

ANA PAULA COELHO CLAUBERG

**UMA PROPOSTA DE SISTEMA ESPECIALISTA *FUZZY* NA ABORDAGEM
DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL INTEGRADA DE PCHS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Renato de Mello

LAGES, SC

2019

Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Clauberg, Ana Paula Coelho
Uma proposta de Sistema Especialista Fuzzy na
abordagem de Avaliação Ambiental Integrada de PCHs / Ana
Paula Coelho Clauberg. -- 2019.
242 p.

Orientador: Renato de Mello
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias,
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Lages,
2019.

1. Sistema Especialista. 2. Lógica Fuzzy. 3. Avaliação
Ambiental Integrada. 4. Pequenas Centrais Hidrelétricas. 5.
Metodologia Delphi. I. Mello, Renato de . II. Universidade do
Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciências
Ambientais. III. Título.

ANA PAULA COELHO CLAUBERG

**UMA PROPOSTA DE SISTEMA ESPECIALISTA *FUZZY* NA ABORDAGEM DE
AVALIAÇÃO AMBIENTAL INTEGRADA DE PCHS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Banca Examinadora:

Orientador:

Prof. Dr. Renato de Mello
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membros:

Prof. Dr. Valter Antônio Becegato
Universidade do Estado de Santa Catarina

Dr. André de Siqueira Campos Boclin
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

Lages, 20/02/2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, pelas bênçãos diárias que me permitiram chegar até aqui.

Agradeço a minha família, minha mãe Angela de Fátima Coelho Clauberg, meu pai Marco Joel Clauberg e minha irmã Marcelle Coelho Clauberg, os quais mantiveram-se ao meu lado durante todo o percurso, apoiando-me e motivando-me.

Agradeço aos professores Valter Antônio Becegato, Valdeci José Costa e Renato de Mello, orientador deste trabalho, pela confiança demonstrada durante toda minha trajetória no Centro de Ciências Agroveterinárias da Udesc.

Agradeço à equipe da 13ª Promotoria de Justiça de Lages, em especial ao Dr. Renee Cardoso Braga, que compartilhou seus conhecimentos, fundamentais para evolução deste trabalho.

Agradeço as minhas amigas, Priscila Becker e Schayane Souza, que demonstram o sentido da palavra e sempre me impulsionaram na realização de meus sonhos.

Por fim, agradeço à Udesc e ao PPGCAMB pelo acolhimento como sua graduanda e mestranda, oferecendo-me maravilhosas oportunidades de aprendizado e evolução pessoal.

RESUMO

CLAUBERG, Ana Paula Coelho. **Uma proposta de Sistema Especialista *Fuzzy* na abordagem de Avaliação Ambiental Integrada de PCHs**. 2019. 231 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

A presente dissertação tem natureza de pesquisa aplicada realizada na área de modelagem ambiental, cujo objetivo exploratório consiste na proposta de um sistema baseado em conhecimento com intuito de aprimorar a Avaliação Ambiental Integrada, com primazia na inserção de Pequenas Centrais Hidrelétricas. Fundamenta-se nos privilégios e facilidades relacionados à inserção destes empreendimentos e na necessidade em assegurar o desenvolvimento econômico e a qualidade ambiental. Propõe-se um Sistema Especialista em formato de Árvore de Decisão, com utilização da Lógica *Fuzzy* e estruturada conforme abordagem *top-down*, na qual o produto numérico constitui um índice que representa o suporte da bacia hidrográfica em estudo. Para aperfeiçoamento do modelo proposto, utilizou-se a metodologia *Delphi*, na qual 13 (treze) especialistas foram elencados para contribuir com suas experiências profissionais. Chega-se a termo sobre a urgente necessidade de criação e aperfeiçoamento das ferramentas atualmente utilizadas na alçada ambiental, fato que reforça a importância deste trabalho, embora dificuldades como vasta abrangência e conceitos culturais e profissionais arraigados sejam fatores limitantes na construção de técnicas que modelem o meio ambiente.

Palavras-chave: Sistema Especialista. Lógica *Fuzzy*. Avaliação Ambiental Integrada. Pequenas Centrais Hidrelétricas. Metodologia *Delphi*.

ABSTRACT

CLAUBERG, Ana Paula Coelho. ***Fuzzy Expert System proposal to SHPs Integrated Environmental Assessment approach***. 2019. 231 p. Dissertation (Mater in Environmental Sciences) – Santa Catarina State University, Lages.

The present dissertation has the nature of applied research carried out in the environmental modeling area, with a proposal of a system based on knowlege as an exploratory goals to aprimorated the Integrated Environmental Assessment, highlightening the Small Hydropower Plants. It is based on privileges and facilities related to the insertion of theses enterprises and on the need to ensure economic development and envinromental quality. An Expert System has been proposed, in a Decision Tree format, constructed with *Fuzzy* logic and structured with *top-down* approach, which the numerical product consists in a support of watershed index. In order to improve the model, the *Delphi* methodology was used, where 13 (thirteen) experts has been chosen to expose their professional experiences. It comes to an urgent need to create and improve the current tools used in the envinromental aspect, which certainly reforce this work, although many difficults as the vast scope and culture and professionals concepts may be limitants to environmental modelling.

Keywords: Expert System. *Fuzzy* logic. Integrated Environmental Assessment. Small Hydropower Plants. *Delphi* methodology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Oferta de Energia Elétrica por fonte.....	68
Tabela 1 - Capacidade instalada de geração elétrica por fonte.....	60
Figura 2 - Representação do conceito de impacto ambiental por Bolea (1989)	73
Figura 3 - Representação de impactos direto e indireto	74
Figura 4 - Composição da significância de um impacto	75
Figura 5 - Representação de impacto cumulativo	77
Figura 6 - Representação de um impacto sinérgico	78
Figura 7 - Quadro conceitual de um potencial ambientalmente viável para o desenvolvimento de hidrelétricas	85
Figura 8 - Sistemas e interações.....	109
Figura 9 - Estrutura metodológica do AAI da Bacia do Rio Uruguai, conforme Termo de Referência.....	113
Figura 10 - Hierarquização adotada	114
Figura 11 - Índices de Fragilidade - AAI	115
Figura 12 - Índices de Potencialidade - AAI	116
Figura 13 - Índices de Impacto Negativo - AAI	117
Figura 14 - Árvore de Problemas	125
Figura 15 - Estrutura básica de um SE	132
Figura 16 - Ilustração do conjunto da variável linguística temperatura.....	140
Figura 17 - Estrutura de um controlador <i>fuzzy</i>	141
Figura 18 - Princípio da regra de inferência do sistema <i>fuzzy</i>	144
Figura 19 - Dendrograma Principal	151
Figura 20 - Termos adotados aos indicadores e respectivos universos de discurso	154
Figura 21 - Dendrograma Suporte do Sistema.....	155
Figura 22 - Simplificação do dendrograma Ecologia	157
Figura 23 - Dendrograma Ecologia	159
Figura 24 - Dendrograma subtema Biótico	161
Figura 25 - Dendrograma subtema Físico	164
Figura 26 - Simplificação do dendrograma Economia.....	166
Figura 27 - Dendrograma Economia	168
Figura 28 - Dendrograma subtema Cobrança	169
Figura 29 - Simplificação do dendrograma Social	173
Figura 30 - Dendrograma Social	176
Figura 31 - Dendrograma subtema Qualidade de vida.....	176
Figura 32 - Dendrograma do subtema Trabalho e Renda	179
Figura 33 - Esquema de Implementação do Método <i>Delphi</i> na pesquisa	186
Figura 34 - Gráfico referente à pergunta 1	190
Figura 35 - Respostas referentes à pergunta 1	192
Figura 36 - Perspectiva geral pergunta 1	192
Figura 37 - Gráfico referente à pergunta 2	193
Figura 38 - Respostas referentes à pergunta 2	194
Figura 39 - Perspectiva geral pergunta 2	195
Figura 40 - Gráfico referente à pergunta 2.b	195
Figura 41 - Respostas referentes à pergunta 2.b	196
Figura 42 - Gráfico referente à pergunta 2.d	197

Figura 43 - Gráfico referente à pergunta 3	199
Figura 44 - Respostas referentes à pergunta 3	200
Figura 45 - Perspectiva geral pergunta 3	200
Figura 46 - Gráfico referente à pergunta 3.b	201
Figura 47 - Respostas referentes à pergunta 3.b	202
Figura 48 - Perspectiva geral pergunta 3.b	202
Figura 49 - Gráfico referente à pergunta 4	203
Figura 50 - Respostas referentes à pergunta 4	204
Figura 51 - Perspectiva geral pergunta 4	205
Figura 52 - Gráfico referente à pergunta 4.b	205
Figura 53 - Respostas referentes à pergunta 4.b	207
Figura 54 - Perspectiva geral pergunta 4.b	207
Figura 55 - Gráfico referente à pergunta 4.d	208
Figura 56 - Respostas referentes à pergunta 4.d	209
Figura 57 - Perspectiva geral pergunta 4.d	209

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais eventos nos governos de 1930 a 1964	43
Quadro 2 - Características do dendrograma principal.....	152
Quadro 3 - Lista de abreviaturas do dendrograma Suporte do Sistema	155
Quadro 4 - Estatística do dendrograma Suporte	156
Quadro 5 - Indicadores individuais do dendrograma Suporte	156
Quadro 6 - Indicador sistêmico do dendrograma Suporte	157
Quadro 7- Lista de abreviaturas do dendrograma simplificado do Tema Ecologia ..	158
Quadro 8 - Estatística do dendrograma simplificado do Tema Ecologia.....	158
Quadro 9 - Indicadores individuais do dendrograma simplificado do Tema Ecologia	158
Quadro 10 - Indicador sistêmico do dendrograma simplificado do Tema Ecologia ..	159
Quadro 11 - Lista de abreviaturas do dendrograma do subtema Biótico	161
Quadro 12 - Estatística do dendrograma do subtema Biótico	162
Quadro 13 - Indicadores individuais do subtema Biótico.....	163
Quadro 14 - Indicador sistêmico do subtema Biótico	163
Quadro 15 - Lista de abreviaturas do dendrograma do subtema Físico.....	164
Quadro 16 - Estatística do dendrograma do subtema Físico	165
Quadro 17 - Indicadores individuais do subtema Físico	165
Quadro 18 - Indicador sistêmico do subtema Físico	165
Quadro 19 - Lista de abreviaturas do dendrograma simplificado do Tema Economia	166
Quadro 20 - Estatística do dendrograma simplificado do Tema Economia.....	167
Quadro 21 - Indicadores individuais do dendrograma simplificado do Tema Economia	167
Quadro 22 - Indicador sistêmico do dendrograma simplificado do Tema Economia	168
Quadro 23 - Lista de abreviaturas do dendrograma do subtema Cobrança.....	169
Quadro 24 - Estatística do dendrograma do subtema Cobrança	170
Quadro 25 - Indicadores individuais do dendrograma do subtema Cobrança.....	170
Quadro 26 - Indicador sistêmico do dendrograma do subtema Cobrança	171
Quadro 27 - Lista de abreviaturas do dendrograma simplificado do Tema Social ..	173
Quadro 28 - Estatística do dendrograma simplificado do Tema Social	174
Quadro 29 - Indicadores individuais do dendrograma simplificado do Tema Social.....	174
Quadro 30 - Indicador sistêmico do dendrograma simplificado do Tema Economia	175
Quadro 31 - Lista de abreviaturas do dendrograma do subtema Qualidade de vida	177
Quadro 32 - Estatística do dendrograma do subtema Qualidade de vida	177
Quadro 33 - Indicadores individuais do dendrograma do subtema Qualidade de vida	178
Quadro 34 - Indicador sistêmico do dendrograma do subtema Qualidade de vida ..	178
Quadro 35 - Lista de abreviaturas do dendrograma do subtema Trabalho e Renda	179
Quadro 36 - Estatística do dendrograma do subtema Trabalho e Renda	179
Quadro 37 - Indicadores individuais do dendrograma do subtema Trabalho e Renda	180

Quadro 38 - Indicador sistêmico do dendrograma do subtema Trabalho e Renda .180

LISTA DE SIGLAS

AAD	Avaliação Ambiental Distribuída
AAE	Avaliação Ambiental Estratégica
AAI	Avaliação Ambiental Integrada
ACL	Arranjo Comercial Livre
ACR	Arranjo Comercial Regulado
AIA	Avaliação de Impactos Ambientais
AMFORP	American and Foreign Power Company
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
BIRD	Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento
BNDE	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CCPE Sistemas Elétricos	Comitê Coordenador do Planejamento e Expansão dos
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético
CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CERPCH	Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas
CF	Constituição Federal
CGH	Centrais Geradoras Hidrelétricas de Capacidade Reduzida
CHESF	Companhia Hidrelétrica do São Francisco
CHEVAP	Companhia Hidrelétrica do Vale do Paraíba
CIP	Custeio do Serviço para Iluminação Pública
CNAEE	Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica
COA	Centro de Área
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
COG	Centro de Gravidade
COM	Centro de Máximos

COS	Centro de Somas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COP21	21ª Conferência das Partes
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
DOS	Grau de Suporte
EEA	European Environment Agency
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
ELETROBRÁS	Centrais Elétricas Brasileiras
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FHC	Fernando Henrique Cardoso
GCOI	Grupo Coordenador de Operação Interligada
IAIA	International Association for Impact Assessment
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICMS	Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços
INDC	Pretendidas Contribuições Nacionalmente Determinadas
JK	Juscelino Kubitschek
MAE	Mercado Atacadista de Energia Elétrica
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MOM	Média de Máximos
MW	Megawatts
NEPA	Política Nacional Ambiental Americana
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
ONU	Organização das Nações Unidas
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PIS	Programas de Integração Social
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
Q1	Questionário 1
Q2	Questionário 2

REVISE	Revisão Institucional do Setor Elétrico
RH4	Região Hidrográfica 4
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SBC	Sistema Baseado em Conhecimento
SE	Sistema Especialista
SEF	Sistema Especialista <i>Fuzzy</i>
SIN	Sistema Interligado Nacional
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
SSD	Sistema de Suporte à Decisão
UHE	Usina Hidrelétrica
WWF	World Wide Fund for Nature

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	23
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	23
1.2 PROBLEMA DA PESQUISA	25
1.3 HIPÓTESES	26
1.4 OBJETIVOS	27
1.5 JUSTIFICATIVAS	28
1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	30
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	33
2.1 SETOR HIDRELÉTRICO BRASILEIRO	33
2.1.1 Setor elétrico brasileiro: contexto histórico e político	33
2.1.1.1 Postura não intervencionista x necessidade de regulamentação	35
2.1.1.2 Mudança de postura Estatal e evolução do setor	36
2.1.1.3 Crise de 1973 e o impulsionamento hidrelétrico	45
2.1.1.4 Crise de 2001 e a inserção das Pequenas Centrais Hidrelétricas no ordenamento brasileiro	48
2.1.1.5 Contexto atual	52
2.2 PENSAMENTO SUSTENTÁVEL E SUA RELAÇÃO ABALIZADA COM O CONTEXTO HIDROENERGÉTICO	54
2.2.1 Marcos de importância	54
2.2.2 Água: sua relevância como fonte de energia e sua posição no sistema normativo brasileiro	59
2.2.3 Abordagem normativa relacionada às centrais hidrelétricas de pequeno porte	63
2.3 GERADORAS DE ENERGIA ELÉTRICA DE PEQUENO PORTE	68
2.3.1 Participação na Matriz Energética brasileira	68
2.3.2 Impactos ambientais relacionados	72
2.3.2.1 Definição	72
2.3.2.2 Impactos cumulativos e sinérgicos	75
2.3.2.3 Impactos de empreendimentos de pequena geração hidrelétrica	79
2.3.3 Mecanismos existentes para predição de impactos	97
2.4 AVALIAÇÃO AMBIENTAL INTEGRADA (AAI)	106
2.4.1 AAI no âmbito da EPE	111
CAPÍTULO 3: METODOLOGIA	123
3.1 PROCEDIMENTOS	124
3.1.1 Descobrimento e colocação precisa do problema	125
3.1.2 Procura de conhecimentos ou instrumentos relevantes ao problema	126

3.1.3 Invenção de novas ideias ou produção de novos dados empíricos que prometam resolver o problema.....	126
3.1.4 Investigação das consequências da solução obtida	126
CAPÍTULO 4: CONSTRUÇÃO DA ÁRVORE DE DECISÃO FUZZY	129
4.1 SISTEMA DE SUPORTE A DECISÃO	129
4.1.1 Sistemas Baseados em Conhecimento (SBCs)	130
4.1.1.1 Sistemas Especialistas (SE).....	131
4.1.1.2 Sistema Especialista <i>Fuzzy</i> (SEF)	134
4.2 A LÓGICA <i>FUZZY</i>	135
4.2.1 A lógica <i>fuzzy</i> e a divergência da lógica clássica	137
4.2.2 Fuzzyficação, defuzzyficação e regras de produção <i>fuzzy</i>	139
4.2.2.1 Estratégia de defuzzyficação	142
4.2.3 Métodos de inferência <i>fuzzy</i>	143
4.2.4 Aplicação da lógica <i>fuzzy</i> na análise da sustentabilidade	146
4.2.4.1 Abordagem estratégica <i>top-down</i>	148
4.3 O MODELO	149
4.3.1 Dendrograma principal	149
4.3.2 Indicadores envolvidos.....	152
4.3.2.1 Blocos de regras de produção.....	152
4.3.2.2 Composição dos indicadores	153
4.3.2.3 Suporte da Sub-bacia.....	154
4.3.2.4 Tema Ecologia	157
4.3.2.5 Tema Economia	166
4.3.2.6 Tema Social	173
4.4 MÉTODO <i>DELPHI</i>	181
4.4.1 Do Método	182
4.4.2 Implementação do método na pesquisa	185
CAPÍTULO 5: RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	189
5.1 RESULTADOS E DISCUSSÃO PROVENIENTES DA APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO.....	189
5.1.1 Análise qualitativa e quantitativa das respostas.....	190
5.1.1.1 Dendrograma Principal.....	190
5.1.1.2 Tema Ecologia	193
5.1.1.3 Tema Economia	199
5.1.1.4 Tema Social	203
CAPÍTULO 6: CONCLUSÃO.....	211
6.1 CONCLUSÃO DOS ESPECIALISTAS	211
6.2 CONCLUSÃO DA AUTORA.....	212

REFERÊNCIAS.....215
ANEXOS229

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A presente pesquisa fundamenta-se nos privilégios e facilidades relacionados à inserção de empreendimentos de pequena geração hidrelétrica e na necessidade em assegurar o desenvolvimento econômico e a qualidade ambiental.

O contexto histórico e político brasileiro ilustra que a conjuntura energética evoluiu conforme as necessidades constatadas, por ocasiões de conveniência. O pensamento acerca do desenvolvimento sustentável, bem como os tratados internacionais dos quais o país é signatário, influíram na busca por alternativas que priorizassem a qualidade do meio ambiente a atual e futuras gerações, de forma que as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e Centrais Geradoras Hidrelétricas de Capacidade Reduzida (CGHs) foram elencadas na legislação brasileira como formas limpas de geração de energia.

Além do incentivo por estas formas de provimento, percebe-se que ocasiões de déficits energéticos influenciaram a postura do Estado em induzir a inserção destes projetos, levando a uma preocupação com o retorno de uma possível exploração predatória do meio ambiente, caso estes empreendimentos não sejam estudados e planejados, precipuamente, quando da inserção sequencial em rios.

O processo de licenciamento ambiental ancora-se na Avaliação de Impactos Ambientais (AIA), devidamente preconizada pela legislação nacional. Entretanto, percebe-se que muitas vezes este processo mostra-se insuficiente e até mesmo ineficaz, principalmente em considerar impactos cumulativos e sinérgicos no decorrer de sua vida.

Embora seja a ferramenta mais comum no alcance de anuências ambientais, a AIA contempla alguns problemas em sua aplicação, principalmente no que concerne a antecipação de projetos, impactos e sustentabilidade, uma vez que a análise ocorre em uma fase na qual muitos compromissos já estão firmados e prazos estipulados, atrelada ao fato da não aplicação de ferramentas apropriadas; a ineficiente e até mesmo inexistente metodologia sistematizada para a avaliação de impactos

cumulativos e sinérgicos e a falta de integração entre as políticas envolvidas, em especial a ambiental e a de desenvolvimento econômico e social (TUCCI; MENDES, 2006).

Egler (2001, FERREIRA; CANTARINO, 2011) afirma que a AIA de projetos é normalmente focada e restrita à consideração dos impactos diretos do empreendimento, negligenciando uma diversidade de outros possíveis impactos. Del Río e Burguillo (2009) argumentam que a maioria dos estudos sobre impactos e benefícios socioeconômicos de projetos de energia renovável são muito gerais e superficiais (PAGNUSSATT et al., 2018).

A Avaliação Ambiental Integrada (AAI) insere-se no contexto como uma ferramenta auxiliar à AIA e ao licenciamento ambiental das centrais hidrelétricas, visando à predição das condições futuras da bacia e a consideração dos três meios: físico, ecológico e socioeconômico. Segundo Tucci e Mendes (2006), trata-se de uma forma de abordagem da AIA que é desenvolvida para fazer análises antecipadas e integradas de políticas, planos e programas que afetam o meio ambiente, auxiliando, consequentemente, na melhoria de sua qualidade desde o planejamento de empreendimentos e projetos.

Esta pesquisa propõe que a AAI possa ser amparada por um Sistema Especialista *Fuzzy* (SEF), no qual desenvolveu-se um modelo de Árvore de Decisão, estruturada mediante estratégia *top-down*, que permite a obtenção de um índice que representará o Suporte da sub-bacia ou bacia hidrográfica, alvo da inserção do empreendimento em estudo. A estimativa da capacidade de suporte da sub-bacia leva em consideração os usos preponderantes e os impactos, negativos e positivos, nos três meios. Ressalta-se que o trabalho aqui iniciado consiste na proposta de um modelo genérico, com objetivo de iniciar a aplicabilidade da ferramenta.

Os SEFs utilizam a Lógica *Fuzzy* para reproduzirem raciocínios de especialistas em um sistema computacional, permitindo que o computador aja como eles na resolução de problemas (KRISHNAMOORTHY; RAJEEV, 1996; FERREIRA et al., 2015). Dentre as variadas técnicas existentes para representar o conhecimento, a lógica *fuzzy* é interessante no mundo dos sistemas especialistas pela possibilidade em representar e raciocinar termos ambíguos, capturando quantitativamente a interpretação humana.

Almeja-se contribuir com o aprimoramento, celeridade e transparência do processo de Avaliação Ambiental Integrada, desenvolvendo-se um Sistema de Suporte à Decisão genérico que estime e traduza, em um índice numérico, a resiliência do meio, no qual estão envolvidos critérios de ordem social, técnica e econômica, constituindo um modelo interpretativo capaz de processar diversos critérios e incorporar o conhecimento dos especialistas envolvidos na identificação e na organização das variáveis.

1.2 PROBLEMA DA PESQUISA

A interferência no ambiente físico e ecológico promovida pelos aspectos econômicos e sociais de um empreendimento relaciona-se diretamente com a sustentabilidade ambiental do mesmo (MEDEIROS; MELLO; CAMPOS FILHO, 2007), considerando precipuamente as características intrínsecas do meio em que se insere.

Critérios claros e definidos democraticamente devem ser considerados no momento de aceitação ou não de um projeto e sua implantação. Para promover os entendimentos necessários no ambiente econômico, social e ecológico, métodos e ferramentas de delimitação, identificação e avaliação são empregados nas Avaliações de Impactos Ambientais com função em diminuir as incertezas das decisões. Muitos destes, entretanto, são de difícil compreensão aos decisores, muitas vezes leigos quanto ao aspecto técnico.

No planejamento energético percebe-se evidente estímulo e incentivo estatal à inserção de fontes renováveis na matriz, principalmente as provenientes de PCHs, biomassa e fonte eólica. Rocha, Gutierrez e Hauser (2012) apontam o cenário como de impulso à energia eólica, bioeletricidade e PCHs, pois são alternativas promissoras a atender critérios ambientais na promoção da necessária complementação do parque hídrico atual.

Impende observar que várias medidas foram tomadas para desburocratização do processo de instalação de centrais hidrelétricas de pequena geração. Houve elevado número de alterações na legislação do setor, cujo objetivo principal compreende a diminuição do prazo de tramitação. O tempo médio de análise dos

pedidos caiu de pelo menos 5 anos (2015) para 25 dias (2018), havendo desnecessidade de Licenciamento Ambiental antes da análise de Projeto Básico (também simplificado) (LIMA, 2018). Os incentivos são ainda maiores em relação às centrais geradoras de até 5 MW, cuja instalação independe de autorização da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

O estímulo e facilidade inerentes a esses projetos podem desencadear a retomada de uma exploração predatória do meio ambiente, contrapondo-se à ideia de desenvolvimento sustentável. Há situações onde as PCHs e CGHs possuem impactos negativos maiores que os positivos, principalmente quando as questões socioambientais não são dimensionadas e integradas de forma coerente no ambiente em que se inserem (CARVALHO, 2014).

Embora a conotação Pequena Central Hidrelétrica faça parecer tratar-se de uma central com tamanho reduzido, deve-se ressaltar que o entendimento consiste apenas em uma concepção diferenciada e mais simples, como lembram os autores Pereira Souza, Felicidade e Mauad (2015). Ainda, estes autores referenciam as mesmas como uma *panaceia*, que se instalam com evidente privilégio estatal.

Ademais, recentemente tem-se pautado os impactos ambientais sinérgicos e cumulativos resultantes da concentração de aproveitamentos, em geral PCHs e CGHs, em uma mesma bacia hidrográfica ou em um mesmo rio. Para evitá-los é necessária uma análise contextual da área de inserção, considerando os usos múltiplos, a necessidade de conservação e o interesse das populações lindeiras.

Por este motivo, deve-se contemplar uma Avaliação de Impactos Ambientais a uma eficiente Avaliação Ambiental Integrada, nas quais haja uma visão integrada dos recursos hídricos, respeito aos usos dissidentes e resolução de conflitos sociais, bem como a estruturação de projetos mais sustentáveis ecológica e economicamente, havendo celeridade e transparência na tomada de decisões e facilitação do entendimento pelos diversos setores sociais.

1.3 HIPÓTESES

Consideram-se as seguintes hipóteses:

1. É possível aperfeiçoar a Avaliação de Impactos Ambientais e a Avaliação Ambiental Integrada com o uso de um Sistema Especialista no formato de Árvore de Decisão estruturada com a lógica *fuzzy*;

2. A utilização da lógica *fuzzy* mostra-se adequada e eficaz na análise da sustentabilidade projetos hidrelétricos;

3. É possível, com o devido planejamento e estudo, aperfeiçoar os projetos hidrelétricos, de forma a evitar impactos sociais e respeitar os usos múltiplos preconizados na legislação vigente;

4. A utilização da metodologia *Delphi* permite aprimorar modelos e transformar a realidade com base em opiniões de especialistas, mesmo que separados geograficamente.

1.4 OBJETIVOS

O objetivo geral da pesquisa consiste na estruturação de um Sistema de Suporte à Decisão genérico na forma de Sistema Especialista *Fuzzy* em um modelo de árvore de decisão, ferramental de possível auxílio aos processos decisórios de Avaliação Ambiental Integrada de empreendimentos do tipo PCHs e CGHs em bacias hidrográficas.

Os objetivos específicos são:

- Atender à necessidade de se avaliar de forma transparente e integrada as questões econômicas, ecológicas e sociais, bem como a interdependência entre elas;
- Identificar e selecionar os indicadores e índices indispensáveis à análise e à representação dos meios físico, biológico e social;
- Utilizar abordagem estratégica *top-down* para o processamento de informações e ordenação de conhecimento;
- Minimizar as incertezas intrínsecas aos projetos e possibilitar uma decisão fundamentada e segura, necessária a uma Avaliação Ambiental Integrada, por meio da estimativa de um índice final à bacia hidrográfica

utilizando-se os preceitos da lógica *fuzzy*, o qual quantificará o suporte desta;

- Possibilitar a estimativa do desempenho dos índices setoriais que compõem o suporte da bacia, facilitando o arranjo e a adoção de medidas para uma quantificação favorável ao meio ambiente e ao desenvolvimento social e econômico;
- Obter, com auxílio da metodologia *Delphi*, o entendimento de especialistas no assunto, a fim de aprimorar o modelo sugerido e contemplar as reais e contemporâneas necessidades inerentes ao processo de avaliação de empreendimentos de pequena geração hidrelétrica.

1.5 JUSTIFICATIVAS

A crise energética de 2001, popularmente conotada como “apagão”, direcionou o poder público a adotar medidas que assegurassem a eficiência do fornecimento de energia. A preocupação induziu à promulgação da Lei n. 10.438, de 26 de abril de 2002, com intuito de ampliar a matriz energética e instituir o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), promovendo a integração das Pequenas Centrais Hidrelétricas à legislação brasileira (CÂMARA, 2008).

A situação ainda levou à sanção das Leis n. 10.847 e 10.848, ambas de 2004, vistas como pilares da reestruturação do setor energético do país, com princípios em garantir a modicidade tarifária, a universalização dos serviços e o fortalecimento da intenção governamental em incitar a iniciativa privada de forma a ampliar a matriz energética para suprimento da crescente demanda (CÂMARA, 2008).

Vários são os benefícios advindos da instalação de PCHs e CGHs. Fontes, Xavier e Guimarães (2007) elencam que as PCHs são empreendimentos que possibilitam um melhor atendimento nos pequenos centros urbanos e zonas rurais. Ilustram uma maneira célere e eficaz no provimento e expansão de energia elétrica, suprimindo habilmente a demanda do mercado e adequando-se ao direito ambiental pelos seus impactos ambientais considerados menores.

Hennig et al. (2013) expõem que com a preocupação acerca do decréscimo da disponibilidade dos combustíveis fósseis e a demanda pela redução das emissões de gases estufa, o desenvolvimento de empreendimentos hidrelétricos tornou-se a mais importante estratégia energética. Sob esse contexto, as políticas sobre o tema versam sobre a consideração de uma demanda crescente e avaliação técnica e econômica viável, os quais maximizam os benefícios econômicos. Entretanto, os esforços que induzem “às cegas” aos benefícios econômicos devem ser propostos adequadamente ao alcance do desenvolvimento sustentável destes empreendimentos. A viabilidade ambiental deve ser uma das premissas consideradas quando da inserção de empreendimentos hidrelétricos, devendo esta ser consideradas nas políticas pertinentes (ZHANG et al., 2014).

Carvalho (2014) resume que as mesmas possuem projetos de menor volume de investimentos, de concepção e operação simplificada, menor prazo de conclusão, custo de transmissão reduzido, maior facilidade de integração com locais isolados e de liberação de licenças ambientais, além de serem subsidiadas e de possuírem tarifas diferenciadas, vantagens que compensam a sua inserção se comparadas às grandes usinas hidrelétricas e outras fontes de geração de energia. Entretanto, a autora aponta um viés nessas considerações, pois a quantidade de energia a ser produzida por uma central de pequeno porte, seja como autoprodutor ou produtor independente, não deve justificar qualquer impacto ambiental.

Em bacias hidrográficas, conforme apontam Tucci e Mendes (2006), os impactos não ocorrem de forma isolada, sendo resultados da integração de efeitos dos diferentes usos do ambiente. Cada bacia demonstra a integração desses efeitos de forma diferente, sendo que devem ser estudadas caso a caso. Desse modo, o gerenciamento da implantação das PCHs frente as questões ambientais, assumindo um significado amplo, é necessário, levando-se em conta o envolvimento de um grande número de variáveis que interagem simultaneamente, onde não se deve perder a visão do todo, a integração entre as partes e o objetivo maior em que se insere a central (SOUZA, 2000; PEREIRA SOUZA; FELICIDADE; MAUAD, 2015), respeitando o preconizado na Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que exalta a necessidade de integração na gestão hídrica.

A Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) é a forma de introdução dos estudos ambientais no Brasil, por meio da obrigatoriedade imposta na Resolução 001/86

(TUCCI; MENDES, 2006), constituindo, junto ao licenciamento ambiental, um instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA Lei n. 6.938/1981). Entretanto, os mesmos autores e outros apontados no decorrer dessa dissertação enaltecem vieses na aplicação da AIA de empreendimentos, precipuamente os hidrelétricos. Cita-se o princípio inerente à avaliação dos impactos dentro de uma área de influência, mas geralmente tem sido desenvolvido com profundidade limitada quanto aos aspectos integradores de cada tipo de projeto.

A limitação da avaliação individual dos projetos e os efeitos potencializados dos impactos ambientais levam à necessidade de avaliar os projetos dentro de uma visão integradora, tanto no espaço como intersetorial, visando à prevenção e à mitigação dos impactos, onde as variáveis são consideradas sem perder a visão holística do sistema.

A agregação de variáveis por meio da lógica *fuzzy* mostrou-se eficiente nos trabalhos de Campos Filho e Mello (2004), Boclin e Mello (2006) e Boclin (2014), por essa razão, a agregação aqui proposta utiliza o software *fuzzyTECH*®, mesmo software usado pelos autores citados.

Dessa forma, entende-se ser uma possibilidade viável na Avaliação Integrada de empreendimentos hidrelétricos a utilização de um sistema especialista que utilize a agregação pela lógica *fuzzy*, possibilitando uma tomada de decisão mais segura, transparente e corretamente fundamentada.

1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Para facilitar o entendimento e proporcionar o atendimento aos objetivos da pesquisa disposta, o trabalho foi segregado em 06 (seis) capítulos.

O primeiro capítulo dispõe a introdução do tema da pesquisa, apresentando a contextualização, problemática, objetivos gerais e específicos, hipóteses formuladas e as justificativas concernentes à proposta. Ademais, encerra-se o mesmo com uma breve explanação da estrutura da dissertação.

O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica, a qual embasou o desenvolvimento da pesquisa e a estruturação do modelo proposto. Contextualiza-se

a evolução do setor elétrico brasileiro e a responsabilidade hidrelétrica no mesmo, bem como os reflexos da evolução do pensamento sustentável no país e na performance energética. Expõe-se a contribuição das Pequenas Centrais Hidrelétricas na Matriz Energética do país, relacionando os principais impactos enrolados na literatura pertinente, da qual informações foram extraídas de livros, estudos ambientais, periódicos e trabalhos relacionados ao tema. Chega-se a termo com uma síntese das principais metodologias utilizadas na Avaliação de Impactos Ambientais e exploração da atual conjuntura sobre a Avaliação Ambiental Integrada.

O terceiro capítulo descreve os procedimentos metodológicos e os materiais utilizados na pesquisa.

O quarto capítulo aborda a construção da árvore de decisão *fuzzy*, contemplando uma revisão teórica acerca dos Sistemas Baseados em Conhecimento, incluindo o Sistema Especialista *Fuzzy* e explanando a motivação acerca do uso da lógica *fuzzy* para análise do suporte de uma bacia hidrográfica. Em sequência, explica a construção da árvore, dos temas escolhidos e da composição do índice final. É finalizado com uma seção acerca da metodologia *Delphi*, utilizada para ratificação do conteúdo e aplicabilidade do método proposto, escolhido de forma a questionar, por meio de questionários, a alguns estudiosos e decisores do tema acerca da estruturação do modelo, sendo possível captar tendências e opiniões positivas e negativas, possibilitando um aperfeiçoamento do mesmo.

O quinto capítulo apresenta os resultados captados por meio da aplicação da metodologia *Delphi*, no qual se discute meios de aprimoramento do modelo criado.

Por fim, o sexto capítulo apresenta a conclusão do estudo e a sugestão para continuidade e aprimoramento da pesquisa iniciada no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCAMB) do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade Estadual de Santa Catarina (UDESC).

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SETOR HIDRELÉTRICO BRASILEIRO

Nesta seção é realizada a análise do setor elétrico brasileiro e o papel das centrais de produção hidrelétrica. Contextualiza-se o desenvolvimento histórico juntamente aos processos políticos, que delinearão o comportamento do setor e influenciam até a presente organização do tema. Apresenta-se a evolução do pensamento sustentável e a influência deste na abordagem hidroenergética.

Percebe-se, ao decorrer da história, vários conflitos gerados pela atuação do Estado, oscilando entre atuação direta e indireta no setor elétrico em decorrência da ocasião, de acordo com as necessidades históricas. Os reflexos da evolução incitaram à necessidade de estudos ambientais específicos e imprescindibilidade em promover a integração dos setores para que a economia pudesse evoluir juntamente à preservação do meio ambiente. Esses foram os principais fundamentos para a estruturação do projeto apresentado nos capítulos seguintes.

2.1.1 Setor elétrico brasileiro: contexto histórico e político

Para Souza (2002) as aplicações de energia elétrica no país iniciaram ainda na época imperial, simultaneamente ao constatado nos Estados Unidos e Europa. A pesquisa bibliográfica relacionada elucida as primeiras aplicações de importância nacional ocorridas no intervalo temporal correspondente ao período posterior à Independência, proclamada em 07 de setembro de 1822, à instituição da República, em 15 de novembro de 1889, no Brasil Império.

No serviço público, de acordo com Souza (2002), a aplicação ocorreu em 1883, no estado do Rio de Janeiro, acionada por instalação térmica de máquinas a vapor, privilegiando o município de Campos como pioneiro na promoção de luz elétrica nas ruas em função de usina termelétrica, independente de lâmpadas a gás, comuns à época. Câmara (2008) exalta que a introdução do uso da eletricidade para iluminação e utilização de transportes públicos fez com que setores produtivos a buscassem para

seus processos industriais. Por isso, ainda em 1883, fundou-se a primeira unidade geradora de energia hidrelétrica, na qual o aproveitamento das águas do Ribeirão do Inferno, afluente do Rio Jequitinhonha, promovia a geração de energia que era transmitida por uma linha de transmissão de dois quilômetros, a fim de ser utilizada no instrumental de extração de diamantes em Diamantina, Minas Gerais (CÂMARA, 2008).

Lamarão (1997) esclarece que a primeira aplicação em caráter permanente no serviço público de energia elétrica foi em fevereiro de 1879, quando algumas unidades da estação central da Estrada de Ferro de Dom Pedro II foram iluminadas a eletricidade.

As três últimas décadas do século XIX, segundo Lamarão (1997), foram cruciais ao desenvolvimento nacional. Neste período as inovações técnico-científicas e industriais promoveram influências na esfera da produção, estrutura social, vida cotidiana e principalmente no imaginário dos homens, delineando novo modelo de organização e funcionamento da civilização ocidental. No último quartel do século, o Brasil presenciou um processo de modernização da sua infraestrutura, abrangendo transportes, comunicações e demais serviços públicos urbanos, financiados, precipuamente, pela exportação do café (LAMARÃO, 1997).

Percebeu-se que o recebimento de energia hidráulica era mais rentável que a utilização de carvão importado, fato que motivou o desenvolvimento de estudos no setor. A usina Marmelos-Zero é considerada, segundo Câmara (2008), a primeira usina hidrelétrica com foco no atendimento de serviços de utilidade pública. Foi inaugurada em setembro de 1889, cuja instalação a fio d'água promoveu serviço de iluminação da cidade de Juiz de Fora. O autor cita que desde 1883 até o final do século XIX a capacidade instalada no país evoluiu de 61 kW a 10.85 kW, sendo 53% dessa energia proveniente de fontes hidráulica.

Souza (2002) explica que instalações hidráulicas anteriores se limitavam a fins industriais. A Constituição de 1891 deixava lacunas em relação a concessões de serviços públicos, não havendo menção sobre a exploração de recursos hídricos (SOUZA, 2002).

A constante urbanização brasileira incitou o investimento de empresas estrangeiras, que ofereceram, dentre outros serviços, a geração de energia elétrica.

O aumento populacional e o capital proveniente das atividades cafeeiras influenciaram o investimento na produção de energia (CÂMARA, 2008).

2.1.1.1 Postura não intervencionista x necessidade de regulamentação

Com a inserção dos serviços de provimento energético a demanda por esta foi crescente, motivando a regulamentação de aproveitamentos hidrelétricos em 1903, por meio da Lei Federal n. 1.145. Segundo Souza (2002) este foi o primeiro texto sobre energia elétrica, regulamentado mais tarde pelo Decreto n. 5.407, de 27 de dezembro de 1904. A Lei autorizou o Governo Federal, por meio da redação do artigo 23, a promover o aproveitamento de rios brasileiros para fins de geração de energia para serviços federais, por concessão ou via administrativa, sendo os excedentes disponibilizados para terceiros em suas atividades agroindustriais:

Art. 23. O Governo promoverá o aproveitamento da força hydraulica para transformação em energia electrica applicada a serviços federaes, podendo autorizar o emprego do excesso da força no desenvolvimento da lavoura, das industrias e outros quaesquer fins, e conceder favores ás empresas que se propuzerem a fazer esse serviço. Essas concessões serão livres, como determina a Constituição, de quaesquer onus estadoaes ou municipaes.¹

O Projeto de Código de Águas foi encarregado pelo Presidente Nilo Peçanha ao jurista Haroldo Valladão, cuja conclusão, no ano de 1907, não incitou aproveitamentos na época, servindo como base à versão atual instituída em 1930 (SOUZA, 2002). O autor resume que até 1930 o papel do Estado no desenvolvimento da indústria, conseqüentemente no setor de provimento energético, foi bastante limitado.

A modernização do Brasil foi significativamente influenciada pela expansão de energia. A presença desta modificou, conforme Lamarão (1997, p.1), “a forma de morar, transportar-se, trabalhar, curar-se, divertir-se e estudar de milhões de pessoas”. O processo de urbanização e o aumento do mercado de serviços públicos e das atividades industriais, principalmente no Sudeste do país, ofereceram abertura

¹ Texto integral, retirado do portal da Câmara dos Deputados – legislação informatizada.

para investimentos no campo de energia elétrica, atraindo capitais estrangeiros, inclusive. A intensificação da aplicação da eletricidade tornou-a um agente de indução e aceleração das mudanças tanto sociais quanto econômicas (LAMARÃO, 1997).

Concessionárias estrangeiras passaram a estabelecer-se em cidades de maior desenvolvimento econômico, como o grupo *Light & Power*, sediado no Canadá e explorador do eixo Rio-São Paulo, promovedor de um importante serviço de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica no país em poucos anos de atuação (SOUZA, 2002). O grupo participou de destaques no provimento energético do país, a citar em 1900, ano em que a São Paulo *Light & Power* inaugurou uma linha de bondes elétricos; em 1901 a instalação da usina hidrelétrica de Parnaíba, a fim de fornecer energia à capital paulista; e em 1908, por meio da Rio de Janeiro *Tramway, Light & Power*, a inauguração da usina hidrelétrica de Fontes, uma das maiores do mundo na época (LAMARÃO, 1997).

Embora o capital privado nacional tenha desempenhado papel significativo na expansão do parque elétrico brasileiro por meio de empresas como a Companhia Brasileira de Energia Elétrica, a Paulista de Força e Luz e a Cataguases-Leopoldina, o ano de 1920 confirmou a quase que completa desnacionalização da indústria de energia (LAMARÃO, 2002). Neste ano a empresa americana *American & Foreign Power Company* (Amforp) passou a atuar em cidades importantes do país, bem como no interior do estado de São Paulo. Os governos federal e estadual, até o momento, acompanhavam essa evolução com uma postura não intervencionista, momento em que concessionárias privadas nacionais que tentavam atuar no sistema eram precárias e isoladas (SOUZA, 2002).

2.1.1.2 Mudança de postura Estatal e evolução do setor

Do final do século XIX ao início do século XX surgiram os reflexos da Revolução Industrial no país, período marcado por expansão de mercado e evolução industrial. No governo de Getúlio Vargas, houve incentivo ao setor industrial nacional, passando o Estado a fomentar estatais brasileiras. Consequentemente, a postura não intervencionista na energia teve seu fim em meados de década de 1930. Lamarão (1997) exalta que após a Revolução de 1930 a situação, até então marcada pela

atuação circunstancial do Estado na indústria de energia elétrica, foi profundamente alterada. Neste momento a empresa *Light* já representava 40% da capacidade total do país, enquanto que a Amforp adquiriu mais de 10 (dez) empresas em um ano (1927/28) (SOUZA, 2002).

Mercedes, Rico e Pozzo (2015) evidenciam que a intervenção estatal passou a ser necessária como forma de mitigar a falta de investimento em aumento da capacidade de oferta no mercado doméstico. Não havia política de expansão setorial no período, sendo os contratos de concessão, na maioria tratados com as empresas estrangeiras, firmados diretamente com os municípios e estados, e as decisões tomadas de acordo com as características de cada empresa e empreendimento. Não havia visão integrada de planejamento, nem fluxo de informações que pudesse corroborar com a participação mútua dos investidores, tendo estes uma postura isolada dentro de sua meta negocial (MERCEDES; RICO; POZZO, 2015).

O Código de Águas, instituído pelo Decreto n. 24.643/1934, materializou novo arcabouço regulatório, marcando a intervenção do Poder Público no potencial hidráulico e na geração de energia proveniente deste. É ainda hoje elemento referencial básico da regulamentação do setor de águas e energia elétrica. Lamarão (1997) cita que por meio da promulgação do decreto ficou estabelecida a competência exclusiva do governo federal como poder concedente dos aproveitamentos hidrelétricos e a instituição de tarifas pelo serviço.

Câmara (2008) reforça que com o advento do Código, o aproveitamento de quedas de água ou outras fontes de energia hidráulica passou a ser condicionado ao regime de autorizações e concessões empoderado pela União, bem como procurou-se inibir a participação estrangeira na geração, privilegiando a atuação nacional. Para o autor, essa ação também acarretou problemas visto que a desestimulação dos estrangeiros inibiu a vinda de suas tecnologias que visavam atender a demanda crescente. Ainda, Souza (2002, p. 65) enuncia que se trata de “um documento fortemente nacionalista, centralizante (corrigindo os defeitos anteriores, decorrentes da Constituição Federalista de 1891), e estava apoiado em projeto anterior, de 1907, do mesmo jurista Haroldo Valadão, o qual não tinha tido curso no Congresso até a data”.

Por meio do Código a propriedade do solo e das quedas d'água foi distinguida, bem como foi instituído controle sobre as concessionárias de energia elétrica com fiscalização técnica, financeira e contábil, com vistas a assegurar serviço adequado, garantir tarifas razoáveis e promover estabilidade financeira da concessionária (SOUZA, 2002). Câmara (2008) esclarece que grande inovação proveniente da promulgação do Código foi o estabelecimento de critérios para fixação de preços, de forma que o modelo tarifário possibilitasse um retorno financeiro ao investidor: “serviço pelo custo”.

Segundo Souza (2002) o Governo Provisório suspendeu os atos de aquisição de empresas, promovendo uma maior nacionalização do setor, impedindo a concentração em mãos da *Light* e Amforp. O tratamento Constitucional no período corroborou com a exploração das águas, pois categorizava as riquezas do subsolo e as quedas d'água como propriedade distinta do solo para efeito de exploração e aproveitamento industrial.

A Constituição do Estado Novo (1937) exaltou que a exploração de minas e de jazidas minerais, bem como das águas e da energia hidráulica, ainda que pertencente a propriedades privadas, dependia de autorização federal, conforme redação do artigo 143:

Art 143 - As minas e demais riquezas do subsolo, bem como as quedas d'água constituem propriedade distinta da propriedade do solo para o efeito de exploração ou aproveitamento industrial. O aproveitamento industrial das minas e das jazidas minerais, das águas e da energia hidráulica, ainda que de propriedade privada, depende de autorização federal.

§ 1º - A autorização só será concedida a brasileiros, ou empresas constituídas por acionistas brasileiros, podendo o Governo, em cada caso, por medida de conveniência pública, permitir o aproveitamento de quedas d'água e outras fontes de energia hidráulica a empresas que já exercitem utilizações amparada pelo § 4º, ou as que se organizem como sociedades nacionais, reservada sempre ao proprietário preferência na exploração, ou participação nos lucros. (Redação dada pela Lei Constitucional nº 6, de 1942)

§ 2º - O aproveitamento de energia hidráulica de potência reduzida e para uso exclusivo do proprietário independe de autorização.

§ 3º - Satisfeitas as condições estabelecidas em lei entre elas a de possuírem os necessários serviços técnicos e administrativos, os Estados passarão a exercer dentro dos respectivos territórios, a atribuição constante deste artigo.

§ 4º - Independe de autorização o aproveitamento das quedas d'água já utilizadas industrialmente na data desta Constituição, assim como, nas mesmas condições, a exploração das minas em lavra, ainda que transitoriamente suspensa.

Passaram a ser de responsabilidade estatal atividades produtivas e precursoras de desenvolvimento, objetivando a redução da dependência externa e privilegiando a atuação de brasileiros na industrialização do país (SOUZA, 2002). Importante destacar a criação, em 1939, do Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica (CNAEE), com objetivo de aperfeiçoar a legislação e solucionar dificuldades na oferta de energias (LAMARÃO, 1997).

O Estado passou a intervir diretamente na economia, atuando onde a iniciativa privada era deficitária, tanto em recursos, capacidade técnica ou incentivo, objetivando alavancar o desenvolvimento brasileiro. Destarte, iniciativas pontuais passaram a fomentar a indústria de energia elétrica, como com a criação da Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), fundada em 1943 no Rio Grande do Sul visando aproveitar o potencial hidráulico e as reservas carboníferas do estado, e da primeira empresa de eletricidade do Governo Federal: Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), em 1945, dias antes da queda de Vargas, incumbida da construção da usina Paulo Monso, no rio São Francisco (LAMARÃO, 1997; SOUZA, 2002).

Câmara (2008, p.32) comenta que a primeira iniciativa estatal, compreendida pela criação da CEEE tinha “finalidade de prever e sistematizar, um plano geral para todo o Estado, aproveitando todo seu potencial hidráulico e suas reservas carboníferas”, já a postura federal de criação da CHESF objetivou “aproveitar os recursos hídricos do Rio São Francisco e fornecer energia ao esforço nascente da industrialização da região Nordeste”. Tais empresas foram criadas com intuito de promover tanto o desenvolvimento como suprir as deficiências no atendimento aos usuários.

Cenci, Bedin e Fischer (2011) expressam que a relação do Estado de direito na esfera econômica teve duas vertentes: a de intervir na economia, criando condições de administrar o interesse comum da coletividade; e a de intervenção mínima, deixando aos atores puramente econômicos a atuação no mercado. A primeira

entende-se como o Estado Intervencionista, tal como visto na Era Vargas, e a segunda denota-se Estado Liberal.

Souza (2002, p. 66) cita que durante a época intervencionista, o Estado desenvolveu um “papel desbravador, pioneiro e contestado ideologicamente, mas julgado necessário para o desenvolvimento do país”.

Com o término do conflito global provocado pela Segunda Guerra Mundial (1939-1945) e da era Vargas (1930-1945; primeiro governo), a posição intervencionista estatal passou a ser discutida, com as duas frentes opostas de pensamentos: a corrente liberal e a intervencionista. Houve a defesa de estatização do setor elétrico, a fim de torná-lo forte e independente das forças de mercado e conjuntura internacional, bem como a criação de condições para que a iniciativa privada e estrangeira pudesse investir no setor (SOUZA, 2002).

A Comissão Mista Brasil-Estados Unidos influenciada pelo governo Dutra (1946-1951) visou o financiamento norte-americano de alguns setores de infraestrutura brasileira, precipuamente os setores de transporte e energia. A partir dessa organizou-se o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (BNDE) que vinha com propósito de financiar o plano nacional de desenvolvimento (SOUZA, 2002). Especialmente no setor de Energia Elétrica esperava-se grande contribuição privada. No Relatório da Comissão, datado em 1955, mencionou-se que no ano de 1950 a produção de energia elétrica cresceu 150% quando comparado ao ano de 1939, embora não conseguisse suprir a demanda exagerada do momento, relacionada, principalmente, à urbanização acelerada, envolvendo tanto a demanda doméstica quanto a de serviços públicos; ao crescimento industrial promovido pelo governo Vargas; à pequena sazonalidade da tarifa, regulada pelo Governo Federal, em um momento de inflação de preços e custos em geral; e ao abandono relativo da lenha e do carvão mineral, pelos derivados de petróleo e pela energia elétrica.

Souza (2002) cita que do lado intervencionista estava a Assessoria Econômica da Presidência da República, órgão diretamente ligado à Secretaria da Presidência no segundo governo de Vargas (1951-1954), que exerceu papel fundamental no desenvolvimento energético à época, uma vez que desde o princípio os projetos foram desenvolvidos com base em uma política de energia fortalecida no petróleo, carvão mineral e eletricidade, defendendo a postura intervencionista do Estado e de onde

surgiram projetos de criação da Petrobrás, do Fundo Federal de Eletrificação e da Eletrobrás. Com o surgimento desta última, anos mais tarde em função da forte oposição estrangeira, procurou-se igualar a distribuição de potência, até então desigual em virtude da monopolização das empresas estrangeiras no setor, estando a empresa encarregada de realizar estudos e projetos, construir e operar usinas e linhas de transmissão e distribuição e outras posturas de desenvolvimento (LAMARÃO, 1997).

Em suma, o segundo Governo de Vargas, conforme expõe Lamarão (1997), foi marcado por pesados investimentos no setor elétrico, a fim de promover a industrialização e desenvolvimento nacional.

Souza (2002) traz que o Governo Desenvolvimentista de Juscelino Kubitschek (JK), de 1956 a 1961, influenciou positivamente a atuação estrangeira no país, entretanto, manteve o papel do Estado como mediador de relações entre as empresas privadas, nacionais e estrangeiras. A intervenção no setor elétrico deu-se na formulação e execução da política de energia elétrica, bem como na criação de amplo programa de incentivo ao investimento na geração e transmissão, a fim de remediar a crise energética a qual o país enfrentava.

JK expôs a necessidade de eletrificação para o desenvolvimento industrial, colocando-a em patamar no Plano de Metas, em que o setor energético e a energia elétrica ocupavam significativas partes do orçamento. Os pensamentos opostos permaneceram, e o embate sobre o financiamento dos investimentos necessários para o fortalecimento e crescimento do setor resumiu-se em sistema tarifário ou tributário. Com o advento do Decreto n. 41.019, no ano de 1957, intentou-se promover a regulamentação dos serviços de energia elétrica, dando competência ao Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica, à Divisão de Águas e aos Estados (no caso de delegação por parte da União) a sua administração. Assim como no Plano Nacional de Eletrificação de 1954, coube às empresas públicas a expansão da capacidade instalada, basicamente geração e transmissão, enquanto que concessionárias particulares, podendo ser estrangeiras, a sua distribuição (SOUZA, 2002).

O Ministério de Minas e Energia (MME) foi criado em 1960, por advento da Lei n. 3.782, ainda no Governo JK, responsabilizando-o pela coordenação política do setor energético. No período também foram criadas entidades executivas, tais como

a Central Elétrica de Furnas no Rio de Janeiro (1957), cuja intenção precípua era de ingresso federal na geração de energia elétrica na Região Sudeste do país, objetivando superar a crise energética já constatada; a Companhia Hidrelétrica do Vale do Paraíba-Chevap em 1960; Cemig em Minas Gerais no ano de 1952, considerada a primeira empresa estadual de economia mista do país; e outras empresas estaduais² (LAMARÃO, 1997; SOUZA, 2002, CÂMARA, 2008). Para Câmara (2008, p.33) “Juscelino planejava adotar uma estratégia desenvolvimentista, de modernização e rápida ampliação da produção industrial brasileira, estratégia traduzida pelo *slogan* “cinquenta anos em cinco””.

Em 1962, criou-se as Centrais Elétricas Brasileiras (ELETROBRÁS), durante o Governo de Jânio Quadros, sendo este o responsável pela Lei n. 3.890-A/1961, a qual autorizou a constituição da empresa coordenadora do setor. Sua criação, não tão célere quanto a criação das empresas geradoras, culminou a expansão do segmento estatal no setor (CÂMARA, 2008)³.

Câmara (2008) cita que com a criação da Eletrobrás e ao longo do período de incremento estatal a capacidade elétrica instalada aumentou significativamente, passando de 1.341.600 kW para 5.728.800 kW, tendo este incremento grande influência das empresas públicas criadas para corroborar no setor.

De acordo com Mercedes, Rico e Pozzo (2015) a contratação do consórcio Canambra e o início das atividades da Eletrobrás tiveram destaque na consolidação de uma rotina de planejamento energético no Brasil. A Canambra foi responsável pela realização do primeiro planejamento integrado de longo prazo e pela determinação detalhada do potencial hidrelétrico do país. Em relação à Eletrobrás, os autores citam que (2015, p.19),

² No período (1956-1960) em função da determinação de que os recursos só seriam repassados se o CNAEE aprovasse os planos estaduais de eletrificação, várias empresas foram criadas (SOUZA, 2002), a citar, por ordem de antiguidade: Cemig (1952), Usinas Elétricas do Paranapanema SA (1953), Escelsa (1956), Copel (1954), Celg (1956), Celesc (1956), Cea (1957), Furnas (1957), Cemat (1958), Cemar (1959) e Coelba (1960) (CÂMARA, 2008).

³ Durante a atuação da Assessoria Econômica da Presidência da República, órgão diretamente ligado à Secretaria da Presidência no segundo governo de Vargas (1951-1954), houve desenvolvimento do projeto da Eletrobrás, entretanto, em virtude de forte oposição estrangeira, a constituição da empresa deu-se apenas em 1962.

ao assumir o financiamento, a organização, o planejamento, a coordenação, a fiscalização e a operação do setor, tornou sistemática a atividade planejadora no Brasil, criando e mantendo a estrutura técnica e institucional necessária para que o país chegasse ao domínio da mesma, tanto na expansão da oferta, quanto na operação do sistema interligado.

O Quadro 1 sintetiza os principais eventos energéticos entre 1930 a 1964.

Quadro 1 - Principais eventos nos governos de 1930 a 1964

ANOS	PERÍODO	PRINCIPAIS EVENTOS
1930 a 1945	Governo Vargas Transição econômica, social e política	Economia nacional - de agroexportadora para industrial - Expansão da oferta interna - Substituição de importações - Classe média urbana x valores rurais - Nacionalismo - Agregação dos centros fora do eixo Rio-São Paulo Promulgação do Código de Águas e da Lei Oswaldo Aranha (fim da Cláusula Ouro) Poder concedente da energia elétrica - de local para federal Prestação de serviços públicos - fortemente regulada Função do Estado predominantemente regulatória Criação da Chesf
	Governo Dutra (1946-1951)	Liberalismo econômico - industrialização c/ capital privado Plano Salte (Saúde, Alimentação, Transportes, Energia) Comissão Abbink
1945 a 1964	Governo Vargas (1951-1954) Governos interinos: Café Filho (1954-1955); Carlos Luz (1955-1955); Nereu Ramos (1955-1956)	Nacionalismo e intervenção Comissão Mista Brasil-Estados Unidos Industrialização crescente x infraestrutura deficitária Criação de empresas estaduais (Cemig, CEEE...) Projeto Eletrobrás (1954) - implantada em 1962
	Governo Juscelino (1956-1961)	Industrialização planejada: ápice - Plano de Metas Capitais estrangeiros Criação do Ministério de Minas e Energia Criação de Furnas
	Governo Jango (pós Jânio - 1961-1964)	Crise do desenvolvimentismo Nacionalismo Reformas sociais Constituição do consórcio Canambra Engineering Consultant Limited

Fonte: MERCEDES; RICO; POZZO, 2015. (adaptado)

O Governo de Castelo Branco (1964-1967) foi de postura autoritária, primeiro período da Ditadura Militar, e nele novos fundamentos de desenvolvimento foram postos. As empresas estrangeiras de energia elétrica foram compradas, estimulou-se a incorporação de concessionárias no campo privado e a fusão ou incorporação de estatais (SILVA, 2002).

O Decreto n. 60.824 de 1967 definiu o Sistema Nacional de Eletrificação, criando 05 (cinco) comissões regionais de atuação, fazendo parte do CNAEE, órgão centralizado de consulta, recurso e coordenação, com objetivo de orientar a execução de políticas energéticas e de utilização de recursos hídricos no país. Silva (2002, p.73) esclarece que o respectivo decreto

recomendou aos governos estaduais que promovessem os respectivos serviços de eletricidade através de uma só empresa de economia mista de âmbito estadual; a incorporação de pequenas empresas municipais ou privadas pelas concessionárias estaduais, que já vinha ocorrendo no âmbito estadual, pode, após o acordo de compra da Amforp em fins de 1964, ser acelerado pela incorporação das empresas subsidiárias estrangeiras que atuavam nas capitais.

Neste momento recomendou-se a atuação estadual no setor energético por meio de empresa única, a fim de aperfeiçoar as relações entre Estados e União, fortalecendo a incorporação das concessionárias e a atuação nacional.

Investimentos em infraestrutura e a consolidação dos papéis da MME e da Eletrobrás passaram a ser expressivos. A concentração e centralização do setor provava-se a alternativa mais eficaz na diminuição de incertezas, tanto na oferta quanto na demanda (SOUZA, 2002; CÂMARA, 2008). Lamarão (1997) esclarece que o aumento das tarifas e apoio financeiro de bancos estrangeiros favoreceram o setor, e em 1965 foi criado o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), incumbindo-lhe as funções normativas e fiscalizadoras, enquanto que à Eletrobrás coube a execução da política de energia, passando a contar, além da Furnas e Chesf, com a Eletrosul em 1968 e Eletronorte em 1972. Câmara (2008, p. 33) ratifica ao citar que foi constituído, assim, “o sistema de empresas controladas pela Eletrobrás, atuantes em âmbito regional, responsável pela operação e geração do sistema

hidrelétrico e hídrico interligado, do qual também faziam parte as já existentes Chesf e Furnas”⁴.

Souza (2002) chega a termo de que a estrutura do setor elétrico brasileiro evoluiu de acordo com as necessidades históricas. Regulamentos e regras foram formulados em acompanhamento da realidade, de forma oportuna.

2.1.1.3 Crise de 1973 e o impulsionamento hidrelétrico

A postura desenvolvimentista perdurou até meados da década de 1990, onde o governo federal era o responsável pela maior parte produtiva de energia, enquanto os estados restavam responsáveis pela transmissão e distribuição. Com a compra da Light em 1979 o setor, que anteriormente era 100% privado, passou a ser 98% público (MERCEDES; RICO; POZZO, 2015). Câmara (2008), por sua vez, expõe que a aquisição governamental das duas empresas internacionais que ainda atuavam no setor – Grupo Amforp e Grupo *Light* – restringiu a produção, tornando o setor estatal quase em sua totalidade. Com a ausência do capital externo foi reduzida a capacidade de aquisição de novas tecnologias e investimentos necessários à modernização das atividades.

Embora já expressiva a atuação hidroenergética, com advento da crise do petróleo em 1973 - onde a regulação de produção, acarretada pela natureza não renovável do combustível, levou ao aumento do valor do barril em 3 (três) vezes em um curto período – o governo militar prosseguiu com estratégias e investimentos em diversos campos energéticos, a exemplo o início da construção das usinas hidrelétricas Itaipu e Tucuruí, o Programa do Alcool e Programa Nuclear, embora com dificuldades no financiamento externo, em virtude da crise e das dívidas (SOUZA, 2002). Lamarão (1997) comenta que o acordo, firmado entre Brasil e Paraguai, objetivava a geração de 12.600 MW de potência, equivalente a 75% da capacidade de produção nacional na época. Mercedes, Rico e Pozzo (2015) reconhecem que por meio da Lei Itaipu, n. 5.899/1973, as ações da Eletrobrás como coordenadora do

⁴ A Eletrobrás passou a atuar como *holding* das concessionárias públicas de energia elétrica do governo federal, promovendo o planejamento setorial e sendo responsável pela definição dos programas de expansão do sistema de energia elétrica do Brasil (CÂMARA, 2008).

planejamento e da operação do sistema energético brasileiro foram reforçadas. A partir da Lei foram criados os Grupos Coordenadores de Operação Interligada (GCOIs) com a finalidade de utilizar, da melhor forma possível, os recursos hídricos e térmicos para o provimento energético, bem como possibilitar operação estratégica para o sistema interligado (KLIGERMANN, 2009; MERCEDES; RICO; POZZO, 2015).

Este primeiro choque no recurso não renovável influenciou na projeção do recurso hidráulico para a geração de energia, além de introduzir a ideia de substituição entre fontes. Estava aqui preconizado o aproveitamento dos amplos recursos hídricos do país, embora ainda não houvesse técnicas suficientes para simulação de reservatórios (MERCEDES; RICO; POZZO, 2015).

Câmara (2008) expõe que a partir de 1970 a demanda por energia elétrica cresceu cerca de 10%, influenciando a construção de grandes usinas. No período compreendido entre a década de 80 a 90 surgiram os maiores empreendimentos voltados ao setor, a citar a comentada Itaipu e a usina de Tucuruí, apesar do endividamento externo. Nesse ponto já havia ocorrido participação privada em parceria com o governo na geração de energia, marcada pela Usina Hidrelétrica Serra da Mesa.

Em 1977 foi o ano de elaboração do “Plano 92”, conhecido como o primeiro plano nacional de energia elétrica, onde predominava a integração entre as regiões e proporcionava diretrizes técnicas e econômicas para o planejamento energético. Fomentou a elaboração do Plano 95, que, em 1979, teve horizonte de 15 anos, abordando o tempo de construção das usinas e linhas de transmissão, bem como contou com dados importantes do potencial hidrelétrico brasileiro (MERCEDES; RICO; POZZO, 2015).

O período seguinte foi ocupado por uma grande crise no setor, muito relativizada ao monopólio da Petrobrás em todo o setor energético do país. A Revisão Institucional do Setor Elétrico (REVISE) foi um programa organizado com intuito de diagnosticar a situação, a fim de remediá-la (SOUZA, 2002).

Lamarão (1997) ressalta que a despeito da reversão da economia, a demanda por energia não cessou, pelo contrário, mantiveram-se taxas elevadas até 1980. A potência instalada cresceu 2,5 vezes entre 1973 e 1982, contribuindo para expansão

nas multinacionais de eletromecânicos no Brasil e de empresas nacionais de construção civil e projetos.

Os acontecimentos políticos e econômicos que responsabilizavam o Estado pela baixa nos índices de crescimento do país levaram ao ressurgimento do neoliberalismo econômico em muitos países da América Latina, com uma reestruturação com intenção de privatização no setor, exposto em alguns artigos da Constituição de 1988. Incluso até os setores nacionalistas, essa solução foi proposta para contornar os problemas jurídicos que impediam o financiamento do setor por capitais privados, os únicos disponíveis na ocasião (RANGEL, 1985; SILVA, 2002).

Ao final dos anos 80 e início dos 90 a reorganização obedeceu a uma política mais ampla de redução da presença do estado e de estímulo à chamada livre competição em atividades antes monopolizadas por empresas públicas (LAMARÃO, 1997). No governo de José Sarney (1985-1990), presenciou-se a redemocratização e a transição entre o modelo intervencionista ao liberal. Houve minimização do controle da União nas tarifas quando as concessionárias foram autorizadas a propor ao DNAEE propostas tarifárias. Seguiu-se com um acordo entre as empresas responsáveis pela transmissão, baseado no princípio de livre acesso à rede de transporte de energia.

Em 1995, com o advento do governo de Fernando Henrique Cardoso (FHC), foi sofisticado e acelerado o Programa Nacional de Desestatização incluindo as grandes empresas nacionais que controlavam o setor (SOUZA, 2002; MERCEDES; RICO; POZZO, 2015). Este período confirmou a liberalização do setor.

O progresso em torno do governo FHC (1995-2003) foi marcado por um planejamento energético indicativo, por meio do Comitê Coordenador do Planejamento e Expansão dos Sistemas Elétricos (CCPE), criado pelo MME em 1999 pela Portaria n. 150, e incremento do gás natural na matriz energética. O CCPE foi criado com intuito de coordenar a elaboração do planejamento da expansão do setor elétrico, momento em que o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e o Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE) detinham os poderes de autorização, permissão e concessão de geração (BAJAY, 2002). CCPE substituiu grupo integrante da Eletrobrás, que detinha o monopólio do setor (MERCEDES; RICO; POZZO, 2015).

O novo modelo energético foi elaborado pela consultoria inglesa *Coopers & Lybrand*, que desconsiderou elementos-chaves ao sistema brasileiro. A geração já era essencialmente hidráulica e o planejamento consistia no melhor aproveitamento das complementariedades hidrológicas das bacias do país (MERCEDES; RICO; POZZO, 2015).

2.1.1.4 Crise de 2001 e a inserção das Pequenas Centrais Hidrelétricas no ordenamento brasileiro

A crise energética de 2001, popularmente conotada como “apagão”, direcionou o poder público a adotar medidas que assegurassem a eficiência do fornecimento de energia, atraindo a iniciativa privada, tencionando a uma ampliação da matriz energética. A situação forçou a adoção de medidas e junto a estas ocorreu a sanção das Leis n. 10.847 e 10.848, ambas de 2004, vistas como pilares da reestruturação do setor energético do país, com princípios em garantir a modicidade tarifária e a universalização dos serviços (CÂMARA, 2008). A Lei n. 10.848/04, regulamentada pelo Decreto n. 5.163/04, é considerada o marco regulatório que possui como principais objetivos garantir a segurança do suprimento de energia elétrica, promover a modicidade tarifária e remunerar de forma justa os investimentos em capital (ROCHA; GUTIERREZ; HAUSER, 2012).

Conforme apontam Mercedes, Rico e Pozzo (2015), no episódio da crise a ONS, embora tendo conhecimento das consequências relacionadas à depleção dos reservatórios, nada fez para modificar a condução do problema, demonstrando a perda de competência técnica com as recentes modificações de planejamento e operação. Os vários blecautes, ocasionados por má gestão, má operação e manutenção e divergentes justificativas, levaram ao necessário racionamento e ao rebaixamento dos reservatórios do SIN (Sistema Interligado Nacional). Souza (2002) cita que esse episódio evidenciou o conflito de interesses comerciais entre os agentes e provocou intervenção governamental no setor. A falta de investimentos em capacidade instalada e o fracasso do programa prioritário em termelétricas foram causas do racionamento obrigatório (MERCEDES; RICO; POZZO, 2015).

A preocupação de fornecimento de energia pelo Estado o fez promulgar a Lei n. 10.438, de 26 de abril de 2002, com intuito de ampliar a matriz energética e instituir o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, promovendo a integração das Pequenas Centrais Hidrelétricas (CÂMARA, 2008). No artigo 3º da lei consta:

Art. 3º Fica instituído o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - Proinfa, com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos de Produtores Independentes Autônomos, concebidos com base em fontes eólica, **pequenas centrais hidrelétricas** e biomassa, no Sistema Elétrico Interligado Nacional, mediante os seguintes procedimentos. **[Grifado]**

A referida Lei esclarece que, em 20 anos após o cumprimento da primeira etapa, 10% a matriz energética do país deve ser promovida por fontes renováveis, ou seja, fontes eólicas, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa. Esta legislação promoveu a inserção das PCHs ao ordenamento brasileiro, como norma a ser cumprida (FONTES; XAVIER; GUIMARÃES, 2007).

Tecnologias de modelagem e avanço da computação foram empregados na busca de soluções para os problemas presentes. Os programas *Newave* e *Decomp* passaram a balizar a operação e precificação de energia no Brasil (MERCEDES; RICO; POZZO, 2015).

Os governos de Luís Inácio Lula da Silva e Dilma Rousseff focaram no planejamento integrado e estratégico, por meio da Empresa de Pesquisa Energética (EPE); participação pública, favorecida por consultas e audiências; e a consideração das *fontes renováveis* como complementação da matriz. Mantiveram o CCPE como principal planejador da expansão e a ONS à frente da operação do sistema. Focaram na modificação da privatização das empresas e mercantilismo imposto por FHC. Por meio do conteúdo das “Diretrizes e Linhas de Ação para o Setor Elétrico Brasileiro”, produzido pelo Instituto Cidadania em 2002, houve exposição da hierarquia de ações necessárias à adequação do sistema elétrico, que, caso Lula fosse eleito, deveriam ser empregadas a fim de acabar com o liberalismo pleno (MERCEDES; RICO; POZZO, 2015).

Como reconhecem Mercedes, Rico e Pozzo (2015), o próprio programa de governo de Lula apontava a integração do setor elétrico, com viabilização de

dinâmicas para hidroeletricidade, petróleo e gás natural, carvão, de geração nuclear e fontes alternativas; da eficiência energética e cogeração e geração distribuída. Encontrava-se dentre os três pilares básicos para o desenvolvimento da infraestrutura brasileira a “energia para desenvolvimento”,

8. O plano do novo governo para os setores de infra-estrutura está sustentado por três pilares básicos:

a) Uma nova concepção de Planejamento e Desenvolvimento. O planejamento público é ação precípua e intransferível do Estado. O novo governo retomará a prática do planejamento estratégico, tanto nacional como regional, como instrumento para a definição de ações práticas em todos os setores da infra-estrutura. O debate com a sociedade será determinante nas relações entre estados e União, de modo a permitir um lugar de destaque para a atuação regional voltada para o desenvolvimento. O novo governo fixará macroprioridades nacionais para revitalizar a Federação, integrando União, estados e municípios, dando origem a um novo modelo de descentralização coordenada. Será possível planejar e ao mesmo tempo descentralizar a partir da recuperação do papel indutor do governo federal, aliado a um maior controle e participação social nas ações de desenvolvimento regional e local.

b) Reconstrução das Cidades e Desenvolvimento Urbano. O novo governo enfrentará os principais problemas urbanos acumulados ao longo dos últimos anos, como a: (1) ausência de moradia e saneamento adequado (acessibilidade a água potável, sistemas de esgotos, destinação e tratamento de resíduos sólidos); (2) a baixa mobilidade urbana (transportes ágeis e não poluidores); (3) a falta de ação coordenada entre os executivos municipais, estaduais e federal de modo a dar forma a uma efetiva Política de Desenvolvimento Urbano, com propostas específicas para as regiões metropolitanas e os demais centros urbanos do País, inclusive os pequenos municípios.

c) Energia para o desenvolvimento. A política econômica do nosso governo visa promover um novo ciclo de expansão da economia e atender demandas reprimidas existentes. Para isso, novos projetos de reestruturação da base produtiva serão necessários, de modo a viabilizar, a médio e longo prazos, uma articulação entre o local, o regional e o nacional, com o objetivo de dar forma ou restaurar cadeias produtivas e melhor identificar e controlar os impactos socioambientais, integrando nesse esforço lideranças da sociedade civil. O novo governo trabalhará com um planejamento energético integrado, de maneira a viabilizar novas dinâmicas para os setores de hidroeletricidade, petróleo e gás natural, carvão, de geração nuclear, fontes alternativas (eólica, solar e biomassa), de eficiência energética e co-geração e geração distribuída, devolvendo ao Ministério das Minas e Energia as atribuições de principal gestor do sistema. (PALOCCI; DANIEL, 2002, p.54)

Ainda, expôs o foco no planejamento estratégico integrado com mobilização do setor público e incitação ao privado (PALOCCI; DANIEL, 2002, p.65):

Energia

26. O novo governo vai restabelecer o planejamento estratégico que existia no setor elétrico e foi abandonado com a tentativa de implantação de um modelo de mercado. Com o desmonte do planejamento integrado, a cisão e privatização de empresas, o Brasil abriu mão da sinergia de seu sistema e de uma de suas principais vantagens: a produção da energia elétrica mais barata do mundo. O planejamento integrado proposto exige uma nova estrutura institucional, envolvendo: hidroeletricidade, petróleo e gás natural, carvão, geração nuclear (Angra I e II), fontes alternativas (eólica, solar e biomassa), eficiência energética e co-geração e geração desconcentrados.

27. Para os objetivos definidos no planejamento, deverá ser mobilizado o setor público e incentivado o setor privado. Para isso deverá trabalhar a partir de requisitos de qualidade e confiabilidade; modicidade das tarifas; respeito à legislação ambiental, e reinvestimento de parte dos lucros em projetos destinados a modernizar o sistema e a expandi-lo proporcionalmente ao desenvolvimento econômico.

Fundamental destacar o início de uma abordagem sustentável no programa, que criticava a atuação única em privatizar o setor elétrico brasileiro, expressando a necessidade de revitalizá-lo. Contemplou três medidas que julgou importantes: a providência do PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica; da CDE – Conta de Desenvolvimento Energético; e de medidas visando garantir a universalização do serviço de energia. Estes tiveram cunho no aproveitamento do potencial energético a partir de fontes limpas, alternativas e renováveis, contemplando o expressivo potencial do país proveniente destas.

As diretrizes fundamentadas durante o governo Lula e Dilma mostraram a intenção de “corrigir os equívocos” provocados pela gestão de FHC, no qual a privatização e o modelo mercantil implantado levou a déficits de atendimento da significativa demanda, provocando a necessidade de revisão da liberalização plena (MERCEDES; RICO; POZZO, 2015).

As usinas hidrelétricas de porte passariam a ser administradas como concessionárias de serviço público, independente se privada ou estatal, bem como assim seriam tratados os serviços dessa natureza - como concessões de serviço - a fim de garantir o efetivo abastecimento e qualidade. A revitalização de bacias também foi preconizada, dando importância a situação dos recursos hídricos (MERCEDES; RICO; POZZO, 2015).

Derradeiramente, percebe-se que a substituição do modelo privado e centralizado por uma significativa participação estatal e centralização da gestão ao

longo do desenvolvimento do setor foi decorrente da defasagem entre as demandas que se ampliavam e diversificavam e a insuficiente oferta (MERCEDES; RICO; POZZO, 2015), fato que introduziu a necessidade de planejamento efetivo.

Os autores Mercedes, Rico e Pozzo (2015) reforçam que o planejamento em um sistema complexo como o brasileiro, com um parque de geração diversificado, baseado em energia hidráulica e térmica, e uma malha de transmissão interconectada, envolve a expansão da capacidade instalada, bem como a coordenação da operação, pois as decisões estão relacionadas espacialmente e temporalmente, em função da interligação das bacias e reservatórios e sua multiplicidade de proprietários e usos, visto a contribuição hidráulica majoritária atual. Para uma efetiva administração do tema, o estreitamento entre o planejamento de expansão ao de operação é necessário, uma vez que são dependentes entre si.

2.1.1.5 Contexto atual

O planejamento energético busca resolver simultaneamente a problemática em função da deficiência técnica e econômico-financeira, estruturando planos que busquem a redução de custos, de riscos e de déficit. O contexto atual, conforme expõem Mercedes, Rico e Pozzo (2015) contempla um sistema hidrotérmico de grande porte, com predominância hidráulica, estando majoritariamente interligado, embora haja sistemas isolados pelas regiões. A geração de grande porte, em especial de usinas hidrelétricas, é antiga, dotada de reservatórios de regularização.

Para Câmara (2008) a geração de energia elétrica tem sofrido constantes transformações, estando baseada na segregação do produto (energia) e dos serviços (transmissão e distribuição), com objetivo principal de assegurar o provimento de energia de forma eficaz e contínua e, ao mesmo tempo, garantir o desenvolvimento sustentável.

No ano de 2004 promulgou-se a Lei Federal n. 10.848, tratando sobre a comercialização de energia elétrica no país, fortalecendo a intenção do Governo em incitar a iniciativa privada de forma a diversificar e ampliar a matriz energética

(CÂMARA, 2008). Ressalta-se que este período sucedeu ao apagão, momento em que o Estado privilegiou maneiras diversificadas de suprir a demanda.

O Programa Luz para Todos, criado pelo Decreto n. 4.873 no ano de 2003 e prolongado por Dilma até 2018, proporcionou para mais de 10 milhões de brasileiros o beneficiamento com energia elétrica. O investimento ao programa é alto e em grande parte concedido pelo Governo Federal, estando diretamente ligado ao PROINFA. Conforme os autores Tiago Filho, Barrosa e Braga da Silva (2012) este programa é essencial para diversidade da matriz energética e garantia de maior segurança e confiança no fornecimento de energia. O PROINFA prevê a contratação de 3.300 MW de energia ao Sistema Interligado Nacional, cuja produção advém de fontes como eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) (TIAGO FILHO; BARROSA; BRAGA DA SILVA, 2012).

Em suma, atualmente a operação é feita de forma centralizada pela ONS, que visa suprir a demanda ao menor custo possível. O Sistema Interligado Nacional atua com um teto para o risco de ocorrência de déficit energético. A fim de controlar a liberalização, o arranjo comercial prevê dois ambientes de contratação: o regulado (ACR) e o livre (ACL). No primeiro, a contratação de energia se dá por leilões, cujo critério de seleção é a oferta de menor preço de venda de energia, enquanto que no último são feitas transações bilaterais entre compradores e vendedores que determinam entre si as condições de negócio. Esse modelo é denodado como de multicontratação bilateral, proposto pelo Banco Mundial nos anos 2000. Foi estabelecido no governo Lula com vistas ao suprimento do abastecimento com segurança, promovendo a universalização do acesso e expansão das fontes renováveis (MERCEDES; RICO; POZZO, 2015).

Percebe-se evidente estímulo e incentivo estatal à inserção de fontes renováveis na matriz, principalmente as provenientes de PCHs, biomassa e fonte eólica. Rocha, Gutierrez e Hauser (2012) apontam o cenário como de impulso à energia eólica, bioeletricidade e PCHs, pois são alternativas promissoras a atender critérios ambientais na promoção da necessária complementação do parque hídrico atual.

A manutenção ainda resulta nas mais altas tarifas do mundo, persistente defasagem no planejamento e investimentos, precárias condições de manutenção e

operação (MERCEDES; RICO; POZZO, 2015), e notadamente, consideração escassa ou inexistente das condições ambientais futuras.

2.2 PENSAMENTO SUSTENTÁVEL E SUA RELAÇÃO ABALIZADA COM O CONTEXTO HIDROENERGÉTICO

Demonstra-se, nesta seção, que a consciência ambiental desenvolveu-se e criou força a partir da constatação de que os recursos não são infinitos e sua exploração desenfreada prejudicaria as próximas gerações. Formas sustentáveis de produção e serviços foram tomando destaque ao longo dos anos, sendo sua adoção priorizada por diversos institutos, conferências e tratados internacionais, momentos em que a energia hidráulica proveniente de PCHs fora citada como uma forma limpa e alternativa de prover energia.

2.2.1 Marcos de importância

Estima-se que o pensamento ambientalista tenha originado na década de 1960, em virtude da publicação por Rachel Louise Carson do livro *Silent Spring*, no qual a autora associou o uso indiscriminado de agrotóxicos às mudanças do ecossistema. Outra obra de destaque foi o livro *Limits to Growth*, resultado dos relatórios do Clube de Roma⁵ escrito em 1972, que enlaçou a limitação dos recursos naturais às consequências do desenvolvimento desenfreado da população mundial (PORTUGAL; PORTUGAL Jr.; BRITO, 2012).

Vários foram os eventos que influenciaram a associação de atividades antrópicas à destruição do meio ambiente e da saúde pública. Na Inglaterra, a evolução da preocupação ambiental iniciou de uma grave catástrofe ocorrida na cidade de Londres, na década de 1950, a qual foi causada pela poluição atmosférica de origem industrial. Por conseguinte, em 1956, editou-se na Inglaterra a chamada *Lei*

⁵ Neves et al. (2014) comentam que o Clube de Roma, surgido em 1968 por iniciativa do italiano Aurelio Peccei, reuniu dez países e suas discussões circundavam questões econômicas e ambientais, no qual foi produzida uma série de relatórios de impacto social.

do Ar Puro e, em 1967, foi instalado o Centro Internacional de Informações sobre os Aspectos Clínicos e Epidemiológicos da Poluição do Ar em Londres. Em 1953, outra catástrofe teve destaque na cidade de Minamata, Japão, onde o despejo de efluentes industriais diretamente no mar acarretou problemas neurológicos incuráveis e inúmeras crianças com mutações genéticas (NEVES et al., 2014).

Em 1972, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, popularmente conhecida como Conferência de Estocolmo, grande marco na questão ambiental, passou a abordar uma forma de tutelar o meio, desacelerando sua degradação e priorizando sua conservação de maneira holística e global. A Conferência contou com a participação de 113 países e marcou o início do movimento em favor do meio ambiente em âmbito global, visando à proteção da natureza e, em especial, o combate à poluição da água e do ar e a correta destinação do lixo (NEVES et al., 2014).

Conforme a Declaração de Estocolmo, o evento esclareceu a necessidade de um critério e de princípios comuns que ofereçam aos povos do mundo inspiração e guia para preservar e melhorar o meio ambiente humano. Segundo Neves et al. (2014) resultou na criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e na recomendação para criação do Programa Internacional de Educação Ambiental (PIEA). Este último, revisto em 1975 em uma reunião de 65 países em Belgrado, de onde surgira seus princípios norteadores, os quais são adotados em todo o mundo.

Em 1979, concluiu-se em Genebra a Convenção sobre Poluição Atmosférica Transfronteiriça a Longa Distância. Em 1982, na cidade de Nairóbi ocorreu a avaliação pós dez anos da Conferência de Estocolmo, onde ficou formada a Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento (NEVES et al., 2014).

O termo “desenvolvimento ecologicamente sustentado” surgiu a partir do Relatório da Comissão, no ano de 1987, popularmente reconhecido como “Nosso Futuro Comum” ou “Relatório de *Brundtland*”, relacionando-o às três vertentes que englobam o crescimento econômico, equidade social e equilíbrio ecológico (DONAIRE, 1999). No documento apontou-se dois problemas mais sérios do desenvolvimento: a pobreza de muitos e os danos ambientais crescentes, os quais afetam a população de modo global (NEVES et al., 2014).

Embora houvesse atitudes e pensamentos associados à questão ambiental, apenas em meados da década de 90 a preocupação com a limitação dos recursos e a demanda da produção e do consumo provocaram uma busca por inovações e imposições legais, presentes em discussões estratégicas de negócios (PARRY et al., 2003; PORTUGAL; PORTUGAL Jr.; BRITO, 2012).

A Agenda 21 constitui um importante documento na alçada ambiental. É produto da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento no Rio de Janeiro (Rio-92), também conhecida como Cúpula da Terra, e afirma que o alcance do desenvolvimento e da cooperação ambiental é derivado de estratégias, planos, políticas e processos nacionais apoiados por cooperação internacional. No documento está incluso o estímulo a políticas macroeconômicas favoráveis ao meio ambiente, ao desenvolvimento e ao uso ambientalmente saudável das fontes de energia novas e renováveis.

Ao mesmo tempo que a economia se defrontou com a necessidade de uma maior produção energética para acelerar seu desenvolvimento e elevar o padrão de vida da população, principalmente em países em industrialização, houve a necessidade de diminuir os impactos por essas atividades gerados, motivando o uso de fontes renováveis e limpas, por serem assim consideradas.

A Agenda impôs aos países em desenvolvimento o dever da formulação de programas nacionais de ação para promover o desenvolvimento integrado de tecnologias de economia de energia e de utilização de fontes renováveis da mesma, em especial solar, hidráulica, eólica e de biomassa. A perspectiva de que o consumo e produção enfrentariam um colapso caso as tecnologias estagnassem e o consumo continuasse aumentando já era evidente, o que baseou a Agenda à eliminação de obstáculos que pudessem prejudicar o fornecimento de energia sustentável, deixando claro o favoritismo às políticas que aumentassem a contribuição energética segura e sustentável, proveniente de fontes renováveis, abrangendo a sua produção, transmissão, distribuição e uso menos poluente e eficiente. A adoção dessas medidas e a evolução do contexto seriam observadas nas conferências conhecidas como Rio+10 e Rio+20, realizadas 10 e 20 anos após sua elaboração, respectivamente.

O Protocolo de Kyoto, acordo internacional feito em 1997 entre os países integrantes da Organização das Nações Unidas, foi firmado com intuito na diminuição

da emissão de gases efeito estufa. Nele os países em desenvolvimento e os desenvolvidos exercem diferentes papéis buscando um objetivo comum: reduzir em 5,2% a emissão de gases do efeito estufa. O protocolo conta com três mecanismos de flexibilização, dentre eles os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), que possuem o foco em reduzir as emissões ou promover o sequestro de carbono, promovendo o desenvolvimento sustentável. Os MDL possuem modalidades distintas, estando abordadas as fontes renováveis e alternativas de energia, como as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) (MENEGUELLO; CASTRO, 2007).

Dez anos após a Rio-92, realizou-se em Joanesburgo a Cimeira Mundial do Desenvolvimento Sustentável, cujo objetivo foi a observância dos compromissos firmados para cumprimento da Agenda 21, contando com a presença de 193 países (NEVES et al., 2014). O evento, que ficou conhecido como Rio+10, teve como seu tema ícone a matriz energética mundial, onde pela primeira vez pode-se reconhecer a relevância do debate da vertente energética, pois apesar da oposição dos países produtores de petróleo e de vários países desenvolvidos, foi finalmente aprovada uma resolução em que se mencionou a importância das energias renováveis (COELHO; GOLDEMBERG, 2014). De acordo com Pereira Jr. et al. (2008), no evento de Joanesburgo a acessibilidade à energia foi confirmada como uma condição crucial ao alcance do Objetivo de Desenvolvimento do Milênio de reduzir metade da proporção de pessoas que vivem na pobreza até 2015.

O Brasil expôs metas e prazos para adoção de energias renováveis, juntamente a outros países da América Latina e do Caribe. Apresentou propostas para os *novos renováveis*, assim chamadas as fontes mais limpas de energia, inclusive energia solar, eólica, geotermal, das pequenas centrais hidrelétricas e da biomassa, com apoio de movimentos ambientalistas de destaque, como *Greenpeace* e WWF (*World Wide Fund for Nature*), onde a proposta brasileira recebeu nomes como o de *energia positiva* (SEQUINEL, 2002). O aspecto energético tornou-se o ponto central da participação do País na Conferência, mantendo-se a meta de acréscimo de 10% da matriz assegurada por fontes renováveis até 2010.

A discussão sobre a Agenda volta em pauta na Rio+20, realizada no ano de 2012, vinte anos depois da sua elaboração. Barrutia et al. (2015) elaboraram revisão bibliográfica dos principais trabalhos relacionados à criação da Agenda até a realização da Rio +20. No seu trabalho, concluem que a Agenda 21 teve impacto na

governança local, promovendo grande número de iniciativas locais em todo mundo. Entretanto, expõem que as práticas reais estão longe de se adequarem ao ideal. Comentam que o documento foi negligenciado nos países desenvolvidos, enquanto que naqueles em desenvolvimento houve maior compromisso institucional. Ressalta que as áreas prioritárias de ação circundaram a gestão de recursos naturais, qualidade, gestão de recursos hídricos, energia e gestão dos transportes.

Ainda, Barrutia et al. (2015) reforçam o pensamento do Bryson (1988) citando que a orientação a longo prazo das políticas e sua continuidade são um dos fatores cruciais ao sucesso da Agenda 21, porque as ações atuais devem considerar as consequências futuras. Apesar disso, as ações e processos relacionados ao documento carecem desta característica. No Brasil, o estudo dos autores Fonseca Bursztyn e Allen (2012) abordou que em três municípios do Estado do Mato Grosso os cidadãos manifestaram preocupação maior com a resolução imediata dos problemas, principalmente aqueles relacionados à geração de trabalho e renda, mostrando pouca preocupação com o planejamento a longo prazo. Isto conclui que os trabalhos relacionados à efetivação da Agenda falham em relação à capacitação das pessoas para participar do planejamento dos processos (BARRUTIA et al., 2015).

O Acordo de Paris, resultante da 21ª Conferência das Partes (COP21) realizada em Paris no ano de 2015, é um consenso global a fim de combater a mudança do clima. Rogelj et al. (2016) citam que os 195 países acordados se comprometeram a ampliar o uso de energias renováveis e a eficiência de geração, reavaliando suas políticas. Os autores afirmam que os modelos de economia e de energia são caminhos amplamente utilizados pelos países para modelar sua participação na redução da emissão de gases-estufa de uma forma menos dispendiosa, isso inclui a indução à adoção de energia renovável. O acordo determina que países desenvolvidos invistam 100 bilhões de dólares por ano em medidas de redução da emissão de gases do efeito estufa, podendo esse montante ser declinado a países em desenvolvimento, denotando a “cooperação Sul-Sul”.

O Brasil, por meio da sua INDC (Pretendidas Contribuições Nacionalmente Determinadas), comprometeu-se, dentre outras medidas, a alcançar uma participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética até 2030, inclusa a energia hídrica.

Para Pereira Jr. et al. (2008) o Brasil obteve ganhos notáveis internacionalmente devido à força dos recursos renováveis no seu setor de energia. Os desenvolvimentos futuros no setor elétrico estão focados em usinas hidrelétricas de médio e pequeno porte, havendo uma capacidade adicional de quase 30 mil MW planejada (TIAGO FILHO; BARROSA; BRAGA DA SILVA, 2012).

O desenvolvimento sustentável foca em abranger uma visão integrada e sistêmica das necessidades ambientais e socioculturais de forma renovável ou viável a longo prazo (O'RIORDAN; VOISEY, 1998; LINDSTORN; JOHNSON, 2003, BARRUTIA, et al., 2015). Barrutia et al. (2015) reforça o pensamento que a despeito da ampla aceitação desta filosofia, sua aplicação é precária (SELMAN, 1998; OTTO-ZIMMERMANN, 2012). Percebe-se que temas como integração de tecnologias e busca por fontes renováveis é destaque nos principais eventos mundiais, embora metodologias de efetivação sejam precárias. O Brasil se dispôs a adotar fontes renováveis na produção energética e, considerando o vasto potencial hídrico do país, elevam-se as Pequenas Centrais Hidrelétricas em um dos principais patamares de criação e exploração.

2.2.2 Água: sua relevância como fonte de energia e sua posição no sistema normativo brasileiro

O Brasil é um país relativamente rico em oferta hídrica, com presença significativa de bacias hidrográficas extensas e rios caudalosos, características que resultam em um potencial hídrico ímpar. Sendo a água a fonte primária de energia hidráulica e, portanto, a matéria-prima das PCHs, e sendo o Brasil detentor de 12% da água doce existente no mundo (ANA, 2009), a avaliação desta como provedora energética torna-se imprescindível.

O direito fundamental de terceira geração está consolidado no princípio da “fraternidade” da Revolução Francesa. São estes direitos os inclinados ao destino da humanidade, preocupando-se, inicialmente, com o meio ambiente, o desenvolvimento econômico, o progresso, a autodeterminação dos povos e a defesa do consumidor (FIGUEIREDO, 2012). O Direito Ambiental ocupa-se da tutela jurídica do meio ambiente e todos os elementos que o compõe, do patrimônio cultural e da sadia

qualidade de vida nos espaços, caracterizando-se como direito voltado para coletividade e pautado na solidariedade (BONAVIDES, 2004). A proteção ao meio ambiente constitui um valor constitucional a ser observado no exercício de qualquer direito, sendo considerado como coletivo, voltado à humanidade como um todo (BIANCO, 2006).

As águas tiveram seu primeiro tratamento constitucional no Brasil por meio da Constituição de 1934. Na época o documento posicionou o recurso em um patamar de geração de riquezas, especialmente como fonte de energia elétrica (ANTUNES, 2009; AQUINO; CAVALHEIRO; PELLEZ, 2017). A Constituição Federal de 1937, por sua vez, ratifica o recurso como bem explorável economicamente.

O enfoque antropocentrista, embora ainda presente, teve modificação na promulgação da Constituição Federal de 1988, em que a preservação passou a ter relevância (FONTES; XAVIER; GUIMARÃES, 2007). Na atual Constituição, a defesa do meio ambiente encontra-se no rol dos princípios da ordem econômica nacional e no tangente à água, não há mais a participação dos particulares, conferindo maior importância a sua proteção do que a sua exploração (CÂMARA, 2008). A água passou a ser um bem de valor de propriedade da União e dos Estados, com uso sujeito à cobrança e exploração feita somente mediante autorização, concessão ou permissão, com área de gestão integrada conceitualmente definida pela bacia hidrográfica, conforme redação:

Art. 20. São bens da União: (...)

III - os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais; (...)

Art. 26. Incluem-se entre os bens dos Estados:

I - as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União;

A Carta Magna enunciou o desenvolvimento sustentável como caminho a garantir um equilíbrio entre o crescimento econômico e a exploração ambiental. Confere a necessidade de um futuro ecologicamente equilibrado, proporcionando maior espaço à legislação referente ao tema e garantias que impliquem em sua

implementação, confirmando o posicionamento do meio ambiente como de Direito Humano Fundamental. Sob a interpretação de Souza (2017), a Constituição e seu posicionamento sobre a água foram influenciados pelos movimentos ambientalistas precedentes. Neves et al. (2014, p. 28) confirma ao citar que “o legislador excelso, ao elaborar a Constituição Federal (CF) de 1988, fundamentou-se explicitamente nos princípios da Declaração de Estocolmo, vindo a sintetizá-los no seu art. 225”.

Malheiros, Protá e Rincón (2013) realizaram análise específica sobre a gestão da água, e chegaram a termo de que esta vem sendo uma preocupação presente em todos os eventos internacionais desde a citada Conferência de Estocolmo, de 1972. De acordo com eles, o evento realizado em Mar del Plata no ano de 1977 marcou o início da discussão sobre a importância de um planejamento integrado do uso da água, associado a medidas que assegurem a participação efetiva de usuários e autoridades públicas no processo de planejamento e na tomada de decisões (SOUZA, 2017).

Souza (2017) comenta a antecipação brasileira ao marco internacional teórico de destaque, a Resolução A/RES/62/292 da Organização das Nações Unidas (ONU), por meio da promulgação da Lei n. 11.346/2006, que instituiu o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional, no qual promoveu o reconhecimento da água como Direito Fundamental, inerente à dignidade do ser humano e indispensável à realização dos demais direitos constitucionais.

A Resolução A/RES/62/292 é resultado da Assembleia Geral das Nações Unidas, realizada em 2010, na qual a água limpa e segura e o saneamento são considerados direitos humanos essenciais para gozar plenamente a vida e todos os outros direitos humanos⁶.

Concernente a sua exploração, entende-se que a caracterização e classificação da intervenção estatal na economia compreende tanto a atuação do Estado como agente explorador direto da atividade econômica, em casos de

⁶ Trecho original:

1. *Recognizes the right to safe and clean drinking water and sanitation as a human right that is essential for the full enjoyment of life and all human rights;*

Fonte:

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Resolução A/RES/64/292, aprovada pela Assembleia Geral das Nações Unidas em 28 de julho de 2010. Genebra, 2010. Disponível em: <<http://bit.ly/1CcBtRm>>. Acesso em: 09 dez. 2017.

segurança nacional ou relevante interesse coletivo, quanto como agente normativo e regulador (VIEIRA, 2014). Essa segunda forma de atuação é a que possui relevância na abordagem, que ressalta as principais atuações do Estado e a evolução das mesmas como agente disciplinador, identificando o indireto posicionamento estatal na inserção de centrais de geração hidrelétrica, abordando suas funções de fiscalização, incentivo e planejamento (CF/88, ART. 174). A intervenção do Estado por meio da regulação dos serviços públicos surge da necessidade em aumentar a eficiência dos mesmos, constituindo-o como fomentador e regulador (RAMOS, 2016), muito embora nos serviços de provimento de energia ele também atue diretamente como empresário, baseado no conceito de segurança energética, substancializando uma forma estratégica de desenvolvimento dos países.

As leis infraconstitucionais que versam sobre a água datam da primeira metade do século XX. Detalhadamente, desde a década de 30 existiam leis codificadas versando sobre o uso dos elementos do meio, como florestas, águas e minas, a exemplo o primeiro Código Florestal (Decreto n. 23.793) e Código das Águas (Decreto n. 24.643), ambos de 1934. Entretanto, apenas em décadas posteriores a legislação ambiental teve maior espaço, com uma proteção jurídica de forma integral, autonomia valorativa e garantias de implementação (FIGUEIREDO, 2012). Das mais importantes sobre o recurso em foco enfatiza-se os Códigos citados, a Lei da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (Lei n. 9.433/1997), a Lei de instituição da Agência Nacional de Águas - ANA (Lei n. 9.984/2000), bem como o Decreto Federal n. 3.692/2000 que complementa sua estrutura operacional (AQUINO; CAVALHEIRO; PELLEZ, 2017).

A CF/88, por meio de seu artigo 21, determina como da União a obrigação em instituir Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamentado posteriormente pela Lei n. 9.433 de 1997, denodada como Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). A mesma categoriza a água como um bem público que deve ser gerido por meio de uma política descentralizada que conte com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades (SOUZA, 2017).

A PNRH dispõe de grande avanço na dominialidade da água, tornando inválidas disposições anteriores, que objetivavam principalmente o aproveitamento hidrelétrico, sem preocupar-se com a qualidade e quantidade do bem. Fundamenta o recurso natural como limitado e dotado de valor econômico e salienta que a gestão

deve proporcionar o uso múltiplo. Percebe-se o tratamento da água como recurso de valor econômico e socioambiental. Ainda, objetiva assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade, em padrões de qualidade aos respectivos usos.

Dentre os instrumentos dispostos na política encontra-se a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos (art. 5º, inciso III), que, de acordo com o artigo 11º, é fundamentada como meio de assegurar o controle qualitativo e quantitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso a essa.

A criação da ANA como autarquia federal a inclui na Administração Indireta, sendo o principal órgão responsável por assegurar a implementação da PNRH. Com a instituição desta, a disciplina e fiscalização do uso do recurso passaram a ser administradas por uma entidade própria para este fim, com obrigação em promover uma gestão descentralizada e participativa.

Destarte, com base no exposto por Fontes, Xavier e Guimarães (2007), o ordenamento jurídico possui instrumentos legais para assegurar a correta utilização do bem hídrico, que contam com sanções e mecanismos para apuração da responsabilidade civil pelas perdas e danos causados a este.

2.2.3 Abordagem normativa relacionada às centrais hidrelétricas de pequeno porte

A abordagem sustentável que incita o País à adoção de medidas ambientalmente favoráveis influenciou na abertura de mercado e incentivo a formas de provimento renovável de energia elétrica.

O aproveitamento de potenciais hidrelétricos é sujeito à outorga pelo Poder Público, subordinada ao Plano Nacional de Recursos Hídricos. A outorga é efetivada por ato do Poder Executivo Federal, dos Estados ou do Distrito Federal. Esse instrumento não inclina ao outorgado a propriedade das águas, pois trata-se de recurso inalienável, logo, apenas o direito de uso é concedido. A atividade também requer a cobrança pelo uso do recurso, conforme art. 20 da PNRH.

De acordo com o Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas (CERPCH) as menções iniciais quanto ao enquadramento das PCHs no Brasil foram apresentadas em 1982, com o advento do Manual de Pequenas Centrais, editado pelo Ministério de Minas e Energia juntamente ao Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica e à Eletrobrás. O documento foi criado por ocasião do primeiro Programa Nacional de PCH – PNPCH.

O enquadramento iniciou em uma potência máxima de 5 MW (*MegaWatts*) definida em 1982, alterando para 10 MW em 1987 e, com o advento da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 1996⁷, passou a ter potência de 1,0 a 30,0 MW e área de reservatório igual ou inferior a 3 Km². A ANEEL procura adequar a legislação de forma a aumentar a atratividade de investimentos para as PCHs, dessa forma, o interesse empresarial por essas obras tende a crescer.

Em 2003, por meio da Resolução n. 652, a ANEEL adicionou novos parâmetros para área de reservatório de PCHs, o qual poderia ter limite excedido desde que atendesse uma das duas condições propostas. A primeira era o respeito à fórmula:

$$A \leq \frac{14,3 \cdot P}{H_b}$$

Onde a resultante A consiste na medida de área do reservatório, em Km²; P é a potência elétrica instalada em *MegaWatts*, e H_b é a queda bruta, medida em metros. Nessa expressão a área não poderia ultrapassar 13 Km².

A segunda condição seria a comprovação de que o dimensionamento do reservatório tenha derivado de outros objetivos, não para geração de energia elétrica.

Com a instituição da Lei n. 13.097, de 20 de janeiro de 2015, alterou-se parte da Lei n. 9.427/1996, modificando a legislação do setor elétrico para as pequenas centrais. Passou a ser considerada de 3 MW a potência mínima de uma PCH, enquanto que as gerações aquém a este valor estariam dispensadas de concessão, permissão ou autorização, devendo apenas ser comunicadas ao poder concedente. Para produção independente e autoprodução o limite passou a ser 50 MW de

⁷ Autarquia especial instituída pela Lei n. 9.427, de 26 de dezembro de 1996. Trata-se do órgão regulador e fiscalizador da produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica do país,

capacidade instalada, independentemente de ter ou não características de pequena central (CERPCH, 2018).

Em 2016 nova alteração foi formulada pela Lei n. 13.360, havendo mudanças nas concessões de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Com advento da mesma, o artigo 26 da Lei n. 9.427/96 passa a considerar potencial mínimo de 5 MW para caracterização de PCH, sujeita apenas à autorização do Poder Concedente,

Art. 26. Cabe ao Poder Concedente, diretamente ou mediante delegação à ANEEL, autorizar: (Redação dada pela Lei nº 10.848, de 2004)

I - o aproveitamento de potencial hidráulico de potência superior a 5.000 kW (cinco mil quilowatts) e igual ou inferior a 30.000 kW (trinta mil quilowatts), destinado a produção independente ou autoprodução, mantidas as características de pequena central hidroelétrica; (Redação dada pela Lei nº 13.360, de 2016)

Ainda, aumentou para potência máxima de 5 MW a independência de autorização da autarquia. Somente após sua implantação é que devem ser comunicadas para fins de registro,

Art. 8º O aproveitamento de potenciais hidráulicos e a implantação de usinas termoeletricas de potência igual ou inferior a 5.000 kW (cinco mil quilowatts) estão dispensados de concessão, permissão ou autorização, devendo apenas ser comunicados ao poder concedente. (Redação dada pela Lei nº 13.360, de 2016)

Em suma, a nova Lei submete à concessão, mediante licitação:

- aproveitamento de potenciais hidráulicos e usinas termoeletricas de potência superior a 50 MW destinados a execução de serviço público;
- aproveitamento de potenciais hidráulicos de potência superior a 50 MW destinados à produção independente de energia elétrica;
- aproveitamento de potenciais hidráulicos de potência superior a 50 MW destinados a uso exclusivo de autoprodutor.

À autorização:

- empreendimentos com potência superior a 5 MW destinados ao uso exclusivo do autoprodutor e à produção de energia independente;
- aproveitamentos com potência superior a 5 MW e igual ou inferior a 50 MW, destinados a uso exclusivo do autoprodutor e a produção independente de energia;

À registro ficam submetidos os empreendimentos com potência igual ou inferior a 5 MW, tanto de potenciais hidráulicos quanto de termoeletricas.

Os empreendimentos cuja produção esteja aquém de 3 MW são considerados pela ANEEL como centrais de geração reduzida, ou Central Geradora Hidrelétrica de Capacidade Reduzida (CGH). No presente trabalho as CGHs também estarão referidas como centrais de pequena geração ou empreendimentos do tipo PCHs, uma vez que seu enquadramento está incluso na potência previamente exposta pela ANEEL às mesmas, de 1 a 30 MW de potência e, principalmente, por sua inserção ser a mais facilitada pela legislação vigente, dependente apenas de registro.

As Resoluções vigentes ratificam a facilitação dos órgãos quando da inserção de pequenas centrais. A Resolução n. 673, de 04 de agosto de 2015, revogou a Resolução n. 652/2003, simplificando os procedimentos para outorga de PCHs. Ao estabelecer os requisitos e procedimentos para o aproveitamento de potenciais hidrelétricos, estabelece as pequenas centrais a um patamar de geração de limite mínimo 3 MW a 30 MW, com área de reservatório de até 13 km², excluindo-se a calha do rio. Esta Resolução simplificou o processo de aferição dos projetos das referidas centrais, além de redefinir os critérios de enquadramento das mesmas. Houve mudança na exigência de Projeto Básico⁸, agora possuindo apenas caráter regulatório e não mais técnico, compilando-se um Sumário Executivo, documento simplificado com especificações essenciais. Isentou-se, também, o procedimento licitatório.

A Resolução Normativa n. 765/2017 promoveu nova regulamentação para outorga de empreendimentos cuja potência instalada esteja entre 5 – 50 MW, embora

⁸ De acordo com o CERPCH, o Projeto Básico de uma PCH consiste no detalhamento dos estudos de engenharia do eixo do aproveitamento integrante da alternativa de divisão de quedas selecionadas nos estudos de inventário hidrelétrico aprovados pela ANEEL. Compreende o dimensionamento da central geradora, as obras de infraestrutura local, o seu reservatório e os outros usos da água e ações ambientais correspondentes.

suas características não os enquadram como pequenas centrais. Houve facilitação na outorga, estando nos moldes do que é feito para PCHs.

A Eletrobrás ressalta outras vantagens burocráticas na instalação de PCHs, sob o entendimento de que as mesmas dispõem de menor impacto ambiental, menor volume de investimentos e incentivos legais (ELETROBRÁS, 2007). Citam, além da outorga sem licitação, a isenção de pagamento da taxa de compensação financeira aos Estados e Municípios, isenção de pagamento por uso das redes de transmissão e distribuição para PCHs que entrarem em operação até o ano de 2003 e redução de no mínimo 50% deste custo para as que entrarem após esta data e a possibilidade de comercializar de imediato a energia elétrica produzida com consumidores cuja a carga seja maior ou igual a 500 kW. O governo, juntamente ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), facilitou ainda mais a implementação desses empreendimentos, por intermédio do Programa de Desenvolvimento e Comercialização de Energia de Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH-COM, destinado a incentivar a produção de energia por meio de PCHs que possam se conectar ao Sistema Interligado Brasileiro.

Impende observar que várias medidas foram tomadas para desburocratização do processo de instalação de centrais hidrelétricas de pequena geração. Houve elevado número de alterações na legislação do setor, cujo objetivo principal compreende a diminuição do prazo de tramitação. O tempo médio de análise dos pedidos caiu de pelo menos 5 anos (2015) para 25 dias (2018), havendo desnecessidade de Licenciamento Ambiental antes da análise de Projeto Básico (também simplificado) (LIMA, 2018). Os incentivos são ainda maiores em relação às centrais geradoras de até 5 MW, cuja instalação independe de autorização da Agência.

2.3 GERADORAS DE ENERGIA ELÉTRICA DE PEQUENO PORTE

A seção expõe a contribuição das Pequenas Centrais Hidrelétricas na Matriz Energética do país, relacionando os principais impactos enrolados na literatura pertinente, inclusa a categorização de impactos sinérgicos e cumulativos, cuja predição encontra-se preconizada na legislação brasileira, não obstante, as metodologias existentes apresentam certa defasagem em sua exposição. Por isso, foi promovida uma revisão das metodologias utilizadas na Avaliação de Impactos Ambientais e explorada a atual conjuntura sobre a Avaliação Ambiental Integrada.

2.3.1 Participação na Matriz Energética brasileira

A matriz energética brasileira baseia-se principalmente no setor hidrelétrico, sendo o país responsável por cerca de 10% da produção mundial desta energia. O atual parque elétrico representa apenas cerca de 30% do potencial hidrelétrico brasileiro, estando concentrado grande parte do potencial não aproveitado na região Norte do país (ROCHA; GUTIERREZ; HAUSER, 2012). Os autores comentam que nesta localidade as condições físicas adversas dificultam a estruturação de reservatórios, estando os novos projetos baseados em usinas a fio d'água, cuja tendência é inexorável.

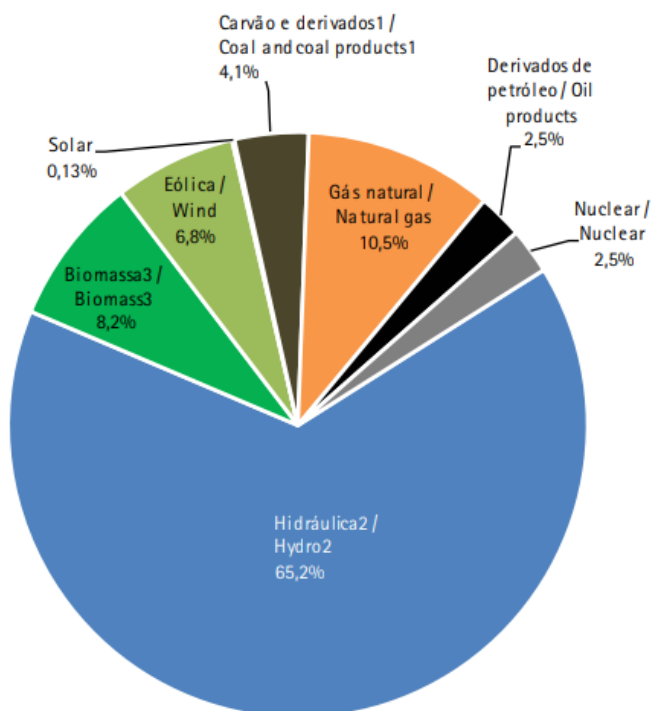
Tucci e Mendes (2006) afirmam que o sistema, mesmo em épocas de cheias, está no limite de atendimento da demanda, onde a dependência climatológica representa um desafio. O Balanço Energético Nacional, elaborado pela EPE em relação ao ano de 2017, confirma que a fonte de maior expressividade na geração elétrica é hidráulica, correspondente à 65,2% do total (Figura 1).

De acordo com o documento, a oferta interna de energia total teve um acréscimo de 1,3% em relação à 2016. Em relação à energia elétrica, houve um avanço de 0,7%.

O consumo de eletricidade seguiu comportamento crescente da oferta, avançando 0,9%. Os setores que mais contribuíram para o aumento foram o

comercial, com acréscimo de 1,5%, e o industrial, com 1,1%. O setor residencial apresentou acréscimo de 0,8% em relação ao ano de 2016.

Figura 1 - Oferta de Energia Elétrica por fonte



Fonte: EPE, 2018.

Em relação a matriz energética, a participação de fontes renováveis manteve-se uma das mais elevadas do mundo, com representação de 42,9%. Destes, 12% consiste em produção hidráulica, a despeito do decréscimo de 3,4% na oferta proveniente desta fonte, ocasionada pelos eventos hidrológicos desfavoráveis. Já na matriz elétrica a representação é ainda maior, na qual as fontes renováveis representam 80,4%⁹.

A capacidade instalada de geração elétrica proveniente de PCHs foi de 5.020 MW em 2017, 1,6% a mais que em 2016. Das CGHs, a capacidade instalada consiste em 594 MW, 23% a mais que no ano anterior, conforme Tabela 1.

⁹ A diferenciação da Matriz Energética Brasileira em relação à Matriz Elétrica Brasileira é que esta última se ocupa apenas da geração de energia elétrica, enquanto que a primeira representa o conjunto de fontes de energia disponíveis para as diversas demandas.

Tabela 1 - Capacidade instalada de geração elétrica por fonte

	MW									
Usinas em Operação / Plants in operation	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
UHE / Hydro	74.901	75.484	77.090	78.347	79.956	81.132	84.095	86.366	91.499	94.662
PCH / Hydro	2.490	2.953	3.428	3.896	4.101	4.620	4.790	4.886	4.941	5.020
CGH / Hydro	154	173	185	216	236	266	308	398	484	594
EOL / Wind	398	602	927	1.426	1.894	2.202	4.888	7.633	10.124	12.283
SOL / Solar	-	-	1	1	2	5	15	21	24	935

Fonte: EPE, 2018. (adaptada)

Segundo Tiago Filho et al. (2006), o Brasil possui potencial para instalação de PCHs conhecido em 11.800 MW (CARVALHO, 2014), ou seja, uma capacidade remanescente de 6.780 MW.

O Plano Decenal de Expansão de Energia, elaborado pela EPE com horizonte até 2027, estima o aumento na oferta de energia elétrica em mais de 60 GW. As PCHs, fonte eólica e solar serão responsáveis por aproximadamente metade desta expansão. A participação de renováveis no SIN deverá ficar acima de 75% até o fim de 2027.

O favorecimento da inserção de PCHs e CGHs é derivado, principalmente, conforme Carvalho (2014):

- Da sua concepção simplificada, que lhes proporciona baixo custo de implantação e manutenção e facilidade na operação;
- Da tecnologia de fácil adequação para a fabricação e utilização em países em desenvolvimento ou em áreas remotas;
- Da desnecessidade de grandes barragens, obras hidráulicas importantes e grandes alagamentos, assim, os problemas como o deslocamento de populações e a estratificação dos reservatórios são evitados;
- Do baixo investimento inicial, quando comparado a investimentos em outros empreendimentos de geração de energia;
- Da localização próxima a demanda consumidora e menos custos de conexão e transmissão de energia elétrica;

- Obras civis de pequeno porte;
- E da menor necessidade de tempo de desenvolvimento e construção.

Carvalho (2014, p. 28) cita mais algumas vantagens inerentes aos projetos de PCHs, baseando-se em dados da ANEEL e do trabalho de Carneiro (2010):

- Autorização não onerosa para explorar o potencial hidráulico (Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995; e Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996);
- Isenção relativa à compensação financeira pela utilização de recursos hídricos (Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989 e Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996);
- Isenção de aplicação, anualmente, de no mínimo um por cento da receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico – P&D (Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000 e posteriormente alterado o art. 2º, pela Lei 10.438 de 2002 art. 24.);
- Livre comercialização de energia com consumidores ou conjunto de consumidores reunidos por comunhão de interesses de fato ou de direito, situados em sistema elétrico isolado, cuja carga seja igual ou superior a 50 kW (Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002);
- Participação no rateio da Conta de Consumo de Combustível – CCC, quando substituir geração térmica a óleo diesel, nos sistemas isolados (Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002);
- Comercialização das energias geradas pelas Pequenas Centrais Hidrelétricas com concessionárias de serviço público tendo como teto tarifário o valor normativo estabelecido conforme a Resolução ANEEL nº 248, de 06 de maio de 2002;
- Mecanismo de Relocação de Energia – MRE para centrais hidrelétricas conectadas ao sistema interligado e não despachadas centralizada mente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS e Lastro de energia (Decreto nº 2.655, de 2 de janeiro de 1998, com a redação dada pelo Decreto nº 3.653, de 7 de novembro de 2000, Resolução ANEEL nº 169, de 3 de maio de 2001, Resolução ANEEL 303/04 e Portaria MME 384/05);
- PCH-COM - Programa criado para viabilizar a implantação ou revitalização de pequenas centrais hidrelétricas, conectadas ao SIN, onde a ELETROBRÁS garante a compra de energia da usina e o BNDES oferece seu financiamento para o empreendimento.
- PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica instituído com objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos de produtores independentes autônomos, concebidos com base em PCH, e fontes eólica e biomassa, mediante procedimentos estabelecidos nas Leis 10.438, de 26 de abril de 2002, Lei 10.762, de 11 de novembro de 2003, e Decreto 4.541, de 23 de dezembro de 2002.
- Venda direta para distribuidoras e Geração distribuída (Lei nº 10.848 de 2004 - art.2º e Decreto 5.163/04 - art. 15);
- Procedimentos simplificados para Licenças Ambientais (Resolução CONAMA 279/01, Lei 9.985 de 2000 - art.36, IN 065/2005 e PL 4.082/04);
- Desconto de tarifas de uso dos sistemas elétricos de distribuição - TUSD e tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão - TUST de 50% para carga e geração por empreendimentos hidroelétricos, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, cuja potência injetada nos sistemas de transmissão e distribuição seja menor ou igual a 30.000 kW (Resolução ANEEL 077/04 e Resolução ANEEL 166/05);
- Condições para a comercialização de energia elétrica, oriunda de empreendimentos de geração que utilizem fontes primárias incentivadas, Condomínios (Resolução ANEEL Nº 247, 21 de dezembro de 2006);
- Leilões de energia de fontes alternativas (Portaria MME 31/07);

- Possibilidade de transformação dos Produtores Independentes Autônomos (PROINFA) em Produtores Independentes de Energia (Lei nº 11.488 de 2007).
- Modificação de procedimentos para registro, elaboração, aceite, análise, seleção e aprovação de projeto básico e para autorização de aproveitamento de potencial de energia hidráulica com características de Pequena Central Hidrelétrica – PCH (Resolução ANEEL, 343/08).

2.3.2 Impactos ambientais relacionados

A análise dos impactos relacionados às centrais de pequena geração é primordial para construção do modelo. No trabalho utilizou-se a revisão de dissertações e teses que exploram o tema, bem como artigos científicos que elencam as questões contemporâneas sobre as centrais hidrelétricas. Estudos de Impactos Ambientais e Avaliações Ambientais Integradas também foram analisadas.

Pagnussatt et al. (2017) exploram que encontrar soluções para os problemas ambientais enfrentados pela humanidade é um dos desafios do desenvolvimento sustentável, envolvendo principalmente a interação do meio ambiente com o desenvolvimento econômico e social, bem como com a evolução de sistemas alternativos de energia. Enquanto o uso de energia renováveis tem um papel essencial na busca pela sustentabilidade, muitas incertezas estão inerentes à forma que os projetos são percebidos pelos diferentes atores envolvidos (CARRERA; MACK, 2010; CHEN et al., 2015; PAGNUSSATT, 2017). Os impactos econômicos, ambientais e energéticos determinarão se o projeto de energia renovável deve ou não ser aceito (STIGKA et al., 2014; PAGNUSSATT et al., 2017).

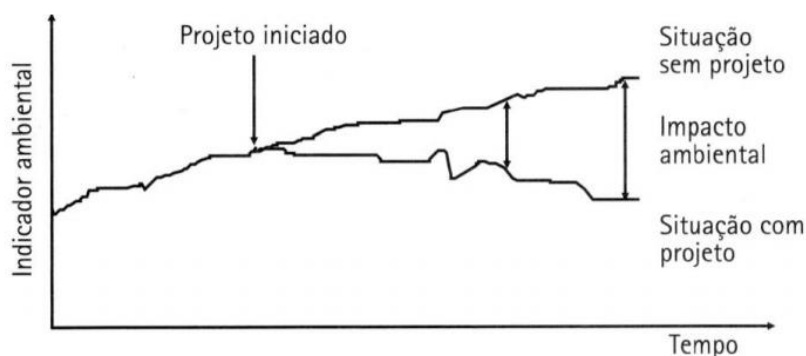
2.3.2.1 Definição

O impacto ambiental, segundo Resolução CONAMA n. 001, de 23 de janeiro de 1986, representa qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, diretamente ou não, afetam a saúde, segurança e bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, a biota, as

condições sanitárias e estéticas do meio e a qualidade dos recursos ambientais. Já o impacto regional, por sua vez descrito na Resolução CONAMA n. 237, de 19 de dezembro 1997, é aquele que afeta diretamente o território de dois ou mais Estados, em parte ou em suas totalidades. A este último deve-se levar em consideração as consequências na área de influência direta do projeto.

Definição bastante pertinente foi dada por Bolea (1989; FERREIRA; CANTARINO, 2011), que explica que o impacto ambiental de um projeto/empreendimento sobre o meio pode ser entendido como a diferença entre a situação do meio ambiente modificado no futuro, considerando a inserção do projeto, com uma evolução normal do ambiente, conforme ilustração da Figura 2.

Figura 2 - Representação do conceito de impacto ambiental por Bolea (1989)



Fonte: BOLEA, 1989; FERREIRA; CANTARINO, 2011.

Carvalho (2014) citou a definição de Moreira (1992) e Sanchez (2008). A primeira define impacto como qualquer alteração no meio ambiente em um ou mais de seus componentes, provocada por uma ação humana. A segunda adota o conceito de alteração da qualidade ambiental que resulta da modificação de processos naturais ou sociais provocada por ação humana.

Empregam-se, nos estudos ambientais, diversas classificações de impactos. Quanto à natureza, é comum a consideração dos físicos, biológicos e socioeconômicos, também chamados de antrópicos. Aos físicos estão relacionados os efeitos causados ao subsolo, solo, ar, água, clima; aos biológicos incorporam-se os efeitos à flora e fauna; enquanto que os socioeconômicos se relacionam ao ser

humano e a forma de interação dele no ambiente, considerando cultura, economia, ocupação, etc.

Há também a segregação conforme incidência, que considera os impactos como diretos ou indiretos. Indireto é aquele que, diferentemente do direto, não resulta do projeto de uma forma primária. A dinamização entre impacto direto (impacto A) e impacto indireto (impacto B) encontra-se na Figura 3.

Figura 3 - Representação de impactos direto e indireto



Fonte: HYDER, 1999; FERREIRA; CANTARINO, 2011.

O impacto, em suma, está associado ao efeito que um empreendimento causará no meio ambiente, devendo ser previsto por meio de projetos e estudos, podendo ser considerado positivo ou negativo. Em geral, são considerados em avaliações conforme o valor que expressa sua manifestação sobre o ambiente, ou seja, sua **significância**, que leva em consideração sua **importância** e **magnitude**. À importância conferem-se atributos que consideram aspectos associados à cumulatividade e à sinergia, que recebem pesos diferenciados quando presentes, bem como da reversibilidade e da importância. A composição, portanto, possui atributos de caracterização objetiva (cumulatividade, reversibilidade e sinergia), mas também leva em consideração um componente subjetivo (importância), expresso por meio da valoração atribuída pelo corpo técnico (CARVALHO, 2014).

A magnitude, por sua vez, relata atributos do impacto que consideram a indução de pequenas ou grandes e rápidas ou lentas mudanças na qualidade ambiental, na área onde se manifestam, conforme esquema da Figura 4.

Figura 4 - Composição da significância de um impacto

Importância							
Cumulatividade		Reversibilidade		Sinergia		Importância	
Não-cumulativo	1	Reversível	1	Ausente	1	Muito pequena	1
Cumulativo	3	Irreversível	2	Presente	3	Pequena	2
						Média	3
						Grande	4
						Muito grande	5

Magnitude							
Forma de incidência		Distributividade		Tempo de incidência		Prazo de permanência	
Indireta	1	Local	1	Mediato	1	Temporário	1
Direta	2	Regional	2	Imediato	2	Permanente	3
						Pouco prov.	1
						Muito prov.	2

Significância							
---------------	--	--	--	--	--	--	--

Fonte: EPE, 2007; CARVALHO, 2014.

A significância será o resultado da multiplicação dos componentes (magnitude e importância) e o sentido do mesmo, que será positivo quando benéfico ao meio e negativo quando adverso.

Em se tratando de empreendimentos de geração de energia, os impactos são visíveis em todas as etapas, seja na implantação do empreendimento, na geração, produção ou distribuição da energia, porquanto todos os processos que visam à transformação de recursos naturais em energia, renováveis e não renováveis, provocam alterações ambientais, sociais e econômicas (CARVALHO, 2014).

2.3.2.2 Impactos cumulativos e sinérgicos

O Estudo Ambiental deve obedecer a diversas diretrizes fundamentadas legalmente, em especial a necessidade de delimitação da área geográfica, a fim de estimar as consequências diretas e indiretas dos impactos gerados pelo empreendimento. Desde 2003, o IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) passou a exigir que estudos de impactos ambientais reportassem à bacia hidrográfica na delimitação (TUCCI; MENDES, 2006), em

conformidade com o disposto na Resolução 001/2006¹⁰. Ocorre que, conforme citam Tucci e Mendes (2006), nas bacias hidrográficas os impactos não ocorrem de forma isolada, mas são uma integração de efeitos dos diferentes usos da água e do solo.

Gallardo et al (2017) comentam que, no tocante ao licenciamento ambiental de empreendimentos energéticos, a predição de impactos passa a ser não limitada, levando em consideração efeitos cumulativos e sinérgicos, provocados pelo conjunto múltiplos de aproveitamentos inseridos em uma bacia. Por esse motivo, o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) vem sendo complementado pela Avaliação Ambiental Integrada (AAI), discorrida no próximo item.

Carvalho (2014, p. 85) comenta que a definição de impacto cumulativo foi introduzido juntamente ao primeiro sistema de Avaliação de Impacto Ambiental na Política Nacional Ambiental Americana (NEPA), como sendo:

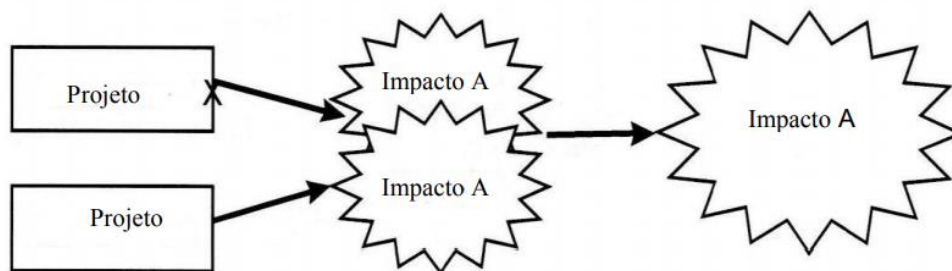
[...] o impacto que resulta do impacto incremental da ação [em análise] quando acrescia de outras ações passadas e presentes e de ações futuras razoavelmente previsíveis, independentemente de quão pequenas, mas coletivamente significativas que ocorram em um período de tempo ou da pessoa que promove essas ações.

Ainda aos impactos cumulativos entendem-se, conforme Nota Técnica n. 10/2012 da CGPEG/DILIC/IBAMA, aqueles que possuem a propriedade de sobrepor-se, no tempo e/ou no espaço a outro impacto, estando este último associado ou não ao empreendimento ou atividade em análise, incidentes sobre o mesmo fator ambiental. A relevância da cumulatividade de um impacto origina-se no entendimento de que um impacto, muitas vezes considerado irrelevante, pode resultar em significativa degradação ambiental se concentrado espacialmente a outro ou caso esses se sucedam no tempo (SANCHEZ, 2006). O Ministério do Meio Ambiente (MMA) (2002) coloca que o impacto cumulativo é derivado da soma de outros impactos ou de cadeias de impacto de que se somam, gerados por um ou mais

¹⁰ O artigo 5º da Resolução dispõe sobre diretrizes gerais as quais o EIA deve obedecer, contemplando em seu inciso III: “Definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominada área de influência do projeto, considerando, em todos os casos, a **bacia hidrográfica** na qual se localiza” [grifado].

empreendimentos contíguos. É um impacto incremental da ação quando adicionada a outras ações, sendo elas passadas, presentes ou futuras. A ilustração da cumulatividade de impactos encontra-se na Figura 5.

Figura 5 - Representação de impacto cumulativo



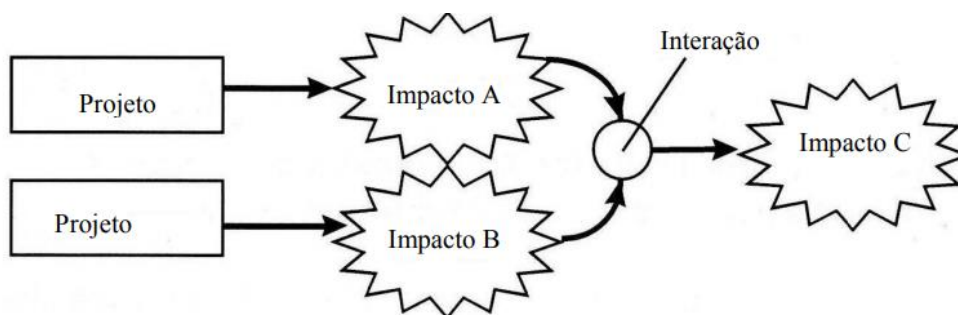
Fonte: HYDER, 1999; FERREIRA; CANTARINO, 2011.

O efeito sinérgico ou integrado de impactos é resultante dos diferentes usos e impactos na bacia, produzindo efeitos negativos a todos os meios considerados (físico, biológico e socioeconômico).

A sinergia ou interação de impactos é definida pelo MMA (2002) como aquilo que tem capacidade de agir em sinergia ou ação cooperativa de agentes discretos, no caso, entre impactos diferentes do mesmo projeto ou de projetos diferentes em que o efeito total dá origem a outro impacto, podendo este ser diferente ou maior que a soma dos efeitos analisados separadamente.

A Nota Técnica n. 10/2012 também define as propriedades sinérgicas como detentoras da capacidade de um impacto em potencializar outros impactos ou ser potencializado, não necessariamente estando associados ao mesmo empreendimento. Ainda, Paulo Affonso Leme Machado (2012) cita como sinergismo a associação simultânea de dois ou mais fatores que contribuem para uma ação resultante superior a inicialmente obtida ou estimada individualmente. A representação de impacto sinérgico, feita por Hyder (1999) e adaptada por Ferreira e Cantarino (2011), encontra-se na Figura 6.

Figura 6 - Representação de um impacto sinérgico



Fonte: HYDER, 1999; FERREIRA; CANTARINO, 2011.

Problemas ambientais recorrentes na mídia, como efeito estufa, redução da camada de ozônio e até mesmo a chuva ácida são consequências de acumulação de impactos que, se considerados isoladamente, são insignificantes, entretanto altamente significativos quando provenientes de grande número de fontes e ao longo de um período significativo (FERREIRA; CANTARINO, 2011).

A avaliação de impactos cumulativos e sinérgicos é imprescindível por capacitar a predição a longo prazo e a interatividade na região do projeto, contribuindo para o desenvolvimento sustentável, auxiliando na tomada de decisão, além de estar em concordância com a legislação de muitos países desenvolvidos.

A despeito da existência de um disseminado reconhecimento em relação à necessidade e importância de se avaliar os impactos cumulativos e sinérgicos, persistem muitas dificuldades metodológicas para a realização desta atividade (DIAS, 2001; FERREIRA; CANTARINO, 2011).

O procedimento isolado de identificação de impactos prejudica na identificação da cumulatividade e sinergia ao longo de todas as fases do projeto. Muitos impactos por vezes são desconsiderados ou não avaliados, apesar das normativas exigentes, por sua baixa significância pontual que, ao longo do tempo, podem provocar impactos extremamente significativos (OLIVEIRA, 2008; CARVALHO, 2014).

Hyder (1999) comenta a importância da avaliação de impactos abordar de forma contínua a sinergia e a cumulatividade de impactos nos estudos ambientais, devendo, de fato, haver uma avaliação integral dos mesmos em todos os estágios do projeto.

No exterior, estudos indicam que os impactos sinérgicos e cumulativos não estão sendo contemplados de maneira adequada nos Estudos Ambientais. Nos Estados Unidos um estudo que objetivou revisar 30 (trinta) EIAs, elaborados entre 1980 e 1992, constatou que apenas 14 (quatorze) deles mencionavam o termo impacto cumulativo (BURRIS; CANTER, 1997; FERREIRA; CANTARINO, 2011). No Reino Unido, outro estudo com objetivo semelhante avaliou 50 EIAs (anos 1989 a 2000) e apenas 48% destes apresentam a menção da cumulatividade de impactos, tomando a porcentagem de 18% àqueles que apresentam discussão sobre eles, percebendo a variabilidade da forma de interpretação dos impactos e a distante adequação de sua abordagem em Estudos de Impactos (COOPER; SHEATE, 2002; FERREIRA; CANTARINO, 2011).

No Brasil, Oliveira (2008) aponta uma realidade desfavorável ao considerar esses impactos. Os autores Ferreira e Cantarino avaliaram 09 (nove) EIAs de grandes projetos brasileiros, e concluíram que a identificação e abordagem de impactos cumulativos e sinérgicos muitas vezes estão ausentes, bem como existe uma grande variação no tipo de abordagem e metodologias utilizadas.

2.3.2.3 Impactos de empreendimentos de pequena geração hidrelétrica

Segundo Tucci e Mendes (2006), os impactos da produção de energia hidrelétrica são decorrentes principalmente das obras hidráulicas e da formação da represa. Estes autores dividem os impactos ocorridos a montante e a jusante do empreendimento. A montante, elencam:

- Desapropriação e deslocamento de pessoas da área de inundação do lago, como um impacto social;
- Redução da velocidade do escoamento, aumento da largura e formação do lago, deposição de sedimentos na entrada do lago e o assoreamento ao longo do reservatório. Com a retenção de sedimentos, a água para jusante tem, em geral, pouco sedimento;
- Estratificação térmica com a profundidade e redução da qualidade da água com a profundidade, resultado da inundação de matéria orgânica

durante o enchimento e a retenção dos poluentes provenientes de montante;

- Aumento do tempo de residência e entrada de nutrientes. Há tendência à eutrofização, com geração de gases e crescimento de algas que podem produzir toxinas;
- Alteração da fauna e flora devido à variação dos níveis e da velocidade do fluxo, bem como alteração no corredor biológico devido à presença da barragem;
- No fundo do reservatório acumula-se uma carga poluente que pode se misturar com a massa de água, gerando forte demanda de oxigênio e impactando o sistema aquático;
- Riscos de inundação a montante, em função da sedimentação do lago, incertezas em sua delimitação e na operação das comportas do vertedor e operação das turbinas.

A jusante, enrolam os demais impactos:

- Variabilidade dos níveis em função da operação da barragem, principalmente em Usinas de Ponta que operam com a demanda. Os problemas consequentes variam entre a navegação, tomada de água, alterações no subsolo pela alteração no lençol freático, ação dinâmica entre as matas ciliares e as margens, bem como alteração na fauna e flora a jusante;
- Qualidade da água resultante da saída das turbinas ou vertedores em função da cota de onde a água é retirada dos reservatórios. Tendência a ser anaeróbia em camadas inferiores e com significativa carga poluente;
- Aumento dos processos erosivos, pois a água que escoar tem menos sedimentos, com característica mais erosiva.
- Recurso hídrico com menos nutrientes e turbidez, reduzindo a produção primária e recursos pesqueiros;
- Nos rios menos profundos, a redução da turbidez a jusante permite maior penetração de luz solar, que pode atuar no depósito bentônico e produzir um *bloom* de algas;

- O período de enchimento dos reservatórios deve proporcionar uma vazão a jusante adequada para a sustentabilidade ambiental;
- Possibilidade de controle de inundação;
- Efeitos decorrentes do rompimento de barragens, fenômeno que não possui legislação pertinente no Brasil.

Carvalho (2014) expôs que o entendimento dos impactos gerados pelas centrais hidrelétricas depende da concepção das mesmas, ou seja, sua capacidade de regularização, onde três tipos distintos podem ser mencionados: usinas a fio d'água, usinas de acumulação com regularização diária do reservatório e usinas de regularização mensal.

Ao considerar a concepção de usinas a fio d'água, por exemplo, vistas como de menor impacto entre as demais, novos impactos associados à formação do trecho de vazão reduzida surgem, afetando o leito natural do rio e a população lindeira que faz uso dessa água. Deve-se também considerar a alteração no fluxo do rio, seu depósito de nutrientes e temperatura, bem como seu ciclo de cheias e secas, fundamentais para a manutenção do habitat de espécies e interação terra-água.

Os autores Tucci e Mendes (2006) reiteram que os reservatórios de regularização dependem de grandes volumes de área alagada, o que acarreta muitos problemas, principalmente relacionados ao deslocamento de pessoas e perda de qualidade ambiental. Por esse motivo, reservatórios menores são preferências, embora necessitem de um regime pluvial constante para garantia de uma produção eficaz. Nesse cenário, a tendência é de uma menor oferta de energia firme¹¹ em relação a capacidade instalada.

Para Andrade (2006) e Carvalho (2014) os principais impactos relacionados às PCHs são os mesmos das grandes usinas hidrelétricas, porém em pequena escala. Ressaltam:

- Ocupação do solo pela formação do lago;

¹¹ Segundo Elliot, a Energia Firme é a energia suprida por uma usina que não pode ser suprida por nenhuma outra e, no caso de hidrelétricas, é a energia possível de ser produzida no período crítico. De acordo com a Aneel, Energia Firme corresponde à máxima produção contínua de energia que pode ser obtida supondo a ocorrência da sequência mais seca registrada no histórico de vazões do rio onde está localizada.
(Disponível em: <<http://www.antoniolima.web.br.com/arquivos/energiafirme.htm>>. Acesso em: 04 fev. 2019)

- Alteração no leito natural do rio;
- Alteração na velocidade da água;
- Alteração na qualidade da água;
- Modificação sobre a fauna e flora aquática;
- Vazão residual no trecho seco do rio.

Como a abordagem principal do presente estudo consiste na avaliação da sustentabilidade de inserção de PCHs e CGHs, é imprescindível salientar o entendimento de que essas usinas operam geralmente a fio d'água, gerando energia com o fluxo de água do rio. A sua capacidade produtiva fica comprometida a existência de uma vazão no rio que, mesmo em momentos de estiagem, seja capaz de provocar a descarga necessária para atender a demanda prevista (CARVALHO, 2014). Por esse motivo, os alvos para implantação desses empreendimentos são rios de pequeno e médio porte com desníveis significativos durante seu percurso.

Carvalho (2014) explica que as PCHs de acumulação são empregadas quando a geologia e a topografia da região viabilizam a utilização de reservatórios de forma técnica e financeira, sendo eles os responsáveis por suprir a vazões necessária em épocas de estiagem. Nesses casos, há de se considerar a necessidade de reassentamento da população.

Percebe-se que os impactos gerados pela inserção e operação de centrais hidrelétricas estão interligados, principalmente entre os meios, sendo imprescindível uma abordagem integrada.

Carvalho (2014) segrega os impactos em positivos e negativos. No primeiro rol, elenca:

- Aumento da oferta de energia elétrica, atendimento a comunidades isoladas e geração distribuída;
- Geração de empregos diretos e indiretos;
- Aumento na arrecadação de impostos;
- Valorização imobiliária no entorno do reservatório;
- Contribuição para sustentabilidade local;

Aos negativos, coloca:

- Aumento do tráfego de veículos nas vias de acesso;

- Risco de acidentes;
- Supressão da vegetação;
- Alteração nas características físicas, químicas e microbiológicas da água;
- Deslocação e alteração comportamental da fauna;
- Poluição atmosférica e sonora;
- Alteração das características do solo;
- Impactos sobre a ictiofauna;
- Diminuição da vazão do rio no trecho entre a barragem e o canal de fuga;
- Alteração no ritmo de vida da população da área do entorno;
- Alteração da paisagem natural;

A autora chega a termo de que um olhar integrado sobre o conjunto de projetos e sobre as opções tecnológicas disponíveis conduz a discussão à patamares estratégicos e permite antever possíveis impactos socioambientais de diferentes configurações na matriz energética, não devendo a análise se resumir aos impactos associados a uma única fonte, mas sim às consequências de todas as opções feitas para compor a matriz (CARVALHO, 2014). Importante ressaltar, ainda, a sua colocação sobre os impactos cumulativos relacionados à inserção sequencial desses empreendimentos (CARVALHO, 2014, p. 88):

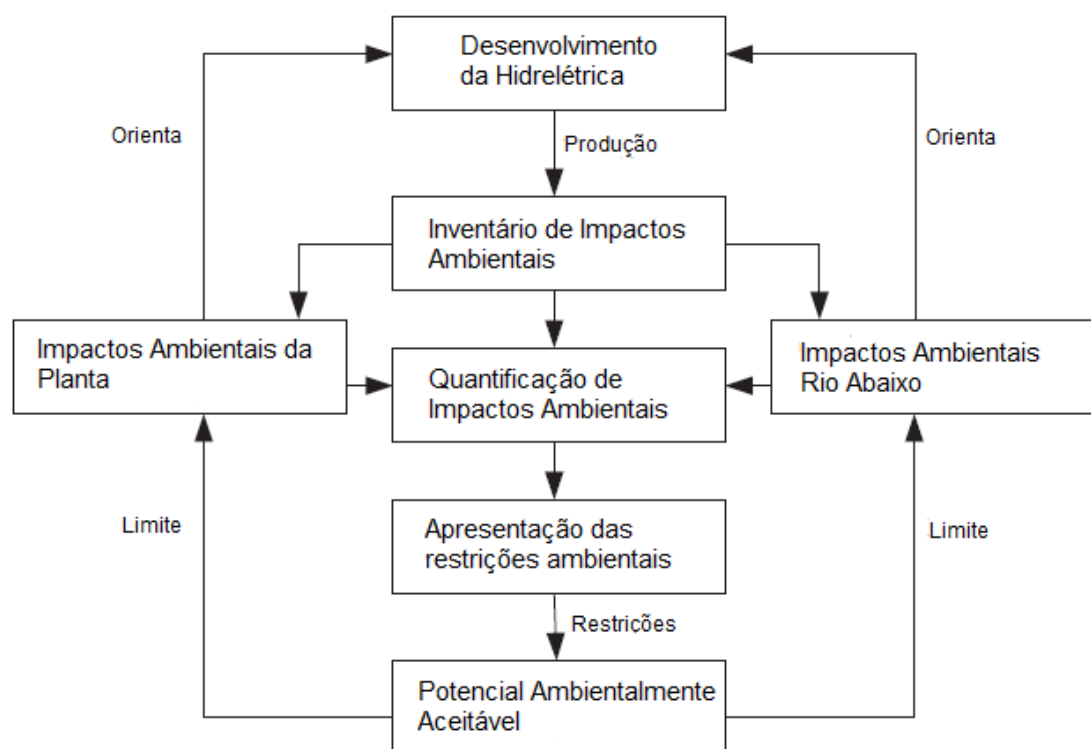
De fato, a presença de um maior número de projetos em uma mesma região não implica, necessariamente, em impactos cumulativos e/ou sinérgicos expressivos ou que não possam ser mitigados ou evitados, entretanto para evitar esses impactos e fazer jus à credencial de sustentabilidade que esses aproveitamentos possuem, é imprescindível que a influência, impactos e viabilidade socioambiental de cada projeto relativo à PCH sejam sempre analisados e avaliados no contexto da multiplicidade dos empreendimentos previstos para uma mesma bacia hidrográfica, evitando, assim, impactos ambientais irreversíveis.

Tiago Filho et al. (2008) comentam que mesmo sendo uma fonte de energia limpa, a inserção de PCHs pode gerar alguns impactos ambientais que tendem a afetar comunidades humanas e ecossistemas naturais. Além dos impactos reforçados por Carvalho (2014), citam como negativo o desenvolvimento de focos erosivos, bem como elevam impactos recorrentes do enchimento do reservatório, sendo eles:

- Restrição do uso da terra;
- Transformação do ambiente lótico em lêntico na área do reservatório;
- Eutrofização do reservatório;
- Instalação e desenvolvimento de focos de invertebrados vetores de doenças;

Berkun (2010) cita que é inevitável que o desenvolvimento de hidrelétricas cause impactos aos ecossistemas aquáticos, especialmente os desenvolvimentos em cascata, que trazem efeitos em maiores escalas ao rio a jusante (ZHANG et al., 2014). A construção de barragens bloqueia a conectividade fluvial e forma reservatórios que inundam adjacentes, causando a destruição de habitats, deposição de sedimentos e degradação da qualidade da água (ASAEDA; RASHID, 2012; de ALMEIDA et al., 2005; ZHANG et al., 2005; ZHANG et al., 2014). Zhang et al. (2014) defendem que o estudo dos impactos ambientais de usinas hidrelétricas leva à limitação de tais projetos, devendo o potencial ambientalmente viável ser mensurado de forma a limitar a ocorrência desses impactos em uma escala aceitável. Tanto os impactos da planta em si devem ser mensurados, como os impactos rio abaixo do reservatório. O desenvolvimento proposto pelos autores está ilustrado na Figura 7. Para Zhang et al. (2014) o potencial ambientalmente aceitável é derivado da quantificação dos impactos ambientais e das restrições, sendo possível determinar, inclusive, o potencial especificamente relacionado a inserção de PCHs.

Figura 7 - Quadro conceitual de um potencial ambientalmente viável para o desenvolvimento de hidrelétricas



Fonte: ZHANG et al, 2014. (adaptado para português)

Ainda, Zhang et al. (2014) dividem os impactos ambientais da planta e do rio abaixo do reservatório. Destacam, em relação à planta:

- Alteração da qualidade do solo pelas obras civis e aumento da possibilidade de processos erosivos;
- Poluição ambiental causada pelos resíduos da construção na água, no solo e no ar;
- Destruição de habitats dos nêctons pela modificação do fluxo do curso d'água;
- Geração de gases de efeito estufa e comprometimento da qualidade da água pela formação do reservatório e inundação de vegetação;
- Perda de qualidade da cobertura do solo e da sua produtividade;
- Destruição de habitats humanos e necessidade de realocação;
- Perda de biodiversidade, degradação ecológica e conflitos sociais como impactos secundários.

Os autores comentam a complexidade dos impactos observados abaixo dos reservatórios, relacionados em sua maioria à mudança na hidrologia a jusante. Incluem, principalmente, a alteração dos processos ecológicos influenciados pela hidrologia. Salientam os impactos adversos aos habitats da flora e fauna aquática, inclusas as várzeas e estuários, pela redução e mudança no fluxo hídrico, bem como interferência na variação sazonal do nível do rio.

A seguir foram discutidos os principais impactos identificados na pesquisa bibliográfica realizada, segregando-os conforme natureza, ou seja, influências sobre o meio físico, biológico ou socioeconômico e o sentido adverso ou benéfico ao meio no qual estes são inseridos.

O trabalho desenvolvido por Pagnussatt et al. (2018) foi utilizado para exposição da real e contemporânea percepção de envolvidos em relação aos impactos frequentemente relatados. Em suma, o estudo explorou a perspectiva de *stakeholders* sobre os impactos causados pelas pequenas centrais, avaliando as dimensões social, econômica e ambiental, bem como o caráter positivo e negativo dos impactos. Os grupos estudados foram divididos em 05 (cinco) categorias: "Eu sou crítico", "Eu vejo benefícios regionais", "Eu quero mais resultados", "Eu quero o bem-estar social" e "Eu peso todos os lados".

Impende salientar que os impactos abordados com mais veemência nos trabalhos pesquisados em relação à inserção de PCHs e CGHs são os impactos socioeconômicos, os quais interferem na qualidade de vida da população, seus costumes e atividades de lazer, bem como sua economia, dependente muitas vezes do uso local do solo predominante antes do planejamento das usinas.

Ressalta-se que um aspecto diagnosticado no meio físico pode interferir e impactar o meio social e biológico, uma vez que a integração entre os meios e sua interdependência torna-se característica incontestável da análise, fator que reforça a necessidade de avaliar-se integradamente os impactos gerados por estes empreendimentos, caso a caso.

I) IMPACTOS SOBRE O MEIO BIOLÓGICO

Estes impactos são avaliados conforme a interação do empreendimento com a fauna e a flora. A Resolução CONAMA 001/86 define o meio biológico e os ecossistemas naturais, de obrigatória contemplação em Estudos de Impactos Ambientais, como sendo a fauna e a flora, destacando as espécies indicadoras de qualidade ambiental, de valor científico e econômico, raras e ameaçadas de extinção e as áreas de preservação permanente.

Impende observar a perda de habitats e a influência de empreendimentos hidrelétricos tanto nas fauna e flora terrestre como nas aquática, bem como a possível alteração de áreas de preservação permanente dos cursos d'água.

Tiago Filho et al. (2008) e Carvalho (2014) destacam a supressão de vegetação, deslocamento e alteração comportamental da fauna e os impactos sobre a ictiofauna. Quanto a esta última, percebe-se que a construção de reservatórios se mostra impactante ao conjunto de nêctons, bentos e plânctons.

Zhang et al. (2014) comentam que a modificação do fluxo do rio causa impactos significativos na destruição de habitats de peixes, comprometendo a ictiofauna em geral.

Embora no trabalho de Pagnussatt et al. (2018) os envolvidos tenham relatado uma preocupação maior com os impactos socioeconômicos, o grupo “Eu sou crítico” ilustrou uma perspectiva de preocupação e negativismo acerca das centrais hidrelétricas, salientando o decréscimo na população de peixes. Acreditam que as PCHs causam muitos impactos negativos e que a flora não tem sido totalmente reposta pelos empreendedores. Expuseram ponto de vista negativo nos impactos ambientais e na falta de alternativas efetivas.

a) Impactos decorrentes da supressão de vegetação

Embora não consideradas de grandes dimensões, as áreas alagadas das PCHs e CGHs comprometem a vegetação nativa. A supressão de vegetação é

necessária para implantação de uma central. A Lei Federal n. 3.824, de 23 de novembro de 1960, tornou obrigatória a retirada de vegetação prévio enchimento dos reservatórios, embora esclareça a necessidade de reservar vegetação que garanta a proteção da ictiofauna e piscicultura.

A situação é ainda mais prejudicial ao considerar a inserção na região Sul e Sudeste, onde a vegetação remanescente de Mata Atlântica é crítica. As obras relacionadas a implantação das centrais devem obedecer ao disposto na Lei n. 11.428, de 22 de dezembro de 2006, que dispõe sobre a utilização e proteção da Mata Atlântica, que impõe a compensação ambiental a ser praticada pelos empreendimentos.

b) Comprometimento da ictiofauna

A diminuição nos níveis da água e na velocidade do fluxo, dependendo do trecho atingido pela mudança de curso e sua relevância ecológica, pode provocar alterações na fauna aquática, resultando na extinção de espécies endêmicas e na perda de biodiversidade (SOUZA et al., 2002; CARVALHO, 2014).

A criação de reservatórios compromete todos seres aquáticos, provocando interferência na migração dos peixes e alteração na fauna do rio, pois até mesmo a população de invertebrados (fonte de alimento às demais) sofre impactação. Em geral, a ictiofauna é modificada abaixo da represa, dentro da mesma e acima dela (TIAGO FILHO et al., 2008).

É conhecido que espécies de valor para o consumo humano são geralmente migratórias, espécies de piracema, as quais são influenciadas negativamente com a criação de obstáculos consequentes das barragens (TIAGO FILHO et al., 2008).

No fundo do reservatório acumula-se uma carga poluente que pode se misturar com a massa de água, em função do efeito do vento ou de inundações, gerando forte demanda de oxigênio e impactando de outra forma o sistema aquático. A redução da turbidez permite a penetração solar que pode atuar sobre o fundo de depósito bentônico e produzir um *bloom* de algas (rios menos profundos) (TUCCI; MENDES, 2006).

c) Comprometimento da fauna terrestre

Além da fauna aquática, a construção de barragens impacta as espécies terrestres, uma vez que ocorre interferência em seus nichos e habitats pela geração de ruídos, supressão de vegetação e enchimento do reservatório, além do constante e intenso movimento de pessoas (TIAGO FILHO et al., 2008), ocasionando deslocamento e alteração comportamental da mesma.

Há também o desenvolvimento de invertebrados vetores de doenças pela transformação do ambiente em lântico e aporte de esgotos. É um impacto que influencia a qualidade de vida da população lindeira, pois há aumento da incidência de doenças de veiculação hídrica.

II) IMPACTOS SOBRE O MEIO FÍSICO

A relação de impactos do meio físico consiste nos efeitos perceptíveis ao subsolo, solo, ar, água e clima quando há inserção de empreendimentos hidrelétricos. Destaca-se o comprometimento da qualidade do solo e da água, uma vez que no ar os efeitos são mínimos e temporários.

A Resolução CONAMA 001/86 define como meio físico aquele que compreende o subsolo, as águas, o ar e o clima, dando destaque aos recursos minerais, à topografia, aos tipos e aptidões do solo, aos corpos d'água, ao regime hidrológico, à correntes marinhas e às correntes atmosféricas.

a) Comprometimento da qualidade do solo

As margens de rios e cursos d'água possuem importante papel no amortecimento de cheias, distribuição de nutrientes e combate à erosão e ao assoreamento. A ocupação do solo pela formação da barragem compromete sua

qualidade e disponibilidade, prejudicando direta e indiretamente a qualidade da água e desenvolvimento da vegetação. Para Tiago Filho et al. (2008) e Carvalho (2014) a criação de centrais provoca empobrecimento do solo, dificultando a recomposição natural da última.

A desorganização dos horizontes, ocasionada pelas atividades de movimentação de terra para construção da central, canteiro de obras e bota-fora, provoca exposição das camadas inferiores e não vegetadas, impulsionando os processos erosivos. O desenvolvimento de focos de erosão é devido principalmente à supressão de vegetação e desorganização do solo, sendo causa direta do assoreamento do rio e do reservatório (TIAGO FILHO et al., 2008; CARVALHO, 2014).

Para Li et al. (2007), as obras civis comprometem o solo, resultando em diminuição da capacidade de sua conservação que, conseqüentemente, ocasiona erosão (ZHANG et al., 2014).

A compactação do solo, percebida também nas áreas de tráfego de maquinário e veículos, além de impulsionar o carreamento de sedimentos, compromete a infiltração de água e nutrientes, necessária para manutenção da flora e fauna. Ademais, não se descarta a possibilidade de contaminação dos mesmos, principalmente pelos resíduos de construção, óleos e graxas (TIAGO FILHO et al., 2008).

b) Comprometimento da qualidade da água

As centrais afetam a qualidade da água de diversas maneiras, modificando suas características físicas, químicas e biológicas. As obras alteram o leito original do rio e provocam redução da velocidade do escoamento, aumento da largura do rio e formação da área alagada. É conseqüente a deposição de sedimentos, acrescendo sólidos suspensos e turbidez na água, bem como influenciando significativamente o assoreamento. O assoreamento implica na diminuição do volume de água utilizável (de qualidade) e reduz a produção de energia. A concentração de nutrientes exerce tendência à eutrofização, com geração de gases e crescimento de algas que podem

produzir toxinas. A eutrofização favorece o crescimento de macrófitas, precursoras de doenças (ex. esquistossomose) e mau cheiro (TIAGO FILHO et al., 2008).

Para Tiago Filho et al. (2008) a alteração da água se deve principalmente ao lançamento de efluentes, tanto pela população local como pelos funcionários da obra. A alteração do ambiente lótico em lêntico, o assoreamento e carreamento de material ao corpo hídrico também foram destacados em seu trabalho.

Há a possibilidade de ocorrência de estratificação térmica, dependente da profundidade do reservatório, onde águas inferiores são frias e pobres em oxigênio, influenciando na liberação de metais pesados, nutrientes e sedimentos anaeróbios. Além das interferências no transporte de sedimentos e na oxigenação do rio, a criação de barragens compromete as vazões médias e, em função disso, muitas vezes o escoamento residual dos sistemas está aquém do necessário para promover a resiliência do meio (TIAGO FILHO et al., 2008).

Zhang et al. (2014) citam que a inundação da vegetação e criação do reservatório diminuem a qualidade da água do mesmo.

c) Comprometimento da qualidade do ar

Algumas fontes relatam o comprometimento da qualidade do ar ocasionado pelo intenso fluxo de máquinas e veículos, entretanto, esse impacto tem efeito temporário, uma vez que se restringe principalmente ao tempo de instalação da usina.

Carvalho (2014) reitera o citado por Tiago Filho et al. (2008) sobre a existência de emissões atmosféricas por meio dos equipamentos utilizados, do transporte de mão-de-obra e de materiais de construção por veículos pesados. Entretanto, destaca que essas emissões são relativamente baixas se comparadas a outras fontes.

Tiago Filho et al. (2008) comentam que o principal benefício das centrais hidrelétricas é a não produção de emissão atmosférica durante a geração de eletricidade, repercutindo em um impacto positivo de proporção global.

III) IMPACTOS SOBRE O MEIO SOCIOECONÔMICO

Estes são os impactos mais evidenciados pela inserção de centrais hidrelétricas. De acordo com a Resolução CONAMA 001/86, compreendem o uso e ocupação do solo, os usos dos recursos hídricos e as atividades econômicas, abrangendo a cultura e história do povo local. Incluem a dependência da sociedade e em relação aos recursos ambientais, sem negligenciar a potencial utilização futura destes.

No estudo de Pagnussatt et al. (2018) os cinco grupos demonstraram preocupação nos aspectos econômicos e sociais de forma evidente. Em todas as perspectivas houve menção sobre o preço da energia e a ausência de áreas de lazer, impactos negativos de destaque aos envolvidos, levando a uma importante consideração da necessidade de participação de interessados, principalmente as pessoas locais, no processo decisório.

a) Desapropriação e deslocamento de pessoas da área de inundação do lago

Como mencionado, a concepção de PCHs e CGHs não compreende, em geral, a criação de grandes reservatórios, o que pressupõe que não haja necessidade de grandes deslocamentos populacionais (CARVALHO, 2014). Entretanto, a consideração deve ser feita avaliando os potenciais hidráulicos da bacia, onde mais de um empreendimento pode interagir e, associadamente, causar um deslocamento populacional significativo.

No estudo de Pagnussatt et al. (2018) o grupo “Eu sou crítico” discorreu sobre os impactos na dimensão social, expondo a situação econômica desfavorável de muitas pessoas após o fim das obras, uma vez que muitos envolvidos retornam aos seus locais de origem. Relatam a presença de assaltos, lutas, prostituição durante a construção das centrais. Já o grupo “Eu peso todos os lados” percebem impactos positivos que compreendem a justa compensação paga aos realocados e a valorização de terras circunvizinhas.

b) Aumento da oferta de energia elétrica

As PCHs e CGHs aumentam a oferta de energia elétrica. Entretanto, como os reservatórios não permitem regularização do fluxo de água, muitas vezes, em épocas de estiagem, os empreendimentos tornam-se um problema local, pois, além de não haver vazão suficiente para impulsionar as turbinas, o custo da distribuição aumenta conforme a diminuição da oferta, afetando negativamente o sistema (CARVALHO, 2014).

A concepção deve ser fundamentada em rios com vazão de estiagem capaz de fomentar a produção da demanda para que o caráter desse impacto se mantenha benéfico.

Ao considerar o atendimento a comunidades isoladas, vê-se um benefício intrínseco das centrais. Se o atendimento for afastado do local de inserção, tem de se considerar o alto custo para a extensão da rede.

No estudo de Pagnussatt et al. (2018) o grupo “Eu peso todos os lados” percebe que a instalação de PCHs não ocasiona a redução de tarifas, não aumenta o número de cidades com energia e não promove melhorias no abastecimento de água.

Não obstante, a tecnologia empregada às PCHs e CGHs pode ou não estar conectada ao sistema elétrico, ou seja, seu emprego pode se dar de forma isolada, contribuindo de forma adequada ao desenvolvimento de regiões pendentes (CARVALHO, 2014).

d) Conflitos aos usos múltiplos

A Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH (Lei n. 9.433, de 08 de janeiro de 1997) assegura que a gestão dos recursos hídricos deve proporcionar o uso múltiplo das águas e que, em caso de escassez, o consumo humano e dessedentação de animais deve ser priorizado.

Carvalho (2014) afirma que embora as PCHs não se utilizem de grandes volumes de acumulação hídrica, o impacto causado em sua disponibilidade é um dos maiores problemas. O desvio de um curso natural de um rio em função da barragem pode ser uma fonte de conflito entre os usos.

A água é matéria-prima fundamental para a maioria das atividades econômicas. Tucci e Mendes (2006) citam alguns exemplos de conflitos, relacionando sua utilização na agricultura como meio de irrigação; para transporte de cargas por meio da navegação; para abastecimento humano de água potável e geração de energia elétrica. Como ressaltado, a geração de energia elétrica brasileira é consideravelmente hídrica, e a instalação de usinas hidrelétricas, independente do porte, podem comprometer a garantia da PNRH que defende o uso da água para mais de uma finalidade.

A depender do local de inserção as necessidades sobre a água podem ser conflitantes. Em zonas rurais, o uso excessivo para irrigação e retirada do rio e reservatório, seja para este fim ou outros, pode comprometer a geração de energia.

As vazões do rio abaixo do reservatório podem variar muito a depender da demanda, e essa flutuação é prejudicial para navegação e retirada de água para outros usos.

Pequenas barragens podem reter a água destinada para consumo agrícola, ocasionando diversas problemáticas em regiões com distribuição de chuvas inconstante. Há de se ressaltar que a vazão para geração de energia é consideravelmente superior à necessária para os outros usos, mas a soma desses pode ser significativa.

Os reservatórios são utilizados também no controle de inundações, onde, no período chuvoso, o rebaixamento dos níveis dos reservatórios pode amortecer as inundações, podendo este ser um impacto positivo aos usos diversos.

Além de impactos aos usos tradicionais da terra, em alguns casos há perdas de heranças históricas e culturais com o advento da construção das barragens, alterando o paisagismo e a cultura local.

d) Geração de empregos diretos e indiretos

A construção da usina requer uma utilização intensiva de mão de obra, consequentemente, na fase inicial há geração de muitos empregos diretos. A mão de obra temporária não necessariamente necessita qualificação, pois, em geral, o maior número está associado às obras civis. Durante a operação o cenário é modificado, havendo um menor número de empregados e necessidade de mão de obra qualificada. Se houver alguma contribuição empregatícia local, concentra-se na fase de instalação das centrais (TIAGO FILHO et al., 2008).

Há também a geração de empregos indiretos para prestação dos mais variados serviços em todas as etapas do empreendimento (TIAGO FILHO et al., 2008).

e) Aumento na arrecadação de impostos

A compra de materiais e uso de serviços provenientes das necessidades do empreendimento aquece a economia (TIAGO FILHO et al., 2008), porém, ressalta-se que o retorno do ICMS ocorre na ponta do consumo, onde a fatura é gerada, então, há de se considerar que a implantação de centrais destinadas a suprir demanda em locais diversos do sítio de inserção não traz exatamente contribuições positivas na questão dos impostos.

O grupo “Eu quero o bem-estar social” de Pagnussatt et al. (2018), demonstrou maior preocupação com os aspectos econômicos, acreditando na associação à benefícios sociais. Exploram o aumento do desenvolvimento socioeconômico, a contribuição dos impostos gerados pelas PCHs para melhoria da qualidade de vida da população, a justa compensação financeira aos reassentados e o replantio de vegetação nas áreas impactadas.

f) Criação de possibilidades de recreação e turismo

O desenvolvimento dos locais pode fomentar o interesse turístico e a implantação de empreendimentos hoteleiros, contribuindo para a economia dos locais.

A criação de estradas e acessos está intrínseca à implantação de empreendimentos hidrelétricos.

No estudo de Pagnussatt et al. (2018) os envolvidos relatam que esse não é um impacto positivo muito instigado. Dentre os grupos, apontam que não há incremento no lazer e incremento de visitas às centrais. Enfatizam, inclusive, a inserção de PCHs como prejudicial às atividades de lazer antes praticadas (grupo “Eu quero o bem-estar social”).

O grupo “Eu quero mais resultados” percebeu desenvolvimento na infraestrutura regional pelo meio da criação de estradas e novos acessos, bem como na redução do número de quedas na energia. Entretanto, exploram a necessidade de maior desenvolvimento regional.

g) Valorização imobiliária no entorno dos reservatórios

Se criado um programa eficiente e a infraestrutura de acesso for atrativa, há maior especulação imobiliária e consequente desenvolvimento regional (TIAGO FILHO et al., 2008). Estudos apontam inclusive a atratividade de novas empresas aos locais de inserção, como aponta o grupo “Eu vejo benefícios regionais” do estudo de Pagnussatt et al. (2018). Os pertencentes ao “Eu peso todos os lados” percebem valorização de terras circunvizinhas.

O grupo “Eu vejo benefício regionais” foi mais otimista na abordagem de Pagnussatt et al. (2018). Perceberam benefícios regionais sociais e econômicos, como a geração de novos empregos e o aumento no número de cidades com eletricidade. Em contraste com outros grupos, este acreditou que a inserção de PCHs atrai outras empresas à região. Exploram, entretanto, que as pessoas possuem críticas negativas pela dimensão ambiental, e ratificam a necessidade de cumprimento

dos parâmetros e da legislação ambiental vigente. A abordagem negativa deste grupo resume-se a falta de fomento ao turismo e diminuição no preço da energia.

A despeito, o grupo “Eu quero mais resultados” do estudo de Pagnussatt et al. (2018) discorda da valorização das terras próximas aos empreendimentos hidrelétricos, do pagamento de salários melhores aos trabalhadores e do incremento em áreas de lazer.

Logo, a potencialização desse impacto positivo pode ser feita por meio de programas que desenvolvam o turismo e recreação, discorrido no item anterior.

2.3.3 Mecanismos existentes para predição de impactos

O procedimento administrativo de Licenciamento Ambiental é feito com o objetivo de declarar, ambientalmente, a possibilidade de implantação de certo empreendimento. Conforme Resolução CONAMA n. 237, de 19 de dezembro 1997, trata-se do instrumento pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou causadoras de degradação ambiental, levando em consideração os preceitos legais.

Da sua evolução resultam os atos administrativos, as Licenças Ambientais, as quais determinam, a cada fase do procedimento, as condições, restrições e medidas de controle para a atividade.

No procedimento é exigido do empreendedor Estudos Ambientais que relatem aspectos relacionados à atividade, envolvendo desde o seu planejamento até sua operação. No Brasil diversas metodologias fundamentam o Estudo de Impacto Ambiental (EIA). Preconizado na Resolução CONAMA 001, de 23 de janeiro de 1986, o estudo deve contemplar:

I - Diagnóstico ambiental da área de influência do projeto completa descrição e análise dos recursos ambientais e suas interações, tal como existem, de modo a caracterizar a situação ambiental da área, antes da implantação do projeto, considerando:

a) o meio físico - o subsolo, as águas, o ar e o clima, destacando os recursos minerais, a topografia, os tipos e aptidões do solo, os corpos d'água, o regime hidrológico, as correntes marinhas, as correntes atmosféricas;

b) o meio biológico e os ecossistemas naturais - a fauna e a flora, destacando as espécies indicadoras da qualidade ambiental, de valor científico e econômico, raras e ameaçadas de extinção e as áreas de preservação permanente;

c) o meio sócio-econômico - o uso e ocupação do solo, os usos da água e a sócio-economia, destacando os sítios e monumentos arqueológicos, históricos e culturais da comunidade, as relações de dependência entre a sociedade local, os recursos ambientais e a potencial utilização futura desses recursos.

II - Análise dos impactos ambientais do projeto e de suas alternativas, através de identificação, previsão da magnitude e interpretação da importância dos prováveis impactos relevantes, discriminando: os impactos positivos e negativos (benéficos e adversos), diretos e indiretos, imediatos e a médio e longo prazos, temporários e permanentes; seu grau de reversibilidade; suas propriedades cumulativas e sinérgicas; a distribuição dos ônus e benefícios sociais.

III - Definição das medidas mitigadoras dos impactos negativos, entre elas os equipamentos de controle e sistemas de tratamento de despejos, avaliando a eficiência de cada uma delas.

IV - Elaboração do programa de acompanhamento e monitoramento (os impactos positivos e negativos, indicando os fatores e parâmetros a serem considerados).

Observa-se que, além do diagnóstico, o EIA deve abordar a análise dos impactos ambientais do projeto, inclusive alternativas, por meio da identificação, previsão da magnitude e interpretação das importâncias, considerando o positivismo e negativismo dos impactos, o tempo decorrente para sua manifestação, o tempo de duração, reversibilidade, e, principalmente, suas propriedades cumulativas e sinérgicas. Além disso, deve ser acompanhado de um Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), o qual deve ter uma linguagem mais acessível e permanecer público, apresentado de uma maneira mais objetiva e adequada, contendo:

I - Os objetivos e justificativas do projeto, sua relação e compatibilidade com as políticas setoriais, planos e programas governamentais;

II - A descrição do projeto e suas alternativas tecnológicas e locacionais, especificando para cada um deles, nas fases de construção e operação a área de influência, as matérias primas, e mão-de-obra, as fontes de energia, os processos e técnica operacionais, os prováveis efluentes, emissões, resíduos de energia, os empregos diretos e indiretos a serem gerados;

III - A síntese dos resultados dos estudos de diagnósticos ambiental da área de influência do projeto;

IV - A descrição dos prováveis impactos ambientais da implantação e operação da atividade, considerando o projeto, suas alternativas, os horizontes de tempo de incidência dos impactos e indicando os métodos, técnicas e critérios adotados para sua identificação, quantificação e interpretação;

V - A caracterização da qualidade ambiental futura da área de influência, comparando as diferentes situações da adoção do projeto e suas alternativas, bem como com a hipótese de sua não realização;

VI - A descrição do efeito esperado das medidas mitigadoras previstas em relação aos impactos negativos, mencionando aqueles que não puderam ser evitados, e o grau de alteração esperado;

VII - O programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos;

VIII - Recomendação quanto à alternativa mais favorável (conclusões e comentários de ordem geral).

Tucci e Mendes (2006) exploram que a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) é a forma de introdução dos estudos ambientais no Brasil, por meio da obrigatoriedade imposta na Resolução 001/86, constituindo, junto ao licenciamento ambiental, um instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA, Lei n. 6.938/1981), primeiro dispositivo legal associado à Avaliação.

Segundo Carvalho (2014, p. 65) a AIA é:

Um instrumento de política ambiental formado por um conjunto de procedimentos capaz de assegurar, desde o início do processo, que se faça um exame sistemático dos impactos ambientais de uma proposta e suas alternativas e que resultados sejam apresentados de forma adequada ao público e aos responsáveis pela tomada de decisão.

Em suma, para alcançar a finalidade proposta aos estudos de impactos ambientais, a AIA deve considerar os impactos causados durante as diversas fases (planejamento, instalação e operação) em todos os meios afetados (físico, socioeconômico e biológico), sendo o EIA um dos elementos de seu processo.

As AIAs, institucionalizadas pela Política Ambiental Nacional Americana (NEPA) entre as décadas de 60 e 70, subsidiam a reparação de danos e o estabelecimento de limites para as atividades que denigrem o meio. A NEPA foi pioneira ao alocar a AIA durante a análise de planos, programas e projetos e de propostas legislativas que intervêm no meio ambiente, com principal objetivo em abordar, de forma interdisciplinar e sistemática, os critérios envolvidos, almejando a prevenção de danos e ascendendo o meio ambiente ao patamar decisório dos processos (SADLER, 1996 apud NICOLADIS, 2005; TUCCI; MENDES, 2006).

Com a iniciativa americana em considerar os efeitos das atividades humanas ao meio ambiente por meio da AIA, alguns organismos internacionais passaram a exigir em seus programas de incentivo e cooperação econômica a observância dos estudos de avaliação ambiental, tais como a Organização das Nações Unidas (ONU), Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD) (CARVALHO, 2014).

A abordagem para uma AIA é influenciada por vários fatores, que interferem diretamente na escolha das metodologias empregadas. A natureza dos impactos, a disponibilidade e qualidade dos dados e disponibilidade de tempo, recursos financeiros e corpo técnico representam as maiores considerações a serem tomadas.

Os objetivos de uma AIA, conforme a *International Association for Impact Assessment* (IAIA) (1999; FERREIRA; CANTARINO, 2011), são assegurar que as considerações ambientais sejam explicitamente tratadas e incorporadas ao processo de decisão; antecipar, evitar, minimizar ou compensar os efeitos negativos relevantes biofísicos, sociais e outros; proteger a produtividade e a capacidade dos sistemas naturais, assim como os processos ecológicos que mantêm as funções e garantir a promoção do desenvolvimento sustentável, otimizando o uso e a gestão de recursos.

Os autores Ferreira e Cantarino (2011) e Carvalho (2014) citam vários métodos e ferramentas utilizadas no processo de AIA, dividindo-os em 02 (dois) grupos: (I) técnicas de delimitação e identificação, que analisam como e onde pode ocorrer um impacto; e (II) técnicas de avaliação, onde há quantificação e predição da magnitude e significâncias dos mesmos, com base em seu contexto e intensidade, conforme ilustrado na Figura 4.

Dentre os métodos mais empregados, podemos citar os Métodos *Ad-Hoc*, Listas de Controle (*check-lists*), Matrizes ou Matrizes de interação, como a Matriz de *Leopold*, Redes de Interação (*networks*), Superposição de Cartas (*overlay*), Sistema *Batelle-Collumbus*, Modelos de Simulação, Análise Multicritério, Sistemas Especialistas, Modelo *Fuzzy*, Diagrama de Fluxo e Projeção de Cenários (OLIVEIRA, 2008; CARVALHO, 2014).

Para entender o emprego e limitação dos métodos, é necessário conhecer como cada um trabalha na estimativa de impactos. Segundo Cremonez et al. (2014), a maioria dos métodos de AIA empregados possuem caráter subjetivo na abordagem do meio físico, e, por esse motivo, seu emprego deve ser precedido de critérios bem definidos. Alguns dos métodos frequentemente citados foram levantados nesta pesquisa, bem como suas limitações em relação à predição necessária a análises integradas, dentre eles: método *Ad-Hoc*, listas de controle, matrizes de interação, redes de interação, superposição de cartas e modelos de simulação.

O método *Ad-Hoc* consiste na formação de grupos de trabalho multidisciplinares, com profissionais qualificados em áreas diversas, os quais apresentam suas impressões acerca do projeto, bem como os possíveis impactos gerados (CREMONEZ et al., 2014). Surgiu da necessidade de tomada de decisões no tocante à implantação de projetos, sendo uma forma rápida, simples, compreensiva e dissertativa. É adequada em situações de escassez de dados e tempo (CARVALHO; LIMA, 2010; CREMONEZ et al., 2014). A subjetividade intrínseca a esse método constitui sua maior desvantagem, negligenciando o caráter quantitativo dos impactos. A utilização do método não é permitida na legislação vigente do país (SUREHMA/GTZ, 1992; CREMONEZ et al., 2014), embora sua citação e utilização é expressiva quanto ao assunto.

O método *Delphi* ou *Delfos* é o exemplo mais conhecido do método *Ad-Hoc*, o qual baseia-se em uma pesquisa qualitativa por meio de rodadas de questionamentos a serem respondidos pela equipe multidisciplinar, até o alcance de uma conclusão a

respeito (MORAES; AQUINO, 2016). A identificação dos impactos é, muitas vezes, feita por *brainstorming*¹² dos especialistas.

As *check-lists*, ou listas de controle, são uma forma de abordagem unidirecional em que há uma compartimentação do meio ambiente. É largamente utilizado pela sua maneira prática e fácil de aplicar, pois consiste em uma relação de fatores e parâmetros ambientais referenciais. Consiste na enumeração e identificação dos impactos a partir do diagnóstico prévio. A ordenação de informações e possibilidade em fixar prioridades consistem nas vantagens dessa avaliação basicamente qualitativa. Entretanto, possui as desvantagens de não ilustrar as interações entre o meio ambiente e os efeitos do projeto, da possibilidade de elaboração de listas muito extensas que dificultam a compreensão dos analistas, da subjetividade da análise e da falta de quantificação dos efeitos (MORAES; AQUINO, 2016).

As matrizes de interação podem ser vistas como as listagens de controle, mas de abordagem bidimensional, relacionando os fatores com suas ações. É eficiente na identificação de impactos diretos dos empreendimentos, relacionando fatores ambientais com os componentes dos projetos (CREMONEZ et al., 2014). A matriz de *Leopold* é um tipo de matriz de interação muito comum na apresentação de estudos ambientais. Criada em 1971, foi projetada para avaliar impactos da implantação de quase todos os tipos de projetos, compreendendo 100 (cem) ações com potencial de causar impacto ambiental e 88 (oitenta e oito) características ambientais (FINUCCI, 2010; CREMONEZ et al., 2014). Inicialmente, são assinaladas as ações e os fatores, para que depois seja possível estabelecer a magnitude e a importância de cada impacto em uma escala que varia de 0 a 10. Apresenta, dessa forma, uma abordagem quantitativa dos impactos, bem como relaciona se ele é benéfico ou adverso ao meio ambiente. É considerada uma metodologia simples que possibilita comparar diversas alternativas de intervenção, abrangendo os meios físico, biótico e socioeconômico (MORAES; AQUINO, 2016).

¹² *Brainstorming*, ou “tempestade de ideias”, segundo o SEBRAE, é uma ferramenta essencial criada por Alex Osborn com aplicação em 1938, que consiste na identificação de variadas formas de pensamento, aumentando a quantidade de proposições. Disponível em: <https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/741A876FE828908203256E7C006>. Acesso em: 26 dez. 2018.

Como discorrido no item sobre impactos ambientais, a magnitude é relativamente objetiva, enquanto que a importância representa subjetividade à avaliação. Além desse viés, a impossibilidade em estimar a curto, médio e longo prazo os impactos representa outra dificuldade do método. Ainda, a falta de clareza sobre a metodologia de cálculos da matriz nas escalas de pontuação permite as mais variadas críticas destrutivas, bem como a baixa eficiência na predição de impactos indiretos (CREMONEZ et al., 2014).

As redes de interação (*networks*) estabelecem relações do tipo causa-condição-efeito, propiciando uma identificação dos impactos e suas inter-relações, associadas a parâmetros de magnitude, importância e probabilidade, retratando ações que podem desencadear direta ou indiretamente ao empreendimento (MORAES; AQUINO, 2016). Procura estabelecer uma sequência de impactos ambientais provenientes da intervenção ocasionada pelo projeto estudado, utilizando-se gráficos para representação (OLIVEIRA; MOURA, 2009; CREMONEZ et al., 2014). Por meio das redes é possível o cruzamento de fatores, podendo analisar em uma mesma cadeia de impactos efeitos sobre o meio físico, biológico e socioeconômico (ERICKSON, 1994; CREMONEZ et al., 2014). Embora apresentem o entendimento de impactos secundários e possibilidade de introdução de métodos estatísticos, os quais permitem prever modificações futuras, as redes não detectam aspectos temporais, dinâmica do sistema e importância relativa dos impactos (CREMONEZ et al., 2014).

A superposição de cartas (*overlays*) relaciona a utilização de técnicas cartográficas para identificação e avaliação dos impactos ambientais, tornando-se possível dimensionar sua abrangência. Fotografias cartográficas utilizadas no planejamento territorial são sobrepostas, formando mapas temáticos que indicam as características as quais refletem um impacto. Os resultados podem ser compostos conforme conceitos de vulnerabilidade ou potencial dos recursos ambientais, onde a intensificação de cores permite ponderar os impactos. Com os avanços computacionais e com auxílio de satélites a técnica tornou-se rápida e prática, com precisão significativa. Não obstante aos avanços, a superposição de mapas tem como desvantagens a subjetividade dos resultados, a dificuldade na quantificação dos impactos e a integração precária de impactos socioeconômicos, além de não

considerar a dinâmica dos sistemas ambientais e ser oneroso (CREMONEZ et al., 2014).

Os modelos de simulação utilizam a inteligência artificial ou modelos matemáticos para reproduzir o comportamento de parâmetros ambientais ou as relações entre as causas e efeitos das ações (OLIVEIRA; MOURA, 2009; CREMONEZ et al., 2014). É um método de grande utilidade cujo objetivo é fornecer diagnósticos e prognósticos da qualidade ambiental da área de influência do projeto, podendo ser aplicado em todas as fases do projeto. As simulações são capazes de envolver atributos qualitativos e quantitativos e incorporar medidas de magnitude e importância dos impactos, adaptam-se a diferentes processos de decisão e facilitam o envolvimento de vários transformadores (CREMONEZ et al., 2014). Sua principal desvantagem está relacionada à mão de obra qualificada e programas adequados, resultando em um uso excessivo de recursos, sejam eles financeiros, tecnológicos e humanos. Também se apresenta, muitas vezes, com linguagem de difícil entendimento, gerando distorções de ideias entre os envolvidos. Entretanto, a consideração da dinâmica dos sistemas, das interações entre os fatores e impactos, bem como das variáveis temporais traduz vantagens à utilização do método (MORAES; AQUINO, 2016).

Conforme aponta Carvalho (2014), não existe um método ideal ou padrão para avaliação ambiental de todos os projetos, a escolha do método a ser utilizado, bem como adaptações necessárias, dependem das características do caso em estudo, e, muitas vezes, o método mais adequado para predição dos impactos em certo caso é aquele que reúne mais de uma metodologia existente, visto as deficiências inerentes em todos os casos e a possibilidade de minimizá-las com o uso conjunto.

Embora seja a ferramenta mais comum no alcance de anuências ambientais, a AIA contempla alguns problemas em sua aplicação, principalmente no que concerne a antecipação de projetos, impactos e sustentabilidade, uma vez que sua análise ocorre muitas vezes quando prazos já estão estabelecidos e acordos firmados; a ineficiente e até mesmo inexistente metodologia sistematizada para a avaliação de impactos cumulativos e sinérgicos e a falta de integração entre as políticas envolvidas, em especial a ambiental e a de desenvolvimento econômico e social (TUCCI; MENDES, 2006). Ainda, os autores enaltecem que (2006, p. 239):

O EIA tem como princípio a avaliação dos impactos dentro da sua área de influência, mas geralmente tem sido desenvolvido com profundidade limitada quanto aos aspectos integradores de cada tipo de projeto. Por exemplo: (a) a aprovação de um projeto de drenagem ou de um efluente não envolve a avaliação de todos os impactos existentes a montante e a jusante daquele local, mas os elementos que individualizam o projeto; (b) O EIA de uma hidrelétrica geralmente não considera os efeitos sinérgicos de toda a bacia quanto aos empreendimentos atuais e futuros previstos.

A limitação da avaliação individual dos projetos e os efeitos potencializados dos impactos ambientais intersetoriais têm levado a necessidade de avaliar o impacto ambiental dentro de uma visão integradora tanto no espaço como intersetorial visando a prevenção e a mitigação dos impactos.

Carvalho (2014) aponta em seu estudo diversas limitações do processo de AIA na literatura pertinente, até mesmo quando sua utilização é considerada adequada. O período em que o processo de avaliação de impactos ambientais é empregado é considerado tarde no processo de planejamento de um empreendimento, tornando difícil assegurar que as alternativas relevantes sejam eficientemente adotadas (O'RIORDAN; SEWELL, 1981; ARMOUR, 1991; DARRIEUTORT, 1991; WOOD; DEJEDDOUR, 1992; SHEATE; CERNY, 1992; THÉRIVEL et al., 1992; LEE; WALSH, 1992; WILSON, 1993; SHEATE, 1993, CARVALHO, 2014).

Ainda, concernente aos impactos cumulativos e sinérgicos, Wörnback e Hilding-Rydevik (2009) exploram que um grande número de estudos da AIA de vários países mostra que a forma de abordagem sobre os mesmos é insatisfatória (CARVALHO, 2014).

Egler (2001, FERREIRA; CANTARINO, 2011) afirma que a AIA de projetos é normalmente focada e restrita à consideração dos impactos diretos do empreendimento, negligenciando uma diversidade de outros possíveis impactos.

Del Río e Burguillo (2009) argumentam que a maioria dos estudos sobre impactos e benefícios socioeconômicos de projetos de energia renovável são muito gerais e superficiais (PAGNUSSATT et al., 2018). No estudo de Pagnussat et al. (2018) considerou-se escassa a quantidade de estudos que focam regiões e, mais especificamente, comunidades locais diretamente afetadas pelos projetos hidrelétricos, enquanto que uma visão focada é imprescindível para compreensão e aceitação.

Para Abbasi e Abassi (2011) e Pagnussat et al. (2017) a previsão de “armadilhas” e a adoção de medidas corretivas adequadas podem evitar danos ambientais e modificar consideravelmente a insatisfação pública.

Por esse motivo, considerou-se a Avaliação Ambiental Integrada como instrumento de complementação à Avaliação de Impactos Ambientais no âmbito energético. Segundo Tucci e Mendes (2006), trata-se de uma forma de abordagem da AIA que é desenvolvida para fazer análises antecipadas e integradas de políticas, planos e programas que afetam o meio ambiente, auxiliando, conseqüentemente, na melhoria de sua qualidade desde o planejamento de empreendimentos e projetos.

2.4 AVALIAÇÃO AMBIENTAL INTEGRADA (AAI)

A Avaliação Ambiental Integrada é a análise ambiental de cenários e impactos em uma bacia hidrográfica dentro das políticas existentes e planejadas. Segundo a *European Environment Agency* (EEA) (1999) “é o processo interdisciplinar e social, ligando conhecimento e ação no contexto de decisão pública, para a identificação, análise e avaliação de todos os relevantes processos naturais e humanos e suas interações com atual e futuro estado da qualidade do meio ambiente e recursos nas apropriadas escalas de tempo e espaço, assim facilitando a definição e implementação de políticas e estratégias” (TUCCI; MENDES, 2006, p. 236).

Para Carvalho (2014) a AAI é o procedimento que se insere no planejamento energético e ambiental como um instrumento intermediário entre a realização de inventário e estudos de viabilidade, com objetivo geral em subsidiar a definição de diretrizes e orientações para o planejamento e implementação de ações em uma região no âmbito da Política Energética Nacional, criada pela Empresa de Pesquisa Energética. Suas principais considerações são:

- Usos da água para geração de energia, seus conflitos com os demais usos (existentes e potenciais) e a necessidade de preservação ambiental;
- Usos do solo e dos recursos naturais e sua importância para as sociedades locais, do ponto de vista econômico, cultural e social;

- Cenários de desenvolvimento e os efeitos da implantação de novos empreendimentos hidrelétricos, de forma a identificar os efeitos cumulativos e sinérgicos decorrentes da implantação de todo o potencial previsto;
- Orientação dos esforços no sentido de fornecer instrumental técnico para o planejamento e a tomada de decisão, pelo setor elétrico, relacionado às suas ações futuras na bacia.

É um ferramental que pode ser utilizado pela Avaliação Ambiental Estratégica (AAE) na definição dos impactos e na avaliação dos cenários propostos em suas políticas, planos e programas. Conforme Carvalho (2014), as AAEs são avaliações mais amplas que projetos individuais, as quais estimam consequências, inclusas políticas, planos e programas. São, em geral, aplicadas no âmbito de atividades governamentais, onde um processo sistemático é realizado para avaliar impactos de uma política ou outro instrumento normativo, bem como suas alternativas, possuindo um grande potencial em influenciar os mesmos¹³.

O termo *integrado* refere-se à integração dos efeitos dos diferentes empreendimentos hidrelétricos existentes e à interação das diferentes variáveis que caracterizam impactos ambientais (EPE, 2005; CARVALHO, 2014). Considera os aproveitamentos em planejamento, construção e operação na bacia; as áreas sensíveis e mais frágeis¹⁴ aos impactos; os cenários alternativos de desenvolvimento; a biodiversidade e uso do solo, devidamente inseridos na dinâmica de desenvolvimento inter-regional e nacional.

Tucci e Mendes (2006) enunciam que os principais componentes a serem consideradas na avaliação do desenvolvimento sustentável em recursos hídricos dependem de uma visão integrada dos ambientes, das condicionantes socioeconômicas, dos sistemas hídricos e de disciplinas do conhecimento. Os

¹³ Há muitos conflitos e confusões em relação ao emprego da AAE, uma vez que se trata de ferramenta readaptável, sem forma fixa. Procedimentos técnicos são flexíveis e adotam enfoques metodológicos diferenciados, dependendo da abordagem escolhida. Não é vista, pelos motivos elencados, como uma ferramenta avançada, e sim uma forma de suporte para melhor avaliação de projetos. Não substitui o EIA e a até então empregada AIA, mas trata melhor os impactos sinérgicos, cumulativos e de grande escala, reduzindo o tempo e custo do EIA (CARVALHO, 2014).

¹⁴ Sensibilidade entende-se como propriedade de reagir dos sistemas, alterando seu estado de qualidade, quando afetados por uma ação humana. Já a fragilidade compreende o grau de suscetibilidade do meio ao dano, ante a incidência de determinadas ações (CARVALHO, 2014).

mesmos informam que o gerenciamento integrado a nível nacional, regional ou local depende essencialmente de alguns elementos, dentre eles a legislação nacional intersetorial, a bacia como unidade de planejamento, participação pública, a gestão pelos comitês de bacia, os mecanismos de valoração da água, a garantia de mecanismos de conservação por meio de legislação e fiscalização e planos que estabeleçam a efetiva integração. Para estes autores a AAI deve considerar os impactos da mesma forma que o EIA, nas três dimensões: meio socioeconômico, ambiente terrestre e ambiente aquático (para os meios físico e biótico).

Quando se trata de avaliação integrada dos recursos hídricos, a consideração precípua relaciona-se ao uso da área de influência relacionada com a bacia hidrográfica, podendo se expandir nas duas primeiras dimensões citadas acima, se forem identificadas influências sensíveis. O uso da bacia hidrográfica como unidade territorial na AAI permite uma adequação à gestão dos recursos hídricos, que já é prevista na legislação brasileira pela Política Nacional de Recursos Hídricos (TUCCI; MENDES, 2006).

Carvalho (2014, p. 118) cita o entendimento da Empresa de Pesquisa Energética (2005), que, responsável por estudos de análise integrada, interpreta:

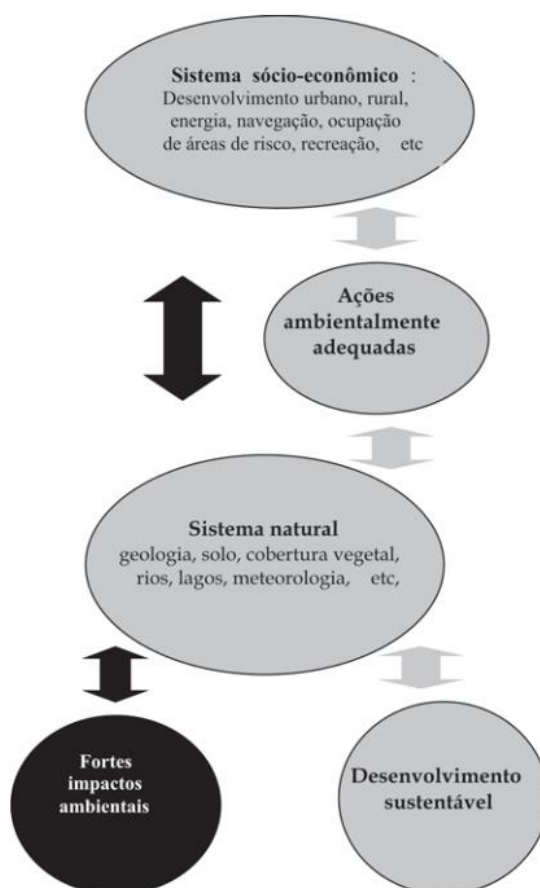
a partir do conhecimento da bacia e dos principais aspectos ambientais que a compõem, o estudo integrado envolve preferencialmente formar um sistema de informações, associado a indicadores de diversas naturezas, de maneira a compreender a complexidade dos ambientes que constituem a bacia, sua dinâmica ambiental e as principais pressões socioeconômicas, resultantes especialmente das atividades produtivas desenvolvidas pelo homem na bacia, representados em modelo espacial e/ou por modelagem matemática das variáveis que possam representar os principais aspectos ambientais, na área de abrangência do empreendimento.

Em bacias hidrográficas, conforme apontam Tucci e Mendes (2006), os impactos não ocorrem de forma isolada, sendo resultados da integração de efeitos dos diferentes usos do ambiente. Cada bacia demonstra a integração desses efeitos de forma diferente, sendo que devem ser estudadas caso a caso. Os usos preponderantes devem ser analisados, notadamente aqueles que se destacam nas bacias brasileiras: agrícola, cujas influências se destacam na irrigação e carga difusa; urbano, que compreende o abastecimento público, esgoto industrial e doméstico; barragem para hidrelétrica e navegação, bem como os impactos gerados à sociedade,

como contaminação e inundação; e ao meio ambiente, com destaque nas consequências do desmatamento, erosão e mineração.

O efeito sinérgico ou integrado é consequência desses usos dissidentes e dos impactos ocasionados na bacia. A Figura 8 ilustra o esquema de interação entre os sistemas, elaborado por Tucci (2001), representando os principais fatores envolvidos no processo de análise para o alcance do desenvolvimento sustentável. Entre os sistemas há dois caminhos, o de cor preta, segundo o autor, representa as pressões sobre o sistema, em que se priorizam os interesses de curto prazo. O oposto é representado pela cinza, na qual ações que visam ao desenvolvimento sustentável são tomadas.

Figura 8 - Sistemas e interações



Fonte: TUCCI; MENDES, 2006.

Dentre os desafios atuais na gestão de recursos hídricos do país, Tucci e Mendes destacam (2006, p. 148)

o desafio de desenvolver a visão integrada dos recursos hídricos no ambiente setorial como água e saneamento e energia. No primeiro falta a visão integrada no meio urbano e busca de resultados de melhoria ambiental a jusante das cidades. No segundo, os conflitos ambientais e a busca de projetos mais sustentáveis de produção de energia.

As principais etapas de uma AAI, conforme descreve Carvalho (2014), compreendem a caracterização dos aspectos ambientais principais; a identificação das variáveis, indicadores e identificação dos modelos, conforme o desenvolvimento de uma Avaliação Ambiental Distribuída – AAD; simulação e avaliação de cenários e dos aspectos ambientais de uma forma integrada; e estabelecimento de diretrizes que irão reger a implantação dos empreendimentos futuros e prever os efeitos cumulativos e sinérgicos.

Em Santa Catarina, a obrigação referente à Avaliação Ambiental Integrada está fundamentada em legislação específica, instituída pela Lei Estadual n. 14.652, de 13 de janeiro de 2009, mais tarde modificada pela Lei n. 16.344, de 21 de janeiro de 2014 e pela Lei n. 17.451, de 10 de janeiro de 2018.

A Lei n. 14.652/2009 institui a obrigação da AAI para fins de licenciamento ambiental de empreendimentos hidrelétricos, conforme redação de seu 1º artigo “As usinas hidrelétricas no Estado dependem, para fins de emissão de licença ambiental prévia, de avaliação integrada da bacia hidrográfica” (SANTA CATARINA, 2009).

A Lei inclui os procedimentos de pequenas centrais, as quais apenas estarão dispensadas conforme redação do artigo 2º, modificado pelas Leis n. 16.344/2014 e n. 17.451/2018:

Art. 2º O licenciamento ambiental das Pequenas Centrais Hidroelétricas no Estado de Santa Catarina, definidas nos estudos de inventário hidroelétrico e nos projetos básicos aprovados pela Agência Nacional de Energia Elétrica, fica dispensado da obrigação prevista no art. 1º desta Lei, exceto quando houver: (Redação dada pela Lei nº 16.344/2014)

I - necessidade de desmatamento da vegetação nativa em estágio avançado de regeneração superior a 100 (cem) hectares, por empreendimento; ou (Redação dada pela Lei nº 17.451/2018)

II - área total alagada superior a 200 (duzentos) hectares, por empreendimento. (Redação dada pela Lei nº 17.451/2018)

Embora alguns empreendimentos não se encaixem na obrigatoriedade imposta pelo estado catarinense, o licenciamento de empreendimentos hidrelétricos, mesmo independentes de AAI, devem observar a não-fragmentação de corredores ecológicos; a implantação de área de preservação permanente; a não-alteração da qualidade dos recursos hídricos, quando o empreendimento estiver a montante da captação de água para consumo humano; a manutenção da vazão em todo trecho ensecado; e que a câmara de descarga esteja livre e corretamente posicionada na base do barramento (art. 3º, inc. I-V, Lei n. 14.652/2009).

2.4.1 AAI no âmbito da EPE

A realização de estudos ambientais para aproveitamento de energia constitui alçada da Empresa de Pesquisa Energética (GALLARDO et al., 2017) que, criada pela Lei n. 10.847/2004, objetiva resgatar a responsabilidade constitucional do Estado em assegurar as bases para o desenvolvimento sustentável da infraestrutura energética do país.

De acordo com a EPE (2018), a Avaliação Ambiental Integrada de aproveitamentos hidrelétricos situados em bacias hidrográficas tem como objetivo avaliar a situação ambiental da bacia com os empreendimentos hidrelétricos implantados, bem como com os potenciais barramentos, considerando seus efeitos cumulativos e sinérgicos sobre os recursos naturais e as populações humanas, e os usos atuais e potenciais dos recursos hídricos no horizonte atual e futuro de planejamento.

Ainda, trata-se de um estudo que considera a necessidade de compatibilizar a geração de energia com a conservação da biodiversidade e manutenção dos fluxos gênicos, a sociodiversidade e a tendência de desenvolvimento socioeconômico da bacia, respeitando a legislação pertinente e os compromissos internacionais assumidos pelo governo federal.

Os relatórios da Bacia do Rio Uruguai, Rio Tocantins, Rio Tibagi, Rio Teles Pires, Rio Parnaíba, Rio Paraíba do Sul, Rio Juruena, Rio Jari, Rio Doce, Rio Branco,

Rio Aripuanã e Rio Araguaia fazem referência a AAI para o alcance da sustentabilidade energética das bacias e estão disponíveis na plataforma eletrônica da EPE.

A fim de inquirir sobre os estudos realizados no âmbito integrado pela empresa, analisou-se a AAI da Bacia do Rio Uruguai, elaborada em abril do ano de 2007. Os tópicos mais importantes do desenvolvimento foram relatados, sem preocupar-se propriamente com os resultados, uma vez que a sua metodologia reflete maior importância para este trabalho.

A avaliação ambiental integrada dos aproveitamentos hidrelétricos da Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai foi publicada em forma de Sumário Executivo, no documento, está explícita a necessidade de conhecimento da cumulatividade e sinergia dos impactos dos conjuntos de aproveitamentos hidrelétricos na bacia para as avaliações de viabilidade de novos projetos.

O estudo levantou os empreendimentos:

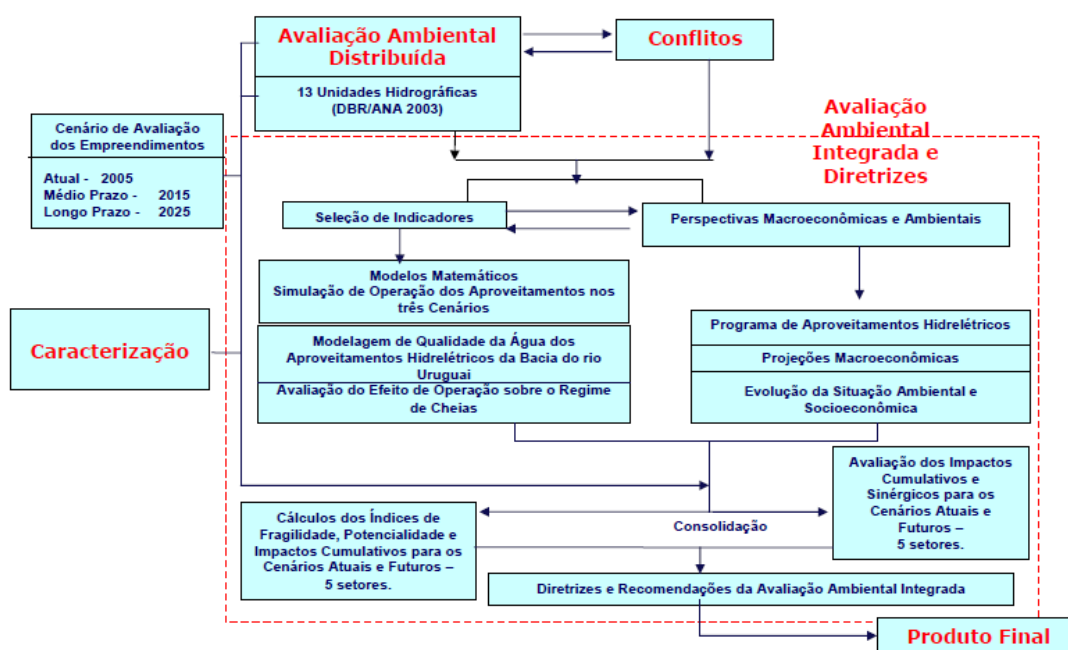
- Em operação;
- Com concessão, em fase inicial de implantação;
- Com concessão, com obras não iniciadas;
- Com concessão e estudos aprovados;
- Com estudos aprovados, leiloados, mas sem concessão;
- A licitar, com estudos ambientais em elaboração;
- E aqueles com inventário final.

O levantamento deixou clara a abordagem não só dos empreendimentos existentes, mas também os empreendimentos em estudos e em fases de obtenção de anuências estatais.

Em 2004, por consequência de um Termo de Compromisso assinado com intuito de dar continuidade ao licenciamento do aproveitamento de Barra Grande, ficou a cargo do Ministério de Minas e Energia (MME) a elaboração de estudo que contemplasse a Avaliação Ambiental Integrada dos aproveitamentos da Bacia do Rio Uruguai, e ao Ministério do Meio Ambiente (MMA) coube a elaboração de Termo de Referência para os estudos de AAI (EPE, 2007), podendo essa metodologia proposta ser adotada como diretriz no desenvolvimento de novos estudos em outras bacias.

A metodologia aplicada contemplou as seguintes etapas: Caracterização, Avaliação Ambiental Distribuída (AAD¹⁵), Principais Conflitos, Avaliação Ambiental Integrada (AAI) e Diretrizes, conforme ilustrado na Figura 9. A AAI foi abordada como um processo, sendo cada etapa subsidiada pelo resultado das precedentes, consistindo, assim, em um processo circular de revisão e aperfeiçoamento, construído desde o início dos estudos.

Figura 9 - Estrutura metodológica do AAI da Bacia do Rio Uruguai, conforme Termo de Referência



Fonte: EPE, 2007.

O trabalho foi dividido em macroatividades, dentre elas: a caracterização da bacia concernente aos seus recursos hídricos e ecossistemas aquáticos, ao meio físico e ecossistemas terrestres e à socioeconomia; a macroatividade de Avaliação Ambiental Distribuída e de Avaliação Ambiental Integrada.

¹⁵ Ferramenta útil ao considerar as diferentes tipologias de impactos cumulativos, inclusive sinérgicos, sendo parte integrante em AIAs. É fundamentada na consideração integrada, cumulativa e sinérgica de impactos. Embora útil, não há instruções relativas à forma de como deve ser realizada. O processo mais indicado para sua condução é por meio do AAE, uma vez que o AIA é menos abrangente, embora extenso (CARVALHO, 2014).

A caracterização da bacia contemplou um panorama holístico, identificando elementos que mais se destacam na situação atual e suas tendências evolutivas, inclusas suas potencialidades e espaços de gestão ambiental. A bacia foi subdividida em 04 (quatro) compartimentos, sem perder a visão do conjunto mesmo facilitando o estudo. Os compartimentos são: Uruguai Alto, Uruguai Médio, Ibicuí e Negra. Salienta-se que o Canoas e seus afluentes, componentes da Região Hidrográfica 4 (RH4)¹⁶, estão categorizados no Uruguai Alto.

A AAD objetivou identificar os indicadores e caracterizar os impactos ambientais por subdivisão da bacia e sinérgicos que extrapolam as subdivisões (EPE, 2007). O relato dos principais conflitos frente aos usos do solo, recursos hídricos, da necessidade de conservação e manutenção dos fluxos gênicos foi primordial. Houve consideração do proposto pela Agência Nacional de Águas (ANA), em que 13 Unidades Hidrográficas foram definidas a fim de identificar suas fragilidades e potencialidades. A concepção baseou-se na definição de indicadores ambientais que possam retratar, de forma quantitativa, as interações que ocorrem no meio estudado.

A expressão deles deu-se entre os limites de 0 (zero) a 1 (um). O valor 1 corresponde a máxima fragilidade, potencialidade ou impacto. Adotou-se um “valor de referência” para representar uma situação crítica (quando consideradas as fragilidades) ou desejável (quando consideradas as potencialidades). A hierarquização segue conforme Figura 10.

Figura 10 - Hierarquização adotada

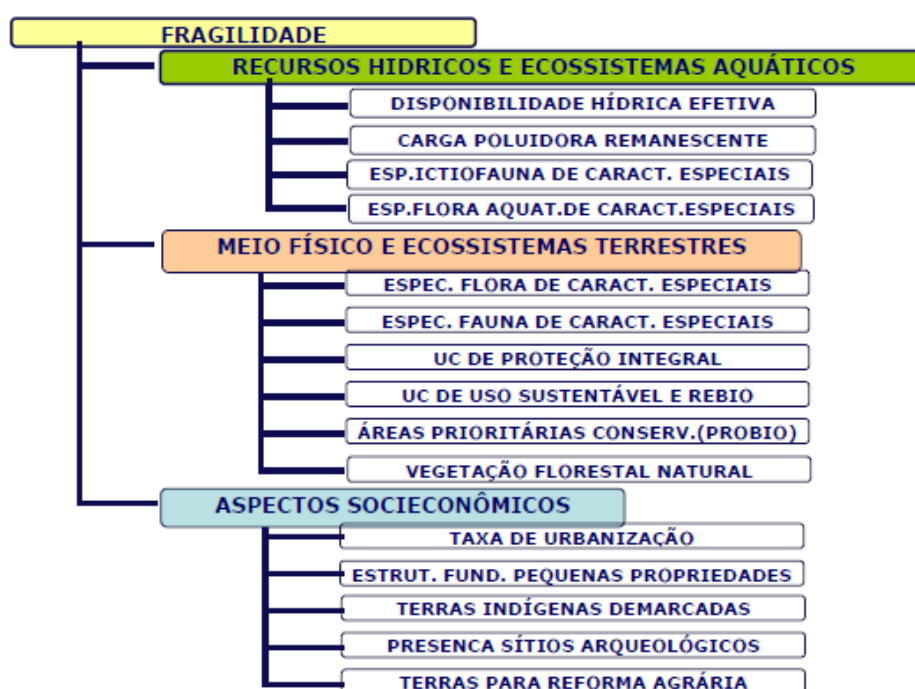
Índices	Baixo	Moderado	Relevante	Muito Relevante
Fragilidade e Potencialidade	0 a ≤ 0,20	0,21 a ≤ 0,50	0,51 a ≤ 0,80	0,81 a ≤ 1,00

Fonte: EPE, 2007.

¹⁶ Conforme apontado pela Diretoria de Recursos Hídricos (DRHI), o Estado de Santa Catarina (SC) foi subdividido em 10 Regiões Hidrográficas (RH), resultado do estudo das “Bacias Hidrográficas do Estado de Santa Catarina Diagnóstico Geral” (1997). As RHs constituem-se por até três bacias hidrográficas contíguas, afins e consideradas principais, enquanto que seus divisores de águas configuram o limite geográfico das regiões. As bacias categorizadas como sendo de Vertente do Interior deságuam em rios, diferente das de Vertente Atlântica que já deságuam diretamente no oceano. Na Vertente do Interior, como é o caso da Região Hidrográfica do Planalto de Lages, também chamada como Região Hidrográfica 4 (RH4), os rios apresentam perfil longitudinal com longo percurso e com significativas quedas d’água, evidenciando o potencial hídrico para geração de energia.

Os indicadores de fragilidade foram definidos sobre três linhas temáticas: Recursos Hídricos e Ecossistemas Aquáticos, Meio Físico e Ecossistemas Terrestres e Aspectos Socioeconômicos. Quanto maior este índice, maior a sensibilidade da Unidade Hidrográfica frente ao recebimento dos empreendimentos hidrelétricos. Quinze (15) indicadores foram utilizados para os cálculos de fragilidade, quatro (4) relacionados aos recursos hídricos e ecossistemas aquáticos, seis (6) para meio físico e ecossistemas terrestres e cinco (5) para os aspectos socioeconômicos, ilustrado na Figura 11.

Figura 11 - Índices de Fragilidade - AAI



Fonte: EPE, 2007.

O cálculo de cada índice resultou do somatório dos indicadores, cada qual multiplicado por um peso relativo à sua composição no índice final. Para ecossistemas aquáticos, as ponderações foram de 0,15 para disponibilidade hídrica efetiva; 0,3 para carga poluidora remanescente; 0,3 para espécies da ictiofauna de características especiais; e 0,25 para espécies da flora aquática de características especiais.

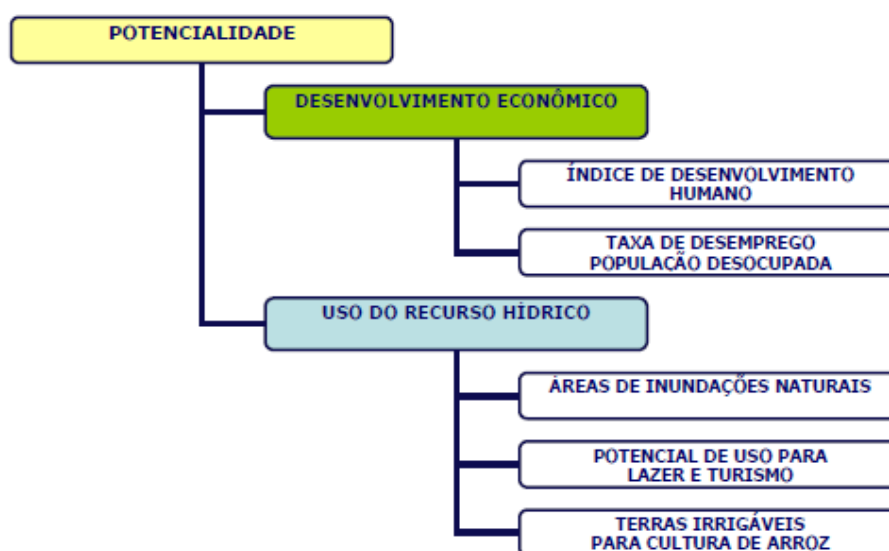
Para os ecossistemas terrestres, abordou-se os seguintes pesos: espécies de interesse especial da flora terrestre: 0,1; espécies de interesse especial da fauna

terrestre: 0,1; porcentagem de unidades de conservação de proteção integral: 0,3; porcentagem de unidades de conservação de uso sustentável e reserva da biosfera: 0,2; porcentagem de áreas prioritárias para criação de unidades de conservação: 0,1; porcentagem de ocupação por vegetação florestal natural: 0,2.

Já quanto aos aspectos socioeconômicos, os fatores de ponderação para cada indicador foram taxa de urbanização: 0,15; estrutura fundiária (pequenas propriedades): 0,40; porcentagem de terras indígenas na unidade hidrográfica: 0,25; presença de sítios arqueológicos: 0,1; porcentagem de terras para reforma agrária: 0,1.

Os indicadores de potencialidades definiram os temas Desenvolvimento Econômico e Uso dos Recursos Hídricos, destacando o potencial dos usos múltiplos. Buscam retratar a capacidade das regiões em assimilar e/ou se beneficiar de impactos positivos provenientes da implantação de empreendimentos hidrelétricos. Quanto maior seu valor, então, maior a capacidade da bacia em potencializar os aspectos positivos que resultam das obras e operação de usinas. Esses indicadores relacionaram-se principalmente com os aspectos socioeconômicos da unidade hidrográfica, sendo definidos em cinco (5). Dois (2) abordam questões relativas ao desenvolvimento econômico e três (3) quanto aos usos múltiplos do recurso hídrico, conforme Figura 12.

Figura 12 - Índices de Potencialidade - AAI



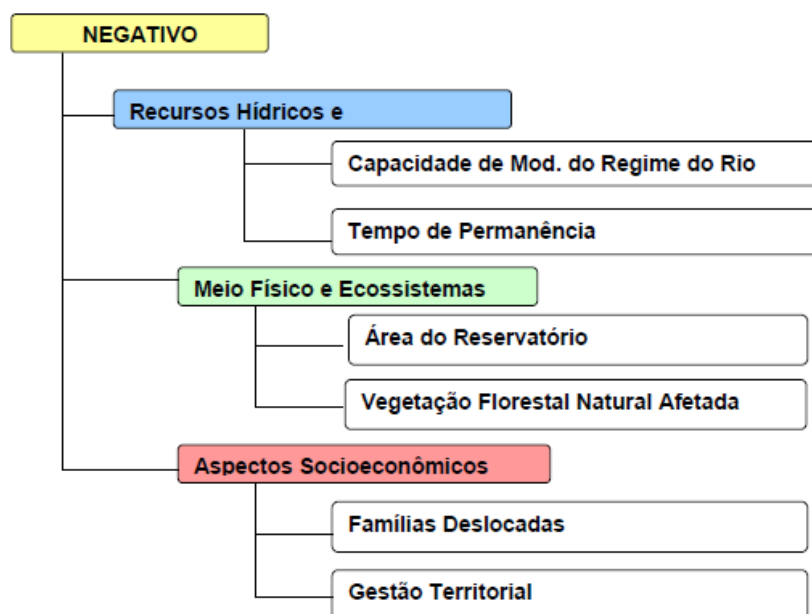
As ponderações foram 0,6 ao IDH e 0,2 à taxa de desemprego, que totalizam o índice de desenvolvimento econômico. Aos usos múltiplos, ponderou-se áreas inundáveis: 0,40; potencial de uso para lazer e turismo: 0,20; terras aptas à irrigação: 0,40.

Aos usos múltiplos, as ponderações foram áreas inundáveis: 0,40; potencial de uso para lazer e turismo: 0,20 e terras aptas à irrigação: 0,40.

Os impactos foram segregados em blocos de negativismo e positivismo. Os negativos foram estudados conforme a categorização das fragilidades e, quanto aos positivos, conforme a divisão das potencialidades. Os impactos têm maior efeito conforme a suscetibilidade da bacia, isso é, um impacto negativo tem maior efeito quando recai em uma unidade classificada com maior fragilidade, enquanto que um positivo pode ser melhor aproveitado em um sítio com maior potencialidade para tal.

Em relação aos impactos negativos elencou-se 2 indicadores referentes aos recursos hídricos e ecossistemas aquáticos, 2 ao meio físico e ecossistemas terrestres e 2 aos componentes socioeconômicos.

Figura 13 - Índices de Impacto Negativo - AAI



Fonte: EPE, 2007.

Os impactos foram escolhidos para possível ajuste em relação as fragilidades, ou seja, o impacto sobre um ambiente com fragilidade mais significativa resulta na ampliação de suas consequências e na sua maior gravidade. O inverso também ocorre.

Aos recursos hídricos, a ponderação adotada segue tempo de Residência: 0,60 e potencial de modificação do regime do rio: 0,40.

Dos impactos sobre o meio físico, área dos reservatórios teve ponderação de 0,30 e formações florestais naturais afetadas de 0,70. O estudo concluiu que as Unidades Hidrográficas que apresentam maior número de empreendimentos são as que têm índices mais significativos de impactos sobre o meio físico e os ecossistemas terrestres, justificável pelo fato de que as regiões onde estes empreendimentos foram implantados eram predominantemente ocupadas por formações florestais.

No aspecto socioeconômico, o índice de impactos negativos considerou a ponderação de 0,75 para número de famílias afetadas e 0,25 para gestão territorial (municípios afetados).

Aos impactos positivos, considerou-se precipuamente aqueles que promovem melhoras na arrecadação municipal e nos níveis de emprego. Dessa forma, os aspectos socioeconômicos são os únicos avaliados de forma positiva no estudo. Três (3) indicadores foram utilizados sobre o desenvolvimento econômico, e dois (2) para indicar a utilização dos recursos para recreação e lazer.

O desenvolvimento econômico trata o somatório dos seguintes indicadores e suas ponderações: número de empregos: 0,15; compensação financeira: 0,65 e aumento na arrecadação de impostos: 0,20. A capacidade de regularização dos rios e comprimento do reservatório multiplicado pelo número de acessos existentes indicam os usos para recreação e lazer, com ponderação de 0,70 e 0,30, respectivamente. Quanto ao desenvolvimento econômico, os maiores índices foram vislumbrados nas unidades que houve compensação financeira na instalação de usinas e aumento da arrecadação de impostos. Aos usos com recreação e lazer, a maioria das unidades relacionadas apresentaram somatório de persistência baixa.

O estudo exalta que a interação entre os índices de fragilidade e os impactos negativos possibilita a ampliação ou redução dos efeitos do conjunto de impactos e,

da mesma forma, a interação entre os índices de potencialidade e os impactos positivos permite antever onde é possível ampliar os benefícios. As interações podem determinar ajustes nos índices dos impactos, identificando onde os mesmos podem ser minimizados ou maximizados.

Os conflitos foram entendidos como problemas que se agravariam ou surgiriam com a introdução de novos aproveitamentos. Tratam-se de problemas dinâmicos, não necessariamente identificado como impacto causado. O conflito só ocorre se o impacto for identificado e apontado por um membro da sociedade que se encarregue de discutir o mesmo (EPE, 2007). Nessa etapa a participação pública foi fundamental para realização de consultas, com ênfase em uma visão abrangente e local. Averiguou-se como principal conflito a necessidade de remanejar a população. A relocação de famílias e adaptação destas a novas formas de cultivo, bem como a perda de população para o município promove maior sensibilização e movimentação de atores sociais, esta última imprescindível para categorização de um impacto como conflito. As demandas de remanejamento são praticamente as mesmas, independentemente do local e do empreendimento hidrelétrico, inclusive do tempo em que é exercido.

Em relação à etapa de AAI, a identificação e avaliação dos efeitos sinérgicos e cumulativos resultantes dos impactos, os quais ocasionados pelos aproveitamentos hidrelétricos em planejamento, construção e operação, foi realizada considerando o uso e conservação da bacia. Os procedimentos metodológicos englobam abordagens diferenciadas e complementares, de forma que as 13 Unidades Hidrográficas foram reagrupadas em 5 setores (Canoas, Inhandava, Noroeste, Ijuí e Sul). Projeções macroeconômicas e ambientais foram desenvolvidas, permitindo cálculo dos indicadores e a definição de índices futuros. Baseou-se tanto nos cálculos dos índices de impactos como em modelos matemáticos de simulação de operação dos aproveitamentos e modelagem de qualidade da água dos aproveitamentos da bacia. Os demais impactos foram avaliados por processos indutivos de raciocínio e discussão.

Por tratar-se de uma área geográfica considerada grande (174.612 km²) não se pode realizar as avaliações com o nível de detalhamento necessário ao licenciamento ambiental de empreendimentos, ou mesmo para o desenvolvimento de seus projetos. Os cenários foram subdivididos em atual (ano de 2005), médio prazo (ano de 2015) e

longo prazo (ano de 2025), logo, o desenvolvimento foi modelado para um período de 20 anos. Cada escala temporal contemplou as usinas e suas fases de implantação.

Os índices e indicadores da fase de AAD foram mantidos e calculados para cada cenário. Dessa forma, a cada período o somatório dos indicadores e suas ponderações levaram em conta os empreendimentos instalados a sua época, facilitado pela previsão destes em períodos pretéritos.

Uma vez que a multiplicação dos índices de fragilidade/potencialidade com os índices dos impactos negativos/positivos tende a ser um número bastante pequeno, nova categorização foi proposta no estudo, de forma que um impacto ajustado é considerado baixo quando seu índice é menor que 0,1; moderado com índice entre 0,11 e 0,25; relevante com índice entre 0,26 e 0,64 e muito relevante com índice superior a 0,65.

A identificação e avaliação dos impactos cumulativos e sinérgicos levaram em conta aspectos ambientais divididos nos três recortes supracitados do meio ambiente, utilizados no trabalho da EPE, que são recursos hídricos e ecossistemas aquáticos, meio físico e ecossistemas terrestres e socioeconomia.

Para os recursos hídricos, levou-se em conta o regime fluvial, águas subterrâneas, qualidade da água, ictiofauna e flora de ambientes marginais e aquáticos. Para o meio físico, a supressão de vegetação, pressão antrópica sobre remanescentes florestais e pressão sobre a fauna foram os aspectos primordiais. Por sua vez, a socioeconomia abordou as interferências no modo de vida, interferência na gestão e organização territorial, desenvolvimento econômico e controle de inundações.

As simulações e modelagens consistiram na simulação de operação dos aproveitamentos hidrelétricos nos três cenários; modelagem da qualidade das águas dos reservatórios e avaliação do efeito sobre o regime de cheias.

Observou-se que a fragilidade tende a aumentar em tempos futuros com relação aos recursos hídricos e ecossistemas aquáticos, potencializando impactos negativos, devido ao maior uso dos recursos e degradação dos ecossistemas. Entre os impactos cumulativos e sinérgicos dos aproveitamentos hidrelétricos neste recorte,

destacam-se aqueles referentes à ictiofauna e à qualidade das águas dos reservatórios.

Sobre a ictiofauna, o estudo aponta como significativos os impactos que abordam a obstrução da rota migratória, a perda de habitats de reprodução e/ou crescimento, a redução de ambientes lóticos, a alteração nas características físico-químicas da água e a interferência no regime hidrológico do rio.

Um modelo matemático foi utilizado para avaliar, por meio de simulações, a qualidade das águas dos empreendimentos existentes e previstos, avaliando dessa forma os impactos cumulativos e sinérgicos. Dos parâmetros simulados encontra-se a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Oxigênio Dissolvido (OD) e Fósforo total (P total), considerando a Resolução CONAMA 357/2005 e suas limitações para corpos d'água Classe 2.

A alteração da flora de ambientes marginais ou aquáticos também mereceu destaque no estudo, principalmente em relação as espécies de *Dyckia* e reófitos acompanhantes.

Por fim, chega-se a termo sobre os principais destaques do estudo:

- O estudo ressaltou a necessidade de avaliar tanto os empreendimentos já instalados como aqueles com prospecção futura;
- A necessidade de um estudo que contemple nível de detalhamento necessário para o licenciamento ambiental e a tomada de decisão;
- A consideração da modificação do padrão meândrico dos rios, tal como ocorre com a inserção sequencial de PCHs;
- O estudo considerou a implantação de apenas UHEs na abordagem de cada Unidade Hidrográfica, fato distante da realidade que abrange inúmeros empreendimentos de menor porte;
- A modelagem consistiu em Simulação de Operação dos Aproveitamentos e Modelagem de qualidade da água dos aproveitamentos da bacia. Os demais impactos foram avaliados por processos indutivos de raciocínio e discussão;

- É mensurável a *intensidade* do impacto em cada zona estudada, considerando suas fragilidades e potencialidades concomitantes aos impactos negativos e positivos;
- Os resultados podem ser utilizados pelos órgãos licenciadores como suporte à avaliação da viabilidade ambiental de cada empreendimento proposto, fornecendo um contexto mais amplo que não é abrangido pelos estudos de impacto ambiental (EIA-RIMA) específicos (EPE, 2007);
- A EPE ainda ressalta, como recomendação geral, a ampliação dos estudos de avaliação ambiental integrada dos aproveitamentos hidrelétricos na bacia, de modo a incorporar não apenas os empreendimentos de grande porte, mas, também as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs). Há um grande número de PCHs previstas na bacia do rio Uruguai: 167 usinas, sendo 39 do cenário atual (2005), 69 do cenário de médio prazo (2015) e 59 do cenário de longo prazo (2025) (EPE, 2007).

Esses empreendimentos gozam de estatuto diferenciado em vários aspectos, incluindo o sistema de concessão, definição de energia assegurada para comercialização de energia, encargos de transmissão e de compensação financeira. Em particular, as PCHs não integram em forma individualizada o planejamento da expansão do sistema elétrico de geração, e estão, portanto, sujeitas à iniciativa dos empreendedores, que podem gozar dos benefícios tarifários e de financiamento do PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica).

Por esse motivo, as próximas seções são dedicadas ao desenvolvimento de um Sistema de Suporte à Decisão no modelo Sistema Especialista, estruturado como uma árvore de decisão proposta com auxílio da lógica *fuzzy* à implantação de PCHs e CGHs em bacias hidrográficas, a fim de auxiliar e promover celeridade ao processo de AAI.

CAPÍTULO 3: METODOLOGIA

O Capítulo anterior expôs a fundamentação essencial para o desenvolvimento da pesquisa e embasamento para estruturação do Sistema Especialista aqui proposto. O presente dedica-se a expor os procedimentos metodológicos empregados e os materiais utilizados.

Para Gil (1999) o método é definido como um caminho para chegar a determinado fim. Uma pesquisa, por sua vez, é o processo formal e sistemático de desenvolvimento do método, cujo objetivo principal circunda na descoberta de respostas para problemas mediante o emprego de métodos científicos.

Esta pesquisa possui **natureza de pesquisa aplicada**, pois, conforme descreve Gil (1999, p. 27), tem como “característica fundamental o interesse na aplicação, utilização e consequências práticas do conhecimento”.

Sua **abordagem** é especialmente **qualitativa**, pois considera e promove a descrição da relação entre o mundo e o sujeito com análise indutiva, bem como **quantitativa**, considerando a pretensão principal que se resume em obter um índice numérico que represente o suporte do sistema analisado por uso da lógica *fuzzy*.

Seu delineamento fundamenta-se em **pesquisa bibliográfica** como **procedimento técnico**, desenvolvido a partir de material previamente elaborado, constituído principalmente de artigos periódicos, livros e estudos ambientais. Ainda, conta com a busca pela de colheita de opiniões de especialistas e envolvidos diretamente no assunto, por meio da metodologia *Delphi*, cuja descrição assemelha-se ao **questionário**, dada por Gil (1999), em que uma técnica de investigação composta por um conjunto de questionamentos submetido a pessoas é realizada, com propósito em obter informações sobre conhecimentos, crenças, sentimentos, valores, interesses, expectativas, aspirações, etc., é empregada.

Possui **objetivo exploratório e descritivo**, pois, além de possuir levantamento bibliográfico, visa contribuir com a construção de um sistema de suporte à decisão delineado pela lógica *fuzzy* para estimar o suporte de uma bacia hidrográfica, bem como realiza análise e discussão dos resultados obtidos por meio dos questionários

aplicados, em que os diferentes posicionamentos são avaliados e pesados para o aprimoramento da árvore de decisão.

Dessa forma, o método utilizado para realizar o objetivo da pesquisa pode ser descrito pelas etapas: pesquisa bibliográfica, construção do método proposto utilizando-se da estratégia *top-down*, aplicação da metodologia *Delphi* para aprimoramento do método e descrição final.

Os materiais utilizados resumem-se aos livros, artigos periódicos e estudos ambientais para fundamentação teórica; software *fuzzyTECH*[®] juntamente ao Microsoft Excel[®] para construção da árvore de decisão; aplicativo de administração de pesquisas do *Google*, o *Google forms*; e computadores pessoais que possibilitaram a utilização dos programas.

3.1 PROCEDIMENTOS

Conforme lembram Marconi e Lakatos (2003), uma pesquisa alcança seus objetivos quando cumpre, ou propõe-se a cumprir, as seguintes etapas:

1. Descobrimento do problema ou lacuna em um conjunto de conhecimentos;
2. Colocação precisa do problema, caso o passo anterior não tenha sido enunciado claramente. Pode-se também ilustrar um velho problema diante de novos conhecimentos;
3. Procura de conhecimentos ou instrumentos relevantes ao problema, onde há exame do conhecido para resolução do problema;
4. Tentativa de solução do problema com auxílio dos meios identificados;
5. Invenção de novas ideias ou produção de novos dados empíricos que prometam resolver o problema, caso a etapa anterior tenha sido insatisfatória;
6. Obtenção de uma solução do problema, podendo esta ser exata ou aproximada;

7. Investigação das consequências da solução obtida, com a busca de prognósticos que possam ser feitos com a nova teoria ou exame das consequências de novos dados obtidos, conforme o caso;

8. Prova (comprovação) da solução, que consiste no confronto da solução com a totalidade das teorias e da informação pertinente;

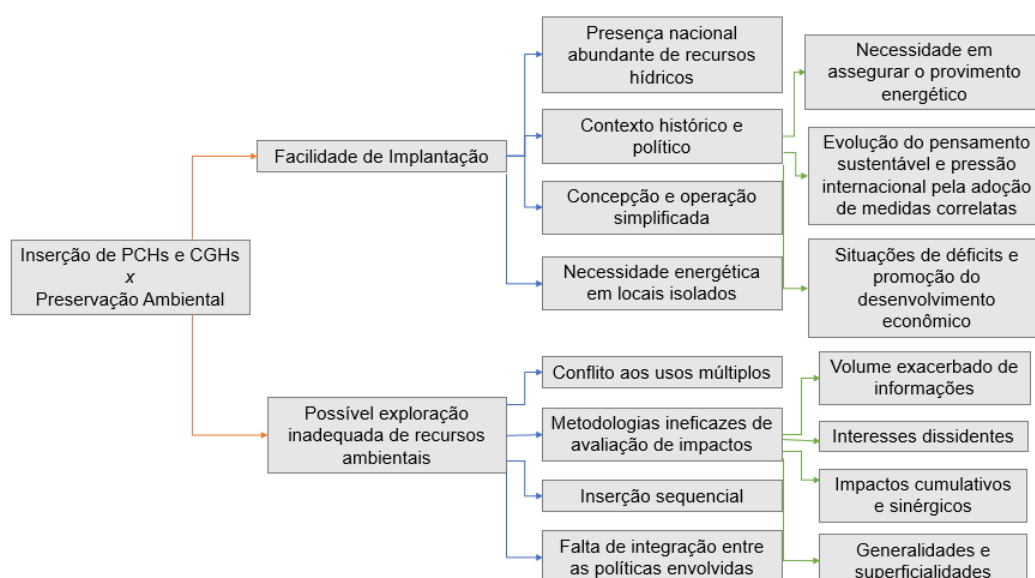
9. Correção das hipóteses, teorias, procedimentos ou dados empregados na obtenção da solução incorreta, caso o resultado da comprovação tenha sido insatisfatório.

3.1.1 Descobrimento e colocação precisa do problema

O início do desenvolvimento da dissertação deu-se pela identificação do problema, por meio de pesquisa bibliográfica pertinente ao assunto, presente no segundo capítulo deste trabalho.

A identificação do problema principal pôde ser delineada pela construção de uma Árvore de Problemas, a qual permite a identificação de causas, consequências e efeitos de um determinado tema.

Figura 14 - Árvore de Problemas



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

As flechas em laranja promovem a identificação das causas primárias do problema principal identificado (inserção de PCHs e CGHs e necessidade de preservação ambiental); as azuis indicam os problemas secundários, causas do problema primário; e as verdes chegam a termo das principais causas referentes aos problemas secundários.

3.1.2 Procura de conhecimentos ou instrumentos relevantes ao problema

Identificou-se, na seção

2.4 AVALIAÇÃO AMBIENTAL INTEGRADA (AAI), o principal mecanismo de incremento à Avaliação de Impactos Ambientais. Entretanto, conforme elencado, a AAI necessita de sistematização e aprimoramento, fato que descreve a insuficiência de meios para resolver o problema com os dados identificados.

3.1.3 Invenção de novas ideias ou produção de novos dados empíricos que prometam resolver o problema

Procurou-se uma forma de aperfeiçoar a Avaliação Ambiental Integrada por meio de um Sistema Especialista *Fuzzy*, descrito no capítulo seguinte, no qual estão envolvidos critérios de ordem social, técnica e econômica, constituindo um modelo interpretativo capaz de processar diversos critérios e incorporar o conhecimento dos especialistas envolvidos na identificação e na organização das variáveis.

3.1.4 Investigação das consequências da solução obtida

A estruturação do modelo, objeto do presente trabalho, contou com pesquisa bibliográfica pertinente, na qual identificou-se a lacuna de uma metodologia padrão a ser empregada na elaboração de uma Avaliação Ambiental Integrada. Com objetivo de divulgá-lo e confirmar sua possibilidade de uso como uma técnica de previsão, percebeu-se a necessidade de consultar e expor a especialistas no assunto os

fundamentos de sua criação. Para isso, adotou-se o Método *Delphi*, no qual os conceitos de confiabilidade e validade são precípuos e explorados em várias áreas, incluindo educação.

CAPÍTULO 4: CONSTRUÇÃO DA ÁRVORE DE DECISÃO FUZZY

4.1 SISTEMA DE SUPORTE A DECISÃO

Um Sistema de Suporte à Decisão (SSD) é um sistema baseado em computador, projetado para incrementar a efetividade dos tomadores de decisão. Possui funções específicas que permitem buscar informações e fornecer subsídios para o processo decisório, desenvolvendo-se por meio da interação de um usuário com um ambiente especialmente criado para dar subsídios às decisões que serão tomadas (SPRAGUE; WATSON, 1989; GIBOSHI; RODRIGUES; LOMBARDI NETO, 2006).

O propósito de um SSD é o aprimoramento do desempenho da decisão. Baseia-se na definição de uma atividade que inclui um usuário, um SSD e uma tarefa, a ser resolvida. Possuem atributos como facilidade de uso, formato de apresentação, restritividade do sistema, orientação decisória, *feedback* e suporte de interação, explicados por Chan e Song (2010).

A facilidade de uso está inerente ao suporte de esforço cognitivo destes sistemas, que se tornaram fáceis de usar, operar ou interagir. A extensão da facilidade depende da capacidade do sistema em suportar dimensões de velocidade, memória, esforço e conforto. Ou seja, um SSD é fácil de usar se reduzir o tempo de desempenho do usuário, diminuir a carga de memória com a natureza da assistência fornecida, reduzir o esforço mental e promover o conforto do usuário. Por isso, memória, esforço e conforto são primordiais aos sistemas de suporte (CHAN; SONG, 2010).

O formato de apresentação está envolvido com a teoria prospectiva, que sugere que a apresentação de alternativas pode afetar o risco dos resultados da decisão. O usuário pode ter seu julgamento influenciado pela forma como a informação é apresentada (CHAN; SONG, 2010).

Restrição do sistema refere-se ao grau em que o sistema limita as opções disponíveis para os usuários. A orientação decisória, por sua vez, refere-se à possibilidade do sistema auxiliar os utilizadores a selecionar e usar seus recursos durante o processo de tomada de decisão (CHAN; SONG, 2010).

O *feedback* relaciona-se com o comportamento do usuário, que tende a ser mais positivo quando há um efeito retroativo positivo do sistema. Tem relação com a interface, que deve ser projetada meticulosamente para que o operador possa ter uma percepção favorável, estímulo ao uso e desempenho da decisão (CHAN; SONG, 2010).

O suporte de interação está presente quando aos usuários é permitido um certo nível de interação com o SSD. Tem efeito determinado pelo design do sistema. O controle sobre uso do SSD tende a efeitos positivos quando há motivação de uso, uma vez que a provisão de escolha de informação reforça essa motivação. O suporte de interação exerce, então, impacto positivo sobre o uso de sistema de suporte à decisão (CHAN; SONG, 2010).

Por essas características, Sistemas Baseados em Conhecimento, segundo Chan e Song (201), podem ser integrados a um SSD, uma vez que armazenam e processam uma quantidade significativa de informações, proporcionando maior facilidade e compreensão à decisão.

4.1.1 Sistemas Baseados em Conhecimento (SBCs)

A resolução de problemas complexos por programas computacionais em que se utiliza conhecimento de um domínio é feita por meio de Sistemas Baseados em Conhecimento (SBCs) (HUMPHREY, 1994). Em outras palavras, tratam-se de programas que atuam em um domínio específico de conhecimento, resolvendo problemas complexos a partir da imitação do processo de pensamento humano, que é baseado em lógica, crença, regras, opinião e experiência (PLANT; STONE, 1991; MEIRELLES et al., 2005). São utilizados como facilitadores da tomada de decisão, proporcionando maior conhecimento e segurança aos envolvidos.

Os SBCs são criados para resolução de situações que requerem uma quantidade considerável de estudo e perícia, diferenciando-se de sistemas convencionais onde o conhecimento fica implícito em algoritmos, uma vez que o representam de forma explícita, utilizando-se de ontologias e regras de produção, que algumas vezes podem apresentar-se na forma heurística (JOO; CHA, 1996).

As diversas regras dos SBCs analisam as informações fornecidas pelo usuário sobre uma classe de problema. Essas informações são muitas vezes não numéricas, implícitas ao pensamento humano, sendo o sistema devidamente orientado e alimentado para prestar conclusões utilizando a representação do fenômeno estudado, por exemplo, em uma relação de causa e efeito. O conhecimento, conforme citam Meirelles et al (2005), não é um valor ou conceito preciso, podendo refletir ao mesmo tempo o quanto se sabe e o quanto não se sabe sobre determinado assunto, sem que ambos sejam complementares. Embora represente certo grau de incerteza e desconhecimento, quanto maior o número de informações com qualidade, mais certo e preciso será o Sistema.

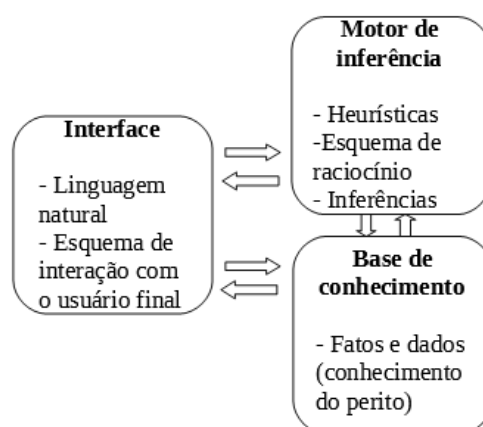
Quando projetados para resolução de problemas que necessitam de inteligência humana são também conhecidos como Sistemas Especialistas (SE). Os primeiros estágios de desenvolvimento de Sistemas Especialistas foram fundamentados na Universidade de Stanford, a requerimento da NASA, para realizar análises químicas do solo em Marte. Neste programa, percebeu-se que as técnicas gerais eram demasiadamente limitadas para resolver problemas reais, e que, quando projetados para temas bem definidos, os sistemas fornecem resultados mais satisfatórios. Essas lições levaram ao desenvolvimento de um sistema especialista, o qual possui objetivo de clonar as habilidades que permitem ao especialista resolver determinados problemas (QUEVEDO et al., 1999).

4.1.1.1 Sistemas Especialistas (SE)

Como mencionado, um Sistema Especialista é um programa que simula o entendimento e raciocínio de um especialista (humano) em alguma área delimitada. Nada mais é que um software que incorpora conhecimento especializado em um domínio específico de aplicação, sendo capaz de resolver problemas de relativa dificuldade e apoiar a tomada de decisões inteligentes baseadas em um processo de raciocínio simbólico, raciocínio este que deve resistir às incertezas ou imprecisões. Tem por característica oferecer interação eficaz e incorporar a possibilidade de aprendizado, facultando soluções alternativas aos problemas, bem como justificando a linha de raciocínio que deve ser seguida para alcançá-las (MENDES, 1997).

O conhecimento especializado e o raciocínio são duas características chaves ao modelar um sistema. Para tal, a composição de um SE se dá por dois módulos chaves, acrescidos de uma interface com usuário (Figura 15). Esses módulos condizem com uma base de conhecimento e um motor de inferência, o qual trabalha a fim de tirar conclusões e construir respostas (MENDES, 1997).

Figura 15 - Estrutura básica de um SE



Fonte: MENDES, 1997. (adaptado)

A base de conhecimento é composta por uma base de regras, fatos e heurísticas que correspondem ao conhecimento dos especialistas do domínio sobre o qual foi construído o sistema (MENDES, 1997).

O motor de inferência é o núcleo do sistema e processador do conhecimento. Consiste em uma combinação de procedimentos de raciocínio que são processados de forma regressiva ou progressiva. O mecanismo funciona com informações disponíveis de um determinado problema juntamente ao conhecimento armazenado na base de conhecimento para obter conclusões ou recomendações (MENDES, 1997).

Por fim, a interface com o usuário é o meio pelo qual o usuário pode interagir com o sistema, sendo o constituinte que demanda, geralmente, mais tempo e dedicação para seu projeto e implementação (NILSON, 1982; MENDES, 1997).

A utilização de inteligência artificial, por meio do desenvolvimento de sistemas especialistas, não deve ser empregada a todos os problemas. A análise destes, então, constitui-se estágio primordial do ciclo do desenvolvimento. Algumas ponderações foram constatadas por Mendes (1997) quando do emprego dos SEs:

- existência de peritos que dominem o segmento do conhecimento que encerra o problema, pois é exatamente esse conhecimento que será o responsável direto pela resolução do problema;
- existência de tarefas que, para serem realizadas, necessitem da participação de vários especialistas que, isolados, não possuem conhecimentos suficientes para realizá-la, ou seja, o conhecimento necessário para a análise e resolução do problema é multidisciplinar;
- existência de tarefas que requeiram conhecimento de detalhes que, se esquecidos, provocam a degradação do desempenho;
- existência de tarefas que demonstrem grandes diferenças entre o desempenho dos melhores e dos piores peritos;
- escassez de mão de obra especializada sobre o conhecimento requerido para a solução do problema.

Quevedo et al (1999) também observam que o primeiro passo para uso de sistemas baseados em conhecimento é definir o problema com precisão. Com o problema formalmente definido, entende-se a necessidade de converter determinada situação em uma situação desejada, usando um conjunto de situações permitidas. O espaço de pesquisa é aquele que contempla todos os estados que podem ser gerados do estado inicial, sendo frequentemente representado por uma árvore, onde os “nós” ilustram os estados e um estado é conectado aos seus sucessores imediatamente por linhas que correspondem aos operadores (regras de produção) que são aplicáveis.

Dentre os aspectos que favorecem o uso e desenvolvimento desses sistemas baseados em conhecimento, destaca-se a capacidade em estender a facilidade de tomada de decisão para pessoas envolvidas, até mesmo aos inexperientes, uma vez que o conhecimento dos especialistas é distribuído. Ainda, a melhoria da produtividade e desempenho, uma vez que reduz o recurso temporal necessário para assimilar as informações, e a redução da dependência entre as organizações são evidentes (MENDES, 1997).

4.1.1.2 Sistema Especialista *Fuzzy* (SEF)

Sistemas Especialistas *Fuzzy* (SEF) utilizam a Lógica *Fuzzy* para reproduzirem raciocínios de especialistas em um sistema computacional, permitindo que o computador aja como eles na resolução de problemas (KRISHNAMOORTHY; RAJEEV, 1996; FERREIRA et al., 2015).

Dentre as variadas técnicas existentes para representar o conhecimento, a lógica *fuzzy* é interessante no mundo dos sistemas especialistas pela possibilidade em representar e raciocinar termos ambíguos, capturando quantitativamente a interpretação humana.

Os SEFs mais difundidos são o tipo Mamdani (MAMDANI, 1977) e o Takagi-Sugeno (TAKAGI; SUGENO, 1985). O primeiro modela processos considerando tanto as entradas como as saídas em formato de variáveis linguísticas, enquanto que o segundo apenas as variáveis de entrada consistem em formato linguístico, sendo as saídas decorrentes de uma função de combinação linear das consequências das regras ativadas (FERREIRA et al., 2015).

Segundo Ross (2010; FERREIRA et al., 2015), os SEF são bastante úteis quando dois contextos estão em cena:

- I. aqueles que envolvem sistemas altamente complexos, com comportamentos não bem compreendidos;
- II. aqueles em que há pertinência em adotar uma solução aproximada, porém rápida.

A depender da situação, existem várias possibilidades de configurações das variáveis linguísticas trabalhadas nos SEFs. Essa possibilidade vem da inserção dos chamados termos, que definem as mesmas. Cada termo é definido por conjuntos *fuzzy* que, por sua vez, vêm definidos pelo formato de sua função de pertinência. Shaw e Simões (1999), citam que os formatos mais frequentes de funções de pertinência são triângulos e trapezoides, pois são gerados com maior facilidade, embora outros formatos possam ser utilizados (FERREIRA et al., 2015). A exemplo de Campos Filho (2004), termos podem ser inseridos do tipo função senoidal (S), modelo que embasou esta dissertação.

Uma vez que problemas ambientais inerentes a inserção de empreendimentos do tipo PCH e CGH dependem de conhecimento em vários ramos, é necessária a formação de equipe multidisciplinar, capaz de avaliar os desdobramentos sociais, ecológicos, políticos e econômicos. Essa formação é comum aos Estudos de Impactos Ambientais (EIA) e seus respectivos relatórios (RIMA), uma vez que devem ser subscritos por profissionais de diversas formações¹⁷. Para atender a necessidade de análise por diversos pontos de vista, Sistemas Multi-Especialistas estão sendo desenvolvidos de forma a se tornarem especialistas em dois ou mais ramos de áreas científicas, utilizando esse conhecimento de forma integrada.

Dessa maneira, o presente projeto propõe o desenvolvimento de um Sistema Especialista *Fuzzy*, no qual estão envolvidos critérios de ordem social, técnica e econômica, constituindo um modelo interpretativo capaz de processar diversos critérios e incorporar o conhecimento dos especialistas envolvidos na identificação e na organização das variáveis.

4.2 A LÓGICA *FUZZY*

A ciência lógica originou-se pelos estudos do filósofo grego Aristóteles (384 - 322 a.C.), o qual fundamentou um conjunto de regras para que conclusões pudessem ser tomadas como válidas. Trata-se de uma lógica baseada em premissas e conclusões, conceitualmente bivalente, onde uma declaração ou é *falsa* ou é *verdadeira*, não podendo ser os dois atributos ao mesmo tempo (MALUTTA, 2004).

A lógica proposta por Aristóteles baseia-se em três princípios básicos. O primeiro constitui o princípio da identidade, em que uma proposição verdadeira é verdadeira, enquanto que uma falsa, será sempre falsa. O segundo princípio, do terceiro excluído, mostra que não há uma terceira opção, ou seja, as proposições só podem tomar valores verdadeiros ou falsos, não existindo outra maneira. Por último,

¹⁷ A Resolução CONAMA 01/86 expõe diversas condições à elaboração de EIA/RIMA, dentre elas a necessidade de equipe com formação variada: “Artigo 7º - O estudo de impacto ambiental será realizado por equipe multidisciplinar habilitada, não dependente direta ou indiretamente do proponente do projeto e que será responsável tecnicamente pelos resultados apresentados”.

há o princípio da não-contradição, em que uma proposição não pode ser verdadeira e falsa ao mesmo tempo.

A bivalência, preconizada nos princípios da lógica convencional, não se aplica ao mundo real, onde há dependência e gradualidade aos pontos de vista. Campos Filho (2004) comenta que há um espectro de opções em vez de apenas duas, do mesmo modo em que Malutta (2004) coloca que muitas das experiências humanas não podem ser classificadas simplesmente como verdadeiras ou falsas, sim ou não, branco ou preto, sendo essas colocações muitas vezes incompletas.

Defrontando-se com a dificuldade de aplicação da lógica aristotélica e seus princípios na resolução de problemas reais e difusos, o professor Lofti Askar-Zadeh introduziu na Universidade da Califórnia, em 1965, o conceito de conjunto *Fuzzy* ou conjunto nebuloso, também denominado Lógica Difusa (MALUTTA, 2004). Campos Filho (2004) e Boclin (2014) comentam que o objetivo de Zadeh foi fornecer um ferramental matemático que contemplasse os aspectos imprecisos intrínsecos ao raciocínio lógico dos seres humanos e que abordasse situações ambíguas, não passíveis de processamento por meio da lógica computacional *booleana*¹⁸.

Desde então, a lógica *fuzzy* teve desenvolvimento intercontinental, saindo dos Estados Unidos e tendo aplicações na Europa, compreendendo aos japoneses a sua utilização para engenharia de controle depois dos anos 1980.

A visão bivalente é posta à prova pela existência de diferentes pontos de vista e modos de compreensão humanos. Além disso, como cita Malutta (2004), o próprio mundo possui um espectro de tons de cinza, aproximando-se do branco ou do preto, e não apenas existem esses dois tons. A essa múltipla existência dá-se o nome de multivalência, com um número infinito de opções, e não apenas duas. À lógica difusa atrela-se a responsabilidade de trabalhar com essas gradualidades e múltiplas opções.

A lógica nebulosa suporta modos de raciocínio que são aproximados, não exatos. O controle *fuzzy* e modelagem de sistemas são técnicas eficazes e rigorosas no tratamento de informações qualitativas (MALUTTA, 2004). Nesta lógica, conforme

¹⁸ A álgebra booleana, criada por George Boole em 1847, baseia-se em operações valoradas em 1 (um) para indicar premissas verdadeiras e 0 (zero) para indicar as falsas. Dessa maneira são atribuídos valores numéricos para informações, o que possibilitou embasar a lógica de controle e computação.

enuncia o autor, o valor verdade de uma proposição pode ser um subconjunto *fuzzy* de qualquer conjunto parcialmente ordenado, assumindo multivalores, ao contrário dos sistemas binários, em que o valor verdade só pode assumir dois valores, 1 (um) para em caso verdadeiro, e 0 (zero) para em caso falso.

Shaw (1999) explicita que a teoria dos conjuntos nebulosos atua diretamente com a incerteza, podendo esta ser tratada de maneiras diferentes. Frequentemente as incertezas possuem tratamento baseado na teoria de probabilidades, entretanto, o tratamento da aleatoriedade não deve ser confundido com o tratamento da incerteza. Malutta (2004) afirma que a lógica *fuzzy* tem se mostrado mais adequada para lidar com imperfeições da informação quando comparada à teoria das probabilidades.

Existem duas formas básicas de incerteza, a estocástica e a léxica, sendo que o tratamento desta última foge dos métodos estatístico. A incerteza estocástica é decorrente de certo evento, em que há um número certo de situações possíveis, tais como “acertar ou não acertar um alvo”. A léxica, por sua vez, apresenta-se em conformidade à linguagem humana, para a qual não existem situações exatas, nem mesmo definições. É a multiplicidade de conceitos apresentados por pessoas de diferente estatura, por exemplo (SANTELLO, 2004). Conforme Santello (2004) a lógica difusa trabalha as informações que se encontram imprecisas, traduzindo expressões verbais, vagas, inexatas e qualitativas, de teor subjetivo, comuns na comunicação humana, em valores numéricos. É diante da incerteza léxica, inerente do raciocínio humano e dos problemas difusos, que o emprego da lógica *fuzzy* se faz essencial.

4.2.1 A lógica *fuzzy* e a divergência da lógica clássica

Na teoria clássica, em que os conjuntos são denominados *crisp*, um dado elemento em discurso **pertence** ou **não pertence** ao conjunto estudado. Na teoria dos conjuntos nebulosos, existe um grau de pertinência de cada elemento a determinado conjunto, sendo que o elemento pode pertencer a dois conjuntos, com graus de pertinência divergentes, contrariando o princípio aristotélico de não-contradição.

Boclin (2014) entende que para a lógica *fuzzy*, uma premissa pode ser parcialmente verdadeira e/ou parcialmente falsa, segundo o grau de certeza. Estabelece que dois eventos adversos podem coexistir e, dessa forma, um elemento pode pertencer a um conjunto, com certo grau de pertinência e a outro conjunto com outro grau, ou seja, um determinado elemento pode associar-se a mais de um conjunto *fuzzy*, com diferentes pertinências. Desse modo, entende-se como grau de pertinência o valor para o qual uma figura técnica satisfaz o conceito linguístico de um termo de uma variável.

Zadeh, ao incitar a lógica *fuzzy*, inspirou-se em Jan Lukasiewicz, lógico polonês, que em 1920 introduziu conjuntos com graus de pertinência sendo 0, $\frac{1}{2}$ e 1, e mais tarde, para um número infinito de valores entre 0 a 1 (ABAR, 2004). O grau de pertinência tem a função de identificar quanto é possível para um elemento pertencer a determinado conjunto, devendo esse grau ser mensurado em números reais dentro do intervalo e 0 (zero) a 1 (um).

Para variáveis contínuas, o grau de pertinência é expresso por uma função chamada de função de pertinência, que nada mais é que uma representação gráfica da magnitude de participação de cada dado de entrada. Confere uma ponderação com cada uma das entradas processadas, define a sobreposição funcional entre as mesmas e, conseqüentemente, determina o dado de saída (BOCLIN, 2014).

Campos Filho (2004) ressalta que os conjuntos *fuzzy* são uma extensão dos conjuntos clássicos (*crisp*), possuindo facilidade em modelar os dados incertos ou ambíguos, existentes em questionamentos reais cotidianos. Boclin (2014), por sua vez, expõe que a definição de um conjunto *fuzzy* é uma simples extensão da definição de um conjunto clássico, em que a função característica é permitida ter qualquer valor entre 0 e 1 para definir determinado elemento X. Logo, se os valores de todos os membros da função $\mu_A(x)$ são limitados a 0 ou 1, então A é reduzido a um conjunto clássico e $\mu_A(x)$ é a função característica de A.

O valor de pertinência, pertencente a faixa de 0 a 1, quando 0 significa que o elemento não pertence ao conjunto, enquanto que 1 exalta a total pertinência do mesmo ao conjunto. Dessa forma, é possível gerenciar incertezas, onde a “certeza absoluta” possui o valor numérico 1.

Com a lógica *fuzzy* é possível trabalhar com expressões verbais e imprecisas, sendo contínua e modelada ao raciocínio de seres humanos, permitindo verdades parciais e múltiplos valores (CAMPOS FILHO, 2004). Traduz as expressões verbais, sendo capaz de capturar informações vagas e qualitativas, em geral descritas em uma linguagem natural, e convertê-las para um formato numérico, de fácil manipulação pelos computadores atuais.

4.2.2 Fuzzyficação, defuzzyficação e regras de produção *fuzzy*

As variáveis linguísticas, pelas quais seres humanos expressam a qualificação de algum fenômeno por expressões, representam valores *fuzzyficados*. A pessoa, com base em seus conceitos e compreensão de cada variável de entrada e saída, formula e executa uma estratégia de controle, de forma com que o fluxo de dados no cérebro da mesma fica reduzido apenas ao que é necessário.

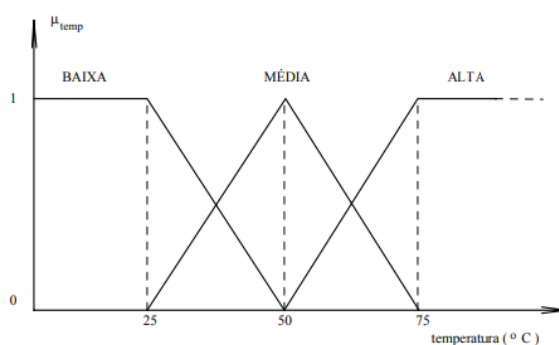
Segundo Shaw e Simões (1999) e Boclin (2014), a fuzzyficação é um mapeamento do domínio de números reais, em sua maioria discretos (*crisps*), para o domínio *fuzzy*, representando que há atribuição de valores linguísticos, descrições vagas ou qualitativas, definidas por funções de pertinência às variáveis de entrada.

Uma variável linguística tem por característica assumir valores dentro de um conjunto de termos linguísticos, na forma de palavras e/ou frases. Dessa maneira, em vez de assumir instâncias numéricas, ela assume instâncias linguísticas (GOMIDE; GUDWIN, 1994). A título de exemplificação, os autores Gomide e Gudwin (1994) relataram que uma variável linguística *Temperatura* poderá assumir como valor um dos membros do seguinte conjunto: {baixa, média, alta}, estando associado para cada membro um conjunto *fuzzy*, conforme a Figura 16.

É normal o manejo de informações incertas, mas, muitas vezes, a necessidade por um valor numérico que represente certa variável torna-se presente. A conversão do valor *fuzzy*, resultando da compreensão de cada pessoa, em um valor numérico, chama-se *defuzzyficação*. Boclin (2014) explica que as regras (pertencentes a base de conhecimento) usam os valores de entrada das pertinências como fatores de ponderação, a fim de determinar suas influências nos conjuntos difusos de saída. Ao

deduzir essas funções, escalá-las e combiná-las, ocorre o processo de defuzzyficação em uma resposta discreta, a qual dirige o sistema. As funções de pertinências associam-se de maneira distinta com cada dado de entrada e saída.

Figura 16 - Ilustração do conjunto da variável linguística temperatura



Fonte: GOMIDE; GUDWIN, 1994.

Em outras palavras, citadas por Shaw e Simões (1999, BOCLIN, 2014):

o valor da variável linguística de saída, inferida pelas regras *fuzzy* será traduzido num valor discreto. O objetivo é obter-se um único valor numérico discreto que melhor represente os valores *fuzzy* inferidos da variável linguística de saída, ou seja, a distribuição de possibilidades. Assim a defuzzificação é uma transformação inversa que traduz a saída do domínio *fuzzy* para o domínio discreto.

Gomide e Gudwin (1994) ilustraram a estrutura de um processo controlado por um controlador *fuzzy*, contemplando os componentes primordiais: interface de fuzzyficação, base de conhecimento, base de dados, procedimento de inferência e interface de defuzzyficação (Figura 17).

Os autores ainda explicam o que cada segmento provoca na atuação do controlador:

A *interface de fuzzyficação* toma os valores das variáveis de entrada, faz um escalonamento para condicionar os valores a universos de discurso normalizados e fuzzyfica os valores, transformando números em conjuntos fuzzy, de modo que possam se tornar instâncias de variáveis linguísticas.

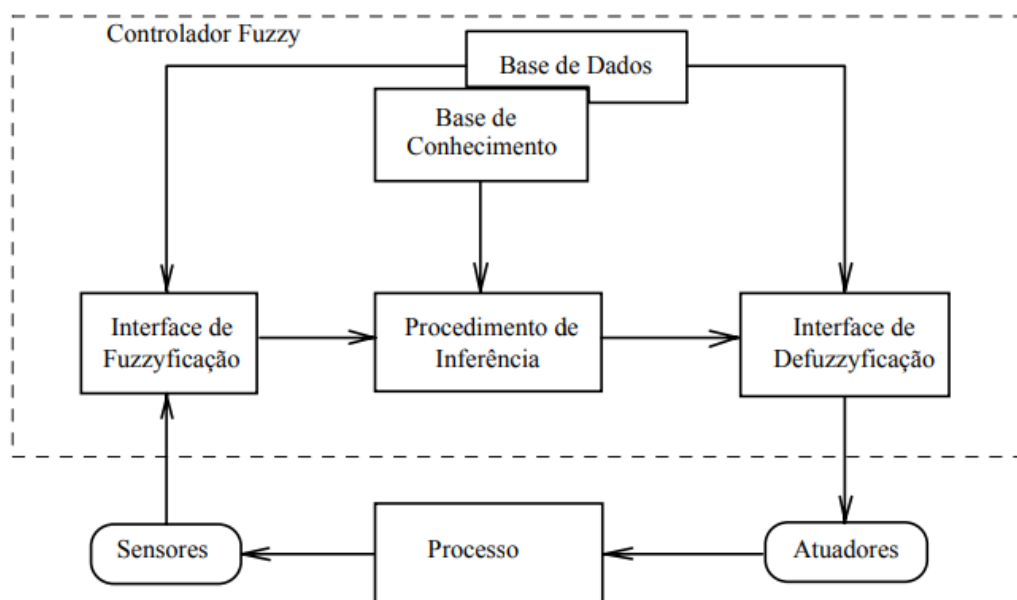
A *base de conhecimento* consiste de uma base de regras, caracterizando a estratégia de controle e suas metas.

A *base de dados* armazena as definições necessárias sobre discretizações e normalizações dos universos de discurso, as partições fuzzy dos espaços de entrada e saída e as definições das funções de pertinência.

O *procedimento de inferência* processa os dados fuzzy de entrada, junto com as regras, de modo a inferir as ações de controle fuzzy, aplicando o operador de implicação fuzzy e as regras de inferência da lógica fuzzy.

A *interface de defuzzyficação* transforma as ações de controle fuzzy inferidas em ações de controle não-fuzzy. Em seguida, efetua um escalamento, de modo a compatibilizar os valores normalizados vindos do passo anterior com os valores dos universos de discurso reais das variáveis (GOMIDE; GUDWIN, 1994).

Figura 17 - Estrutura de um controlador *fuzzy*



Fonte: GOMIDE; GUDWIN, 1994.

A ideia básica em controle *fuzzy*, segundo Gomide e Gudwin (1994) é modelar as ações a partir de conhecimento especialista, em vez de modelar o processo em si. Torna-se uma abordagem diferente dos métodos convencionais de controle de processos. A motivação para esta abordagem veio de casos onde o conhecimento especialista de controle era disponível, seja por meio de operadores ou de projetistas, e os modelos matemáticos envolvidos eram muito custosos, ou muito complicados para serem desenvolvidos.

4.2.2.1 Estratégia de defuzzyficação

Os métodos de conversão de informações imprecisas e qualitativas em informações numéricas mais utilizados são Centro da Área (CoA) ou Centro de Gravidade (CoG); Centro de Máximos (CoM) e Média de Máximos (MoM). Zimmermann (1996) cita também o método Centro das Somas (CoS) (BOCLIN, 2014).

O método Centro de Área (CoA), ou método do Centro de Gravidade (CoG), calcula o centroide da área composta que representa o termo de saída *fuzzy*, composto pela união de todas as contribuições de regras. Este método apresenta pequenos problemas quando as funções de pertinência não possuem sobreposição, onde o centro geométrico da figura na realidade não deveria ter significado físico. Outro aspecto é que se mais de uma regra tiver a mesma saída *fuzzy* há uma sobreposição de áreas que não é devidamente contabilizada (SHAW; SIMÕES, 1999; BOCLIN., 2014).

No método Centro de Máximos (CoM), segundo Shaw e Simões (1999) e Boclin (2014), os picos das funções de pertinência representados no universo de discurso da variável de saída são usados, enquanto ignoram-se as áreas das funções de pertinência, onde há consideração das contribuições múltiplas de regras. Ainda:

Considerando as funções de pertinência para a variável linguística *fuzzy* de saída, os valores não nulos do vetor de possibilidades de saída são posicionados nos picos correspondentes. Assumindo que representam pesos, o valor de saída defuzzyficado, discreto, é determinado achando-se o ponto de apoio onde os pesos ficam equilibrados. Assim as áreas das funções de pertinência não desempenham nenhum papel e apenas os máximos (pertinências *singleton*) são usados. A saída discreta é calculada como uma média ponderada dos máximos, cujos pesos são os resultados da inferência. Ainda segundo os autores, quando uma função de pertinência tiver mais de um máximo deve-se optar por usar o método da Média de Máximos (MoM) (SHAW; SIMÕES, 1999; BOCLIN, 2014).

As abordagens CoA e CoM resultam em soluções de melhor compromisso entre as possíveis saídas com multiplicidade de disparo de conjuntos *fuzzy* enquanto que a abordagem Média de Máximos (MoM) resulta em solução mais plausível, por desconsiderar o formato das funções de pertinência de saída (BOCLIN, 2014).

Segundo Gomide e Gudwin (1994), em geral, o Centro de Máximos (CoM) escolhe o ponto onde a função inferida tem seu máximo, a Média de Máximos (MoM)

representa o valor médio dentre todos pontos de máximo quando existe mais de um máximo, e o Método Centro de Área (CoA) retorna o centro de área da função inferida.

Segundo Zimmermann (1996; BOCLIN, 2014), a defuzzyficação não é apenas empregada no controle *fuzzy*, mas também na análise de decisão e outras áreas afins. O objetivo consiste em transformar um vetor ou uma função (um conjunto *fuzzy*) em um número *crisp*. A escolha do melhor método para o caso em estudo deve considerar os seguintes critérios:

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

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

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

Plausibilidade: Será que o método de defuzzyficação produz uma ação de controle plausível, ou seja, a ação de controle corresponde ao resultado da interface? (BOCLIN, 2014).

Ao criar um indicador sistêmico, deve-se escolher o método apropriado para defuzzyficação, considerando as ponderações relatadas a cada um.

4.2.3 Métodos de inferência *fuzzy*

Andrade e Jacques (2008) expressam que a utilização de algoritmos *fuzzy* na solução de problemas de controle foi iniciada com o trabalho pioneiro de Mamdani em 1973 (TAKAGI; SUGENO, 1985), motivado pelos trabalhos de Zadeh.

A forma mais comum de expressar o conhecimento é por meio de regras do tipo condição-ação (GOMIDE; GUDWIN, 1994), desse modo, o controlador é desenvolvido baseando-se em método de decisão embasado em regras do tipo “SE <situação>, ENTÃO <ação>”. Nestas, tanto o antecedente quanto o consequente são valores de variáveis linguísticas, expressos por meio de conjuntos *fuzzy* (MAMDANI; ASSILIAN, 1975; ANDRADE; JACQUES, 2008).

A parte SE da regra descreve a situação para qual ela é designada, enquanto que a parte ENTÃO descreve a ação do sistema *fuzzy* na mesma. A “situação” compõe as condições inerentes ao conjunto, que quando satisfeitas, mesmo que não totalmente, determinam o processamento da “ação”, por meio do mecanismo de inferência *fuzzy*, ou seja, uma regra é disparada (BOCLIN, 2014).

A “ação” compõe um conjunto de diagnósticos que são gerados com a ativação da regra. As diversas ações são processadas em conjunto e geram uma resposta quantitativa para cada variável de saída do sistema.

Entendendo-se como a situação por “A” e a ação por “B”, pode-se ilustrar a inferência sugerida por Zadeh conforme Figura 18, onde A e B são conjuntos fuzzy, baseando-se no mecanismo *modus ponens*¹⁹.

Figura 18 - Princípio da regra de inferência do sistema *fuzzy*

Fato:	x é A'
Regra:	se (x é A) então (y é B)
Consequência:	y é B'

Fonte: GOMIDE; GUDWIN, 1994.

Neste método, a implementação de cada regra é feita mediante a definição de operadores para o processamento do antecedente da regra e da função de implicação, definindo, dessa forma, seu consequente. O controlador agrega as regras que compõem o algoritmo, mediante uso do conectivo *também*, formando um conjunto. O *output* é resultado do processo de defuzzificação aplicado ao conjunto de regras (ANDRADE; JACQUES, 2008). Quando mais de uma regra é acionada, as contribuições delas após a inferência são combinadas pelo operador de agregação (GOMIDE; GUDWIN, 1994).

Para Boclin (2014, p. 48):

¹⁹ O raciocínio *fuzzy* representa uma generalização baseada nos mecanismos complementares *modus ponens* e *modus tollens*.

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

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

Além do método Mamdani, existe o desenvolvido por Takagi e Sugeno (T-S) (1983), que, ao deparar-se com algumas dificuldades inerentes à anterior, propuseram um método simplificado, baseado na lógica *fuzzy*, onde somente o antecedente das regras é composto por variáveis *fuzzy* e o consequente de cada uma é expresso por uma função linear dos valores observados das variáveis que descrevem o estado do sistema (variáveis de entrada) (ANDRADE; JACQUES, 2008). Por ser uma simplificação do método de Mamdani, o consequente de cada regra é definido como uma função das variáveis linguísticas de entrada, ou seja, o resultado de cada regra é um número e não um conjunto *fuzzy*, que possui como peso o valor de pertinência do processamento. Nada mais é que uma média ponderada das respostas das regras individuais, não cabendo o processo de defuzzyficação.

Modelos de inferência *fuzzy* específicos são utilizados conforme as propriedades sintáticas definidas, isto é, o modelo de processamento definido para o sistema de conhecimento *fuzzy* depende basicamente da forma de armazenamento de informações escolhidas (BOCLIN, 2014).

O autor Boclin (2014) ainda relata que, por ser uma representação mais compacta e eficiente computacionalmente do que um sistema de Mamdani, o sistema Sugeno utiliza técnicas adaptativas para a construção de modelos difusos. Estas técnicas podem ser usadas para personalizar as funções de pertinência, de modo que o sistema *fuzzy* modele melhor os dados.

Ambos os métodos sofreram aprimoramentos conforme suas aplicações. Entretanto, diante das características aqui mencionadas, o método Takagi e Sugeno foi o escolhido para presente pesquisa.

4.2.4 Aplicação da lógica *fuzzy* na análise da sustentabilidade

A interferência no ambiente físico e ecológico promovida pelos aspectos econômicos e sociais de um empreendimento relaciona-se diretamente com a sustentabilidade ambiental do mesmo (MEDEIROS; MELLO; CAMPOS FILHO, 2007), considerando precipuamente as características intrínsecas do meio em que se insere.

CrITÉRIOS claros e definidos democraticamente devem ser considerados no momento de aceitação ou não de um projeto e sua implantação. Para promover os entendimentos necessários no ambiente econômico, social e ecológico, métodos e ferramentas de delimitação, identificação e avaliação são empregados nas Avaliações de Impactos Ambientais com função em diminuir as incertezas das decisões. Muitos destes, entretanto, são de difícil compreensão aos decisores, muitas vezes leigos quanto ao aspecto técnico.

No aspecto ambiental, diversas situações defrontam-se com um volume considerável de informações essenciais e supérfluas, conhecidas, principalmente, de forma qualitativa. Termos linguísticos também definem critérios de desempenho, na maioria das vezes, dificultando a busca por exatidão e inviabilizando grande parte das tecnologias (GOMIDE; GUDWIN, 1994).

Medeiros, Mello e Campos Filho (2007) comentam que embora nem sempre considerada, a integração entre os aspectos e meios é necessária, de forma a embasar aqueles que têm função em tomar decisões, tanto no âmbito dos interesses privados como para os gestores dos bens e serviços públicos.

A lógica difusa, ou lógica *fuzzy*, é uma forma de operar variáveis relacionadas a problemas não dicotômicos ou bivalentes. Estes problemas, inclusive os ambientais, possuem várias escalas de percepção e certa incerteza ou mesmo a parcialidade da verdade, de forma que a lógica difusa atua de maneira sistemática e rigorosa. Permitindo verdades parciais e múltiplos valores, é especialmente vantajosa para os problemas que não podem ser facilmente representados pelos modelos matemáticos de lógicas tradicionais, quer porque os dados não estejam disponíveis ou sejam incompletos, quer porque o processo seja demasiado complexo (CAMPOS FILHO, 2004).

Gomide e Gudwin (1994) relatam que a modelagem *fuzzy* é apropriada para descrever sistemas complicados com uma razoável quantidade de conhecimento, permitindo a seleção de variáveis linguísticas e seus valores correspondentes em uma categoria relativamente pequena de palavras, com simples memorização do conhecimento. Além disso, permite a comunicação dos modelos com projetistas e analistas, devido ao uso de uma linguagem natural. Os autores comentam que a facilidade de implementação de sistemas de controle *fuzzy* pode reduzir a complexidade de um projeto, tratando problemas anteriormente considerados insolúveis.

As variáveis linguísticas são a forma de conceituar qualitativamente as variáveis de um problema. Admitem termos primários como valores, apenas em expressões linguísticas, tais como “muito degradado”, “pouco degradado”, “médio”, “preservado”, “muito preservado”, assim sucessivamente. Dessa maneira, propriedades sintáticas e semânticas definem a utilização das variáveis, bem como regem o comportamento do sistema (CAMPOS FILHO, 2004).

A instância final na árvore elaborada pela lógica *fuzzy* compreende os índices que demonstram a qualidade do que está sendo avaliado, utilizando-se indicadores como instâncias iniciais, que se relacionam por operações lógicas em bloco de regras do tipo “se, e, ou, então”. No processo, utilizam-se indicadores ambientais e sociais, permitindo trabalhar as informações de forma qualitativa, em seus diversos níveis. Medeiros, Mello e Campos Filho (2007) explicam que isto gera uma transparência não só na estrutura do método, mas também na verificação das possíveis interferências que os dados de entrada exercem sobre o resultado final.

Adotam-se formatos difusos ou discretos para os indicadores, tal como “muito ruim”, “ruim”, “razoável”, “bom”, e em espaços comumente adotados de zero a um.

Conforme aponta Santos (2000) as técnicas baseadas em indicadores e índices são utilizadas nos procedimentos de Avaliação de Impacto Ambiental, e pretendem avaliar e comparar variantes para um mesmo projeto visando integrar o processo de avaliação. O pressuposto básico é que muitos parâmetros de avaliação não são quantificáveis numericamente e, por isso, é necessário conduzir a avaliação comparando ponderações subjetivas (CARVALHO, 2014). Goulart e Callisto (2003) enunciam que os indicadores são medidas da condição, processos, reações ou

comportamentos que fornecem um resumo de sistemas complexos. Uma vez conhecidas as relações entre os indicadores e o padrão de respostas dos sistemas, pode-se permitir a previsão de futuras condições (GOULART; CALLISTO, 2003; CARVALHO, 2014).

O método utilizado pela lógica *fuzzy* é transparente para operar informações, permitindo uma compreensão clara sobre as consequências decorrentes das decisões tomadas ao longo do processo de análise.

4.2.4.1 Abordagem estratégica *top-down*

O processamento de informações e ordenação de conhecimento pode se dar por meio de estratégias como *top-down* (de cima para baixo) ou *bottom-up* (de baixo para cima), as mais difundidas. A escolha da estratégia de cima para baixo está embasada na fragmentação do sistema a fim de um melhor entendimento sobre o mesmo. Faz-se o processo reverso: parte-se da visão geral do sistema, instância final, a uma instância inicial ou nível mais básico.

O método que mostra melhor capacidade de tratar variáveis difusas em ambiente de informações incompletas, de baixa qualidade e com variáveis fortemente dependentes, conforme Medeiros, Mello e Campos Filho (2007) e proposto originalmente por Wehenkel e Olaru (2003), é o da árvore de decisão *top-down*, com operações entre variáveis nos nós feitas por lógica *fuzzy* (*soft decision trees*).

Almeida e Evukoff (2003; CAMPOS FILHO, 2004) comentam que o ser humano, a fim de resolver um problema complexo, procura estruturá-lo em conceitos gerais, para obter relações essenciais entre esses conceitos. Baseado nisso, o modelo *top-down* permite que as primeiras relações observadas, geralmente imprecisas e gerais, possam se converter em algoritmos operacionais mais detalhados em uma fase seguinte. Essa perspectiva não permite soluções numéricas exatas aos problemas, mas induz a uma classificação dos mesmos em conjuntos de possíveis soluções.

4.3 O MODELO

Partindo do pressuposto da necessidade de uma ferramenta que contemple as incertezas inerentes ao meio ambiente estudado, bem como fundamente a tomada de decisões no âmbito das inserções de Pequenas Centrais Hidrelétricas, foi desenvolvido um modelo no formato de árvore de decisão, utilizando-se o software *fuzzyTECH*® juntamente ao Microsoft Excel® para o serviço adicional de Link DDE, cuja função permite o acesso mútuo a informações e a inserção dos indicadores iniciais. Salienta-se que se trata de um modelo base, genérico, no qual pretende-se abranger um contexto de inserção de Pequenas Centrais sem envolver as especificações de um meio particular.

O método desenvolvido no trabalho segue uma estruturação em fases, conforme aplicado por Campos Filho e Mello (2004), representando-se uma árvore de decisão desenvolvida por meio da estratégia *top-down*. Desse modo, cada variável foi detalhada, do nível mais alto ao mais baixo, até a constituição das variáveis de entrada, os chamados indicadores. Os indicadores são inseridos pelo usuário do sistema e, por meio da inferência baseada nos blocos de regras, resultam em índices que, processando-se também pela base de regras que correspondem ao conhecimento especialista, finalizam em um valor suporte do sistema estudado. Este valor pode variar de -1 a 1, disposto em 5 (cinco) termos: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto.

A escolha da nomenclatura final *Suporte* foi feita em função da capacidade do sistema em receber os empreendimentos energéticos, levando-se em conta aspectos da ecologia, economia e quesitos sociais do meio.

4.3.1 Dendrograma principal

O desenvolvimento do modelo foi feito para estimar a capacidade de suporte de uma sub-bacia, unidade territorial escolhida para análise do sistema, alvo da inserção de pequenas centrais hidrelétricas, cuja implantação e operação

compreendem impactos positivos e negativos nos três segmentos: ecologia, economia e social.

O desenvolvimento com base na unidade de uma sub-bacia está ancorado nos fundamentos legais da Política Nacional de Recursos Hídricos, que expressam a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação da Lei e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos²⁰.

Indicadores foram elencados para representar os três segmentos, podendo tomar formas discretas ou difusas, agregados em blocos de regras no dendrograma principal, elaborado conforme o sistema *Top Down Induction of Decision Trees*, baseado no trabalho de Mello e Campos Filho (2004) que opera por meio de operações básicas dos conjuntos *fuzzy*.

O dendrograma principal (Figura 19 e Anexo I²¹) representa o sistema fuzzy para a determinação do suporte de um sistema (sub-bacia), estruturado de forma a obter a resposta para uma questão difundida tanto entre os órgãos decisores como entre os empreendedores de unidade energéticas, que é a capacidade de suporte do meio de inserção, considerando tanto a capacidade de geração de energia como o não comprometimento aos usos múltiplos, preconizados na legislação federal, servindo, dessa forma, como um sistema de apoio à decisão.

Foi desenvolvido com intuito de atender a necessidade de se avaliar de forma transparente e integrada as questões econômicas, ecológicas e sociais, bem como a interdependência que cada um desses exerce sobre os demais, fornecendo uma visão de futuro mais próxima da realidade, tornando possível minimizar as incertezas intrínsecas aos projetos e possibilitando uma decisão fundamentada e segura, necessária a uma Avaliação Ambiental Integrada.

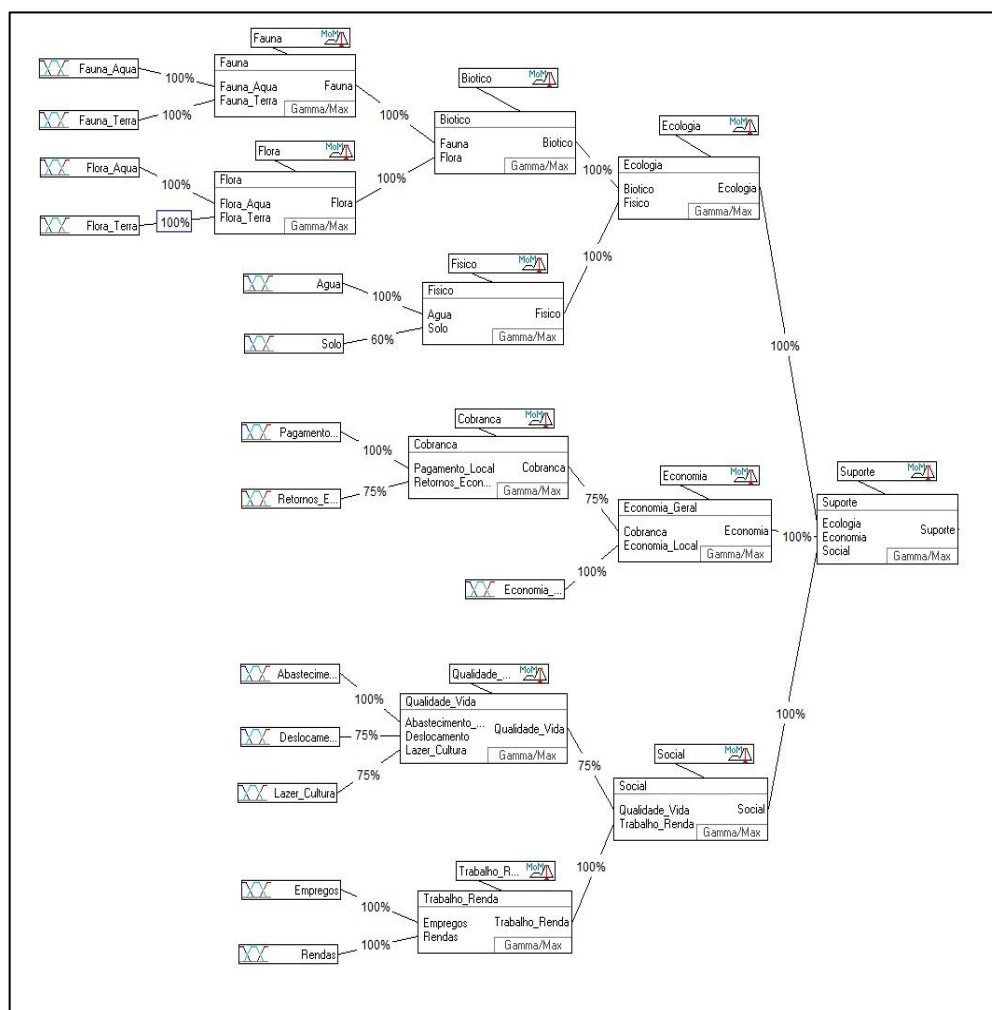
²⁰ Art. 1º A Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes fundamentos:

- I – a água é um bem de domínio público;
- II – a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- III – em situação de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e dessedentação de animais;
- IV – a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- V – a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- VI – a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

(Redação retirada da Lei Nacional n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997).

²¹ A melhor visualização do dendrograma principal encontra-se no Anexo I.

Figura 19 - Dendrograma Principal



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Avaliação Ambiental Integrada é vista como instrumento de avaliação da situação ambiental da bacia com os empreendimentos hidrelétricos implantados e os potenciais barramentos, considerando seus efeitos cumulativos e sinérgicos sobre os recursos naturais e as populações humanas, os usos atuais e potenciais dos recursos hídricos no horizonte atual e futuro de planejamento, considerando a necessidade de compatibilizar a geração de energia com a conservação da biodiversidade e manutenção dos fluxos gênicos, a sócio diversidade e a tendência de desenvolvimento socioeconômico da bacia, a luz da legislação e dos compromissos internacionais assumidos pelo governo (EPE, 2018).

Por esse motivo, e com intuito em criar um ferramental capaz de suprir as necessidades no quesito hidroenergia, o dendrograma principal foi criado em função

dos três temas, cada um representado por um dendrograma temático, que juntos representam a sustentabilidade ou o suporte da bacia, a fim de determinar a pertinência de empreendimentos energéticos em um local almejado.

4.3.2 Indicadores envolvidos

Estão envolvidos no dendrograma principal 14 (quatorze) indicadores individuais (*input variables*) e 11 (onze) indicadores sistêmicos (*output variables*), elencados para estimar a capacidade de suporte de uma sub-bacia, ou uma mudança de estado da mesma, em função dos impactos frequentemente difundidos quando da implantação de PCHs e CGHs. O detalhamento encontra-se no Quadro 2.

Quadro 2 - Características do dendrograma principal

ELEMENTOS DO DENDROGRAMA	QUANTIDADE
INDICADORES INDIVIDUAIS	14 (quatorze)
INDICADORES SISTÊMICOS	11 (onze)
BLOCOS DE REGRAS	11 (onze)
REGRAS	475 (quatrocentos e setenta e cinco)
FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA	125 (cento e vinte e cinco)

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

4.3.2.1 Blocos de regras de produção

Conforme expresso na seção 4.2.3 Métodos de inferência *fuzzy*, os blocos de regras contêm o controle estratégico do sistema. Cada bloco confina todas as regras para um mesmo contexto. As mesmas regras definem o contexto para os indicadores de entrada e índices.

As partes “se” (“*if*”) descrevem a situação para a qual as regras são projetadas. As partes “então” (“*then*”) descrevem a resposta do sistema *fuzzy* nessa situação. Em virtude do grande número de regras, uma pesagem conforme sua importância para o sistema é necessária, feita por meio do *grau de suporte* (DoS).

Os indicadores de entrada participam na composição dos indicadores de saídas constituindo os blocos de regras, com graus de importância definidos e expressos por meio do DoS, conforme a porcentagem ilustrada no dendrograma principal, exercendo influência máxima ou não nos *outputs*. A influência possui grau de importância positivo quando o indicador que participa da composição tem o mesmo sentido de crescimento do indicador composto, o oposto ocorre quando os sentidos divergem.

O processamento das regras começa com o cálculo da parte “if”. O tipo de operador do bloco de regras determina qual método é usado. Na determinação do Suporte de uma sub-bacia, optou-se pelo uso do operador Gamma em todos os blocos de regras, a fim de disparar apenas as que são mais descritivas às variáveis. De um modo geral, este operador dispara todas as regras que tem função de pertinência com a variável estudada, sendo mais fidedigno.

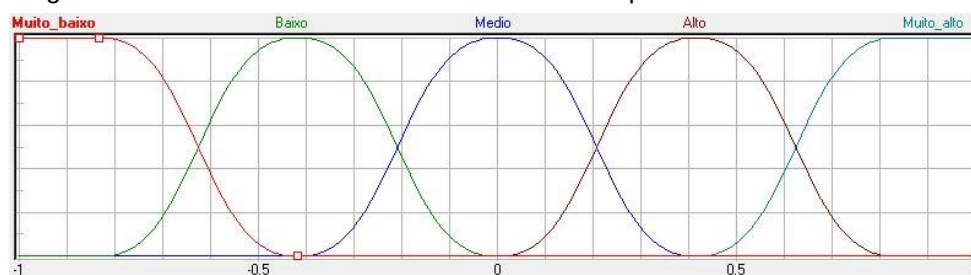
O resultado da agregação escolhido para o sistema foi o Max (*Maximum of all firing degrees*), onde apenas as regras dominantes são avaliadas na interseção dos conjuntos *fuzzy*.

4.3.2.2 Composição dos indicadores

Os indicadores de entrada/individuais são também denominados *inputs*. Por meio da avaliação de especialistas, valores entre -1 a 1 são determinados aos mesmos e sua composição se dá nos blocos de regras. Optou-se por utilizar o método *Compute MBF* (Computar Função de Pertinência) aos dados de entrada, dessa forma os mesmos são lançados em variáveis numéricas, entre -1 a 1.

A despeito da inserção em valores quantitativos, para que esses indicadores possam ser submetidos às operações básicas dos conjuntos *fuzzy*, eles devem apresentar-se na forma qualitativa. No processo de fuzzyficação (*Compute MBF*), foram atribuídas 5 (cinco) funções de pertinência, do tipo S (senoidal), intituladas como “muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto”, as quais possuem um universo de discurso representado na Figura 20, devendo estes serem objetos de análise e aferição dos decisores e especialistas por representarem os valores de mudança de estado do objeto de estudo.

Figura 20 - Termos adotados aos indicadores e respectivos universos de discurso



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Os indicadores sistêmicos são os índices de saída (*outputs*) do sistema de suporte da sub-bacia analisada. Para que essa informação possa ser transformada de qualitativa para quantitativa, um método de defuzzyficação deve ser selecionado. O método proposto foi o Média de Máximos (MoM), que representa o valor médio dentre todos pontos de máximo quando existente mais de um, uma vez que resulta em uma solução mais plausível ao desconsiderar o formato das funções de pertinência de saída (BOCLIN, 2014).

Para os índices também estão propostos 5 (cinco) termos do tipo S, que mostram, como exemplo, se o resultado de Suporte da bacia encontra-se muito baixo, baixo, médio, alto ou muito alto.

4.3.2.3 Suporte da Sub-bacia

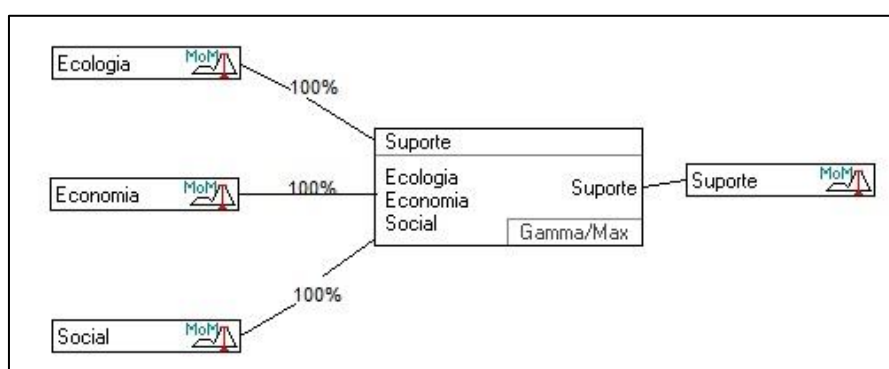
O dendrograma que representa o suporte da sub-bacia é estruturado de modo a apoiar os decisores na resposta do questionamento sobre quais critérios devem ser considerados para garantir o suporte do local de inserção dos empreendimentos tipo PCHs, suporte este avaliado no segmento social, econômico e ecológico. Desse modo, levantou-se quais temas devem ser abordados como indicadores individuais para composição deste indicador sistêmico: o índice de Suporte.

Os segmentos escolhidos compõem o índice final (suporte) por meio de operações básicas dos conjuntos *fuzzy* dos indicadores sistêmicos de cada um dos temas: Ecologia, Economia e Social.

Destarte, por meio do ilustrado na Figura 21, estabeleceu-se o nível principal de decisão do dendrograma principal, formado pelos três temas. Cada tema exerce influência máxima sobre o índice Suporte (100%), ou seja, Ecologia, Economia e o tema Social compõem de forma igualitária o índice final consequente da análise.

Os indicadores individuais deste dendrograma são os indicadores sistêmicos dos dendrogramas dos temas Ecologia, Economia e Social.

Figura 21 - Dendrograma Suporte do Sistema



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Os quadros a seguir foram elaborados de forma a facilitar a compreensão do dendrograma ilustrado.

Quadro 3 - Lista de abreviaturas do dendrograma Suporte do Sistema

Nº	INDICADOR	NOME
01	Ecologia	Índice que representa as condições ecológicas.
02	Economia	Índice que representa as condições econômicas.
03	Social	Índice que representa as condições sociais.

04	Suporte	Índice que representa a capacidade da bacia em operar sistemas de geração de energia, com impactos positivos e negativos.
-----------	----------------	---

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 4 - Estatística do dendrograma Suporte

ELEMENTOS DO DENDROGRAMA	QUANTIDADE
INDICADORES SISTÊMICOS	4 *
BLOCOS DE REGRAS	1
REGRAS	125
FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA	20 **

* 3 caracterizam-se como *outputs* dos temas anteriores

** 15 já computadas nos temas anteriores

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 5 - Indicadores individuais do dendrograma Suporte

Nº	INDICADOR	TIPO	UNIDADE	MÍN	MÁX	TERMOS
01	Ecologia	 *	Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto
02	Economia		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto
03	Social		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto

* MoM: método de defuzzyficação Média de Máximos

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 6 - Indicador sistêmico do dendrograma Suporte

Nº	INDICADOR	TIPO	UNIDADE	MÍN	MÁX	TERMOS
04	Suporte		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

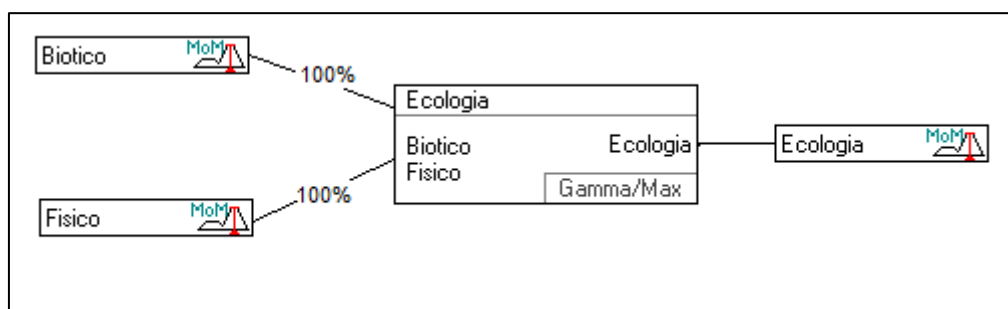
4.3.2.4 Tema Ecologia

O tema ecologia aborda os principais critérios que devem ser levados em conta na inserção de empreendimentos de geração de energia hidráulica para que uma sub-bacia se mantenha ecologicamente equilibrada. Os decisores e especialistas ao desenvolver os indicadores que compõem este tema, devem considerar precipuamente:

- O meio físico e as mudanças na qualidade do subsolo, águas, ar e clima, notadamente as modificações do regime hidrológico, corpos d'água, tipos e aptidões do solo e a geografia local;
- O meio biótico e os ecossistemas naturais, a fauna e a flora local, destacando a perda de espécies de importância econômica e científica, endêmicas, raras e ameaçadas de extinção, bem como as áreas de preservação permanente envolvidas.

O equilíbrio ecológico é consequente da capacidade da sub-bacia em suportar as pressões antrópicas sobre seus recursos físicos e biológicos, tornando-se ou não apta a receber os empreendimentos em estudos.

Figura 22 - Simplificação do dendrograma Ecologia



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Quadro 7- Lista de abreviaturas do dendrograma simplificado do Tema Ecologia

Nº	INDICADOR	NOME
01	Biótico	Índice que representa os resultados das alterações no meio biótico.
02	Físico	Índice que representa os resultados das alterações no meio físico.
03	Ecologia	Índice que representa as condições ecológicas.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 8 - Estatística do dendrograma simplificado do Tema Ecologia

ELEMENTOS DO DENDROGRAMA	QUANTIDADE
INDICADORES SISTÊMICOS	3 *
BLOCOS DE REGRAS	1
REGRAS	25
FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA	15 **

* 2 caracterizam-se como *outputs* dos subtemas biótico e físico

** 10 já computadas nos temas anteriores

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 9 - Indicadores individuais do dendrograma simplificado do Tema Ecologia

Nº	INDICADOR	TIPO	UNIDADE	MÍN	MÁX	TERMOS
01	Biótico		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto

02	Físico		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto
-----------	--------	---	------	----	---	---

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 10 - Indicador sistêmico do dendrograma simplificado do Tema Ecologia

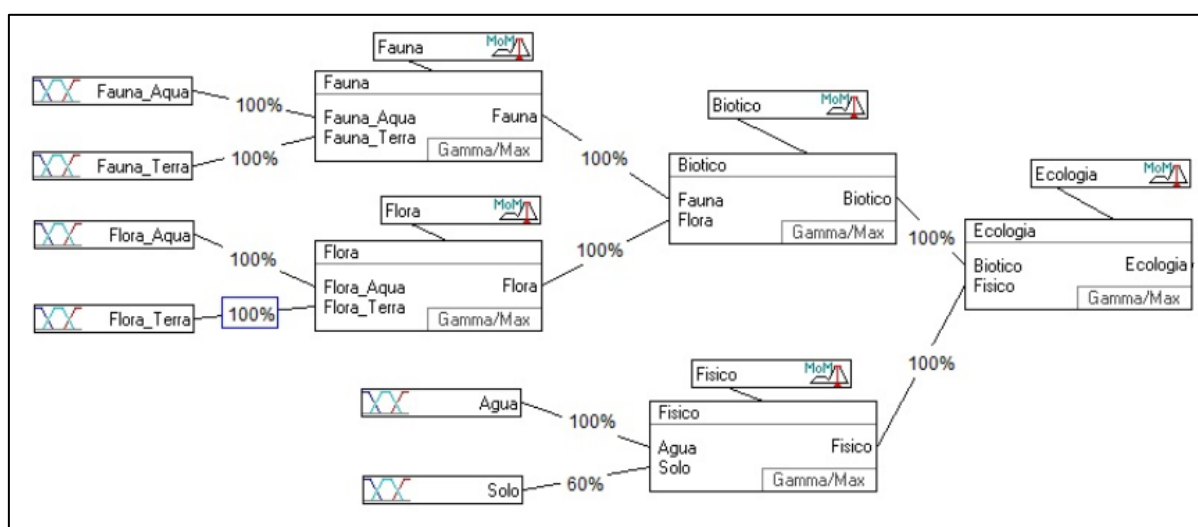
Nº	INDICADOR	TIPO	UNIDADE	MÍN	MÁX	TERMOS
03	Ecologia		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

A elaboração do modelo considerou o tema Ecologia como um indicador sistêmico, composto pelos indicadores individuais Biótico e Físico, conforme exposto nas Quadros 9 e 10. Os subtemas (biótico e físico) exercem influência de 100% cada na composição do tema Ecologia, isto é, os dois indicadores possuem o mesmo peso na estrutura do índice ecológico.

Enquanto a Figura 22 representa a simplificação do tema, a Figura 23 ilustra todos os indicadores individuais e sistêmicos que o compõem, incluindo o desmembramento dos subtemas e como estes estão modelados.

Figura 23 - Dendrograma Ecologia



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

O subtema Biótico é estruturado de forma que a fauna e a flora representem pesos iguais na composição (Figura 24). Tanto a fauna quanto a flora consistem em indicadores sistêmicos, pois são resultados da modelagem dos indicadores individuais que os compõem. É nessa estrutura que decisores e especialistas levarão em conta a perda de espécies de importância econômica e científica, endêmicas, raras e ameaçadas de extinção, bem como as áreas de preservação permanente envolvidas.

Deve-se destacar que a inserção de empreendimentos energéticos em áreas que contemplam a modificação do bioma Mata Atlântica, o qual possui porcentagem remanescente de composição original muito pequena no Brasil (cerca de 12,4%²²). A Lei n. 11.428 aprovada pelo Congresso Nacional em 2006 dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa deste Bioma, destacando que sua supressão, em casos de primária e secundária em estágio avançado de regeneração, se dá apenas em casos de utilidade pública, enquanto que em estágio médio a supressão é permitida também quando houver interesse social. Não obstante, mesmo que as obras essenciais de infraestrutura de energia sejam consideradas de utilidade pública pela referida lei²³, deve ser observado o disposto no artigo 11²⁴ e a inexistência de alternativa técnica locacional ao empreendimento proposto.

²² Dado da Fundação SOS Mata Atlântica e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Disponível em: <<https://www.sosma.org.br>>. Acesso em: 30 out. 2018.

²³ Art. 3º Consideram-se para os efeitos desta Lei:

(...)

VII- utilidade pública:

- a) Atividades de segurança nacional e proteção sanitária;
- b) As obras essenciais de infra-estrutura de interesse nacional destinadas aos serviços públicos de transporte, saneamento e energia, declaradas pelo poder público federal ou dos Estados;

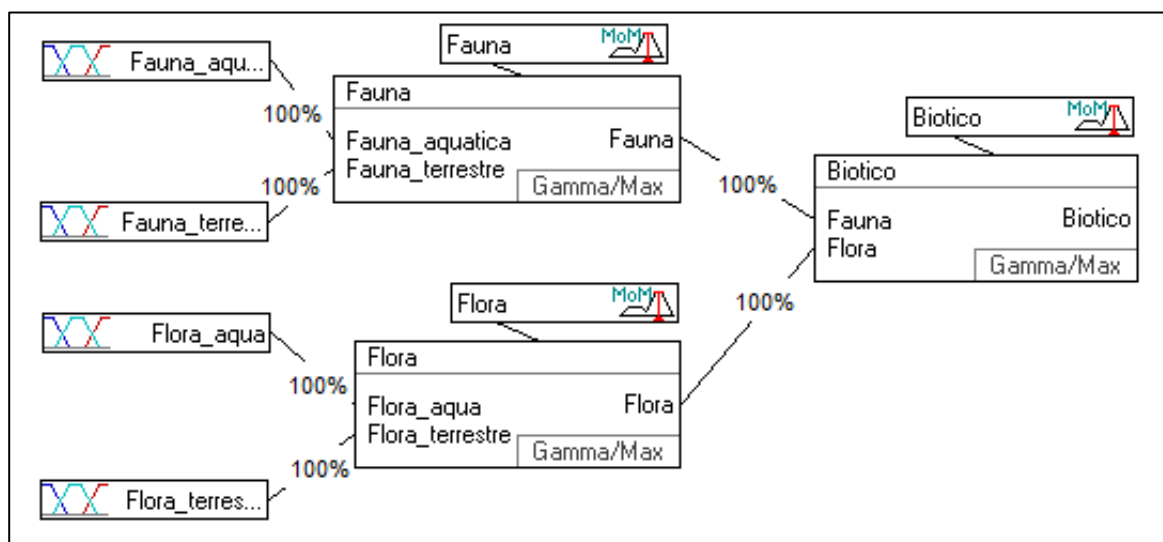
²⁴ Art. 11. O corte e a supressão de vegetação primária ou nos estágios avançado e médio de regeneração do Bioma Mata Atlântica ficam vedados quando:

I – a vegetação:

- a) abrigar espécies da flora e da fauna silvestres ameaçadas de extinção, em território nacional ou em âmbito estadual, assim declaradas pela União e pelos Estados, e a intervenção ou o parcelamento puserem em risco a sobrevivência dessas espécies;
- b) exercer a função de proteção de mananciais ou de prevenção e controle de erosão;
- c) formar corredores entre remanescentes de vegetação primária ou secundária em estágio avançado de recuperação;
- d) proteger o entorno das unidades de conservação; ou
- e) possuir excepcional valor paisagístico, reconhecido pelos órgãos executivos competentes do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA;

II – o proprietário ou posseiro não cumprir os dispositivos da legislação ambiental, em especial exigências da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, no que respeita às Áreas de Preservação Permanente e à Reserva Legal.

Figura 24 - Dendrograma subtema Biótico



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Quadro 11 - Lista de abreviaturas do dendrograma do subtema Biótico

Nº	INDICADOR	NOME
04	Fauna_aquática	Indicador que representa as alterações na fauna aquática.
05	Fauna_terrestre	Indicador que representa as alterações na fauna terrestre.
06	Fauna	Índice que representa as mudanças ocasionadas na fauna pela inserção dos empreendimentos.
07	Flora_aquática	Indicador que representa as alterações na flora aquática.
08	Flora_terrestre	Indicador que representa as alterações na flora terrestre.

09	Flora	Índice que representa as mudanças ocasionadas na flora pela inserção dos empreendimentos.
01*	Biótico	Índice que representa os resultados das alterações no meio biótico.

* Número atribuído ao índice Biótico no tema Ecologia.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

A estruturação do subtema biótico consiste na ponderação de mudanças na flora e fauna local, tanto a aquática como terrestre. Atribuíram-se pesos idênticos aos indicadores, ou seja, optou-se pela composição igualitária de importância ao índice biótico (100%).

Quadro 12 - Estatística do dendrograma do subtema Biótico

ELEMENTOS DO DENDROGRAMA	QUANTIDADE
INDICADORES INDIVIDUAIS	4
INDICADORES SISTÊMICOS	3 *
BLOCOS DE REGRAS	3
REGRAS	75
FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA	30

* 2 caracterizam-se como *outputs* da flora e fauna

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 13 - Indicadores individuais do subtema Biótico

Nº	INDICADOR	TIPO	UNIDADE	MÍN	MÁX	TERMOS
04	Fauna_aquática	 *	Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto
05	Fauna_terrestre		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto
06	Fauna		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto
07	Flora_aquática		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto
08	Flora_terrestre		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto
09	Flora		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto

* Compute MBF (método de fuzzyficação).

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 14 - Indicador sistêmico do subtema Biótico

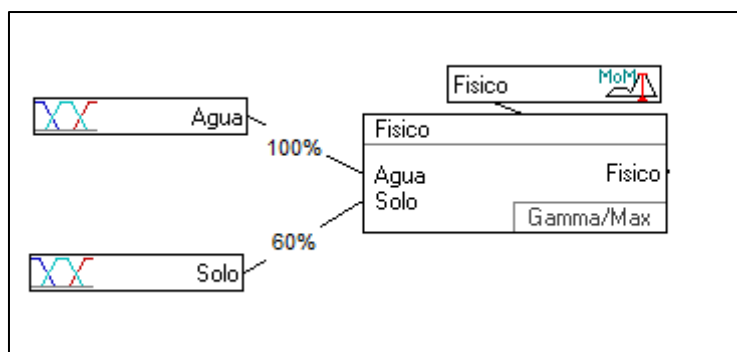
Nº	INDICADOR	TIPO	UNIDADE	MÍN	MÁX	TERMOS
01	Biótico		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

O subtema Físico consiste em um indicador sistêmico, resultante da agregação dos indicadores individuais Água e Solo. A água, por se tratarem de empreendimentos energéticos e este ser o recurso natural mais impactado com suas inserções, possui peso máximo na constituição do índice Físico, enquanto que ao solo optou-se por estabelecer uma contribuição não máxima, porém também positiva, de cerca de 60%.

É nessa estrutura que decisores e especialistas levarão em conta a modificação na qualidade e disponibilidade hídrica, bem como na perda de solo e de sua qualidade, considerando a capacidade para outros usos, seja agricultura, pecuária ou divergentes atividades econômicas.

Figura 25 - Dendrograma subtema Físico



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Quadro 15 - Lista de abreviaturas do dendrograma do subtema Físico

Nº	INDICADOR	NOME
10	Água	Indicador que representa as mudanças no recurso hídrico.
11	Solo	Indicador que representa as mudanças no solo.
02*	Físico	Índice que representa os resultados das alterações no meio físico.

* Número atribuído ao índice Físico no tema Ecologia.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 16 - Estatística do dendrograma do subtema Físico

ELEMENTOS DO DENDROGRAMA	QUANTIDADE
INDICADORES INDIVIDUAIS	2
INDICADORES SISTÊMICOS	1
BLOCOS DE REGRAS	1
REGRAS	25
FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA	15

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 17 - Indicadores individuais do subtema Físico

Nº	INDICADOR	TIPO	UNIDADE	MÍN	MÁX	TERMOS
10	Água		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto
11	Solo		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 18 - Indicador sistêmico do subtema Físico

Nº	INDICADOR	TIPO	UNIDADE	MÍN	MÁX	TERMOS
02	Físico		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

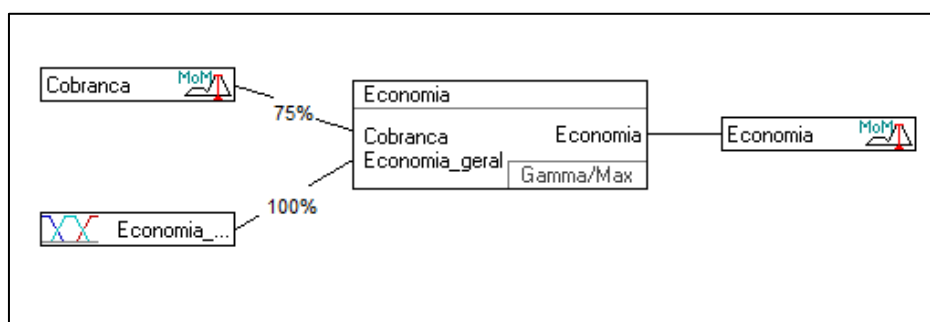
A composição dos subtemas expostos, Biótico e Físico, compõem o tema Ecologia, e conforme explanado anteriormente, exercem peso idêntico na composição, ou seja, tanto os recursos físicos como os biológicos configuram a mesma influência na qualidade ecológica do local de estudo.

4.3.2.5 Tema Economia

O tema Economia aborda duas principais vertentes: a Cobrança pelo uso da água, dividida em dois indicadores individuais explicados posteriormente, e a influência na Economia local, seja pelo impulsionamento ou retração econômica ocasionada pelas instalações de empreendimentos energéticos do tipo PCHs.

Nesse momento, os decisores e especialistas levam em conta os retornos financeiros ao local, proporcionados pela especulação, instalação e operação dos empreendimentos.

Figura 26 - Simplificação do dendrograma Economia



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Quadro 19 - Lista de abreviaturas do dendrograma simplificado do Tema Economia

Nº	INDICADOR	NOME
01	Cobrança	Índice que representa a apropriação do pagamento de impostos e taxas.
02	Economia_local	Indicador que representa o nível de incentivo/retração para empreendimentos que

		beneficiam da instalação e operação das PCHs.
03	Economia	Índice que representa as mudanças nas condições econômicas (custos e benefícios da cobrança e economia local).

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 20 - Estatística do dendrograma simplificado do Tema Economia

ELEMENTOS DO DENDROGRAMA	QUANTIDADE
INDICADORES INDIVIDUAIS	1
INDICADORES SISTÊMICOS	2*
BLOCOS DE REGRAS	1
REGRAS	25
FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA	15

* 1 caracteriza-se como *output* do subtema Cobrança

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 21 - Indicadores individuais do dendrograma simplificado do Tema Economia

Nº	INDICADOR	TIPO	UNIDADE	MÍN	MÁX	TERMOS
01	Cobrança		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto
02	Economia_local		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 22 - Indicador sistêmico do dendrograma simplificado do Tema Economia

Nº	INDICADOR	TIPO	UNIDADE	MÍN	MÁX	TERMOS
03	Economia		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto

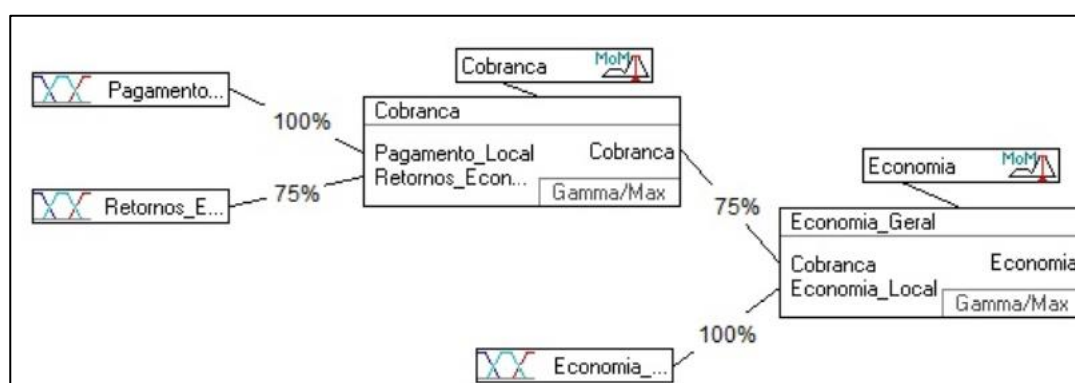
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

O tema Economia foi alocado como um indicador sistêmico, composto pelos indicadores individuais Cobrança e Economia local, conforme explicitado nos quadros 21 e 22. A Economia local foi estruturada como um indicador, enquanto que se presumiu uma melhor representatividade do subtema Cobrança quando composto por dois indicadores.

A Figura 26 representa a simplificação do tema. A Figura 27 ilustra todos os indicadores individuais e sistêmicos que o compõem, incluindo o desmembramento dos subtemas e como estes estão modelados.

A Economia Local foi estruturada como um indicador individual que representa o nível de incentivo/retração para empreendimentos que beneficiam da instalação e operação das PCHs. Escalou-se 100% de importância, ao considerar que estas usinas podem impulsionar o desenvolvimento da sub-bacia, servindo de atrativo para novos investimentos e empreendimentos, bem como podem retrair possíveis especulações, a exemplo daqueles que dependem da qualidade de água a jusante do local de inserção, como plantações e cultivos.

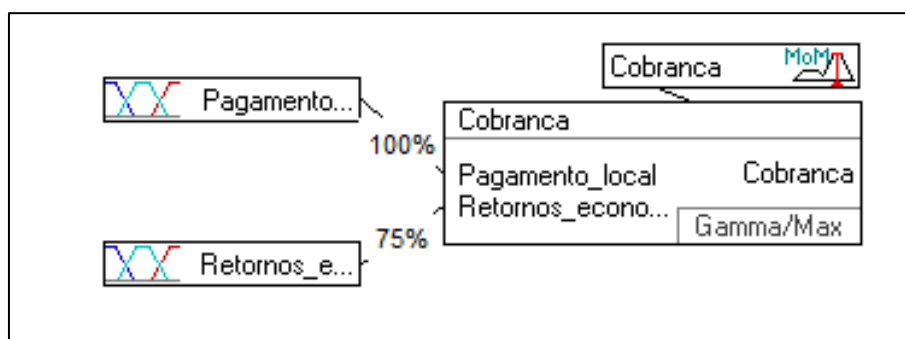
Figura 27 - Dendrograma Economia



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Ao subtema cobrança considerou-se importância positiva não máxima, de cerca de 75%, ao dendrograma economia. Representa a justa remuneração pelo uso da sub-bacia ao local, assim como a instituição de medidas compensatórias e mitigadoras, que podem constituir pagamentos ao local, cuja aplicação, se corretamente aplicada, impulsiona a economia e até mesmo favorece novos investimentos e a vinda de novos empreendimentos. Dessa forma, optou-se pela instituição de dois indicadores individuais ao índice: Pagamento local, que irá representar a devida apropriação de pagamentos às entidades/instituições locais pelos serviços e compensações por uso do sistema, bem como os Retornos Econômicos para a região, derivados da venda da energia gerada. Ao contrário do pagamento local, aos retornos econômicos optou-se pelo escalonamento de uma importância positiva não tão expressiva quanto os pagamentos, porque acredita-se que é derivado destes que as medidas mais efetivas de impulsionamento econômico geralmente são programadas e realizadas.

Figura 28 - Dendrograma subtema Cobrança



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Quadro 23 - Lista de abreviaturas do dendrograma do subtema Cobrança

Nº	INDICADOR	NOME
04	Pagamento_local	Indicador que representa a apropriação de pagamentos às entidades/instituições locais pelos serviços e

		compensações por uso do sistema.
05	Retornos_econômicos	Indicador que representa retornos ou benefícios econômicos para a região, derivados da venda da energia gerada.
01	Cobrança	Índice que representa a apropriação do pagamento de impostos e taxas.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 24 - Estatística do dendrograma do subtema Cobrança

ELEMENTOS DO DENDROGRAMA	QUANTIDADE
INDICADORES INDIVIDUAIS	2
INDICADORES SISTÊMICOS	1
BLOCOS DE REGRAS	1
REGRAS	25
FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA	15

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 25 - Indicadores individuais do dendrograma do subtema Cobrança

Nº	INDICADOR	TIPO	UNIDADE	MÍN	MÁX	TERMOS
04	Pagamento_local		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto

05	Retornos_econômicos		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto
-----------	---------------------	---	------	----	---	---

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 26 - Indicador sistêmico do dendrograma do subtema Cobrança

Nº	INDICADOR	TIPO	UNIDADE	MÍN	MÁX	TERMOS
01	Cobrança		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

A estruturação do dendrograma Economia levou em conta impactos econômicos ocasionados pelos empreendimentos de geração hidrelétrica. Nesse tema devem ser consideradas as medidas compensatórias e mitigadoras impostas aos empreendimentos nas diversas fases que contemplam o licenciamento ambiental (prévia, de instalação e operação).

Além das ações impostas e voluntárias, incitadas pelos órgãos ambientais e municipais, é pertinente a observação dos vieses normativos e legislativos, bem como dos tributos estatais comumente empregados. Há de se salientar a imposição da Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza– SNUC, que em seu artigo 36 expõe obrigatoriedade de apoio à implantação e manutenção de unidades de conservação do grupo de proteção integral àqueles empreendimentos causadores de significativo impacto ambiental²⁵.

No presente tema também devem ser considerados os encargos e tributos pagos pelo usuário ao Poder Público. É importante avaliar se, além de comportar a instalação e operação desses empreendimentos, o local fará uso da energia gerada.

²⁵ Art. 36. Nos casos de licenciamento ambiental de empreendimentos de significativo impacto ambiental, assim considerado pelo órgão ambiental competente, com fundamento em estudo de impacto ambiental e respectivo relatório – EIA/RIMA, o empreendedor é obrigado a apoiar a implantação e manutenção de unidade de conservação do Grupo de Proteção Integral, de acordo com o disposto neste artigo e no regulamento desta Lei. (Redação retirada da Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000).

No Brasil, o ressarcimento da energia é segmentado em basicamente 4 (quatro) pontos, sendo eles: a compra pela energia, que abrange a remuneração ao gerador; a transmissão, que contempla o custo da empresa de transmissão; a distribuição, que remunera o serviço prestado pela distribuição; e, por fim, os encargos e tributos ao Poder Público.

O sistema elétrico do país consiste em um Sistema Interligado Nacional, uma rede de transmissão que permite o fluxo de energia entre as diversas regiões do país e pelos Sistemas Isolados, localizados principalmente na região Norte, que está suscetível a diversas dificuldades no que tange a distribuição de energia²⁶. Tão logo a energia seja gerada, ela é transmitida e distribuída nos locais de maiores demandas, onde, na maioria das vezes, são pagos os tributos de maior importância, restando um retorno econômico que poderia ser feito ao próprio local gerador, para amenizar os possíveis danos causados (ambientais e sociais) e fomentar novas iniciativas de crescimento.

Os encargos e tributos contribuem na oneração da energia elétrica. Os encargos são contribuições definidas em Lei e aprovadas pelo Congresso Nacional que se destinam a fins específicos. Já os tributos são os pagamentos compulsórios devidos ao Poder Público, determinados legalmente. Um tributo que exemplifica a problemática de retorno é o ICMS (Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços). Ele é variável para cada estado e cobrado pela distribuidora, ou seja, é dependente para cada região do país e recolhido pelas prestadoras de distribuição de energia onde haja o consumo desta, não remunerando o local gerador e o ônus social e ambiental neste ocasionado. Além do estadual ICMS, há outros tributos aplicáveis ao setor, como os federais PIS (Programas de Integração Social), COFINS (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social); e o municipal CIP (Custeio do Serviço para Iluminação Pública)²⁷.

²⁶ AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. Por dentro da conta de luz. Informação de Utilidade Pública. Brasília. 2008. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 31 out. 2018.

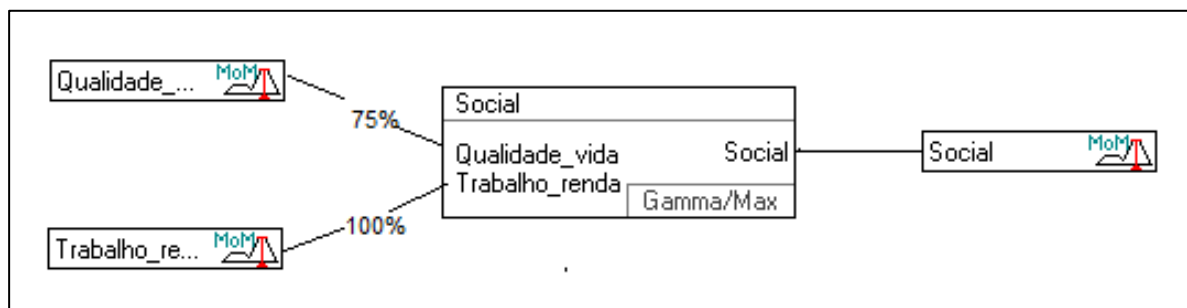
²⁷ AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. Por dentro da conta de luz. Informação de Utilidade Pública. Brasília. 2008. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 31 out. 2018.

4.3.2.6 Tema Social

O dendrograma do tema Social foi estruturado com intuito de refletir as mudanças proporcionadas à região que beneficiam ou prejudicam a população local. Nessa etapa os especialistas e decisores devem analisar todas as alternativas que afetem a sociedade, comparando-as com a hipótese de não execução do projeto, a fim de concluir o que é mais benéfico socialmente. O uso e ocupação do solo, bem como o uso dos recursos hídricos e as relações de dependência da sociedade local, seja pelas atividades de lazer ou de exploração econômica, avaliando-se a potencial utilização futura dos recursos, devem ser requisitos contemplados.

O indicador Trabalho e renda foi posto como o de maior expressividade na composição do Índice Social, enquanto que à Qualidade de vida adotou-se 75% de importância (Figura 29).

Figura 29 - Simplificação do dendrograma Social



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Quadro 27 - Lista de abreviaturas do dendrograma simplificado do Tema Social

Nº	INDICADOR	NOME
01	Qualidade_vida	Índice que representa alterações na qualidade de vida das populações do entorno.

02	Trabalho_renda	Indicador que representa as mudanças ocasionadas no trabalho e renda da população.
03	Social	Índice que representa as mudanças nas condições sociais derivadas da implantação e operação dos empreendimentos hidrelétricos na sub-bacia.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 28 - Estatística do dendrograma simplificado do Tema Social

ELEMENTOS DO DENDROGRAMA	QUANTIDADE
INDICADORES SISTÊMICOS	3*
BLOCOS DE REGRAS	1
REGRAS	25
FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA	15

* 2 caracterizam-se como *outputs* dos subtemas anteriores

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 29 - Indicadores individuais do dendrograma simplificado do Tema Social

Nº	INDICADOR	TIPO	UNIDADE	MÍN	MÁX	TERMOS
01	Qualidade_vida		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto
02	Trabalho_renda		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 30 - Indicador sistêmico do dendrograma simplificado do Tema Economia

Nº	INDICADOR	TIPO	UNIDADE	MÍN	MÁX	TERMOS
03	Social		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto

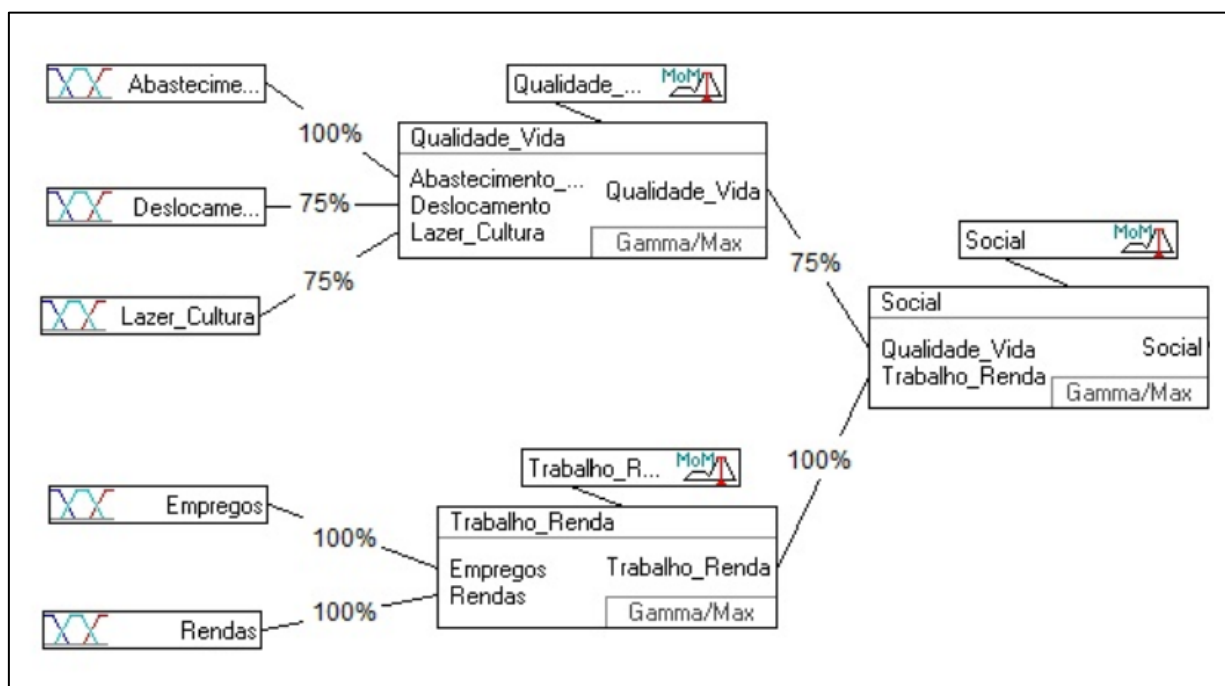
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

O tema Social foi estruturado como um indicador sistêmico, composto pelos indicadores individuais Qualidade de vida e Trabalho e Renda, que consistem em índices compostos por indicadores explicados a seguir. Tencionou-se maior representatividade ao tema e facilidade aos especialistas e decisores na tomada de decisão.

A Figura 29 representa a simplificação do tema. A Figura 30 ilustra todos os indicadores individuais e sistêmicos que o compõem, incluindo o desmembramento dos subtemas e como estes estão estruturados.

Com intuito de buscar maior facilidade ao representar o índice qualidade de vida, foram escolhidos três indicadores: Abastecimento humano, que reflete as mudanças na disponibilidade e potabilidade de hídrica aos moradores locais; Deslocamento, que indica a influência das barragens no deslocamento da população, podendo esta ser positiva se considerar a criação de estradas e acessos que previamente submetiam a população a dificuldades de locomoção, bem como negativo, se acarretar necessidade de maiores esforços ao alcance de um local que posterior a barragem tenha seu acesso impedido ou dificultado; e, por último, o indicador Lazer e cultura, que indica as alterações nos usos dos recursos para recreação, seja, por exemplo, a influência nas atividades de caça e pesca e/ou proporcionar ou prejudicar a criação ou existência de sítio para banhistas, e cultura, como a destruição ou comprometimento de locais de significativa influência histórica ou paisagística.

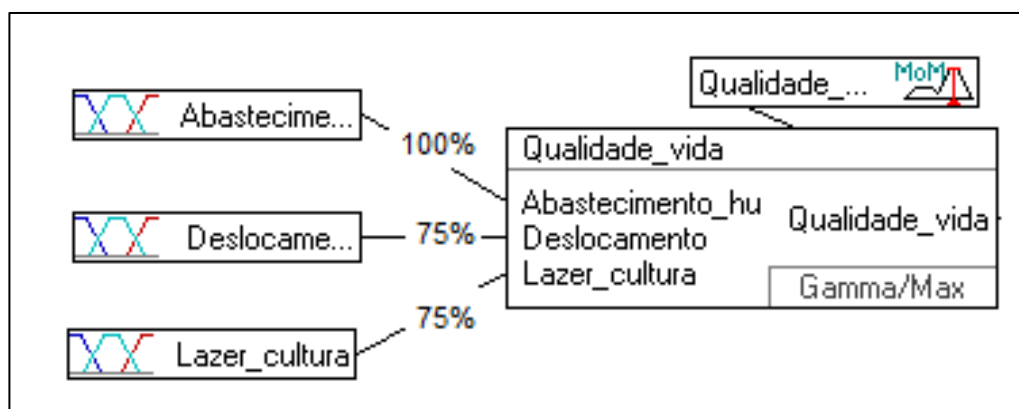
Figura 30 - Dendrograma Social



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

A influência dos dois últimos indicadores foi posta como positiva (75%), porém de menor expressividade que o próprio abastecimento humano (100%). Optou-se por essa regulação em razão da frequente citação na bibliografia pertinente sobre a influência desse tipo de empreendimento na disponibilidade e qualidade de água, conforme relatado no capítulo sobre os impactos elencados nos estudos ambientais.

Figura 31 - Dendrograma subtema Qualidade de vida



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 31 - Lista de abreviaturas do dendrograma do subtema Qualidade de vida

Nº	INDICADOR	NOME
04	Abastecimento_humano	Indicador que representa as mudanças na disponibilidade e qualidade hídrica.
05	Deslocamento	Indicador que representa mudanças no deslocamento da população ocasionadas pela inserção da barragem.
06	Lazer_cultura	Indicador que representa as mudanças nos usos dos recursos para recreação e cultura.
01	Qualidade_vida	Índice que representa alterações na qualidade de vida das populações do entorno.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 32 - Estatística do dendrograma do subtema Qualidade de vida

ELEMENTOS DO DENDROGRAMA	QUANTIDADE
INDICADORES INDIVIDUAIS	3
INDICADORES SISTÊMICOS	1
BLOCOS DE REGRAS	1
REGRAS	25
FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA	20

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 33 - Indicadores individuais do dendrograma do subtema Qualidade de vida

Nº	INDICADOR	TIPO	UNIDADE	MÍN	MÁX	TERMOS
04	Abastecimento_humano		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto
05	Deslocamento		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto
06	Lazer_cultura		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

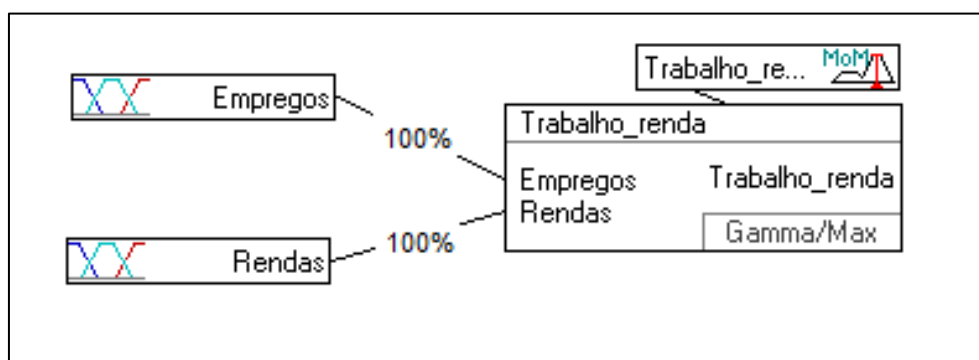
Quadro 34 - Indicador sistêmico do dendrograma do subtema Qualidade de vida

Nº	INDICADOR	TIPO	UNIDADE	MÍN	MÁX	TERMOS
01	Qualidade_vida		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

O subtema de maior expressividade no tema Social, Trabalho e Renda, foi estruturado de forma que os indicadores Empregos e Rendas o compusessem com a mesma importância (100%). Desse modo, a mudança na oferta empregatícia ocasionada pelas PCHs e CGHs, bem como a alteração na renda dos moradores da região exercem o maior peso na constituição do índice Social.

Figura 32 - Dendrograma do subtema Trabalho e Renda



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Quadro 35 - Lista de abreviaturas do dendrograma do subtema Trabalho e Renda

Nº	INDICADOR	NOME
07	Empregos	Indicador que representa as mudanças na oferta empregatícia.
08	Rendas	Indicador que representa as mudanças na renda dos moradores da região.
02	Trabalho_renda	Indicador que representa as mudanças ocasionadas no trabalho e renda da população.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 36 - Estatística do dendrograma do subtema Trabalho e Renda

ELEMENTOS DO DENDROGRAMA	QUANTIDADE
INDICADORES INDIVIDUAIS	2

INDICADORES SISTÊMICOS	1
BLOCOS DE REGRAS	1
REGRAS	25
FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA	15

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 37 - Indicadores individuais do dendrograma do subtema Trabalho e Renda

Nº	INDICADOR	TIPO	UNIDADE	MÍN	MÁX	TERMOS
07	Empregos		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto
08	Rendas		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 38 - Indicador sistêmico do dendrograma do subtema Trabalho e Renda

Nº	INDICADOR	TIPO	UNIDADE	MÍN	MÁX	TERMOS
02	Trabalho_renda		Grau	-1	1	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

A presente seção apresentou o modelo proposto para estimativa de um indicador que represente o suporte da unidade alvo de empreendimentos de geração de energia hidráulica, utilizando a lógica *fuzzy*. Os temas de composição foram o Social, Biótico e Econômico. A escolha pelos temas se deu pela avaliação de periódicos, Estudos de Impacto Ambiental, livros e bibliografias pertinentes.

Na apresentação, os dendrogramas construídos com base na metodologia *top-down* foram detalhados, bem como os indicadores e processos que os compõem.

Para ratificação do seu conteúdo e aplicabilidade, o método *Delphi* foi o escolhido de forma a questionar, por meio de formulários, os estudiosos e decisores do tema acerca da estruturação do modelo, sendo possível captar tendências e opiniões positivas e negativas, possibilitando um aperfeiçoamento do mesmo.

A validação e reconhecimento são necessárias, pois objetiva-se auxiliar o processo de Avaliação Ambiental Integrada, bem como garantir a sustentabilidade das bacias hidrográficas nacionais, debatida e arraigada na legislação brasileira.

A discussão subsequente discorrerá sobre o método, formulário de aplicação e profissionais envolvidos.

4.4 MÉTODO *DELPHI*

O emprego de novas técnicas e metodologias deve ser seguido da sua aceitação, a qual depende da exposição dos critérios e fundamentos que embasaram sua estruturação. Para que criações sejam válidas e suscetíveis de utilização nos processos para os quais são criadas, recorre-se a métodos de investigação e validação, a fim de atestar a confiabilidade do novo, por meio da opinião de pessoas interessadas e conscientes sobre assunto.

A estruturação do modelo, objeto do presente trabalho, contou com pesquisa bibliográfica pertinente, na qual identificou-se a lacuna de uma metodologia padrão a ser empregada na elaboração de uma Avaliação Ambiental Integrada. Com objetivo de divulgá-lo e confirmar sua possibilidade de uso como uma técnica de previsão, percebeu-se a necessidade de consultar e expor a especialistas no assunto os fundamentos de sua criação. Para isso, adotou-se o Método *Delphi*, no qual os conceitos de confiabilidade e validade são precípuos e amplamente explorados em várias áreas, incluindo educação.

A despeito, não é muito comentado no Brasil (MARQUES; FREITAS, 2018). Ainda, nos estudos em que o método é utilizado, há insuficiência de clareza sobre os fundamentos epistemológicos e o enquadramento teórico que serviram como base (POWELL, 2003; MARQUES; FREITAS, 2018) motivos que levaram à explicação do mesmo no presente Capítulo.

4.4.1 Do Método

De acordo com Liaño e Pascual-Ezama (2012), a metodologia *Delphi* é uma técnica usada para obter a opinião mais consensual possível de um grupo de pessoas, consideradas especialistas, em relação a um certo objetivo de pesquisa (LEON; MONTEIRO, 2003).

Para Marques e Freitas (2018) trata-se de um método de investigação não presencial que permite reunir um conjunto de opiniões de *experts*, mesmo quando separados geograficamente, levando a resultados densos sobre temas complexos e abrangentes. Seu potencial traduz-se na possibilidade de orientar a tomada de decisão e transformar a realidade com base nas opiniões dos intervenientes e dos especialistas envolvidos, possibilitando leituras profundas sobre a realidade e a melhor compreensão de fenômenos.

Seu desenvolvimento foi iniciado pelos órgãos associados à Defesa dos Estados Unidos no início da década de 1950, cujo objetivo era obter um consenso sobre ataques com bombas atômicas de um grupo de especialistas militares durante a Guerra Fria (BOBERG; MORRIS-KHOO, 1992; MARQUES; FREITAS, 2018). Liaño e Pascual-Ezama (2012) explicam que o foco era a obtenção de um consenso acerca de uma série de questões apresentadas por intermédio de questionários intensivos, submetidos a um grupo de entendedores, intercalando-se um *feedback* controlado das respostas.

Osborne et al (2003) comentam que geralmente o método consiste em um conjunto de questionários que são respondidos de maneira sequencial e individual, com informações resumidas sobre as respostas do grupo aos questionários aplicados em rodadas anteriores. Dessa forma, a construção da resposta coletiva é gradativa, uma vez que é estabelecido um certo diálogo entre os participantes pela apresentação de *feedback*. Os resultados passam pelo crivo dos pesquisados entre cada rodada, observando-se tendências e opiniões divergentes e possibilitando, por meio disso, que os membros refinem, alterem ou defendam suas opiniões, aprimorando o assunto (MARQUES; FREITAS, 2018).

Liaño e Pascual-Ezama (2012) ratificam que o método é na verdade um programa meticulosamente estruturado que compreende uma sequência de

perguntas que são respondidas individualmente pelos consultados, os quais recebem um *feedback* sistemático que possibilita delinear a próxima bateria de perguntas. Está enquadrado dentro dos métodos de especialistas em relação a um processo dinâmico de mudança, *feedback* e tomada de decisão ao longo da elaboração de um questionário, enriquecendo-o e garantindo maior validade de seu conteúdo (LIAÑO; PASCUAL-EZAMA, 2012).

Para Facione (1990) é uma poderosa técnica de investigação, levando-se em conta as metodologias de pesquisa qualitativas, cujo objetivo de aplicação é encontrar um consenso acerca do assunto debatido, fundamentado entre o grupo (MARQUES; FREITAS, 2018). Embora o objetivo final comum seja o alcance de um consenso, esse nem sempre é desejável ou possível. Por vezes, a obtenção do maior número de opiniões de qualidade já é a finalidade suficiente para subsídio da tomada de decisão (GUPTA; CLARKE, 1996; MARQUES; FREITAS, 2018). Por esse motivo, as opiniões dissidentes e minoritárias também são consideradas e partilhadas, devendo estas integrar no conjunto e mesmo na opinião dos demais. Assim, é essencial a partilha de premissas pelos envolvidos e não apenas de conclusões (FACIONE, 1990; MARQUES; FREITAS, 2018).

A escolha do Método *Delphi* para exposição, retificação e confirmação do modelo criado levou em conta a elucidação de Marques e Freitas (2018), que expõem o grande potencial do *Delphi* como ferramenta metodológica, principalmente pela sua versatilidade, a qual permite sua utilização em várias áreas do conhecimento, além de existirem uma variedade de tipologias de aplicação.

Diversas são as vantagens de utilização da técnica, salienta-se, no entanto:

- a) Anonimato: no método *Delphi* os especialistas desconhecem a identidade dos demais submetidos ao questionário. Para Landeta (1999) vários aspectos positivos podem ser relacionados ao anonimato (LIAÑO; PASCUAL-EZAMA, 2012). Kayo e Securato (1997) comentam que é a característica mais importante do método, pois auxilia na superação de problemas recorrentes na pesquisa cara a cara, como a capacidade de persuasão e domínio psicológico de alguns membros e a relutância em expor opiniões não populares ou mesmo modificação de pontos de vista motivado pela constatação da sua minoridade (YOUSUF, 2007; MARQUES; FREITAS, 2018). Ressalta-se que mesmo as

opiniões minoritárias são fundamentais ao processo, pela possibilidade de refinar o pensamento dos demais quando expostas nos *feedbacks*, e, desse modo, auxiliando no aperfeiçoamento e melhoramento do resultado.

- b) Iteração e *feedback* controlado: também são arrolados como principais características do método por Landeta (1999), reforçado pelo trabalho de Liaño e Pascual-Ezama (2012). A iteração é obtida pela apresentação dos questionários o número de vezes que forem necessárias, fornecendo as estatísticas sobre os resultados obtidos aos envolvidos, possibilitando o refinamento do ponto de vista dos mesmos. Tanto as pessoas de maior como de menor influência têm presença nos resultados. Para Linstone e Turoff (2002) e Marques e Freitas (2018) o *feedback* das contribuições individuais permite a reavaliação das opiniões e colocam que a apresentação das diversas opiniões, bem como da opinião geral, é o que difere o *Delphi* dos demais métodos de sondagem.
- c) Resposta do grupo: a informação apresentada aos especialistas não é apenas a obtida pelo ponto de vista da maioria, e sim de todas as opiniões apresentadas, indicando o grau de concordância obtido (LANDETA, 1999; LIAÑO; PASCUAL-EZAMA, 2012). Marques e Freitas (2018) também apontam a possibilidade de revisão da resposta do grupo como benefício do método.
- d) Heterogeneidade: profissionais de diversas especialistas podem participar das mesmas bases (LANDETA, 1999; LIAÑO; PASCUAL-EZAMA, 2012) diversificando opiniões e fortalecendo o propósito de aplicação. Rowe e Wright (1999) e Osborne et al. (2003) expõem que o uso de grupo de especialistas é uma vantagem ao considerar o contributo destes mais válido que de não especialistas, e que o resultado gerado por um grupo de indivíduos tem mais validade que uma opinião única (MARQUES; FREITAS, 2018). Ao lidar com questões complexas e de diferentes dimensões, o estudo tende a ganhar ao utilizar o *Delphi*, pois há possibilidade de agregação de especialistas de diferentes áreas e diferentes experiências, que enriquecem de várias maneiras o resultado (ROWE; WRIGHT, 1999; MARQUES; FREITAS, 2018).

4.4.2 Implementação do método na pesquisa

As etapas relatadas na literatura para o processo de implementação do método *Delphi* são abordadas por Marques e Freitas (2018) e resumem-se em:

Etapa 1: Escolha do grupo de especialistas.

Etapa 2: Construção do questionário 1 (Q1).

Etapa 3: Primeiro contato com os especialistas e convite para participação na pesquisa.

Etapa 4: Envio do questionário 1.

Etapa 5: Recebimento das respostas do questionário 1.

Etapa 6: Análise das respostas, qualitativa e quantitativa.

Etapa 7: Construção do questionário 2 com feedback (Q2).

Etapa 8: Recebimento das respostas ao questionário 2 e sua análise.

Etapa 9: Envio das seguintes rodadas de questionários, intercalando com as respectivas análises.

Etapa 10: Final do processo e escrita do relatório final.

O processo de implementação do método *Delphi* para validação da árvore de decisão construída (4.3 O MODELO) seguiu apenas uma rodada, na qual se extraiu as ponderações feitas pelos especialistas, relatadas no próximo capítulo. A divisão do processo consistiu na simplificação do proposto pelos autores em 8 (oito) etapas, as quais:

Etapa 1: Escolha do grupo de especialistas.

Etapa 2: Construção do questionário 1 (Q1).

Etapa 3: Primeiro contato com os especialistas e convite para participação na pesquisa.

Etapa 4: Envio do questionário 1.

Etapa 5: Recebimento das respostas do questionário 1.

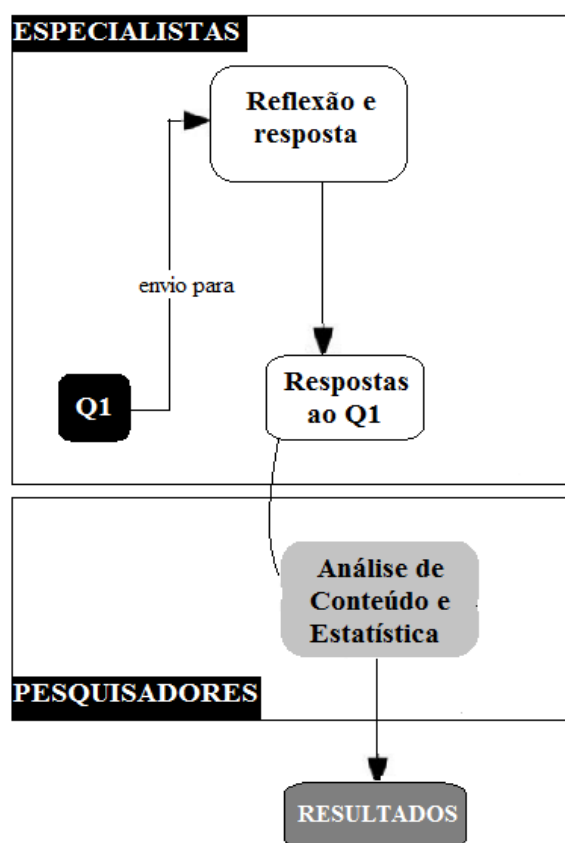
Etapa 6: Análise das respostas, qualitativa e quantitativa.

Etapa 7: Análise final do processo.

Etapa 8: Escrita do relatório.

O esquema da Figura 33 representa a aplicação da metodologia no presente caso, no qual uma rodada foi implementada.

Figura 33 - Esquema de Implementação do Método *Delphi* na pesquisa



Fonte: MARQUES; FREITAS, 2018. (adaptado para pesquisa atual)

Na etapa 1 foram levantados nomes de pessoas cuja especialidade na área é notável, seja como influenciadores na decisão ou como elaboradores de estudos ambientais e pesquisas. Primou-se pela heterogeneidade de titulações, pois,

conforme Powell (2003), estudos heterogêneos produzem soluções de maior qualidade e aceitação (MARQUES; FREITAS, 2018).

Para tal, contou-se com 13 especialistas, escolhidos e equilibrados pela imparcialidade no tema, interesse no assunto e determinada experiência, especialidade e perspectiva adquirida profissionalmente. A recomendação acerca do número de envolvidos é variável na literatura, entretanto, estudos indicam que um número ótimo não deve ser menor que 10 (dez) e conter, no máximo, algumas dezenas de membros (POWELL, 2003; GRISHAM, 2009; MIRANDA et al, 2012; OSBORNE et al, 2003; MARQUES; FREITAS, 2018). Osborne et al (2003) comentam que há pouca produção de novas ideias quando os grupos excedem 30 (trinta) membros (MARQUES; FREITAS, 2018).

Quanto a etapa 2 (construção do Q1), embora Powell (2003) aponte a construção primária por perguntas abertas, optou-se pela mesclagem de questões objetivas, de sim ou não, e questões dissertativas curtas. Quando da escolha da assertiva negativa, os especialistas têm espaço para discorrer livremente sobre sua opinião e apontar sugestões e críticas à composição da árvore de decisão criada. Dessa forma, priorizou-se a celeridade no processo, onde os envolvidos permanecem conectados às respostas de forma não exaustiva, auxiliando na continuidade dos mesmos nas rodadas aplicadas até a composição dos resultados. Marques e Freitas (2018) relatam que questionários demasiado longos e que requerem muito tempo para sua conclusão tendem a desmotivar os participantes, sendo um dos motivos que levam a desistência de participação dos mesmos. Esse fator também foi impedimento para exploração de temas correlatos no questionário.

A estruturação desta etapa baseou-se na própria citação de Powell (2003) que a despeito da opinião sobre questões livres, relata a existência significativa na literatura de estudos que iniciam de maneira mais direcionada, com questionários semiestruturados ou fechados na primeira rodada.

O questionário aplicado (Q1) encontra-se no Anexo II.

As etapas 3 e 4, que consistem no contato com os *experts* e envio do questionário 1, foram executadas por intermédio da *internet*. Originalmente estas etapas, principalmente a 4, eram realizadas por serviços postais, porém atualmente a

preferência é pelos serviços da *internet* em função da rapidez, comodidade e redução de despesas (SERRA et al, 2009; MARQUES; FREITAS, 2018).

Optou-se pelo aplicativo de administração de pesquisas do *Google*, o *Google forms*, no qual os questionários foram elaborados, enviados e as respostas foram obtidas (etapa 5).

Durante a etapa 6 realizou-se a análise das respostas, qualitativa e quantitativamente, obtidas pela aplicação do questionário 1.

A etapa 7 consistiu na análise final do processo. Powell (2003) explica que não há regras bem definidas para o estabelecimento de um critério para terminar a consulta (MARQUES; FREITAS, 2018), atribuindo-se aos pesquisadores o alcance do desejado. O relatório final acerca dos resultados do método está disposto no Capítulo 5, no qual as principais considerações e sugestões são elencadas.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 RESULTADOS E DISCUSSÃO PROVENIENTES DA APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

Esta seção tem por primazia relatar o desenvolvimento das Etapas 6: Análise das respostas, qualitativa e quantitativa; 7: Análise final do processo; e 8: Escrita do relatório, compreendendo o produto desta última.

A implementação de uma rodada foi suficiente para captar as ponderações dos especialistas derivadas do primeiro impacto com o modelo. A utilização de pelo menos mais uma rodada, onde seria exposto aos participantes o *feedback* da primeira experiência, poderia auxiliar no aperfeiçoamento do modelo e no alcance de um consenso sobre a melhoria e aplicabilidade da Sistema Especialista *Fuzzy*. Conforme Marques e Freitas (2018), tantas rodadas quantas forem necessárias podem ser implementadas no método, desde que a cada recebimento de respostas, novo questionário seja elaborado constando o *feedback* da fase anterior.

A maioria das pesquisas *Delphi* possuem entre duas a quatro rodadas. Um número maior não é aconselhável em virtude da demanda de tempo e inexistência de mudanças significativas de opinião nas rodadas posteriores (KAUKO; SECURATO, 1997; MARQUES; FREITAS, 2018). A construção de novos questionários com apresentação de *feedback* deve permitir a apreciação dos resultados obtidos. Constitui a forma de comunicação do painel, mesmo que com a intermediação dos pesquisadores (POWELL, 2003; MARQUES; FREITAS, 2018), que devem ter cautela na exposição fidedigna dos fatos de forma resumida e analisada.

Aqui estão expostas as considerações individuais e representativas do pensamento do grupo, preservando-se o anonimato e evidenciando as tendências e pontos discordantes, conforme recomendam Kayo e Securato (1997) e Marques e Freitas (2018). Impende comentar que a identificação em números (ex.: Especialista 1) não segue a correspondência de um mesmo participante em todas as questões, de forma a preservar a sua identidade e perspectiva sobre o assunto.

5.1.1 Análise qualitativa e quantitativa das respostas

Nesta oportunidade é feita a análise das respostas obtidas pelos 13 (treze) envolvidos na metodologia *Delphi*. Marques e Freitas (2018, p. 399) elucidam que:

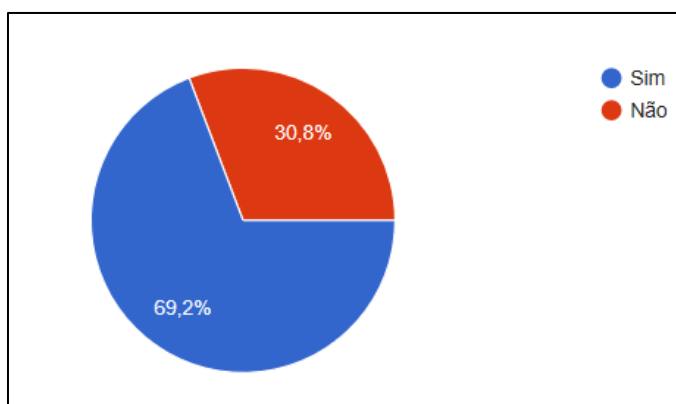
A análise qualitativa é aplicada principalmente ao resultado do primeiro questionário (aberto) e normalmente é usada a análise de conteúdo, criando-se categorias e agrupando-se itens de resposta. Em relação à análise quantitativa, são normalmente usadas técnicas de estatística descritiva (médias, desvios padrão e variâncias). Alguns autores utilizam testes estatísticos para procurar relações entre respostas e entre respostas de subgrupos de especialistas.

Neste sentido, analisa-se precipuamente de forma qualitativa o obtido nesta primeira e única rodada de aplicação, utilizando-se gráficos para melhor ilustração dos resultados.

5.1.1.1 Dendrograma Principal

Em relação ao questionamento acerca da composição do dendrograma principal “Suporte” que integra os temas “Ecologia”, “Economia” e “Social” (pergunta 1 - ver Anexo II), 69,2% dos envolvidos concordam com a composição das variáveis e a importância relativa a cada uma (Figura 34).

Figura 34 - Gráfico referente à pergunta 1



Fonte: Google forms.

Os 30,8% envolvidos (quatro especialistas) cuja opinião é dissidente da proposta inicial puderam contribuir com suas percepções para o aprimoramento do modelo (pergunta 1.a). O questionamento foi elaborado de forma que os especialistas pudessem colaborar com a composição do índice, referindo-se à importância dos temas Ecologia, Economia e Social, propostos de forma equivalente em 100%.

Dentre as propostas, encontram-se:

Especialista 1: atribuição da importância de 70% para Ecologia; 45% para Economia; e 70% para o Social.

Especialista 2: atribuição da importância de 20% para Ecologia; 100% para Economia; e 40% para o Social.

Especialista 3: atribuição da importância de 100% para Ecologia; 80% para Economia; e 80% para o Social.

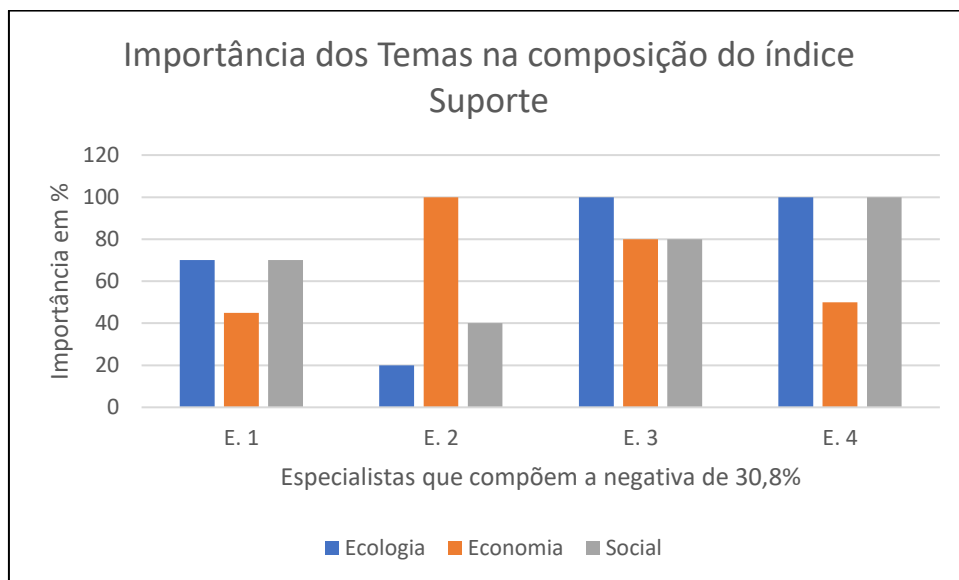
Especialista 4: “Social (100%); 2 - Ecologia (100%); 1 - Economia (50%). Penso que o aspecto social deve ser sempre priorizado. No caso em análise, a geração de energia deve atender prioritariamente uma demanda social, para permitir o atendimento de necessidades básicas da população. Em seguida, entendo que as intervenções no meio ambiente devem sempre observar o menor impacto possível. Por último, a questão econômica, em que pese a exploração de recursos naturais seja importante para a geração de “riqueza”, esta deve estar subordinada aos interesses sociais e à sustentabilidade.”

Depreende-se que a minoria que discordou da proposta inicial equivalente, na qual os três temas possuem importância de 100% na composição do índice suporte, entende que os aspectos ecológico e social devem possuir maior importância na composição, com exceção do Especialista 2, que atribui à Economia 100% de importância (Figura 35).

Outro *expert* utilizou o espaço para argumentar que “Devido ao fato de existirem outras formas de geração de energia, e de que para a geração hidráulica de energia são causados diversos impactos ambientais, no momento do licenciamento ambiental junto ao órgão licenciador é verificada uma exigência maior no que tange ao aspecto ecológico e aspecto social.”

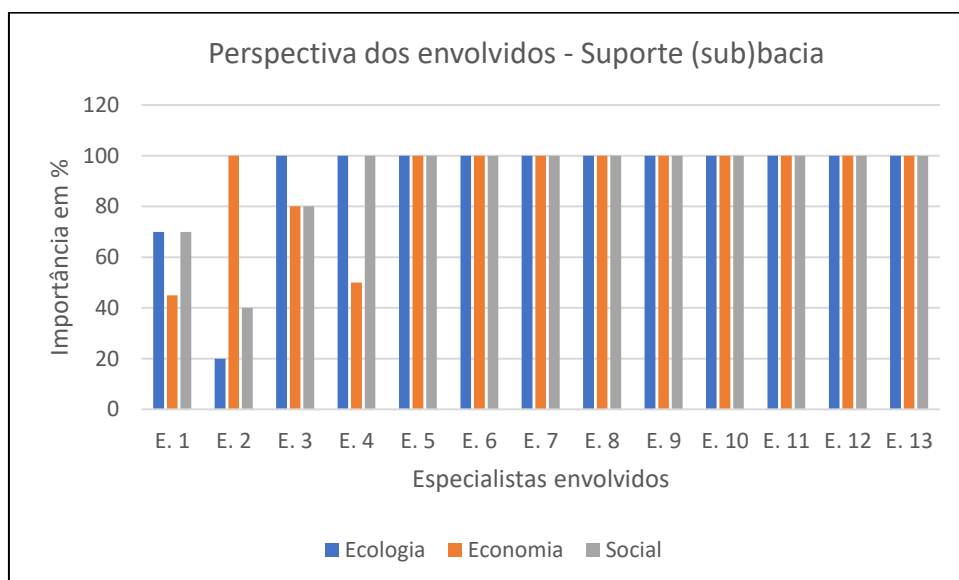
A Figura 36 ilustra a composição proposta por todos os envolvidos na pesquisa, permitindo uma visão geral referente ao questionamento.

Figura 35 - Respostas referentes à pergunta 1



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Figura 36 - Perspectiva geral pergunta 1

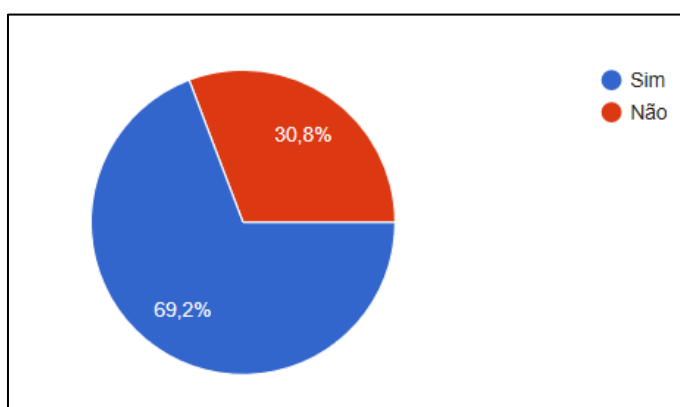


Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

5.1.1.2 Tema Ecologia

Concernente ao questionamento sobre a composição do tema “Ecologia”, (pergunta 2), o posicionamento dos envolvidos repetiu o padrão anterior, no qual 69,2% dos envolvidos concordam com a composição das variáveis e a importância relativa a cada uma, enquanto 30,8% possuem opiniões dissidentes (Figura 37).

Figura 37 - Gráfico referente à pergunta 2



Fonte: Google forms.

Esse questionamento também teve espaço para as sugestões contrárias à proposta, por meio da pergunta 2.a. Nesta, puderam contribuir com a importância que acreditam ser melhor representativa ao tema, salientando que inicialmente a Ecologia é composta pelos temas Biótico e Físico e que suas porcentagens são equivalentes à 100%.

Dentre as propostas, encontram-se:

Especialista 1: atribuição da importância de 70% para subtema Biótico; e 100% para o Físico.

Especialista 2: atribuição da importância de 90% para subtema Biótico; e 70% para o Físico.

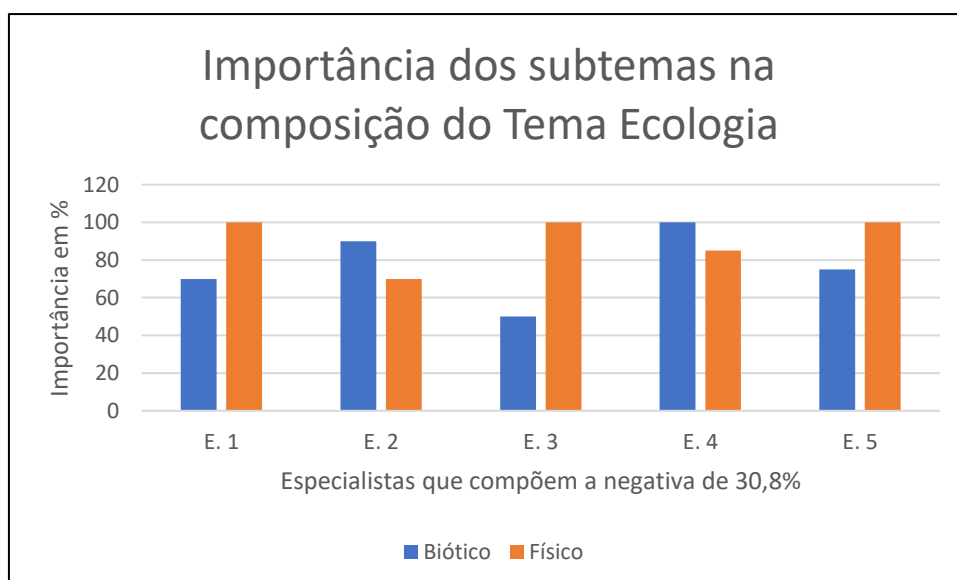
Especialista 3: atribuição da importância de 50% para subtema Biótico; e 100% para o Físico.

Especialista 4: atribuição da importância de 100% para subtema Biótico; e 85% para o Físico.

Especialista 5: atribuição da importância de 75% para subtema Biótico; e 100% para o Físico. Acrescentou: “Nesse item, entendo que o meio físico possui mais relevância, a priori, pois constitui fator limitante à presença de determinadas espécies. A alteração entre regimes lótico e lêntico, turbidez e temperatura da água são fundamentais para a permanência de determinadas espécies.”

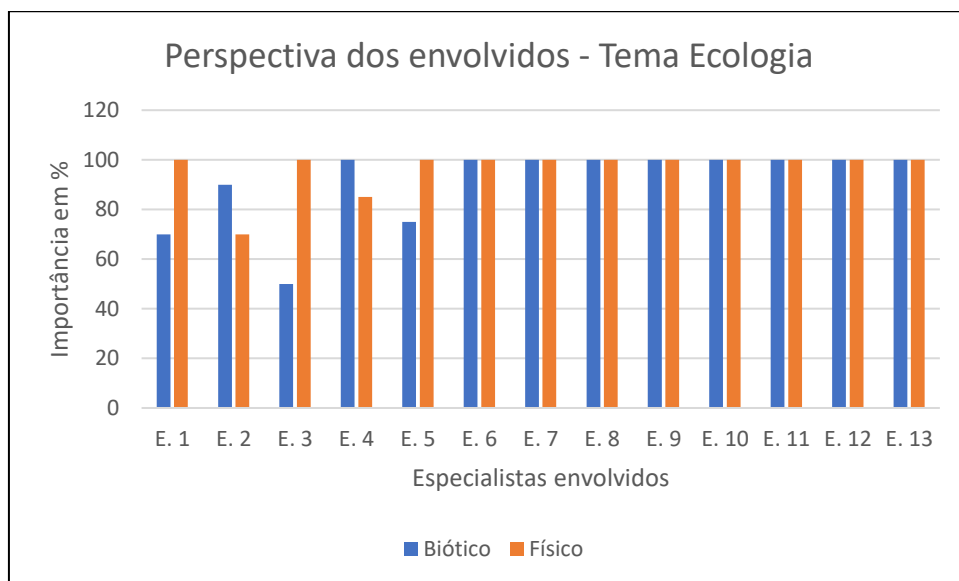
Com relação ao tema Ecologia, os 05 (cinco) participantes que expuseram ideia contrária à proposta inicial demonstraram pensamentos bastante divergentes, dos quais 03 (três) acreditam que o subtema físico deve estar expresso com maior e máxima importância (100%), enquanto que 02 (dois) entendem que este deve ser expresso com representatividade menor que o subtema biótico, embora não baixos, de 70 e 85%. Os que acreditam que o meio físico é mais importante no peso do tema debatido, propuseram as porcentagens de 70, 50 e 75% para o biótico, enquanto que os outros o colocam com 90 e 100% (Figura 38).

Figura 38 - Respostas referentes à pergunta 2



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Figura 39 - Perspectiva geral pergunta 2

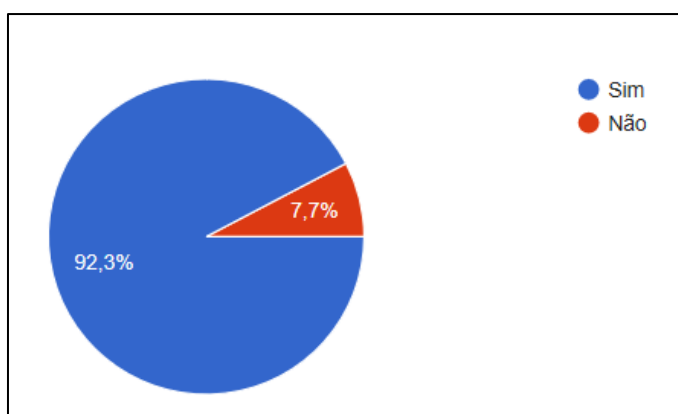


Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

A Figura 39 ilustra a composição proposta ao tema Ecologia por todos os envolvidos na pesquisa, permitindo uma visão geral referente ao questionamento.

Especificando a composição do subtema Biótico, questionou-se a sua composição, que inicialmente é atribuída pelos indicadores Fauna e Flora, tanto aquática como terrestre (pergunta 2.b). As porcentagens ficaram elencadas previamente como 100% aos 04 (quatro) indicadores. Neste caso, os envolvidos apresentaram uma resposta majoritária significativa (92,3%) em concordância.

Figura 40 - Gráfico referente à pergunta 2.b



Fonte: Google forms.

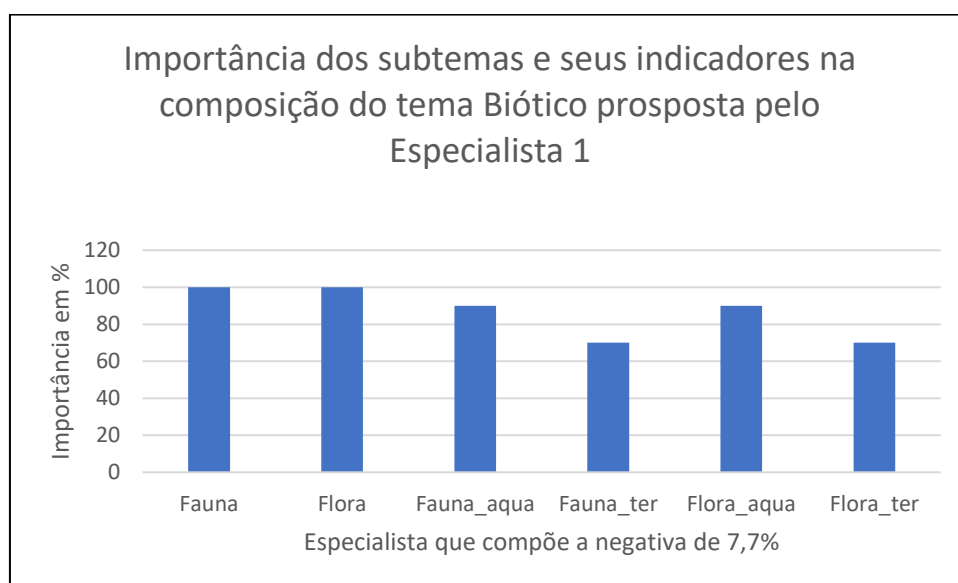
Um especialista foi responsável pela porcentagem 7,7%, propondo o seguinte (espaço referente à pergunta 2.c):

Especialista 1: Fauna e Flora representadas igualmente por 100%. Seu desmembramento nos indicadores deve seguir 90 % de importância à Fauna aquática, 70% à Fauna terrestre, 90% à Flora aquática e 70% à Flora terrestre.

Outro especialista aproveitou o espaço para discorrer o que segue: “Penso que as variáveis do índice "Biótico" têm relevância equivalente, não se sobrepondo umas às outras”.

Compreende-se que apenas um Especialista discorda do proposto, atribuindo à esfera aquática maior importância na composição do subtema Biótico (Figura 41). O Especialista 2 ressalta apenas que as composições devem ser equivalentes.

Figura 41 - Respostas referentes à pergunta 2.b



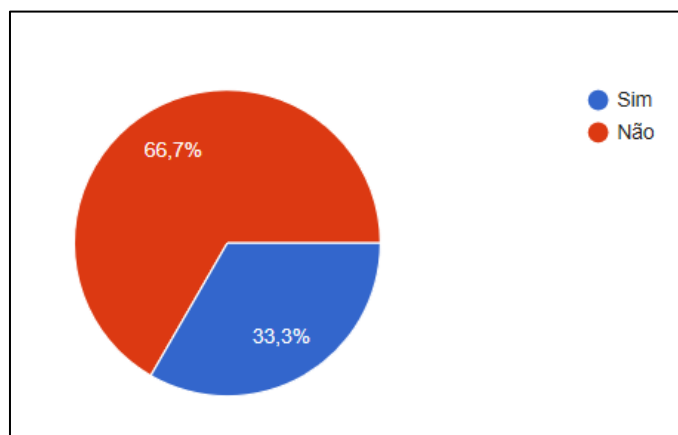
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Nesse caso um gráfico cuja função seja ilustrar a perspectiva geral dos envolvidos não é necessário, visto que apenas um expôs opinião dissidente.

Em relação ao subtema Físico, questionou-se a pertinência das porcentagens de 60% para o solo e 100% para água, sendo estes os dois indicadores que o compõem. A composição inicial foi bastante discutida, e 66,7% dos envolvidos

discordam do proposto (oito participantes). Nota-se que um dos envolvidos absteve-se de participar dessa assertiva (Figura 42).

Figura 42 - Gráfico referente à pergunta 2.d



Fonte: Google forms.

Dentre as propostas, encontram-se:

Especialista 1: “Sugiro que na parte física também seja levado em consideração a qualidade do ar”.

Especialista 2: “Acredito que seria importante acrescentar o item ar no meio físico (50%), segue sugestão <https://www2.ufjf.br/noticias/2016/01/28/hidreletricas-na-amazonia-podem-emitir-mais-gases-de-efeito-estufa-que-usinas-a-carvao-oleo-e-gas/>”.

Especialista 3: “O peso do Solo deveria ser aumentado”.

Especialista 4: Diminuição do peso da água para 90% e permanência do solo em 60%.

Especialista 5: “Acredito que a variável solo se desmembre em 1) solo e 2) geologia. Acredito que nesse tocante o fator solo deva receber um percentual de no mínimo 75%, haja visto que um substrato rochoso, que sustente uma obra como barramento, e em muitos casos túnel de adução, é imprescindível para o empreendimento não seja inviabilizado (ambiental ou economicamente).”

Especialista 6: “Única coisa que me gera dúvidas é em relação ao grau de importância para Solo (60%), se tal índice retrata fielmente a pertinência deste item no contexto geral.”

Especialista 7: atribuição de 70% ao solo.

Especialista 8: “Os itens “água” e “solo” não parecem compreender todos os aspectos relacionados ao meio físico. Acredito que itens como geomorfologia, geologia, regime de escoamento, qualidade da água e vazão não ficariam bem representados. Nessa hipótese, creio que os aspectos teriam importância equivalente.”

É possível inferir que cinco dos oito especialistas argumentativos nesta questão elencam preocupação quanto ao indicador Solo, mais precisamente sobre sua correta importância. Um deles propõe, inclusive, a possibilidade de desmembrar este em dois indicadores que promovam a ilustração do solo e da geologia local (Especialista 5). Da mesma forma, o Especialista 8 acredita que os indicadores propostos não representam de forma fidedigna o meio físico, devendo a geomorfologia, geologia, regime de escoamento, qualidade da água e vazão serem representados.

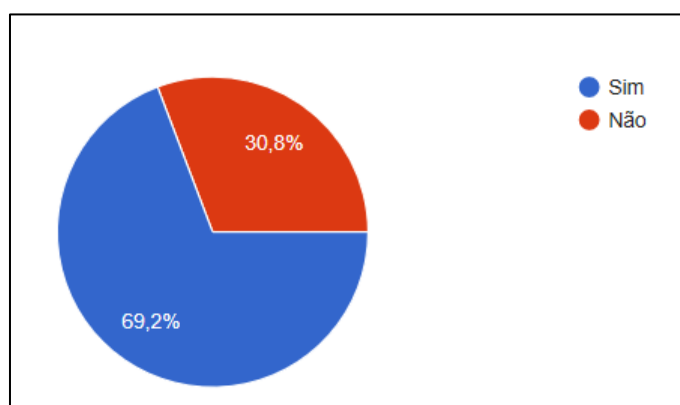
Dois especialistas que compõem a porcentagem negativa acrescem o indicador “Ar” ao meio físico, acreditando que os impactos atmosféricos produzidos pelas centrais de pequeno porte influenciam significativamente o meio de inserção. O Especialista 2 propõe sua importância menor que à proposta ao Solo e Água, sendo de 50%.

Por fim, apenas um *expert* entende que a porcentagem de importância da água deva ser divergente à inicial, com 90%. Essa oscilação de respostas inviabiliza a construção de um gráfico, uma vez que alguns envolvidos mesmo discordando da porcentagem inicial, não propuseram a consideração adequada em relação numérica, bem como fundamentaram sugestão de desmembramento deste indicador, que resulta na elaboração de um novo dendrograma.

5.1.1.3 Tema Economia

A pergunta 3 do questionário inicia o debate acerca do tema Economia, composto pelos subtemas Cobrança e Economia Local. À Cobrança atribuiu-se, inicialmente, importância de 75%, enquanto que à Economia Local 100%. Em relação a essa distribuição, 69,2% (nove especialistas) concordam com o proposto (Figura 43).

Figura 43 - Gráfico referente à pergunta 3



Fonte: *Google forms*.

Dentre as propostas dos quatro dissidentes, submetidas no item 3.a, encontram-se:

Especialista 1: atribuição de importância de 90% à Cobrança; e de 70% à Economia Local.

Especialista 2: “Acredito ser complexo o estabelecimento de um percentual fixo, devido a situações em que se encontram os locais a ser implantado o empreendimento. Ex: se há ou não uso das terras de alagado para geração de renda, se há população próxima ao empreendimento ou não. Existem inúmeros fatores que influenciam, e cada caso deve ser analisado a parte.”

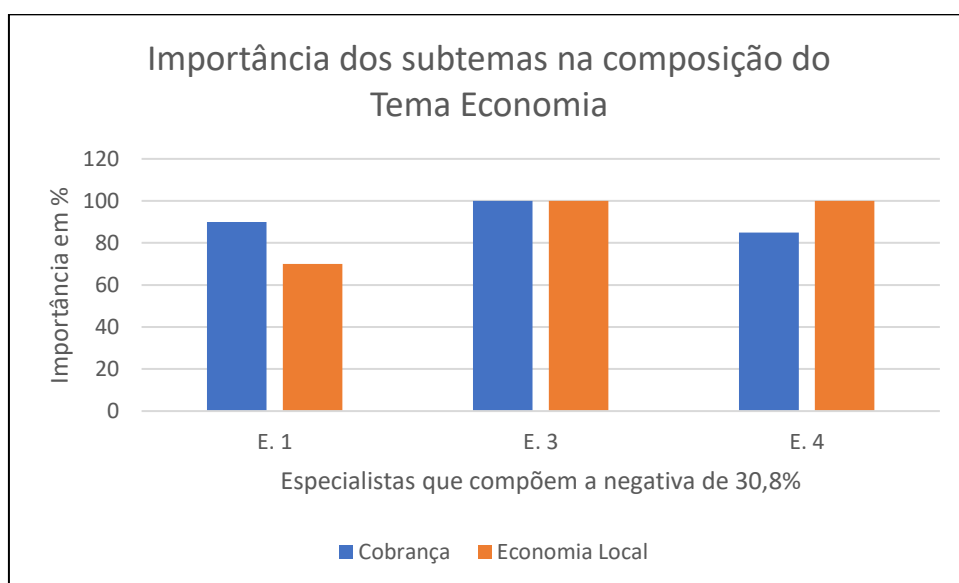
Especialista 3: atribuição igualitária aos índices, de 100%.

Especialista 4: atribuição de importância de 85% à Cobrança.

A utilização do espaço também expôs o entendimento de outro *expert*, o qual relata estar “De acordo com a relação estabelecida”.

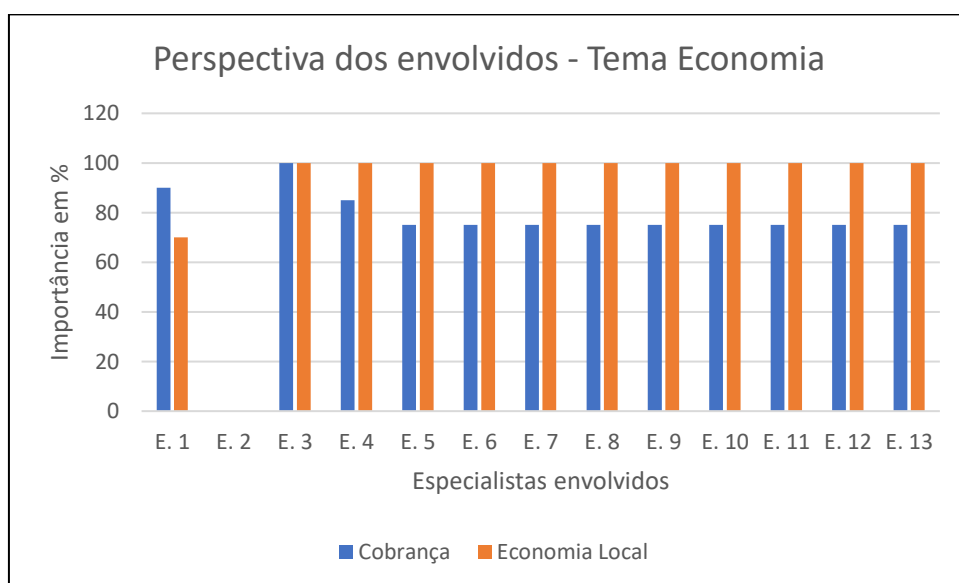
Como apenas 03 (três) dos divergentes expuseram sua opinião percentual, a Figura 44 ilustra a importância relacionada por 23,1%.

Figura 44 - Respostas referentes à pergunta 3



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

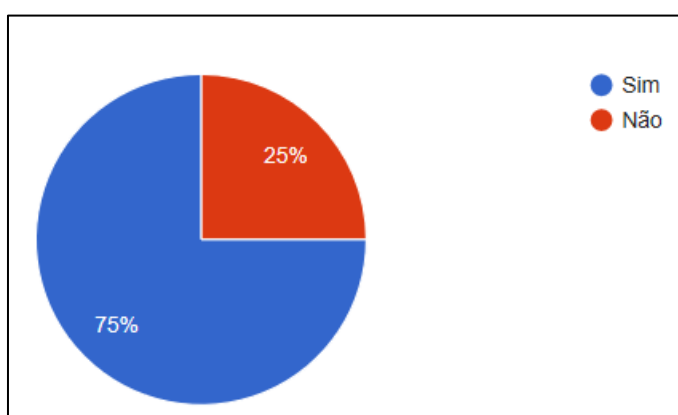
Figura 45 - Perspectiva geral pergunta 3



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Especificando o subtema Cobrança, questionou-se a sua composição, que inicialmente é atribuída pelos indicadores Pagamento Local e Retornos Econômicos (pergunta 3.b). As porcentagens ficaram elencadas previamente como 100% e 75%, respectivamente. Neste caso, os envolvidos apresentaram uma resposta majoritária de 75% em concordância.

Figura 46 - Gráfico referente à pergunta 3.b



Fonte: Google forms.

Um dos envolvidos preferiu não expor sua percepção neste questionamento. Os responsáveis pela porcentagem 25%, três especialistas, propuseram o seguinte (espaço referente à pergunta 3.c):

Especialista 1: Expõe a dificuldade em atribuir percentual fixo.

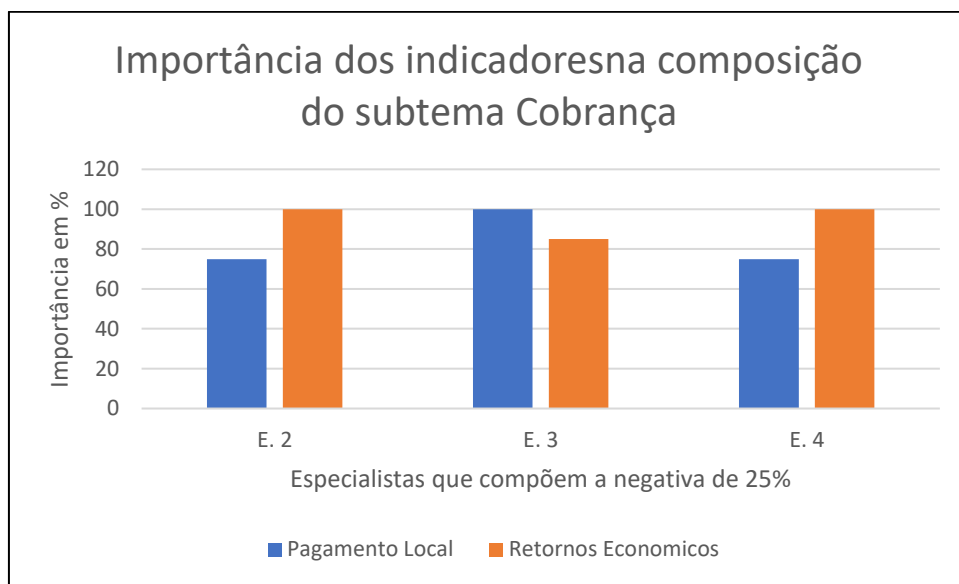
Especialista 2: atribuição de 75% ao Pagamento Local; e 100% aos Retornos Econômicos.

Especialista 3: atribuição de 85 % aos Retornos Econômicos.

Especialista 4: atribuição de 75% ao Pagamento Local; e 100% aos Retornos Econômicos, pela redação “Os retornos econômicos seriam mais relevantes, no caso do setor hidrelétrico. 16 - Pagamento local (75%); Retornos econômicos (100%).”

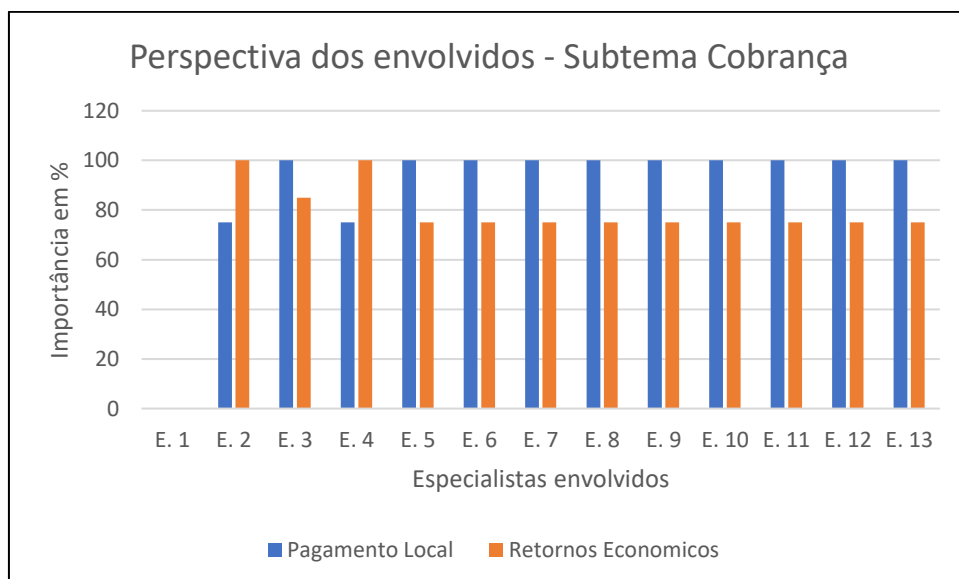
Percebe-se que três especialistas expressam a necessidade em aumentar a porcentagem de importância dos Retornos econômicos na composição do subtema (Figura 47). A perspectiva geral é visualizada pela Figura 48.

Figura 47 - Respostas referentes à pergunta 3.b



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Figura 48 - Perspectiva geral pergunta 3.b

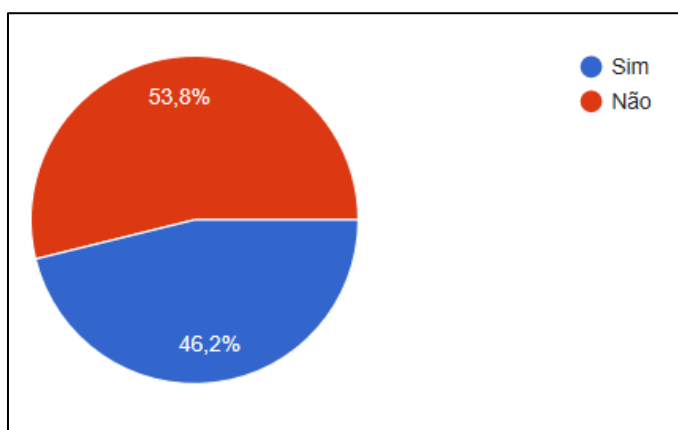


Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

5.1.1.4 Tema Social

A partir da pergunta 4 o tema Social passou a ser avaliado pelos especialistas. Sua composição inicial é feita pelos subtemas Qualidade de Vida e Trabalho e Renda. A importância inicialmente fundamentada à Qualidade de vida foi de 75%, e ao Trabalho e Renda de 100%. Diante disso, os envolvidos demonstraram, em sua maioria, a discordância em relação ao proposto, onde 53,8% (sete participantes) opinaram divergentemente (Figura 49).

Figura 49 - Gráfico referente à pergunta 4



Fonte: Google forms.

As propostas, escritas no espaço referente à pergunta 4.a, apresentam:

Especialista 1: “Acredito que os dois índices devam ter o mesmo peso.”

Especialista 2: atribuição de importância de 100% à Qualidade de vida, e de 100% à Trabalho e Renda.

Especialista 3: atribuição de importância de 80% à Qualidade de vida, e de 80% à Trabalho e Renda.

Especialista 4: atribuição de importância de 100% à Qualidade de vida, e de 50% à Trabalho e Renda. Acrescenta: “Pondero esses pesos baseada no fato de que, principalmente, no que tange a empregos, são gerados poucos empregos. Na prática, o que se percebe atualmente, é que como um PCH/CGH não demanda de muitos

funcionários e ante o comum fato de que quando da construção desses empreendimentos, quando são empregados pessoal local, muitos desses acabam entrando com processos trabalhistas contra a construtora, a mesma opta por trazer sua mão de obra externa, que já está habituada com o serviço e não gera problemas, como processos contra a construtora”.

Especialista 5: atribuição de importância de 50% à Qualidade de vida, e de 100% à Trabalho e Renda.

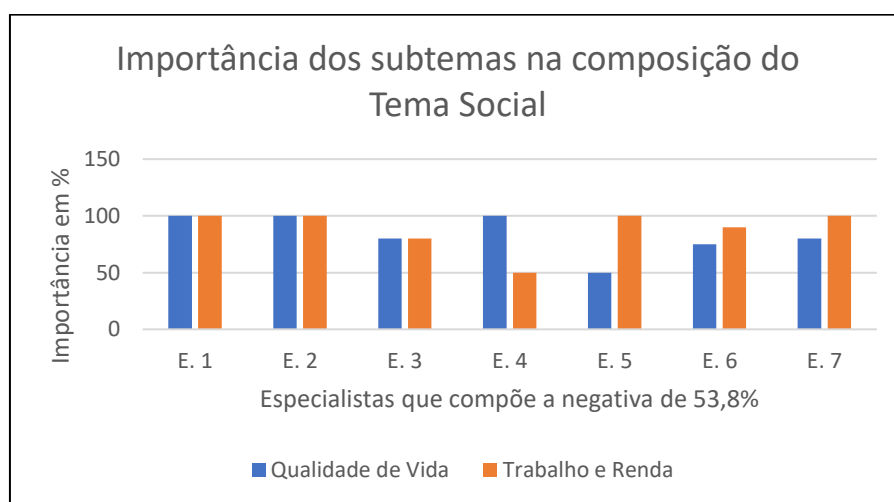
Especialista 6: atribuição de importância de 75% à Qualidade de vida (mantém a inicial), e de 90% à Trabalho e Renda.

Especialista 7: atribuição de importância de 80% à Qualidade de vida, e de 100% à Trabalho e Renda (mantém a inicial).

Infere-se que dois dos sete especialistas que compõem a porcentagem negativa acreditam que Qualidade de Vida e Trabalho e Renda devam ter importâncias equivalentes e máximas, de 100%. Um deles também acredita na importância equivalente, entretanto de 80%.

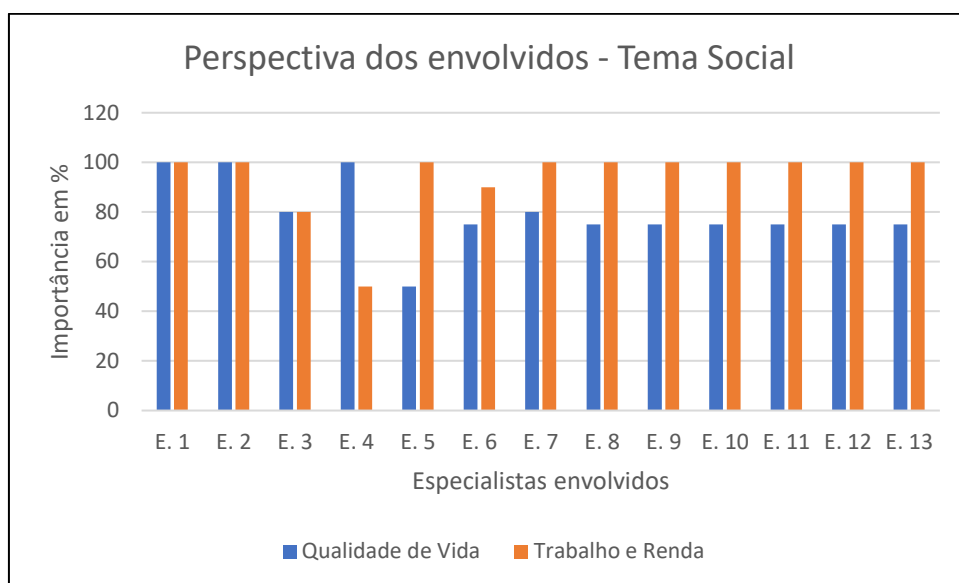
Apenas um dos envolvidos acredita que o peso do componente Qualidade de vida deva ser superior ao Trabalho e Renda, enquanto que os três últimos mantêm o entendimento de que Trabalho e Renda é mais importante na composição do tema Social. As respostas podem ser visualizadas na Figura 50, enquanto que a perspectiva geral encontra-se na Figura 51.

Figura 50 - Respostas referentes à pergunta 4



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

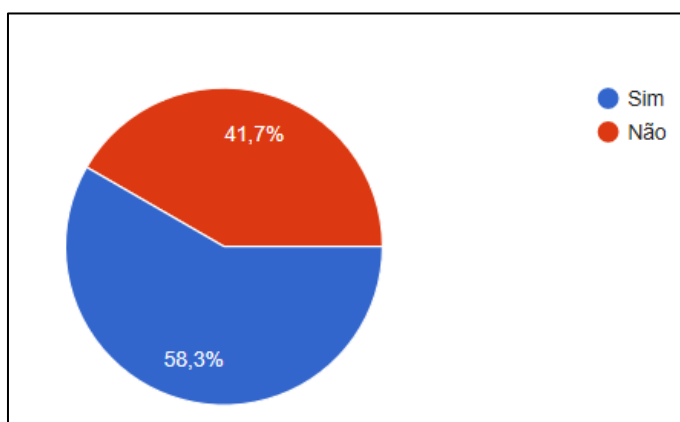
Figura 51 - Perspectiva geral pergunta 4



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

O subtema Qualidade de Vida, inicialmente composto pelos indicadores Abastecimento Humano, Lazer e Cultura e Deslocamento, com importâncias de 100, 75 e 75%, respectivamente, foi debatido por intermédio da pergunta 4.b. Dentre os 13 participantes, apenas 12 participaram dessa assertiva, onde 58,3% (sete envolvidos) concordam com a forma previamente disposta.

Figura 52 - Gráfico referente à pergunta 4.b



Fonte: Google forms.

Sete respostas foram adquiridas por meio do espaço referente à pergunta 4.c, as quais:

Especialista 1: atribuição de importância de 100% ao Abastecimento humano, 100% ao Deslocamento e 75% ao Lazer e cultura.

Especialista 2: “O item abastecimento e deslocamento variam muito com a situação encontrada. Há locais em que a captação para abastecimento não é realizada no curso d'água que receberá o empreendimento. Em muitos casos não há a realocação de população, devido à grande parte desse tipo de empreendimento estar localizado em zona rural, a qual tem diminuído a sua população ano a ano.”

Especialista 3: atribuição de importância de 100% ao Abastecimento humano, 75% ao Deslocamento e 60% ao Lazer e cultura. Por meio do argumento: “Não sei se Lazer e cultura tem a mesma pertinência de aspectos "funcionais" como deslocamento e abastecimento, talvez 60% esteja de bom tamanho.”

Especialista 4: atribuição de importância de 100% ao Abastecimento humano, 75% ao Deslocamento e 40% ao Lazer e cultura.

Especialista 5: atribuição de importância de 100% ao Abastecimento humano, 85% ao Deslocamento e 90% ao Lazer e cultura.

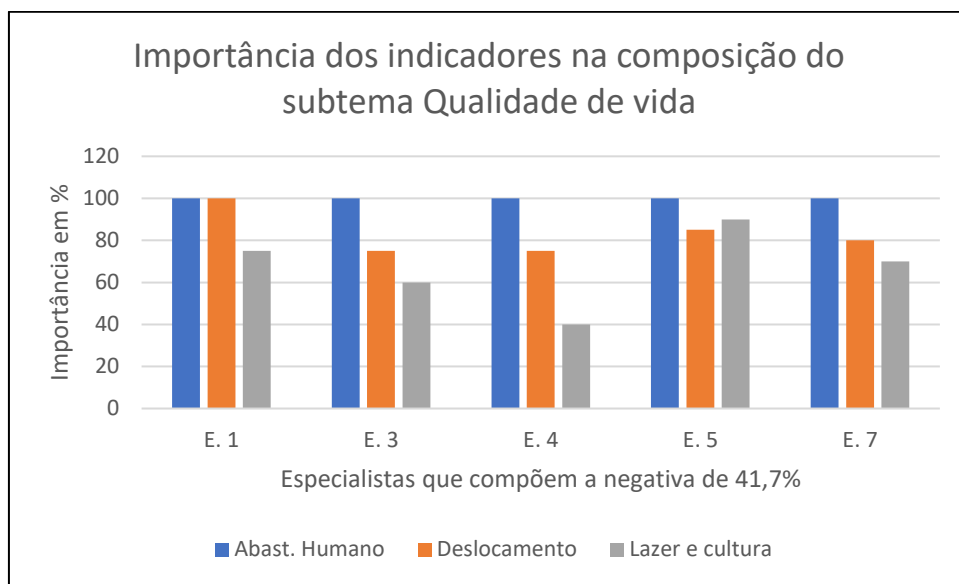
Especialista 6: “A alteração do aspecto "abastecimento humano" para "saneamento básico" pode refletir uma abordagem mais completa, visto que a gestão dos recursos hídricos está relacionada a todas as vertentes do saneamento básico. Os aspectos "deslocamento" e saneamento poderiam integrar o índice "infraestrutura", com a finalidade de avaliar a influência da instalação de aproveitamentos energéticos em termos de melhorias em estradas, disponibilidade de transporte coletivo, disponibilidade de energia, unidades de saúde, educação básica e profissionalizante etc”.

Especialista 7: atribuição de importância de 100% ao Abastecimento humano, 80% ao Deslocamento e 70% ao Lazer e cultura.

Percebe-se que em sua maioria, os envolvidos acreditam que o fator Deslocamento expressa maior importância na Qualidade de vida do que inicialmente proposto. Alguns, inclusive, diminuem a importância de Lazer e cultura, acreditando que este indicador não influencia de forma tão significativa na qualidade de vida da

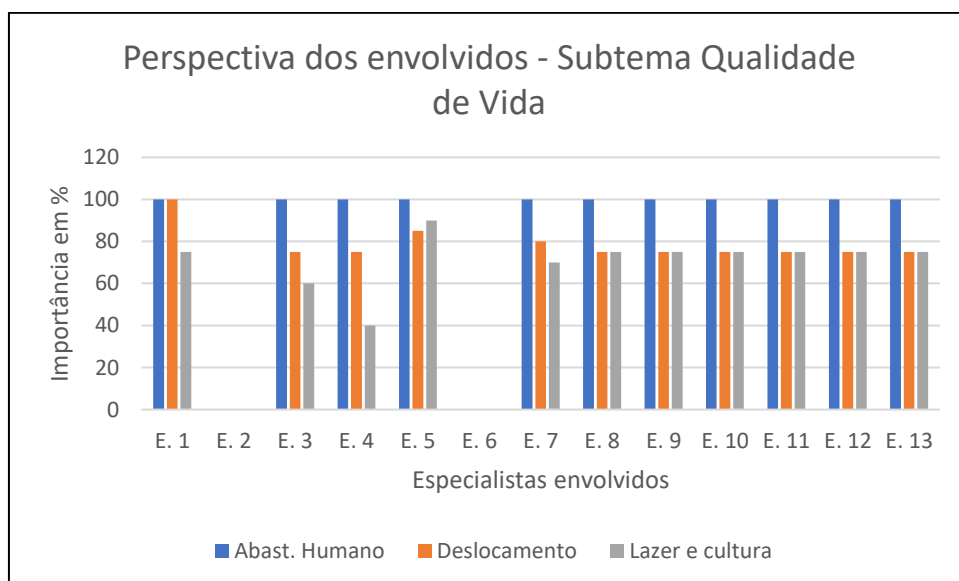
população (Figura 53). Percebe-se, por meio do argumento do especialista 6, a possibilidade de rearranjo do dendrograma deste subtema. A perspectiva geral pode ser compreendida pela análise da Figura 54.

Figura 53 - Respostas referentes à pergunta 4.b



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

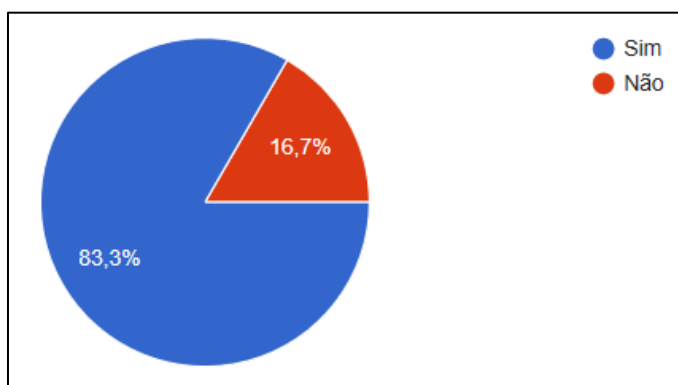
Figura 54 - Perspectiva geral pergunta 4.b



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

O subtema Trabalho e renda, inicialmente composto pelos indicadores Empregos e Renda, com importâncias de 100% cada, foi debatido por intermédio da pergunta 4.d. Dentre os 13 participantes, apenas 12 participaram dessa assertiva, onde 83,3% (dez envolvidos) concordam com a forma previamente disposta (Figura 55).

Figura 55 - Gráfico referente à pergunta 4.d



Fonte: *Google forms*.

Os dois envolvidos que opinaram negativamente argumentaram o seguinte:

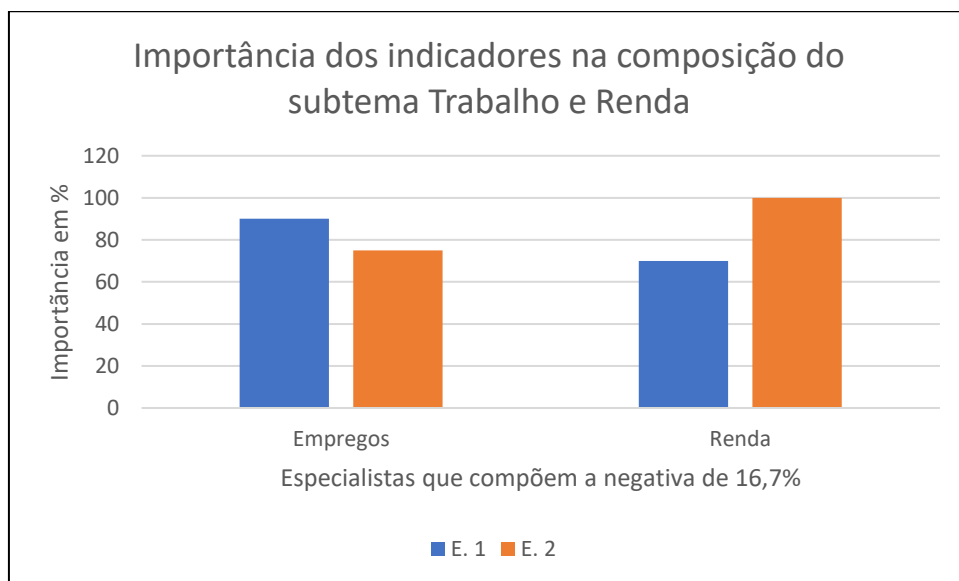
Especialista 1: atribuição de importância de 90% a Empregos; e de 70% a Rendas.

Especialista 2: atribuição de importância de 75% a Empregos; e de 100% a Rendas (mantém a inicial). Acrescenta: “A renda, apesar de não ser tão representativa, acredito que possa gerar mais movimentação que os empregos.”

A contribuição dos especialistas supra encontra-se ilustrada na Figura 56. Ainda, outro *expert* utilizou do espaço, pertencente a pergunta 4.e, para fundamentar que Trabalho e renda são fatores muito importantes na temática.

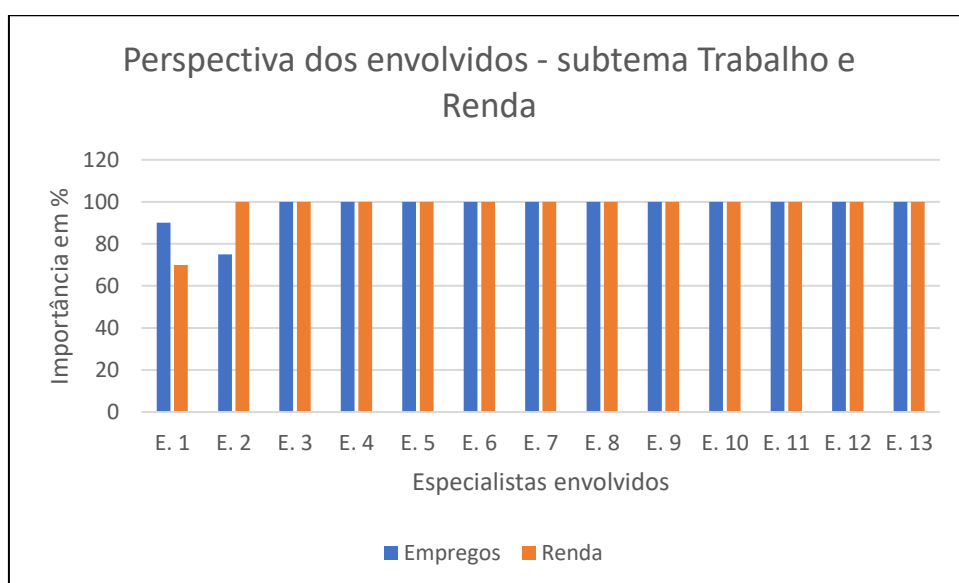
A perspectiva geral do subtema Trabalho e Renda é apresentada na Figura 57.

Figura 56 - Respostas referentes à pergunta 4.d



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Figura 57 - Perspectiva geral pergunta 4.d



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Entende-se que o tema de maior destaque e contradição foi o Ecológico, mais precisamente a correspondência do indicador Solo no subtema Físico. O tema Social também foi bastante discutido, embora a questão tenha se resumido à importância dos indicadores previamente propostos.

Essas contraposições ao modelo proposto podem ser derivadas da sua ausência de especificação, uma vez que se trata de um modelo base, genérico, no qual se abrange um contexto de inserção de Pequenas Centrais sem envolver as particularidades de um local. Entretanto, frisa-se a possibilidade de rearranjo deste dendrograma por meio do desmembramento em mais índices e indicadores, os quais representem de forma fidedigna um local específico, bem como a submissão dessas alterações e comentários em nova rodada de aplicação de questionários.

A constituição com maior número de indicadores requer mais tempo e memória da máquina, relações que podem comprometer a extensão de facilidade relacionada aos Sistemas Especialistas, como visto anteriormente. O entendimento resume-se no fato de que a escolha das variáveis de entrada terá impacto na quantidade de regras do modelo, sendo que um número de regras alto compromete o desempenho do sistema e a interpretação das mesmas. Entretanto, a maior contribuição de informações na entrada do modelo proporciona maior precisão e fidelidade aos resultados.

Ademais, há possibilidade de obtenção de índices que representam o Suporte da bacia em cenários específicos, considerando as situações tendenciais, pessimistas e otimistas de instalação desses empreendimentos, o que promete ainda maior facilitação à tomada de decisão.

Esses cenários podem ser modelados com auxílio de softwares responsáveis pela Dinâmica de Sistemas, tais como DYNAMO, STELLA, PowerSim, VenSim e Mosaikk-SimTek. Estes permitem a consideração das interrelações existentes entre os indicadores e índices analisados, por meio da dinâmica de sistemas, que se dedica, principalmente, ao estudo de sistemas que se modificam ao longo do tempo e que possuem ciclos ou laços de realimentação (BOCLIN, 2014).

CAPÍTULO 6: CONCLUSÃO

6.1 CONCLUSÃO DOS ESPECIALISTAS

Aproveita-se este espaço para demonstrar a conclusão obtida e expressada por alguns especialistas envolvidos.

Especialista 1: “Não sei se poderia simplificar a avaliação ao invés dos índices Ecologia, Economia e Social, poderia simplesmente já dividir em Meio Biológico, Meio Físico e Meio Antrópico (englobando a parte econômica e social), já seguindo o que é exigido pela legislação para compor os Estudos Ambientais”.

Especialista 2: “Acredito que variáveis de cada situação devam ser inseridas. Exemplo: Abastecimento: Uso do curso d'água, Uso de outra fonte.

Também poderiam ser exploradas a questão do % outorgável para o empreendimento: quanto este % impacta nos demais usos da água da bacia (seja para PCHs, agricultura irrigada, indústria, mineração). Essa questão do % outorgável tem gerado diversos problemas para a liberação de PCHs no RS. É um problema recente, mas que tem tendências forte para crescimento”.

Especialista 3: “No contexto geral, achei muito bem direcionado o questionário, levantando todos os aspectos relevantes para tamanho estudo! Parabéns!”.

Especialista 4: “Necessário desdobrar em mais variáveis”.

Especialista 5: “Sobre a água e o solo, achei a ponderação bem interessante, mesmo pela capacidade de carreamento das substâncias pela água.

A princípio os termos pagamento local e economia local me confundiram. Talvez pagamento local pudesse ser expresso de outra maneira.”.

Especialista 6: “Implantação de empreendimentos em áreas social e economicamente abaixo do índice normal da unidade federativa devem ser priorizados”.

6.2 CONCLUSÃO DA AUTORA

Conclui-se que no Brasil a esfera energética, assim como muitas outras, evoluiu de forma não-linear, o que resultou na formulação de políticas públicas que carecem de preocupação com o estado futuro do meio ambiente. O alcance ao tão desejado desenvolvimento sustentável depende fortemente de meios que viabilizem sua concretização. Apesar do conceito de fonte promissora, as Pequenas Centrais Hidrelétricas podem proporcionar a retomada de uma exploração predatória do meio ambiente.

Permite-se ratificar a necessidade da criação de ferramentas hábeis no processo de Avaliação de Impactos Ambientais, considerando que o contexto apresentado vislumbra diversas dificuldades e ineficiências. A Avaliação Ambiental Integrada mostra-se um conceito bastante amplo na busca por um patamar energético sustentável, não obstante, deve ser padronizada com ferramentas que a tornem transparente e eficaz.

A utilização da lógica *fuzzy* demonstra ser propícia na questão energética, uma vez que as informações são muitas vezes incertas e imprecisas. A criação de um Sistema Especialista, utilizando-se de abordagem *top-down*, permitiu a construção de uma árvore de decisão genérica, cuja primazia consiste na representação de um índice, quantificando o suporte da bacia hidrográfica.

Diante das diversas opiniões acerca do tema, a promoção de questionário, aplicado com base na metodologia *Delphi*, foi eficiente na captação de críticas e sugestões, as quais permitem o aperfeiçoamento do modelo aqui iniciado. A implementação de novas rodadas pode auxiliar na obtenção de um consenso sobre a ferramenta e os temas que a compõem.

A obtenção de índices com maior precisão e representatividade pode ser relacionada ao desmembramento da árvore em mais índices e indicadores, os quais ilustram uma realidade mais precisa, entretanto, deve-se atentar ao comprometimento da extensão de facilidade inerente aos Sistemas Especialistas, uma vez que o maior desmembramento compromete a velocidade e demanda maior esforço e memória das máquinas utilizadas para o processamento. Impende relatar que a especificação da árvore pode ser derivada de uma realidade particular de implementação.

Entende-se a importância em estipular cenários, sejam eles tendenciais, pessimistas e otimistas. Por esse motivo, acredita-se na obtenção de índices relacionados a cada um, o que permite a simulação com auxílio de softwares responsáveis pela Dinâmica de Sistemas, proporcionando ainda maior facilidade à tomada de decisão.

Chega-se a termo de que o meio ambiente e todos os aspectos por ele compreendidos necessitam de meios de predição para garantia da qualidade. Mesmo a modelagem do meio ambiente mostrando-se um trabalho demasiado complexo em virtude dos diversos conceitos científicos e culturais, reforça-se a viabilidade de aperfeiçoamento e aplicabilidade desta árvore fora da esfera acadêmica, por isso, sugere-se a continuidade e aprimoramento da pesquisa iniciada no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Estadual de Santa Catarina.

REFERÊNCIAS

ABAR, C. **O conceito fuzzy**. São Paulo: Pontifícia Universidade Católica, 2004.

ABBASI, T.; ABBASI, S.A. Small hydro and the environmental implications of its extensive utilization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 4, p. 2134–2143, 2011.

ALMEIDA, A.T. et al. Multi-impact evaluation of new médium and large hydropower plants in Portugal centre region. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 9, p.149–167, 2005.

ALMEIDA, P. E. M.; EVSUKOFF, A. G. **Sistemas Fuzzy**. In: REZENDE, Solange Oliveira. (Org.). **Sistemas Inteligentes: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Manole, 2003.

ANDRADE, J.S. de O. **Pequenas centrais hidrelétricas: análise das causas que impedem a rápida implantação de PCHs no Brasil**. Salvador: UNIFACS, 2006.

ANDRADE, M.; JACQUES, M. A. P. Estudo comparativo de controladores Mamdani e Sugeno para controle de tráfego em interseções isoladas. **Transportes**, v. 16, n. 2, p. 24-31, 2008.

ANTUNES, P. B. **Direito Ambiental**. 12. ed. Rio de Janeiro: Lúmen júris, 2009.

AQUINO, S. R. F.; CAVALHEIRO, L. P. R.; PELLEZ, M. Análise da legislação brasileira sobre a água: a necessidade de um redimensionamento diante da imprescindibilidade à manutenção da vida. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, Caxias do Sul, v. 7, n. 2, p. 61-81, 2017.

ANA. **Fatos e tendências: água**. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2006/AguaFatosETendencias.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

ANEEL. Resolução Normativa nº 673, de 04 de agosto de 2015. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2016.

ASAEDA, T., RASHID, M. H. The impacts of sediment released from dams on downstream sediment bar vegetation. **Journal of Hydrology**, v. 430, p. 25–38, 2012.

BAJAY, S. V. Uma revisão crítica do atual planejamento da expansão do setor elétrico brasileiro. **Revista Brasileira de Energia**, Rio de Janeiro, v. 09, n. 1, 2002.

BARRUTIA, J. M. et al. From Rio to Rio+20: twenty years of participatory, long term oriented and monitored local planning? **Journal of Cleaner Production**, v. 106, p. 594-607, 2015.

BERKUN, M. Hydroelectric potential and environmental effects of multidam Hydropower projects in Turkey. **Energy for Sustainable Development**, v. 14, p. 320–329, 2010.

BIANCO, F. S. **As gerações dos Direitos Fundamentais**, 2006. Disponível em: <<http://www.direitonet.com.br/artigos/exibir/3033/As-geracoes-de-direitosfundamentais>>. Acesso em: 19 nov. 2017.

BOBERG, A. L.; MORRIS-KHOO, S. A. The *Delphi* method: a review of methodology and an application in the evaluation of a higher education program. **The Canadian Journal of Program Evaluation**, v. 7, n. 1, p. 27-39. 1992.

BOCLIN, A. S. C. **Prognóstico de sustentabilidade como apoio à decisão no licenciamento ambiental - desenvolvimento de método utilizando dinâmica de sistemas, lógica fuzzy e backcasting**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

BONAVIDES, P. **Curso de Direito Constitucional**. 15. ed. São Paulo: Malheiros, 2004.

BRASIL. **Constituição** (1937). Constituição dos Estados Unidos do Brasil. Rio de Janeiro, RJ, 1937.

BRASIL. **Constituição** (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 1988.

BRASIL. Lei nº 1.145, de 31 de dezembro de 1903. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1903.

BRASIL. Lei nº 10.438, de 23 de abril de 2002. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2002.

BRASIL. Lei nº 13.360, de 17 de novembro de 2016. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2016.

BRASIL. Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1996.

BRYSON, J. M. A strategic planning process for public and non-profit organizations. **Long Range Planning**, v. 21, n. 1, p. 73-81, 1988.

CALHEIROS, D. F. O setor elétrico manda na gestão de recursos hídricos do país. **Jornal Ambiental O Eco**, 2015. Disponível em: <https://www.oeco.org.br/reportagens/debora-calheiros-o-setor-eletrico-manda-na-gestao-de-recursos-hidricos-no-brasil/>. Acesso em: 26 dez. 2018.

CÂMARA, E. A. **Um estudo comparativo da eficiência das usinas hidrelétricas do Brasil, utilizando a análise por envoltória de dados – DEA**. Recife: UFPE, 2008.

CAMPOS FILHO, P. **Método para apoio à decisão na verificação da sustentabilidade de uma unidade de conservação, usando lógica Fuzzy**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

CARRERA, D.G.; MACK, A. Sustainability assessment of energy technologies via social indicators: results of a survey among European energy experts. **Energy Policy**, v. 38, n. 2, p. 1030–1039, 2010.

CARVALHO, N. B. **Avaliação dos impactos sinérgicos e cumulativos de pequenas centrais hidrelétricas construídas em sequência**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2014.

CARVALHO, D.L.; LIMA, A.V. Metodologias para Avaliação de Impactos Ambientais de Aproveitamentos Hidrelétricos. In: XVI Encontro Nacional dos Geógrafos, 2010, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2010.

CENCI, A. R.; BEDIN, G. L.; FISCHER, R. S. Do liberalismo ao intervencionismo: o Estado como protagonista da (des)regulação econômica. **Revista da Academia Brasileira de Direito Constitucional**, Curitiba, n. 4, p. 77-97, 2011.

CHAN, S. H.; SONG, Q. Motivational Framework: Insights into Decision Support System Use and Decision Performance. **Decision Support Systems**. Book edited by: Chiang S. Jao. INTECH, Croácia, 2010.

CHEN, J. L.; LIU, H. H.; CHUANG, C.T. Strategic planning to reduce conflicts for offshore wind development in Taiwan: a social marketing perspective. **Marine Pollution Bulletin**, v. 99, n. 1, p. 195–206, 2015.

COELHO, S. T.; GOLDEMBERG, J. **Energia – de Estocolmo à Rio+20**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2014.

CREMONEZ, F. E. et al. Avaliação de Impacto Ambiental: metodologia aplicadas no Brasil. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v. 13, n. 15, p. 3821-3830. 2014.

DEL RÍO, P.; BURGUILLO, M. An empirical analysis of the impact of renewable energy deployment on local sustainability. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 13, p. 1314–1325, 2009.

DONAIRE, D. **Gestão ambiental na empresa**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

ECKERBERG, K.; DAHLGREN, K. Project or process? fifteen years' experience with Local Agenda 21 in Sweden. **Ekonomiaz**, v. 64, p. 124-141, 2007.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Environment in the European Union at the turn of the century. **EEA**, Copenhagen, 1999.

EGLER, P. C. G. Perspectiva do Uso da Avaliação Ambiental Estratégica no Brasil. **Parcerias estratégicas**, Brasília, v. 11, 2001.

ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Programa PCH-COM**. Disponível em: <http://www.eletrobras.gov.br/EM_Programas_PCH-COM/>. Acesso em: 27 nov. 2017.

EPE. **Empresa Brasileira de Pesquisa Energética**. Disponível em: <www.epe.gov.br>. Acesso em: 30 de mar. 2017.

EPE. Empresa Brasileira de Pesquisa Energética. **Avaliação Ambiental Integrada (AAI) dos aproveitamentos hidrelétricos da bacia do Rio Uruguai**. 2007. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/avaliacao-ambiental-integrada-aai>>. Acesso em: 15 de fev. 2017.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Relatório síntese: ano base 2017**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: < <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-397/Relatório%20Síntese%202018-ab%202017vff.pdf>> Acesso em: 10 dez. 2012.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de energia – PDE 2027**. Rio de Janeiro, 2018.

ERICKSON, P.A. **A practical guide to environmental impact assessment**. San Diego: Academic Press, 1994.

FACIONE, P. A. **Critical thinking: a statement of expert consensus for purposes of educational assessment and instruction**. Newark: American Philosophical Association, 1990.

FONSECA, I. F.; BURSZTYN, M.; ALLEN, B. S. Trivializing sustainability: environmental governance and rhetorical free-riders in the Brazilian Amazon. **Natural Resources Forum**, v. 36, p. 28-37, 2012.

FERREIRA, M. A. da C. et al. Contribuição do método de sistema especialista fuzzy na análise de impacto regulatório. **Revista Produção Online**, Florianópolis, SC, v.15, n. 3, p. 859-885, jul./set. 2015.

FERREIRA, L. C.; CANTARINO, A. A. A.. Análise do processo de Avaliação de Impactos Ambientais indiretos, cumulativos e sinérgicos nos Estudos de Impacto Ambiental de grandes projetos do PAC. In: VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2011, Santa Catarina. **Anais...**Santa Catarina: UFSC, 2011.

FIGUEIREDO, G. J. P. de. **Curso de direito ambiental**. 5 ed. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2012.

FINUCCI, M. **Metodologias utilizadas na avaliação do impacto ambiental para a liberação comercial do plantio de transgênicos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2010.

FONTES, G. A.; XAVIER, Y. M. A.; GUIMARÃES, P. B. V. Princípio Fundamental ao meio ambiente: Pequenas Centrais Hidrelétricas na Matriz Energética Brasileira. **Revista Constituição e Garantia de Direitos**, Rio Grande do Norte, v. 1, ano 4, 2007.

GALLARDO, A. L. C. F. et al. A avaliação de impactos cumulativos no planejamento ambiental de hidrelétricas na bacia do rio Teles Pires (região amazônica). **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Paraná, v. 43, 2017.

GIBOSHI, M. L.; RODRIGUES, L. H. A.; LOMBARDI NETO, F. Sistema de suporte à decisão para recomendação de uso e manejo da terra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 04, p. 861-866, 2006.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

GOMIDE, F. A. C.; GUDWIN, R. R. Modelagem, controle, sistemas e lógica fuzzy. **SBA controle & Automação**, v. 4, n. 3, p. 97-115, 1994.

GOULART, M. D. C.; CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. **Revista da FAPAM**, v. 2, n. 1. 2003.

GRISHAM, T. The *Delphi* technique: a method for testing complex and multifaceted topics. **International Journal of Managing Projects in Business**, v. 2, n. 1, p. 112-130, 2009.

GUPTA, U. G.; CLARKE, R. E. Theory and application of the *Delphi* technique: a bibliography (1975-1994). **Technological Forecasting and Social Change**, v. 53, p. 185-211, 1996.

HENNIG, T. et al. Review of Yunnan's hydropower development. Comparing small and large hydropower projects regarding their environmental implications and

socioeconomic consequences. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 27, p. 585–595, 2013.

HUMPHREY, S. M. Knowledge-based systems for indexing. In: FIDEL, R. et al (Eds.). *Challenges in indexing electronic text and images*. Medford, EUA: **American Society for Information Science by Learned Information**, p. 161-175, 1994.

JOO, W., CHA, S. S. Knowledge-Based Hybrid Expert System for Automated Interferometric Data Reduction. **Optics Lasers in Engineering**, v. 24, n. 1, pp. 57-75, 1996.

KAYO, E. K.; SECURATO, J. R. Método *Delphi*: fundamentos, críticas e vieses. **Cadernos de Pesquisa em Administração**, v. 1, n. 4, p. 51-61, 1997.

KRISHNAMOORTHY, C. S.; RAJEEV, S. **Artificial intelligence and expert systems for engineers**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1996.

KLIGERMANN, A. S. **Um Sistema de Apoio à Decisão Bicritério para o Planejamento da Operação Energética**. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2009.

LAMARÃO, S. T. N. A energia elétrica como campo de pesquisa historiográfica no Brasil. **América Latina em la historia económica**, n. 8, 1997.

LANDETA, J. **El metodo *Delphi***. Barcelona: Ariel, 1999.

LEÃO, L. L. **Considerações sobre impactos socioambientais de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) – modelagem e análise**. Brasília: Universidade de Brasília, 2008.

LEITE, J. R. M. **Direito constitucional ambiental brasileiro**. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2012.

LEÓN, O. G.; MONTERO, I. **Métodos de investigación en psicología y educación**. 3. ed. Madrid: McGraw-Hill, 2003.

LIAÑO, B. G. G.; PASCUAL-EZAMA, D. La metodología *Delphi* como técnica de estudio de la validez de contenido. **Anales de psicología**, v. 28, n. 3, p. 1011-1020, 2012.

LI, J.Q. et al. Study on Rock and Soil Erosion in Dumping Pile of Hydropower Station Construction Project. **Research of Soil and Water Conservation**, v. 6, p. 40-42, 2007.

LIMA, L. Agência Nacional de Energia Elétrica. Avanços Regulatórios da Outorga de PCH- Perspectivas e Novos Desafios. In: XI SPMCH - Simpósio sobre Pequenas e Medias Centrais Hidrelétricas. 2018, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANEEL, 2018.

LINDSTROM, M.; JOHNSON, P. Environmental Concern, self-concept and defence Style: a study of the agenda 21 process in a Swedish municipality. **Environmental Education Research**, v. 9, n. 1, p. 51-66, 2003.

LINSTONE, A.; TUROFF, M. **The Delphi Method: Technique and Applications**. Massachusetts: Addison wesley publishin, 2002.

MALHEIROS, T. F.; PROTA, M. G.; RINCÓN, M. A. P. Participação comunitária e implementação dos instrumentos de gestão da água em bacias hidrográficas. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 99-118, 2013.

MALUTTA, C. **Método de apoio à tomada de decisão sobre a adequação de aterros sanitários utilizando a lógica fuzzy**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

MAMDANI, E. H. Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis computers, **IEEE Transactions on**, v. 100, n. 12, p. 1182-1191, 1977.

MAMDANI, E. H.; ASSILIAN, S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. **Int. J. Man-Machine Studies**, vol. 7, p. 1-13, 1975.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2003.

MARQUES, J. B. V.; FREITAS, D. Método *DELPHI*: caracterização e potencialidade na pesquisa em Educação. **Pro-Posições**, Campinas, v. 29, n. 2, 2018.

MEDEIROS, S.; MELLO, R.; CAMPOS FILHO, P. Análise de projetos para unidades de conservação, usando lógica fuzzy. **Produção**, v. 17, n. 2, p. 317-329, 2007.

MEIRELLES, M. S. P. et al. Sistema de suporte a decisão para avaliação do risco de impactos ambientais em bacias hidrográficas por redes de dependência e lógica fuzzy. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 2005, Goiânia. **Anais...**São Paulo: INPE, 2005.

MENDES, R. D. Inteligência Artificial: sistemas especialistas no gerenciamento da informação. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 26, n. 1, p. 39-45, 1997.

MENEGUELLO, L. A.; CASTRO, M. C A. A. O Protocolo de Kyoto e a geração de energia elétrica pela biomassa da cana-de-açúcar como mecanismo de desenvolvimento limpo. **Revista Internacional de Desenvolvimento Local**, Campo Grande, v. 8, n. 1, p. 33-43, 2007.

MERCEDES, S. S. P.; RICO, J. A. P.; POZZO, L. Y. Uma revisão histórica do planejamento do setor elétrico brasileiro. **Revista USP**, São Paulo, n. 104, p. 13-36, 2015.

MIRANDA, G. J.; NOVA, S. P. C. C.; CORNACCHIONE JR., E. B. Dimensões da qualificação docente em contabilidade: um estudo por meio da técnica *Delphi*. In **Anais do 12 Congresso USP de Controladoria e Contabilidade**. São Paulo, 2012.

MORAES, C. D.; D'AQUINO, C. A. Avaliação de Impacto Ambiental: Uma revisão da literatura sobre as principais metodologias. **5º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense - SICT-Sul**. Araranguá, 2016.

MUSSE, J. O. **Backcasting e dinâmica de sistemas como instrumentos para criar conhecimento em sistemas complexos, visando à tomada de decisão**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

NEVES, M. G. et al. **Direito ambiental municipal, Direito ambiental internacional e Gestão pública e sustentabilidade**. Curitiba: InterSaberes, 2014.

NILSON, N. S. **Principles of Artificial Intelligence**. Berlin: Springer Verlag, 1982.

OLIVEIRA V. R. S. **Impactos cumulativos na avaliação de impactos ambientais: fundamentação, metodologia, legislação, análise de experiências e formas de abordagem.** São Paulo: Universidade Federal de São Carlos, 2008.

OLIVEIRA, F.C.; MOURA, H.J.T. de. Uso das metodologias de avaliação de impacto ambiental em estudos realizados no Ceará. **PRETEXTO**, v.10, n.4, p. 79-98, 2009.

O'RIORDAN, T.; VOISEY, H. **The Transition to Sustainability and the Politics of Agenda 21 in Europe.** Londres: Earthscan, 1998.

OSBORNE, J. et al. What "Ideas-about-Science" should be taught in school science? A *Delphi* study of the expert community. **Journal of Research in science teaching**, v. 40, n. 7, p. 692-720. 2003.

OTTO-ZIMMERMANN, K. From Rio to Rio+20: the changing role of local governments in the context of current global governance. **Local Environment**, v.17, n. 5, p. 511-516, 2012.

PAGNUSSATT, D. et al. What do local stakeholders think about the impacts of small hydroelectric plants? Using Q methodology to understand diferente perspectives. **Energy Policy**, v.112, p. 372-380, 2018.

PALOCCI FILHO, A.; DANIEL, C. **Programa de Governo 2002 Coligação Lula Presidente.** São Paulo: Comitê Lula Presidente, 2002.

PARRY, I. W. H.; PIZER, W. A., FISCHER, C. How large are the welfare gains from technological innovation induced by environmental policies? **Journal of Regulatory Economics**, Newark, v. 23, p. 237-255, 2003.

PATTERSON, A., THEOBALD, K.S. Local Agenda 21, compulsory competitive tendering and local environmental practices. **Local Environment**, v.1, n. 1, p. 7-19, 1996.

PEREIRA JR. A. O. et al. Energy in Brazil: toward sustainable development? **Energy Policy**, v. 36, p. 73-83, 2008.

PLANT, R.; STONE, N.D. **Knowledge-based Systems in Agriculture**. Toronto, ON: McGraw-Hill, 1991.

PORTUGAL, N. S.; PORTUGAL JR., P. S.; BRITO, M. J. Desenvolvimento Sustentável: da consciência às exigências, uma visão pragmática do Pensamento Econômico Ambiental. In: Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 9., 2012, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2012.

POWELL, C. The *Delphi* technique: myths and realities. **Journal of Advanced Nursing**, v. 41, n. 4, p. 376-382, 2003.

QUEVEDO, M. A. C. Et al. **Fundamentos de Inteligencia Artificial**. Espanha: Publicaciones Universidad de Alicante, 1999.

RAMOS, G. F. **Formas de intervenção do Estado na Economia**. 2016. Disponível em: <<https://gabrielfavarelli07.jusbrasil.com.br/artigos/408516759/formas-de-intervencao-do-estado-na-economia>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

RANGEL, I. **Economia: milagre e anti-milagre**, Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editores, 1985.

ROCHA, K.; GUTIERREZ, M. B. G. P. S.; HAUSER, P. **A remuneração dos investimentos em energia renovável no Brasil** – uma proposta metodológica ao *Benchmark* da UNFCCC para o Brasil. Rio de Janeiro, 2012.

ROGELJ, J. et al. Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2°C. **Nature**, Reino Unido, v. 534, p. 631-639, 2016.

ROSS, T. J. **Fuzzy logic with engineering applications**. 3. ed. Reino Unido: John Wiley & Sons, 2010.

ROWE, G.; WRIGHT, G. The *Delphi* technique as a forecasting tool: issues and analysis. **International Journal of Forecasting**, v. 15, p. 353-375, 1999.

SANTELLO, R. **Avaliação de imóveis urbanos com utilização da lógica difusa**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

SANTOS, M. A. 2000. **Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa Derivadas de Hidrelétricas**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000.

SELMAN, P. Local Agenda 21: substance or spin? *Journal of Environmental Planning Management*, v. 41, n. 5, p. 533-553, 1998.

SEQUINEL, M. C. M. Cúpula Mundial sobre o desenvolvimento sustentável - Joanesburgo: entre o sonho e o possível. **Análise conjuntural**, Rio de Janeiro, v. 24, n.11-12, p. 12-15, 2002.

SERRA, F. A. R. et al. Pesquisa *Delphi*: O futuro do turismo de Santa Catarina – previsões entre 2007 e 2011. **Turismo em análise**, v. 20, n. 1, 2009.

SHAW, I. S. & SIMÕES, M. G. **Controle e Modelagem FUZZY**. São Paulo: FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo e Editora Edgard Blücher Ltda., 1999.

SOUZA, C. M. N. Gestão da água e saneamento básico: reflexões sobre participação social. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 1058-1070, 2017.

SOUZA, P. R. C. de. **Evolução da indústria de Energia Elétrica Brasileira sob mudanças no ambiente de negócios: um enfoque institucionalista**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

SPRAGUE, R. H.; WATSON, H. J. **Decision Support Systems** – Putting Theory into Practice. Nova Jersey: Prentice Hall, 1989.

STIGKA, E. K.; PARAVANTIS, J. A.; MIHALAKAKOU, G. K. Social acceptance of renewable energy sources: a review of contingent valuation applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 32, p. 100–106, 2014.

SUREHMA/ GTZ. **Manual de Avaliação de Impactos Ambientais (MAIA)**. Curitiba: Secretaria Especial do Meio Ambiente, 1992.

TAKAGI, T.; SUGENO, M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *Systems, Man and Cybernetics*, **IEEE Transactions on**, v. 15, n. 1, p. 116-132, 1985.

TIAGO FILHO, G. L.; BARROSA, R. M., BRAGA DA SILVA, F. G. Trends in the growth of installed capacity of Small Hydro Power (SHP) in Brazil, based on Gross Domestic Product (GDP). **Renewable Energy**, v. 37, p. 403-411, 2012.

TIAGO FILHO, G. L. et al. **Pequenos aproveitamentos hidroelétricos** - Soluções energéticas para a Amazônia. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008.

VIEIRA, B. F. **Regulação por incentivo no setor elétrico brasileiro: Instituições e eficiência**. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

WEHENKEL, L.; OLARU, C. A complete fuzzy decision tree technique. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 138, n. 2, p. 221-254. Elsevier Pub., 2003.

YOUSUF, M. I. Using experts' opinions through *Delphi* technique. Practical Assessment, **Research & Evaluation**, v.12, n. 4, p. 1-9, 2007.

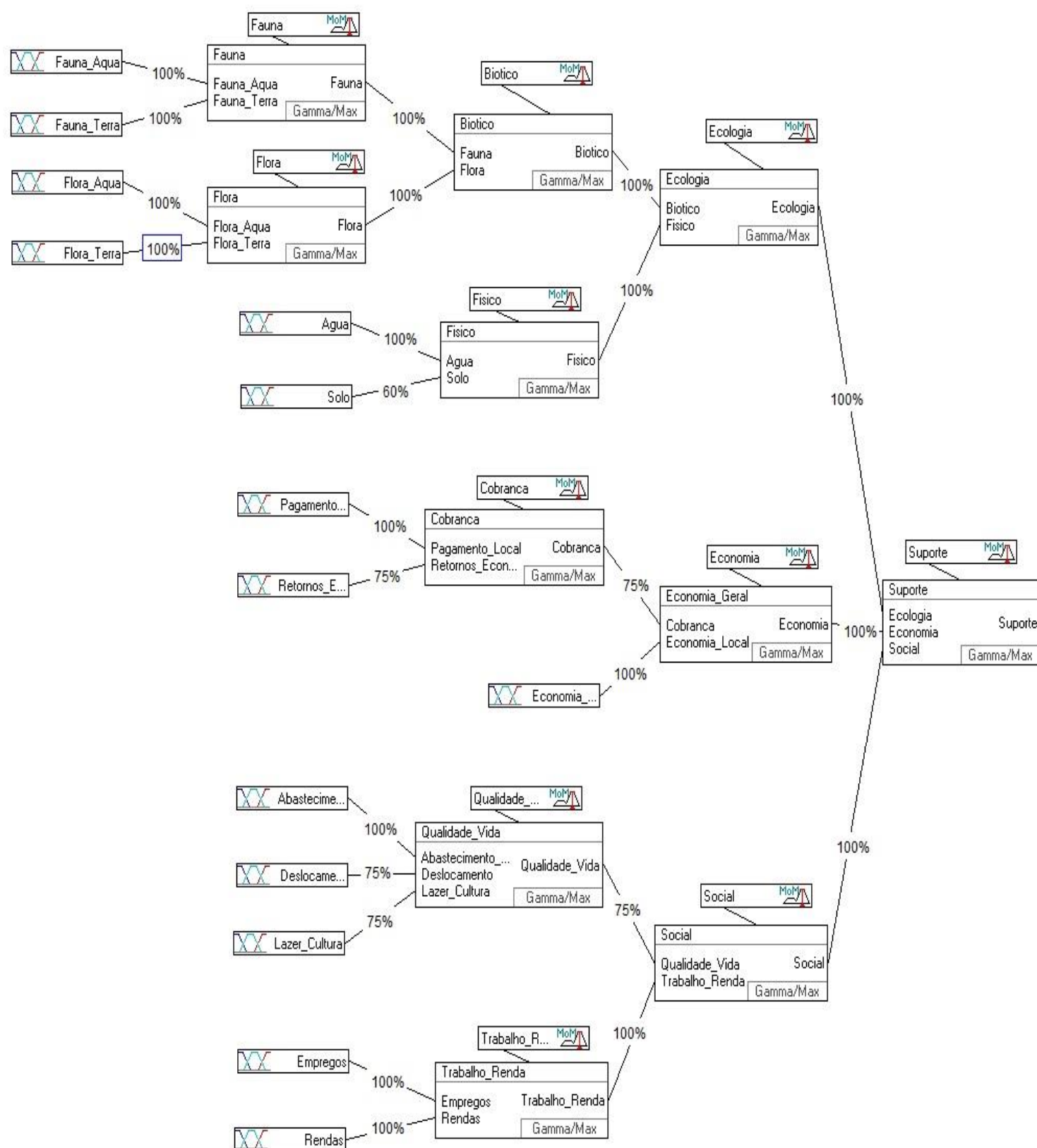
ZHANG, J. et al. Environmentally feasible potential for hydropower development regarding environmental constraints. **Energy Policy**, v. 73, p.552-562, 2014.

ZHANG, Y.; LIU,J.; WANG, L. Changes in water quality in the downstream of Lancangjiang River after the construction of Manwan hydropower station. **Resources and Environment in the Yangtze Basin**, v.14, p. 500-506, 2005.

ZIMMERMANN, H. J. **Fuzzy set theory and its applications**. Boston: Kluwer Academic Publishers. 3. Ed. 1996.

ANEXOS

ANEXO I – Dendrograma Principal



ANEXO II – Questionário 1

Árvore de Decisão - Modelo de apoio para AAI de empreendimentos hidroenergéticos

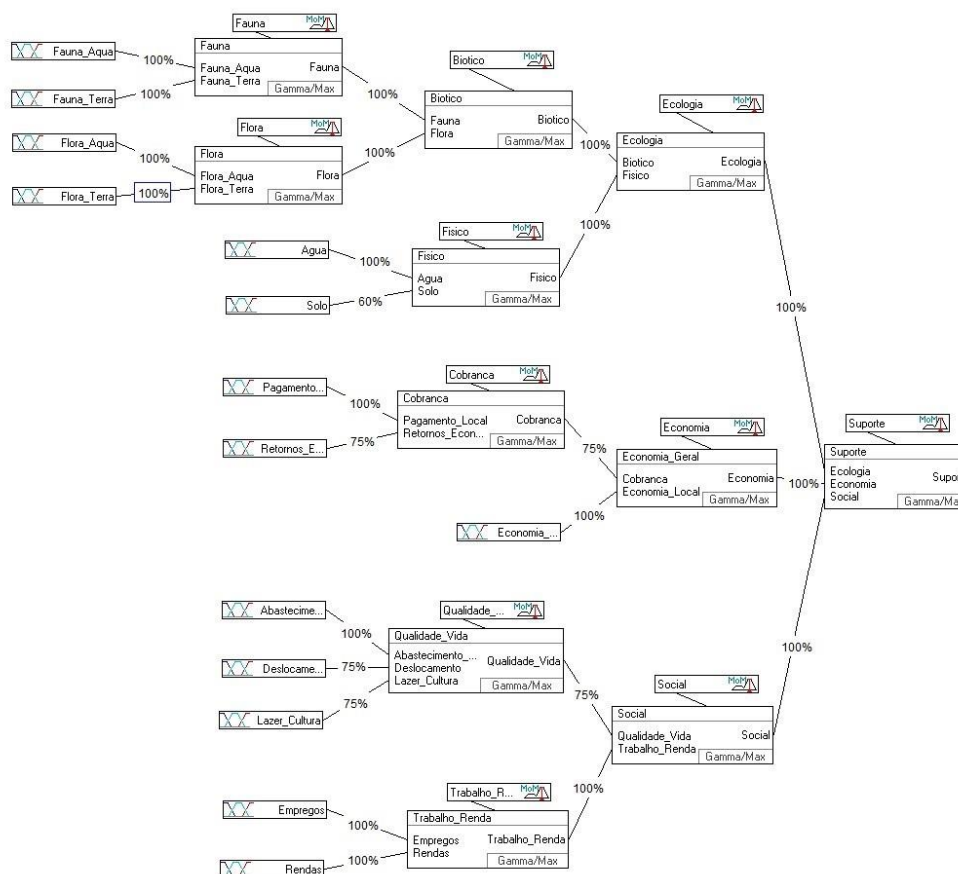
Estamos desenvolvendo uma pesquisa que objetiva criar um ferramental que auxilie nos processos decisórios de Avaliação Ambiental Integrada de empreendimentos do tipo PCHs e CGHs em bacias hidrográficas.

Pedimos sua opinião em uma pesquisa tipo *Delphi*, para termos uma visão de como os principais pesquisadores e decisores do país consideram a estruturação de variáveis em uma árvore de decisões e os pesos das variáveis na composição de índices.

Este formulário apresenta uma alternativa de árvore de decisão com auxílio da lógica *fuzzy*, proposta pela Mestranda de Ciências Ambientais da UDESC Ana Paula Coelho Clauberg e seu orientador Professor Doutor Renato de Mello.

Endereço de e-mail *

Árvore Principal



Motivação

A estruturação deste sistema foi feita com objetivo de estimar a capacidade de suporte de uma (sub)bacia onde se pretende instalar centrais hidrelétricas. As fases de implantação e operação são avaliadas considerando os impactos positivos e negativos nos três setores: ecologia, economia e social.

A árvore de decisão *fuzzy* (figura acima) busca estimar os índices de desempenho setoriais previstos para as bacias em estudo, como também gerar uma nota global do sistema: o "SUPORTE" total da bacia.

Esse sistema de apoio à decisão está sendo desenvolvido com intuito de atender à necessidade de se avaliar de forma transparente e integrada as questões econômicas, ecológicas e sociais, bem como a interdependência entre elas. Busca-se avaliar o desempenho futuro previsto, minimizando as incertezas intrínsecas aos projetos e possibilitando uma decisão fundamentada e segura, necessária a uma Avaliação Ambiental Integrada.

Do método

SOBRE A ÁRVORE PROPOSTA: Os indicadores da árvore de decisão são avaliados em campo por especialistas. Cada conjunto de indicadores gera um índice, composto por operações lógicas em bloco de regras do tipo "se, e, então". O programa utilizado nesta pesquisa é o fuzzyTECH.

A árvore de decisão sugerida foi estruturada por meio da estratégia top-down, partindo do nível mais alto ao mais baixo, até a constituição dos indicadores de entrada. Os indicadores são inseridos pelo usuário do sistema em uma planilha, resultando em índices de cada aspecto. Os valores dos indicadores podem variar de -1 a 1, que são classificados em pertinências (fuzificação) em funções de 5 (cinco) termos: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. Os índices resultantes também são do tipo de variáveis linguísticas, posteriormente transformados para escala de -1 a 1 (desfuzificação) para melhor entendimento dos decisores.

SOBRE O FORMULÁRIO: Esta consulta usa o método *Delphi* para conhecer o entendimento que os estudiosos e decisores da área tem acerca da estruturação da árvore e dos pesos que cada variável de entrada tem na geração do índice sequente. Depois de coletar sua opinião, os formulários serão analisados e você receberá os resultados tratados estatisticamente.

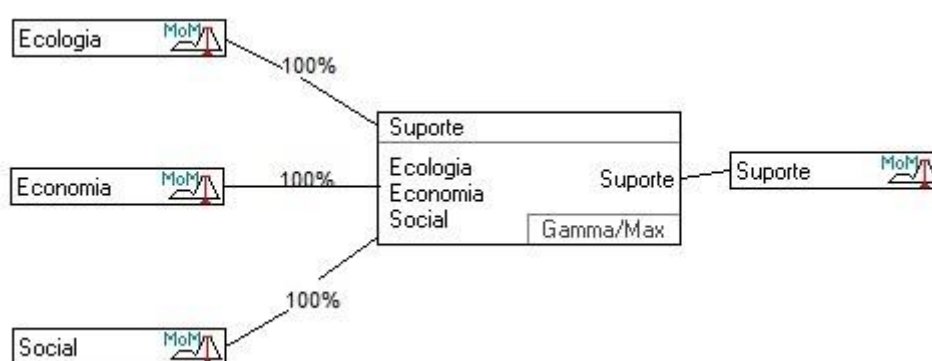
Uma nova rodada será realizada, permitindo que você analise a média e a moda dos demais consultados. Nesta nova rodada será solicitada sua manifestação em relação aos entendimentos, notadamente se mantém sua avaliação, seja ela divergente ou não dos demais consultados.

Índice final de Suporte da (Sub)Bacia

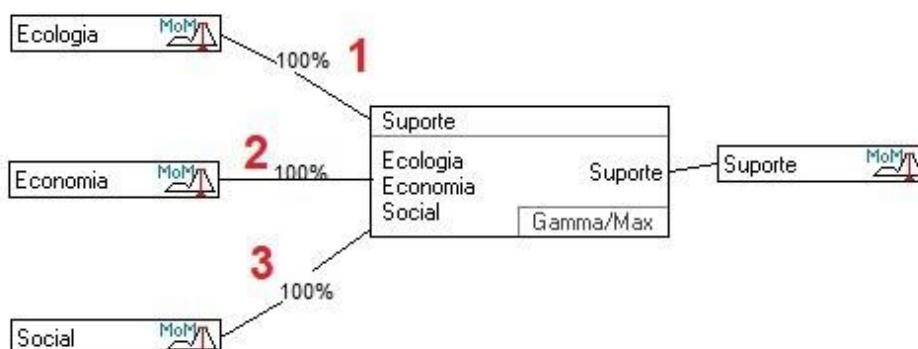
A árvore que representa o suporte da sub(bacia) é estruturada de modo a apoiar os decisores no entendimento acerca do suporte do local de inserção dos empreendimentos tipo PCHs, suporte este avaliado no segmento social, econômico e ecológico.

Os questionamentos a seguir serão introduzidos por uma breve explicação do tema em análise, bem como uma ilustração do mesmo. O Suporte, como mencionado, é resultado de três temas, os quais possuem estruturação alvo de questionamentos no presente formulário.

Segmento final da Árvore - "Suporte" (nível principal de decisão)



1) A composição do índice "Suporte" é dada pela integração dos índices "Ecologia", "Economia" e "Social". Na sua opinião, a composição das variáveis e a importância relativa a cada uma (porcentagem indicada pelos números 1, 2 e 3 em vermelho), encontram-se bem representadas? (A porcentagem sugerida indica que as três variáveis possuem importância máxima e idêntica na composição do índice "Suporte" da bacia)



Marcar apenas uma oval.

☐ Sim

☐ Não

1.a) Caso a resposta anterior tenha sido negativa, sugira outra composição do índice "Suporte", bem como expresse sua opinião acerca da importância (em porcentagem) das variáveis 1, 2 e 3 na composição do índice.

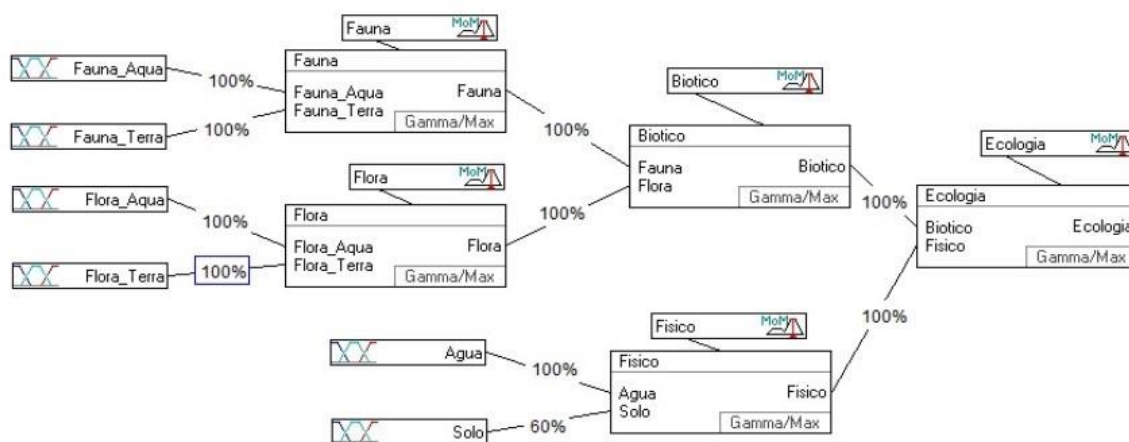
Índice "Ecologia"

Este tema aborda os principais critérios que devem ser considerados para que uma sub (bacia) se mantenha ecologicamente equilibrada. Os decisores e especialistas, ao desenvolver os indicadores que compõem este tema, devem considerar precipuamente:

- a) O meio físico e as mudanças na qualidade do subsolo, águas, ar e clima, notadamente as modificações do regime hidrológico, corpos d'água, tipos e aptidões do solo e a geografia local;
- b) O meio biótico e os ecossistemas naturais, a fauna e a flora local, destacando a perda de espécies de importância econômica e científica, endêmicas, raras e ameaçadas de extinção, bem como as áreas de preservação permanente envolvidas.

O equilíbrio ecológico é consequente da capacidade da sub-bacia em suportar as pressões antrópicas sobre seus recursos físicos e biológicos, tornando-se ou não apta a receber os empreendimentos em estudos.

Dendrograma do índice "Ecologia"



2) Sugerimos que o índice "Ecologia" consista na composição dos índices "Biótico" e "Físico". Em sua opinião, a disposição dos mesmos e seus pesos para composição do índice Ecologia (4 e 5 em vermelho) estão corretos?

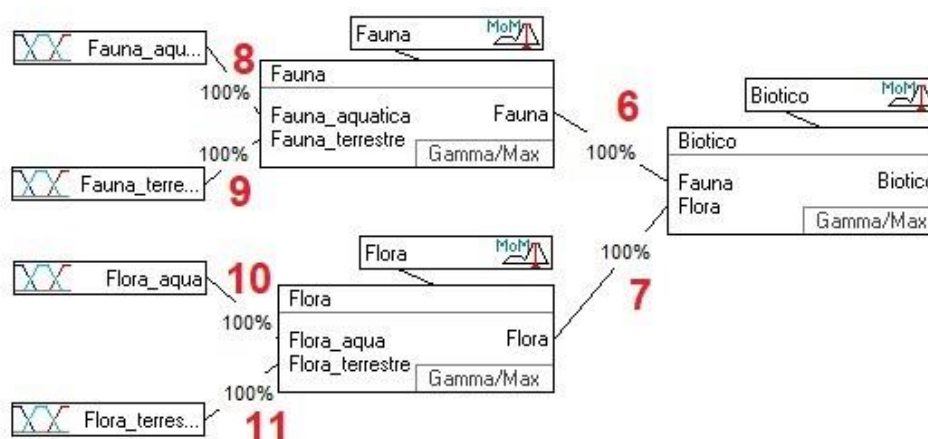


Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim
- ☐ Não

2.a) Caso a resposta anterior tenha sido negativa, sugira outra composição do índice "Ecologia", bem como expresse sua opinião acerca da importância (em porcentagem) das variáveis 4 e 5 na composição do índice.

2.b) Sugerimos que o índice "Biótico" seja composto por índices da "Fauna" e "Flora" local, terrestres e aquáticas. Em sua opinião, a disposição das variáveis e seus pesos na composição do índice "Biótico" (6, 7, 8, 9, 10 e 11 em vermelho) estão corretos

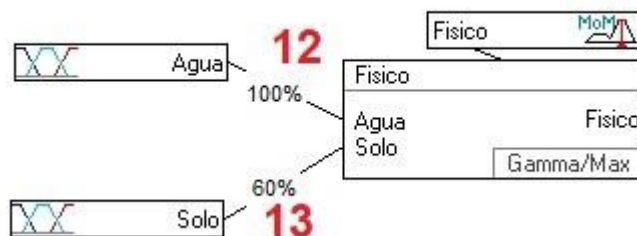


Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim
- ☐ Não

2.c) Caso a resposta anterior tenha sido negativa, sugira outra composição do índice "Biótico", bem como expresse sua opinião acerca da importância (em porcentagem) das variáveis 6, 7, 8, 9, 10 e 11 na composição do índice.

2.d) Sugerimos que o índice "Físico" seja composto por indicadores da "Água" e "Solo" local. Em sua opinião, a disposição das variáveis e seus pesos na composição do índice "Físico" (12 e 13 em vermelho) estão corretos.



Marcar apenas uma oval.

☐ Sim

☐ Não

2.e) Caso a resposta anterior tenha sido negativa, sugira outra composição do índice "Físico", bem como expresse sua opinião acerca da importância (em porcentagem) das variáveis 12 e 13 na composição do índice.

Índice "Economia"

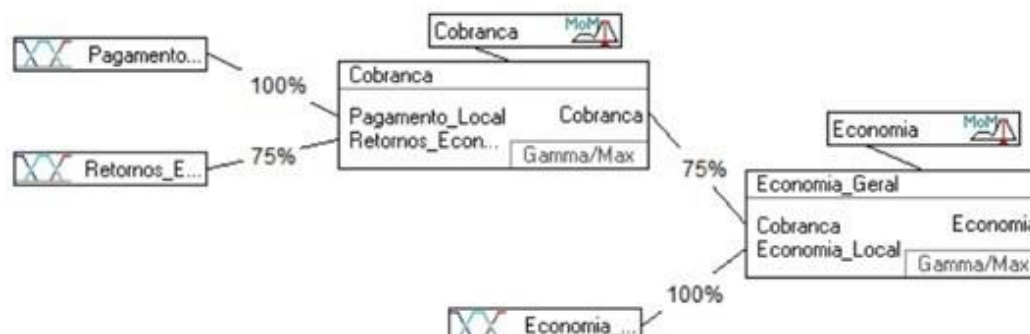
O tema "Economia" aborda duas principais vertentes: a "Cobrança" pelo uso da água, composta pelos indicadores de "Pagamento Local" e por "Retornos Econômicos", como também pela influência na "Economia Local".

O índice "Cobrança" considera a justa remuneração pelo uso da bacia ao local, exemplificado pela instituição de medidas compensatórias e mitigadoras. O indicador

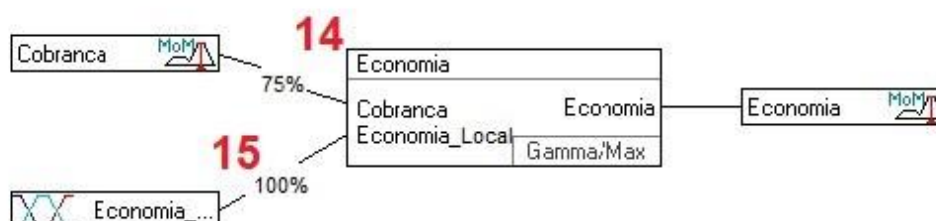
"Pagamento Local", representa a devida apropriação de pagamentos às entidades/instituições locais pelos serviços e compensações por uso do sistema. O indicador "Retornos Econômicos" avalia benefícios para a região, derivados da venda da energia gerada.

O indicador "Economia Local" representa o nível de incentivo/retração para empreendimentos que beneficiam da instalação e operação das PCHs e CGHs.

Dendrograma do índice "Economia"



3) Sugerimos que o índice "Economia" consista na composição dos índices "Cobrança" e "Economia Local". Em sua opinião, a disposição dos mesmos e seus pesos para composição do índice Economia (14 e 15 em vermelho) estão corretos?

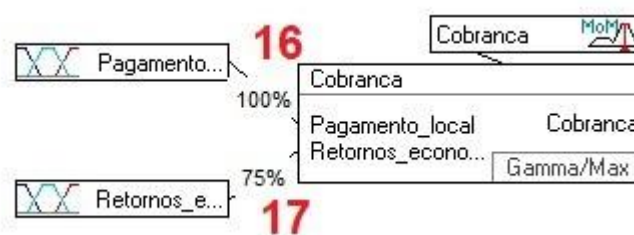


Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim
- ☐ Não

3.a) Caso a resposta anterior tenha sido negativa, sugira outra composição do índice "Economia", bem como expresse sua opinião acerca da importância (em porcentagem) das variáveis 14 e 15 na composição do índice.

3.b) Sugerimos que o índice "Cobrança" seja composto por por indicadores "Pagamento Local" e "Retornos Econômicos". Em sua opinião, a disposição das variáveis e seus pesos na composição do índice "Cobrança" (16 e 17 em vermelho) estão corretos?



Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim
- ☐ Não

3.c) Caso a resposta anterior tenha sido negativa, sugira outra composição do índice "Cobrança", bem como expresse sua opinião acerca da importância (em porcentagem) das variáveis 16 e 17 na composição do índice.

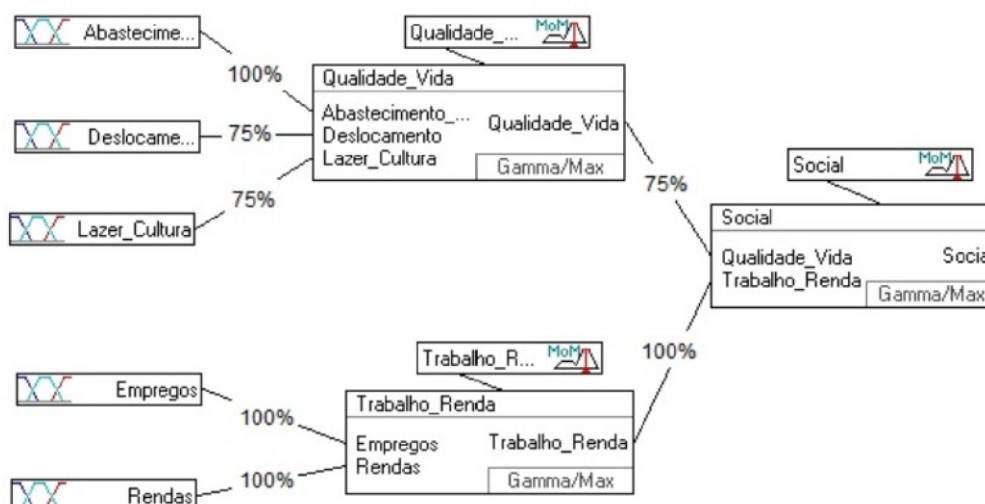
Índice "Social"

O dendrograma do índice "Social" foi estruturado com intuito de refletir as mudanças proporcionadas à região que beneficiam ou prejudicam a população local. Nessa etapa, os especialistas e decisores devem analisar todas as alternativas que afetem a sociedade, comparando-as com a hipótese de não execução do projeto, a fim de concluir o que é mais benéfico socialmente. O índice representa o uso e ocupação do solo, bem como o uso dos recursos hídricos e as relações de dependência da sociedade local, seja pelas atividades de lazer ou de exploração econômica, avaliando-se a potencial utilização futura dos recursos, devem ser requisitos contemplados.

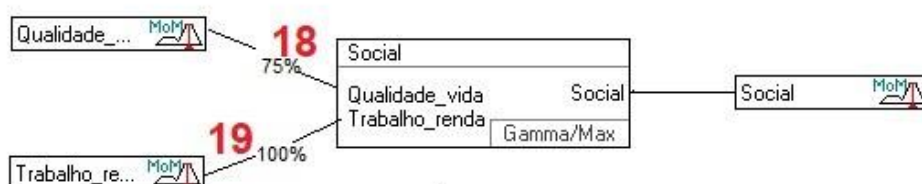
O índice "Trabalho e Renda" é composto por indicadores de "Empregos" derivados das instalações das usinas e da mudança da "Renda" no entorno.

O índice "Qualidade de Vida" é composto por três indicadores: "Abastecimento" de água para consumo humano, que reflete as mudanças na disponibilidade e potabilidade de hídrica aos moradores locais; "Deslocamento", que indica a influência das barragens no deslocamento local da população; e "Lazer e Cultura", que indica as alterações nos usos dos recursos para recreação e atividades culturais.

Dendrograma do índice "Social"



4) Sugerimos que o índice "Social" seja composto por índices da "Qualidade de Vida" e "Trabalho e Renda". Em sua opinião, a disposição das variáveis e seus pesos na composição do índice "Social" (18 e 19) estão corretos?



Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim
- ☐ Não

4.a) Caso a resposta anterior tenha sido negativa, sugira outra composição do índice "Social", bem como expresse sua opinião acerca da importância (em porcentagem) das variáveis 18 e 19 na composição do índice.

4.b) Sugerimos que o índice "Qualidade de Vida" seja composto por indicadores da "Abastecimento Humano" e "Lazer e Cultura" e "Deslocamento". Em sua opinião, a disposição das variáveis e seus pesos na composição do índice "Qualidade de Vida" (20, 21 e 22 em vermelho) estão corretos?



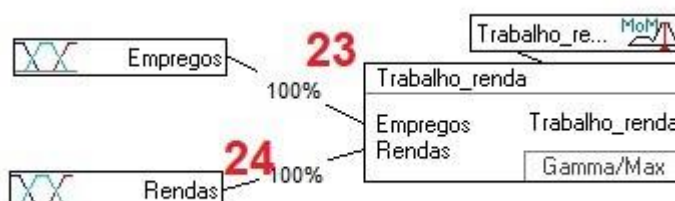
Marcar apenas uma oval.

☐ Sim

☐ Não

4.c) Caso a resposta anterior tenha sido negativa, sugira outra composição do índice "Qualidade de Vida", bem como expresse sua opinião acerca da importância (em porcentagem) das variáveis 20, 21 e 22 na composição do índice.

4.d) Sugerimos que o índice "Trabalho e Renda" seja composto por indicadores de "Empregos" e "Renda". Em sua opinião, a disposição das variáveis e seus pesos na composição do índice "Trabalho e Renda" (23 e 24 em vermelho) estão corretos?



Marcar apenas uma oval.

☐ Sim

☐ Não

4.e) Caso a resposta anterior tenha sido negativa, sugira outra composição do índice "Trabalho e Renda", bem como expresse sua opinião acerca da importância (em porcentagem) das variáveis 23 e 24 na composição do índice.

5) Os questionamentos buscam o aprimoramento do modelo criado. Caso haja outras considerações, faça-as no espaço abaixo.

Obrigada por compartilhar o seu tempo e o seu conhecimento!