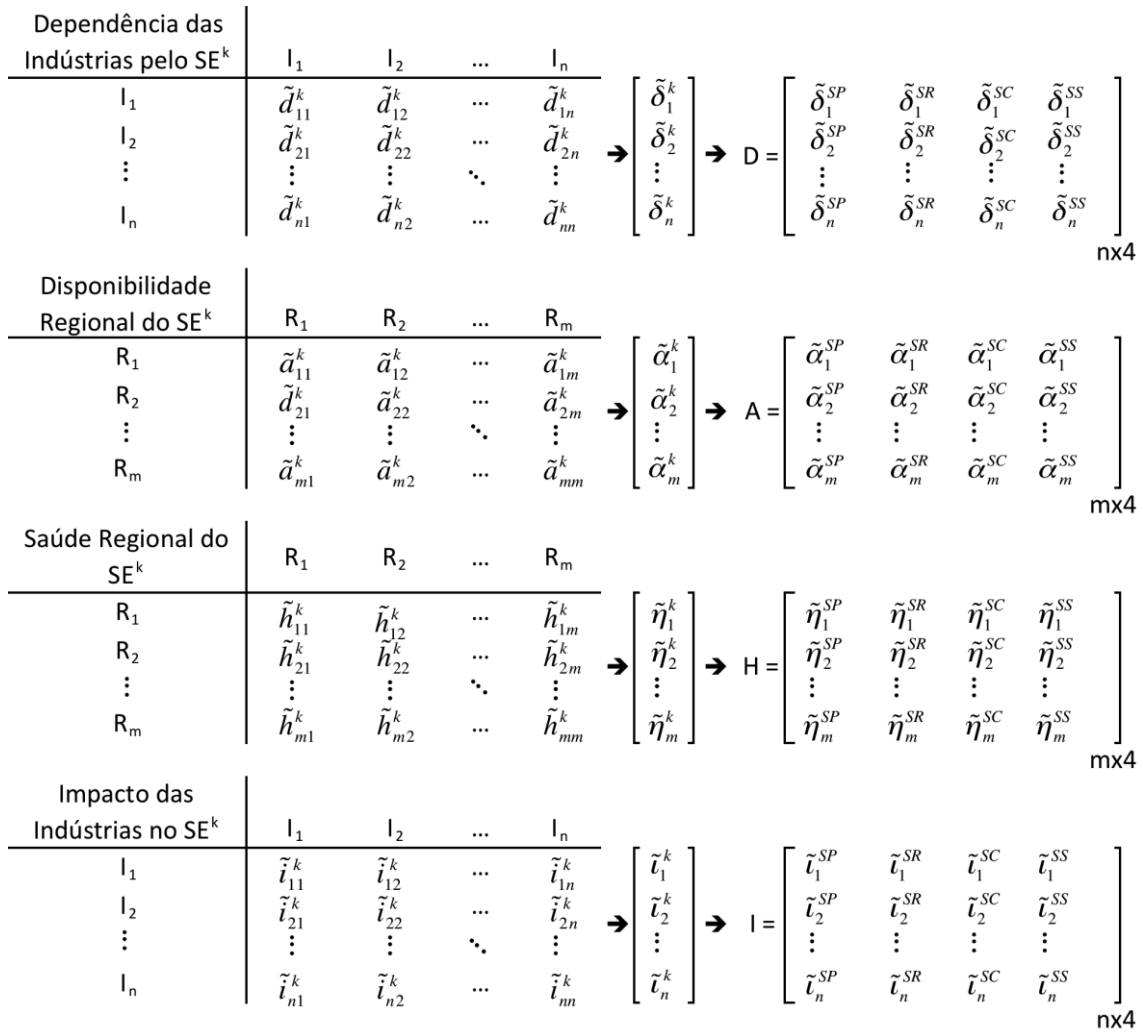


Figura 5. Comparações Paritárias, Cômputo do Valor de Extensão Fuzzy e Formação das Matrizes D, A, H e I

Fonte: Elaboração própria

4.3.2 ESCALA DE CORRESPONDÊNCIA NUMÉRICO-CONCEITUAL FUZZY

Ao expressarem seus julgamentos paritários, os *experts* são instruídos a utilizar os valores linguísticos referenciais de escalas de correspondência numérico-conceitual adaptadas da Escala Fundamental do SAATY (1980), para cada uma das quatro variáveis citadas. O objetivo aqui é viabilizar apenas avaliações verbais por parte dos *experts*.

O analista, por sua vez, ao construir as matrizes de comparação paritária, deve utilizar os números (ou conjuntos) fuzzy correspondentes a esses valores linguísticos, em vez dos números ‘crisp’ 1, 3, 5, 7 e 9, da Escala Fundamental do SAATY.

Dessa forma, ao comparar duas indústrias entre si, com respeito, por exemplo, à *Dependência da Indústria por Serviços Ecológicos de Provisão*, os *experts* são instados a expressar seus julgamentos por meio de um dos seguintes valores linguísticos:

- *Igualmente dependentes*;
- *Levemente mais dependente*;
- *Razoavelmente mais dependente*;
- *Fortemente mais dependente*; e
- *Extremamente mais dependente*.

Assim, por exemplo, se duas indústrias X e Y estão sendo comparadas em relação à dependência por Serviços Ecológicos de Provisão, julgamentos comparativos ou avaliações comparativas feitas por *experts* poderão ser do tipo: “a indústria X é *fortemente mais dependente* dos serviços de provisão *do que* a indústria Y”; ou “a indústria X e a indústria Y são *igualmente dependentes* dos serviços de provisão” etc. O analista, por sua vez, entraria, na matriz de comparação paritária, com o número fuzzy triangular (5, 7, 9) ou o número fuzzy triangular (1, 1, 3), conforme conversão dos correspondentes valores linguísticos comparativos, segundo a Tabela 4 apresentada no Capítulo 3 (replicada a seguir para facilidade de consulta).

Tabela 4. Escala de Correspondência Numérico-Conceitual Fuzzy de Comparações Paritárias

COMPARATIVO LINGUÍSTICO	NÚMERO FUZZY CORRESPONDENTE
IGUALMENTE	(1, 1, 3)
LEVEMENTE MAIS	(1, 3, 5)
RAZOAVELMENTE MAIS	(3, 5, 7)
FORTEMENTE MAIS	(5, 7, 9)
EXTREMAMENTE MAIS	(7, 9, 9)

Fonte: Elaboração própria

Os valores linguísticos referenciais das variáveis *Impacto das Indústrias nos SE*, *Disponibilidade Regional dos SE*, e *Saúde Regional dos SE* são obtidos, substituindo a palavra *dependente* pelas palavras *impactante*, *disponível* ou *saudável* nos valores linguísticos referenciais anteriormente listados. Por exemplo, *igualmente disponível*,

igualmente impactante, igualmente saudável, levemente mais impactante, levemente mais disponível, fortemente mais saudável etc.

Julgamentos apresentados com o uso dessas expressões comparativas são mais naturais ao ser humano, veiculando um “*compósito analítico de comparações mentais sobre informações e dados relevantes para a avaliação comparativa de objetos, propriedades ou fenômenos sob avaliação, que incorpora ao julgamento proferido toda a base de conhecimento e experiência dos julgadores*” (ZADEH, 1975)

O ordenamento desses quantificadores de comparação ou desses valores linguísticos comparativos e os correspondentes números fuzzy foram igualmente adotados nas escalas de mensuração dessas quatro variáveis, as únicas diferenças dizendo respeito aos adjetivos qualificativos (*dependente, impactante, disponível e saudável*) que descrevem o núcleo semântico dessas variáveis.

4.3.3 UMA BREVE NOTA SOBRE PRECISÃO E INFORMAÇÃO BASEADA EM PERCEPÇÃO

De modo geral, especialistas (*experts*) são heterogêneos em termos de conhecimento, experiência e/ou intuição (ou “*feeling*”) sobre os assuntos de suas expertises. Assim, é natural que apresentem diferenças de percepção quando avaliando objetos, atributos de objetos ou relações entre estes em seus campos de expertise. Considere, por exemplo, a disponibilidade de estoques e fluxos de SE em um dado ecossistema natural ou os impactos da produção industrial em funções e processos desses ecossistemas ou, ainda, a resiliência dos ecossistemas a esses impactos. Por mais que tenham conhecimento e experiência sobre esses fatores e variáveis, sempre haverá diferença de avaliação entre experts.

Por este motivo, matrizes de comparação paritária finais devem ser obtidas por média aritmética ponderada dos julgamentos, com a ponderação internalizando as diferenças de percepção dos experts em relação a essas competências. Diferentes métodos ou rotinas existem que podem ser utilizadas para revelar essas diferenças de percepção, mas para manter coerência com a proposta metodológica, os ‘pesos de percepção’ dos *experts* em cada uma dessas competências (conhecimento do assunto, experiência no assunto e “*feeling*” sobre o assunto) devem ser explicitados pela aplicação do FAHP e posteriormente agregados por uma média aritmética simples em um único peso por *expert*. Esse ‘peso de percepção’ por *expert* ponderará todas suas

avaliações, i.e., todos os valores linguísticos representativos de seus julgamentos. Acredita-se, com isso, poder conferir maior precisão aos resultados.

4.3.4 ANÁLISE DE EXTENSÃO FUZZY DE CHANG (FEA DE CHANG)

Para o cômputo dos vetores prioritários (sintéticos) fuzzy, correspondentes a cada matriz de comparação paritária fuzzy, são adotados, conforme já dissemos, os procedimentos computacionais do FEA de Chang (CHANG, 1993 e 1996) (vide descrição no Capítulo 3). A extensão fuzzy do AHP se justifica pela capacidade que os conjuntos fuzzy têm de representar a imprecisão inerente a julgamentos humanos, uma imprecisão que não é nem estocástica nem tampouco randômica, mas que advém da vagueza, ambiguidade ou definição nebulosa de contornos de objetos físicos ou abstratos de interesse da avaliação.

Embora seja um dos algoritmos mais utilizados para abordar o FAHP, o FEA de Chang sofreu algumas críticas. Uma das mais incisivas foi feita por WANG et al. (2008). Nesse trabalho, os autores afirmam que o FEA de Chang é incapaz de estimar pesos verdadeiros, quer dizer, os componentes do vetor de prioridades fuzzy resultante de uma matriz de comparação fuzzy. Como contribuição no sentido de melhorar a precisão dos valores desses pesos, eles propõem uma modificação.

AHMED e KILIC (2015) acham que o modelo de Chang é muitas vezes erroneamente classificado como FEA do AHP. Na verdade, o FEA é apenas a primeira das duas partes do modelo. `A outra parte`, dizem Ahmed e Kilic, `é a defuzzificação e o ordenamento dos componentes do vetor fuzzy de prioridades que, no modelo do Chang, é realizado por comparação de números fuzzy baseada no grau de possibilidade` de um número fuzzy ser maior que outro.

Ahmed e Kilic propõem o centróide dos números fuzzy que formam o vetor de prioridades para parâmetro de ordenamento desses números, e demonstram, em seu artigo, numa comparação com o FEA de Chang e com o FEA modificado de WANG et al. (2008), que a precisão dos resultados é significativamente melhorada com a defuzzificação por centróide. Em razão disso, decidimos adotar, nesta tese, para a hierarquização do vetor de prioridades fuzzy, o método da defuzzificação por centróide sugerido por Ahmed e Kilic.

4.3.5 CÔMPUTO DOS BENEFÍCIOS E CUSTOS ASSOCIADOS AOS SE

Conforme concluímos mais atrás neste capítulo, *benefícios* (β) são função da *disponibilidade* (α) dos SE na região e da *dependência* (δ) da indústria pelos SE. A *rationale* subjacente a essa afirmativa se baseia na relação de dependência por SE entre indústria e região. Existindo dependência da indústria por SE e havendo disponibilidade de SE na região, o atendimento dessa dependência pelo ecossistema envolvido poderia ser dado pela diferença (ou distância) $\alpha - \delta$, ou por um quociente (ou razão) α / δ . Quaisquer que forem as unidades de serviço, o quociente parece ser o mais indicado por envolver um valor relativo. Esse quociente, a rigor, expressa a capacidade de a região atender a demanda da indústria por SE, representando os benefícios obtidos pela indústria com esse atendimento.

Por outro lado, e mediante um raciocínio análogo da relação de impacto indústria-ecossistema regional, deduzimos que os *custos* (γ) estão associados aos *impactos* (i) das indústrias sobre a saúde dos ecossistemas regionais, ou, antes, sobre a *saúde* (η) dos SE regionais, em decorrência da implantação, operação e eventual desenvolvimento das indústrias. *Custos* (γ) são, portanto, obtidos a partir da *saúde dos ecossistemas regionais* (η) e dos *impactos da indústria nos SE* (i), i.e., são uma função de η e i :

No 2º nível do Diagrama Esquemático de Resolução do Problema (Figura 3) estão duas caixas, uma rotulada Benefícios e a outra rotulada Custos. Estas são matrizes que resultam das seguintes fórmulas, envolvendo as matrizes A , D , H e I :

$$\text{Benefício} = A \otimes [D^{-1}]^T \quad (14)$$

$$\text{Custo} = H^{-1} \otimes [I]^T \quad (15)$$

Deve ser observado que D^{-1} e H^{-1} não são matrizes inversas de D e H , mas matrizes cujas entradas são os recíprocos dos elementos originais dessas matrizes. Por exemplo, se $D = [\tilde{\delta}_i^k]$ então $D^{-1} = [1/\tilde{\delta}_i^k]$. Deve ficar claro que essas matrizes, numa extensão dos procedimentos AHP a números fuzzy, são construídas justapondo, lado a lado, os vetores coluna de prioridade que resultaram dos cálculos da FEA de Chang aplicada às matrizes de comparações paritárias.

$$B = \begin{bmatrix} \tilde{\alpha}_1^{SP} & \tilde{\alpha}_1^{SR} & \tilde{\alpha}_1^{SC} & \tilde{\alpha}_1^{SS} \\ \tilde{\alpha}_2^{SP} & \tilde{\alpha}_2^{SR} & \tilde{\alpha}_2^{SC} & \tilde{\alpha}_2^{SS} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{\alpha}_m^{SP} & \tilde{\alpha}_m^{SR} & \tilde{\alpha}_m^{SC} & \tilde{\alpha}_m^{SS} \end{bmatrix}_{mx4} \times \begin{bmatrix} 1/\tilde{\delta}_1^{SP} & 1/\tilde{\delta}_2^{SP} & \dots & 1/\tilde{\delta}_n^{SP} \\ 1/\tilde{\delta}_1^{SR} & 1/\tilde{\delta}_2^{SR} & \dots & 1/\tilde{\delta}_n^{SR} \\ 1/\tilde{\delta}_1^{SC} & 1/\tilde{\delta}_2^{SC} & \dots & 1/\tilde{\delta}_n^{SC} \\ 1/\tilde{\delta}_1^{SS} & 1/\tilde{\delta}_2^{SS} & \dots & 1/\tilde{\delta}_n^{SS} \end{bmatrix}_{4xn} = \begin{bmatrix} \tilde{\beta}_{11} & \tilde{\beta}_{12} & \dots & \tilde{\beta}_{1n} \\ \tilde{\beta}_{21} & \tilde{\beta}_{22} & \dots & \tilde{\beta}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{\beta}_{m1} & \tilde{\beta}_{m2} & \dots & \tilde{\beta}_{mn} \end{bmatrix}_{mxn} \quad (16)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1/\tilde{\eta}_1^{SP} & 1/\tilde{\eta}_1^{SR} & 1/\tilde{\eta}_1^{SC} & 1/\tilde{\eta}_1^{SS} \\ 1/\tilde{\eta}_2^{SP} & 1/\tilde{\eta}_2^{SR} & 1/\tilde{\eta}_2^{SC} & 1/\tilde{\eta}_2^{SS} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1/\tilde{\eta}_m^{SP} & 1/\tilde{\eta}_m^{SR} & 1/\tilde{\eta}_m^{SC} & 1/\tilde{\eta}_m^{SS} \end{bmatrix}_{mx4} \times \begin{bmatrix} \tilde{t}_1^{SP} & \tilde{t}_2^{SP} & \dots & \tilde{t}_n^{SP} \\ \tilde{t}_1^{SR} & \tilde{t}_2^{SR} & \dots & \tilde{t}_n^{SR} \\ \tilde{t}_1^{SC} & \tilde{t}_2^{SC} & \dots & \tilde{t}_n^{SC} \\ \tilde{t}_1^{SS} & \tilde{t}_2^{SS} & \dots & \tilde{t}_n^{SS} \end{bmatrix}_{4xn} = \begin{bmatrix} \tilde{\gamma}_{11} & \tilde{\gamma}_{12} & \dots & \tilde{\gamma}_{1n} \\ \tilde{\gamma}_{21} & \tilde{\gamma}_{22} & \dots & \tilde{\gamma}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{\gamma}_{m1} & \tilde{\gamma}_{m2} & \dots & \tilde{\gamma}_{mn} \end{bmatrix}_{mxn} \quad (17)$$

4.3.6 CÔMPUTO DOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE ECONÔMICO-AMBIENTAL DE CADA PAR INDÚSTRIA-ECOSSISTEMA REGIONAL

Finalmente, no nível superior (o nível 1 da Figura 3), temos a caixa denominada Hierarquia Benefício / Custo. Cada elemento da Matriz de Sustentabilidade S é o resultado da divisão entre um elemento da Matriz de Benefícios e o elemento correspondente na Matriz de Custos, isto é,

$$(\tilde{\beta}_{ij})/(\tilde{\gamma}_{ij}) = (\tilde{\sigma}_{ij}), \text{ para, } i = 1, \dots, m, \text{ e } j = 1, \dots, n.$$

Nosso objetivo é hierarquizar as regiões em termos de sustentabilidade de seus ecossistemas. Essa hierarquia de sustentabilidade dos ecossistemas é obtida por uma matriz de relações benefício-custo, que é representada pela caixa no nível superior, o primeiro nível.

$$S = \begin{bmatrix} \tilde{\beta}_{11} & \tilde{\beta}_{12} & \dots & \tilde{\beta}_{1n} \\ \tilde{\beta}_{21} & \tilde{\beta}_{22} & \dots & \tilde{\beta}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{\beta}_{m1} & \tilde{\beta}_{m2} & \dots & \tilde{\beta}_{mn} \end{bmatrix}_{mxn} \oslash \begin{bmatrix} \tilde{\gamma}_{11} & \tilde{\gamma}_{12} & \dots & \tilde{\gamma}_{1n} \\ \tilde{\gamma}_{21} & \tilde{\gamma}_{22} & \dots & \tilde{\gamma}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{\gamma}_{m1} & \tilde{\gamma}_{m2} & \dots & \tilde{\gamma}_{mn} \end{bmatrix}_{mxn} = \begin{bmatrix} \tilde{\sigma}_{11} & \tilde{\sigma}_{12} & \dots & \tilde{\sigma}_{1n} \\ \tilde{\sigma}_{21} & \tilde{\sigma}_{22} & \dots & \tilde{\sigma}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{\sigma}_{m1} & \tilde{\sigma}_{m2} & \dots & \tilde{\sigma}_{mn} \end{bmatrix}_{mxn} \quad (18)$$

A informação fornecida pela Matriz S é a razão benefício / custo de localizar cada indústria em cada uma das regiões, isto é, cada σ_{ij} representa a relação benefício / custo de localização de cada uma das indústrias em cada uma das regiões. Note-se que esta informação já agrega todos os SE.

Analisando a matriz S, é possível inferir duas informações importantes para a decisão de localização. Colunas e linhas podem ter suas entradas ordenadas por meio da defuzzificação por centroide proposta por AHMED (2016), e assim permitir extrair um

conhecimento hierárquico: o ranking de cada coluna indica a melhor região para localizar uma determinada indústria, enquanto o ranking de cada linha indica a melhor indústria para localizar em uma determinada região.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

5.1 CONCLUSÕES

Nesta tese, foi proposta uma abordagem metodológica baseada no Processo de Hierarquia Analítica Fuzzy (FAHP) com a intenção de integrar os serviços de ecossistemas em estudos de localização industrial. Concebida para ser preliminar à análise de localização tradicional, a abordagem visa hierarquizar as regiões candidatas à localização da indústria em termos de sustentabilidade.

A definição de serviços ecossistêmicos (MEA, 2005), que afirma que os SE são benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas, foi adotada em suas quatro categorias: serviços de suporte (SS), serviços de provisão (SP), serviços de regulação (SR) e serviços culturais (SC).

Foram apresentados argumentos que chamaram a atenção para o uso dos SE como fatores locacionais. Embora a consideração dos SE não representasse novidade em estudos de localização, até agora pouco estudos explicitamente os exploraram nesse papel, um fato relativamente surpreendente dada já consolidação do princípio do desenvolvimento sustentável como um dos objetivos das atividades humanas.

Consideramos que, na análise de localização industrial, SE podem ser entendidos como "benefícios que as indústrias obtêm dos ecossistemas". Esse entendimento deriva do fato de que, como as atividades industriais tem como objetivo final aumentar o nível bem estar dos seres humanos, parte considerável da demanda da humanidade por serviços ecossistêmicos é feita através das indústrias, de modo que são estas últimas os agentes que utilizam diretamente a maioria dos serviços ecossistêmicos.

No entanto, a complexa dinâmica indústria-ecossistemas, que resulta da implantação da indústria em regiões (ecossistemas regionais), produz impactos nos respectivos ecossistemas, afetando a saúde dos ecossistemas e, conseqüentemente, a sustentabilidade dos SE.

A dinâmica de interação entre ecossistemas e sistemas produtivos humanos aqui explorada se baseou grandemente no arcabouço teórico da economia ecológica, o que confere maior complexidade a mensuração dos SE por abordar questões em sua maioria

ignoradas pelas vertentes teóricas tradicionais, em particular a variabilidade espaço-temporal e a saúde ecossistêmica.

A pesquisa nos revelou que embora o uso dos SE por indústrias possa ser estimado com alguma precisão, é difícil, senão quase impossível, fazer o mesmo em relação à capacidade de restabelecimento dos estoques e fluxos de SE pelos ecossistemas regionais. A complexidade dos mecanismos, processos e funções biológicas e não biológicas envolvidas na produção dos SE inibe o exercício de estimativa determinística, mormente se for realizada em termos quantitativos absolutos.

Pelas mesmas razões, pode-se afirmar também que é difícil e quase impossível obter uma estimativa determinística absoluta e precisa dos *impactos* das indústrias nos SE, bem como da *saúde* exibida por estes.

Apesar das inúmeras iniciativas e esforços realizados no sentido de se obter uma mensuração de estoques e fluxos dos SE de diferentes ecossistemas naturais, conforme discutido ao longo da tese, entendemos que o abandono do veio determinístico da modelagem tradicional para a adoção de uma metodologia de mensuração relativa, apoiada em uma heurística fuzzy-hierárquico-analítica, pode conduzir a resultados igualmente significativos, senão melhores, a custos mais baixos.

Não ignorando o problema de mensuração e valoração direta dos serviços ecossistêmicos, nos concentramos, no entanto, no que consideramos ser uma variável mais representativa, sob o princípio de sustentabilidade, do benefício que extraímos do meio ambiente e dos custos que a eles impomos, que se trata do relacionamento sistema produtivo-ecossistema.

Constatamos, portanto, que a avaliação complexa dos benefícios e custos associados a disponibilidade de SE e a saúde ecossistêmica de uma região, bem como à dependência e aos impactos relacionais das indústrias nos SE, em termos quantitativos absolutos, é difícil, senão, em alguns casos, impossível. Mas, tais benefícios e custos podem ser estimados em termos qualitativos relativos, se pudermos contar com julgamentos de especialistas dentro de uma estrutura FAHP.

Por meio da heurística utilizada, buscamos demonstrar ser possível mensurar comparativamente a *dependência* das indústrias pelos SE e o *impacto* das indústrias nos SE, bem como a *disponibilidade* e a *saúde* dos SE nas regiões, e, a partir de tais mensurações relativas, estimar benefícios e custos associados a cada par indústria-região. Consideramos, portanto, as razões benefício/custo um indicador pertinente para

se inferir o status da sustentabilidade econômico-ambiental de cada um dos pares indústria-região.

Elementos de AHP, Lógica Fuzzy e Conjuntos Fuzzy foram combinados para permitir a avaliação dessas variáveis em termos relativos usando a análise de extensão fuzzy de CHANG (1996), enquanto as razões benefício / custo obtidas foram classificadas pela defuzzificação por centroide proposta por AHMED (2016). A opção por esse método de defuzzificação se deu em razão dos resultados desse ordenamento serem significativamente melhores do que aqueles proporcionados pelo FEA de Chang ou pelo FEA modificado de WANG et al. (2008).

Embora o resultado final do modelo proposto tenha sido considerado uma razão custo-benefício, cabe lembrar que o que se considera como benefício a rigor representa a capacidade de uma região de atender as dependências por SE de uma indústria, enquanto os custos são representados pela intensidade dos impactos que uma indústria impõe a saúde dos SE de uma região. Uma análise dessas razões benefício-custo revelam a condição de sustentabilidade da dinâmica relacional indústria-ecossistema regional.

A apresentação de um exemplo ilustrativo, apesar de deixar mais claro, para aqueles familiarizados com o processo de hierarquia analítica, cada etapa da metodologia proposta, exigiria caracterizar e modelar, em termos relativos fuzzy, as variáveis envolvidas no relacionamento entre ecossistemas e sistemas econômicos, o que foge ao escopo do trabalho aqui apresentado.

Como cada tipo de indústria e cada região apresentam características particulares em termos de variáveis representativas do relacionamento destacado, a utilidade de um exemplo ilustrativo seria exclusivamente para consolidar aspectos práticos de procedimentos das propostas que, acreditamos, foram suficientemente justificados no decorrer desta tese.

5.2 LIMITAÇÕES DA PROPOSTA E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Cumpramos lembrar que o problema examinado nesta tese foi o da inclusão dos serviços ecossistêmicos nos estudos de localização industrial, no atual contexto das questões de sustentabilidade.

A proposta metodológica procurou reunir elementos analítico-conceituais e empíricos que fundamentassem a integração desses serviços ao processo de escolha

locacional das indústrias como fatores condicionantes primários dessa escolha, sujeito à exigência da sustentabilidade.

Embora a forma mais imediata de viabilizar essa integração parecesse ser a inclusão de tais serviços como fatores locacionais no processo tradicional de escolha, a qualificação dos serviços como condicionantes primários da localização (em virtude da meta de sustentabilidade) sugeriam uma seleção preliminar, baseada exclusivamente nesses serviços. Essa seleção serviria para excluir, do conjunto de ecossistemas regionais candidatos à localização, aqueles incapazes de acomodar as indústrias numa relação sustentável.

Além disso, uma questão necessitava resposta para instruir os fundamentos da estrutura conceitual. Que sustentabilidade buscar? A econômica, a ambiental, a sociocultural? Ora, visto que cada uma dessas áreas é caracterizada por fatores variáveis regidas por conjuntos de conceitos e princípios, em geral, diferentes uns dos outros, era necessário decidir.

A escassez de pesquisa qualitativa ou quantitativa sobre esses aspectos, portanto, constituíram uma das principais limitações metodológicas identificadas, o que sugere, de pronto, a necessidade de pesquisas futuras nesse sentido.

Outra limitação relevante foi a relacionada com os elementos métricos da abordagem, especialmente no que concerne à precisão das mensurações. Era preciso que a metodologia restringisse essa precisão a níveis compatíveis com a natureza do problema. A atual tendência das modelagens em uso prima por um rigor analítico e computacional desproporcional ao necessário para dar suporte a decisões como a envolvida no nosso problema.

Assim, contornando essas limitações, a pesquisa se concentrou na análise das relações econômico-ambientais que caracterizam a dinâmica indústria-ecossistema, posto que essas relações tinham mais a ver com a estrutura conceitual do problema e com o escopo da decisão.

Essa análise acabou por revelar quatro variáveis representativas de demandas e interações das indústrias com os ecossistemas regionais, caracterizando, a partir da perspectiva da sustentabilidade, esses serviços como fatores condicionantes da escolha locacional.

Isso, no entanto, colocou em evidência outra questão sensível, a carência de pesquisa sobre a representação de tais variáveis, que fica como sugestão para pesquisa futura, bem como também a questão de sua valoração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEM – Avaliação Ecológica do Milênio, 2005. *Ecosistemas e Bem-estar Humano: Oportunidades e Desafios para Empresas e a Indústria*, Island Press, Washington, DC.

AGGARWAL, R.; SINGH, S., 2013. “AHP and Extent Fuzzy AHP Approach for Prioritization of Performance Measurement Attributes”, *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, Vol:7, No:1. pp. 6-11.

AHMED, F.; KEMAL, K., 2016. “Fuzzy Extent Analysis: Comparison of Defuzzification Methods”. *Proceedings of the 2016 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management* Kuala Lumpur, Malaysia, 8-10, March, 2016.

ANNETT, A. 2001, "Social fractionalization, political instability, and the size of government", *IMF Staff Papers*, Vol. 48 No.3.

AUDRETSCH, D. B.; STEPHEN, P. A., 1996. “Company-Scientist Locational links: The Case of Biotechnology”, *American Economic Review*, 86(3), Junho, 641-652.

AYRES, R. U., 1989. “Industrial metabolism”. In: Ausubel, J. H. and Sladovich, H. E. (Editor), *Technology and Environment*. National Academy Press, Washington, pp. 23-49.

AYRES, R. U.; KNEESE, A.V., 1969, “Production, consumption and externalities”, *American Economic Review*, 59(3), 282–97.^[L]_[SEP]

AYRES, R., 1997. “Comments on Georgescu-Roegen”. *Ecological Economics*, 22(3): 285-287.

AYRES, R.U.; AYRES, L.W., 2002. *A Handbook of Industrial Ecology*. Edward Elgar^[L]_[SEP]; Northampton MA, USA, 2002.

BADRI, M. A., 2007. “Dimensions of Industrial Location Factors: Review and Exploration”, *Journal of Business and Public Affairs*. Volume 1, Issue 2: 1-26.

BAGSTAD, K. J.; SEMMENS, D.J.; WAAGE, S.; WINTHROP, R. A, 2013. “Comparative assessment of tools for ecosystem services quantification and valuation”. *Ecosystem Services*, v.5, 27-39.

BALLANCE, R., 1987. *International Industry and Business: Structural Change, Industrial Policy and Industry Strategies*. London: Allen and Unwin.

BALVERS, R.; SZERB, L., 1996. “Location in the Hotelling duopoly model with demand uncertainty”. *European Economic Review*, 40, 1453-1461.

BASS, B.; MCGRAGOR, D.; WALTERS, J., 1977. “Selecting foreign plant sites: economic, social and political considerations”. *Academy of Management Journal*, 20, 4,

34-6.

BECKMAN, M., 1968. *Location theory*. New York, Random House.

BELLI, R., 1970. Sales of foreign affiliates of U.S. firms 1961-65, 1967 and 1968. *Survey of Current Business*, 50, 34-8.

BELLMAN, R.E.; ZADEH, L.A., 1970. "Decision making in fuzzy environment", *Management Science*, vol. 17B: pp 141-164.

BOENDER, C.G.E.; DE GRAAN, J.G.; LOOTSMA, F.A., 1989, "Multicriteria Decision Analysis with Fuzzy Pairwise Comparisons", *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 29, pp133-143.

BOSCHMA, R. A., 2004. "Competitiveness of regions from an evolutionary perspective", *Regional Studies* 38(9): 1001-1014.

BOSCHMA, R. A.; FRENKEN, K., 2006. "Why is economic geography not an evolutionary science? Towards an evolutionary economic geography". *Journal of Economic Geography* 6(3): 273-302.

BOULDING, K. 1978. *Ecodynamics: A New Theory of Societal Evolution*, Sage Publications, Berkeley Hills.

BOULDING, K. E., 1966. *The economics of the coming spaceship Earth*. In: Jarett, H. (ed.). *Environmental Quality in a Growing Economy*. Baltimore, MD: Resources for the Future/John Hopkins University Press, 1966.

BOUYSSOU, D.; MARCHANT, T.; PIRLOT, M.; PERNY, P.; TSOUKIAS, A.; VINCKE, P., 2000. *Evaluation Models: A Critical Perspective*. Kluwer, Boston, 2000.

BRUSCO, S., 1985. Small firms and industrial districts: the experience of Italy. Conference on New Firms and Area Development in the European Community, Utrecht.

BUCKLEY, J. J., 1985. "Fuzzy hierarchical analysis". *Fuzzy Sets and Systems* 17, 233-247. [1]

CAMERON, G.; CLARK, B., 1966. "Industrial movement and the regional problem". University of Glasgow Social and Economic Studies, Occasional Paper 5.

CARNOY, M., 1972. *Industrialization in a Latin American common market*. Washington DC: Brookings Institute.

CAROD, J., 2005. "Determinants of industrial location: an application for Catalan municipalities". *Papers in Regional Science*, 84(1), 105-119.

CAVALCANTI, C., 2003. Breve Introdução à Economia da Sustentabilidade. In: CAVALCANTI, C. (Org). *Desenvolvimento e Natureza: estudos para uma sociedade sustentável*. 4a edição. Brasil. Editora Cortez – Fundação Joaquim Nabuco, 2003

CECHIN, A., 2008. *Georgescu-Roegen e o desenvolvimento sustentável: diálogo ou*

anátema?. M.Sc. Dissertação, São Paulo: Universidade de São Paulo.

CECHIN, A.; VEIGA, J. E., 2010, O Fundamento Central da Economia Ecológica. In: MAY, Peter H (Org). *Economia do Meio Ambiente: Prática e Teoria*. 2a edição. Brasil. Editora Campus, 2010.

CHAMBERLAIN, E., 1946. *The Theory of Monopolistic Competition*. Cambridge: Harvard University Press.

CHAN, K. M. A.; GUERRY, A. D.; BALVANERA, P.; BASURTO, X.; BOSTROM, A.; CHUENPAGDEE, R.; GOULD, R.; HALPEN, B.S.; HANNAHS, N.; NORTON, B.; RUSSEL, R., 2012. “Where are Cultural and Social in Ecosystem Services? A Framework for Constructive Engagement”, *BioScience* (2012) 62 (8): 744-756.doi: 10.1525/bio.2012.62.8.7

CHAN, R., 2005. “Does the natural-resource-based view of the firm apply in an emerging economy? A survey of foreign invested enterprises in China”. *Journal of Management Studies*, 42 (3), 625-672.

CHANG, D. Y., 1992. “Extent analysis and synthetic decision, optimization techniques and applications”. Vol. 1, Singapore: World Scientific, pp.352.

CHANG, D. Y., 1996. “Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP”, *European Journal of Operational Research*, vol. 95, pp 649–655.

CHAUDHARY, S., MCGREGORS, A., HOUSTON, D., CHETTRI, N., 2015. “The evolution of ecosystem services: “A time series and discourse-centered analysis””, *Environmental Science & Policy*. Volume 57, March 2016, Pages 50–59

CIESLIK, A., 2005. “Location of foreign firms and national border effects: the case of Poland”. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 96 (3), 287-297.

COBB, J., 1982. “The Selling of the South: The Southern Crusade for Industrial Development” 1936-1980. Baton Rouge, La: Louisiana University Press.

COSENZA, C.A.N., 1981. *Industrial Location Model – A Proposal. Working Paper*. Cambridge University, Cambridge, UK.

COSTANZA, R.; DARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S., ONEILL, R.V., PARUELO, J., RASKIN, R.G., SUTTON, P., VAN DEN BELT, M., 1997. “The value of the world’s ecosystem services and natural capital”. *Nature* 387, 253–260.

COSTANZA, R., Ruth, M., 1998. “Using dynamic modeling to scope environmental and build consensus”. *Environmental Management*, 22(2): 183–195.

COSTANZA, R., 2006. “Thinking Broadly About Costs and Benefits in Ecological Management”. *Integrated Environmental Assessment and Management* — Volume X, Number X—p. 000–000.

COSTANZA, R., 2008. “Ecosystem services: multiple classification systems are

needed". *Biological Conservation*, v. 141, p. 350–352.

CRONBACH, L. J., 1951. "Coefficient alpha and the internal structure of tests". *Psychometrika*. 16 (3): 297–334.

DAILY, G. C., MATSON, P. A., 2008. "Ecosystem services: From theory to implementation." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105:9455–9456.

DAILY, G. C., POLASKY, S., GOLDSTEIN, J., KAREIVA, P. M., MOONEY, H. A., PEJCHAR, L., et al., 2009. "Ecosystem services in decision making: time to deliver", *Front. Ecol. Environ.* 7, 21–28. doi: 10.1890/080025, 2009.

DAILY, G.C., 1997. Introduction: What are ecosystem services? Pages 1-10 in G. Daily, editor. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, D.C.

DALY, H. E.; FARLEY, J., 2012. *Ecological Economics Principles and Applications*. 2nd Ed., Island Press, Washington.

DALY, H., 1973. *Towards a Steady State Economy*. San Francisco: W. H. Freeman & Co., 1973.

De GROOT, R.S., WILSON, M.A., BOUMAS, M.R.J., 2002, "A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services", *Ecological Economics*, 41, 393–408.

DEGRYSE, H., 1996. "On the interaction between vertical and horizontal product differentiation". *Journal of Industrial Economics*, 44, 169-186.

DORWARD, N., 1979. Market area analysis and product differentiation: a case study of the West German truck industry. In F.E.I. Hamilton and G.J.R. Linge (eds). *Spatial Analysis and the Industrial Environment*, Volume 1: Industrial Systems. Chichester: Wiley. 213-60.

DREZNER, T.; DREZNER, Z., 1996. "Competitive facilities: market share and location with random utility". *Journal of Regional Science*, 36, 1-15.

DUBOIS, D., PRADE, H., 1980. "Fuzzy Sets and Systems Theory and Applications", in: *Mathematics in Science and Engineering*, vol. 144, Ed. William F. Ames, Georgia Institute of Technology: 1-411.

DZIEMBOWSKA-KOWALSKA, J.; FUNCK, R., 2000. "Cultural activities as a location factor in European competition between regions: Concepts and some evidence". *The Annals of Regional Science*, 34(1), 1-12.

ENGELSTOFT, S., JENSEN-BUTLER, C., SMITH, I.; WINTHER, L., 2006. "Industrial clusters in Denmark: theory and empirical evidence". *Papers in Regional Science*, 85(1), 73-97.

FARBER, S.; COSTANZA, R.; WILSON, M., 2002. "Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services". *Ecological Economics* 41, 375–392.

- FIGUEIREDO, O.; GUIMARAES, P.; WOODWARD, D., 2002. "Home-field advantage: location decisions of Portuguese entrepreneurs". *Journal of Urban Economics*, 52, 341-361.
- FISHER, B.; TURNER, R.K.; MORLING, P., 2009. "Defining and classifying ecosystem services for decision making". *Ecological Economics*, v.8, p. 643-653.
- FORBES, D., 1982. "Energy imperialism and a new international division of resources: the case of Indonesia". *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 73, 94-108.
- GEORGESCU-ROEGEN, N., 1971. *The Entropy Law and the Economic Process*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1971.
- GRAEDEL, T. E.; ALLENBY, B. R., 1995. *Industrial Ecology*. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- GREENHUT, M., 1956. *Plant Location in Theory and Practice*. Chapel Hill, NC: University of North Carolina Press.
- GREENHUT, M., 1974. *Theory of the Firm in Economic Space*. Austin, Tx.: University of Texas Press.
- GROOTHUIS, P.; MILLER, G., 1994. "Locating hazardous waste facilities". *American Journal of Economics & Sociology*, 53, 335-346.
- HANSEN, P.; ROBERTS, F., 1996. "An impossibility result in axiomatic location theory". *Mathematics of Operations Research*, 11, 121-36.
- HEAL, G., 2000. "Valuing ecosystem services". *Ecosystems* 3(1):24–30.
- HOWARTH, R.B.; FARBER, S., 2002. "Accounting for the value of ecosystem services". *Ecol. Econ.* 41, 421–429.
- ISARD, W., 1956. "Regional Science, the Concept of Region and Regional Structure", *Papers and Proceedings of the Regional Science Association*, II, pp. 13–27.
- JUSTMAN, M., 1994. "The effect of local demand on industry location". *Review of Economics & Statistics*, 76, 742- 753.
- KARASKA, G., 1969. "Manufacturing linkages in the Philadelphia economy: some evidence of external agglomeration forces". *Geographical Analysis*, 1, 354-69.
- KAREIVA, P., TALLIS, H., RICKETTS, T.H., DAILY, G.C., POLASKY, S., 2011. *Natural Capital: Theory & Practice of Mapping Ecosystem Services*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- KEEBLE, D., 1976. *Industrial Location and Planning in the United Kingdom*. London: Methuen. 18
- KOLSTAD, C.D. 2000. *Environmental Economics*. Oxford University Press, New York, Oxford.

- KRUTILLA, J.V., 1967. "Conservation reconsidered". *American Economic Review* 57: 777–786.
- KUWAHARA, M. Y., 2014. Resíduos Sólidos, Desenvolvimento Sustentável e Qualidade de Vida. In: TONETO JÚNIOR, R.T.; SAIANI, C. C. S.; DOURADO, J.. (Organizadores). *Resíduos Sólidos no Brasil: oportunidades e desafios da Lei Federal No 12305 (Lei de Resíduos Sólidos)*. 1a Edição, Barueri - São Paulo, Editora Manole Ltda., 2014.
- LAARHOVEN, P. J. M.; PEDRYCZ, W., 1983. "A fuzzy extension of Saaty's priority theory". *Fuzzy Sets and Systems*, 11, 229–241.
- LAUNHARDT, W., 1885. *Mathematische Begründung der Volkswirtschaftslehre*. Peipsiz.
- LEITHAM, S., MCQUAID, R. & NELSON, J., 2000. "The influence of transport on industrial location choice: a stated preference experiment". *Transportation Research*, 34, 515-535.
- LERNER, A.; SINGAR, H., 1937. "Some notes of duopoly and spatial competition". *Journal of Political Economy*, 65, 45-9.
- LEROUGE, F., SANNEN, K., GULINK, H., VRANKEN, L., 2016. "Revisiting production and ecosystem services on the farm scale for evaluating land use alternatives". *Environmental Science & Policy*. Volume 57, March 2016, Pages 50–59
- LIMBURG, K.E.; O'NEIL, R.V. COSTANZA; R., FARBER, S., 2002. "Complex systems and valuation". *Ecological Economics* 41, 409 – 420.
- LINDSEY, J.; PATT, J.; ZECKHAUSER, R., 1995. "Equilibrium with agglomeration economics". *Regional Science & Urban Economics*, 25, 249-260.
- LLOYD, P.; MASON, C., 1984. "Spatial variation in new firm formation in the United Kingdom: comparative evidence from Merseyside, Greater Manchester and South Hampshire". *Regional Studies*, 18, 207-220.
- LOSCH, A., 1954. *The Economics of Location*. New Haven: Yale University Press.
- LOWE, J.; Moryadas, S., 1975. *The Geography of Movement*. Boston: Houghton Mifflin.
- LUTTRELL, W., 1962. "Factory Location and Industrial Movement: A Study of Recent Experiences in Great Britain". London: National Institute of Economic and Social Research.
- MA, A., 2006. "Geographical location of foreign direct investment and wage inequality in China". *The World Economy*, 1031-1055.
- MACCARTHY, B.; ATTHIRAWONG, W., 2003. "Factors affecting location decisions in international operations – a Delphi study". *International Journal of Operations & Production Management*, 23(7), 794-818.

- MAI, C.; HWANG, H., 1994. "On a location theory under duopoly". *Regional Sciences & Urban Economics*, 24, 773- 784.
- MANDERS, A., 1995. "Fact and fiction: wage levels and the relocation of production". *International Journal of Social Economics*, 22, 15-26.
- MARIOTTI, I., 2005. *Firm relocation and regional policy. A focus on Italy, the Netherlands and the United Kingdom*. 1 ed. Groningen, S.L.
- MARTINS, G. W., 2010, *Uma Contribuição aos Estudos de Localização Industrial: Determinando o Potencial de Transporte Aéreo de uma Região com base no Modelo de Análise Hierárquica COPPE-Cosenza*. M.Sc. Dissertação, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- MASON, C.; HARRISON, R., 1985. "The geography of small firms in the United Kingdom: towards a research agenda". *Progress in Human Geography*, 9, 1-37.
- MAY, P.H., 2003, *Desenvolvimento e Meio Ambiente*. In: CAVALCANTI, C. (Org). *Desenvolvimento e Natureza: estudos para uma sociedade sustentável*. 4a edição. Brasil. Editora Cortez – Fundação Joaquim Nabuco, 2003.
- MAZZAROL, T; CHOO, S., 2003. "A study of the factors influencing the operating location decisions of small firms". *Property Management*, 21(2), 190-208.
- MEA – Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- MUNK, N., 2015. *Inclusão dos Serviços Ecossistêmicos na Avaliação Ambiental Estratégica*. M.Sc. Dissertação, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- NRC, 2004. "Valuing Ecosystem Services: Toward Better Environmental Decision-Making. Committee on Assessing and Valuing the Services of Aquatic and Related Terrestrial Ecosystems", National Research Council. ISBN: 978-0-309-09318-7, 290 pages, 6 x 9, paperback (2004).
- NRCS, 2013. *National Agricultural Land Evaluation and Site Assessment Handbook*, Department of Agriculture. 256p. Guide/Handbook.
- OHLIN, B., 1952. *Interregional and International Trade*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- ONU, 2015. *Relatório Sobre os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio*. United Nations, New York.
- ÖZESMI, U.; ÖZESMI, S. L., 2004. "Ecological models based on people's knowledge: a multi-step fuzzy cognitive mapping approach". *Ecological Modelling* 176 (2004) 43–64).
- PEARCE, D., 1998. "Cost-Benefit Analysis and Environmental Policy," *Oxford Review of Economic Policy* 14: 84–100.
- PIPER, J. (1971). "How US firms evaluate foreign investment opportunities". MSU

Business Topics, 19, 89-93.

PLOTTU, E.; PLOTTU, B., 2007. "The concept of Total Economic Value of environment: A reconsideration within a hierarchical rationality". *Ecological Economics*. 61 (1): 52–61.

POSNER, S.; GETZ, C.; RICKETTS, T., 2016. "Evaluating the impact of ecosystem service assessments on decision-makers". *Environmental Science & Policy*. Volume 64, October 2016, Pages 30–37.

ROMEIRO, A. R., 2010. *Economia ou economia política da sustentabilidade*. In: MAY, Peter H (Org). *Economia do Meio Ambiente: Prática e Teoria*. 2a edição. Brasil. Editora Campus, 2010.

RUMMEL, R.; HEENAN, D., 1978. "How multinationals analyze political risk". *Harvard Business Review*, Jan/Feb, 54, 90-105.

SAATY, T. L., 1980. "The Analytic Hierarchy Process", New York: McGraw Hill. International, Translated to Russian, Portuguese, and Chinese, Revised editions, Paperback (1996, 2000), Pittsburgh: RWS Publications, 1980.

SAATY, T., 2008. "The Analytic Hierarchy and Analytic Network Measurement Processes: Applications to Decisions under Risk". *European Journal of Pure and Applied Mathematics*. Vol.1, No. 1, 2008, (122-196).

SAATY, T. L., 2013. "On the Measurement of Intangibles. A Principal Eigenvector Approach to Relative Measurement Derived from Paired Comparisons". *Notices of the AMS*, Vol. 60, No. 2.

SACHS, I., 2008. *Desenvolvimento: incluyente, sustentável, sustentado*. Rio de Janeiro: Garamond 2008.

SAGOFF, M., 2007. *The Economy of Earth, Philosophy, Law and the Environment*. 2nd. New York, Cambridge University Press.

SEN, A. K., 2012. *Desigualdade Reexaminada*. Tradução e Apresentação de Ricardo Doninelli Mendes, 3a edição. Rio de Janeiro: Record, 2012.

SERRA, D.; REVELLE, C., 1994. "Market capture by two competitors: the preemptive location problem". *Journal of Regional Sciences*, 34, 549-561.

SIEBERT, H., 2006. "Locational competition: a neglected paradigm in the international division of labor". *The World Economy*, 29(2), 137-159.

SKINNER, W., 1985. *Manufacturing the formidable competitive weapon*. New York: Wiley.

SMITH-HAMILTON, A.; OMAR, M., 2005. "FDI, international business and regulation - The behaviour of UK multinational corporations". *European Business Review*, 17 (1), 69-82.

SMITH, D. M., 1966. "A theoretical framework for geographical studies of industrial

- location". *Econ. Geogr.* 42, 95–113, 1966.
- SMITHIES, A., 1941. "Optimum location in spatial competition". *Journal of Political Economy*, 69.
- SOMLEV, I.; HOSHINO, Y., 2005. "Influence of location factors on establishment and ownership of foreign investment: the case of the Japanese manufacturing firms in Europe". *International Business Review*, 14, 577-598.
- TAYLOR, D. I. W., 2008. *Measuring Intangible Value: A Practical Method to Measure the Intangible Elements of Any Investment Decision*. iUniverse Ink, New York.
- TEEB, 2010. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundation*. Earthscan, London and Washington, 2010.
- THOMPSON, J. R., 2006. "Society's choices: land use changes, forest fragmentation, and conservation". PNW Science Findings 88. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, PNW Research Station. 5 p
- THOMPSON, J. R., 2008. "Long-term ecological reflections: writers, philosophers, and scientists meet in the forest", PNW Science Findings 105. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, PNW Research Station. 5 p.
- THOMPSON, G.H., JR., 2012. "Background and History: Ecosystem Services. In *Measuring Nature's Balance Sheet of 2011*", *Ecosystem Services Seminar Series*. Edited by Coastal Quest and Gordon and Betty Moore Foundation, 1-14. Palo Alto: Gordon and Betty Moore Foundation, 2012.
- THUNEN, J., 1875. *Der Isolirerte Staat in Biziehung auf Landwirtschaft und Nationalokonomie*. Berlin: Schumachen-Zarchlin.
- TOMBACK, M., 1995. "Multinational plant location as a game of timing. European". *Journal of Operational Research*, 86, 434-451.
- VAN BELLEN, H. M, 2004, "Indicadores de sustentabilidade: um levantamento dos principais sistemas de avaliação". *Cad. EBAPE.BR*, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 01-14, mar. 2004.
- VAN LAARHOVEN, P.J.M., PEDRYCZ, W., 1983, "A fuzzy extension of SAATY's priority theory", *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 11, pp 229–241, 1983.
- VASTAG, G.; KERKES, S.; RONDENELLI, D., 1996. "Evaluation of corporate environmental management approaches: a framework and application". *International Journal of Production Economics*, 43, 193-211.
- VAUGHN, G., 1994. "The geography of resource economics". *Land Economics*, 70, 515-519.
- VENABLES, A., 1996. "Equilibrium locations of vertically linked industries". *International Economic Review*, 37, 341- 359.
- VERNON, R., 1968. *Manager in the International Economy*. Englewood Cliffs:

Prentice Hall, 1968.

VERNON, R., 1971. *Sovereignty at Bay: the Multinational Spread of US Enterprises*. New York: Basic Books.

WALTERS, B.; WHEELER, J., 1984. "Localization economies in the American carpet industry". *Geographical Review*, 74, 183-91.

WANG, Y. M.; ELHAG, T. M. S.; HUA, Z., 2006. "A modified fuzzy logarithmic least squares method for fuzzy analytic hierarchy process," *Fuzzy Sets and Systems* 157, 3055-3071.

WANG, Y. M.; LUO, Y.; HUA, Z., 2008. "On the extent analysis method for fuzzy AHP and its applications," *Eur. J. Oper. Res.* 186, 735-747.

WANG, W.; GOU, H.; CHUAI, X.; DAI, C.; LAI, L.; ZHANG, M., 2014. "The impact of land use change on the temporospatial variations of ecosystems services value in China and an optimized land use solution", *Environmental Science & Policy*. Volume 44, December 2014, Pages 62–72

WEBER, A., 1909. *Über den Standort der Industrie*. Tübingen, Verlag von J. C. B. Mohr (Paul Siebeck), 1909.

WEBER, A., 1929. *Alfred Weber's Theory of Location of Industries*. English Edition, The University of Chicago Press. Chicago, Illinois

WILSON, M.A.; HOWARTH R.; 2002. "Discourse-based valuation of ecosystem services: establishing fair outcomes through group deliberation". *Ecological Economics* 41, 431–443.

WOJAN, T.; PULVER, G., 1995. "Location pattern of high growth industries in rural countries". *Growth and Change*, 26, 3-22.

WOOD, G.; PARR, J., 2005. "Transaction costs, agglomeration economics, and industrial location". *Growth and Change*, 36(1), 1-15.

YOUNG, G., 1994. "International competitiveness, international taxation and domestic investment". *National Institute of Economic Review*, 148, 44-48.

YU, C.S., 2002. "A GP-AHP method for solving group decision making fuzzy AHP problems", *Computers & Operations Research*, Pergamon ,vol. 29 , pp1969-2001, 2002.

YURIMOTO, S.; MASUI, T, 1995. "Design of a decision support system for oversease location in the EC". *International Journal of Production Economics*, 41, 411-418.

ZADEH, L., 1965. A. *Fuzzy Sets*. *Information and Control* V. 8, pp. 338 – 353, 1965.

ZADEH, L. A., 1973. "Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. SMC-3, No. 1, January, 1973

ZADEH, L. A., 1975. "The concept of a linguistic variable and its application to

approximate reasoning”, *Information Sciences*, Vol. 8, Issue 3, 1975, pages 199-249

ZADEH, L. A., 2001. “A New Direction in AI – Toward a Computational Theory of Perceptions”. *American Association for Artificial Intelligence*. Spring, 2001.