

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM COMPUTACIONAL



Dissertação de Mestrado

AVALIAÇÃO DO PROJETO BÁSICO AMBIENTAL
DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS
A PARTIR DE UMA METODOLOGIA MULTICRITÉRIO

Discente: Mariana dos Santos Bono

Rio Grande, fevereiro de 2022.

MARIANA DOS SANTOS BONO

**AVALIAÇÃO DO PROJETO BÁSICO AMBIENTAL
DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS
A PARTIR DE UMA METODOLOGIA MULTICRITÉRIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional da Universidade Federal do Rio Grande, como requisito para qualificação do título de Mestre em Modelagem Computacional.

Orientador: Prof. Dr. André Andrade Longaray

Rio Grande, fevereiro de 2022.

Ficha Catalográfica

B719a Bono, Mariana dos Santos.

Avaliação do projeto básico ambiental de pequenas centrais hidrelétricas a partir de uma metodologia multicritério / Mariana dos Santos Bono. – 2022.

106 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional, Rio Grande/RS, 2022.

Orientador: Dr. André Andrade Longaray.

1. Apoio à decisão multicritério 2. Avaliação de desempenho potencial 3. Avaliação de PBA 4. Licença de instalação 5. Empreendimentos hidrelétricos I. Longaray, André Andrade II. Título.

CDU 620.91

Catálogo na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344

Mariana dos Santos Bono

**“AVALIAÇÃO DO PROJETO BÁSICO AMBIENTAL DE PEQUENAS CENTRAIS
HIDRELÉTRICAS A PARTIR DE UMA METODOLOGIA MULTICRITÉRIO”**

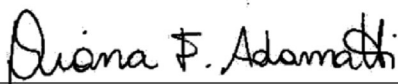
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional da Universidade Federal do Rio Grande - FURG, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestra. Área de concentração: Modelagem Computacional.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. André Andrade Longaray (Orientador – FURG)



Profa. Dra. Diana Francisca Adamatti (FURG)



Profa. Dra. Tírzah Moreira Siqueira (UFPel)

AGRADECIMENTOS

Agradeço à vida, pelos caminhos que tomou e me permitiu chegar onde estou hoje.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de incentivo à pesquisa que me foi concedida, possibilitando a realização deste trabalho.

À Universidade Federal do Rio Grande (FURG) e ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional (PPGMC), pelo ingresso no programa de mestrado e meu desenvolvimento acadêmico e também profissional.

Ao Prof. André Andrade Longaray, meu orientador, por todos os ensinamentos, dedicação, apoio e paciência ao longo desse período atípico em que desenvolvi minha pesquisa.

Ao Prof. Paulo Munhoz, que contribuiu e enriqueceu minha pesquisa sem poupar apoio e incentivo.

Aos membros da banca, as professoras Tirzah Moreira Siqueira, Diana Francisca Adamatti e Cátia Maria dos Santos Machado, pelas importantes contribuições.

Aos Analistas da FEPAM, Rafael Volquind, Jordano Francisco Zagonel, Nina Rosa Lages e Leonardo Gruber, pelas contribuições do ponto de vista técnico.

Aos colegas do Laboratório de Estudos e Pesquisa em Metodologias de Sistemas e Apoio à Decisão (LabSADi) pelas contribuições para minha aprendizagem e minha pesquisa.

Por fim, agradeço à minha mãe e amigos pelo apoio durante o período de realização do mestrado.

RESUMO

Condicionante para a emissão da Licença de Instalação de um empreendimento hidrelétrico, o Projeto Básico Ambiental (PBA) é um documento que delinea as ações e programas de gerenciamento de questões socioambientais de uma obra. Estes são destinados a minimizar ou mitigar os impactos negativos e maximizar os impactos positivos previstos com a implantação do empreendimento. Destaca-se, portanto, a relevância da realização de avaliação de desempenho potencial das ações e programas propostos no PBA, a fim de verificar se estes estão alinhados com as expectativas do órgão ambiental para empreendimentos desta classe. Em função disso, este estudo se propôs, a partir de uma metodologia multicritério e um estudo de caso, a desenvolver e testar uma ferramenta de avaliação de desempenho potencial que apoie os órgãos licenciadores na tomada de decisão quanto à aprovação ou não do documento em questão, com base em critérios que definem o que é relevante do ponto de vista dos órgãos licenciadores.

Palavras-chave: apoio à decisão multicritério; avaliação de desempenho potencial; avaliação de PBA; licença de instalação; empreendimentos hidrelétricos.

ABSTRACT

A condition for issuing the Installation License for a hydroelectric project, the Basic Environmental Project (PBA) is a document that outlines the actions and programs for managing socio-environmental issues of a project. These are intended to minimize or mitigate the negative impacts and maximize the positive impacts expected from the implementation of the project. Therefore, it is important to evaluate the potential performance of the actions and programs proposed in the PBA, in order to verify if they are aligned with the expectations of the environmental agency for enterprises of this class. As a result, this study proposes, based on a multicriteria methodology and a case study, to develop and test a potential performance assessment tool that supports the licensing agencies in their decision making as to whether or not to approve the document in question, based on criteria that define what is relevant from the point of view of the licensing agencies.

Palavras-chave: multicriteria decision aid; potential performance assessment; PBA assessment; installation license; hydroelectric projects.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz elétrica brasileira. Fonte: EPE, 2021.	20
Figura 2 - Árvore de valor e PVE's da área de preocupação "Construção". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	54
Figura 3 - Estrutura hierárquica de valor, PVE's e descritores dos PVE's da área de preocupação "Construção". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.....	56
Figura 4 - Funções de valor para o PVE 2.1 - Saneamento básico. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	58
Figura 5 - Taxas de compensação de todos os PVE's do PVF 2 "Construção". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	60
Figura 6 - Árvore de valor e PVE's da área de preocupação "Gestão ambiental". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	76
Figura 7 - Árvore de valor e PVE's da área de preocupação "Educação ambiental e comunicação social". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.....	76
Figura 8 - Árvore de valor e PVE's da área de preocupação "Desenvolvimento". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	77
Figura 9 - Árvore de valor e PVE's da área de preocupação "Fauna". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	77
Figura 10 - Árvore de valor e PVE's da área de preocupação "Flora". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	78
Figura 11 - Árvore de valor e PVE's da área de preocupação "Água e solo". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	78
Figura 12 - Estrutura hierárquica de valor, PVE's e descritores dos PVE's da área de preocupação "Gestão ambiental". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.....	79
Figura 13 - Estrutura hierárquica de valor, PVE's e descritores dos PVE's da área de preocupação "Educação ambiental e comunicação social". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	80
Figura 14 - Estrutura hierárquica de valor, PVE's e descritores dos PVE's da área de preocupação "Desenvolvimento". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	81
Figura 15- Estrutura hierárquica de valor, PVE's e descritores dos PVE's da área de preocupação "Fauna". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.....	82
Figura 16 - Estrutura hierárquica de valor, PVE's e descritores dos PVE's da área de preocupação "Flora". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.....	83
Figura 17 - Estrutura hierárquica de valor, PVE's e descritores dos PVE's da área de preocupação "Água e solo". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.....	84
Figura 18 - Funções de valor para o PVE 1.1.1 – Vigilância epidemiológica. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	85

Figura 19 - Funções de valor para o PVE 1.1.2 - Segurança do trabalho. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	86
Figura 20 - Funções de valor para o PVE 1.2 - Gestão ambiental. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	86
Figura 21 - Funções de valor para o PVE 2.2 - Controle ambiental. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	87
Figura 22 - Funções de valor para o PVE 2.3 - Limpeza. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	87
Figura 23 - Funções de valor para o PVE 2.4 - Instalações. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	88
Figura 24 - Funções de valor para o PVE 3.1 - Patrimônio arqueológico. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	88
Figura 25 - Funções de valor para o PVE 3.2 - Educação ambiental. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	89
Figura 26 - Funções de valor para o PVE 3.3 - Comunicação social. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	89
Figura 27 - Funções de valor para o PVE 3.4 - Mão-de-obra. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	90
Figura 28 - Funções de valor para o PVE 4.1.1 - Prestação de serviços e materiais. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	90
Figura 29 - Funções de valor para o PVE 4.1.2 - Desapropriação e/ou aquisição de terras. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	91
Figura 30 - Funções de valor para o PVE 4.2.1 - Infraestrutura regional. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	91
Figura 31 - Funções de valor para o PVE 4.2.2 - PACUERA. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	92
Figura 32 - Funções de valor para o PVE 5.1.1 - Fauna terrestre. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	92
Figura 33 - Funções de valor para o PVE 5.1.2 - Manejo da fauna terrestre. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	93
Figura 34 - Funções de valor para o PVE 5.1.3 - Monitoramento da fauna terrestre. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	93
Figura 35 - Funções de valor para o PVE 5.2.1 - Fauna aquática. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	94
Figura 36 - Funções de valor para o PVE 5.2.2 - Manejo da fauna aquática. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	94
Figura 37 - Funções de valor para o PVE 5.2.3 - Monitoramento da fauna aquática. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	95

Figura 38 - Funções de valor para o PVE 6.1 - Pré-supressão. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	95
Figura 39 - Funções de valor para o PVE 6.2 - Supressão florestal. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	96
Figura 40 - Funções de valor para o PVE 6.3 - Pós-supressão. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	96
Figura 41 - Funções de valor para o PVE 6.4 - Recuperação vegetal. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	97
Figura 42 - Funções de valor para o PVE 7.1.1 - Recurso hídrico. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	97
Figura 43 - Funções de valor para o PVE 7.1.2 - Monitoramento da qualidade da água. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	98
Figura 44 - Funções de valor para o PVE 7.2 - Processos erosivos. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	98
Figura 45 - Taxas de compensação de todos os PVE's do PVF 1 "Gestão ambiental". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	99
Figura 46 - Taxas de compensação de todos os PVE's do PVF 3 "Educação ambiental e comunicação social". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	99
Figura 47 - Taxas de compensação para todos os PVE's do PVF 4 "Desenvolvimento". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	100
Figura 48 - Taxas de compensação para todos os PVE's do PVF 5 "Fauna". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	100
Figura 49 - Taxas de compensação para todos os PVE's do PVF 6 "Flora". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	101
Figura 50 - Taxas de compensação para todos os PVE's do PVF 7 "Água e solo". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	101
Figura 51 - Avaliação global do PBA da PCH Cantu 2. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Propriedades das relações binárias relevantes à modelagem de preferências.....	35
Quadro 2- Situações fundamentais resultantes da comparação de duas alternativas	36
Quadro 3 - Situações combinadas de preferência resultantes da comparação de duas alternativas	37
Quadro 4 - Órgãos Licenciadores ao redor do Brasil	49
Quadro 5 - Empreendimentos utilizados como base para a pesquisa documental ...	51
Quadro 6 - Estrutura hierárquica de valor	53
Quadro 7 - Indicador 2.1 - Saneamento Básico	55
Quadro 8 - Perfil de desempenho do status quo do PBA da PCH Cantu 2.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CERPCH	Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DRDH	Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica
DRS	Despacho de Registro da Adequabilidade do Sumário Executivo
EIA	Administração de Informações sobre Energia dos Estado Unidos da América
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
ELECTRE	<i>Elimination et Choix Traduisant la Réalité</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
LP	Licença Prévia
MACBETH	<i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i>
MAUT	Teoria da Utilidade Multiatributo
MCDA	Metodologias Multicritério de Apoio à Decisão
PB	Projeto Básico
PBA	Projeto Básico Ambiental
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Renováveis de Energia Elétrica

PROMÉTHÉE *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*

PVE Ponto de Vista Elementar

PVF Ponto de Vista Fundamental

RIMA Relatório de Impacto ao Meio Ambiente

SE Sumário Executivo

SIN Sistema Interligado Nacional

UHE Usina Hidrelétrica de Energia

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO	14
1.1	INTRODUÇÃO	14
1.2	JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	15
1.3	DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA	16
1.4	OBJETIVO GERAL	16
1.5	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	ENERGIA ELÉTRICA	18
2.1.1	GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	18
2.1.2	HIDROELETRICIDADE	20
2.1.3	PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS	22
2.2	LICENCIAMENTO AMBIENTAL	25
2.2.1	PROJETO BÁSICO AMBIENTAL	29
2.3	METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO	30
2.3.1	APOIO À DECISÃO	30
2.3.2	DECISÃO MULTICRITÉRIO DISCRETA	31
2.3.3	MÉTODOS DISCRETOS DO APOIO À DECISÃO MULTICRITÉRIO	42
2.3.4	TRABALHOS CORRELATOS	45
3	DELINEAMENTO METODOLÓGICO	46
4	PROPOSIÇÃO DO MODELO MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO	47
4.1	ESTRUTURAÇÃO	48
4.1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	48
4.1.2	DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA HIERÁRQUICA DE VALORES	51
4.1.3	CONSTRUÇÃO DOS DESCRITORES	54
4.2	AVALIAÇÃO	57
4.2.1	ELABORAÇÃO DAS FUNÇÕES DE VALOR	57
4.2.2	DETERMINAÇÃO DAS TAXAS DE COMPENSAÇÃO	59
4.2.3	AVALIAÇÃO GLOBAL	60
4.2.4	ILUSTRAÇÃO DE APLICAÇÃO DO MODELO	62
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
	REFERÊNCIAS	70
	APÊNDICE A – ESTRUTURA HIERÁRQUICA DE VALOR POR ÁREA DE PREOCUPAÇÃO	76

APÊNDICE B – ESTRUTURA HIERÁRQUICA DE VALOR, PVE’S E DESCRITORES POR ÁREA DE PREOCUPAÇÃO	79
APÊNDICE C – FUNÇÕES DE VALOR	85
APÊNDICE D – TAXAS DE COMPENSAÇÃO	99
APÊNDICE E – AVALIAÇÃO GLOBAL DO PBA DA PCH CANTU 2	102

1 Apresentação

O capítulo 1 faz uma apresentação do trabalho como um todo. Nele, busca-se apresentar o contexto estudado, justificar a seleção do tema, delimitar o problema de pesquisa, definir os objetivos geral e específicos, assim como a sistematização do trabalho.

1.1 Introdução

Para o seu funcionamento e desenvolvimento, o mundo atual depende de energia, o que se dá pelo papel que os recursos energéticos desempenham para a oferta de serviços que visam o bem-estar das pessoas e para o desenvolvimento de atividades produtivas (Carvalho, 2019). A demanda crescente e os impactos associados a diversas fontes de energia levaram à busca por fontes alternativas para geração de energia elétrica. Entretanto, a forma de obtenção desta varia de acordo com a localidade, em função da oferta de recursos naturais daquele território.

O Brasil é um país favorecido com a abundância de uma fonte de energia renovável: a água. Diante disso, as hidrelétricas desempenham papel predominante na matriz energética do país. No entanto, cabe salientar que embora seja uma alternativa de caráter renovável, a implantação de empreendimentos hidrelétricos traz consigo desvantagens sociais e ambientais (Kaunda *et al.*, 2012).

O cenário de expansão da geração de energia elétrica enfrenta um paradoxo dos tempos modernos, em que, por um lado, se deseja mais energia para o desenvolvimento e, por outro, questiona-se suas formas de produção, demonstrando grande preocupação com o meio ambiente (Raupp, 2019). A partir disso, visto que se tornou primordial compatibilizar os dois aspectos, a questão ambiental foi sendo inserida nas leis e políticas nacionais, a fim de estabelecer uma tutela jurídica para o meio ambiente. Então, a Política Nacional do Meio Ambiente trouxe taxativamente a obrigatoriedade do licenciamento ambiental para toda e qualquer obra ou atividade que utilize recursos naturais e seja potencialmente poluidora.

Neste contexto, o Projeto Básico Ambiental assume um papel importante, uma vez que é inegável a existência de impactos na implantação de um empreendimento hidrelétrico. Estando no final da etapa de Licença de Instalação, isto é, antes da instalação, este se encarrega de detalhar as medidas e programas ambientais a serem implementados nas fases seguintes. Dessa forma, é nesta fase que se tem a oportunidade de avaliar se as soluções propostas pelo empreendedor estão alinhadas com a expectativa dos órgãos licenciadores.

O grande desafio no contexto decisório em questão é a complexidade, visto que este sofre influência tanto de fatores quantitativos como de fatores qualitativos. À vista disso, as metodologias de apoio à decisão multicritério se mostram convenientes, uma vez que estas se destinam a este tipo de contexto decisório, onde não se propõem a encontrar a solução ótima, mas sim compreender melhor o problema e clarificar os aspectos considerados pelos decisores como fundamentais no processo decisório (L. Ensslin *et al.*, 2001).

1.2 Justificativa do trabalho

A energia elétrica desempenha papel importante para o desenvolvimento social e econômico da humanidade, e o território brasileiro apresenta grande predisposição para a hidroeletricidade. Em função disso, destaca-se a seriedade envolvida no processo de licenciamento ambiental de empreendimentos hidrelétricos no país. Todavia, são identificadas lacunas durante todo o processo, levando a questionamentos quanto à confiabilidade do instrumento como um todo.

O Projeto Básico Ambiental (PBA), componente obrigatório do processo de licenciamento ambiental, tem por objetivo propor soluções para os impactos ambientais decorrentes da instalação e operação de empreendimentos. As soluções se caracterizam por programas ambientais, que buscam minimizar ou mitigar impactos negativos e maximizar impactos positivos, não devendo ser padronizados e respeitando as particularidades de cada projeto.

Considerada a indispensabilidade de manter a qualidade ambiental diante do desenvolvimento socioeconômico, se torna relevante a avaliação do desempenho potencial dos programas propostos pelo PBA, visando verificar se as soluções

recomendadas são adequadas ao contexto. Desta forma, as metodologias multicritério, se apresentam como ferramentas pertinentes para o desenvolvimento deste projeto, que visa auxiliar na tomada de decisão do órgão ambiental encarregado das licenças ambientais.

1.3 Delimitação do problema

Como a avaliação de desempenho potencial, em sua vertente de apoio à decisão, pode contribuir para a análise dos programas propostos pelo Projeto Básico Ambiental de uma Pequena Central Hidrelétrica?

1.4 Objetivo geral

Desenvolver e testar um modelo multicritério capaz de apoiar a tomada de decisão na etapa de análise do Projeto Básico Ambiental de uma Pequena Central Hidrelétrica.

1.5 Objetivos específicos

Visando atingir o objetivo geral, têm-se os seguintes objetivos específicos:

- Identificar os aspectos relevantes à avaliação de desempenho para análise dos programas propostos pelo Projeto Básico Ambiental de uma Pequena Central Hidrelétrica;
- Mensurar, por meio de escalas ordinais e cardinais, os aspectos identificados;
- Estruturar um modelo de avaliação de desempenho potencial dos programas propostos pelo Projeto Básico Ambiental, com base nos indicadores e parâmetros identificados;
- Verificar, a partir de um estudo de caso, o desempenho dos programas propostos em um Projeto Básico Ambiental.

1.6 Estrutura do trabalho

A estrutura do trabalho está arranjada em 5 capítulos. O capítulo 1 trata de introduzir o contexto estudado, apresentar a justificativa quanto ao tema selecionado, delimitar o problema de pesquisa, expor os objetivos geral e específicos, bem como a estrutura do trabalho. O capítulo 2 trata do referencial teórico. No item 2.1, denominado Energia Elétrica, disserta-se sobre o contexto de aplicação do estudo, enquanto que no item 2.2, intitulado Metodologias para Avaliação Multicritério, discorre-se acerca dos métodos de Apoio à Decisão Multicritério, instrumento de intervenção empregado no estudo. O capítulo 3 aborda o delineamento metodológico tomado para a realização desta pesquisa. O capítulo 4 apresenta a proposição do modelo multicritério e a ilustração de aplicação do mesmo. E, no capítulo 5, são manifestadas as considerações finais do estudo. Por fim, são indicadas as referências bibliográficas utilizadas no decorrer do trabalho.

2 Referencial Teórico

Neste capítulo, busca-se explorar o contexto de aplicação do estudo, apresentando conceitos sobre geração de energia elétrica e licenciamento ambiental. São apresentadas as etapas para a implantação de uma Pequena Central Hidrelétrica no território brasileiro e, ainda, elencados trabalhos correlatos.

O capítulo apresenta o apoio à decisão multicritério e aborda seus conceitos e princípios básicos. É feita uma síntese dos métodos do MCDA e, além disso, apresenta-se o método MACBETH, empregado neste trabalho.

2.1 Energia Elétrica

2.1.1 Geração de Energia Elétrica

A energia elétrica está intrinsicamente ligada ao desenvolvimento da sociedade humana e à melhoria na qualidade de vida da população. Em função disso, sua demanda tem aumentado de maneira constante ao redor do mundo (Teixeira, 2006). No entanto, atrelado à satisfação das necessidades da humanidade, está a urgência da proteção do meio ambiente, o que é tido como um dos grandes desafios para o desenvolvimento sustentável (Agenda 2030, 2020), isto é, “desenvolvimento que procura satisfazer as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades” (Brundtland, 1987).

A geração de energia elétrica se dá a partir de duas fontes de energia distintas: as renováveis e as não renováveis. Segundo a EIA (2019), as energias renováveis provêm de fontes que podem ser facilmente reabastecidas, enquanto as não renováveis derivam-se de fontes que não possuem a mesma capacidade de reabastecimento. As energias não renováveis são derivadas de fontes finitas ou esgotáveis, resultantes de processos lentos de reposição na natureza (EPE, 2020). Carvão mineral, gás natural, petróleo e nuclear, são exemplos de fontes não renováveis de energia. Ademais, o termo energia renovável refere-se às fontes de energia consideradas inesgotáveis, disponibilizadas de forma cíclica na natureza, como as fontes hídrica, solar, eólica, geotérmica, oceânica e de biomassa (Costa & Prates, 2005).

O uso das fontes de energia não renováveis, de maneira excessiva, ocasiona problemas como geração de resíduos e poluição atmosférica, consequentes da queima de combustíveis fósseis, que acometem todas as condições de vida no planeta (Carvalho, 2019). Destarte, as fontes renováveis de energia têm se estabelecido como alternativa cada vez mais importante para a matriz energética mundial (Santos *et al.*, 2017), visto que são consideradas ambientalmente corretas, além de permitirem a geração distribuída de energia, com geradoras localizadas

próximas aos centros de consumo, viabilizando o atendimento da demanda de localidades isoladas (Costa & Prates, 2005).

De acordo com Carvalho (2019), dada a crescente demanda por energia elétrica, investir no desenvolvimento tecnológico se tornou essencial, a fim de dispor de um sistema energético eficiente, confiável, seguro, ambientalmente aceitável e economicamente viável. Ainda segundo o autor, uma das alternativas para aumentar a segurança no abastecimento de energia elétrica no país é diversificar a matriz energética. Conquanto, é importante valorizar consagradas fontes de geração de energia elétrica, e para Bermann (2007), a energia hidrelétrica é tida como uma fonte energética “limpa, renovável e barata”.

O Brasil apresenta uma matriz elétrica com grande participação de fontes renováveis. No ano de 2020, estas corresponderam a 84,8% da oferta interna de energia elétrica (EPE, 2021).

A formação da matriz energética de um país é pautada na disponibilidade de recursos naturais e na viabilidade de exploração dos mesmos (Teixeira, 2006) e, apesar do aumento da utilização de outras fontes renováveis na matriz energética nacional, o Brasil se destaca pela geração de energia elétrica prioritariamente a partir da fonte hídrica (Fernandes, 2019). De acordo com o Balanço Energético Nacional, no ano de 2020, o correspondente a 65,2% da oferta interna de energia elétrica foi advinda da hidroeletricidade, como mostra a Figura 1 (EPE, 2021). Este cenário se deve à abundância de recursos hídricos disponíveis no país, no entanto, destaca-se a importância da sustentabilidade no aproveitamento desse potencial.

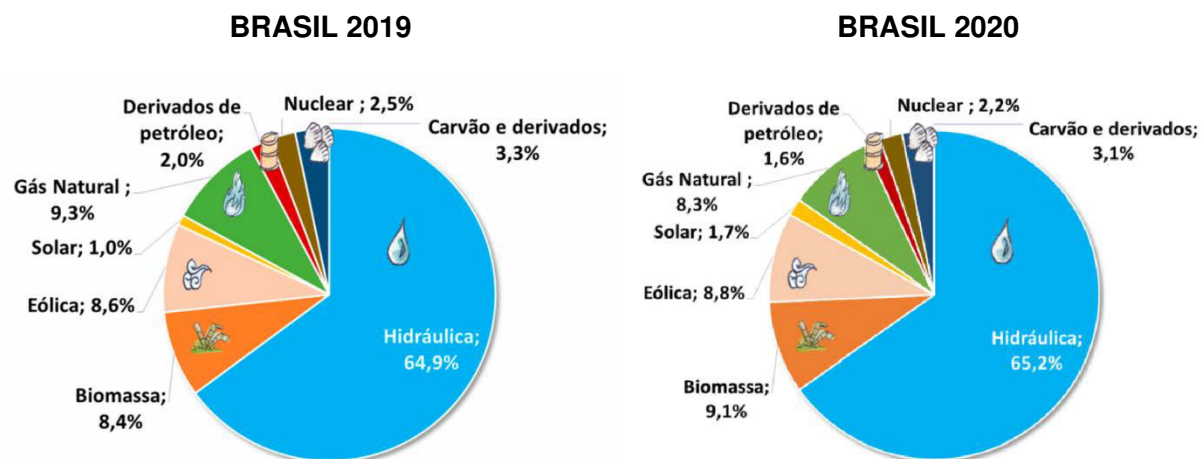


Figura 1 - Matriz elétrica brasileira. Fonte: EPE, 2021.

2.1.2 Hidroeletricidade

É designada hidroeletricidade a energia elétrica obtida a partir do aproveitamento do potencial hidráulico de certo trecho de um rio (Bermann, 2007), onde uma quantidade específica de água em queda gera eletricidade como resultado de sua velocidade e posição ou ambos (Kaunda *et al.*, 2012). Desde o surgimento da técnica, a tecnologia vem permitindo a obtenção de maior eficiência e confiabilidade do sistema de aproveitamento, aumentando significativamente a potência instalada das unidades geradoras, ainda assim, se mantém inalterado o princípio básico de funcionamento para produção e transmissão de energia (ANEEL, 2008).

A classificação de um empreendimento hidrelétrico depende de diversos fatores, todos interdependentes, como: localização, altura da queda d'água, vazão, tipo de turbina, potência instalada, tipos de barragem e reservatório. Dessa forma, a altura da queda d'água e a vazão, influenciadas pelo local de construção, determinarão a potência instalada e, em função dessa, serão estipulados os tipos de turbina, barragem e reservatório (ANEEL, 2008).

Os reservatórios podem ser classificados como de acumulação ou a fio d'água. Reservatórios a fio d'água geram energia pela vazão do rio, com mínimo ou nenhum acúmulo de água. Enquanto que os de acumulação, dado o seu grande porte, comportam o acúmulo de grande quantidade de água, funcionando como estoque a ser utilizado em períodos de estiagem. Já a altura da queda d'água pode ser definida

como baixa, média ou alta. Para o Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas (CERPCH) da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), é considerada como baixa queda uma altura de até 15 metros e superior a 150 metros é tido como alta queda. No entanto, não existe um consenso em relação a esses valores (ANEEL, 2008).

Em relação à potência, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) assume três opções de classificação, pela qual se determina o porte do empreendimento: Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH), com até 5 MW de potência instalada; Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), com potência instalada entre 5 MW e 30 MW; e Usina Hidrelétrica de Energia (UHE), com mais de 30 MW (Brasil, 2020). De acordo com o porte, também é determinada a dimensão da rede de transmissão de energia elétrica. Empreendimentos de maior porte tendem a estar mais afastadas dos centros de consumo, com redes de transmissão que chegam a atravessar o território de vários estados, ao passo que os de menor porte, PCHs e CGHs, são voltadas para o abastecimento de pequenos centros consumidores, sendo construídas junto a pequenas quedas d'água e sem necessidade de instalações tão sofisticadas para o transporte da energia (ANEEL, 2008).

Para Tolmasquim (2016), além de ser uma fonte renovável de geração de energia elétrica, a hidroeletricidade é uma tecnologia madura e confiável. Entretanto, impactos positivos e negativos, tanto para o meio ambiente quanto para a sociedade, são ocasionados pela sua utilização. Piagentini *et al.*, (2011) indicam impactos positivos relacionados ao aspecto socioeconômico da região influenciada, como melhorias de infraestrutura, geração de empregos, dinamização da economia, aumento do conhecimento técnico-científico sobre a região, entre outros. Da mesma forma, podem ser citados outros impactos positivos, em especial para empreendimentos com reservatórios de acumulação, como o controle de cheias e a mitigação da incerteza e da sazonalidade hidrológica (Tolmasquim, 2016).

Já dentre os principais impactos negativos de empreendimentos hidrelétricos, cabe enfatizar: a perda da biodiversidade; o comprometimento da qualidade das águas; a alteração do regime hidrológico; a emissão de gases de efeito estufa; a dificuldade de assegurar o uso múltiplo das águas; e no tocante ao aspecto social, em particular as populações ribeirinhas são diretamente afetadas (Bermann, 2007). Ademais, novos aproveitamentos hidrelétricos tendem a se instalar cada vez mais

longe dos grandes centros de consumo, resultando em investimentos adicionais em linhas de transmissão (Tolmasquim, 2016).

Avaliar o quanto esses impactos são, de modo geral, aceitáveis, é uma tarefa difícil. Além disso, a escala dos impactos pode variar de acordo com o porte do empreendimento. E de fato, cada vez mais, tem sido discutida a viabilidade de implantação de grandes empreendimentos hidrelétricos, pois apesar de partirem de uma fonte renovável, suscitam inúmeros problemas ambientais e sociais, tornando os projetos inexecutáveis (Custodio & Rodrigues, 2019). Logo, as Pequenas Centrais Hidrelétricas têm se apresentado como uma alternativa às Usinas Hidrelétricas de Energia.

2.1.3 Pequenas Centrais Hidrelétricas

Uma Pequena Central Hidrelétrica pode ser descrita de forma semelhante a uma Usina Hidrelétrica de Energia, exceto pela sua potência instalada e tamanho do seu reservatório. Anteriormente, algumas limitações construtivas foram consideradas, no entanto, a Resolução Normativa nº 875, de 10 de março de 2020, estabeleceu que o termo Pequenas Centrais Hidrelétricas se refere a empreendimentos destinados à autoprodução, produção independente ou produção independente autônoma de energia elétrica, com potência instalada superior a 5 MW e igual ou inferior a 30 MW e que possuem reservatório com área inferior a 13 km² para a cheia centenária (Brasil, 2020). O critério de área máxima inundada pode ser reconsiderado de acordo com especificidades regionais e o empreendimento enquadrado na condição de PCH, desde que autorizado pela Diretoria da ANEEL com base em parecer técnico (ANEEL, 2003).

A estrutura de uma PCH pode ser classificada quanto à capacidade do reservatório, quanto ao sistema de adução e também pela associação dos parâmetros potência instalada e queda de projeto (Eletrobras, 2017). Tolmasquim (2016) salienta a importância da correta classificação de um empreendimento hidrelétrico, visto que as PCHs desfrutam de uma série de benefícios concedidos pelo Governo, como, por exemplo, a simplificação do processo de outorga, a fim de estimular investimentos (ANEEL, 2003). Além disso, cabe destacar que nas últimas décadas o Brasil tem

adotado diversas políticas e programas de incentivo à utilização de fontes renováveis, como o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Renováveis de Energia Elétrica), instituído pela Lei nº 10.438 de 26 de abril de 2002, que prioriza as fontes biomassa, eólica e hídrica no formato de PCH (Brasil, 2002).

As PCHs vêm sendo vistas como importantes para a complementação do Sistema Interligado Nacional (SIN), uma vez que se localizam próximas aos centros de consumo, atendendo, principalmente, às necessidades de pequenos centros urbanos e regiões rurais (Friedrich & Grau, 2010). Ainda é importante ressaltar que, para as PCHs, em geral, os impactos ambientais são reduzidos – devido ao melhor aproveitamento das características naturais dos rios –, os projetos são mais simples, o prazo de implantação e o volume de recursos investidos são menores (Albarelo, 2014), o que torna os pequenos empreendimentos alternativas atraentes para geração de energia elétrica.

A ANEEL aponta que o Brasil possui 1378 empreendimentos de fonte hídrica. Destes, 426 são PCHs em operação, com potência fiscalizada de 5.513.046,57 kW. Além de 31 empreendimentos em fase de construção e 83 com a construção autorizada, com 426.002,10 kW e 1.230.386,65 kW de potência outorgada, respectivamente (SIGA, 2022).

É indiscutível o potencial hidráulico brasileiro para geração de energia elétrica, assim como as vantagens que as PCHs apresentam de maneira geral, no entanto, faz-se necessário evidenciar que todo e qualquer empreendimento gera impactos ambientais, independentemente do tamanho. Assim, ressalta-se a necessidade da atenção ao assunto, uma vez que, além de criar condições para a implantação de empreendimentos a fim para suprir as demandas do país, o governo deve buscar fazê-lo de maneira sustentável, atendendo à legislação ambiental vigente (Teixeira, 2006).

2.1.3.1 Etapas de implantação de uma PCH

A implantação de uma Pequena Central Hidrelétrica está sujeita a uma sequência de etapas regulamentadas, nas quais atividades interdisciplinares se cruzam a fim de disponibilizar as informações essenciais para cada fase do processo.

A primeira etapa consiste em uma análise preliminar da bacia hidrográfica baseada em dados já disponíveis, com vistas a verificar sua vocação para geração de energia hidrelétrica, conhecida como Estimativa do Potencial Hidrelétrico. A seguir, é realizado o Estudo de Inventário Hidrelétrico, que avalia o potencial de geração de uma bacia específica, estabelecendo alternativas de divisão de quedas para a bacia e visando selecionar aquela que propicie equilíbrio entre os benefícios energéticos, custos de implantação, usos múltiplos das águas e impactos socioambientais (Raupp, 2019).

Tais etapas estão associadas ao planejamento do setor elétrico, conduzido pela ANEEL, podendo esta, disponibilizar o Estudo de Inventário Hidrelétrico para bacias consideradas importantes para o cenário de expansão de energia hidrelétrica no país. No entanto, no caso de bacias não inventariadas, empreendedores interessados poderão elaborar seus estudos de inventário, assumindo custos e riscos. Como forma de incentivo, foi definido que o autor responsável pelo estudo aprovado ou por revisões de inventário terá preferência, incentivando a elaboração de estudos de inventário com boa qualidade técnica (Dias, 2014). Para bacias já inventariadas, ressalta-se a importância da interação com os órgãos ambientais e de recursos hídricos, a fim de obter informações atualizadas sobre as mesmas.

Na sequência, é realizado o Estudo de Viabilidade Ambiental, que visa analisar separadamente as alternativas provenientes do inventário. São concebidos estudos preliminares e avaliados os benefícios e custos associados ao empreendimento, se economicamente viável, dá-se prosseguimento ao detalhamento dos estudos. Nessa fase, em conjunto com os estudos energéticos e de engenharia nomeado de Projeto Básico (PB), também são conduzidos os estudos ambientais.

Um registro é feito na ANEEL para a execução do Projeto Básico referente ao empreendimento e, a partir deste, é elaborado um Sumário Executivo (SE). A aceitação do SE será atestada por meio da publicação do Despacho de Registro da Adequabilidade do Sumário Executivo (DRS) e, logo após, poderá ser solicitada a Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica (DRDH), que é emitida pelo órgão responsável pelos recursos hídricos, de acordo com o domínio do rio. Ainda, o interessado deverá requerer o Licenciamento Ambiental, com base nos Termos de Referência, definidos pelo órgão ambiental, para elaboração do Estudo Impacto

Ambiental (EIA) e seu respectivo Relatório de Impacto ao Meio Ambiente (RIMA), ou documento similar simplificado (Eletrobras, 2000).

A solicitação da Licença Prévia (LP) é a próxima etapa, na qual podem ser feitas exigências pelo órgão ambiental, que analisará a viabilidade de conceder a LP. Em seguida, o PB deverá ser otimizado e apresentado à ANEEL, juntamente à LP, DRDH e um cronograma de implantação do empreendimento hidrelétrico, a fim de obter a Outorga de Autorização, que terá vigência de 35 anos (Brasil, 2020). Simultaneamente, será solicitada ao órgão responsável a Outorga de Uso da Água, bem como será elaborado o Projeto Básico Ambiental (PBA), requisito para a Licença de Instalação (LI).

Posteriormente à obtenção da Outorga de Autorização, da Outorga de Uso da Água e da Licença de Instalação, será desenvolvido o Projeto Executivo e iniciada a construção da usina. Ademais, serão implementados os programas ambientais propostos no PBA, será solicitada a Licença de Operação (LO) e, por fim, a usina entrará em operação.

2.2 Licenciamento ambiental

A questão ambiental foi sendo inserida nas leis e políticas nacionais ao longo dos anos. Em 1988, na forma do artigo 225, *caput*, a Constituição Federal reconheceu: “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (Brasil, 1988). Entretanto, anteriormente, em 1981, a Lei Federal 6.938, conhecida como Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), já visava assegurar condições ao desenvolvimento socioeconômico compatível à preservação da qualidade ambiental propícia à vida. Além disso, a PNMA já apresentava como instrumentos o licenciamento ambiental e a avaliação de impactos ambientais (Brasil, 1981).

Em 1986, a Resolução CONAMA nº 1 estabeleceu as definições, responsabilidades, critérios básicos e as diretrizes gerais para o uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da PNMA, e em seu Art. 1º, definiu impacto ambiental (Brasil, 1986):

Art. 1º Para efeito desta resolução, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II - as atividades sociais e econômicas;

III - a biota;

IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V - a qualidade dos recursos ambientais.

No ano de 1997, a Resolução CONAMA nº 237, regulamentou o licenciamento ambiental, adotando as seguintes definições em seu Art. 1º (Brasil, 1997):

I - Licenciamento Ambiental: procedimento administrativo 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 daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso.

II - Licença Ambiental: ato administrativo pelo qual o órgão ambiental competente, estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas pelo empreendedor, pessoa física ou jurídica, para localizar, instalar, ampliar e operar empreendimentos ou atividades utilizadoras dos recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou aquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental.

III - Estudos Ambientais: são todos e quaisquer estudos relativos aos aspectos ambientais relacionados à localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento, apresentado como subsídio para a análise da licença requerida, tais como: relatório ambiental, plano e projeto de controle ambiental, relatório ambiental preliminar, diagnóstico ambiental, plano de manejo, plano de recuperação de área degradada e análise preliminar de risco.

O licenciamento é um instrumento de caráter preventivo, que visa auxiliar no processo de tomada de decisão referente à determinado empreendimento, buscando antever a possibilidade da ocorrência de impacto ambiental, propondo condicionantes e medidas de controle e adequação para a operação, e realizando a verificação das restrições determinadas em cada uma das fases do processo. Os estudos inerentes ao processo de licenciamento são de responsabilidade do empreendedor, devendo ser realizados por profissionais legalmente habilitados. De acordo com a Resolução CONAMA nº 237/97, o processo é dividido em três fases (Brasil, 1997):

Art. 8º O Poder Público, no exercício de sua competência de controle, expedirá as seguintes licenças:

I - Licença Prévia (LP) - concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação;

II - Licença de Instalação (LI) - autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante;

III - Licença de Operação (LO) - autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação.

Como visto, as fases do licenciamento ambiental possuem objetivos distintos e cada uma apresenta suas especificidades, também é válido ressaltar que esses detalhes podem variar de acordo com o tipo de empreendimento ou atividade a ser licenciada. Para a concessão da LP, devem ser apresentadas informações sobre o projeto, a análise dos prováveis impactos ambientais decorrentes de sua implantação e a especificação de programas e medidas que deverão ser adotados para a redução e mitigação de impactos negativos e maximização de impactos positivos (MMA, 2002). Como condicionante para a obtenção da LP, projetos com impactos ambientais expressivos deverão apresentar o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e

correspondente Relatório de Impacto ao Meio Ambiente (RIMA). A concessão da LI, que antecede o efetivo início da implantação do empreendimento ou atividade, será expedida posteriormente à análise das especificações do Projeto Básico e do Projeto Básico Ambiental (PBA). Já a LO, que objetiva autorizar o início da operação do empreendimento ou atividade, será concedida após a verificação do atendimento das condicionantes constantes na LP e na LI (MMA, 2002).

Em função das peculiaridades da atividade ou empreendimento, o órgão ambiental poderá estabelecer prazos de análise diferenciados para cada fase do licenciamento, além disso, durante a elaboração dos estudos complementares ou preparação de esclarecimentos pelo empreendedor, a contagem do prazo será suspensão (Brasil, 1997). Bem como, os prazos de validade de cada tipo de licença serão estabelecidos pelo órgão ambiental competente, levando em consideração diferentes aspectos específicos de cada projeto, podendo ter seus prazos de validade prorrogados, no caso da LP e LI, e na renovação da LO os prazos poderão ser aumentados ou diminuídos, de acordo com a avaliação do desempenho ambiental do empreendimento ou atividade no período de vigência anterior (Brasil, 1997).

Em tempo, é importante discutir a face controversa do licenciamento ambiental, que apresenta dificuldades no seu processo, podendo levar a atrasos para a emissão das licenças, além de contribuir para o distanciamento do ideal de sustentabilidade proposto pelo instrumento (Piagentini *et al.*, 2011). As críticas passam pelo excesso de burocracia, falta de procedimentos uniformes, falta de transparência e acessibilidade aos processos, imprudência dos empreendedores, falta de fundamentação em decisões importantes, e, especialmente, a demora na emissão das licenças (Vulcanis, 2010).

A qualidade dos projetos e estudos disponibilizados pelo empreendedor é um exemplo de entrave associado ao processo de licenciamento. É importante que estes apresentem qualidade e transparência dos dados, assim como coerência entre diagnóstico, análise de impactos, prognóstico e propostas, sendo estas viáveis e eficazes para mitigação ou compensação dos impactos negativos e maximização dos impactos positivos. No entanto, não é esta a realidade (Hofmann, 2015), o que acaba por acarretar custos de correção dos estudos, encarecimento e até inviabilização do projeto (Dester, 2018).

Outro ponto relevante é pertinente ao órgão responsável: o excesso de condicionantes e a falta de acompanhamento de sua efetividade. Diversos motivos contribuem para o aumento do número de condicionantes impostas aos projetos, como, por exemplo, a baixa qualidade dos estudos e a insegurança gerada nos analistas responsáveis pela avaliação dos mesmos, o que ocasiona solicitações desnecessárias (Campos & Silva, 2012). Além disso, basicamente em decorrência da limitada capacidade institucional, se torna ineficaz monitorar, fiscalizar e acompanhar todos os projetos licenciados, desta forma, uma vez aprovado o projeto, não existe avaliação da efetividade dos resultados pretendidos pelas condicionantes (Hofmann, 2015).

À vista disso, é válido ressaltar que existem responsabilidades por parte dos órgãos ambientais, assim como do empreendedor. Logo, para um processo eficiente e eficaz, que realmente visa atender às demandas ambientais diante do processo de desenvolvimento, é necessário aprimorar as técnicas e métodos de elaboração e análise dos estudos e programas referentes ao processo de licenciamento ambiental.

2.2.1 Projeto Básico Ambiental

O Projeto Básico Ambiental é um documento necessário para a obtenção da Licença de Instalação, o qual apresenta de forma detalhada as medidas e os programas ambientais, constantes no EIA e na LP – como forma de condicionante (MMA, 2009). Este, tem cunho executivo, explicitando a justificativa e os objetivos dos programas, bem como a metodologia a ser utilizada no seu desenvolvimento, os recursos necessários, o cronograma físico-financeiro, os responsáveis pela implementação e responsáveis técnicos, além dos procedimentos para acompanhamento e avaliação do desempenho dos mesmos (DNIT, 2013).

É válido ressaltar que para atingir a sustentabilidade é imprescindível integrar as diversas esferas associadas à implantação de um empreendimento ou atividade. Diante disso, o PBA contempla programas não apenas da esfera ambiental, mas também econômica, social, cultural, ecológica, espacial e de política nacional (Ançay & Matos, 2014). Ademais, o documento deverá ser único, respeitando as

particularidades de cada projeto, e apresentando soluções referentes à instalação e operação de determinado empreendimento ou atividade.

Em Teixeira (2006), constata-se que os programas propostos no EIA são falhos, o que costuma ser justificado pela fase do licenciamento, assumindo que estes deverão ser complementados e detalhados no PBA. Por isso, salienta-se a importância de avaliar o desempenho potencial dos programas constantes no PBA no momento de sua análise, ou seja, anterior à sua aprovação, a fim de verificar se as soluções recomendadas estão de acordo com as expectativas dos órgãos ambientais para aquele contexto.

Desta forma, dada a relevância que a energia hidrelétrica tem para o desenvolvimento social e econômico do país, e destacada a necessidade de preencher as lacunas do processo de licenciamento ambiental, as metodologias multicritério, de paradigma construtivista, se apresentam como ferramentas pertinentes para o desenvolvimento deste projeto, que visa propor um modelo de apoio à tomada de decisão do órgão ambiental encarregado da emissão das licenças.

2.3 Metodologias para Avaliação Multicritério

2.3.1 Apoio à Decisão

A tomada de decisão está presente no cotidiano dos indivíduos, tanto em problemas corriqueiros quanto complexos, e desde épocas passadas o homem busca a melhor resolução para estes. De maneira geral, tomar uma decisão implica avaliar alternativas considerando critérios e pontos de vista diversos, a fim de determinar a melhor para um certo contexto, mas levando em conta que, dentre as alternativas existentes, é possível não haver uma preponderante para todos os critérios e pontos de vista considerados (Raupp, 2019). Tais problemas, comumente apresentam complicações no contexto da tomada de decisão, como critérios e/ou pontos de vista conflitantes, assim como alternativas e/ou critérios que não estão bem definidos, entre outras (Gomes *et al.*, 2011).

O interesse em fundamentar essas decisões se enraizou após a Segunda Guerra Mundial (Roy, 1993) e, por muitos anos, a Pesquisa Operacional se propôs a

solucionar esses problemas buscando a otimização de apenas um critério. No entanto, com o passar dos anos, emergiu a necessidade de considerar múltiplos fatores na tomada de decisão e, nesse contexto, surgiram os primeiros métodos do Apoio à Decisão Multicritério, também conhecido por MCDA (Multicriteria Decision Aid).

O Apoio ou Auxílio à Decisão foi definido por Roy (1985) como o meio científico pelo qual alguém auxilia os atores envolvidos em um processo de tomada de decisão na obtenção de elementos que ajudem a clarificar a decisão, a fim de aumentar a coerência entre a evolução do processo e os objetivos e sistemas de valores dos atores envolvidos. Para tal, conceitos e métodos foram concebidos, com vistas a amparar a tomada de decisão em cenários ambíguos, incertos e com excesso de bifurcações.

O processo decisório está sujeito a preferências, incertezas e interpretações, e a vantagem dos métodos do Apoio à Decisão Multiobjetivo ou Multicritério é tornar o processo mais ordenado, objetivo e transparente. Além disso, salienta-se que problemas complexos dificilmente apresentam uma solução ótima, na qual todos os critérios e/ou objetivos sejam alcançados simultaneamente, ainda assim, os métodos em questão propõem procedimentos formais que permitem comparar, ordenar ou selecionar alternativas (Zonensein, 2007), proporcionando apoio ao processo de decisão.

A metodologia multiobjetivo ou multicritério se apresenta em dois ramos, contínuo e discreto. O ramo contínuo, também conhecido como programação multiobjetivo ou otimização vetorial, se dedica aos problemas nos quais as alternativas podem assumir um número infinito de valores. Ao passo que, o ramo discreto ocupa-se de analisar problemas nos quais o conjunto de alternativas de decisão é formado por um número finito e geralmente pequeno de variáveis (Gomes *et al.*, 2011). O problema apresentado no presente trabalho se enquadra no ramo discreto, portanto, o mesmo será aprofundado a seguir.

2.3.2 Decisão Multicritério Discreta

A tomada de decisão ocorre quando decidimos fazer ou não alguma coisa, ou ainda quando decidimos fazê-la de determinada maneira (Roy, 1996). A decisão pode

consistir em uma única ação executada pelo responsável pela decisão final, mas no caso de problemas complexos, a decisão final tende a ser consequência de decisões intermediárias, tomadas previamente. É factível o desenvolvimento de uma representação mental quanto ao contexto decisório, porém quanto maior sua complexidade, torna-se relevante que essa representação seja o mais rigorosa possível, sendo esta a função desempenhada pelos métodos do MCDA.

Os métodos do Apoio à Decisão Multicritério têm o objetivo de tornar sistemático e transparente o processo de tomada de decisão (Gomes *et al.*, 2011). Com cunho simultaneamente científico e subjetivo, são capazes de agregar todas as informações relevantes ao processo e tratá-las de forma analítica, visando dispor de informações de qualidade para um apoio à tomada de decisão, também, de qualidade. De acordo com Roy (1996), é possível identificar no processo decisório, no mínimo, quatro etapas, as quais não acontecem, necessariamente, em uma ordem imutável.

A primeira etapa se dá pela identificação do objeto da decisão, isto é, onde são reconhecidas as necessidades e constatado o problema a ser resolvido. No passo seguinte, o problema é definido e formulado, identificando as partes interessadas, bem como os objetivos e atributos utilizados no processo de decisão. Na terceira etapa, é realizada a abordagem operacional, sendo elaborado um modelo analítico do problema, cuja finalidade é construir uma representação a ser utilizada ao longo do processo decisório. A última fase consiste na análise dos resultados, que, em função da solução obtida, pode demandar uma reavaliação do processo, e, por fim, é implementada a solução mais adequada.

O processo de estruturação do modelo multicritério será influenciado pelo tipo de problema a ser solucionado, por isso, se torna necessário o estudo prévio das Problemáticas de Referência, devendo-se selecionar uma que reflita o objetivo do decisor em relação ao processo decisório (L. Ensslin *et al.*, 2001). A seguir, as problemáticas são expostas, conforme tratado em Roy (1981):

- $P\alpha$ – Problemática da escolha: visa selecionar a “melhor” alternativa ou elaborar um procedimento de seleção.
- $P\beta$ – Problemática da alocação em categorias: intenta realizar a classificação das alternativas ou elaborar um procedimento de segmentação. Essa formulação do problema permite classificar o potencial das alternativas.

- P_{γ} – Problemática da ordenação: consiste em ordenar as alternativas de acordo com uma ordem de preferência decrescente ou elaborar um procedimento de classificação (*ranking*).
- P_{δ} – Problemática da descrição: objetiva descrever as alternativas e/ou suas consequências de maneira sistemática e elaborar um procedimento cognitivo.

É válido ressaltar que essas problemáticas não são independentes entre si, uma vez que a ordenação das alternativas (P_{γ}) pode servir de base para problemas de seleção (P_{α}), por exemplo (Gomes *et al.*, 2011).

Outro ponto a se destacar, é que as decisões tomadas ao longo do processo decisório raramente são individuais, mesmo que, em última instância, sejam de incumbência de um único responsável (Roy, 1996). Pelo contrário, comumente elas são produto da interação das preferências de diversos atores, também chamados de *stakeholders*, os quais possuem seus próprios objetivos e sistema de valores. Segundo Ensslin *et al.* (2001), os atores se dividem em intervenientes e agidos, isto é, aqueles que atuam na tomada de decisão de maneira direta e indireta, respectivamente.

Os agidos são aqueles que, mesmo que indiretamente, têm suas preferências levadas em consideração, visto que são afetados pelas consequências da decisão. Dentre os intervenientes, ainda é possível identificar três tipos de atores que atuam diretamente no processo decisório: o decisor, o representante e o facilitador. O decisor, ou tomador de decisão, é o indivíduo (ou grupo de indivíduos) que proporciona o juízo de valor que será utilizado para validar a decisão (Gomes *et al.*, 2011); o representante, ou *demandeur*, é o ator responsável por representar o decisor no processo de apoio à decisão (Roy, 1985); e o facilitador, ou analista, é a pessoa (ou conjunto de pessoas) encarregada de explicitar o modelo, obter elementos de resposta, esclarecer o tomador de decisão quanto às consequências de certo tipo de comportamento e, eventualmente, fazer recomendações relativas à decisão final (Roy, 1996).

2.3.2.1 Princípios básicos

Substancialmente, é possível ver o processo de Apoio à Decisão Multicritério como um problema de otimização que possui diversas e simultâneas funções objetivo. Entretanto, como já é sabido, em problemas complexos raramente atinge-se uma solução ótima absoluta, para todas as funções objetivo ao mesmo tempo, o que traz ao decisor a responsabilidade de escolher a melhor alternativa dentre um conjunto de alternativas que considera satisfatórias. É possível representar matematicamente essa conjuntura por (Gomes *et al.*, 2011):

$$\text{Max } F(x)$$

$$x \in A$$

onde x é o vetor $[x_1, x_2, \dots, x_n]$ das n variáveis de decisão, A é o conjunto de alternativas e $F(x)$ é o vetor $[f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x)]$ das p funções objetivo.

Para determinar as alternativas satisfatórias, através das variáveis de decisão, assume-se a existência de diferentes eixos de avaliação, os quais representam os aspectos pertinentes ao problema. A avaliação do problema é realizada com base em critérios, que são funções que refletem as preferências do decisor em relação a atributos capazes de satisfazer seus anseios e podem ser vistos como modelos. Tal função deve permitir descrever o resultado da comparação entre duas alternativas x_1 e x_2 , segundo um atributo j , a partir da comparação de dois números reais $\mu_1(x_1)$ e $\mu_j(x_2)$. A cada atributo j , associa-se uma escala admissível pela função, composta por um conjunto ordenado de números reais, e uma medida da importância relativa do mesmo, denominada peso ou ponderação e representada por w .

A comparação das alternativas pertencentes ao conjunto de escolha é feita em pares, sendo as preferências do decisor expressas por relações binárias. Em função disso, a seguir, é apresentada a definição de relação binária e algumas propriedades relevantes para a modelagem das preferências do decisor (Quadro 1), conforme verificado em Roberts (1985):

Definição 1: Uma relação binária R sobre um conjunto A é um subconjunto do produto cartesiano $A \times A$, ou seja, um conjunto de pares ordenados (a, b) , de modo que a e b

estejam em A . A partição cria dois subconjuntos de $A \times A$: o subconjunto dos pares que estão na relação, designado R ; e o subconjunto dos pares que não estão na relação, dado por $R = \{AA\} - R$.

Quadro 1 - Propriedades das relações binárias relevantes à modelagem de preferências

Reflexividade	Uma relação binária é reflexiva se, para todo $a \in A$, tem-se $(a, a) \in R$.	aRa , para todo $a \in A$
Irreflexividade	Uma relação binária é irreflexiva se, para todo $a \in A$, tem-se $(a, a) \notin R$.	$\sim aRa$, para todo $a \in A$
Simetria	Uma relação binária é simétrica se $(a, b) \in R$ implica em $(b, a) \in R$.	$aRb \Rightarrow bRa$, para todo $a, b \in A$
Assimetria	Uma relação binária é assimétrica se $(a, b) \in R$ implica em $(b, a) \notin R$.	$aRb \Rightarrow \sim bRa$, para todo $a, b \in A$
Transitividade	Uma relação binária é transitiva se $(a, b) \in R$ e $(b, c) \in R$ implicam em $(a, c) \in R$.	$aRb \& bRc \Rightarrow aRc$, para todo $a, b, c \in A$

Nesse mesmo contexto, cabe definir quatro situações fundamentais de representação das preferências do decisor, bem como outras situações de particular interesse que resultam da combinação das quatro primeiras. O Quadro 2 apresenta as situações fundamentais e o Quadro 3 traz as situações combinadas de preferência, como apurado em Roy & Vincke (1984):

Quadro 2- Situações fundamentais resultantes da comparação de duas alternativas

Situação	Símbolo	Definição	Representação	Relação Binária
Indiferença	I	As duas alternativas são indiferentes, no sentido de que existem razões claras para justificar a equivalência entre x_1 e x_2 .	x_1 indiferente a x_2 ou $x_1 \approx x_2$ ou $x_1 I x_2$	Simétrica e reflexiva
Preferência estrita	P	Não há dúvidas na escolha da alternativa, existem razões claras para justificar que uma alternativa seja estritamente preferida à outra.	x_1 estritamente preferido a x_2 ou $x_1 \succ x_2$ ou $x_1 P x_2$	Assimétrica e irreflexiva
Preferência fraca	Q	Uma das ações não é estritamente preferida à outra, mas não é possível dizer que são indiferentes. Nenhuma das situações acima predomina.	x_1 preferível ou indiferente a x_2 ou $x_1 \succcurlyeq x_2$ ou $x_1 Q x_2$	Assimétrica e irreflexiva
Incomparabilidade	R ou NC	As duas alternativas não são comparáveis, nenhuma das três situações predomina.	-	Simétrica e irreflexiva

Quadro 3 - Situações combinadas de preferência resultantes da comparação de duas alternativas

Situação	Símbolo	Definição	Representação
Não-preferência	$\sim$	Não existem razões claras para justificar preferência estrita ou fraca por uma das alternativas. Combina indiferença e incomparabilidade, sem a possibilidade de diferenciá-las.	$x_1 \sim x_2 \Leftrightarrow (x_1 I x_2 \text{ ou } x_1 R x_2)$
Preferência	$>$	Existem razões claras para justificar preferência estrita ou fraca por uma das duas alternativas. Combina preferência estrita e preferência fraca, sem a possibilidade de diferenciá-las.	$x_1 > x_2 \Leftrightarrow (x_1 P x_2 \text{ ou } x_1 Q x_2)$
Presunção de preferência	J	Existem razões claras para justificar fraca preferência por uma alternativa ou indiferença entre as duas, mas não há discriminação entre as duas situações.	$x_1 J x_2 \Leftrightarrow (x_1 Q x_2 \text{ ou } x_1 I x_2)$
K-preferência	K	Existem razões claras para justificar preferência estrita por uma alternativa ou incomparabilidade, mas não há discriminação entre as duas situações.	$x_1 K x_2 \Leftrightarrow (x_1 P x_2 \text{ ou } x_1 R x_2)$
Superação	S	Existem razões claras para justificar preferência ou presunção de preferência para uma alternativa. Combina as situações de preferência estrita, preferência fraca e indiferença, sem possibilidade de distingui-las.	$x_1 S x_2 \Leftrightarrow (x_1 P x_2 \text{ ou } x_1 Q x_2 \text{ ou } x_1 I x_2)$

A partir da definição das relações binárias, será composto um sistema de relações de preferência do decisor em relação ao conjunto de alternativas possíveis. Para tal, estas devem ser exaustivas e mutuamente excludentes, ou seja, para qualquer par de alternativas deve-se verificar uma – nem mais, nem menos – das nove relações de preferência. Tais sistemas de relações de preferências são explicitados por estruturas de preferência, as quais serão apresentadas e detalhadas na seção a seguir, conforme tratado em Gomes *et al.* (2011).

2.3.2.1.1 Estruturas de preferência

A definição das estruturas é dada pela incorporação de propriedades às relações P e I , isto é, a estas são adicionadas diferentes formas de transitividade (Öztürk *et al.*, 2005). Ademais, a análise de decisão baseia-se na construção de ordens, o que facilita a operacionalização das estruturas de preferência, sendo representadas, primeiramente, as ordens mais elementares. No entanto, as noções de ordens e pré-ordens não são adequadas para a realização de cálculos, assim, emprega-se o conjunto ordenado P dos números reais para a realização dos mesmos. Dito isto, é preciso salientar que é possível estabelecer relações entre um conjunto qualquer e o conjunto P , tais como $\geq$ e $\leq$, onde a igualdade representa a parte simétrica (T), e as relações “maior que” e “menor que” representam a parte assimétrica (V); sendo possível, em aplicações práticas, representar a estrutura de preferência por uma função de valor real definida sobre A , denominada função critério.

Para um par de relações binárias (T, V) sobre um conjunto de alternativas A , assume-se que esta é uma pré-ordem completa se: T e V são exaustivas e mutuamente excludentes; T é simétrica e transitiva; e V é assimétrica e transitiva. Já, uma ordem completa, será uma pré-ordem completa (T, V) em que se verifica somente T entre duas alternativas idênticas. As estruturas de ordem completa e pré-ordem completa correspondem à noção intuitiva de classificação, sem e com a possibilidade de existir empate, respectivamente.

Uma estrutura de pré-ordem completa supõe a ausência de incomparabilidade e a transitividade de P (ou $>$) e de I (ou $\sim$). A partir desta, podem ser construídos os sistemas de relações de preferência (I, P) , $(\sim, P)$, $(\sim, >)$ ou $(I, >)$. A representação de uma pré-ordem completa sobre um conjunto A é dada por uma função critério, tal que:

$$\begin{aligned}\forall x_1, x_2 \in A \\ x_1 T x_2 &\Leftrightarrow \mu(x_1) = \mu(x_2) \\ x_1 V x_2 &\Leftrightarrow \mu(x_1) > \mu(x_2)\end{aligned}$$

Em alguns casos, a imposição de transitividade para I ou $\sim$, leva a uma modelagem das preferências pouco realista, em função disso, são definidas as estruturas de quase-ordem, ordem de intervalo, pré-ordem parcial e pseudo-ordem.

As estruturas de quase-ordem e de ordem de intervalo surgem ao admitir que a relação simétrica não é perfeitamente transitiva, considerando a não-transitividade com base na noção de limiar ou limite de indiferença q . Uma estrutura de pré-ordem parcial torna abrangente a estrutura de pré-ordem completa, admitindo a incomparabilidade e conservando a transitividade. A estrutura mais complexa equivale a uma quase-ordem, na qual é inserida uma relação W que corresponde à preferência fraca ($W = Q$) – situada entre a indiferença (I) e a preferência estrita (P) –, sendo isto possível ao introduzir-se um limite de preferência estrita p .

Uma quase-ordem (T, V) sobre um conjunto A pode ser representada por uma função critério, tal que:

$$\begin{aligned}\forall x_1, x_2 \in A \\ x_1 T x_2 &\Leftrightarrow |\mu(x_1) - \mu(x_2)| \leq q \\ x_1 V x_2 &\Leftrightarrow \mu(x_1) > \mu(x_2) + q\end{aligned}$$

Uma ordem de intervalo (T, V) sobre um conjunto A pode ser representada por duas funções μ e q , tal que:

$$\begin{aligned}x_1 T x_2 &\Leftrightarrow \mu(x_1) - \mu(x_2) \leq q(\mu(x_2)) \text{ e} \\ &\mu(x_2) - \mu(x_1) \leq q(\mu(x_1)) \\ x_1 V x_2 &\Leftrightarrow \mu(x_2) + q(\mu(x_2)) < \mu(x_1)\end{aligned}$$

onde a função limite de indiferença q é tal que $q(\mu(x_i)) \geq 0, \forall x_i \in A$.

Uma estrutura de quase-ordem com limite de indiferença nulo é uma pré-ordem completa. Outrossim, uma ordem de intervalo com limite de indiferença constante é uma quase-ordem. A partir das estruturas de quase-ordem e de ordem de intervalo, podem ser construídos os sistemas de relações de preferência (I, P) , $(\sim, P)$, $(\sim, >)$ ou $(I, >)$.

Uma estrutura de pré-ordem parcial permite a construção dos sistemas de relações de preferência do tipo (I, P, R) , $(I, >, R)$, $(\sim, P, R)$ ou $(\sim, >, R)$. Esta denomina-se ordem parcial se:

$$\begin{aligned}\forall x_1, x_2 \in A \\ x_1 T x_2 &\Leftrightarrow \mu(x_1) = \mu(x_2)\end{aligned}$$

Uma pseudo-ordem é representada pelas funções μ , q e p , onde a função μ tem valores reais definidos sobre A e as funções q e p são definidas de P em P , de maneira que:

$$\begin{aligned}x_1 T x_2 &\Leftrightarrow \mu(x_1) - \mu(x_2) \leq q(\mu(x_2)) \text{ e} \\&\mu(x_2) - \mu(x_1) \leq q(\mu(x_1)) \\x_1 W x_2 &\Leftrightarrow \mu(x_2) + q(\mu(x_2)) < \mu(x_1) \leq \mu(x_2) + p(\mu(x_2)) \\x_1 V x_2 &\Leftrightarrow \mu(x_1) > \mu(x_2) + p(\mu(x_2))\end{aligned}$$

onde as funções limites de indiferença e preferência q e p são tais que:

$$\begin{aligned}\forall x_1, x_2 \in A \\p(\mu(x_2)) &\geq 0 \\ \mu(x_1) > \mu(x_2) &\Rightarrow \mu(x_1) + q(\mu(x_1)) \geq \mu(x_2) + q(\mu(x_2)) \text{ e} \\ \mu(x_1) + p(\mu(x_1)) &\geq \mu(x_2) + p(\mu(x_2))\end{aligned}$$

Para a estrutura de pseudo-ordem, é admissível que uma das duas funções limite, de indiferença ou de preferência, seja constante. Um sistema de relações de preferência do tipo (I, Q, P) possui uma estrutura de pseudo-ordem. Ainda, é válido ressaltar que uma quase-ordem é uma pseudo-ordem particular, na qual $W = \emptyset$.

2.3.2.2 Construção de um critério

Elementos essenciais para a avaliação de problemas, os critérios podem ser vistos como modelos de preferência, uma vez que, estes são funções que representam as preferências do decisor em relação aos diferentes aspectos do cenário de decisão. A construção de um critério, e a definição do poder discriminatório do critério, pode ser dada por diferentes modelos, os quais são denominados verdadeiro-critério, quase-critério e pseudocritério. Estes, são apresentados adiante, como visto em Roy (1996).

Em um modelo verdadeiro-critério, assume-se que:

$$x_1, x_2 \in A$$

$$x_1 P_j x_2 \Leftrightarrow \mu_j(x_1) > \mu_j(x_2) \text{ e}$$

$$x_1 I_j x_2 \Leftrightarrow \mu_j(x_1) = \mu_j(x_2)$$

onde P_j é uma relação binária de preferência estrita e I_j é uma relação binária de indiferença, ambas segundo um critério j . Nesse tipo de modelo, o sistema de relações de preferência (P_j, I_j) é uma pré-ordem completa.

Em um modelo quase-critério, é introduzido o limite de indiferença q , que representa o maior desvio compatível com uma situação de indiferença entre x_1 e x_2 . Supondo que $\mu_j(x_1) > \mu_j(x_2)$, tem-se:

$$x_1 P_j x_2 \Leftrightarrow \mu_j(x_1) - \mu_j(x_2) > q(\mu_j(x_2))$$

$$x_1 I_j x_2 \Leftrightarrow \mu_j(x_1) - \mu_j(x_2) \leq q(\mu_j(x_2))$$

Para o modelo quase-critério, o sistema de relações de preferência (P_j, I_j) será uma quase-ordem se q for constante ou uma ordem de intervalo se q for variável.

Um modelo pseudocritério se dá pela introdução de um segundo limite, o limite de preferência estrita p , que busca evitar a passagem abrupta de indiferença para preferência estrita e, assim como o limite de indiferença, pode ter valor constante ou variável. Assumindo que $\mu_j(x_1) \geq \mu_j(x_2)$, tem-se:

$$x_1 P_j x_2 \Leftrightarrow \mu_j(x_1) - \mu_j(x_2) > p(\mu_j(x_2))$$

$$x_1 Q_j x_2 \Leftrightarrow q(\mu_j(x_2)) < \mu_j(x_1) - \mu_j(x_2) \leq p(\mu_j(x_2))$$

$$x_1 I_j x_2 \Leftrightarrow \mu_j(x_1) - \mu_j(x_2) \leq q(\mu_j(x_2))$$

Para o modelo pseudocritério, o sistema de relações de preferência (I_j, Q_j, P_j) é uma pseudo-ordem. Neste caso, a introdução dos limites q e p cria uma região de preferência fraca Q_j , que se entende como uma região de incerteza entre a indiferença I_j e a preferência estrita P_j .

Um quase-critério é um pseudocritério, tal que:

$$q(\mu_j(x_i)) = p(\mu_j(x_i)), \forall x_i \in A$$

Um verdadeiro-critério é um pseudocritério, tal que:

$$q(\mu_j(x_i)) = p(\mu_j(x_i)) = 0, \forall x_i \in A$$

2.3.3 Métodos Discretos do Apoio à Decisão Multicritério

Diversos são os métodos existentes para auxiliar no processo decisório, a fim de encontrar a melhor solução para determinado problema. Estes diferem entre si pelo tipo do conjunto de alternativas a ser estudado, pela forma de combinar as informações de entrada e, também, pela forma de apresentar as informações de saída. A partir da diversificação das pesquisas, alguns autores definem diferentes categorizações para os métodos.

Quanto à sua origem, os métodos discretos estão associados a duas principais escolas: a Escola Americana e a Escola Francesa. Os métodos multicritério da Escola Americana tencionam agrupar todas as informações acerca do problema a ser resolvido por meio de uma grande síntese (Machado *et al.*, 2015). Em contrapartida, segundo Gomes *et al.* (2011), os métodos multicritério da Escola Francesa, admitem um modelo mais flexível do problema, uma vez que não deverá ocorrer necessariamente a comparação entre as alternativas e que não será imposta uma estruturação hierárquica dos critérios ao analista de decisão. Os métodos notórios da Escola Americana são a Teoria de Utilidade Multiatributo – MAUT (Keeney & Raiffa, 1993) e o Método de Análise Hierárquica – AHP (Saaty, 1990). Da mesma forma, os métodos da Escola Francesa em destaque são os métodos das famílias Electre e Prométhée.

É possível estabelecer quatro abordagens para os métodos multicritério discretos: ordinais, baseados em utilidade multicritério, de superação e de ponderação (Vincke, 1992). Sem demora, noções básicas de cada abordagem serão apresentadas, bem como alguns métodos e seus fundamentos.

2.3.3.1 Métodos ordinais

Os métodos ordinais são bastante utilizados no mundo moderno, e são diversos os fatores que influenciam os tomadores de decisão na escolha por este método. Considerado simples e intuitivo, além de pouco exigente – tanto em termos computacionais, quanto em relação às informações requeridas ao decisor –, apresentam resultados satisfatórios e interessantes, conforme o objetivo que se busca atingir (Mendes & Caldas, 2010).

Estes são empregados quando se deseja saber qual a ordem das alternativas para um dado critério, de acordo com as preferências do decisor, sendo o peso de cada critério desconhecido (Souza, 2009). Desse decisor são exigidas apenas as pré-ordens relativas a cada critério. E, de acordo com Pomerol & Barba-Romero (2012), citado por Gomes *et al.* (2013), desde que as pré-ordens não variem, o resultado final não é alterado por eventuais variações na função utilidade, mudanças de unidade de medida ou decorrentes de normalização.

Destaca-se alguns métodos multicritério ordinais, comumente referenciados na literatura: Método Lexicográfico, Método de Borda e Método de *Condorcet*. Além destes, ainda existem variantes baseadas nos métodos básicos. Uma revisão de diversos métodos ordinais pode ser encontrada em Souza (2009).

2.3.3.2 Métodos baseados em utilidade multicritério

Essa abordagem, considerada clássica na análise multicritério, é baseada em modelos matemáticos restritivos e axiomáticos rígidos, que determinam a maneira de agir do decisor para que sua decisão seja racional (Gomes, 2009).

Desenvolvida por pesquisadores da Escola Americana, a Teoria da Utilidade Multiatributo, ou *Multiattribute Utility Theory*, é empregada com o objetivo de determinar a importância atribuída a um critério em relação a outro e priorizar alternativas (Gomes & Moreira, 1998). A modelagem das preferências é feita a partir da construção de uma função utilidade, que representa as preferências do decisor em relação às alternativas possíveis e suas consequências (Machado *et al.*, 2015). Neste

método, a importância relativa de cada critério é representada pelo conceito de *trade-offs*, ou taxas de substituição.

2.3.3.3 Métodos de superação

Os métodos de superação, ou *outranking methods*, são fundamentados na construção de uma relação de preferência, chamada relação de superação, concebida para representar o cenário em que duas alternativas são incomparáveis. Situação frequente em função da falta de confiança do tomador de decisão, incerteza das alternativas ou imprecisão nos dados. No entanto, em contrapartida à Teoria da Utilidade Multiatributo, o objetivo dos métodos de superação não é fazer uma comparação pareada das alternativas forçosamente, assim como a relação obtida não é necessariamente transitiva (Ostanello, 1985). Dentre os métodos de superação, estão os métodos da família Electre (*Elimination et Choix Traduisant la Réalité*) e da família Prométhée (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*).

O Electre I (Roy, 1968) foi o primeiro método do apoio à decisão multicritério a utilizar o conceito de relação de superação e, posteriormente, surgiram outras versões dos métodos Electre, que se diferenciam pela problemática a ser resolvida, pelas informações inter e intracritérios e pela quantidade de relações de superação construídas e pesquisadas (Gomes *et al.*, 2011). De acordo com Rogers *et al.* (2000), a metodologia seguida pelos métodos Electre envolve a construção de uma relação de superação, a criação de índices de concordância e discordância e uma análise dos resultados obtidos a partir de uma avaliação geral de todas as relações de superação derivadas.

Já os métodos da família Prométhée, em suas quatro primeiras versões (I, II, III e IV), foram elaborados com o propósito de solucionar problemas do tipo $P\gamma$, ou seja, para arranjar alternativas em ordem de prioridade (Gomes *et al.*, 2011). Nestes métodos, a diferença dos desempenhos entre as alternativas é expressa por um grau de preferência, o que se dá pelo uso do conceito de pseudocritério e pela possível associação aos pseudocritérios de limites de indiferença e de preferência estrita. Desse modo, para pequenos desvios entre as avaliações de um par de critérios, o

tomador de decisão pode alocar uma pequena preferência, assim como o contrário, em que para grandes desvios o tomador de decisão deve alocar uma grande preferência de uma alternativa sobre a outra (Ploskas & Papathanasiou, 2018).

2.3.3.4 Métodos de ponderação

Nos métodos de ponderação, as preferências são agregadas de maneira aditiva por meio de uma função de síntese, atribuindo a cada alternativa um valor que possui uma relação proporcional à qualidade da mesma, ou seja, quanto maior este valor, melhor é a alternativa; o que também vale para o inverso. Ainda, cabe relatar que modelos do tipo aditivo apresentam caráter compensatório, em que o mau desempenho de uma alternativa em um dado critério, pode ser compensado pelo seu bom desempenho em um outro critério (Mello *et al.*, 2003). Dentre os métodos de ponderação, destaca-se o Método de *trade-offs*, o Método AHP e o Método MACBETH.

O Método MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*), desenvolvido por Bana e Costa & Vansnick (1995), tem uma abordagem interativa para apoio à tomada de decisão. Neste, busca-se quantificar julgamentos de valor a partir de uma escala semântica de sete categorias, em que o tomador de decisão faz um julgamento absoluto da diferença de atratividade entre duas alternativas.

2.3.4 Trabalhos correlatos

O setor de geração de energia elétrica pode ser considerado um cenário complexo de decisão, pois envolve diversas alternativas, critérios e interesses, que muitas vezes divergem entre si. Para Bystrzanowska & Tobiszewski (2018), a tomada de decisão nesse tipo de cenário pode ser desafiadora, e as metodologias de Apoio à Decisão Multicritério (MCDA) são capazes de auxiliar nesse processo. Como exemplo, Dester (2018) e Santos *et al.* (2017) utilizaram as MCDA para comparar as fontes de geração de energia, considerando aspectos socioambientais, tecnológicos e econômicos.

Na perspectiva da geração de energia hidrelétrica, as MCDA são empregadas em suas diversas fases, desde o pré-projeto até a fase de operação. Raupp (2019) propõe uma nova abordagem para a tomada de decisão final dos Estudos de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas. Fuentes-Bargues & Ferrer-Gisbert (2015) e Fernandes (1996) aplicam MCDA com o escopo da priorização de projetos de hidrelétricas. E, no tocante à fase de operação de hidrelétricas, Vieira (2018) utiliza a MCDA para mensurar o desempenho das funções de manutenção de uma UHE.

Quanto à fase de licenciamento ambiental de empreendimentos hidrelétricos, numerosos trabalhos expõem suas lacunas. Dentre estes, destaca-se Teixeira (2006), que a partir da MCDA propôs um modelo destinado a apurar a qualidade do EIA na fase de elaboração e facilitar o processo de análise na fase de licenciamento do empreendimento. Visto que a literatura carece de pesquisas que abordem simultaneamente a fase de licenciamento ambiental de empreendimentos hidrelétricos e a MCDA, o presente estudo se torna relevante, dada a importância que os programas ambientais adequados têm para a conservação da qualidade ambiental após a instalação de um empreendimento hidrelétrico.

3 Delineamento metodológico

Neste tópico, especifica-se o delineamento metodológico empregado na realização deste estudo. Para tal, com base na metodologia proposta por Roesch (2013), classifica-se este estudo quanto ao propósito do projeto, o método de pesquisa, as técnicas de coleta e análise de dados e a abordagem metodológica. Além disso, apresenta-se o instrumento de intervenção utilizado no processo de elaboração do modelo para apoio à decisão no contexto decisório em questão.

No que diz respeito ao propósito do projeto, este caracteriza-se como uma avaliação de resultados, que possui a finalidade de julgar a efetividade de um plano ou programa. Neste caso, verificar o desempenho potencial dos programas propostos no Projeto Básico Ambiental de uma Pequena Central Hidrelétrica.

Quanto ao método de pesquisa, o presente estudo identifica-se com dois métodos diferentes: estudo de caso e pesquisa documental. O estudo de caso objetiva a elaboração e validação do modelo em si, e a pesquisa documental visa oportunizar a elaboração dos critérios a serem empregados no modelo. Logo, a coleta de dados se dá pela realização de entrevistas e questionários, de modo a obter os dados primários e assimilar o contexto a ser estudado, e é complementada pela análise de documentos, como os PBA's de empreendimentos similares, a fim de obter dados secundários pertinentes ao estudo.

Com relação à abordagem metodológica, o presente estudo classifica-se como uma pesquisa quali-quantitativa. A etapa inicial, isto é, de estruturação do modelo, se refere à abordagem qualitativa. Enquanto que a etapa final, de avaliação, apresenta abordagem quantitativa.

E, por fim, com vistas a solucionar o problema de pesquisa, o instrumento de intervenção adotado é o Apoio à Decisão Multicritério (MCDA).

4 Proposição do modelo multicritério de apoio à decisão

Esta fase do estudo trata da elaboração de um modelo multicritério que apoie a decisão no contexto da análise do Projeto Básico Ambiental de uma Pequena Central Hidrelétrica pelo órgão licenciador. Tal modelo foi construído a partir da interação e aplicação de questionários a um analista ambiental da Divisão de Energia da FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler), somado a informações obtidas mediante pesquisa documental.

A elaboração do modelo se deu utilizando-se a Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA), que visa aumentar o grau de entendimento e coerência em um processo de tomada de decisão, levando em consideração os objetivos e sistemas de valores dos envolvidos no processo (Bana e Costa & Vincke, 1990). Para tanto, foram desenvolvidas duas fases, as quais serão esclarecidas nos subitens 4.1 Estruturação e 4.2 Avaliação.

4.1 Estruturação

A primeira etapa, denominada Estruturação, tem por objetivo delimitar e estruturar o problema, através da construção de uma representação mais ou menos formal que integra os fatos considerados relevantes ao contexto decisório (Bana e Costa *et al.*, 1999). Nesta fase, são identificados os atores envolvidos no processo decisório, é estabelecido um rótulo que represente o objetivo do modelo e são identificados, organizados e mensurados ordinalmente os objetivos determinados pelos decisores como relevantes para a avaliação do contexto, de acordo com seus valores e preferências (L. Ensslin *et al.*, 2010). A etapa de Estruturação é dividida em três fases: 4.1.1 Contextualização, 4.1.2 Desenvolvimento da estrutura hierárquica de valores e 4.1.3 Construção dos descritores.

4.1.1 Contextualização

O modelo proposto neste estudo está embasado no âmbito do licenciamento ambiental de Pequenas Centrais Hidrelétricas, mais especificamente na fase de Licença de Instalação. Neste contexto, para a construção do modelo, foram reunidos e analisados um total de seis PBA's, que estavam acessíveis no mecanismo de busca *Google*. Além disso, foram aplicados questionários a um Engenheiro Florestal, o qual é analista ambiental na FEPAM, visando assimilar os pontos de vista considerados fundamentais para aprovação de um Projeto Básico Ambiental.

Considerado um importante instrumento de gestão da Administração Pública, o licenciamento ambiental propõe-se a controlar as atividades humanas que interferem nas condições ambientais, tendo como meta conciliar o uso dos recursos naturais com o desenvolvimento socioeconômico (Semad, 2021). O processo de licenciamento ambiental é realizado por diferentes órgãos licenciadores ao redor do país, sendo estes um órgão federal (IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e de Recursos Naturais), um órgão distrital (Ibram – Instituto Brasília Ambiental) e 26 órgãos estaduais, os quais são listados no Quadro 4.

Quadro 4 - Órgãos Licenciadores ao redor do Brasil

Estado	Órgão licenciador
Acre	Instituto de Meio Ambiente do Acre (Imac)
Alagoas	Instituto do Meio Ambiente (IMA)
Amapá	Instituto do Meio Ambiente e de Ordenamento Territorial do Amapá (Imap)
Amazonas	Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (Ipaam)
Bahia	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Inema)
Ceará	Superintendência Estadual do Meio Ambiente (Semace)
Espírito Santo	Instituto Estadual de Meio Ambiente (Iema)
Goiás	Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e assuntos Metropolitanos (Secima)
Maranhão	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais (Sema)
Mato Grosso	Secretaria de Estado do Meio Ambiente (Sema)
Mato Grosso do Sul	Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul (Imasul)
Minas Gerais	Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Semad)
Pará	Secretaria de Estadual de Meio Ambiente (Sema)
Paraíba	Superintendência do Meio Ambiente (Sudema)
Paraná	Instituto Ambiental do Paraná (IAP)
Pernambuco	Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (CPRH)
Piauí	Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Semar)
Rio de Janeiro	Instituto Estadual do Ambiente (Inea)
Rio Grande do Norte	Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do RN (Idema)
Rio Grande do Sul	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (Fepam)
Rondônia	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (Sedam)
Roraima	Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Femarh)
Santa Catarina	Fundação do Meio Ambiente (Fatma)
São Paulo	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb)
Sergipe	Administração Estadual do Meio Ambiente (Adema)
Tocantins	Instituto Natureza do Estado do Tocantins (Naturatins)

Fonte: PNLA, 2021.

Cada órgão licenciador estabelece os critérios e diretrizes gerais a serem seguidos no cenário do licenciamento ambiental em seu local de domínio, no entanto, entende-se que existem questões comuns ao licenciamento de PCH's independente do contexto em que está inserido, as quais podem ser avaliadas de maneira geral. Para tal, os órgãos licenciadores, em seus esforços de busca pelo desenvolvimento sustentável, contam com algumas ferramentas utilizadas no processo de licenciamento ambiental, entretanto, carecem de uma ferramenta de avaliação de desempenho que apoie à tomada de decisão na hora de aprovar um Projeto Básico Ambiental.

À vista disso, a concepção de uma ferramenta de avaliação de desempenho específica para uso dos órgãos licenciadores, no contexto da análise dos programas propostos no PBA, irá apoiar a tomada de decisão quanto à aprovação ou não do documento, permitindo identificar os indicadores que estão abaixo do nível esperado e viabilizando a melhoria dos pontos críticos, de forma a aumentar o desempenho global. Para isso, são definidos critérios que determinam o que é relevante para os órgãos licenciadores e seus objetivos, quanto aos programas ambientais propostos pelos empreendedores. Dessa forma, o presente trabalho se propôs a avaliar se tais programas ambientais estão condizentes com o esperado pelo órgão licenciador.

Visando a construção do modelo, a facilitadora, autora do presente estudo, fez um levantamento das PCH's em operação no Brasil através do Sistema de Informações de Geração da ANEEL (ANEEL, 2020), resultando em um total de 419 no dia 09/09/2020. A partir disso, foi feita uma pesquisa no buscador *Google* pelo nome de cada PCH nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, o que se converteu em seis documentos completos, referentes aos PBA's das usinas citadas no Quadro 5.

Quadro 5 - Empreendimentos utilizados como base para a pesquisa documental

Empreendimento	Potência (MW)	Localização
Ado Popinhak	19,3	Rio Canoas - SC
Santa Luzia Alto	28,5	Rio Chapecó - SC
Bela Vista	29	Rio Chopim - PR
Boa Vista II	24	Rio Marrecas - PR
Castro	4	Rio Iapó - PR
Itaguaçu	14	Rio Pitanga - PR

Fonte: Dados da pesquisa.

De posse dos documentos coletados, a facilitadora buscou fundamentar-se na compilação e entendimento dos mesmos, a fim de elaborar os critérios para o modelo, levando em consideração os programas mais frequentes nos PBA's analisados.

Além da identificação do contexto de estudo e dos atores envolvidos no processo decisório, é igualmente necessário estabelecer um rótulo para o problema, para então concluir a primeira etapa da fase de Estruturação. Isto posto, definiu-se o seguinte rótulo para o problema em questão: "Modelo de avaliação de desempenho dos programas propostos no PBA de uma PCH".

4.1.2 Desenvolvimento da estrutura hierárquica de valores

Após contextualizar, parte-se para o desenvolvimento de uma estrutura hierárquica de valores para o modelo, também chamada de estrutura arborescente, que permite organizar e hierarquizar os aspectos considerados fundamentais a serem levados em conta no modelo multicritério (L. Ensslin *et al.*, 2001). De acordo com Bana e Costa & Beinat (2005), essencialmente existem duas estratégias para a estruturação de modelos. No presente trabalho optou-se pela abordagem proposta pelos autores, que admite os princípios do *Value-Focused Thinking* (Keeney, 1992), que diz que primeiro deve-se decidir o que deseja e então descobrir como obtê-lo.

Partindo dessa premissa, foram definidas e organizadas as áreas de preocupação, os critérios do modelo e os indicadores de desempenho referentes aos critérios. Estes, foram elaborados a partir da análise dos PBA's, onde a facilitadora ponderou sobre os principais programas e medidas propostos nos documentos analisados, determinando, assim, os tipos de programas e medidas considerados relevantes, em função da frequência analisada. Nesse sentido, foi apresentada uma proposta das áreas de preocupação e critérios que devem ser analisados quando for realizada a avaliação do Projeto Básico Ambiental proposto pelo empreendedor, de forma a definir se os programas e medidas propostos se equiparam ao esperado pelo órgão licenciador. O Quadro 6 apresenta a estrutura hierárquica de valor, as áreas de preocupação, os critérios e os indicadores de desempenho. Além disso, para fins de exemplificação, a Figura 2 apresenta a estrutura hierárquica de valor da área de preocupação "Construção". As demais estruturas hierárquicas de valor estão dispostas no Apêndice A.

Quadro 6 - Estrutura hierárquica de valor

Áreas de preocupação		Critérios		Indicadores
1 Gestão Ambiental	1.1	Segurança	1.1.1	Vigilância epidemiológica
			1.1.2	Segurança do trabalho
	1.2	Gestão ambiental	1.2	Gestão ambiental
2 Construção	2.1	Saneamento básico	2.1	Saneamento básico
	2.2	Controle ambiental	2.2	Controle ambiental
	2.3	Limpeza	2.3	Limpeza
	2.4	Instalações	2.4	Instalações
3 Educação ambiental e Comunicação social	3.1	Patrimônio arqueológico	3.1	Patrimônio arqueológico
	3.2	Educação ambiental	3.2	Educação ambiental
	3.3	Comunicação social	3.3	Comunicação social
	3.4	Mão-de-obra	3.4	Mão-de-obra
4 Desenvolvimento	4.1	População	4.1.1	Prestação de serviços e materiais
			4.1.2	Desapropriação e/ou aquisição de terras
	4.2	Desenvolvimento regional	4.2.1	Infraestrutura regional
			4.2.2	PACUERA
5 Fauna	5.1	Fauna Terrestre	5.1.1	Fauna terrestre
			5.1.2	Manejo da fauna terrestre
			5.1.3	Monitoramento da fauna terrestre
	5.2	Fauna Aquática	5.2.1	Fauna aquática
			5.2.2	Manejo da fauna aquática
			5.2.3	Monitoramento da fauna aquática
6 Flora	6.1	Pré-supressão	6.1	Pré-supressão
	6.2	Supressão florestal	6.2	Supressão florestal
	6.3	Pós-supressão	6.3	Pós-supressão
	6.4	Recuperação vegetal	6.4	Recuperação vegetal
7 Água e solo	7.1	Recurso hídrico	7.1.1	Recurso hídrico
			7.1.2	Monitoramento da qualidade da água
	7.2	Processos erosivos	7.2	Processos erosivos

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

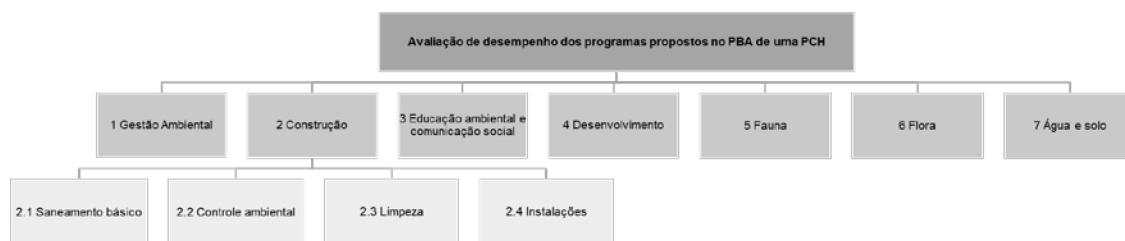


Figura 2 - Árvore de valor e PVE's da área de preocupação "Construção". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

4.1.3 Construção dos descritores

Uma vez construída a estrutura hierárquica de valor, a última etapa da fase de Estruturação consiste em elaborar escalas ordinais, ou descritores, que propiciam um melhor entendimento das preocupações dos decisores ao mensurar uma dimensão do contexto decisório (L. Ensslin *et al.*, 2001). Segundo Longaray *et al.* (2019), um descritor deve apresentar níveis de impacto baseados na preferência do decisor, sendo que o conjunto ordenado de níveis de impacto servirá como base para descrever os desempenhos das alternativas em cada ponto de vista (Bana e Costa *et al.*, 1999). Além da construção das escalas ordinais, são identificados os Níveis de Referência, em que o nível Neutro se refere ao desempenho mínimo aceitável e o nível Bom a um desempenho satisfatório, porém não excelente (Longaray *et al.*, 2019).

No modelo proposto por este estudo, a facilitadora elaborou as escalas ordinais para cada um dos 28 indicadores, baseando-se, principalmente, na quantidade de medidas propostas para cada indicador. O Quadro 7 ilustra o descritor elaborado para o Indicador 2.1 – Saneamento Básico. A Figura 3 exhibe a estrutura hierárquica de valor, os PVE's e os descritores construídos para a área de preocupação "Construção". Os demais descritores são expressos no Apêndice B.

Quadro 7 - Indicador 2.1 - Saneamento Básico

2.1 - Saneamento básico: Itens incluídos no programa de saneamento básico			
Níveis de referência			Itens possíveis:
Bom	N5	5	1 . resíduos domésticos
	N4	4	2 . resíduos industriais
	N3	2-3	3 . efluentes líquidos
Neutro	N2	1	4 . água potável
	N1	0	5 . água pluvial

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

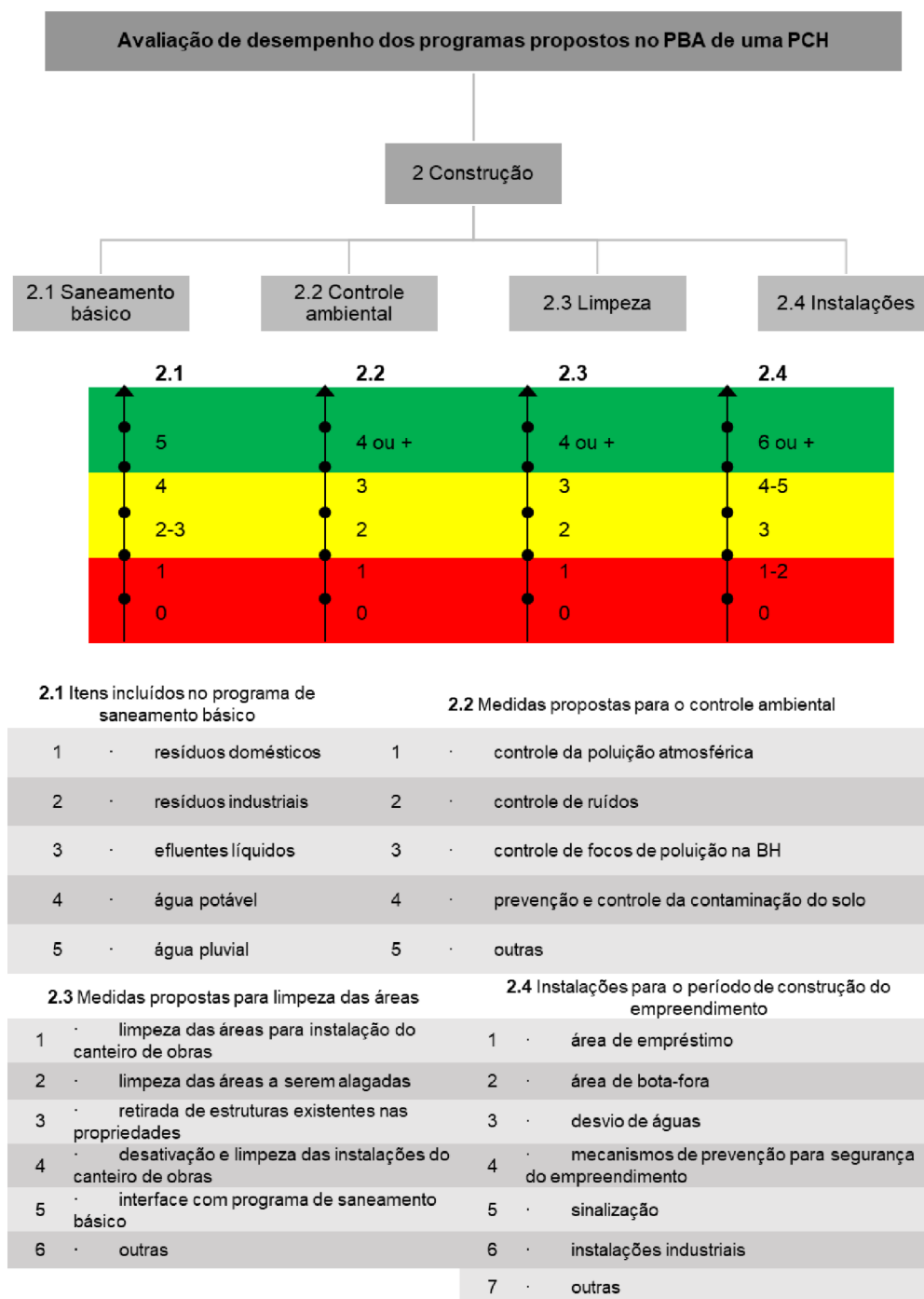


Figura 3 - Estrutura hierárquica de valor, PVE's e descritores dos PVE's da área de preocupação "Construção". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Então, após concluir a construção da estrutura hierárquica de valor e dos descritores, considera-se que foi finalizada a avaliação qualitativa do contexto decisório. Assim, dá-se início à inclusão de informações que possibilitem converter as escalas ordinais em escalas cardinais, transformando o conhecimento adquirido em um modelo matemático, o que é tratado na fase de Avaliação.

4.2 Avaliação

Concluída a fase de Estruturação, entende-se que terá sido construído um modelo que contém os aspectos necessários e suficientes para avaliar o contexto decisório (L. Ensslin *et al.*, 2010). Logo, a segunda fase a ser desenvolvida é a fase de Avaliação, que corresponde ao desenvolvimento de um modelo multicritério que permite mensurar as ações potenciais, de forma local e global (Longaray & Ensslin, 2013b).

Para o progresso dessa fase, as escalas ordinais elaboradas na fase de Estruturação precisam ser transformadas em escalas cardinais e, para tal transformação, é necessária a participação do decisor, que determinará a diferença de atratividade entre os níveis das escalas. De acordo com Ensslin *et al.* (2001), esta tarefa pode ser realizada utilizando-se diversos métodos, como por exemplo Pontuação Direta, Bissecção e MACBETH. Em função de sua representatividade, reconhecimento prático e fundamentação teórica, o método MACBETH tem sido o mais empregado (L. Ensslin *et al.*, 2010) e, por isso, o presente estudo adotou este método para realizar a transformação das escalas ordinais em cardinais.

A fase de Avaliação é dividida em quatro etapas: 4.2.1 Elaboração das funções de valor, 4.2.2 Determinação das taxas de compensação, 4.2.3 Avaliação global e 4.2.4 Ilustração de aplicação do modelo.

4.2.1 Elaboração das funções de valor

Primeiramente, na etapa de Avaliação, deve-se construir as escalas cardinais para cada uma das escalas ordinais (descritores), de acordo com as preferências do decisor. Estas escalas cardinais são denominadas Funções de Valor e permitem uma avaliação local, ou seja, a partir de uma função de valor é possível identificar o quanto um nível da escala é preferível em relação a outro nível da mesma escala (Longaray & Ensslin, 2013a).

Inúmeras técnicas estão disponíveis na literatura para a construção das funções de valor e para a realização deste estudo optou-se por utilizar o Método do Julgamento Semântico. Neste método, para a obtenção de cada função de valor, são

feitas comparações par-a-par da diferença de atratividade entre ações potenciais, em que o decisor expressa qualitativamente, por uma escala ordinal semântica, a intensidade de preferência percebida por ele (Longaray & Ensslin, 2013b).

Na operacionalização desse processo, foi empregado o método MACBETH que, segundo Bana e Costa & Vansnick (1995a), é um procedimento inteligível e direto. Este procedimento consiste em solicitar ao decisor que indique a diferença de atratividade entre duas ações potenciais x e y baseando-se em uma escala ordinal de 7 categorias. Os níveis de atratividade da escala são: nula, muito fraca, fraca, moderada, forte, muito forte e extrema.

Com base nas respostas dadas pelo decisor constrói-se a Matriz de Julgamentos e, a partir desta, determina-se a função de valor com auxílio do software M-MACBETH (L. Ensslin *et al.*, 2013). Ainda, além de estimar as escalas de intervalo, é necessário normalizar as funções de valor calculadas, fixando para cada descritor o valor da escala referente ao nível Neutro em “0” e ao nível Bom em “100” (Bana e Costa & Vansnick, 1995a).

A Figura 4 ilustra a diferença de atratividade para o descritor 2.1 – Saneamento Básico. As demais funções de valor são exibidas no Apêndice C.

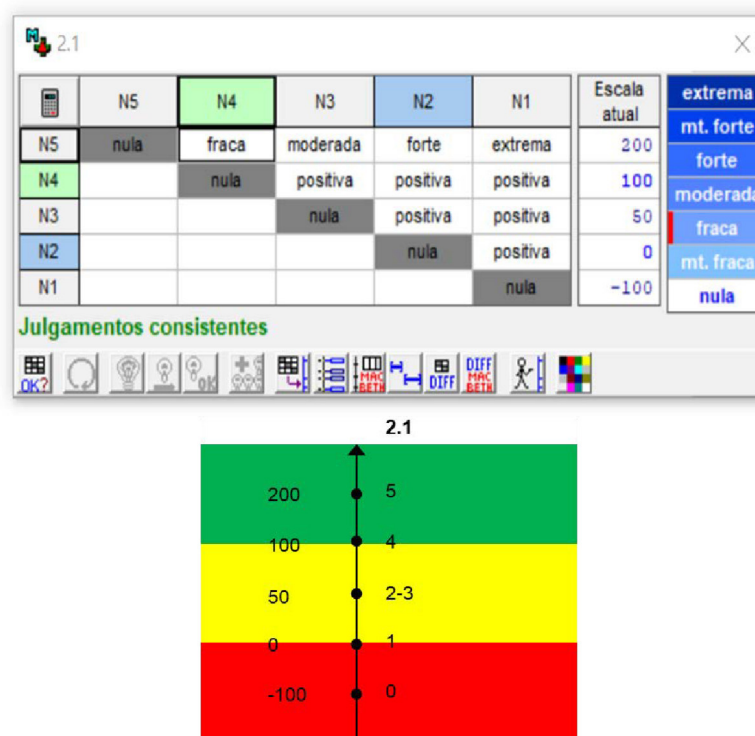


Figura 4 - Funções de valor para o PVE 2.1 - Saneamento básico. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Ao observar a Figura 4 compreende-se que, de acordo com a percepção do decisor, para o descritor 2.1 – Saneamento Básico, o acréscimo de 1 item no programa de saneamento básico irá provocar impacto local de 100 pontos no modelo.

Com a elaboração das funções de valor para todos os descritores do problema, alcançou-se a mensuração cardinal dos aspectos operacionais do modelo. Contudo, nesta etapa ainda não é possível medir ou comparar desempenhos de aspectos táticos, denominados Pontos de Vista Elementares (PVE's), ou estratégicos, também chamados de Pontos de Vista Fundamentais (PVF's), da estrutura hierárquica de valores (L. Ensslin *et al.*, 2010). Dessa forma, parte-se para a próxima etapa da fase de Avaliação, onde são incorporadas informações que viabilizem integrar as escalas cardinais, possibilitando a posterior avaliação global do modelo.

4.2.2 Determinação das taxas de compensação

Para se avaliar globalmente o modelo, ou seja, permitir que sejam comparadas mudanças de desempenho em descritores distintos, deve-se levar em conta todos os critérios de forma simultânea, o que só é possível com a determinação das taxas de compensação (L. Ensslin *et al.*, 2013).

As taxas de compensação, ou substituição, são parâmetros determinados pelos decisores que possibilitam agregar, de forma compensatória, desempenhos locais em uma performance global e que se mostram necessárias pois uma ação potencial raramente será melhor do que outras em todos os critérios do modelo (L. Ensslin *et al.*, 2001). De acordo com S. R. Ensslin & Ensslin (2011), esse aspecto é importante visto que o decisor necessita identificar qual o impacto que determinada ação irá provocar no desempenho tático e/ou estratégico do processo decisório em questão, especialmente em cenários onde os recursos são limitados.

A definição das taxas de compensação pode ser feita por meio de diversas técnicas, como Comparação par-a-par, Swing Weights e Trade-Off (L. Ensslin *et al.*, 2001). O presente estudo optou pela definição seguindo o método de Pontuação Direta, em que o decisor estabelece percentuais entre os níveis da estrutura hierárquica de valores. Para tanto, foram necessárias algumas interações com o decisor.

Primeiramente, afirmou-se a familiaridade do decisor com as escalas propostas. Este ranqueou os PVF's e PVE's, de modo a demonstrar sua preferência entre eles e, então, estabeleceu percentuais entre os níveis do ranking de PVF's e PVE's. O mesmo procedimento foi feito para os outros níveis. Por último, a estrutura hierárquica e as taxas de compensação referentes a ela foram validadas pelo decisor. A Figura 5 apresenta as taxas de compensação dos PVE's 2.1 Saneamento básico, 2.2 Controle ambiental, 2.3 Limpeza e 2.4 Instalações do PVF 2 "Construção". As demais taxas de compensação são exibidas no Apêndice D.

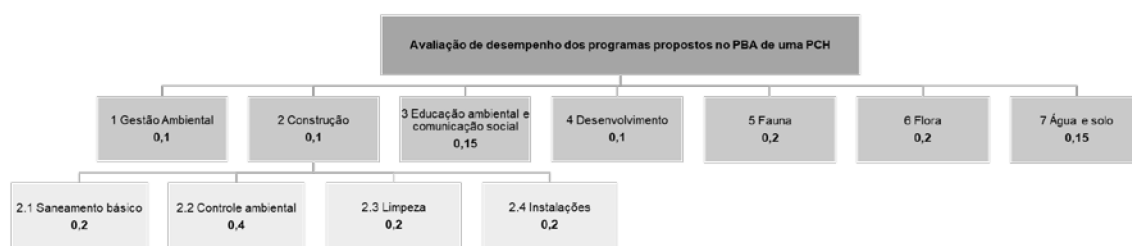


Figura 5 - Taxas de compensação de todos os PVE's do PVF 2 "Construção". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Posto isso, considera-se que foram concluídas as etapas de construção do modelo multicritério de avaliação de desempenho dos programas propostos no PBA de uma PCH. Na etapa a seguir é apresentada a avaliação global das ações potenciais do modelo construído.

4.2.3 Avaliação global

O passo final da etapa de Avaliação ocorre com a agregação de todas as avaliações locais em uma única avaliação global (Longaray *et al.*, 2015). Esse processo é feito utilizando-se a fórmula de agregação aditiva (L. Ensslin *et al.*, 2001):

$$V_{(a)} = w_1 \cdot v_1(a) + w_2 \cdot v_2(a) + w_3 \cdot v_3(a) + \dots + w_n \cdot v_n(a)$$

$$V_a = \sum_{i=1}^n w_i \cdot v_i(a)$$

Onde:

$V_a \rightarrow$ Valor global da ação a.

$v_1(a), v_2(a), v_3(a), \dots, v_n(a) \rightarrow$ Valor parcial da ação a nos critérios 1, 2, 3, ..., n.

$w_1, w_2, w_3, \dots, w_n \rightarrow$ Taxas de substituição dos critérios 1, 2, 3, ..., n.

$n \rightarrow$ Número de critérios do modelo.

Desta forma, a fórmula para o cálculo do desempenho global dos programas propostos no PBA de uma PCH é:

$$\begin{aligned} V_{GLOBAL} = & 0,1. v_{gest\tilde{a}o\ ambiental}(a) + 0,1. v_{constru\tilde{c}ao}(a) \\ & + 0,15. v_{educac\tilde{a}o\ ambiental\ e\ comunicac\tilde{a}o\ social}(a) + 0,1. v_{desenvolvimento}(a) \\ & + 0,2. v_{fauna}(a) + 0,2. v_{flora}(a) + 0,15. v_{\acute{a}gua\ e\ solo}(a) \end{aligned}$$

Onde:

$$V_{gest\tilde{a}o\ ambiental} = 0,3. v_{seguran\tilde{c}a}(a) + 0,7. v_{gest\tilde{a}o\ ambiental}(a)$$

$$V_{seguran\tilde{c}a} = 0,5. v_{vigil\tilde{a}ncia\ epidemiol\tilde{o}gica}(a) + 0,5. v_{seguran\tilde{c}a\ do\ trabalho}(a)$$

$$\begin{aligned} V_{constru\tilde{c}ao} = & 0,2. v_{saneamento\ b\acute{a}sico}(a) + 0,4. v_{controle\ ambiental}(a) \\ & + 0,2. v_{limpeza}(a) + 0,2. v_{instala\tilde{c}oes}(a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{educac\tilde{a}o\ ambiental\ e\ comunicac\tilde{a}o\ social} \\ = & 0,2. v_{patrim\tilde{o}nio\ arqueol\tilde{o}gico}(a) + 0,3. v_{educac\tilde{a}o\ ambiental}(a) \\ & + 0,3. v_{comunicac\tilde{a}o\ social}(a) + 0,2. v_{m\tilde{a}o-de-obra}(a) \end{aligned}$$

$$V_{\text{desenvolvimento}} = 0,5. v_{\text{população}}(a) + 0,5. v_{\text{desenvolvimento regional}}(a)$$

$$V_{\text{população}} = 0,4. v_{\text{prest. serviços e materiais}}(a) + 0,6. v_{\text{desaprop. e aquis. de terras}}(a)$$

$$V_{\text{desenvolvimento regional}} = 0,3. v_{\text{infraestrutura regional}}(a) + 0,7. v_{\text{PACUERA}}(a)$$

$$V_{\text{fauna}} = 0,5. v_{\text{fauna terrestre}}(a) + 0,5. v_{\text{fauna aquática}}(a)$$

$$V_{\text{fauna terrestre}} = 0,5. v_{\text{fauna terrestre}}(a) + 0,25. v_{\text{manejo}}(a) + 0,25. v_{\text{monitoramento}}(a)$$

$$V_{\text{fauna aquática}} = 0,5. v_{\text{fauna terrestre}}(a) + 0,2. v_{\text{manejo}}(a) + 0,3. v_{\text{monitoramento}}(a)$$

$$V_{\text{flora}} = 0,3. v_{\text{pré-supressão}}(a) + 0,2. v_{\text{supressão florestal}}(a) \\ + 0,1. v_{\text{pós-supressão}}(a) + 0,4. v_{\text{recuperação vegetal}}(a)$$

$$V_{\text{água e solo}} = 0,5. v_{\text{recurso hídrico}}(a) + 0,5. v_{\text{processos erosivos}}(a)$$

$$V_{\text{recurso hídrico}} = 0,6. v_{\text{recurso hídrico}}(a) + 0,4. v_{\text{monitoramento qualid. da água}}(a)$$

Da agregação das áreas de preocupação, obteve-se a fórmula global apresentada, onde pode ser observada a preferência do decisor em relação a cada área do modelo: Gestão Ambiental corresponde a 10%, Construção a 10%, Educação Ambiental e Comunicação Social a 15%, Desenvolvimento a 10%, Fauna a 20%, Flora a 20% e Água e Solo a 15%.

Estabelecido o modelo de avaliação global, é possível utilizar o perfil de impacto definido para analisar o impacto das ações potenciais no contexto decisório, identificando o grau de contribuição de cada critério (Longaray *et al.*, 2015).

4.2.4 Ilustração de aplicação do modelo

Nesta seção, será feita uma ilustração de aplicação do modelo, que equivale ao diagnóstico do *status quo*, apresentado em estudos semelhantes a este.

Entretanto, o presente estudo não irá proceder com a etapa seguinte, denominada Fase de Recomendações, deixando, assim, uma oportunidade de continuação e, especialmente, aprimoramento do trabalho.

A análise do perfil de impacto do *status quo* permite entender a concepção do decisor quanto aos critérios avaliados e possibilita a expansão do conhecimento sobre a situação atual do contexto decisório. Com base nisso, torna-se possível identificar a contribuição de cada critério no desempenho global, assim como os aspectos que requerem maior atenção em função de seus desempenhos locais. No presente estudo, o diagnóstico será feito a partir da análise de um PBA já aprovado, que se refere a PCH Cantu 2, localizada no estado do Paraná.

Para a determinação do perfil de impacto do *status quo*, foi utilizada a fórmula global demonstrada na seção anterior, onde os valores dos desempenhos de cada indicador são somados e multiplicados pela respectiva taxa de compensação. Quanto à classificação dos desempenhos, foram identificados os níveis de referência “Bom” e “Neutro”. O nível de referência “Bom” aponta um desempenho Satisfatório e desempenhos acima deste são considerados Excelentes, já o nível “Neutro” indica um desempenho Competitivo e desempenhos abaixo deste devem ser considerados Comprometedores.

Nesse contexto, a pontuação global do modelo foi de 156,38 pontos, sendo o máximo de 197,92 pontos. As pontuações por área de preocupação foram: 13,75 para a área 1 Gestão Ambiental, 17,50 para a área 2 Construção, 14,10 para a área 3 Educação Ambiental e Comunicação Social, 15,00 para a área 4 Desenvolvimento, 29,08 para a área 5 Fauna, 38,00 para a área 6 Flora e 28,95 para a área 7 Água e Solo. O resultado detalhado do desempenho de cada descritor está disposto no Quadro 8. A avaliação global do PBA da PCH Cantu 2 é apresentado no Apêndice E.

Quadro 8 - Perfil de desempenho do *status quo* do PBA da PCH Cantu 2

(Continua)

Área de Preocupação /Pontos		PVF/Pontos		PVE/Pontos		Descritor	Pontos	Perfil de Desempenho
1. Gestão Ambiental	13,75	1.1. Segurança	25,50	1.1.1. Vigilância epidemiológica	60,00	Medidas relacionadas à vigilância epidemiológica	120	Excelente
				1.1.2. Segurança do trabalho	25,00	Medidas relacionadas à segurança do trabalho	50	Competitivo
		1.2. Gestão ambiental	112,00	1.2.1. Gestão ambiental	112,00	Medidas propostas para gestão ambiental do empreendimento	160	Excelente
2. Construção	17,50	2.1. Saneamento básico	20,00	2.1.1. Saneamento básico	20,00	Itens incluídos no programa de saneamento básico	100	Satisfatório
		2.2. Controle ambiental	80,00	2.2.1. Controle ambiental	80,00	Medidas propostas para o controle ambiental	200	Excelente
		2.3. Limpeza	50,00	2.3.1. Limpeza das áreas	50,00	Medidas propostas para limpeza das áreas	250	Excelente
		2.4. Instalações	25,00	2.4.1. Instalações	25,00	Instalações para o período de construção do empreendimento	125	Excelente
3. Educação Ambiental e Comunicação Social	14,10	3.1. Patrimônio arqueológico	24,00	3.1.1. Patrimônio arqueológico	24,00	Medidas relacionadas ao patrimônio arqueológico	120	Excelente
		3.2. Educação ambiental	30,00	3.2.1. Educação ambiental	30,00	Medidas propostas para educação ambiental	100	Satisfatório
		3.3. Comunicação social	30,00	3.3.1. Comunicação social	30,00	Medidas propostas para comunicação social	100	Satisfatório
		3.4. Mão-de-obra	10,00	3.4.1. Mão-de-obra	10,00	Orientações para a mão-de-obra	50	Competitivo

Quadro 9 - Perfil de desempenho do *status quo* do PBA da PCH Cantu 2

(Continuação...)

Área de Preocupação /Pontos		PVF/Pontos	PVE/Pontos		Descritor	Pontos	Perfil de Desempenho
4. Desenvolvimento	15,00	4.1. População	62,50	4.1.1. Prestação de serviços e materiais	Medidas relacionadas à prestação de serviços	50	Competitivo
				4.1.2. Desapropriação e/ou aquisição de terras	Medidas relacionadas à desapropriação e/ou aquisição de terras	175	Excelente
		4.2. Desenvolvimento regional	87,50	4.2.1. Infraestrutura regional	Medidas propostas para melhoria da infraestrutura regional	0	Comprometedor
				4.2.2. PACUERA	Medidas relacionadas ao PACUERA	250	Excelente
5. Fauna	29,08	5.1. Fauna terrestre	68,75	5.1.1. Fauna terrestre	Medidas relacionadas à fauna terrestre	100	Satisfatório
				5.1.2. Manejo da fauna terrestre	Tipo de intervenção proposta para o manejo da fauna terrestre	100	Satisfatório
				5.1.3. Monitoramento da fauna terrestre	Fases incluídas no programa de monitoramento da fauna terrestre	250	Excelente
		5.2. Fauna aquática	76,67	5.2.1. Fauna aquática	Medidas relacionadas à fauna aquática	167	Excelente
				5.2.2. Manejo da fauna aquática	Tipo de intervenção proposta para o manejo da fauna aquática	100	Satisfatório
				5.2.3. Monitoramento da fauna aquática	Fases incluídas no programa de monitoramento da fauna aquática	167	Excelente

Quadro 10 - Perfil de desempenho do *status quo* do PBA da PCH Cantu 2

(Conclusão)

Área de Preocupação /Pontos		PVF/Pontos		PVE/Pontos		Descritor	Pontos	Perfil de Desempenho
6. Flora	38,00	6.1. Pré-supressão	30,00	6.1.1. Pré-supressão	30,00	Medidas propostas para o período de pré-supressão florestal	100	Satisfatório
		6.2. Supressão florestal	50,00	6.2.1. Supressão florestal	50,00	Medidas propostas para o período de supressão florestal	250	Excelente
		6.3. Pós-supressão	10,00	6.3.1. Pós-supressão	10,00	Medidas propostas para o período de pós-supressão florestal	100	Satisfatório
		6.4. Recuperação vegetal	100,00	6.4.1. Recuperação vegetal	100,00	Medidas propostas para o período de recuperação vegetal	250	Excelente
7. Água e Solo	28,95	7.1. Recurso hídrico	68,00	7.1.1. Recurso hídrico	96,00	Medidas relacionadas aos recursos hídricos	160	Excelente
				7.1.2. Monitoramento da qualidade da água	40,00	Fases incluídas no programa de monitoramento da qualidade da água	100	Satisfatório
		7.2. Processos erosivos	125,00	7.2.1. Processos erosivos	125,00	Medidas relacionadas aos processos erosivos	250	Excelente

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Após a constatação do *status quo* do modelo é possível identificar os descritores que apresentaram desempenho comprometedor e, a partir disso, realizar uma análise detalhada dos mesmos, discernindo a influência de cada um no desempenho global do modelo. O próximo passo se dá pelo planejamento estratégico de otimização do desempenho global do modelo, através da elaboração e recomendação de ações de melhoria.

No presente estudo, observou-se que apenas 1 descritor apresentou nível de desempenho comprometedor, desta forma, o decisor deve preocupar-se em analisá-lo e identificar sua influência na avaliação global do modelo, a fim de propor ações de melhoria para o mesmo. Nesse âmbito, de maneira geral, pode-se concluir que o PBA estudado abrange grande parte dos aspectos considerados relevantes ao contexto decisório.

5 Considerações finais

Aliar a preservação dos recursos naturais e o desenvolvimento socioeconômico é uma tarefa difícil. No contexto de implantação de hidrelétricas essa narrativa se confirma, uma vez que para gerar energia elétrica e, conseqüentemente, desenvolvimento para uma região, é necessário anuir alguns impactos, tanto positivos quanto negativos. Nesse sentido, os órgãos ambientais, responsáveis pelo licenciamento ambiental de empreendimentos hidrelétricos, precisam ser capazes de analisar propostas de soluções ambientais de forma efetiva, a fim de garantir a implantação de empreendimentos que agreguem desenvolvimento à região e à população da maneira mais sustentável possível.

Diante deste cenário, e da inexistência de um procedimento formal, surgiu o seguinte problema de pesquisa deste estudo: Como avaliar o desempenho potencial dos programas propostos no PBA de uma PCH de forma a auxiliar os decisores na aprovação ou não do documento? Para responder a este questionamento, foi definido como objetivo geral “Desenvolver e testar um modelo multicritério capaz de apoiar a tomada de decisão na etapa de análise do Projeto Básico Ambiental de uma Pequena Central Hidrelétrica”.

A fim de atingir o objetivo geral, foram definidos 4 objetivos específicos. O primeiro objetivo específico corresponde à fase de Estruturação do modelo multicritério e foi concluído através da análise dos PBA's referente a seis PCH's em funcionamento. Já o segundo e o terceiro objetivos específicos condizem à fase de Avaliação do modelo e para a conclusão destes recorreu-se à aplicação de questionários a um analista ambiental da FEPAM, a fim de assimilar os aspectos considerados fundamentais para aprovação de um PBA do ponto de vista do órgão ambiental. Por fim, o último objetivo específico foi consumado com a ilustração de aplicação do modelo, onde foi feita a análise do perfil de impacto do *status quo* do PBA referente à PCH Cantu 2 e identificado apenas 1 descritor com nível de desempenho comprometedor.

Quanto à proposição do modelo multicritério de apoio à decisão, este foi construído a partir de pesquisa documental e coleta de dados através de entrevistas

e questionários aplicados a um tomador de decisão habituado ao contexto em questão.

Na fase de Estruturação, o problema foi contextualizado e então foram definidos 28 indicadores, ou PVE's, e agrupados em 7 áreas de preocupação: (i) Gestão ambiental; (ii) Construção; (iii) Educação ambiental e comunicação social; (iv) Desenvolvimento; (v) Fauna; (vi) Flora; e (vii) Água e solo. Ainda, foram elaborados 28 descritores, ou seja, escalas ordinais que buscam mensurar as dimensões do contexto decisório e permitem comparar os desempenhos entre os PVF's e/ou PVE's, sendo necessário para tal a identificação de Níveis de Referência.

Na fase de Avaliação, primeiramente construiu-se as Funções de Valor, ou seja, as escalas cardinais para cada uma das escalas ordinais, baseado nas preferências do decisor. O processo foi operacionalizado a partir do emprego do método MACBETH, que demanda que o decisor indique a diferença de atratividade ao passar de um nível para o outro em cada um dos descritores. Posteriormente, foi necessário identificar as taxas de compensação, que são parâmetros que permitem agregar, de forma compensatória, os desempenhos locais em uma performance global e, para este processo, foi empregado o método de Pontuação Direta.

Por último, foi executado o estudo de caso a partir da análise do PBA de uma PCH localizada no estado do Paraná, tendo como objetivo diagnosticar o perfil de impacto do *status quo* e possibilitar a expansão do conhecimento sobre a situação atual do contexto decisório. Para a determinação do perfil de impacto foi empregada a fórmula de desempenho global elaborada na fase de Avaliação.

Aponta-se, de forma resumida, que as contribuições deste estudo estão no levantamento e compilação dos aspectos pertinentes ao contexto de proposição de soluções para os impactos associados à instalação e operação de empreendimentos hidrelétricos. Além disso, a estruturação de um modelo de avaliação de desempenho potencial para o apoio à decisão dos órgãos ambientais no contexto da análise do PBA de PCH's.

As limitações do estudo se concentram no fato de este se basear na concepção de apenas um decisor, o que torna o modelo restrito, não podendo, portanto, ser generalizado. Como sugestão para estudos futuros, indica-se a ampliação do modelo, assimilando pontos de vista de outros decisores, de órgãos ambientais equivalentes,

a fim de, eventualmente, criar uma ferramenta padrão para uso no contexto decisório em questão.

REFERÊNCIAS

- Agenda 2030. (2020). *Objetivo 7, Energia Acessível e Limpa*. <http://www.agenda2030.org.br/ods/7/>
- Albarello, L. (2014). *Guia para a implantação de Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCHs*. Universidade Federal de Santa Maria.
- Ançay, B. L., & Matos, R. de A. (2014). Projeto Básico Ambiental - PBA: Um levantamento dos investimentos promovidos pela construção de usinas hidrelétricas no período de 2008 a 2012. *Caderno PAIC*, 15(1), 185–202.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. (2003). *Guia do Empreendedor De Pequenas Centrais Hidrelétricas*. 707. http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/Guia_empreendedor.pdf
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. (2008). Energia Hidráulica. *Atlas de Energia Elétrica Do Brasil*, 49–61.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. (2022). *SIGA - Sistema de Informações de Geração da ANEEL*. <https://www.aneel.gov.br/siga>
- Bana e Costa, C. A., & Beinat, E. (2005). Model-Structuring in Public Decision-Aiding. *{Wp} {Lseor}* 05.79.
- Bana e Costa, C. A., Ensslin, L., Corrêa, É. C., & Vansnick, J. C. (1999). Decision Support Systems in action: Integrated application in a multicriteria decision aid process. *European Journal of Operational Research*, 113(2), 315–335. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00219-7](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00219-7)
- Bana e Costa, C. A., & Vansnick, J.-C. (1995a). *General overview of the MACBETH Approach*. 2, 93–100. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2383-0_6
- Bana e Costa, C. A., & Vansnick, J.-C. (1995b). Uma nova abordagem ao problema da construção de uma função de valor cardinal: MACBETH. *Investigação Operacional*, 15(1), 15–35.
- Bana e Costa, C. A., & Vincke, P. (1990). *Multiple Criteria Decision-Aid: An overview*.
- Bermann, C. (2007). Impasses e controvérsias da hidreletricidade. *Estudos Avancados*, 21(59), 139–153. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142007000100011>
- Brasil. (1981). *Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981*. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm
- Brasil. (1986). *Resolução CONAMA nº 1 de 23 de janeiro de 1986*. <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>
- Brasil. (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil*.
- Brasil. (1997). *Resolução CONAMA nº 237 de 19 de dezembro de 1997*. <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>
- Brasil. (2002). *Lei nº 10.438 de 26 de abril de 2002*. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/l10438.htm
- Brasil, ANEEL, & MME. (2020). *Resolução Normativa nº 875 de 10 de março de 2020*.

<http://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-normativa-n-875-de-10-de-marco-de-2020-248070610>

- Brundtland, G. H. (1987). Our common future. In *United Nations General Assembly*. [https://edisiplinas.usp.br/pluginfile.php/4245128/mod_resource/content/3/Nosso Futuro Comum.pdf](https://edisiplinas.usp.br/pluginfile.php/4245128/mod_resource/content/3/Nosso_Futuro_Comum.pdf)
- Bystrzanowska, M., & Tobiszewski, M. (2018). How can analysts use multicriteria decision analysis? *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 105, 98–105. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.05.003>
- Campos, S. R. M., & Silva, V. de P. da. (2012). A efetividade do estudo de impacto ambiental e do licenciamento em projetos de usinas hidrelétrica. *Caminhos Da Geografia*, 13, 1–14.
- Carvalho, N. J. de. (2019). *A evolução dos sistemas energéticos no Brasil frente aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável*. Universidade Federal de Itajubá.
- Costa, R. C. da, & Prates, C. P. T. (2005). O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreiras à sua penetração no mercado. *BNDES Setorial*, 21, 5–30.
- Custodio, M. M., & Rodrigues, M. V. (2019). A importância das Pequenas Centrais Hidrelétricas como fonte de energia sustentável em substituição aos grandes projetos hidrelétricos. *Revista Jurídica*, 22(49).
- Dester, M. (2018). A hidroeletricidade: Uma fonte de energia essencial na matriz de energia elétrica do Brasil. 51, 101–137.
- Dias, I. O. (2014). *Procedimentos para implantação de uma Pequena Central Hidrelétrica, do Estudo de Inventário à Outorga*. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. (2013). *Elaboração de Plano Básico Ambiental - PBA e estudos e projetos para obtenção da autorização da supressão da vegetação - ASV, bem como de serviços de arqueologia, para o Licenciamento Ambiental das obras de duplicação e adequação da BR-101/SP*.
- EIA - Administração de Informações sobre Energia dos EUA. (2019). *What is energy?* <https://www.eia.gov/energyexplained/what-is-energy/>
- Eletrobras - Centrais Elétricas Brasileiras. (2000). *Diretrizes para estudos e projetos de pequenas centrais hidrelétricas*.
- Eletrobras - Centrais Elétricas Brasileiras. (2017). *Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas*. Tipos de Pequenas Centrais Hidrelétricas. <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Manuais-e-Diretrizes-para-Estudos-e-Projetos.aspx>
- Ensslin, L., Ensslin, S. R., Rocha, S., Marafon, A. D., & Medaglia, T. A. (2013). Modelo multicritério de apoio à decisão construtivista no processo de avaliação de fornecedores. *Produção*, 23(2), 402–421.
- Ensslin, L., Giffhorn, E., Ensslin, S. R., Petri, S. M., & Vianna, W. B. (2010). Avaliação do desempenho de empresas terceirizadas com o uso da metodologia multicritério de apoio à decisão - construtivista. *Pesquisa Operacional*, 30(1), 125–152. <https://doi.org/10.1590/s0101-74382010000100007>
- Ensslin, L., Montibeller Neto, G., & Noronha, S. M. (2001). *Apoio à Decisão:*

Metodologias para Estruturação de Problemas e Avaliação Multicritério de Alternativas (N. R. de Moura (ed.)). Insular.

Ensslin, S. R., & Ensslin, L. (2011). *Avaliação de desempenho multicritério como apoio à gestão de empresas: aplicação em uma empresa de serviços*. 633–650.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. (2020). *Fontes de energia*. <http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia#ENERGIA-NAO-RENOV>

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. (2021). *Balanço Energético Nacional, ano base 2020*. https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/BEN_Síntese_2021_PT.pdf

Fernandes, C. H. (1996). *Priorização de projetos Hidrelétricos sob a ótica social - Um estudo de caso utilizando Análise Custo/Benefício e uma Metodologia Multicritério*. Universidade Federal de Santa Catarina.

Fernandes, G. S. (2019). *Centrais Geradoras Hidrelétricas: Uma análise procedimental de sua aprovação e viabilidade*. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Friedrich, P. G., & Grau, P. (2010). *Benefícios econômicos e sociais das pequenas centrais hidrelétricas (PCHs)* [Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/28134>

Fuentes-Bargues, J. L., & Ferrer-Gisbert, P. S. (2015). Selecting a small run-of-river hydropower plant by the analytic hierarchy process (AHP): A case study of Miño-Sil river basin, Spain. *Ecological Engineering*, 85, 307–316. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.10.020>

Gomes, E. G., De Mello, J. C. C. B. S., Abreu, U. G., De Carvalho, T. B., & Zen, S. De. (2013). Análise de tipologias de Sistemas de Produção Modais de pecuária de cria pelo uso do Método Ordinal de Copeland. *Revista Eletrônica Pesquisa Operacional Para o Desenvolvimento*, 5(1), 43–57.

Gomes, K. G. A. (2009). Um método multicritério para localização de unidades celulares de intendência da FAB. *Puc Rio*, 43–71.

Gomes, L. F. A., Araya, M. C. G., & Carignano, C. (2011). *Tomada de decisões em cenários complexos*. Cengage Learning.

Gomes, L., & Moreira, A. M. M. (1998). Da informação à tomada de decisão: agregando valor através dos métodos multicritério. *Recitec—Revista de Ciência e Tecnologia, Recife*, 2(2), 117–139.

Hofmann, R. M. (2015). Gargalos do Licenciamento Ambiental Federal no Brasil. *Camara Dos Deputados Do Brasil*. http://www2.camara.leg.br/documentos-e-pesquisa/publicacoes/estnottec/areas-da-conle/tema14/2015_1868_licenciamentoambiental_rose-hofmann

Kaunda, C. S., Kimambo, C. Z., & Nielsen, T. K. (2012). Hydropower in the context of sustainable energy supply: A review of technologies and challenges. *ISRN Renewable Energy*, 2012, 1–15. <https://doi.org/10.5402/2012/730631>

Keeney, R. L. (1992). *Value-focused thinking*. Harvard University Press.

Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1993). *Decisions with multiple objectives: Preferences and value trade-offs*. Cambridge University Press.

- Longaray, A. A., Alves, G. C. F., & Munhoz, P. R. da S. (2015). Uso da MCDA-C para Avaliar o Desempenho das Atividades Logísticas de um Hospital de Ensino da Rede Federal de Educação. *XXXIX Encontro Da ANPAD*.
- Longaray, A. A., & Ensslin, L. (2013a). Uso da MCDA-C na Avaliação de Desempenho das Atividades de Trade Marketing de uma Indústria do Setor Farmacêutico Brasileiro. *IV Encontro de Administração Da Informação*, 1–16.
- Longaray, A. A., & Ensslin, L. (2013b). Uso da MCDA na identificação e mensuração da performance dos critérios para a certificação dos hospitais de ensino no âmbito do SUS. *Production*, 24(1), 41–56. <https://doi.org/10.1590/s0103-65132013005000021>
- Longaray, A. A., Ensslin, L., Dutra, A., Ensslin, S., Brasil, R., & Munhoz, P. (2019). Using MCDA-C to assess the organizational performance of industries operating at Brazilian maritime port terminals. *Operations Research Perspectives*, 6(August 2018), 100109. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2019.100109>
- Machado, T. P. S. de O., Ensslin, L., & Ensslin, S. R. (2015). Product development using the MCDA-C approach. *Producao*, 25(3), 542–559. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.625AO>
- Mello, J. C. C. B. S. de, Gomes, E. G., Leta, F. R., & Pessolani, R. B. V. (2003). Conceitos Básicos Do Apoio Multicritério À Decisão E Sua Aplicação No Projeto Aerodesign. *Engevista*, 5(8), 22–35. <https://doi.org/10.22409/engevista.v5i8.82>
- Mendes, E. C., & Caldas, M. (2010). Aplicação de Análise Multicritério em Projetos de Investimento em Infraestrutura de transportes de carga no Brasil. *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 607–615.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. (2002). *Guia de procedimentos do Licenciamento Ambiental Federal - Documento de Referência*. 128. <https://doi.org/10.5585/gep.v3i3.82>
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. (2009). *Programa Nacional de Capacitação de gestores ambientais: licenciamento ambiental*.
- Ostanello, A. (1985). Outranking Methods. *Multiple Criteria Decision Methods and Applications*, 41–60. https://doi.org/10.1007/978-3-642-70583-0_4
- Öztürk, M., Tsoukiàs, A., & Vincke, P. (2005). Preference Modelling. In *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys* (pp. 27–59). Springer. <https://doi.org/10.1007/0-387-23081-5>
- Piagentini, P. M., Benassi, R. F., & Penteado, C. L. D. C. (2011). Hidreletricidade, conflitos e sustentabilidade. *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 1–20.
- Ploskas, N., & Papathanasiou, J. (Eds.). (2018). Prométhée. In *Multiple Criteria Decision Aid - Methods, examples and python implementations* (pp. 57–89). Springer Optimization and Its Applications. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-91648-4>
- PNLA - Portal Nacional de Licenciamento Ambiental. (2021). *Órgãos Licenciadores*. <http://pnla.mma.gov.br/orgaos-licenciadores>
- Pomerol, J.-C., & Barba-Romero, S. (2012). *Multicriterion decision in management: Principles and practice*. Springer Science & Business Media.
- Raupp, I. P. (2019). *Nova abordagem para a Análise Multiobjetivo Final dos Estudos*

de Inventário Hidrelétrico de bacias hidrográficas. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

- Roberts, F. S. (1985). *Measurement Theory* (G.-C. Rota (Ed.); Volume 7). Cambridge University Press.
- Roesch, S. M. A. (2013). *Projetos de estágio e de pesquisa em Administração: guia para estágios, trabalhos de conclusão, dissertações e estudos de caso* (3rd ed.). Atlas.
- Rogers, M., Bruen, M., & Maystre, L.-Y. (2000). *ELECTRE and decision support*. Springer-Science+Bussiness Media, LLC. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-5057-7>
- Roy, B. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples. *Revue Française d'informatique et de Recherche Opérationnelle*, 2(8), 57–75.
- Roy, B. (1981). The optimisation problem formulation: Criticism and overstepping. *Journal of the Operational Research Society*, 32(6), 427–436. <https://doi.org/10.1057/jors.1981.93>
- Roy, B. (1985). *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*. Economica.
- Roy, B. (1993). Decision science or decision-aid science? *European Journal of Operational Research*, 66(2), 184–203. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(93\)90312-B](https://doi.org/10.1016/0377-2217(93)90312-B)
- Roy, B. (1996). *Multicriteria Methodology for Decision Aiding* (Volume 12). Springer-Science+Bussiness Media Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2500-1>
- Roy, B., & Vincke, P. (1984). Relational systems of preference with one or more pseudo-criteria: Some new concepts and results. *Management Science*, 30(11), 1323–1335. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.11.1323>
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9–26. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
- Santos, L. dos, Ribeiro, L. G. M., & Rangel, L. A. D. (2017). Avaliação de fontes renováveis de energia utilizando o Apoio Multicritério à Decisão. *Simpósio de Excelência Em Gestão e Tecnologia*.
- Semad, S. de E. de M. A. e D. S. do G. do E. de G. (2021). *Licenciamento Ambiental*. [https://www.meioambiente.go.gov.br/meio-ambiente-e-recursos-hídricos/licenciamento-ambiental.html#:~:text=O licenciamento ambiental é um,que interferem nas condições ambientais](https://www.meioambiente.go.gov.br/meio-ambiente-e-recursos-hidricos/licenciamento-ambiental.html#:~:text=O%20licenciamento%20ambiental%20%C3%A9%20um,que%20interferem%20nas%20condi%C3%A7%C3%B5es%20ambientais)
- Souza, P. C. F. (2009). *Seleção De Construtora Como Parceira Para Empreendimento De Energia Elétrica: Utilização Dos Métodos Ordinais Do Apoio Multicritério À Decisão*.
- Teixeira, M. (2006). *Emprego de uma metodologia multicritério na avaliação do estudo de impacto ambiental de hidrelétricas*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Tolmasquim, M. T. (2016). *Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica* (E. Empresa de Pesquisa Energética (Ed.)).
- Vieira, W. (2018). *Modelo Multicritério de avaliação de desempenho para apoiar a*

gestão da manutenção de uma Usina Hidrelétrica: O caso da Usina Passo São João. Universidade do Sul de Santa Catarina.

Vincke, P. (1992). *Multicriteria decision aid.* John Wiley & Sons Ltd.

Vulcanis, A. (2010). Os problemas do Licenciamento Ambiental e a reforma do Instrumento. *Congresso Internacional de Direito Ambiental*, 1–14.

Zonensein, J. (2007). *Índice de risco de cheia como ferramenta de gestão de enchentes* [Universidade Federal do Rio de Janeiro].
http://wwwp.coc.ufrj.br/teses/mestrado/rh/2007/Teses/ZONSEIN_J_07_t_M_rhs.pdf

Apêndice A – Estrutura hierárquica de valor por área de preocupação

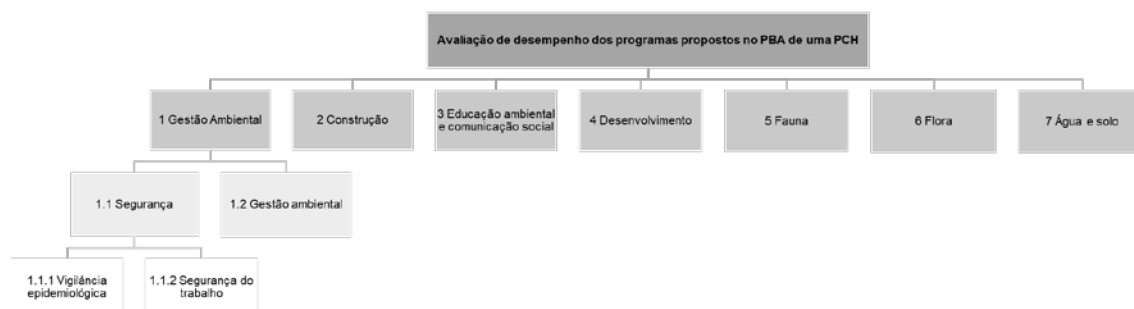


Figura 6 - Árvore de valor e PVE's da área de preocupação "Gestão ambiental". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.



Figura 7 - Árvore de valor e PVE's da área de preocupação "Educação ambiental e comunicação social". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

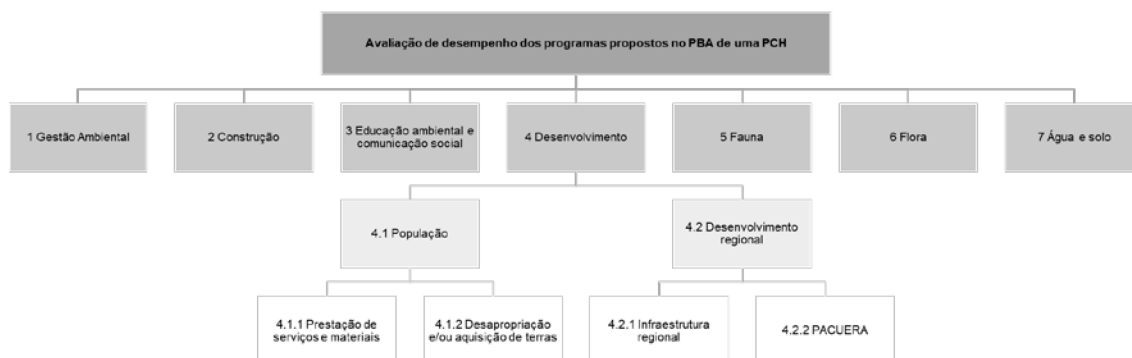


Figura 8 - Árvore de valor e PVE's da área de preocupação "Desenvolvimento". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

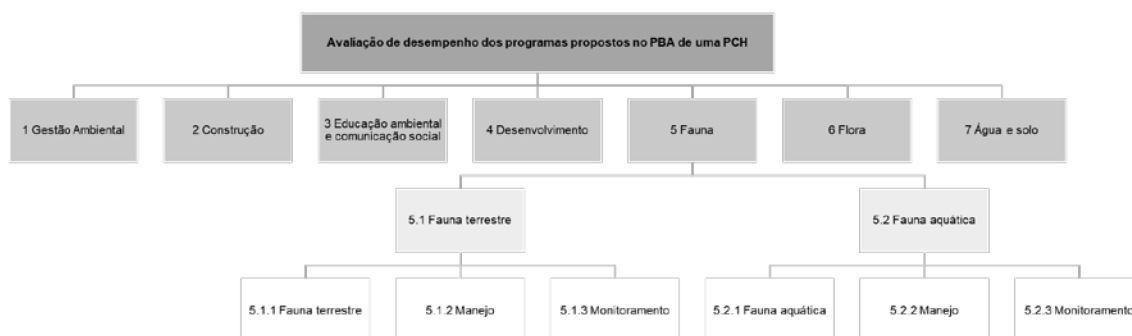


Figura 9 - Árvore de valor e PVE's da área de preocupação "Fauna". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

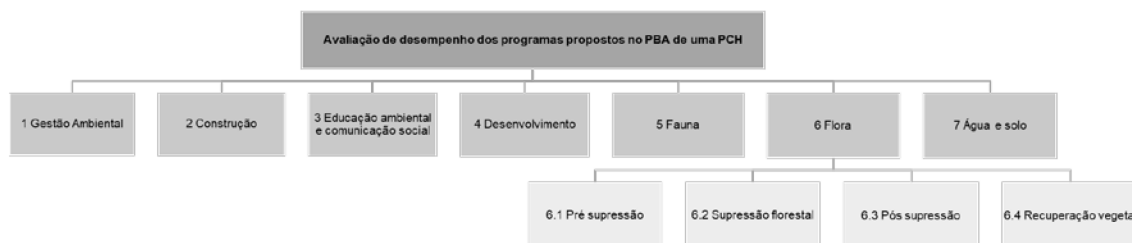


Figura 10 - Árvore de valor e PVE's da área de preocupação "Flora". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

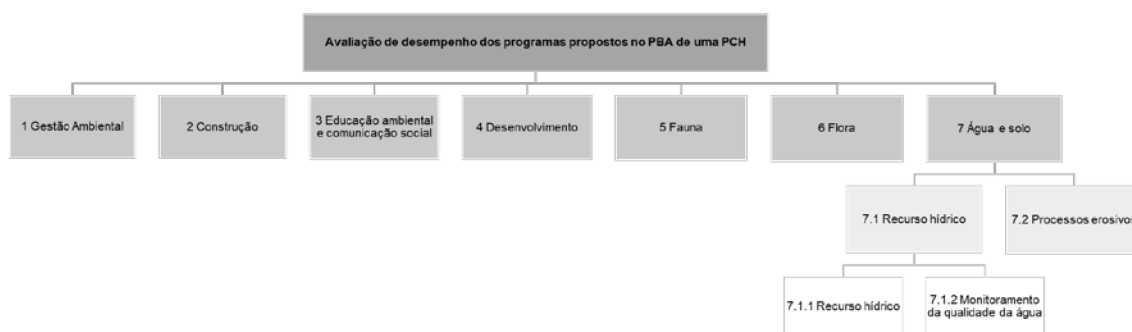


Figura 11 - Árvore de valor e PVE's da área de preocupação "Água e solo". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Apêndice B – Estrutura hierárquica de valor, PVE's e descritores por área de preocupação



Figura 12 - Estrutura hierárquica de valor, PVE's e descritores dos PVE's da área de preocupação "Gestão ambiental". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.



Figura 13 - Estrutura hierárquica de valor, PVE's e descritores dos PVE's da área de preocupação "Educação ambiental e comunicação social". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.



Figura 14 - Estrutura hierárquica de valor, PVE's e descritores dos PVE's da área de preocupação "Desenvolvimento". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.



Figura 15- Estrutura hierárquica de valor, PVE's e descritores dos PVE's da área de preocupação "Fauna". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

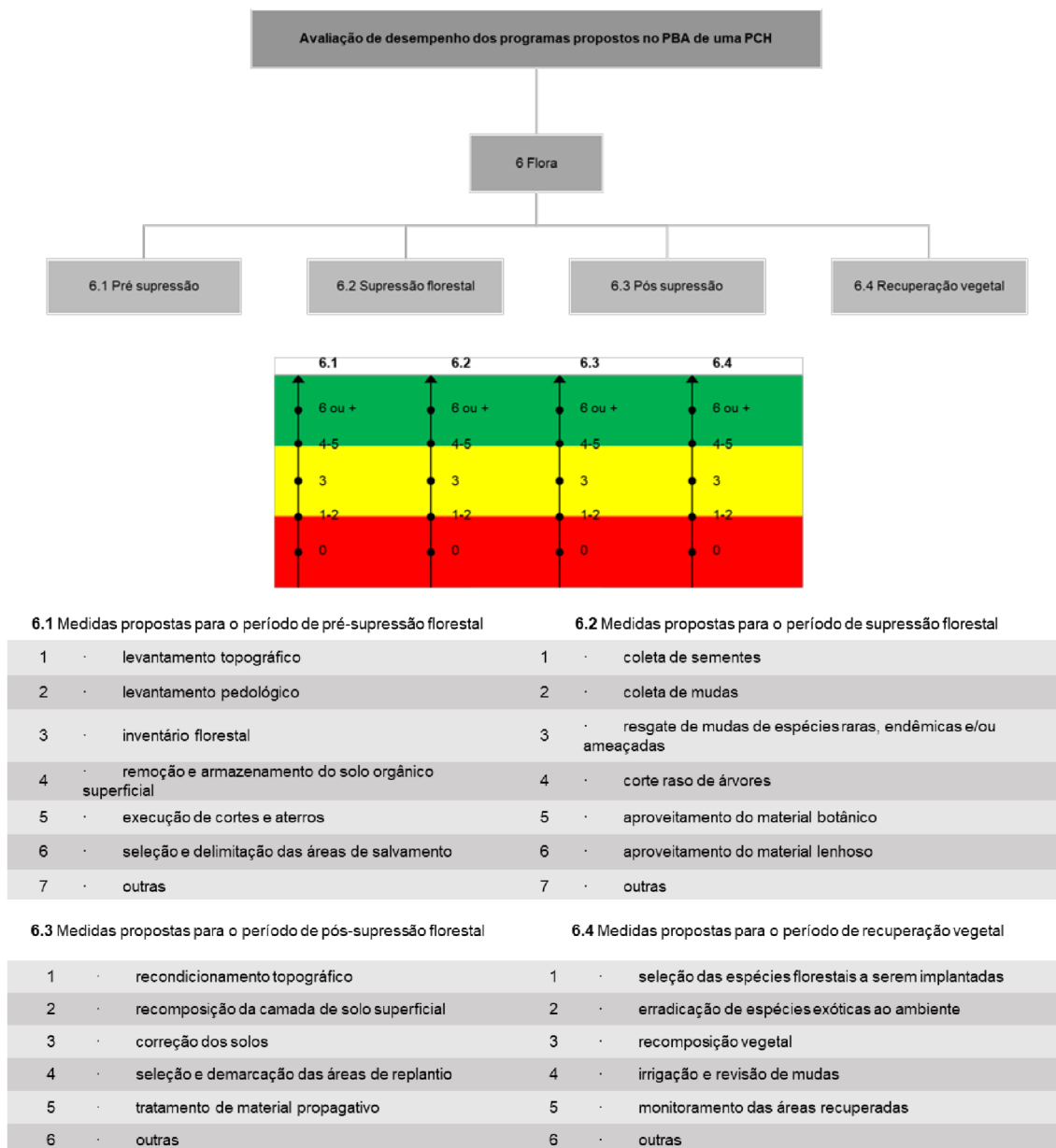


Figura 16 - Estrutura hierárquica de valor, PVE's e descritores dos PVE's da área de preocupação "Flora". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.



Figura 17 - Estrutura hierárquica de valor, PVE's e descritores dos PVE's da área de preocupação "Água e solo". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Apêndice C – Funções de valor

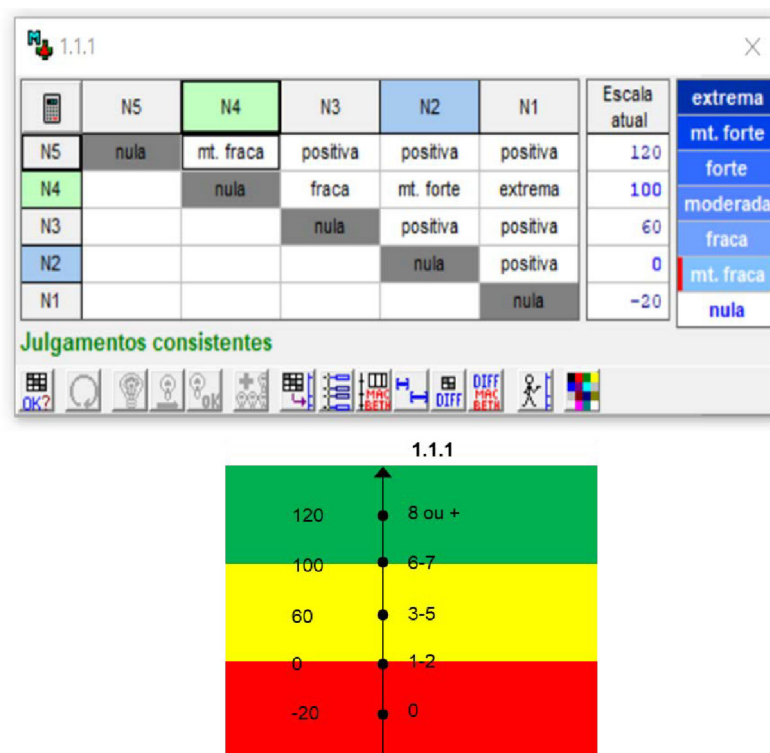


Figura 18 - Funções de valor para o PVE 1.1.1 – Vigilância epidemiológica. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.



Figura 19 - Funções de valor para o PVE 1.1.2 - Segurança do trabalho. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.



Figura 20 - Funções de valor para o PVE 1.2 - Gestão ambiental. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

2.2

	N5	N4	N3	N2	N1	Escala atual	
N5	nula	fraca	moderada	forte	extrema	200	extrema
N4		nula	positiva	positiva	positiva	100	mt. forte
N3			nula	positiva	positiva	50	forte
N2				nula	positiva	0	moderada
N1					nula	-100	fraca
							mt. fraca
							nula

Julgamentos consistentes

OK?

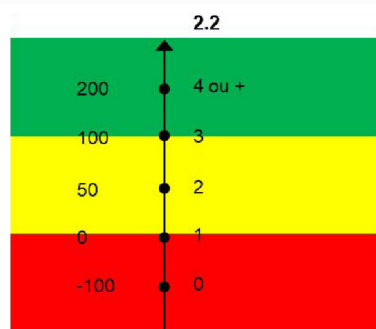


Figura 21 - Funções de valor para o PVE 2.2 - Controle ambiental. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

2.3

	N5	N4	N3	N2	N1	Escala atual	
N5	nula	moderada	forte	mt. forte	extrema	250	extrema
N4		nula	positiva	positiva	positiva	100	mt. forte
N3			nula	positiva	positiva	50	forte
N2				nula	positiva	0	moderada
N1					nula	-50	fraca
							mt. fraca
							nula

Julgamentos consistentes

OK?



Figura 22 - Funções de valor para o PVE 2.3 - Limpeza. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

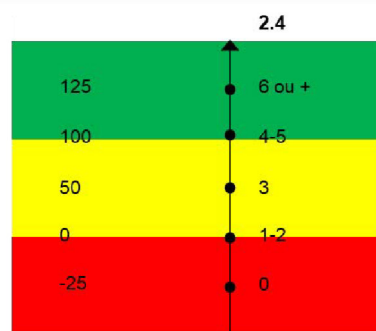


Figura 23 - Funções de valor para o PVE 2.4 - Instalações. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.



Figura 24 - Funções de valor para o PVE 3.1 - Patrimônio arqueológico. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

3.2

	N5	N4	N3	N2	N1	Escala atual	
N5	nula	fraca	moderada	forte	extrema	200	extrema
N4		nula	positiva	positiva	positiva	100	mt. forte
N3			nula	positiva	positiva	50	forte
N2				nula	positiva	0	moderada
N1					nula	-100	fraca
							mt. fraca
							nula

Julgamentos consistentes

OK?



Figura 25 - Funções de valor para o PVE 3.2 - Educação ambiental. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

3.3

	N5	N4	N3	N2	N1	Escala atual	
N5	nula	fraca	moderada	forte	extrema	200	extrema
N4		nula	positiva	positiva	positiva	100	mt. forte
N3			nula	positiva	positiva	50	forte
N2				nula	positiva	0	moderada
N1					nula	-100	fraca
							mt. fraca
							nula

Julgamentos consistentes

OK?



Figura 26 - Funções de valor para o PVE 3.3 - Comunicação social. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

3.4

	N5	N4	N3	N2	N1	Escala atual	
N5	nula	fraca	moderada	forte	extrema	200	extrema
N4		nula	positiva	positiva	positiva	100	mt. forte
N3			nula	positiva	positiva	50	forte
N2				nula	positiva	0	moderada
N1					nula	-100	fraca
							mt. fraca
							nula

Julgamentos consistentes

OK?



Figura 27 - Funções de valor para o PVE 3.4 - Mão-de-obra. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

4.1.1

	N5	N4	N3	N2	N1	Escala atual	
N5	nula	fraca	positiva	positiva	positiva	150	extrema
N4		nula	fraca	forte	mt. forte	100	mt. forte
N3			nula	positiva	positiva	50	forte
N2				nula	positiva	0	moderada
N1					nula	-25	fraca
							mt. fraca
							nula

Julgamentos consistentes

OK?



Figura 28 - Funções de valor para o PVE 4.1.1 - Prestação de serviços e materiais. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

4.1.2

	N5	N4	N3	N2	N1	Escala atual	
N5	nula	moderada	positiva	positiva	positiva	175	extrema
N4		nula	fraca	forte	mt. forte	100	mt. forte
N3			nula	positiva	positiva	50	forte
N2				nula	positiva	0	moderada
N1					nula	-25	fraca
							mt. fraca
							nula

Julgamentos consistentes

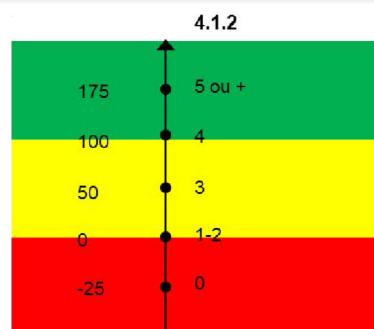


Figura 29 - Funções de valor para o PVE 4.1.2 - Desapropriação e/ou aquisição de terras. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

4.2.1

	N5	N4	N3	N2	N1	Escala atual	
N5	nula	positiva	fraca	positiva	positiva	125	extrema
N4		nula	mt. fraca	positiva	positiva	100	mt. forte
N3			nula	moderada	forte	75	forte
N2				nula	positiva	0	moderada
N1					nula	-25	fraca
							mt. fraca
							nula

Julgamentos consistentes



Figura 30 - Funções de valor para o PVE 4.2.1 - Infraestrutura regional. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

4.2.2

	N5	N4	N3	N2	N1	Escala atual	
N5	nula	moderada	forte	mt. forte	extrema	250	extrema
N4		nula	positiva	positiva	positiva	100	mt. forte
N3			nula	positiva	positiva	50	forte
N2				nula	positiva	0	moderada
N1					nula	-50	fraca
							mt. fraca
							nula

Julgamentos consistentes



Figura 31 - Funções de valor para o PVE 4.2.2 - PACUERA. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

5.1.1

	N5	N4	N3	N2	N1	Escala atual	
N5	nula	moderada	forte	mt. forte	extrema	250	extrema
N4		nula	positiva	positiva	positiva	100	mt. forte
N3			nula	positiva	positiva	50	forte
N2				nula	positiva	0	moderada
N1					nula	-50	fraca
							mt. fraca
							nula

Julgamentos consistentes



Figura 32 - Funções de valor para o PVE 5.1.1 - Fauna terrestre. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

5.1.2

	N5	N4	N3	N2	N1	Escala atual	
N5	nula	fraca	moderada	forte	extrema	200	extrema
N4		nula	positiva	positiva	positiva	100	mt. forte
N3			nula	positiva	positiva	50	forte
N2				nula	positiva	0	moderada
N1					nula	-100	fraca
							mt. fraca
							nula

Julgamentos consistentes



Figura 33 - Funções de valor para o PVE 5.1.2 - Manejo da fauna terrestre. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

5.1.3

	N5	N4	N3	N2	N1	Escala atual	
N5	nula	moderada	forte	mt. forte	extrema	250	extrema
N4		nula	positiva	positiva	positiva	100	mt. forte
N3			nula	positiva	positiva	50	forte
N2				nula	positiva	0	moderada
N1					nula	-50	fraca
							mt. fraca
							nula

Julgamentos consistentes



Figura 34 - Funções de valor para o PVE 5.1.3 - Monitoramento da fauna terrestre. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

5.2.1

	N5	N4	N3	N2	N1	Escala atual	
N5	nula	fraca	moderada	mt. forte	extrema	166.67	extrema
N4		nula	positiva	positiva	positiva	100.00	mt. forte
N3			nula	positiva	positiva	66.67	forte
N2				nula	positiva	0.00	moderada
N1					nula	-33.33	fraca
							mt. fraca
							nula

Julgamentos consistentes



Figura 35 - Funções de valor para o PVE 5.2.1 - Fauna aquática. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

5.2.2

	N5	N4	N3	N2	N1	Escala atual	
N5	nula	fraca	moderada	mt. forte	extrema	166.67	extrema
N4		nula	positiva	positiva	positiva	100.00	mt. forte
N3			nula	positiva	positiva	66.67	forte
N2				nula	positiva	0.00	moderada
N1					nula	-33.33	fraca
							mt. fraca
							nula

Julgamentos consistentes



Figura 36 - Funções de valor para o PVE 5.2.2 - Manejo da fauna aquática. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

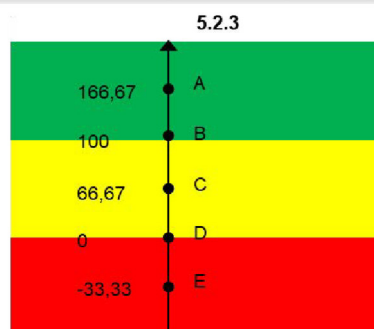
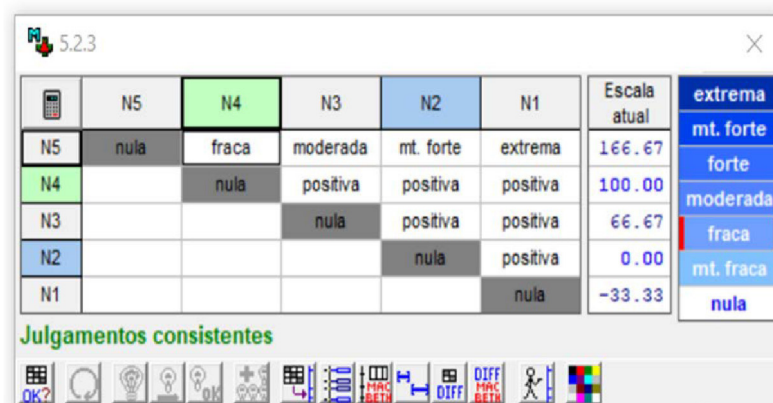


Figura 37 - Funções de valor para o PVE 5.2.3 - Monitoramento da fauna aquática. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

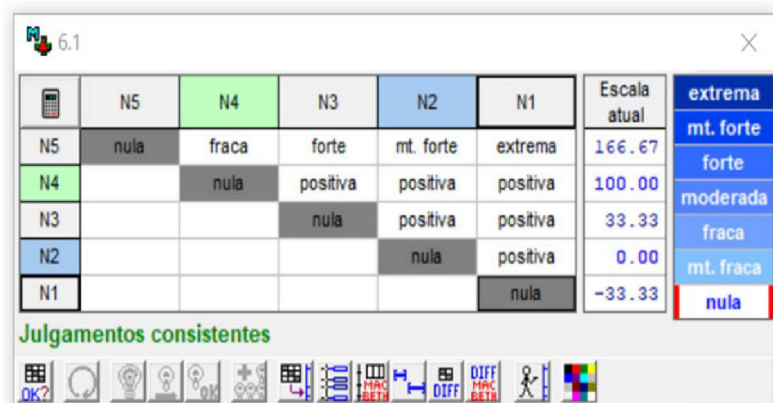


Figura 38 - Funções de valor para o PVE 6.1 - Pré-supressão. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

6.2

	N5	N4	N3	N2	N1	Escala atual	
N5	nula	moderada	forte	mt. forte	extrema	250	extrema
N4		nula	positiva	positiva	positiva	100	mt. forte
N3			nula	positiva	positiva	50	forte
N2				nula	positiva	0	moderada
N1					nula	-50	fraca
							mt. fraca
							nula

Julgamentos consistentes

OK?



Figura 39 - Funções de valor para o PVE 6.2 - Supressão florestal. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

6.3

	N5	N4	N3	N2	N1	Escala atual	
N5	nula	moderada	positiva	positiva	positiva	160	extrema
N4		nula	forte	mt. forte	extrema	100	mt. forte
N3			nula	positiva	positiva	20	forte
N2				nula	positiva	0	moderada
N1					nula	-20	fraca
							mt. fraca
							nula

Julgamentos consistentes

OK?



Figura 40 - Funções de valor para o PVE 6.3 - Pós-supressão. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

6.4							
	N5	N4	N3	N2	N1	Escala atual	
N5	nula	moderada	forte	mt. forte	extrema	250	extrema
N4		nula	positiva	positiva	positiva	100	mt. forte
N3			nula	positiva	positiva	50	forte
N2				nula	positiva	0	moderada
N1					nula	-50	fraca
							mt. fraca
							nula

Julgamentos consistentes



Figura 41 - Funções de valor para o PVE 6.4 - Recuperação vegetal. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

7.1.1							
	N5	N4	N3	N2	N1	Escala atual	
N5	nula	moderada	positiva	positiva	positiva	160	extrema
N4		nula	forte	mt. forte	extrema	100	mt. forte
N3			nula	positiva	positiva	20	forte
N2				nula	positiva	0	moderada
N1					nula	-20	fraca
							mt. fraca
							nula

Julgamentos consistentes

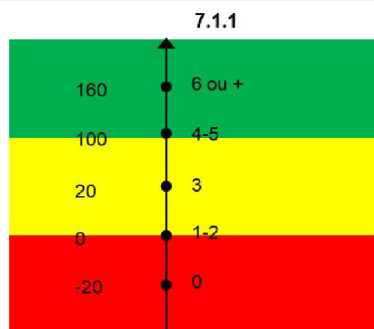


Figura 42 - Funções de valor para o PVE 7.1.1 - Recurso hídrico. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

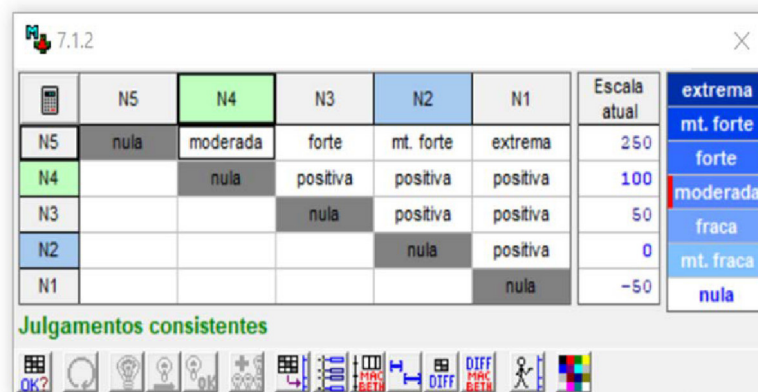


Figura 43 - Funções de valor para o PVE 7.1.2 - Monitoramento da qualidade da água. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

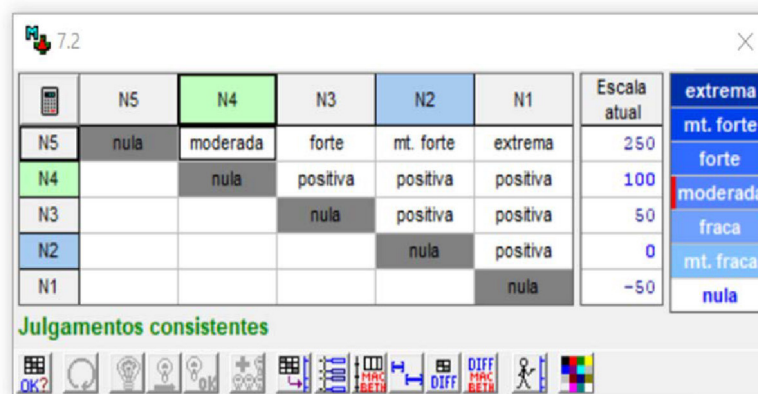


Figura 44 - Funções de valor para o PVE 7.2 - Processos erosivos. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Apêndice D – Taxas de compensação

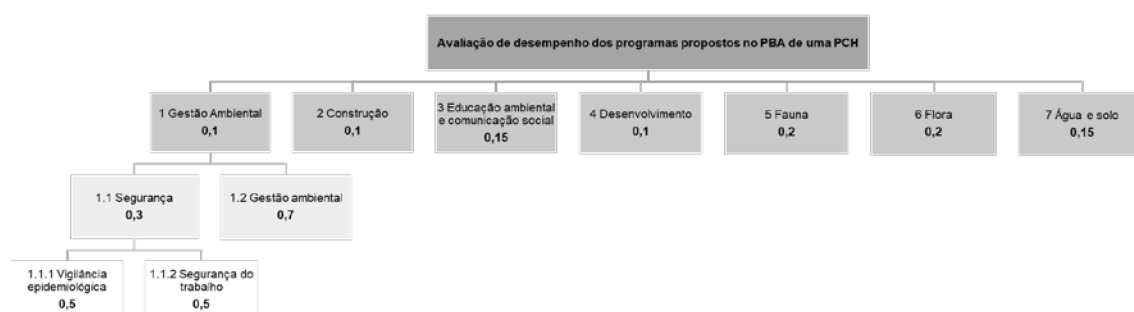


Figura 45 - Taxas de compensação de todos os PVE's do PVF 1 "Gestão ambiental". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

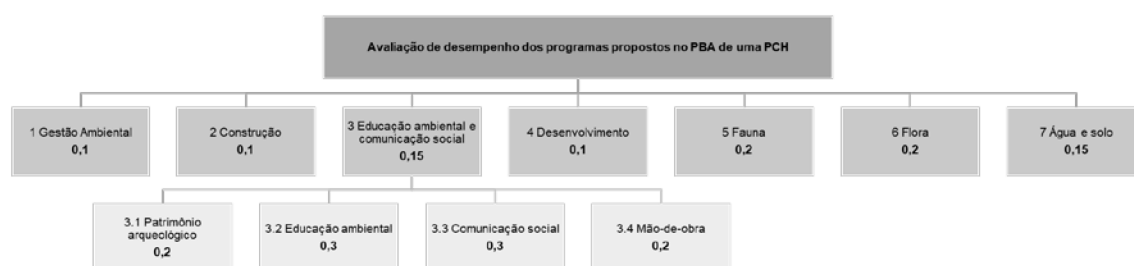


Figura 46 - Taxas de compensação de todos os PVE's do PVF 3 "Educação ambiental e comunicação social". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

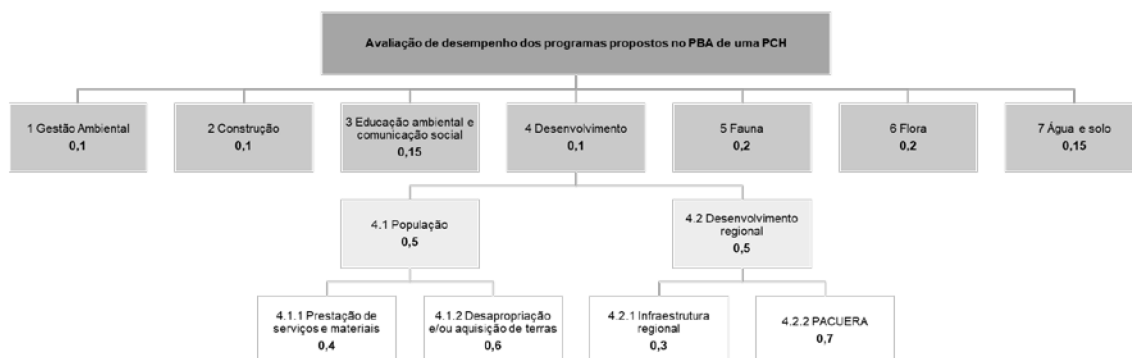


Figura 47 - Taxas de compensação para todos os PVE's do PVF 4 "Desenvolvimento". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

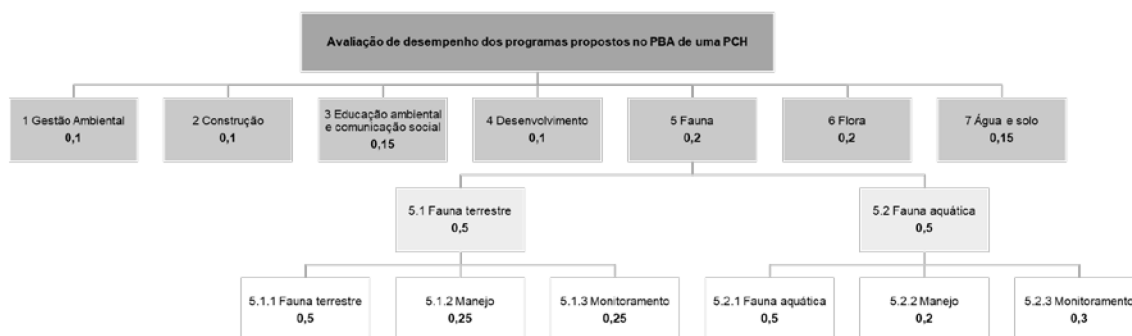


Figura 48 - Taxas de compensação para todos os PVE's do PVF 5 "Fauna". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

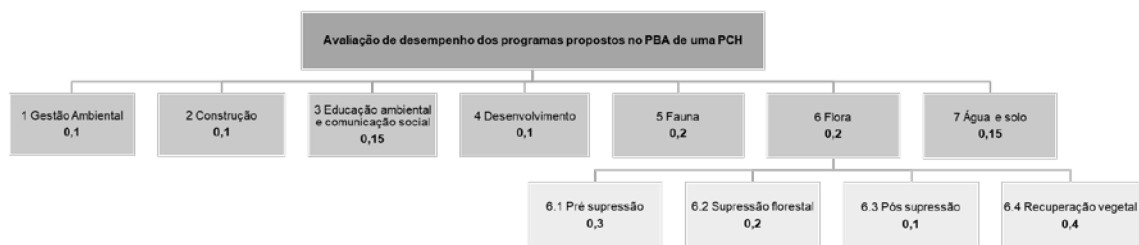


Figura 49 - Taxas de compensação para todos os PVE's do PVF 6 "Flora". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

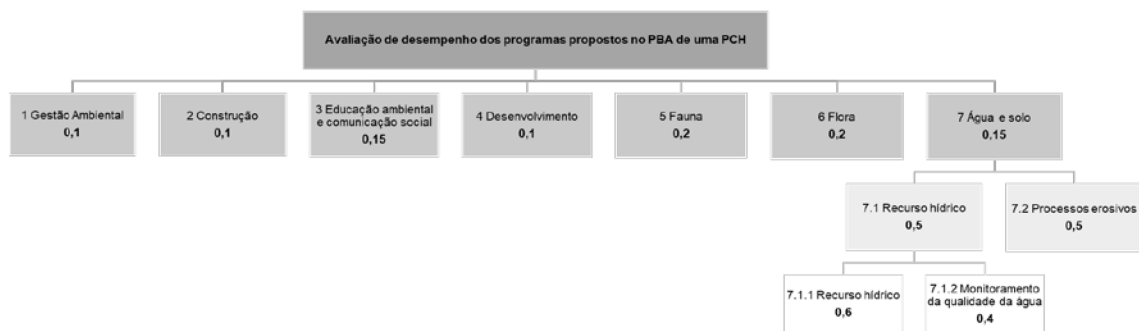


Figura 50 - Taxas de compensação para todos os PVE's do PVF 7 "Água e solo". Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Apêndice E – Avaliação global do PBA da PCH Cantu 2

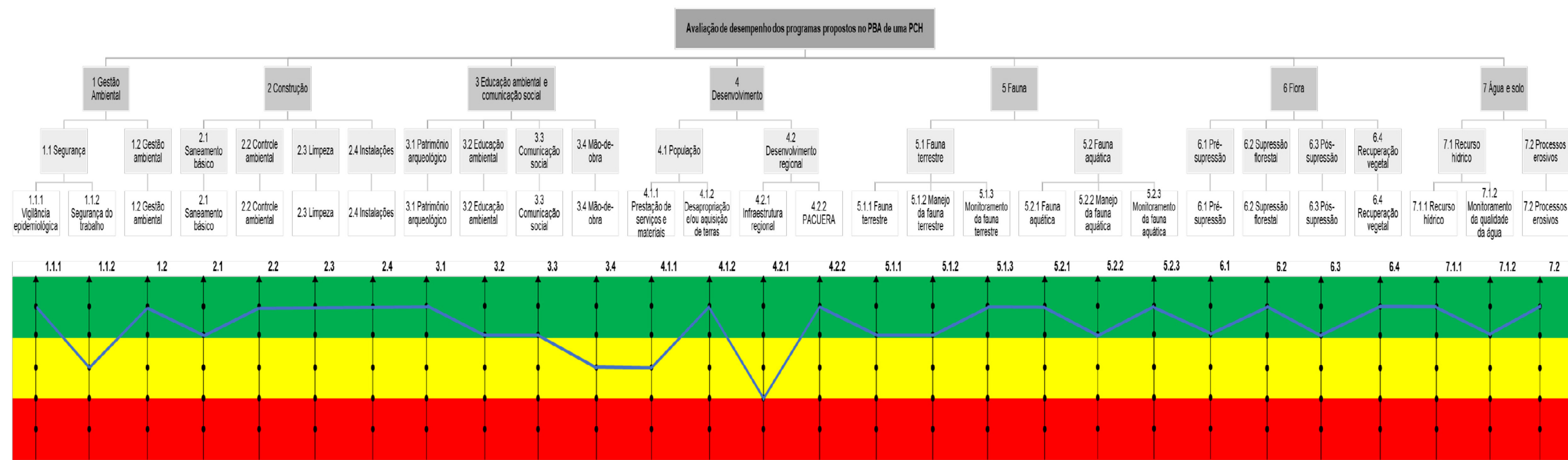


Figura 51 - Avaliação global do PBA da PCH Cantu 2. Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

