UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE
DE RIBEIRÃO PRETO
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO DE ORGANIZAÇÕES

KAIO GUILHERME CUOGHI

Avaliação das alternativas na construção da Usina Hidrelétrica Belo Monte pela aplicação de
métodos multicritério de análise da decisão

ORIENTADOR: PROF. DR. ALEXANDRE BEVILACQUA LEONETI

RIBEIRÃO PRETO

2015

Prof. Dr. Marco Antonio Zago
Reitor da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Dante Pinheiro Martinelli
Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade
de Ribeirão Preto

Prof. Dr. Sonia Valle Walter Borges de Oliveira
Chefe do Departamento de Administração

KAIO GUILHERME CUOGHI

Avaliação das alternativas na construção da Usina Hidrelétrica Belo Monte pela aplicação de métodos multicritério de análise da decisão

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração de Organizações da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências.

ORIENTADOR: PROF. DR. ALEXANDRE BEVILACQUA LEONETI

Versão Corrigida. A original encontra-se disponível na FEA-RP/USP.

RIBEIRÃO PRETO

2015

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo da Publicação

Serviço de Documentação

Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade
da Universidade de São Paulo de Ribeirão Preto

Cuoghi, Kaio Guilherme

Avaliação das alternativas na construção da Usina Hidrelétrica Belo Monte pela aplicação de métodos multicritério de análise da decisão, (2015).

74 f. : fig.

Dissertação de Mestrado, apresentada à Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo.

Orientador: Leoneti, Alexandre Bevilacqua

1. Tomada de decisão. 2. Métodos multicritério. 3. Métodos de Estruturação de Problema. 4. ELECTRE III 5. Teoria de jogos. 6. Usina Hidrelétrica Belo Monte.

NOME: CUOGHI, Kaio Guilherme

Título: Avaliação das alternativas na construção da Usina hidrelétrica Belo Monte pela aplicação de métodos multicritério de análise da decisão

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração de Organizações da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovado em: 14/12/2015.

Banca examinadora

Prof. Dr. Denis Borenstein

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Prof. Dr. Luiz César Ribas

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)

Profa. Dra. Sonia Valle Walter Borges de Oliveira

Universidade de São Paulo (USP)

A meu pai Antonio Benedito Cuoghi (in memoriam)

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Alexandre Bevilacqua Leoneti pela oportunidade que me foi dada, pela confiança, pela exímia orientação e pelo profissionalismo.

À Profa. Dra. Sonia Valle Walter Borges de Oliveira, ao Prof. Dr. Denis Borenstein e ao Prof. Dr. Luiz César Ribas pelas contribuições valorosas.

Ao Prof. Dr. Ildeberto Aparecido Rodello pelos ensinamentos compartilhados.

Aos professores Marcel Brito e Roberto Louzada, da UNESP - Câmpus de Jaboticabal, pelos ensinamentos compartilhados e pela amizade.

À USP pelos conhecimentos adquiridos durante o mestrado.

À UNESP pelos conhecimentos adquiridos durante a graduação e durante o serviço público.

Àquele que sempre me estimulou e inspirou, meu amado pai Antonio Benedito Cuoghi.

A minha amada mãe Cecília Aparecida Costa Cuoghi por todo apoio, paciência e superação em todas as dificuldades.

A minha amada Camila Sthéfanie Colombo por toda paciência, ajuda, dedicação e companheirismo nos momentos mais difíceis.

A meus amigos de longa data Rafael Neves, João Vittor, Breno, Allan, Allan Filho, Guilherme Destro, Rafael Matheus, Guilherme Guardia, Gustavo, Pedro, Rafael Fonseca e Gabriel pela amizade e descontração nos momentos difíceis.

A meus amigos do “3/2”, Felipe Sabadini e Aislan Aguiar, e a meus amigos de faculdade, Carlos Valente, Rudge Bueno e Rodrigo Rabelo pela amizade, pela descontração e pelos conhecimentos compartilhados.

Aos professores Rodrigo Tanaka, Andre Banhos e Maria Olívia Cremonini, do Colégio Objetivo Catanduva, pelos ensinamentos compartilhados e pelo incentivo ao desenvolvimento de minhas potencialidades.

A todos os funcionários administrativos e professores da FEA-RP/USP pela qualidade na oferta do serviço público.

A todos os funcionários administrativos e professores da UNESP - Câmpus de Jaboticabal pelas amizades construídas e pelos ensinamentos compartilhados.

Ao governo do estado de São Paulo e a seus cidadãos contribuintes pelo ensino público gratuito.

A todos os demais que contribuíram, direta ou indiretamente, para o desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

CUOGHI, K. G. **Avaliação das alternativas na construção da Usina hidrelétrica Belo Monte pela aplicação de métodos multicritério de análise da decisão**. 2015. 74 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2015.

A Amazônia é a maior floresta tropical ainda existente no mundo e oferece diversos serviços ambientais. No Brasil, suas bacias hidrográficas são fontes do maior potencial de geração de energia elétrica ainda não utilizado por meio de usinas hidrelétricas. Nesse contexto, destaca-se, atualmente, a construção da Usina Hidrelétrica (UHE) Belo Monte como uma obra de escolha emblemática no país, marcada por diversos conflitos e que apresenta impactos diversificados que repercutirão em modificações permanentes na biodiversidade da Amazônia. Assim, o objetivo geral desta pesquisa foi realizar a aplicação de dois métodos MCDA - o ELECTRE III, não compensatório; e um método de abordagem em grupo baseado na Teoria de Jogos com uso do Equilíbrio de Nash nas alternativas de construção da UHE Belo Monte, visando demonstrar em que medida os métodos MCDA podem ser utilizados para a análise desse processo de tomada de decisão em grupo. Para isso, foram identificados os principais problemas envolvidos na construção da UHE Belo Monte e estruturadas duas matrizes de decisão com suas alternativas e critérios, que foram aplicadas aos dois métodos MCDA. Foi observado que a alternativa de área do reservatório de 516 km², que foi a de fato adotada na construção da UHE em questão, foi avaliada como a alternativa mais adequada na abordagem em grupo e na maioria das abordagens individuais dos jogadores para ambos os métodos. Já a alternativa de vazões muito próximas às naturais do rio, que não foi a adotada na construção da UHE Belo Monte, foi avaliada como a alternativa mais adequada na abordagem em grupo e na abordagem individual de todos os jogadores. As contribuições desta pesquisa referiram-se à realização da modelagem do problema complexo da UHE Belo Monte; à demonstração que os métodos MCDA podem consistir em uma etapa primordial na discussão de problemas complexos; a auxiliar gestores no processo decisório que, muitas vezes, têm como mecanismo de fomento de suas decisões documentos técnicos e específicos; e a possibilitar uma maior participação formal de vários tomadores de decisão.

Palavras-chave: ELECTRE III. Métodos multicritério. Teoria de Jogos. Tomada de decisão. Usina Hidrelétrica Belo Monte.

ABSTRACT

CUOGHI, K. G. Assessment of alternatives in the construction of Belo Monte Dam Complex through the application of decision analysis multicriteria methods. 2015. 74 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2015.

Amazon is the largest existing rainforest in the world and offers several essential ecosystem services. In Brazil, Amazon watersheds are sources of the greatest potential of electric power supply that dam complexes have not used yet. In this context, the construction of Belo Monte Dam Complex shall be highlighted as an iconic project in Brazil, although marked by several conflicts due to its generation of permanent diversified environmental impacts in Amazonian biodiversity. This way, the general objective of this research was to analyze the application of two MCDA methods to demonstrate to what extent those methods may be used to analyze the referred decision-making process. The methods used were ELECTRE III, a non-compensatory method; and a group approach Game Theory-based method that used Nash Equilibrium on the alternatives of the construction of Belo Monte Dam Complex. Therefore, the main problems involved in the construction of the facility were identified. Also, two decision matrixes were created, with its alternatives and criteria, and applied to both MCDA methods. It was observed that the alternative concerning the 516 km² reservoir area, which was the real one adopted in the construction of the referred facility, was considered the most appropriate alternative in group approach as well as in the opinion of most players in the individual approaches for both methods. The alternative concerning flows close to the river's natural ones, which was not adopted on the construction of Belo Monte Dam Complex, was identified as the most appropriate alternative on group approach as well as in the opinion of all players in individual approach. The contributions provided by this study are: the provision of the modelling of Belo Monte Dam Complex problem; the demonstration that MCDA methods may consist in a primarily step in discussions concerning complex problems; the provision of help for managers on decision-making process who often underlie their fostering decision mechanisms in technical and specific documents; and the allowance of a greater formal participation of several decision makers in the decision-making processes.

Palavras-chave: ELECTRE III. MCDA methods. Game Theory. Decision Making. Belo Monte Dam Complex.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura de objetivos para reduzir as concentrações de monóxido de carbono.....	47
Figura 2. Definições utilizadas em diagramas de influência.....	51
Figura 3. Árvore para determinação da viabilidade do desenvolvimento de diferentes tipos de motores.....	52
Figura 4. Diagrama de influência para problema de cálculo de produção.....	54
Figura 5. Árvore de decisão para problema de cálculo de produção.....	54
Figura 6. Arranjo Geral da Usina Hidrelétrica Belo Monte.....	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Fases dos estudos de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas.....	62
Quadro 2. Descrição das formas de coleta de dados.....	78
Quadro 3. Partes principais do problema na construção da UHE Belo Monte.....	81
Quadro 4. Problemas principais na construção da UHE Belo Monte.....	82
Quadro 5. Alternativas da matriz de decisão 1 – Área do reservatório.....	83
Quadro 6. Alternativas da matriz de decisão 2 – Vazões no rio Xingu.....	84
Quadro 7. Critérios/atributos iniciais.....	85
Quadro 8. Hierarquização dos objetivos fundamentais, fins e meios.....	92
Quadro 9. Objetivos e critérios selecionados.....	93
Quadro 10. Alternativas consideradas na matriz de decisão da área do reservatório.....	98
Quadro 11. Jogadores considerados na matriz de decisão da área do reservatório.....	98
Quadro 12. Ordenação das alternativas da matriz de decisão da área do reservatório pelo método ELECTRE III.....	99
Quadro 13. Alternativas consideradas na matriz de decisão da vazão no rio Xingu.....	99
Quadro 14. Jogadores considerados na matriz de decisão da vazão no rio Xingu.....	99
Quadro 15. Ordenação das alternativas da matriz de decisão da vazão no rio Xingu pelo método ELECTRE III.....	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Especialistas para os quais o Apêndice 1 foi enviado.....	77
Tabela 2. Critérios/atributos selecionados.....	88
Tabela 3. Critérios/atributos adaptados e considerados nas matrizes de decisão.....	90
Tabela 4. Medição dos critérios das dimensões socioambientais da matriz de decisão da área.....	95
Tabela 5. Medição dos critérios das dimensões técnico-econômicas da matriz de decisão da área.....	95
Tabela 6. Medição dos critérios dimensões socioambientais da matriz de decisão da vazão.....	96
Tabela 7. Medição dos critérios das dimensões técnico-econômicas da matriz de decisão da vazão.....	96
Tabela 8. Pesos dos tomadores de decisão pelo método de pesos ROC para aplicação dos métodos.....	97
Tabela 9. Equilíbrios da matriz de decisão da área do reservatório pelo método baseado na Teoria de Jogos.....	101
Tabela 10. Equilíbrios da matriz de decisão da vazão no rio Xingu pelo método baseado na Teoria de Jogos.....	101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAI	Avaliação Ambiental Integrada
ADA	Áreas diretamente afetadas
AHP	<i>Analytical Hierarchy Process</i>
AID	Área de influência direta
AL	Alagoas
AMD	Apoio Multicritério à Decisão
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BE	Base econômica
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CATWOE	<i>Customers, Actors, Transformation, World view, Owners and Environment</i>
CAUSE	<i>Criteria, Alternatives, Uncertainties, Stakeholders and Environmental factors or constraints</i>
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CHESF	Companhia Hidro-Elétrica do São Francisco
CTU	Características técnicas da usina
EA	Ecossistemas aquáticos
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
ELECTRE	<i>ELimination Et Choix Traduisant la REalité</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ET	Ecossistemas terrestres
FAPESPA	Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISA	Instituto Socioambiental
LTDA	Limitada
MAPPAC	<i>Multicriterion Analysis of Preferences by means of Pairwise Actions and Criterion comparisons</i>
MAUT	<i>Multi-Attribute Utility Theory</i>
MCDA	<i>Multiple-Criteria Decision Analysis</i>
MCDM	<i>Multiple-Criteria Decision Making</i>

MG	Minas Gerais
MME	Ministério de Minas e Energia
MV	Modos de vida
MW	Megawatt
MWh	Megawatt-hora
NESA	Núcleo de Estudos Socioambientais
OCDE	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ORESTE	<i>Organisation, rangement et synthèse de données relationnelles</i>
OT	Organização territorial
PA	Pará
PCH	Pequenas centrais hidrelétricas
PIT	População indígena e população tradicional
PRAGMA	<i>Preference Ranking Global Frequencies in Multicriterion Analysis</i>
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations</i>
PSMs	<i>Problem Structuring Methods</i>
RO	Rondônia
ROC	<i>Rank-Order Centroid</i>
RS	Rio Grande do Sul
S.A.	Sociedade Anônima
SANNA	<i>Microsoft Excel Based System for Multicriteria Evaluation of Alternatives</i>
SC	Santa Catarina
SCA	<i>Strategic Choice Approach</i>
SIN	Sistema Elétrico Nacional
SODA	<i>Strategic Options Development and Analysis</i>
SSM	<i>Soft System Methodology</i>
SSMA	<i>Soft System Methodology in Action</i>
STRAD	<i>Strategic Advisor</i>
TACTIC	<i>Treatment of the Alternatives according to the Importance of Criteria</i>
TO	Tocantins
TOPSIS	<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
UHE	Usina Hidrelétrica
VFT	<i>Value-Focused Thinking</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

km²	Quilômetros quadrados
kW	Quilowatt
KWh/hab	Quilowatt/hora/habitante
m³/s	Metro cúbico por segundo
R\$	Reais
tep	Tonelada equivalente de petróleo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	27
1.1	Justificativa	30
1.2	Problema de pesquisa	32
1.3	Objetivos	32
1.4	Estrutura da dissertação.....	32
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	35
2.1	Métodos Multicritério de Análise da Decisão (métodos MCDA)	35
2.1.1	MAUT (Multiattribute Utility Theory)	36
2.1.2	ELECTRE (Elimination et Choice Traduisant la Realité)	36
2.1.3	PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations).....	38
2.1.4	AHP (Analytic Hierarchy Process)	39
2.1.5	TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)	40
2.1.6	Método MCDA baseado na Teoria de Jogos e Equilíbrio de Nash	41
2.2	Métodos de Estruturação de Problema (<i>Problem Structuring Methods</i> – PSMs).....	42
2.2.1	SODA (Strategic Options Development and Analysis)	42
2.2.2	SSM (Soft System Methodology)	43
2.2.3	SCA (Strategic Choice Approach)	44
2.2.4	VFT (Value-Focused Thinking).....	45
2.3	Técnicas de estruturação de matriz para aplicação de métodos MCDA	49
2.3.1	Técnicas de estruturação de matriz relacionadas à árvore de valor	49
2.3.2	Técnicas de estruturação de matriz relacionadas aos atributos	55
2.3.3	Técnicas de estruturação de matriz relacionadas às alternativas	57
2.4	A hidroeletricidade no Brasil	58
2.4.1	Critérios de sustentabilidade no setor elétrico brasileiro	61
2.5	Repercussões da construção da Usina Hidrelétrica (UHE) Belo Monte.....	63
3	METODOLOGIA	67
3.1	Natureza e tipo da pesquisa.....	67

3.2	Contexto e objeto de pesquisa: Usina Hidrelétrica (UHE) Belo Monte.....	67
3.3	Procedimentos para a elaboração e análise do problema	72
3.4	Procedimentos e instrumentos de coleta e geração de dados	76
4	RESULTADOS	81
4.1	Formação das matrizes de decisão.....	81
4.1.1	Problemas principais na construção da UHE Belo Monte	81
4.1.2	Alternativas adotadas na construção da UHE Belo Monte e alternativas opcionais	82
4.1.3	Critérios ambientais, sociais, econômicos e técnicos para a construção de uma usina hidrelétrica.....	84
4.1.4	Validação dos critérios escolhidos pelo VFT	92
4.1.5	Matrizes de decisão para a área do reservatório e vazão no rio Xingu	95
4.2	Aplicação dos métodos MCDA.....	96
4.2.1	Medição dos pesos dos tomadores de decisão.....	97
4.2.2	Ordenação das alternativas das duas matrizes de decisão pelo método ELECTRE III..	98
4.2.3	Ordenação das alternativas das duas matrizes de decisão pelo método baseado na Teoria de Jogos.....	100
5	DISCUSSÃO	103
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	107
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
	APÊNDICE A.....	129
	APÊNDICE B	137

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia é a maior floresta tropical ainda existente no mundo (DIAS et al., 2015) e oferece, como serviços ambientais, a manutenção da biodiversidade, o armazenamento de carbono e a preservação do ciclo d'água (FEARNSIDE, 2005). No Brasil, suas bacias hidrográficas são fontes do maior potencial de geração de energia elétrica ainda não utilizado por meio de usinas hidrelétricas (UHEs) (EPE, 2015b). Considerando que grandes projetos de engenharia se tornam opções para geração de desenvolvimento econômico em países de industrialização tardia (MORETTO et al., 2012), destaca-se, atualmente, a construção da Usina Hidrelétrica (UHE) Belo Monte como uma obra emblemática no país e marcada por diversos conflitos (FLEURY; ALMEIDA, 2013; HALL; BRANFORD, 2012).

Os temas conflituosos presentes na construção da UHE Belo Monte referem-se: (i) à influência da mesma no crescimento da Amazônia; (ii) a como foram tomadas as decisões no processo de escolha do empreendimento; (iii) a quem foram os consultados no processo de escolha do empreendimento; (iv) a quem será o principal consumidor da energia gerada; e (v) à viabilidade econômica do empreendimento (FRANCO; FEITOSA, 2013). Os protestos de movimentos sociais e/ou de povos indígenas, as ações judiciais e as mudanças na política energética e/ou econômica que ocorreram desde o início do empreendimento foram expressões desses conflitos (FLEURY; ALMEIDA, 2013).

Dentre as razões para os conflitos, cita-se o fato de que a construção da UHE Belo Monte apresenta impactos diversificados (FEARNSIDE, 2006) que repercutirão em modificações permanentes na biodiversidade da Amazônia (CUNHA; FERREIRA, 2012). Por exemplo, o alagamento da área para a construção do reservatório e a alteração das vazões na Volta Grande do rio Xingu já foram apontados como grandes impactos ambientais causados pela construção da usina (CUNHA; FERREIRA, 2012). Outros diversos impactos sociais e econômicos também estão presentes e foram discutidos por vários estudos (HALL; BRANDFORD, 2012; FRANCO; FEITOSA, 2013; BARROS; RAVENA, 2011; RANDELL, 2015; SANTOS; HERNANDEZ, 2009). Observa-se, assim, que a construção da UHE Belo Monte engloba interesses antagônicos e que contém variada discussão sobre sua sustentabilidade.

Nesse contexto, a Pesquisa Operacional – ciência que auxilia e faz a análise da decisão – pode ser utilizada para auxiliar os tomadores de decisão na escolha de alternativas que possuem vários critérios (GOMES; GOMES, 2012). Dentre algumas das correntes teóricas existentes para a análise da decisão, destacam-se a Teoria de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) e a Teoria de Jogos (GOMES; GOMES, 2012). No que concerne ao estudo da Teoria

de AMD, há, basicamente, duas escolas. A primeira, intitulada “Escola Europeia de Métodos Multicritério de Apoio à Decisão” (*Multiple Criteria Decision Aid (MCDA) European School*), é ligada a uma abordagem construtivista que visa à elucidação e ao maior entendimento do problema, fazendo, para isso, recomendações que são somadas aos próprios valores e objetivos dos tomadores de decisão. Já a escola denominada “Escola Estadunidense de Métodos Multicritério de Tomada de Decisão” (*Multiple Criteria Decision Making (MCDM) American School*) é prescritiva e preocupa-se em demonstrar exatidão nas respostas, que são validadas pelas respostas fornecidas pelos métodos (ROY; VANDERPOOTEN, 1996).

É válido ressaltar que a expressão “Análise da Decisão Multicritério” (*Multiple Criteria Decision Analysis (MCDA)*) – em oposição aos termos “apoio” e “tomada” – é empregada para referir-se, indistintamente, aos métodos de ambas as escolas (FIGUEIRA; GRECO; EHRGOTT, 2005). Os Métodos Multicritério de Análise da Decisão (Métodos MCDA¹) nasceram no final da década de 1950 e tiveram seus primeiros usos na Europa, no começo da década de 1970, focados em aplicações na área de planejamento regional, de arquitetura e de problemas de transporte e investimento (ROY; VANDERPOOTEN, 1996). A Escola europeia iniciou-se em 1957 com a criação da *SMA Company*, que veio a se tornar a *European Company SEMA*, tendo como um dos seus principais métodos elaborados o ELECTRE (acrônimo de *Elimination et Choix Traduisant la Réalité* – Eliminação e Escolha Expressando Realidade). A família destes métodos ficou conhecida como métodos de *outranking* (sobreclassificação ou superação), característica marcante dos métodos elaborados pela escola europeia (ROY; VANDERPOOTEN, 1996). Outros métodos de sobreclassificação foram desenvolvidos na mesma corrente teórica, tais como QUALIFLEX, ORESTE, MELCHIOR, TACTIC, MAPPAC, PRAGMA, N-TOMIC, ELECCALC, e PROMETHEE, com destaque para este último (ROY; VANDERPOOTEN, 1996). Já na década de 1980, ganha relevância a escola estadunidense, que tem como principal método o AHP (*Analytic Hierarchy Process*), um dos mais utilizados na atualidade conforme aponta uma revisão realizada acerca de seus anos de uso (HUANG; KEISLER; LINKOV, 2011).

A utilização dos métodos MCDA cresceu significativamente da década de 1990 até o fim da primeira década dos anos 2000, passando de uma média de dois artigos por ano para mais de 200 artigos por ano de acordo com as publicações de artigos disponíveis no banco de dados da *Web of Science* (HUANG; KEISLER; LINKOV, 2011). Grande parte deste interesse

1 Optou-se pela utilização do termo “Métodos Multicritério de Análise da Decisão” ao longo do texto. Assim, a abreviação MCDA em “Métodos MCDA” foi utilizada como sinônimo de *Multiple Criteria Decision Analysis*, remetendo-se a ambas as escolas, europeia e estadunidense.

deveu-se à possibilidade de aplicações em várias áreas de conhecimento, passando pelas áreas privadas e públicas, especialmente quando a decisão envolvia problemas ambientais (SPRONK; STEUER; ZOPOUNIDIS, 2005; CANADA, 2013; DCLG, 2009; MME; CEPEL, 2007).

No entanto, é válido destacar que a maioria das pesquisas tem por foco a resolução de problemas, dando menos importância à parte de formulação e estruturação dos mesmos (BELTON; STEWART, 2002; MONTIBELLER et al., 2009). Assim, diante dessa despreocupação e considerando que há uma limitação da mente humana na análise dos problemas (SIMON, 1982), nota-se a existência de uma área importante e ainda pouco explorada no contexto de aplicação dos métodos: a discussão de como os problemas iniciais, principalmente os complexos, são estruturados antes da aplicação dos métodos MCDA. Ensslin, Montibeller e Noronha (2001) ensinaram várias discussões sobre as etapas de estruturação que devem ocorrer anteriormente à aplicação dos métodos; e Almeida et al. (2012) já utilizaram Métodos de Estruturação de Problema (*Problem Structuring Methods* – PSMs), como SODA, SSM, SCA, *Drama Theory* e *Value-Focused Thinking*, a fim de discutir uma estruturação padronizada. Ressalta-se que as aplicações desses PSMs foram variadas e estenderam-se por áreas ambientais, de saúde, de saneamento, de planejamento e de tecnologia da informação (BRYANT, 1997; HJORTSO, 2004; LEVINO; MORAIS, 2011; TORLAK; MÜCELDILI, 2014; SURIYA; MUDGAL, 2013; ARVAI; GREGORY; MCDANIELS, 2001).

Os PSMs utilizam-se de um processo para representar versões alternativas de situações complexas de interesse comum, combinado a facilitadores que permitem ajustes mútuos e construtivos (ALMEIDA et al., 2012). Além disso, promovem uma representação do problema, o que constitui uma forma para se estruturar a matriz inicial dos métodos MCDA, como o uso conjunto da *Soft System Methodology* e do *Value-Focused Thinking* em Neves et al. (2009) e a utilização deste último em conjunto com o AHP em Kajanus, Kanga e Kurtilla (2004). Além dos PSMs, também estão presentes na teoria de Métodos de Estruturação de Problema as técnicas de formação de matriz que atuam de maneira mais específica na relação com os métodos MCDA, proporcionando a formação de árvore de valores, atributos e/ou alternativas (FRANCO; MONTIBELLER, 2009; MONTIBELLER et al., 2009).

1.1 Justificativa

A importância das UHEs no Brasil atrela-se a motivos variados. Dentre eles, destacam-se o fato de serem elas uma fonte de energia renovável² de grande presença na matriz energética no país, a sua grande participação na geração de energia elétrica, o alto potencial de geração de energia elétrica a partir dessa fonte e o aumento do consumo kWh/hab observado nos últimos anos. Dos 39,4% de fontes de energia renovável brasileira em 2014, 15,7% referiram-se à biomassa da cana-de-açúcar e 11,5%, às fontes hidráulicas (UHEs) (EPE, 2015b). No mesmo ano, em relação ao total de oferta interna de eletricidade por fonte, 65,2% foi proveniente do potencial hidráulico (EPE, 2015b). Quanto ao potencial hidráulico brasileiro de geração de energia, tem-se 247.242 MW, tendo estado 91.480 MW (37%) em operação no ano de 2014 (EPE, 2015b). Além disso, o consumo per capita aumentou mais de 10% de 2010 para 2014, passando de 2388 kWh/hab em 2010 para 2630 kWh/hab em 2014 (EPE, 2015a).

O tema da hidroeletricidade brasileira está presente em vários estudos encontrados na literatura, dentre os quais alguns abordam a temática dos métodos MCDA (FROTA et al., 2014; WESTIN; SANTOS; MARTINS, 2014; SILVÉRIO; RODRIGUES, 2013; RIBAS; PINHEIRO, 2013). Os métodos MCDA associados à temática de hidroelétricas no Brasil foram utilizados em Calili et al. (2010), Silvério e Rodrigues (2013) e Ribas e Pinheiro (2013), porém, como se nota, são estudos que não esgotaram a discussão do tema envolvendo grandes UHEs.

O processo de decisão na construção de usinas hidrelétricas com grandes reservatórios ao redor do mundo já foi alvo de variados questionamentos (FEARNSIDE, 2006). A UHE Belo Monte é um desses casos, pois apresenta diversas críticas em relação ao seu processo de tomada de decisão na construção do empreendimento (BARROS; RAVENA, 2011; HALL; BRANDFORD, 2012; FRANCO; FEITOSA, 2013). Assim, a aplicação de métodos MCDA poderia contribuir para ampliar e deixar mais transparente as discussões sobre a tomada de decisão do empreendimento.

Ressalta-se que os estudos sobre métodos MCDA na área ambiental são bem numerosos. Citam-se as aplicações para escolha de fontes de energia renovável (PAPADOPOULOS; KARAGIANNIDIS, 2008; BECCALI; CELLURA; MISTRETTA, 2003); escolha das melhores barragens a serem removidas (HOENKE; KUMAR; BATT, 2014); escolha de melhor alternativa de combustíveis (TSITA; PILAVACHI, 2012); e escolha de melhor rede de conexão sem fio, baseando-se em critérios ambientais (CHAMODRAKAS; MARTAKOS, 2012). Assim como nestes artigos, a maioria dos estudos com aplicações dos métodos MCDA em casos

² Nesse contexto, a classificação como energia renovável foi feita de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética.

teóricos ou reais encontrados nas bases de dados Scopus, *Web of Science*, *Science Direct* e *Scielo* apresenta alternativas que são claramente definidas e não inclui discussão ou processo formal de formação de critérios. Ou seja, a utilização de PSMs, de técnicas de formação de matriz ou de outros procedimentos formais não é abundantemente disseminada pelos artigos. Muitas vezes, sequer são discutidos os porquês de tais critérios serem utilizados em detrimento de outros ou os porquês de tais alternativas serem escolhidas. Dessa forma, a maioria das aplicações dos métodos MCDA refere-se a casos menos complexos, cujas alternativas já estão definidas, como na escolha de um fornecedor ou na comparação de uma alternativa tecnológica frente outra. Portanto, a análise de um problema que apresente alternativas não claramente definidas e cuja formação de critérios e alternativas seja feita por um processo formal constitui uma importante aplicação para a área.

Ainda sobre o contexto de utilização dos métodos MCDA tradicionais, nota-se que os mesmos apresentam uma dificuldade para auxiliar as decisões em grupo por não considerarem os conflitos entre as partes, adotando um princípio de homogeneidade entre os tomadores de decisão. De forma geral, estes métodos utilizam a agregação de critérios em um único vetor de peso, não sendo consideradas as opiniões divergentes de forma adequada (SRDJEVIC, 2007). A fim de propor uma solução para este problema, Leoneti (2012, 2015) desenvolveu um método MCDA, modelado a partir da Teoria de Jogos, para ser aplicado a vários tomadores de decisão. Nesta abordagem, a opinião dos principais tomadores de decisão envolvidos no problema de escolha é solucionada pelo Equilíbrio de Nash, propiciando a escolha como um processo de consenso em grupo, considerando os diferentes critérios de sustentabilidade (econômicos, sociais e ambientais). O referido método foi utilizado na área de saneamento básico com a determinação da melhor tecnologia para estação de tratamento de esgoto em municípios (LEONETI, 2012). Assim, destaca-se que o uso de um método MCDA que considere as decisões tomadas de maneira estratégica, como a abordagem de Leoneti (2012, 2015), ainda não foi utilizado em uma situação onde há opiniões divergentes dos envolvidos e/ou afetados na e pela decisão, sendo adequada uma aplicação do mesmo em conjunto com um método bem conhecido, como o ELECTRE III, que apresenta resultados estáveis (KARAGIANNIDIS; MOUSSIOPOULOS, 1997; LEONETI, 2014).

O estudo, assim, amparou-se nas seguintes justificativas: (i) a importância das usinas hidrelétricas brasileiras; (ii) a escassez de estudos que relacionam usinas hidrelétricas de grandes impactos com métodos MCDA; (iii) a necessidade de maiores discussões sobre processos formais de criação de matrizes de decisão (critérios e alternativas) na aplicação dos métodos MCDA; (iv) a aplicação de um método emergente baseado na teoria dos jogos para

apoiar a decisão em grupo de problemas multicritério; e (v) as novas discussões sobre métodos MCDA que abordam problemas em grupo com envolvidos que apresentem opiniões divergentes.

1.2 Problema de pesquisa

Esta pesquisa propôs-se a responder a questão: “Em que medida os métodos MCDA podem ser utilizados para a análise do processo de tomada de decisão das alternativas na construção da UHE Belo Monte?”.

1.3 Objetivos

O objetivo geral da pesquisa foi realizar a aplicação de dois métodos MCDA - o ELECTRE III, não compensatório; e o método proposto em Leoneti (2012, 2015), baseado na Teoria de Jogos com uso do Equilíbrio de Nash - nas alternativas de construção da UHE Belo Monte. As aplicações visaram demonstrar que os métodos MCDA podem ser utilizados em um problema ambiental complexo como apoio ao processo de tomada de decisão. Não houve a intenção de validar a construção da UHE Belo Monte, o Estudo de Impacto Ambiental, os pareceres técnicos de órgãos ambientais ou o licenciamento ambiental do empreendimento.

O objetivo específico referiu-se à estruturação do problema da UHE Belo Monte em matrizes de decisão com suas alternativas e critérios a fim de possibilitar a aplicação dos métodos MCDA. Para a formação dessas matrizes, foi necessário: (i) identificar os problemas envolvidos na construção da UHE Belo Monte; (ii) identificar as alternativas que foram de fato adotadas no empreendimento; (iii) identificar as alternativas opcionais em substituição às adotadas; (iv) identificar os critérios adequados para o problema; (v) medir os critérios definidos para cada uma das alternativas; e (vi) encontrar os pesos para cada um dos critérios definidos a partir da visão de especialistas de diferentes áreas do conhecimento.

1.4 Estrutura da dissertação

As seções que compõem este trabalho estão organizadas da seguinte maneira: Introdução, Revisão Bibliográfica, Metodologia, Resultados, Discussões e Considerações Finais. A seção de Referencial Teórico apresenta os diversos métodos MCDA, os PSMs, as técnicas de estruturação de matriz e a temática da hidroeletricidade no Brasil. A seção de Metodologia comporta a natureza e o tipo de pesquisa realizada, o contexto e o objeto de pesquisa em questão, bem como os procedimentos para análise do problema e coleta de dados. A seção de Resultados, por sua vez, aborda a formação das matrizes de decisão e as aplicações

dos métodos MCDA enquanto a de Discussões correlaciona os resultados encontrados ao referencial teórico. Por fim, a seção de Considerações Finais traz uma resposta à questão que guiou o desenvolvimento da pesquisa, bem como um resumo dos resultados com considerações, encaminhamentos e limitações da pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A primeira parte do referencial teórico foca nos aspectos da resolução e estruturação de problemas multicritério, sendo dividida em: (i) descrição dos principais métodos MCDA, (ii) descrição do método proposto em Leoneti (2012, 2015), (iii) descrição dos principais PSMs, com destaque para o *Value-Focused Thinking* e (iv) descrição das técnicas de estruturação de matriz para aplicação de métodos MCDA. Já a segunda parte do referencial teórico aborda as características da hidroeletricidade no Brasil e, mais especificamente, repercussões da construção da UHE Belo Monte.

2.1 Métodos Multicritério de Análise da Decisão (métodos MCDA)

Pensadores antigos, como Aristóteles, Platão e Tomás de Aquino, já discutiam sobre o processo de decisão do ser humano. Este processo, abordado de diferentes formas na história, mais recentemente é repensado nos estudos sobre os métodos MCDA, que têm sido utilizados para apoiar o processo decisório (FIGUEIRA; GRECO; EHRGOTT, 2005). No âmbito privado, por exemplo, os métodos AHP, ELECTRE e PROMETHEE foram utilizados como instrumentos para melhorar a decisão de portfólio de investimentos de firmas e investimentos pessoais (SPRONK; STEUER; ZOPOUNIDIS, 2005). No que tange à temática organizacional, há artigos recentes publicados para a escolha de fornecedores, com o uso do AHP (LEE, 2009; HO; DEY; LOCKSTROM, 2011; ORDOOBADI, 2010), do TOPSIS (BORAN et al., 2009; OPRICOVIC; TZENG, 2004) e do ELECTRE (LIU; ZHANG, 2011). No âmbito público, citam-se os exemplos do Comitê Federal do Canadá para Ações em Áreas contaminadas, que também utilizou uma abordagem de métodos multicritério (CANADA, 2013); do governo da Inglaterra, que estimulou o uso destes métodos na administração pública, como demonstrou a publicação de um manual abordando especificamente o assunto em 2000, atualizado em 2009 (DCLG, 2009); e, no Brasil, na presença do método AHP numa etapa do Manual de Inventário de Bacias Hidroelétricas com participação em sua elaboração do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) (MME; CEPEL, 2007). Ainda em termos de Brasil, recentemente, na área ambiental, houve a utilização do método AHP no estudo de gerenciamento de água de mineração (FREITAS; MAGRINI, 2013). Tais estudos demonstram brevemente a crescente utilização dos métodos MCDA na área acadêmica, na prática da administração pública, nas organizações e na área ambiental.

Para uma melhor compreensão dos métodos MCDA, nas subseções a seguir é apresentada uma revisão de literatura de alguns dos métodos mais relevantes atualmente (MAUT, ELECTRE, PROMETHEE, AHP e TOPSIS) e de um que se utiliza da Teoria de Jogos

em sua metodologia. A revisão explorou os procedimentos metodológicos dos métodos, além das vantagens e de suas aplicações na área ambiental.

2.1.1 MAUT (*Multiattribute Utility Theory*)

O MAUT (*Multiattribute Utility Theory* – Teoria de Utilidade Multiatributo), proposto por Keeney e Raiffa, apresenta três distintas teorias de preferência multicritério. O método baseia-se em diferentes conjuntos de axiomas que são próprios para diferentes contextos, criando três perspectivas para a teoria, sendo elas: (i) escala ordinal; (ii) força de preferência; e (iii) risco de escolha (DYER, 2005). A fim de diferenciá-las, Keeney e Raiffa desenvolveram estudos em 1976 criando os conceitos de função de valor, referente às duas primeiras, e de função de utilidade, referente ao risco de escolha (DYER, 2005). É importante ressaltar que a base da teoria de utilidade e seus axiomas foram estabelecidos por Neumann e Morgenstern em 1947, que focaram na maneira como os indivíduos deveriam fazer suas decisões (KAILIPONI, 2010). Em um resumo dos procedimentos para uso do MAUT, pode-se destacar a seleção dos atributos, a estimativa da função de utilidade e a avaliação das escalas, sendo inerente a estas a definição da função de utilidade (*Multiattribute Utility Function*) (ANANDA; HERATH, 2005). Como vantagens do método, foi observado o fato de ele não se iniciar com suposições de que as pessoas possuem valores bem definidos e de não precisar de grandes amostras que sejam aleatórias para representar as populações (MCDANIELS, 1996).

Assim como outros métodos MCDA, o MAUT apresenta aplicações na área ambiental. Cita-se o trabalho de Ananda e Herath (2005) que analisou as políticas florestais na Austrália e comparou as decisões do governo com as opiniões dos *stakeholders* sobre os riscos de certas atividades florestais. Outros trabalhos que são válidos de serem mencionados são os estudos de McDaniels (1996), que analisou o impacto ambiental de empresas de energia elétrica no Canadá e o de Hoenke, Kumar e Batt (2014), nos Estados Unidos, o qual identificou as melhores barragens a serem removidas a fim de se restaurar o meio ambiente alterado.

2.1.2 ELECTRE (*Elimination et Choice Traduisant la Réalité*)

O ELECTRE (*Elimination et Choice Traduisant la Réalité* – Eliminação e Escolha Atréadas à Realidade), criado em 1968 por Bernard Roy, é dividido em ELECTRE I, ELECTRE IS, ELECTRE II, ELECTRE III, ELECTRE IV, ELECTRE TRI e ELECTRE A (FIGUEIRA; MOUSSEAU; ROY, 2005), tendo como estudo pioneiro o ELECTRE I em 1978 (ROY, 1978). O ELECTRE I e ELECTRE II foram substituídos, respectivamente, pelo ELECTRE IS e ELECTRE III, sendo o ELECTRE I o primeiro método de análise de decisão

que usou o conceito de sobreclassificação (ROY, 1991). A versão I é usada para problemas de seleção, as versões II, III e IV são empregadas para problemas de classificação e a versão TRI, para problemas de atribuição ou classificação (INFANTE; MENDONÇA; VALLE, 2014). A família de métodos ELECTRE é relevante quando há situações nas quais o tomador de decisão quer um modelo em que há pelo menos três critérios e cujos procedimentos de agregação são mais adaptados a situações em que há mais de cinco critérios e, até mesmo, mais de onze critérios, os quais também devem ser heterogêneos em suas naturezas (FIGUEIRA; MOUSSEAU; ROY, 2005).

O ELECTRE III destaca-se diante das demais versões. Ele é considerado mais completo do que os demais e apresenta resultados mais estáveis (KARAGIANNIDIS; MOUSSIOPOULOS, 1997; LEONETI, 2014), além do fato de que apresentar bons resultados em alguns critérios não compensam resultados ruins em outros (INFANTE; MENDONÇA; VALLE, 2014). O ELECTRE III foi criado para melhorar o ELECTRE II, lidando com imprecisões, incertezas e problemas nas determinações nos dados. Nele, como inovação, houve a introdução de pseudocritérios e a transformação da relação de sobreclassificação em uma relação *fuzzy*, utilizando-se do conceito de concordância e discordância de uma sobreclassificação entre duas ações (FIGUEIRA; GRECO; EHRGOTT, 2005). Mais especificamente, a incorporação da metodologia *fuzzy* na ordenação das alternativas possibilitou a criação do conceito de indiferença na escolha dos limiares (*thresholds*), explicando imprecisões e incerteza nos dados e possibilitando a ponderação dos critérios pelos agentes envolvidos no processo decisório (ROGERS; BRUEN; MAYSTRE, 2000 e INFANTE; MENDONÇA; VALLE, 2014). Assim, o ELECTRE III compreende duas fases: (i) construção da relação de sobreclassificação e (ii) exploração da relação de sobreclassificação. A primeira define o grau da sobreclassificação das variáveis em termos de concordância e discordância e a segunda relaciona-se à ordenação em ranking das opções (ROGERS; BRUEN; MAYSTRE, 2000).

A aplicação da família dos métodos ELECTRE é recorrente em estudos nas diferentes áreas do conhecimento, incluindo agricultura, gerenciamento florestal, finanças, projetos, transporte, medicina, nanotecnologias, energia e de meio ambiente, entre outras (FIGUEIRA; GRECO; EHRGOTT, 2005). Nestas duas últimas, citam-se a aplicação do ELECTRE III na análise de fontes de energia renovável descentralizadas nas ilhas da Grécia, em que foi possível identificar a vantagem da geração de energia elétrica por meio da fonte eólica (PAPADOPOULOS; KARAGIANNIDIS, 2008); a utilização do ELECTRE IS para definição da política de energia em campos da ilha de Córseica na França, em que puderam escolher os

projetos mais relevantes para geração de energia renovável de plantas fotovoltaicas (HAURANT; OBERTI; MUSELLI, 2011); a aplicação do ELECTRE III para escolha da melhor energia renovável na Itália (BECCALI; CELLURA; MISTRETTA, 2003); o uso do ELECTRE III como melhor ferramenta na análise das alternativas para uso dos resíduos sólidos municipais na Grécia (KARAGIANNIDIS; MOUSSIOPOULOS, 1997); e nos estudos de avaliação de impacto ambiental, também na Grécia, país em que foi proposta uma nova forma de uso dos três critérios de limiares atuais do método, por considerarem os autores estes três limiares muito subjetivos (ROGERS; BRUEN, 1998).

2.1.3 PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*)

O método PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations* – Método de Organização de Preferência em Ranking para Enriquecimento das Avaliações) apresentou como marco inaugural o estudo de Jen-Pierre Brans em 1982, apresentado em Quebec no Canadá (BRANS, 1982). O estudo surgiu questionando alguns conceitos do método ELECTRE (VINCKE; BRANS, 1985). As primeiras versões foram o PROMETHEE I e o PROMETHEE II (BRANS; VINCKE; MARESCHAL, 1986). Anos mais tarde, novas versões do método surgiram, como o PROMETHEE V, o PROMETHEE VI e o PROMETHEE GDSS (BRANS; MARESCHAL, 1992; BRANS, 1995; MACARIS; BRANS; MARESCHAL, 1998).

O PROMETHEE também pertence à família dos métodos de sobreclassificação e apresenta basicamente duas etapas: (i) construção da relação de sobreclassificação e (ii) exploração desta para dar uma resposta à maximização do problema multicritério. Na primeira etapa, é construído um índice de preferências e um gráfico, ambos representando a preferência dos tomadores de decisão. Na segunda etapa, é feita a escolha entre o PROMETHEE I e PROMETHEE II a fim de solucionar o problema dos tomadores de decisão (BRANS; VINCKE; MARESCHAL, 1986). O PROMETHEE I dá a classificação parcial das ações enquanto o PROMETHEE II dá a classificação geral. Assim, como princípios do método PROMETHEE, há a ampliação do conceito de critério usando a intensidade de preferência (VINCKE; BRANS, 1985). A família dos métodos PROMETHEE apresenta as mesmas vantagens dos métodos de sobreclassificação, sendo de fácil uso e baixa complexidade devido às comparações pareadas das alternativas (POHEKAR; RAMACHANDRAN, 2004).

Numa revisão de 217 artigos acadêmicos publicados em mais de 100 revistas internacionais desde 1985, artigos esses que utilizaram aplicação do método PROMETHEE e

suas versões, observou-se a preponderância de cerca de 40% de temas na área de gestão ambiental, gestão de águas e hidrologia (BEHZADIAN et al., 2010). Na Índia, o PROMETHEE II foi utilizado numa indústria de manufatura que estava iniciando ações de sustentabilidade, auxiliando na escolha da melhor ação sustentável a ser tomada dentro da empresa, pautando-se em vários critérios de sustentabilidade (VINODH; GIRUBHA, 2012); e, na Grécia, foi utilizado para o estudo de implementação de um parque eólico de geração de energia na região de Troizina (POLATIDIS; HARALAMBOPOLOUS, 2007). O PROMETHEE II também foi utilizado para a escolha das melhores oportunidades de investimento, considerando diferentes países e benefícios, pautadas no mecanismo de desenvolvimento limpo do Protocolo de Kyoto (DIAKOULAKI et al., 2007).

2.1.4 AHP (*Analytic Hierarchy Process*)

O AHP (*Analytic Hierarchy Process* – Processo de Hierarquia Analítica) foi criado por Thomas Saaty e apresentou seu estudo inaugural em 1980 (SAATY, 1980). No método, há a organização de uma estrutura de critérios, subcritérios e alternativas a fim de se escolher a melhor alternativa para um objetivo. As peças fundamentais do método são a definição do objetivo, dos atributos, dos motivos e dos envolvidos. A escolha da melhor alternativa é feita pela construção de uma comparação par a par entre os critérios escolhidos para avaliar as alternativas, em que são adotados valores de um a nove em ordem de importância, sendo o “um” atribuído a alternativas de igual importância e o “nove” às de extrema importância quando comparados. Após isso, há a definição dos vetores de prioridades destes critérios, que são utilizados para a etapa seguinte, a qual consiste na construção das matrizes de comparação entre alternativas, seguindo também as mesmas escalas de um a nove. Por fim, há a construção de um vetor que representa as prioridades globais (SAATY, 1990). Como vantagem do método, é apresentado que ele representa um modelo flexível e de fácil entendimento, leva em conta prioridades relativas, propõe uma estimativa geral de cada alternativa e usa de uma escala para medição de valores intangíveis (SAATY, 2012).

O AHP é utilizado em várias áreas de conhecimento, conforme revelam Subramanian e Ramanathan (2012), com destaque para problemas que requerem fatores tanto qualitativos quanto quantitativos. Os autores citam neste estudo a relevância do método AHP desde o início da década de 1990, abrangendo artigos em decisões estratégicas de manufatura, de tecnologias, de meio ambiente, de planejamento de produtos, de qualidade, de melhoria de desempenho e de análises socioeconômicas. Há a presença, também, do uso do método na área de estratégias ambientais, na gestão de resíduos sólidos, na avaliação de políticas de mudança climática e em

decisões para reciclagem de materiais (SUBRAMANIAN; RAMANATHAN, 2012). Citam-se outros exemplos de aplicação na área ambiental, como os estudos recentes de Tsita e Pilavachi (2012), visando à escolha de uma melhor alternativa dos combustíveis utilizados para o transporte rodoviário na Grécia a fim de diminuir a emissão de gás carbônico gerado; e o estudo de Tian et al. (2013) com a aplicação do método AHP na geração de energia oriunda de fontes eólicas na zona costeira de praias na China para avaliação das três dimensões da sustentabilidade.

Entre 2000 e 2009, considerando os 312 artigos que mencionam a aplicação de métodos MCDA na área ambiental encontrados na base de dados da *Web of Science* – com destaque para avaliação de impacto ambiental, gerenciamento de resíduos, qualidade do ar e emissões, energia e recursos naturais –, verifica-se relevante destaque dado às aplicações envolvendo o método AHP. O método foi utilizado na maioria das áreas, tendo, em algumas, ultrapassado a metade dos artigos analisados no estudo (HUANG; KEISLER; LINKOV, 2011).

2.1.5 TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*)

Por fim, o TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* – Técnica para Ordenação de Preferência por Similaridade para Solução Ideal) apresenta sua origem em 1981 (HWANG, YOON; 1981). Como características básicas do método, há a construção da matriz de decisão normalizada, a construção da matriz de decisão normalizada ponderada, a construção das soluções ideais negativas e positivas, o cálculo das alternativas extremas, com base nos melhores e piores parâmetros dos critérios e o cálculo da relativa proximidade da solução ideal positiva e negativa (BEHZADIAN et al., 2012). Como vantagem do método, é apresentado que ele aborda um princípio mais amplo de solução multicritério do que os demais métodos, além de ter sido o primeiro a utilizar a metodologia de duas distâncias criteriosas (ideais positivos e negativos) para medir múltiplos objetivos (LAI, LIU, HWANG, 1994).

O TOPSIS também apresenta usos em diversas áreas ambientais, incluindo gestão ambiental, gestão de energia e gestão de recursos hídricos (BEHZADIAN et al., 2012). Apresenta-se, como exemplo, a aplicação do TOPSIS a fim de encontrar uma pontuação geral de índices de sustentabilidade de vários países e, a partir desta pontuação, criar uma análise ambiental dos fundos de investimento de títulos do governo da França, Itália e Holanda (BILBAO-TEROL et al., 2014). O método também foi utilizado na escolha da melhor rede de conexão sem fio na Grécia, considerando aspectos de qualidade da rede e consumo de energia (CHAMODRAKAS; MARTAKOS, 2012) e na escolha do melhor local para tratamento de

águas residuais em um ambiente com microbacias na Coréia do Sul (KIM et al., 2013). Recentemente, houve também o uso do *fuzzy* TOPSIS a fim de ajudar no processo de seleção de fornecedores ambientalmente corretos em uma empresa que produz eletrônicos no Brasil (KANNAN; JABBOUR; JABBOUR, 2014).

2.1.6 Método MCDA baseado na Teoria de Jogos e Equilíbrio de Nash

Cada vez mais, tomadores de decisão são obrigados a tomar decisões em grupo, especialmente no que concerne a problemas ambientais (MAASER, 2010). Isso porque decisões acerca de problemas complexos, como os de ordem econômica, política, financeira e social, requerem consenso (GOMES; GOMES, 2012).

A combinação da Teoria de Jogos e do Equilíbrio de Nash foi proposta, inicialmente, visando solucionar o conflito entre eficiência e custo na escolha de estações de tratamento de esgoto (LEONETI; OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2010). Leoneti, Oliveira e Oliveira (2010) identificaram que a principal vantagem da Teoria de Jogos na tomada de decisão era propor um equilíbrio entre várias dimensões do jogo, aumentando a possibilidade de atendimento às preferências de forma estratégica. Tal possibilidade não é característica, contudo, dos métodos MCDA tradicionais, como o ELECTRE e o AHP, que apresentam uma efetividade diminuída por não permitir ao tomador de decisão escolher a melhor estratégia quando há conflito entre os jogadores (LEONETI, 2012). Assim, embora existam algumas abordagens de grupo com métodos MCDA que visam ao consenso, essas mesmas abordagens admitem a ocorrência de incerteza e de subjetividade nas avaliações grupais (SRDJEVIC, 2007; WIBOWO; DENG, 2013).

A Teoria de Jogos baseia-se em situações nas quais agentes racionais se comportam de forma estratégica. O comportamento estratégico é estabelecido quando cada jogador toma sua decisão considerando as preferências dos demais. Esta teoria faz, com isso, as bases para que haja um entendimento maior das decisões tomadas (FIANI, 2012). Como exemplo, no ambiente de negócios, caracterizado por colaboração ou competição, a Teoria de Jogos pode trazer benefício às decisões por meio da criação de ferramentas de planejamento (PAPAYOANOU, 2010). Essa teoria também foi usada nas decisões políticas (MAASER, 2010) e na solução de problemas ambientais (CARRARO, MARCHIORI, SGOBBI; 2005). Dessa forma, é notada a presença recente da abordagem da Teoria de Jogos nas decisões, seja na área de negócios ou na área ambiental.

No mesmo sentido, Leoneti (2012; 2015) propôs um modelo que une a abordagem multicritério à teoria dos jogos e que utiliza o equilíbrio de Nash para verificar os cenários que

mais favorecem os jogadores envolvidos. No método proposto por Leoneti (2012; 2015), a primeira etapa consiste na criação da matriz de decisões, que contém os critérios – aspectos técnicos, financeiros, sociais e ambientais – como colunas e as alternativas como linhas. As etapas subsequentes do método referem-se, respectivamente, à (i) normalização da matriz de decisões; (ii) comparação de cada critério com os demais devido às diferentes unidades; e (iii) definição do perfil dos jogadores, que consiste nas escolhas dos critérios feitas por cada jogador – este último podendo evidenciar maiores resultados na área ambiental ou econômica. Por fim, é feita a criação da matriz de similaridade, que inicia a abordagem da Teoria de Jogos, por meio da formulação da função de pagamento. A função de pagamento é baseada nas escolhas dos jogadores e usa o valor estimado para determinar o quão semelhante são as alternativas. As tabelas de pagamento são geradas a partir da função de pagamento e dão base para a criação de um espaço de soluções aceitáveis utilizando o conceito de Equilíbrio de Nash. Como vantagens do método, há a utilização da solução de consenso para a decisão em grupo baseada no equilíbrio e não há necessidade da agregação dos vetores de preferências para uma decisão em grupo.

2.2 Métodos de Estruturação de Problema (*Problem Structuring Methods* – PSMs)

Os Métodos de Estruturação de Problema são utilizados em várias áreas de conhecimento. Destacam-se, principalmente, em problemas em que não são claras as decisões que devem ser tomadas e nos quais há a necessidade de discussão das mesmas. A presente revisão de literatura ateve-se à descrição de alguns dos PSMs mais conhecidos (SODA, SSM, SCA, e VFT), explorando suas metodologias e aplicações.

2.2.1 SODA (*Strategic Options Development and Analysis*)

O SODA (*Strategic Options Development and Analysis* - Desenvolvimento e Análise de Opções Estratégicas) é aplicado em situações marcadas por amplitude mediana de clareza em termos de missão, visão e objetivos (BRYSON; ANDERSON, 2000). Para isso, o método emprega como dispositivo de modelagem de problema a construção de mapas cognitivos, embasada na Teoria de Construto Pessoal de Kelly (1955 apud ROUWETTE; BASTINGS; BLOKKER, 2011). Tais mapas são dispositivos facilitadores que visam isolar e representar construtos, além de dispô-los de maneira hierarquizada, compreendendo e registrando os conceitos, os sentimentos, as atitudes e os valores dos tomadores de decisão envolvidos. Almeida et al. (2012) acreditam que os mapas permitem a existência de diálogo entre os tomadores de decisão, possibilitando a ocorrência de negociação, de percepção e de

interpretação do problema. Levino e Morais (2011) ressaltam a vantagem do método em relação a outros métodos de estruturação de problemas por permitir a interação entre os interessados e o aumento no nível de aprendizado. Para maiores estudos sobre mapas cognitivos, ver Ensslin, Montibeller e Noronha (2001).

A utilização de *workshops*, demandantes de tempo e dinheiro, é imprescindível para a aplicação do SODA e, além disso, o *software Group Explorer* tem potencial para auxiliar o processo iterativo de maneira mais eficaz na construção dos mapas cognitivos durante os vários *workshops* (MORTON; ACKERMANN; BELTON, 2007). Ensslin, Montibeller e Noronha (2001) também tratam do uso deste *software* na construção de mapas cognitivos. Entretanto, Bryson e Anderson (2000), embora reconheçam os benefícios em termos de agilidade e de compartilhamento de opiniões proporcionados por Métodos de Estruturação de Problemas como o SODA, destacam inconsistências de análise caso não haja compartilhamento, participação, cooperação, foco no problema, participantes adequados, disponibilidade de tempo e dinheiro, e *follow-up* das estratégias e soluções propostas.

Bryson e Anderson (2000) também abordam a importância do SODA para o setor público de organizações no Reino Unido, na Holanda e na América Latina. No Reino Unido, Bryant (1997) destaca o emprego do método na elucidação de requerimentos para o desenvolvimento de um protótipo de sistema de tecnologia da informação que desse suporte à manutenção organizacional de autoridades de saúde do Estado. Hjortso (2004) relata a aplicação de uma versão modificada do método com a finalidade de ampliar a participação da população em um processo estratégico de planejamento de florestas na Dinamarca.

No Brasil, os estudos com utilização do método englobam a área ambiental e rodoviária. Levino e Morais (2011) relatam a aplicação do método a problemas de saneamento e Levino e Morais (2012), por sua vez, enfatizam o emprego do SODA no gerenciamento democrático de recursos hídricos ao Comitê da Bacia Hidrográfica do CELMM (Complexo Estaurino Lagunar do Mundaú/Manguaba) em Maceió-AL. Georgiou (2009) descreve a aplicação do método no mapeamento de construção rodoviária em larga escala no Brasil, considerando a existência de problemas não independentes em estado de interação dinâmica e a necessidade de considerá-los sem desconsiderar a integridade do sistema.

2.2.2 SSM (*Soft System Methodology*)

O SSM (*Soft System Methodology* – Metodologia de Sistema Soft) configura-se em um sistema de aprendizagem, ou seja, em um método que considera o ambiente e o aprendizado para analisar problemas de ordem complexa (ALMEIDA et al., 2012). Dada a possibilidade de

infinidade do processo de aprendizado, Checkland (2004 apud ALMEIDA et al., 2012) define a existência de sete estágios do método em sua primeira versão. Os dois primeiros estágios são relacionados ao contato com a situação-problema, às descobertas sobre ela e à expressão de sua natureza, os quais são apresentados como definições-chave no terceiro estágio e modelados no quarto. O quinto e o sexto estágio utilizam os modelos para estruturar questionamentos sobre a situação e para buscar definir as mudanças que podem melhorar a situação desejável e praticável. O sétimo estágio, por fim, age na melhoria da situação problema, modificando-a e iniciando um novo ciclo (CHECKLAND, 2000). Checkland (2000) destaca também que, em 1988, foi proposta uma alteração no método, passando a ser denominado SSMA. O método passou então a considerar não apenas uma via de análise baseada na lógica, mas também uma via política e cultural que comportaria julgamentos acerca dos conflitos de interesses. No entanto, Checkland (2000) destaca a importância da versão antiga datada da década de 1990.

A aplicação do SSM estende-se por várias áreas do conhecimento. Torlak e Muceldili (2014) aplicaram o método no ambiente hospitalar de caráter privado na Turquia, mais especificamente no que concerne a aspectos relacionados à comunicação entre médicos e pacientes, e aos cuidados de saúde dos pacientes e os sistemas de documentação desordenados. Suriya e Mudgal (2013) investigaram, por meio do método, o gerenciamento integrado de enchentes da bacia hidrográfica Adayar de Chennai, na Índia. Reid et al. (1999), por sua vez, estudaram a aplicação do método na situação de trabalho em fazendas da indústria leiteira da Nova Zelândia, ocasionadas por mudanças demográficas e estruturais da indústria que desfavoreceram a capacidade de atração e manutenção de trabalhadores no campo. Gregory e Lau (1999) realizaram uma investigação da informação necessária para dar suporte às decisões realizadas em um departamento de marketing de uma empresa de telecomunicações de Hong Kong, deparando-se com dificuldades culturais no emprego do SSM. Hardman e Paucar-Caceres (2011), por sua vez, destacaram a aplicação do método na avaliação de ambientes educacionais gerenciados em instituições de ensino superior, concluindo uma necessidade de ajuste das medidas de desempenho sugeridas pelo método para a área de avaliação educacional.

2.2.3 SCA (*Strategic Choice Approach*)

O SCA (*Strategic Choice Approach* – Abordagem de Escolha Estratégica) configura-se em uma abordagem preocupada com a administração de incertezas – de ambiente, de valores-guia e/ou de escolhas relacionadas (FRIEND, 1992). O método apoia-se em uma abordagem incremental, ou seja, preocupa-se com o processo em detrimento do produto futuro, e interativa, não se limitando ao uso por especialistas, mas abrindo-se ao público em geral (FRIEND, 1992).

De acordo com Friend (1992), o método surgiu na Grã-Bretanha e tem sido extensivamente aplicado como abordagem para *workshops* de decisão grupal. No início, ele caracterizava-se por fazer uso de pouco suporte tecnológico, no entanto, atualmente, há um pacote de software interativo: o STRAD (*Strategic Adviser* – Conselheiro Estratégico).

Existem quatro modos complementares de tomada de decisão na SCA (ALMEIDA et al., 2012): o modo de modelação (*shaping*), de projeto (*designing*), de comparação (*comparing*) e o de escolha (*choosing*). O primeiro modo consiste no momento para debate sobre formas de escolha, modos de conexão de decisões e aumento ou divisão do enfoque do problema. O segundo modo trata dos cursos de ação com relação ao problema, ao passo que o terceiro preocupa-se com as formas de comparação das implicações dos diferentes cursos de ação. O quarto modo, por fim, aborda o modo de concordância com o compromisso assumido para as ações no decorrer do tempo.

Dentre os estudos que demonstram aplicações do referido método, encontra-se, por exemplo, o de Kammeier (1998), que o aplicou na investigação do planejamento urbano na Tailândia, em um estudo de caso que buscava selecionar o melhor local para a instalação da ponte do rio Thai-Lao Mekong em Mukdahan. Levino e Morais (2013) também empregaram o método no estudo de questões de ordem hidrográfica, propondo um modelo de decisão direcionado a comitês de bacias hidrográficas.

2.2.4 VFT (*Value-Focused Thinking*)

O VFT (*Value-Focused Thinking* – Pensamento Focado no Valor), publicado primeiramente por Keeney em 1992, difere de vários PSMs, pois é um método focado no valor em vez de ser focado nas alternativas (KEENEY, 1992). Keeney (1996) acredita que as alternativas têm seu espaço nos modelos de decisão em virtude da importância que elas representam para a definição dos valores. Dessa forma, surge a necessidade, segundo o autor, de investigar situações de decisão a partir dos valores. O VFT, em sua definição conceitual e qualitativa, propõe como etapa inicial esboçar todos os objetivos/valores envolvidos na estruturação do problema. Isso pode ser feito por meio da criação de uma lista de desejos (O que você deseja?); de comparação do porquê uma alternativa ser melhor do que outra (Qual alternativa é melhor e qual é pior?); do questionamento sobre os maiores problemas (O que está errado na organização?); dos impactos das consequências das alternativas (O que aconteceu que foi bom e o que aconteceu que foi ruim?); de uma listagem de objetivos e finalidades (Quais são suas aspirações?); do uso de diferentes perspectivas (No futuro, qual será sua preocupação?); do uso dos objetivos estratégicos (Quais são seus valores fundamentais?),

genéricos (Quais objetivos você tem para seus clientes, seus empregados e você mesmo?) ou estruturais (Por que aquele objetivo é importante e como você pode obtê-lo?); e da quantificação dos objetivos (Por que o objetivo A é mais importante que o B?) (KEENEY, 1992). Entretanto, nessa primeira etapa, as discussões podem conter não apenas os objetivos/valores, mas também alternativas e critérios, que deverão ser transformados em objetivos/valores (KEENEY, 1996).

A etapa subsequente diz respeito à divisão entre objetivos meios e fins, de maneira a hierarquizá-los, ou seja, a agrupar objetivos específicos sobre objetivos mais gerais (KEENEY, 1992). Nesta etapa, é importante promover a relação entre os objetivos meios e fins, especificando os objetivos principais. A pergunta a ser feita para distinguir os objetivos meio e fim é “Por que esse objetivo é importante nesse contexto de decisão?”. Se a resposta for “porque ele é um dos objetivos principais na decisão”, ele é um objetivo fim. Entretanto, se a resposta for outro objetivo, ele é um objetivo meio (KEENEY, 1996). Na sequência, é realizada a definição dos objetivos fundamentais, que não são necessariamente todos os objetivos fins, a serem utilizados na *Strategic Utility Function* – Função de Utilidade Estratégica pelo fato de fornecerem uma função com maior qualidade (KEENEY, 1992). Eles especificam os verdadeiros motivos para se interessar por um problema. A resposta para a pergunta “Por que é importante?” é apenas “Porque é importante”, ou seja, não se refere a outro objetivo. A relação entre objetivos meio e fim é causal, enquanto a relação dos objetivos fundamentais e de seus subgrupos é complementar e divisional. Os objetivos fundamentais podem possuir níveis inferiores, que respondem à pergunta “Que aspectos do objetivo de nível superior são importantes?” (KEENEY, 1992).

Finalmente, o último passo é a definição dos melhores atributos para os objetivos hierarquizados, detalhando, nesta etapa, a maneira adequada de medir os objetivos. Ressalta-se que, nos objetivos meios, são mais fáceis de serem encontrados atributos e, quando mais especificados, mais tendem a se tornar as próprias alternativas. Os subgrupos dos objetivos fundamentais também são mais fáceis de serem medidos por meio de atributos, o que justifica a importância da criação das subdivisões (KEENEY, 1992). A figura 1 ilustra um exemplo, traduzido de Keeney (1992, p. 88), de objetivos fundamentais e seus subgrupos e de objetivos meios e fins para solucionar um problema de poluição ambiental relacionado ao monóxido de carbono.

Figura 1. Estrutura de objetivos para reduzir as concentrações de monóxido de carbono

Fonte: Traduzido de Keeney (1992, p. 88)

O VFT também possui etapas quantitativas com a criação da *Strategic Utility Function*. Essa função serve para fazer a quantificação dos objetivos em um modelo de valor e os objetivos fundamentais são os utilizados em sua construção. A primeira etapa para a construção da função, feita após a identificação dos objetivos fundamentais, é determinar os melhores e piores valores dos atributos destes objetivos em duas colunas. Após isso, a *Strategic Utility Function* é elaborada com base nesses valores por meio da criação de componentes que representam cada objetivo fundamental e seus respectivos atributos. Por fim, ela é usada para comparar os objetivos fundamentais e seus subgrupos em termos de qual peso cada um possui na função, fazendo, assim, uma análise dos *tradeoffs* entre preponderar um objetivo ou outro na tomada de decisão (KEENEY, 1992).

As operações acima descritas são feitas para se obter, primeiramente, os valores adequados para a criação e comparação de novas alternativas e identificação das oportunidades de decisão em oposição à noção de problemas de decisão (KEENEY, 1992). Mais especificamente, as alternativas são criadas buscando-se atingir, em maior quantidade, os valores procurados, representados pelos objetivos qualitativos, e os valores que os quantificam.

A maneira inicial de se pensar sobre várias alternativas é levar em consideração os objetivos separadamente e pensar na melhor alternativa para cada um. Apenas após isso é que se deve levar em consideração mais objetivos conjuntamente e qual a melhor alternativa. A última etapa, assim, consiste em examinar as alternativas criadas, tentando combinar algumas delas em uma só (KEENEY, 1996).

O uso do VFT estende-se por várias áreas de conhecimento. Desde sua criação em 1992 até 2010, foram encontrados 89 artigos publicados sobre o mesmo em 29 revistas diferentes. Os tipos dos artigos dividiram-se em 66% em aplicações, 34% em teorias e 18% em estudos de caso (PARNELL et al., 2013). Sobre a temática destes artigos, 46% referem-se à área de defesa militar, sendo 19% (a segunda maior) na área de meio ambiente e energia. (PARNELL et al., 2013). Como exemplos, Yoo, Kim e Kim (2001) utilizaram o método no estudo do gerenciamento estratégico do espectro de rádio frequências para sistema de comunicação móvel na Coreia e Sheng, Nah e Siau (2005) utilizaram-no em estudo para investigar as implicações estratégicas da tecnologia móvel em uma editora.

Na área ambiental especificamente, os estudos são, também, variados. Arvai, Gregory e McDaniels (2001) utilizaram-se do VFT para investigar o envolvimento do público leigo e especialista em consultorias de decisões ambientais. Hassan (2004) aplicou o método no estudo de seleção ambiental de camadas estruturais. Merrick e Garcia (2004) investigaram o melhoramento de hidrelétricas. Keeney (1994) fez uso do método na identificação e estruturação de objetivos de pesquisa para tratar de assuntos relacionados às mudanças climáticas. Alencar, Mota e Alencar (2011) investigaram o problema da eliminação de resíduos plásticos em locais de construção de edifícios.

Houve também a utilização do método em conjunto com os métodos MCDA. Neves et al. (2009) utilizaram-se da abordagem do VFT na estruturação de objetivos em um estudo de caso de eficiência energética, deixando claro que o uso do mesmo facilitou a posterior aplicação de um método MCDA. Kajanus, Kanga e Kurtilla (2004) utilizaram-se do método para investigar situações de gerenciamento turístico utilizando-o em conjunto com o método AHP. Montibeller et al. (2008) também se utilizaram de uma modificação das abordagens *Top-Down* e *Bottom-Up* e do uso das ideias presentes no *Value-Focused Thinking* e no *Alternative-Focused Thinking – Pensamento Focado na Alternativa* na estruturação de problema para aplicação de um método MCDA em casos reais envolvendo a gravidez na adolescência no oeste de Londres. Freitas e Magrini (2013) utilizaram-se da abordagem de atributos do VFT para aplicação de método MCDA na gestão da água na mineração no Brasil. Por fim, Cuoghi e Leoneti (2015)

utilizaram o VFT para a construção de critérios de vulnerabilidade social que podem ser utilizados com os métodos MCDA.

2.3 Técnicas de estruturação de matriz para aplicação de métodos MCDA

Em casos complexos, conforme ressaltam Watson e Buede (1987), a formação de modelos é necessária na presença de incerteza. Nesse contexto, as técnicas de estruturação de matriz podem ser utilizadas em conjunto com a aplicação dos métodos MCDA para solução de problemas diversos. As técnicas atuam em três áreas: na estruturação da árvore de valores, que é relacionada aos critérios/objetivos que podem ser considerados na matriz de decisão; na definição dos atributos, os quais correspondem aos modos de medição dos critérios/objetivos; e na identificação das alternativas de decisão (FRANCO; MONTIBELLER, 2009). Segue-se, assim, uma revisão das principais técnicas encontradas em Franco e Montibeller (2009), explorando suas metodologias e algumas aplicações na área de tomada de decisão.

2.3.1 Técnicas de estruturação de matriz relacionadas à árvore de valor

A definição dos problemas analisados está relacionada à estruturação da árvore de valores (*Value Tree*). Esta é utilizada para decompor informações em outras menores – como, por exemplo, “risco” em “risco de greve” e em “risco de relações públicas” –, identificando, assim, peculiaridades de cada informação. Outra função refere-se a lidar com os níveis de benefícios que cada estratégia propicia (GOODWIN; WRIGHT, 2004). Seu uso ocorre quando a incerteza é aumentada ou quando há muitas alternativas (BUEDE, 1986).

As técnicas de estruturação de matriz para aplicação de métodos MCDA que focam na análise das árvores de valor são responsáveis por organizar, geralmente hierarquicamente, os objetivos envolvidos no processo decisório. Dentre as técnicas elencadas por Franco e Montibeller (2009), destacam-se as abordagens *Top-Down* ou *Bottom-Up*, as redes de objetivos meio e fim, os diagramas de influência e as listas de verificação (*checklists*).

As abordagens *Top-Down* ou *Bottom-Up* foram descritas inicialmente por Buede (1986). A primeira consiste em uma abordagem focada nos objetivos, transformando-os em atributos. Ela possui um caráter iterativo em que os objetivos propostos podem ser discutidos com os tomadores de decisão. A segunda, por sua vez, é focada nas alternativas, com o tomador de decisão, geralmente, já as tendo prontas. Dessa forma, o analista deve usar as alternativas para verificar as maiores diferenças entre elas. As diferenças entre as alternativas podem ser usadas para formar atributos em uma hierarquia de valores multiatributo (*multi-attribute value hierarchy*) (BUEDE, 1986), estruturar um diagrama de influência (*influence diagram*) ou um

mapeamento cognitivo (*cognitive mapping*) (WATSON; BUEDE, 1987). As vantagens desta segunda abordagem referem-se à possibilidade de estruturação do modelo de modo imediato e à percepção considerada adequada dos principais problemas que os tomadores de decisão possuem (WATSON; BUEDE, 1987).

O uso dos termos das abordagens *Top-Down* ou *Bottom-Up* estendem-se por várias áreas de conhecimento, como na administração pública e na biologia (BRESSER PEREIRA, 1993; DUBOIS, 2002). Nas áreas de tomada de decisão e de métodos MCDA, Montibeller et al. (2008) utilizaram-se de uma modificação das abordagens *Top-Down* e *Bottom-Up* na estruturação de problema para aplicação de métodos MCDA em casos reais. Entretanto, nas abordagens com os métodos MCDA, não foram encontrados outros artigos que explicitem o uso dessas abordagens nos bancos de dados *Web of Science*, *Science Direct*, *Scopus* e *Scielo* utilizando-se as palavras-chave “*top-down*” e “*bottom-up*” em união ou não com “*approach*”, “*mcdm*”, “*mcdm*”, “*multicriteria decision*” e “*decision*”.

As redes de objetivos meio e fim referem-se ao método *Value-Focused Thinking*, que elenca como etapa inicial a identificação dos objetivos fundamentais, fins e meios. Dessa forma, ao hierarquizá-los em torno de suas relações causais e divisionais, os objetivos possibilitam a criação de várias relações entre os valores existentes na estruturação do problema, ajudando a elucidá-lo (KEENEY, 1992).

Os diagramas de influência (*influence diagrams*) podem ser definidos como a inteira representação da dispersão de eventos e decisões interconectadas (GOODWIN; WRIGHT, 2004). O estudo precursor do método foi o trabalho de Miller, Merkhofer e Howard (1976), que definiu seus conceitos fundamentais em quatro influências, sendo as duas primeiras condicionais e as duas últimas informacionais, e encontra-se representado na figura 2. Os círculos representam os *event nodes* (nós de evento); os quadrados, os *decision nodes* (nós de decisão) e as linhas entres os *nodes* (nós) são indicadoras da influência entre os *nodes* (nós).

As probabilidades associadas a *chance variable* B depender do resultado da *chance variable* A

A probabilidade da *chance variable* D depender da decisão em C

O tomador de decisão conhece o resultado da *chance variable* E quando a decisão F é tomada

O tomador de decisão conhece a decisão G quando a decisão H é tomada

Figura 2. Definições utilizadas em diagramas de influência

Fonte: adaptado de Howard e Matheson (1981 apud WATSON; BUEDE, 1987, p. 169)

Houve algumas modificações conceituais dos diagramas de influência expostas em Bodily (1985) e Schachter (1986). O primeiro incluiu três tipos de variáveis: as variáveis de decisão, variáveis intermediárias e atributos de resultados, relacionando-as às influências de certeza, incerteza e preferência. O segundo criou um algoritmo para eliminar os *nodes* do diagrama de influência começando a eliminação com os *chance or decision nodes* (nós de decisão ou probabilidade) sem sucessores, depois com os *decision nodes* sem *chance nodes* (nós de probabilidade) na relação com *value nodes* (nós de valores) e, por fim, os *chance nodes*.

Os diagramas de influência são úteis ao entendimento de problemas complexos e atuam de maneira a resumir as dependências que existem entre os eventos. As vantagens na sua utilização referem-se à representação gráfica ser mais parecida com um pensamento por intuição, o que não o torna tão estranho em primeiro momento. Além disso, o método é mais facilmente revisado e alterado em suas etapas quando da relação entre tomador de decisão e o analista de decisão (GOODWIN; WRIGHT, 2004).

Em Howard e Matheson (2005), o uso dos diagramas de influência foi considerado uma técnica entre a descrição qualitativa e quantitativa, sendo usado para modelar a parte inicial da estrutura de problemas. Por meio do método, foi feita a descrição das dependências entre variáveis aleatórias e de decisão, podendo ser visualizada a dependência probabilística e identificados valores de independência. Dessa forma, o método capturou a lógica do problema no seu âmago, simplificando o modelo probabilístico (HOWARD; MATHESON, 2005).

Os diagramas de influência podem ser usados para elucidar as árvores de decisão, servindo de modelo para as mesmas ou, também, sendo transformados em árvores de decisão. O processo de construção de uma árvore de decisão é feito com muitas mudanças da estrutura inicial do problema, destacando-se a simplificação dos problemas como método de melhoria e organização do que é discutido. Na árvore representada abaixo, há um exemplo da determinação da viabilidade do desenvolvimento de diferentes tipos de motor considerando apenas o critério financeiro, sendo o quadrado a representação de um *decision node* e o círculo, de um *chance node* (GOODWIN; WRIGHT, 2004).

Figura 3. Árvore para determinação da viabilidade do desenvolvimento de diferentes tipos de motores

Fonte: Goodwin e Wright (2004, p. 146, tradução nossa)

Duas condições devem ser seguidas, em ordem, para um diagrama de influência ser transformado em uma árvore de decisão. Primeiro, o diagrama não deve conter flechas de influência em círculo, ou seja, apresentar *loops*, que demonstram que um *node* é influenciado e influencia outro nó. Segundo, deve ser feito uso de mais de uma árvore de decisão para

representar um diagrama de influência se necessário (GOODWIN; WRIGHT, 2004). Goodwin e Wright (2004, p. 61, tradução nossa) apresentaram um passo a passo para transformar um diagrama de influência em uma árvore de decisão:

- (1) Identificar um nó ao qual não haja flechas direcionadas (diante da impossibilidade de haver a existência de círculos, ao menos um nó será caracterizado como tal).
- (2) Se houver possibilidade de escolha entre um nó de decisão e um nó de evento, escolha o nó de decisão.
- (3) Posicionar o nó no início da árvore e remover o nó do diagrama de influência.
- (4) Para o novo diagrama, agora reduzido, escolher outro nó ao qual não haja flechas direcionadas. Se houver possibilidade de escolha, um nó de decisão deve ser selecionado.
- (5) Posicionar este nó próximo à árvore e removê-lo do diagrama de influência.
- (6) Repetir o procedimento acima até que todos os nós tenham sido removidos do diagrama de influência.

Nas figuras 4 e 5, tem-se um exemplo do diagrama de influência e o resultado de sua transformação em árvore de decisão dado para um problema de cálculo de produção. Pode-se notar que a resolução do problema é dividida em dois diagramas de influência, chamados de a e b. O primeiro refere-se à determinação do preço de mercado da calculadora que, combinada com a decisão de equipar a fábrica para manufaturar calculadoras, gerou o questionamento sobre qual o nível de produção da calculadora. Já o diagrama de influência b referiu-se ao lucro anual de vender produtos que não eram calculadoras e o questionamento final sobre a remuneração dos executivos. A montagem da árvore de decisão, baseada na análise dos diagramas de influência, iniciou-se com o questionamento mais básico, que eram as modificações necessárias na fábrica, passando pela análise dos concorrentes e pelo preço do competidor até haver a decisão de produção.

Figura 4. Diagrama de influência para problema de cálculo de produção

Fonte: Goodwin e Wright (2004, p. 162, tradução nossa)

Figura 5. Árvore de decisão para problema de cálculo de produção

Fonte: Goodwin e Wright (2004, p. 162, tradução nossa)

Os diagramas de influência destacam-se em áreas de inteligência artificial, estatística e análise de decisão, produzindo representação e resolução de problemas (BIELZA; GÓMEZ; SHENOY, 2011). Kao (2008) propôs uma abordagem fuzzy dos diagramas de influências a fim de melhorar a tomada de decisão na área de informática médica. Um outro método híbrido de diagramas de influência na área de análise de decisão também foi feito por Cobb e Shenoy (2008) utilizando a mistura de exponenciais truncadas.

Por fim, o uso de técnicas que envolvem listas de verificação (*checklists*) pode ser usado na área de tomada de decisão com o intuito de identificar e estudar os problemas (BELTON; STEWART, 2002). Este autor propôs a técnica CAUSE, que se baseia nas iniciais das palavras, em inglês, critério, alternativas, incerteza, stakeholders e ambiente (*Criteria, Alternatives, Uncertainties, Stakeholders and Environmental factors or constraints*, respectivamente). Ele também citou a possibilidade de uso da *Kipling's six thinking men* e da análise *Checkland's "CATWOE"*. A *Kipling's six thinking men* é definida nas perguntas “quem?”, “como?”, “onde?”, “o quê?”, “por quê?” e “quando?”. A análise *Checkland's "CATWOE"* refere-se às iniciais “clientes”, “atores”, “transformação”, “ponto de vista”, “responsáveis” e “ambiente” (*Customers, Actors, Transformation, World view, Owners and Environment*) e é amplamente conhecida no ambiente da Teoria de Sistemas (BELTON; STEWART, 2002).

O uso da *Checkland's CATWOE* foi notado, em estudos recentes, como estando presente na utilização de casos na área da decisão juntamente com a *Soft System Methodology* (NGAI et al., 2012; SGOUROU et al., 2012). Joham, Metcalfe e Sastrowardoyo (2009) utilizaram-se da *Checkland's CATWOE* na escolha de projetos no setor público na Austrália, sendo de grande valor o uso da técnica para a decisão final. Petkov et al. (2007), por sua vez, não usaram a *Checkland's CATWOE* apenas na sua abordagem com a SSM, mas, sim, juntamente ao método MCDA AHP na resolução de problemas complexos no setor de telecomunicações na África. Já a *Kipling's six thinking men* apresenta benefícios em seus questionamentos, complementando o entendimento das diversidades do tema em Paterson (2006), e foi utilizada por Vernon e Hocking (2014) para auxiliar na construção de problemas. Não foram encontrados estudos recentes que especificassem a técnica CAUSE no banco de dados da Web of Science, Science Direct, Scopus e Scielo.

2.3.2 Técnicas de estruturação de matriz relacionadas aos atributos

As técnicas de definição de atributos realizam a especificação dos atributos de cada objetivo gerado pela árvore de valor (FRANCO; MONTIBELLER, 2009). Dentre as técnicas, destacam-se o modelo de decisão de Keeney e Gregory (2005) – em que os autores

apresentaram ideias de Keeney (1992) –, a classificação de atributos feita por Kirkwood (1997), e o ranking de seleção de atributos feito por Parnell (2007) – estas duas últimas não revisadas nesta pesquisa devido à dificuldade de se encontrar material e à não aplicação específica das mesmas em estudos recentes.

Quanto ao modelo de decisão de Keeney e Gregory (2005), os autores elencam que, para diferenciar as consequências das alternativas, é necessário identificar as medidas dos objetivos, que são dados pelos chamados atributos (KEENEY; GREGORY, 2005). Embora também possa ser utilizada a palavra “critérios” como sinônimo (KEENEY; GREGORY, 2005), preferiu-se ao longo desta pesquisa usar o conceito de atributos referente a mensuração dos critérios/objetivos, conceito este presente no estudo de Keeney (1992).

Diferentes formas de atributo são encontradas. Keeney e Gregory (2005) definem os atributos em três tipos diferentes: os naturais, que medem diretamente o objetivo, como, por exemplo, em um caso envolvendo a segurança no trânsito, o número de mortes, que pode ser considerado um atributo para o objetivo “minimizar fatalidades”; os construídos, que procuram medir o objetivo por meio da criação de um atributo que não existia naturalmente; e os *proxy*, que medem indiretamente o objetivo, como, neste mesmo exemplo, o número de acidentes, que pode ser considerado um atributo para o objetivo “minimizar fatalidades”. Destaca-se, também, a definição das propriedades dos atributos: não ambíguo, abrangente, direto, operacional e inteligível.

A etapa de escolha dos atributos deve ser feita priorizando os atributos naturais referentes aos objetivos definidos. Se estes não puderem ser encontrados, tenta-se decompor os objetivos em menores, que possam apresentar objetivos que possuam atributos naturais. Caso não seja possível a decomposição, tenta-se criar atributos construídos. Por fim, caso não seja possível a construção de atributos, identificam-se os atributos *proxy*. Deve ser dada preferência, na escolha dos atributos naturais, àqueles que satisfazem todas as propriedades dos atributos e, quando não houver atributos naturais que satisfaçam essa condição, deve-se utilizar os atributos construídos. Entretanto, se não houver tempo suficiente para fazer um atributo construído ou se ele não ficar bem estruturado, deve ser escolhido um atributo *proxy* (KEENEY; GREGORY, 2005).

O uso dos estudos de Keeney e Gregory (2005) estão presentes na área ambiental e de tomada de decisão. MacGowan et al. (2014) fizeram uso dos conceitos de atributos para estudo de um modelo responsável pela definição dos critérios para classificação de espécies ameaçadas. Mirakyan e Guio (2014) usaram a construção de atributos para revisar uma metodologia para planejamento de energia. Freitas e Magrini (2013) usaram o conceito de

atributos na gestão da água na mineração no Brasil. Chen, Hipel e Kilgour (2007) utilizaram os mesmos conceitos na gestão de recursos de água no Canadá. Por fim, Failing, Gregory e Higgins (2013) utilizaram os conceitos de atributos na análise da tomada de decisão na restauração de um regime hidrológico no Canadá.

2.3.3 *Técnicas de estruturação de matriz relacionadas às alternativas*

A definição das alternativas é outra etapa necessária a elaboração de uma matriz de decisão para posterior uso dos métodos MCDA. Franco e Montibeller (2009) expuseram técnicas de identificação das alternativas na tomada de decisão visando criar, definir e identificar as alternativas para serem avaliadas pelos métodos MCDA. Destacam-se algumas, como o *brainstorming*, as técnicas que focam nos objetivos a serem atingidos – alternativa esta referente ao VFT, já especificado – e os procedimentos de geração de alternativa descritos em Keller e Ho (1988).

O *brainstorming* pode ser usado em grupo ou individualmente e, partindo do pressuposto de aumentar a criatividade na tomada de decisão, é utilizado para geração de novas ideias, para encontrar soluções para problemas específicos e para gerar coesão entre as pessoas. Basicamente, define-se, pelo agrupamento de pessoas com diferentes currículos; pela explicitação de um problema para um grupo; pela explicação, para um grupo, de que não se deve, com criticismo, limitar a geração de ideias; e, por fim, pela etapa convergente em que ideias são discutidas e em que é definida a ideia que melhor representa uma solução para um problema. As vantagens desta técnica referem-se à facilidade de entendimento do método, à rapidez na geração de ideias, aos poucos recursos necessários para sua execução, à sua característica democrática e à sua integração social. As desvantagens referem-se à sua possibilidade de menor geração de ideias caso os participantes fossem questionados separadamente, à necessidade de experiência do organizador do grupo, ao foco na quantidade de ideias geradas, à possibilidade de conflitos entre os membros do grupo e à difícil capacidade de escolher uma ideia dentre as várias geradas (WILSON, 2013).

Em suas aplicações, o *brainstorming* tem se desenvolvido na área de análise de decisão. Keller e Ho (1988) citaram-no como método de geração de alternativas baseado na criatividade. Keeney (2012) ressaltou que o *brainstorming* pode ser utilizado na criação de alternativas para problemas complexos e propôs o *Value-Focused Brainstorming*, que consistiu na incorporação de conceitos do *Value-Focused Thinking* no uso do *brainstorming* com a finalidade de desenvolver alternativas. O mesmo autor exemplificou a aplicação do *Value-Focused Brainstorming* em um caso de evacuação em situações de emergências, demonstrando a

ocorrência de maior geração de alternativas. Yazdani e Tavakkoli-Moghaddam (2012) usaram o *brainstorming* juntamente ao método AHP para tomada de decisão em um problema de retrabalho e desperdício numa empresa produtora de sabão. Splettstoesser (1998) demonstrou o uso do *brainstorming* como uma das etapas de um módulo de software de tomada de decisão na África.

Finalmente, vários procedimentos de geração de alternativas foram descritos, também, por Keller e Ho (1988) e divididos em procedimentos baseados em atributos (conceito mais próximo de critério), procedimentos baseados em estado e procedimentos baseado em alternativas. Os procedimentos baseados em atributos consistem em (i) considerar apenas um atributo na primeira vez, dois na segunda vez e assim por diante de maneira a identificar qual alternativa é melhor em cada vez; (ii) desenvolver alternativas que satisfaçam os atributos principais; (iii) ser mais detalhista na divisão dos atributos gerais em específicos antes de iniciar a criação das alternativas; (iv) elencar todos os níveis de atributos e comparar com todas as possíveis alternativas; (v) inventar um novo atributo que não existia; e (vi) expandir o escopo do problema, analisando questões superiores a ele. Os procedimentos baseados no estado referem-se a situações de tomada de decisão em que os problemas dependem de combinações de eventos futuros. Eles consistem em (i) apresentar os possíveis estados de natureza futura um a um, criando alternativas que são as melhores em cada um dos estados; e (ii) criar alternativas que satisfaçam o maior número de estados futuros possíveis. Já os procedimentos baseados nas próprias alternativas referem-se a (i) apresentar alternativas e tentar criar alternativas novas; (ii) esboçar uma estrutura (em critérios ou em partes do problema) de uma alternativa e encontrar outras que satisfaçam essa estrutura criada; e (iii) criar uma alternativa ideal e buscar outras que a satisfaçam. Não foram encontrados estudos recentes referentes a estas técnicas em específico nos bancos de dados da *Web of Science*, *Science Direct*, *Scopus* e *Scielo*.

2.4 A hidroeletricidade no Brasil

A hidroeletricidade é utilizada em muitos países e tem grande atratividade devido aos baixos custos de operação e de combustível. Apesar dessas vantagens, apresenta grande investimento para a construção dos projetos, para construção das linhas de transmissão e para ações que visam mitigar os impactos ambientais (LESSA et al., 2015). Todavia, o Brasil é um país de destaque em termos de fontes de energia renovável. Em 2014, as fontes renováveis na matriz energética brasileira foram de 39,4%, frente a 13,2%, em média, no restante do mundo em 2012 e 8,6%, em média, nos países da Organização para Cooperação e Desenvolvimento

Econômico (OCDE), também em 2012 (EPE, 2015b). Destes 39,4% de fontes de energia renovável brasileira, 15,7% referiram-se à biomassa da cana-de-açúcar; 11,5%, às fontes hidráulicas (hidrelétricas); 8,1%, à lenha e ao carvão vegetal e 4,1%, à lixo e outras fontes (EPE, 2015b). Em relação aos 60,6% de fontes de energia não renováveis, 39,4% referiram-se ao petróleo e seus derivados; 13,5%, ao gás natural; 5,7%, ao carvão mineral; 1,3%, ao urânio e 0,6% a outras fontes deste tipo (EPE, 2015b). Dessa forma, nota-se um destaque para a geração de fontes renováveis por meio das hidrelétricas, sendo sua porcentagem, considerando toda a matriz energética renovável, apenas menor que a geração de energia oriunda da biomassa da cana-de-açúcar.

As hidrelétricas são relevantes quando consideradas sua porcentagem na participação de geração da energia elétrica. Em relação ao total de oferta interna de eletricidade por fonte em 2014, 65,2% foi proveniente do potencial hidráulico; 13%, do gás natural; 7,4%, da biomassa; 6,8%, de derivados de petróleo; 3,2%, de carvão e seus derivados; 2,5%, de fonte nuclear e 2,0%, de fonte eólica. Assim, as fontes renováveis na geração de energia elétrica são de 74,6% da oferta interna, considerando a produção nacional e importações, frente a apenas 21,2% no mundo em 2012 e 19,7% nos países da OCDE (EPE, 2015b). Além disso, a geração de energia elétrica oriunda da queima de combustíveis fósseis é destaque em vários países, tendo sido sua presença de 78% na China, 86% no Japão, 69% nos Estados Unidos e 68% na Rússia no ano de 2012 (IEA, 2012). Pode-se notar, portanto, que o Brasil apresenta uma matriz de geração de energia elétrica bem diferente do restante do mundo.

A formação do setor elétrico brasileiro caracteriza-se, em termos de seus principais eventos, pela passagem do monopólio privado (1880 a 1930) para a influência do Estado (1931 a 1979), chegando ao modelo híbrido, com a criação da Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) em 1996 para exercer o papel de agência reguladora (GOMES; VIEIRA, 2009). Neste cenário, o aumento do consumo de energia elétrica destacou-se nas últimas décadas no Brasil, passando de 18.711 (unidade em 10^3 tep – tonelada equivalente de petróleo) em 1990 para 39.964 em 2010; estando, em 2014, em 45.655 no país inteiro. Dessa forma, em 20 anos, o consumo de energia quase dobrou no Brasil, com um crescimento elevado de mais de 10% entre 2010 e 2014 (EPE, 2015b). Além disso, corroborando com este aumento, o consumo per capita, que inclui a autoprodução total, também aumentou mais de 10% neste mesmo período, passando de 2388 kWh/hab em 2010 para 2630 kWh/hab em 2014 (EPE, 2015a).

Como característica do cenário brasileiro, observa-se também um alto potencial e uma alta geração de energia elétrica por meio de fontes hidráulicas. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o potencial hidráulico brasileiro de geração de energia é de 247.242 MW,

estando 91.480 MW (37%) em operação no ano de 2014. Deste potencial total, 40,6% concentra-se na região norte do país – que engloba a maior parte da Amazônia; 17,7%, na região sudeste – a mais aproveitada em termos de operação; 16,7%, na região sul; 16,0%, na região centro-oeste e 8,9%, na região nordeste. Nota-se, assim, que a operação atual da região norte é de apenas 19% da capacidade – a menor dentre todas as outras regiões, frente a 59% em operação da região sudeste (EPE, 2015b).

Dado este destaque brasileiro na geração de hidroeletricidade, o Brasil não passa despercebido em estudos cujos objetos são relativos a essa área. Foram encontrados estudos sobre a estrutura do setor elétrico brasileiro, em termos da demanda dos consumidores (SCHMIDT; LIMA, 2004); sobre os leilões das transmissões de energia (ROCHA; MOREIRA; LIMP, 2013); e sobre a criação de parques hidroelétricos (CARVALHO; SAUER, 2013). Mais especificamente, Lobato et al. (2015) construíram um índice de qualidade da água e de estado trófico dos reservatórios de usinas hidroelétricas na Amazônia, conseguindo, assim, identificar quais fatores devem ser investigados ou ajustados antes de se tentar recuperar as degradações na água. Frota et al. (2014) desenvolveram uma técnica para mitigar o efeito das bioincrustações em uma planta de hidroeletricidade no Brasil. Westin, Santos e Martins (2014) analisaram a implementação de plantas de hidroeletricidade no Rio Araguaia-Tocantins no Brasil partindo na análise do Estudo de Impacto Ambiental e da Avaliação Ambiental Estratégica das obras feitas, demonstrando a não consideração dos mesmos no processo de licenciamento das obras. Pao e Fu (2013) analisaram a relação causal entre as fontes energéticas brasileiras renováveis, com destaque para a hidroeletricidade, e as não renováveis em relação ao crescimento econômico do país no período entre 1980 e 2009. Ometto et al. (2013) analisaram a emissão de gás carbônico em oito reservatórios de hidroelétricas no sudeste brasileiro, identificando que, apesar das emissões serem altas nos primeiros anos de funcionamento, elas são menores se comparadas com fontes termoelétricas. Barros e Tiago Filho (2012) identificaram o potencial de pequenas centrais hidroelétricas brasileiras para créditos de carbono.

Além disso, o uso dos métodos MCDA também foi observado na área de hidroeletricidade, apesar dos estudos serem em pequeno número. Calili et al. (2010) identificaram como melhor escolha a geração de energia em pequenas centrais hidroelétricas do que em usinas eólicas, termoelétricas a gás, à biomassa ou a carvão por meio da aplicação do AHP, ELECTRE e TOPSIS, considerando critérios ambientais e econômicos. Silvério e Rodrigues (2013), para criar uma abordagem de seleção de projetos hidroelétricos para as empresas do setor que não considerasse apenas as questões financeiras, utilizaram o AHP. O

mesmo método também foi utilizado para construção de um modelo de identificação de riscos em usinas hidrelétricas ainda em construção por Ribas e Pinheiro (2013).

2.4.1 Critérios de sustentabilidade no setor elétrico brasileiro

O desenvolvimento de critérios de sustentabilidade na área do setor elétrico brasileiro foi estudado por alguns autores e seu destaque está no uso feito por órgãos públicos. Borges (2012) propôs indicadores de sustentabilidade para avaliar os resultados dos investimentos em energia elétrica nas residências no estado do Pará entre 2001 e 2010, demonstrando que os aspectos econômicos são os que mais refletem nos insumos elétricos. Camargo, Ugaya e Agudelo (2004), baseado nos indicadores corporativos da Petrobras, da *Hydro-Québec* e da *Tennessee Valley Authority*, propuseram novos indicadores para avaliar a sustentabilidade ambiental da geração de energia elétrica. Entretanto, o estudo referiu-se à fase de operação e assemelhou-se mais a um indicador corporativo, pautando-se em indicadores sociais, econômicos e ambientais basicamente. Ou seja, o estudo não se referiu a um indicador de qualidade ou sustentabilidade na construção de usinas hidrelétricas, mas, sim, das geradoras. Já Martins et al. (2013) propuseram um indicador que possibilitou comparar as emissões de gás carbônico oriundas de fontes de hidroeletricidade e termoeletricidade em usinas brasileiras, demonstrando o baixo nível de geração de gás carbônico das hidroelétricas em face das termoelétricas.

Já na área de construção, Sousa (2000) comparou duas abordagens da avaliação de impactos ambientais de projetos hidrelétricos. Uma, a SUPEROLADE, desenvolvida pela Organização Latino Americana de Energia, e outra desenvolvida pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica no Brasil (CEPEL) em 1997. Metodologicamente, o modelo SUPEROLADE apresenta, como objetivos e seus respectivos critérios, (i) minimizar o impacto sobre o meio físico (estabilidade da zona do projeto, aumento da vazão do rio, redução da vazão do rio, qualidade da água e qualidade do ar); (ii) minimizar impacto sobre o meio biótico (biota terrestre, biota aquática, biota outros); (iii) minimizar desalojamento da população (população removida); (iv) minimizar custos regionais (área requerida, produção perdida, perda de patrimônio histórico, deterioração da ordem regional, trauma social, desemprego e potencialização de conflitos); e (v) maximizar benefícios regionais (melhoria da rede de transporte, outros benefícios diferentes do energético, melhoria na eletrificação rural, melhoria na disponibilidade de investimentos sociais, outros impostos legais e geração de emprego) (SOUSA, 2000). Já os critérios adotados pela metodologia do CEPEL são: (i) os ambientais (área de estudo, sistema ambiental, componente-síntese, avaliação dos impactos ambientais);

(ii) os de dimensionamento e custo de aproveitamentos (custos globais ou unitários para montagem do orçamento, incluindo custos ambientais); e (iii) os critérios para seleção de alternativas (maximização da eficiência econômico-energética e minimização dos impactos ambientais) (SOUSA, 2000).

Mais especificamente, o Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas, cuja autoria é do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica no Brasil/Ministério de Minas e Energia, teve sua primeira publicação em 1997, tendo sido atualizado em 2007. A respeito desta última versão, salienta-se que seu objetivo principal é apresentar critérios e procedimentos a fim de se construir estudos de inventário do potencial hidrelétrico de bacias hidrográficas. O potencial hidrelétrico neste último manual é entendido sob a ótica de variáveis técnicas, econômicas, sociais e ambientais, reflexo do aprendizado brasileiro na construção de usinas hidroelétricas. No que tange aos estudos, é válido ressaltar que eles são importantes por influenciarem as tomadas de decisão do processo de expansão da geração de energia elétrica, mais especificamente ao criar informações para o Plano Decenal de Expansão e para o Plano Nacional de Energia (MME; CEPEL, 2007).

Os estudos de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas possuem quatro fases: (i) planejamento do estudo, (ii) estudos preliminares, (iii) estudos finais e (iv) Avaliação Ambiental Integrada da Alternativa Seleccionada, cujas etapas foram resumidas no quadro 1 a seguir:

Quadro 1. Fases dos estudos de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas

Planejamento do estudo
Coleta e análise de dados; Identificação de locais barráveis; Reconhecimento de campo; Alternativa de divisão de queda; Relatório de planejamento dos estudos.
Estudos preliminares
Levantamento de dados e estudos diversos; Usos múltiplos da água; Diagnóstico socioambiental; Formulação das alternativas de divisão de quedas; Ficha técnica dos aproveitamentos; Estudos energéticos; Concepção e arranjos dos aproveitamentos; Avaliação dos impactos socioambientais negativos por aproveitamento; Orçamento padrão Eletrobrás; Dimensionamento e estimativas de custos; Comparação e seleção de alternativas.
Estudos finais
Consolidação dos dados e investigações complementares; Consolidação do diagnóstico socioambiental; Estudos energéticos; Avaliação dos impactos socioambientais das alternativas; Concepção dos arranjos finais dos aproveitamentos; Orçamento padrão Eletrobrás, Dimensionamento e estimativas de custos dos aproveitamentos; Comparação e seleção de alternativas; Ordenação dos aproveitamentos da alternativa selecionada.

Avaliação Ambiental Integrada da Alternativa Selecionada
Objetivo (Panorama da situação socioambiental futura e seus efeitos cumulativos e sinérgicos), Etapas da AAI (Diagnóstico socioambiental e potenciais conflitos, Avaliação Ambiental Distribuída, construção de cenários, Avaliação Ambiental Integrada e participação pública) Integração dos estudos socioambientais do inventário e da AAI; Organização das informações contidas nos estudos anteriores; Atividades complementares da AAI.

Fonte: MME e CEPEL (2007).

2.5 Repercussões da construção da Usina Hidrelétrica (UHE) Belo Monte

A construção da UHE Belo Monte, com 4.371,78 MW de energia firme, representará cerca de 5% de acréscimo ao valor total em operação no país em 2014 (EPE, 2015b; LEME ENGENHARIA LTDA, 2009a; NESA, 2010). Os estudos relacionados às repercussões da construção da UHE Belo Monte envolvem diversos temas, destacando-se aqueles referentes à obra em si (impactos socioambientais e opções de engenharia) e questionamentos sobre o processo de tomada de decisão da obra (licenciamento ambiental e diversos estudos em âmbito legal). Alguns destes estudos foram destacados abaixo.

No que concerne aos questionamentos sobre a obra em si, tem-se que a construção da UHE Belo Monte tem sido alvo de muita controversa (FEARNSIDE, 2006), apresentando impactos ambientais que poderão ocasionar mudanças na biodiversidade e na composição das espécies regionais da Amazônia (CUNHA; FERREIRA, 2012). As alterações geradas pela usina com a presença do trecho de vazões reduzidas no rio Xingu foram caracterizadas como o principal impacto ambiental, pois alterarão a flutuação cíclica do rio, atingindo a dinâmica de várias comunidades (CUNHA; FERREIRA, 2012). Além disso, várias sementes e frutas, que são dispersas pelas variações nas vazões do rio Xingu, não irão mais se dispersar, afetando, assim, os animais que dependem de tais alimentos (CUNHA; FERREIRA, 2012). Já o reservatório da mesma resultará numa redução dos habitat e na perda de espécies pioneiras na região, que, em sua maioria, são encontradas em poucas quantidades ao longo do rio (CUNHA; FERREIRA, 2012).

Outro impacto ambiental relacionado à construção da UHE Belo Monte é a emissão de gases de efeito estufa. Considerando as emissões desses gases provenientes da soma das UHE Belo Monte e de Altamira (Babaquara), Fearnside (2009) afirma que ambas UHEs não apresentarão, até 41 anos após a operação, um saldo positivo de emissão se comparadas às emissões oriundas de gás natural. Lessa et al. (2015) ainda mostraram que várias áreas da UHE Belo Monte, incluindo o reservatório, serão áreas potenciais para geração de gases de efeito estufa e devem, portanto, ser melhor valoradas.

Em relação aos impactos sociais da construção da UHE Belo Monte, sobre as migrações, Hall e Brandford (2012) elencam como problema a grande movimentação populacional. Ademais, Randell (2015) estudou como se deram as políticas da Eletronorte em relação à remoção da população atingida pelo reservatório da usina, que criou um processo de migração forçada, demonstrando, em sua amostra de 39 famílias, que a maioria não tinha aspirações de se retirar do local, caso a usina não fosse construída. Vários problemas relacionados a essa migração forçada foram encontrados, destacando-se a especulação fundiária, que se espalhou pela região, o que fez com que os valores pagos pela Eletronorte fossem muitas vezes insuficientes (RANDELL, 2015). Houve também relatos de que líderes locais ganharam valores maiores nas compensações e foi ressaltada a falta de poder que os moradores possuem para negociar os valores recebidos com a Eletronorte (RANDELL, 2015).

A viabilidade econômica da UHE Belo Monte foi questionada por Pinto (2012), tendo o autor afirmado que seus custos já subiram, em poucos anos, bilhões de dólares, não considerando outros bilhões dos custos das linhas de transmissão. Estes custos de linhas de transmissão também foram ressaltados por Esmeraldo et al., (2012), que discutiram a expansão de linha de transmissões requeridas com a operação da UHE Belo Monte (que compõe mais de 3000km divididos em dois troncos). Hall e Brandford (2012) elencaram, ainda, como problema o financiamento do empreendimento, com 80% oriundo do BNDES.

Sousa Júnior e Reid (2010) questionaram a incerteza envolvendo a execução técnica e econômica do projeto de construção da UHE Belo Monte, envolvida por altos danos ambientais. Estes mesmos autores analisaram o projeto de construção da usina em três cenários prováveis (otimista, pessimista e conservador), observando em ambos que a construção não seria um investimento eficiente, sendo o cenário conservador considerado o mais realista, o que daria cerca de três bilhões negativos em valor presente líquido, incluindo custos sociais de cerca de 331 milhões.

Vários casos de questões legais na Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) de UHEs são encontrados nas UHEs localizadas em Ipueiras/TO, Itumirim/MG, Aimorés/MG, Barra Grande/SC/RS e Jirau/RO (MORETTO ET AL, 2012). Em relação aos questionamentos sobre o processo de tomada de decisão da obra, a AIA da UHE Belo Monte, envolvendo diversas áreas de impacto (social, econômico e ambiental), é complexa e contestada por especialistas (BRATMAN, 2014). O Estudo de Impacto Ambiental apresentado para o licenciamento ambiental da UHE Belo Monte foi elaborado por grandes construtoras, que recebeu várias contestações deste estudo por especialistas, ambientalistas, indígenas e até em âmbito judicial (SOUZA; JACOBI, 2010). Souza e Jacobi (2010) evidenciam que, apesar de a Avaliação

Ambiental Integrada ter sido inserida como instrumento de gestão do setor elétrico, o relatório da Comissão Mundial das Barragens, que apresenta várias recomendações para esta área, foi ignorado no caso da UHE Belo Monte. Para Fearnside (2006), o licenciamento ambiental da UHE Belo Monte foi visto como apenas uma forma de oficializar uma decisão já tomada.

O Brasil foi criticado por várias organizações internacionais pela forma com que foram feitos os processos de consulta às comunidades atingidas na construção da UHE Belo Monte (FRANCO; FEITOSA, 2013). Sobre o processo legal de construção da usina, apesar de ter havido autorização do Congresso Nacional para exploração do empreendimento pelo Decreto Legislativo 788/2005, o processo de consulta às comunidades não foi unânime (FRANCO; FEITOSA, 2013). O Ministério Público Federal tentou anular o referido decreto com a justificativa de que o IBAMA (Instituto Nacional do Meio Ambiente) não poderia ser o responsável pela consulta aos envolvidos, mas sim o próprio Congresso Nacional. Entretanto, o Supremo Tribunal Federal validou o decreto (FRANCO; FEITOSA, 2013). Deve ser ressaltado, porém, que a Constituição Federal valida tratados internacionais que exigem consulta aos envolvidos antes de a decisão ser tomada e que, nesse contexto, pode-se perceber que as audiências públicas do processo de licenciamento ambiental foram usadas como o processo de consulta no caso da UHE Belo Monte, o que não seria adequado (FRANCO; FEITOSA, 2013).

Corroborando com essas ideias, Barros e Ravena (2011) questionam se a condução das audiências públicas foi feita da maneira mais adequada. Por sua vez, Franco e Feitosa (2013) afirmam que temas conflituosos presentes na construção da UHE Belo Monte se referem também a como as tomadas de decisões foram feitas. Descrevendo este cenário, Hall e Brandford (2012) apresentaram uma crítica política em relação à construção da UHE Belo Monte, elencando a usina como um exemplo de plano feito pelas lideranças, sem consulta ou participação da população nas tomadas das decisões. Barros e Ravena (2011) completam afirmando que a obrigatoriedade das audiências públicas deveria garantir a plena explicitação dos danos ambientais de todos os grandes projetos hidrelétricos. Ainda nesse contexto, Hall e Brandford (2012) elencam como soluções ao conflito da UHE Belo Monte maiores debates públicos abertos entre o governo e ambientalistas.

3 METODOLOGIA

Nesta seção, apresenta-se a metodologia utilizada para o desenvolvimento da análise. Seguindo-se a ordem de apresentação do capítulo, as seções que compõem a metodologia contemplam: (i) a natureza e o tipo da pesquisa, (ii) o contexto e o objeto de pesquisa, (iii) os procedimentos para a elaboração e análise do problema e (iv) os procedimentos e instrumentos de coleta e geração de dados.

3.1 Natureza e tipo da pesquisa

A pesquisa, em sua natureza, foi classificada como híbrida, ou seja, composta de uma parte qualitativa e de outra quantitativa, pois focou, ao mesmo tempo, conceitos de entendimento e descrição respectivamente (COOPER; SCHINDLER, 2014). Em relação aos aspectos qualitativos, sua aplicação deu-se pela determinação de critérios e alternativas; pelo detalhamento de informações contidas no Estudo de Impacto Ambiental (LEME ENGENHARIA LTDA, 2009a), no Projeto Básico de Engenharia da UHE Belo Monte (NESA, 2010), no Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas (MME; CEPEL, 2007); e pelo envio de questionários abertos e fechados a especialistas no Estado de São Paulo (pertencentes a três universidades estaduais paulistas e a uma agência ambiental, também paulista). Quanto aos aspectos quantitativos, eles referiram-se ao uso dos métodos MCDA, com suas diferentes formas de resolução.

O tipo de pesquisa foi classificado como exploratório-descritivo. A determinação de critérios (critérios das dimensões da sustentabilidade e técnicos) e alternativas apresentou uma etapa exploratória pelo fato de que os critérios e alternativas para a avaliação do objeto de pesquisa não possuem consenso, com poucos estudos a respeito. Já a aplicação dos métodos MCDA apresentou caráter descritivo por apresentar resultados das alternativas, seja com tomadores de decisão individuais ou em grupo.

3.2 Contexto e objeto de pesquisa: Usina Hidrelétrica (UHE) Belo Monte

A UHE Belo Monte está localizada na região Norte do Brasil no estado do Pará, na sub-bacia do rio Xingu, afluente na margem direita do rio Amazonas (LEME ENGENHARIA LTDA, 2009a). Em 2010, o consórcio Norte Energia S.A. foi o vencedor do leilão de energia da usina, que durou sete minutos, com preço na faixa de R\$ 78 reais por Megawatt-hora, com

deságio de cerca de 6% em relação ao preço inicial.³ Notou-se, nos dois consórcios que participaram do leilão, uma grande presença de estatais, representando cerca de 50% na participação de capital (ANEEL, 2010).

O custo total da obra, orçado em R\$ 19 bilhões de reais (ANEEL, 2010), já chegava a mais de R\$ 30 bilhões de reais em 2013, aumentando por dificuldades provocadas pela paralisação da obra devido às manifestações de trabalhadores (são cerca de 22 mil alojados ao redor da obra) e de indígenas (PEREIRA, 2013). A potência da usina deverá ser de 11.233,1 MW, com energia firme de 4.371,78 MW. Dos 4.371,78 MW de energia firme, 4.226,26 MW serão oriundos da casa de força principal, localizada no sítio Belo Monte e os 145,52MW restantes, na casa de força complementar no sítio Pimental (LEME ENGENHARIA LTDA, 2009a; NESA, 2010). Ao todo, haverá 24 turbinas, sendo 18 unidades geradoras da casa de força principal (tipo Francis) no sítio Belo Monte e seis unidades geradoras da casa de força complementar (tipo Bulbo) no sítio Pimental (NESA, 2010). A porcentagem destes 4.371,78 MW de energia firme representará cerca de 5% de acréscimo ao valor total em operação no país em 2013 apresentado pela EPE (2014). Esta capacidade extra servirá para suprir a demanda de energia elétrica da região Norte a Sul do país já que está ligada ao Sistema Elétrico Nacional (SIN) (LEME ENGENHARIA LTDA, 2009a).

Um arranjo geral da usina foi apresentado na figura 6. O reservatório total, indicado em azul, somará 516 km², com perímetro de 398 km, profundidade média de 6,2 m e profundidade máxima de 39 m. Os locais identificados como tomada d'água identificam a casa de força complementar no Sítio Pimental (localizado a cerca de 40 km da cidade de Altamira/PA) e a casa de força principal no Sítio Belo Monte. O sistema adutor com canal de derivação também está representado, com comprimento total de 20.000 m, e apresentará uma escavação em rocha a céu aberto de 35.180.200 m³ (NESA, 2010).

³ O consórcio vencedor Norte Energia S.A é formado pela Companhia Hidro-Elétrica do São Francisco (CHESF), com 49,98% de participação; Construtora Queiroz Galvão S. A., com 10,02%; Galvão Engenharia S. A., com 3,75%; Mendes Junior Trading Engenharia S. A., com 3,75%; Serveng-Civilsan S. A., com 3,75%; J Malucelli Construtora de Obras S. A., com 9,98%; Contern Construções e Comércio Ltda, com 3,75%; Cetenco Engenharia S. A., com 5% e Gaia Energia e Participações, com 10,02%. O outro consórcio participante e perdedor foi formado pela Eletrosul Centrais Elétricas S.A., com 24,5%; pela Furnas Centrais Elétricas S.A., com 24,5%; e por partes iguais de 12,75% entre Andrade Gutierrez Participações S. A., Vale S. A., Neoenergia S. A. e Companhia Brasileira de Alumínio (ANEEL, 2010)

Figura 6. Arranjo Geral da Usina Hidrelétrica Belo Monte
 Fonte: Usina Hidrelétrica Belo Monte – Projeto Básico de Engenharia (NESA, 2010)

As oscilações normais no trecho, sem considerar a presença da usina entre vazões de cheia e seca, são de 1.017 m³/s a 23.414 m³/s. No período de transição, é de 7.800 m³/s. Isto resulta em uma sincronização da maioria dos processos ecológicos de plantas e animais tais como reprodução das plantas, migração de animais e atividades de pesca, entre outros. Com a usina em operação, as vazões no Trecho de Vazão Reduzida, que possuirá 100 km de extensão entre o eixo Pimental e a casa de força do UHE Belo Monte, serão da ordem de 200 m³/s na estiagem, 2.000 m³/s nas cheias e entre 1.000 m³/s a 1.500 m³/s no período de transição (LEME ENGENHARIA LTDA, 2009a).

O projeto da UHE Belo Monte fez parte de uma evolução de projetos iniciados na

década de 1970⁴. O atual projeto definiu a usina como a única a ser instalada do Xingu e excluiu a possibilidade de inundação de terras indígenas. Entretanto, há um relato de um especialista da área que entende que o projeto da UHE Belo Monte apenas será viável economicamente caso sejam construídas outras usinas para regularizar a vazão e que afirma que próximos governantes podem resolver fazer outras usinas na região (ISA, 2015).

A construção da UHE Belo Monte impactará em três áreas, a saber: (i) áreas mais distantes da UHE, (ii) áreas vizinhas, e (iii) áreas de obras e do reservatório. No que concerne às áreas mais distantes, denominadas áreas de influência indireta (AII), tem-se que elas correspondem a 5% da Bacia Hidrográfica do Xingu. Prevê-se que as modificações indiretas por ela sofridas sejam provenientes de modificações nas áreas vizinhas ou em áreas das obras. O meio físico da região é composto pelo rio Xingu e pelo Bacajá, havendo a formação de ilhas e bancos de areia propícios à reprodução de tartarugas marinhas, bem como de pedrais favoráveis aos peixes ornamentais. O cenário é marcado, nesse sentido, por florestas de terra firme, florestas fluviais e vegetação de pedrais, além de grande variedade de fauna, sofrendo com desmatamento e degradação ambiental. Por concentrar chuvas nos meses de janeiro a abril, a região contempla atividades de pastagem plantada, garimpo de ouro, agricultura basicamente familiar, agropecuária e extrativismo vegetal. No que tange às áreas vizinhas, tem-se que elas são consideradas áreas de influência direta (AID), localizando-se ao redor da usina e do reservatório, bem como de terras por ele ocupadas. No que remete, por fim, às áreas de obras e do reservatório, tem-se que elas se constituem em áreas diretamente afetadas (ADA). A área da obra corresponde àquela ocupada pela infraestrutura e pelas estruturas principais do empreendimento. Já a do reservatório divide-se em duas partes: Reservatório do Xingu e Reservatório dos Canais (LEME ENGENHARIA LTDA, 2009b).

Os impactos da UHE Belo Monte são bem variados e referem-se à etapa de construção e operação da usina. Em relação à construção, podem ser citados: a geração de expectativas quanto ao futuro da população local e da região; a geração de expectativas na população indígena; a mobilização e contratação de mão de obra; o aumento da população e da ocupação desordenada do solo; o aumento da pressão sobre as terras e áreas indígenas; o aumento da

4 A construção de usinas hidrelétricas na Amazônia fez parte do projeto desenvolvimentista de industrialização brasileira e começou a ser diagnosticado na década de 1970. A Eletronorte, criada neste período e subsidiária da Eletrobras, foi quem iniciou os Estudos de Inventário Hidrelétrico da Bacia Hidrográfica do Rio Xingu, mapeado juntamente a seus afluentes por um consórcio de engenheiros integrantes do grupo Camargo Corrêa. Após a finalização deste estudo, na década de 1980, foram propostos, para o aproveitamento integral da bacia do Rio Xingu, sete barramentos que gerariam 19.000MW e representariam o alagamento de 18.000 km², atingindo 7000 indígenas além de diversos outros grupos. Destes sete barramentos, destacaram-se dois a serem analisados e priorizados pela Eletronorte na década de 1980, as chamadas usinas de Babaquara (6.600MW) e Kararaô (11.000 MW), esta última que não foi priorizada inicialmente, mas que, no final da década de 1980, tornou-se o projeto mais visado. Devido aos conflitos com indígenas e ambientalistas em 1989, o nome indígena Kararaô foi mudado e, em 1994, um novo projeto foi apresentado, diminuindo a área de alagamento de 1.225km² para cerca de 400 km² e evitando a inundação da área indígena Paquicamba (INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL, 2015).

necessidade por mercadorias e serviços, da oferta de trabalho e de maior movimentação da economia; a perda de imóveis e benfeitorias com transferência da população na área rural e perda de atividades produtivas; a perda de imóveis e benfeitorias com transferência da população na área urbana e perda de atividades produtivas; as mudanças nas paisagens; a perda de vegetação e de ambientes naturais, com mudança na fauna; o aumento do barulho e da poeira, com incômodo para a população e para a fauna; as mudanças no escoamento e na qualidade da água nos Igarapés do trecho de reservatório dos canais, com mudança dos peixes; as alterações nas condições de acesso pelo rio Xingu das comunidades indígenas a Altamira; as alterações na qualidade da água do rio Xingu próximo ao sítio Pimental e a perda de fonte de renda e de sustento para as populações indígenas; a interrupção temporária do escoamento de água no canal da margem esquerda do Xingu no trecho entre a barragem principal e o núcleo de referência rural de São Pedro; os danos ao patrimônio arqueológico; a perda de postos de trabalho e renda; o aumento da pressão sobre as terras e áreas indígenas; o desmatamento e limpeza das áreas do reservatório; a retirada de vegetação, com perda de ambientes naturais e recursos extrativistas; as mudanças nas paisagens e perdas de praia e áreas de lazer; a inundação permanente dos abrigos de Gravura e Assurini e os danos ao patrimônio arqueológico; a perda das jazidas de argila devido a criação do reservatório do Xingu; as mudanças nas espécies de peixes e nos tipos de pesca e a alteração na qualidade das águas dos igarapés de Altamira e no reservatório dos canais; a interrupção de acessos viários pela formação do reservatório dos canais e a interrupção de acessos na cidade de Altamira (LEME ENGENHARIA LTDA, 2009a). Já em relação aos impactos que se referem à operação da usina, podem ser citados: a mudança nas condições de navegação; a interrupção da navegação no rio nos períodos de seca; a perda de ambientes para reprodução, alimentação e abrigo de peixes e outros animais; a formação de poças, mudanças na qualidade das águas e criação de ambientes para mosquitos que transmitem doenças; os prejuízos para a pesca e para outras fontes de renda e de sustento; e o aumento da atividade garimpeira e dos conflitos com as populações indígenas (LEME ENGENHARIA LTDA, 2009a). Nota-se, dessa forma, que os impactos são muito abrangentes, estando presentes em situações que serão irreversíveis e, principalmente, lidando com o deslocamento de grande parte da população, população essa que possui valores culturais ligados ao território.

Destaca-se, também, a presença, para o empreendedor da obra, de vários planos de gestão ambiental que visam diminuir e compensar alterações negativas no ambiente. Eles se dividem em Plano Ambiental de Construção; Plano de Acompanhamento Geológico-Geotécnico e de Recursos Minerais; Plano de Fortalecimento Institucional e Direitos Indígenas; Plano de Sustentabilidade Econômica da População Indígena; Plano de Saneamento Básico

para as Comunidades Indígenas; Plano de Readequação do Serviço de Educação para a População Indígena; Plano de Melhoria das Habitações Indígenas; Plano de Gestão de Recursos Hídricos; Plano de Conservação dos Ecossistemas Terrestres; Plano de Conservação dos Ecossistemas Aquáticos; Plano de Atendimento à População Atingida; Plano de Requalificação Urbana; Plano de Articulação Institucional; Plano de Relacionamento com a População; Plano de Valorização de Patrimônio e Plano de Gerenciamento Integrado da Volta Grande do rio Xingu (LEME ENGENHARIA LTDA, 2009a). Percebe-se, assim, claramente a amplitude de ações que deverão ser tomadas para a realização da obra.

De 2011 a 2013, o IBAMA forneceu três pareceres relativos aos condicionantes da obra, a qual sofreu, ainda, três multas pelo não cumprimento de compensações assumidas no licenciamento ambiental. Com base na aprovação e no deferimento do Estudo de Impacto Ambiental apresentado sobre o projeto, em 2009, o IBAMA concedeu à obra a Licença Prévia, ou seja, validou a viabilidade do empreendimento e solicitou o cumprimento de 40 condicionantes – qualidade da água, impacto sobre fauna e flora, saneamento, dentre outros. Em 2011, foi atribuída ao empreendimento a Licença de Instalação dos canteiros de obra e da melhoria das estradas do empreendimento, a qual comporta 23 condicionantes relativos à mitigação, compensação e monitoramento dos impactos. A Licença de Operação – aquela que autoriza o enchimento do reservatório e o início da geração – ainda não foi concedida, embora seu pedido já tenha sido formalizado no início de 2015 (FAPESPA, 2015). Em setembro de 2015, mais especificamente, o IBAMA negou a Licença de Operação da UHE Belo Monte, impedindo o enchimento do reservatório, em virtude de uma lista de exigências que não foram atendidas, relacionadas principalmente aos condicionantes: (i) área de logística de acessos existentes na região, (ii) obras de saneamento na região e (iii) atrasos em reassentamentos (BORGES, 2015). Já no final de novembro de 2015, sobre protestos de indígenas, a presidente do IBAMA concedeu entrevista liberando a Licença de Operação da usina, que, por contrato, já deveria ter iniciado a geração de energia em fevereiro de 2015, elencando que cerca de 90% dos condicionantes socioambientais foram cumpridos (CRUZ, 2015).

3.3 Procedimentos para a elaboração e análise do problema

Devido a construção da UHE Belo Monte ser complexa e envolver vários problemas a serem considerados, decidiu-se, a fim de atender aos objetivos propostos, que eles fossem analisados separadamente. Para isso, inicialmente, foi necessário identificar quais os problemas na construção da usina eram mais importantes – dentre os quais, por exemplo, destacar-se-iam

o tamanho do reservatório, as turbinas utilizadas ou as características do vertedouro. Com a determinação dos problemas de maior destaque, iniciou-se o processo de construção de uma matriz de decisão para cada um deles, ou seja, foram identificadas as alternativas de fato adotadas na construção da usina para esses problemas principais e outras alternativas opcionais. Além da etapa das alternativas, foi necessária a identificação de critérios/atributos englobando diversas dimensões da sustentabilidade e técnicas. Após estas etapas, os métodos MCDA foram aplicados.

A primeira etapa da elaboração do problema, fundamental para a identificação das alternativas, consistiu em três partes. A primeira contemplou a exposição de seis potenciais problemas envolvendo a construção da UHE Belo Monte por meio de uma análise documental ao Estudo de Impacto Ambiental (LEME ENGENHARIA LTDA, 2009a), ao Relatório de Impacto Ambiental (LEME ENGENHARIA LTDA, 2009b) e ao Projeto Básico de Engenharia da usina (NESA, 2010). Em seguida, houve a filtragem resultando em três potenciais problemas, sendo feita a comparação entre eles. Finalmente, os três problemas principais identificados pela análise documental foram valorados por cinco especialistas considerando uma escala tipo Likert de 1 a 7 em concordância de importância dos problemas, sendo escolhidos dois problemas com maior média. As áreas de conhecimento e atuação dos especialistas participantes desta pesquisa foram: finanças; impactos ambientais, sustentabilidade e legislação ambiental; gestão ambiental, sustentabilidade e tomada de decisão; recursos hídricos, bacias hidrográficas e ecologia; e gestão ambiental e legislação ambiental. Todos os especialistas que participaram da pesquisa pertenceram a organizações/instituições localizadas no estado de São Paulo, mais precisamente universidades estaduais e uma agência ambiental. O uso da escala tipo Likert justificou-se em virtude da necessidade de ordenação da importância e da facilidade de entendimento. Os dois problemas apontados serviram de base para a aferição das alternativas adotadas no empreendimento e das alternativas opcionais para cada problema.

Na segunda etapa da elaboração do problema, houve a identificação dos critérios/atributos de várias dimensões, que foi desenvolvida em quatro partes. A primeira foi a identificação dos principais critérios/atributos das dimensões ambiental, social, econômica e técnica ou, ainda, de critérios/atributos que pertenciam a mais de uma dimensão e que podiam ser considerados na construção de uma UHE. Essa identificação inicial foi realizada considerando os critérios/atributos presentes no Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas (NESA, 2010). Já a segunda parte, visando diminuir os critérios/atributos considerados na primeira parte e facilitar a utilização dos métodos MCDA, foi realizada por

meio da média da ponderação de 1 a 7 em concordância (escala tipo Likert) das opiniões fornecidas por especialistas de várias áreas, bem como da escolha de dois critérios/atributos com as médias mais altas para cada dimensão dos critérios/atributos. Na terceira parte, os critérios/atributos da segunda parte foram adaptados, visando a um melhor entendimento e suas dimensões foram esboçadas. Na quarta parte, houve a medição dos critérios/atributos adaptados para cada uma das alternativas das matrizes de decisão criadas a fim de construir os valores de ambas as matrizes de decisão. Esta quarta parte foi feita pelas ponderações apresentadas com a aplicação de escala tipo Likert a dois especialistas, um da área de finanças e outro da área de impactos ambientais, sendo considerada a média da ponderação de 1 a 9 (escala tipo Likert) em concordância de cada um. Nesta quarta parte, a escala tipo Likert também foi utilizada para a valoração destes critérios/atributos devido à necessidade de uma escala qualitativa que fornecesse informações sobre vários critérios/atributos que não são facilmente mensuráveis e devido à facilidade de uso e compreensão da escala.

Na etapa seguinte da elaboração do problema, os critérios/atributos identificados foram validados pela aplicação do *Value-Focused Thinking* (KEENEY, 1992). A escolha deste método ocorreu pelo fato de o mesmo apresentar uma amplitude maior de etapas quando comparado aos outros métodos, sendo observada, em sua metodologia, uma parcela referente à estruturação da árvore de valores (formação de critérios), outra parcela referente à definição de atributos⁵ e uma terceira referente à identificação de alternativas – ao contrário de outros métodos que atuam especificamente em uma área da matriz de decisão (FRANCO; MONTIBELLER, 2009). Além disso, o método faz-se presente em várias áreas de conhecimento (PARNELL et al., 2013) e já foi utilizado para elucidar problemas em que os métodos MCDA foram aplicados, servindo de etapa inicial (NEVES et al., 2009; KAJANUS; KANGA; KURTILLA, 2004). A aplicação do VFT foi feita por meio de suas características qualitativas, visando promover a identificação hierarquizada dos objetivos (fundamentais, meios e fins), que podem se transformar em critérios/atributos. Procurou-se, assim, corroborar os critérios/atributos escolhidos na etapa anterior.

Mais especificamente na aplicação do VFT, o questionamento feito aos especialistas foi de quais seriam os objetivos vinculados à construção de uma usina hidrelétrica, em especial a

⁵ A diferença entre critérios e atributos não foi feita ao usar o termo “critérios/atributos” ou “critério/atributo”, pois Keeney (1992) ressalta que vários autores utilizam este termo para o mesmo significado. Entretanto, quando se utilizou apenas a palavra “critério” ou “atributo”, houve diferença no significado, sendo usado o conceito de Keeney (1992), em que atributo se vincula mais a um aspecto de mensuração. Outra forma de uso da palavra critério ao longo do texto é quando o termo mais comum utilizado é “critério” e não “atributo” na área, ao se falar do peso dos tomadores de decisão.

UHE Belo Monte. Essa aplicação visou identificar quais seriam os entendimentos desses especialistas em relação à construção de uma UHE. Após os resultados desses questionários, os objetivos foram todos listados e, em seguida, foi feita a hierarquização dos mesmos em objetivos fundamentais, fins e meios de acordo com o VFT. Essa hierarquização visou apresentar uma visão geral dos especialistas, ou seja, não representou a visão individual de cada especialista.

O método ELECTRE III foi um dos métodos MCDA escolhidos para ser utilizado na aplicação das matrizes de decisão criadas e medidas para a UHE Belo Monte. Para aplicação do ELECTRE III (ROY, 1978), o software utilizado foi o aplicativo *Microsoft Excel add-in* (aplicativo suplementar do *Microsoft Excel*) conhecido como SANNA – *Microsoft Excel Based System for Multicriteria Evaluation of Alternatives*, em português, Sistema com Base no *Microsoft Excel* para Avaliação Multicritério de Alternativas (JABLONSKÝ, 2009). Na aplicação, a elucidação dos critérios (pesos para cada tomador de decisão) foi definida pelo método de peso *Rank-order Centroid* (ROC) (BARRON; BARRETT, 1996a), conhecido por variadas vantagens (BARRON; BARRETT, 1996b) e, especificamente, por ser um método que apresenta melhor determinação nas escolhas e por possuir maior racionalidade teórica (ROSZKOWSKA, 2013). Os parâmetros de veto, indiferença e preferência do método foram definidos como iguais a zero, para os critérios não serem tratados como pseudo-critérios.

A escolha do ELECTRE III deve-se por ser esse um dos métodos mais completos e por apresentar resultados mais estáveis (KARAGIANNIDIS; MOUSSIOPOULOS, 1997; LEONETI, 2014); pela grande utilização do método na atualidade (INFANTE; MENDONÇA; VALLE, 2014); pelo destaque para aplicações em problemas na área ambiental (HAURANT; OBERTEI; MUSELLI, 2011; KARAGIANNIDIS; MOUSSIOPOULOS, 1997); pela vantagem de não ser um método de escolha, havendo medidas de relação entre as alternativas (INFANTE; MENDONÇA; VALLE, 2014); pela capacidade de lidar com imprecisões, incertezas e más determinações nos dados (FIGUEIRA; GRECO; EHRGOTT, 2005); e pelo fato de bons resultados em uns critérios não compensarem resultados ruins em outros (INFANTE; MENDONÇA; VALLE, 2014). Todavia, o método é intrinsicamente utilizado para aplicações que consideram apenas um tomador de decisão.

Dessa forma, o segundo método escolhido foi o método baseado na Teoria de Jogos e Equilíbrio de Nash para decisões em grupo (LEONETI, 2012; LEONETI, 2015) a fim de possibilitar uma discussão mais detalhada do caso em questão, que é complexo e, eventualmente, possui vários tomadores de decisão com opiniões discrepantes. A utilização deste método se deveu ao fato de seu conceito fundamental propiciar uma abordagem em grupo,

diferente de outros métodos tradicionais, como o ELECTRE III, propiciando a comparação e escolha de alternativas em um ambiente estratégico de escolha em grupo. Além disso, há o fato de o mesmo já ter solucionado um problema ambiental de escolha de estações de tratamento de esgoto que envolvia tomadores de decisão com opiniões divergentes (LEONETI; OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2010). Por fim, cita-se ainda o fato de ser uma abordagem emergente, o que justifica sua utilização para a comparação dos resultados.

Para aplicação do método MCDA baseado na Teoria de Jogos (LEONETI, 2012; LEONETI, 2015), utilizou-se uma planilha eletrônica do *Microsoft Excel*, que contém as funções principais do método, que envolvem a criação da matriz de decisão, normalização da matriz de decisão, definição do perfil dos jogadores, criação das matrizes de similaridade, definição das estratégias, criação das tabelas de pagamento e a solução com base no Equilíbrio de Nash.

Com as duas matrizes de decisão do caso da UHE Belo Monte mensuradas e os pesos dos tomadores de decisão identificados, foi feita a descrição das ordenações das alternativas das matrizes criadas e a comparação das ordenações feitas pelo método ELECTRE III e pelo método baseado na Teoria de Jogos proposto por Leoneti (2012, 2015). Com isso, foi possível também elencar as vantagens do uso dos métodos.

3.4 Procedimentos e instrumentos de coleta e geração de dados

A coleta de dados foi feita com o envio dos questionários contidos no Apêndice A e B e por meio de consulta a documentos públicos. O questionário 1 (Apêndice A) foi enviado a especialistas a fim de identificar alternativas e selecionar os critérios/atributos, fundamentais para a construção das matrizes de decisão para aplicação dos métodos MCDA. A tabela 1 mostra as especialidades, o número de especialistas e suas áreas de conhecimento para quem o questionário 1 foi enviado. Na tabela 1, é identificado também o número de especialistas que respondeu ao questionário 1, suas áreas de conhecimento e o número de questionários utilizados nesta parte inicial da pesquisa, que foi de cinco no total. O especialista em “Legislação ambiental e impacto ambiental” da Universidade B não foi considerado, pois não respondeu ao questionário com as informações mínimas possíveis. Considerou-se o número de especialistas suficientes, pois pertenciam a áreas de conhecimento diferentes, além do fato de não ser necessário uma amostra estatisticamente representativa.

Tabela 1. Especialistas para os quais os questionários do Apêndice 1 foram enviados

Especialidades	Número de especialistas	Questionário respondido?
Universidade Estadual Paulista A		
Finanças 1	1	Sim
Gestão ambiental	1	Não
Energia elétrica	1	Não
Ecologia, qualidade da água e reservatórios de usinas	1	Não
Hidrelétricas	1	Não
Geotecnia	1	Não
Impactos ambientais, sustentabilidade e legislação ambiental	1	Sim
Recursos hídricos e bacias hidrográficas	1	Não
Reservatórios de hidrelétricas	1	Não
Universidade Estadual Paulista B		
Energia elétrica	1	Não
Sistemas elétricos	1	Não
Legislação ambiental e impacto ambiental	1	Sim
Planejamento de sistemas energéticos e usinas hidrelétricas	1	Não
Gestão ambiental, sustentabilidade e tomada de decisão	1	Sim
Finanças 2	1	Não
Recursos hídricos, bacias hidrográficas e ecologia	1	Sim
Universidade Estadual Paulista C		
Planejamento energético e sustentabilidade	1	Não
Planejamento energético e engenharia elétrica	1	Não
Planejamento hídrico e energético/planejamento operacional de sistemas hidroenergéticos	1	Não
Energia elétrica	1	Não
Planejamento ambiental e impacto ambiental	1	Não
Agência ambiental paulista		
Gestão ambiental e legislação ambiental	1	Sim
Autarquia nacional vinculada à geração de energia elétrica		
Hidreletricidade e hidrelétricas	3	Não
Total de questionários enviados	25	
Total de questionários respondidos	6	
Total de questionários utilizados	5	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na valoração dos critérios/atributos das matrizes de decisão, foi utilizado o questionário 2 (Apêndice B) e participaram os especialistas “Finanças 1” e “Impactos ambientais, sustentabilidade e legislação ambiental” (para estes dois especialistas, foi feita uma entrevista inicial, antes do envio dos questionários, a fim de explicar as matrizes de decisão criadas e o contexto de pesquisa).

Para que os métodos MCDA fossem aplicados às duas matrizes de decisão, foi necessário definir os perfis dos tomadores de decisão (vetores de peso aos critérios), que foram construídos levando em conta especialistas de várias áreas. Na determinação dos pesos dos tomadores de decisão, participaram os quatro especialistas iniciais que responderam o questionário do Apêndice 1 e o especialista “Gestão ambiental, legislação ambiental” da agência ambiental paulista não participou. Ou seja, os especialistas que participaram desta etapa foram das áreas de finanças, impactos ambientais/legislação ambiental, tomada de decisão/gestão ambiental e bacias hidrográficas/ecologia. A medição dos pesos dos tomadores de decisão foi feita questionando-se uma escala de 1 a 16 para os critérios selecionados e adaptados, sendo 1 o de maior importância. Após isso, foram feitos cálculos para se chegar aos pesos dos tomadores de decisão pelo método de pesos ROC. A ordenação das alternativas dadas pelo ROC foi confirmada pelo método de pontos e, por isso, no Apêndice 2, foi também questionada a atribuição de valores de 1 a 100 para cada critério. Por fim, foi feita a média das escalas individuais dos critérios para se chegar a uma escala do grupo.

Um resumo e ordenação das etapas da metodologia foram feitos no quadro 2, discriminando a forma de coleta de dados e localização seja na dissertação ou em análise documental.

Quadro 2. Descrição das formas de coleta de dados

Etapa	Descrição	Forma de coleta de dados	Localização
1	Formação das matrizes de decisão		
1.1	Identificação dos problemas e alternativas		
1.1.1	Identificação de partes dos problemas na construção da UHE Belo Monte	Consulta ao Estudo de Impacto Ambiental, Relatório de Impacto Ambiental e Projeto Básico de Engenharia da UHE Belo Monte	LEME ENGENHARIA LTDA (2009a, 2009b) e NESA (2010)
1.1.2	Identificação dos problemas principais na construção da UHE Belo Monte baseada em especialistas	Envio de questionário a especialistas com perguntas abertas e fechadas (Escala tipo Likert)	Apêndice A – Questão 3
1.1.3	Identificação das alternativas adotadas na construção da UHE Belo Monte	Consulta ao Estudo de Impacto Ambiental, Relatório de Impacto Ambiental e Projeto Básico de Engenharia da UHE Belo Monte	LEME ENGENHARIA LTDA (2009a, 2009b) e NESA (2010)
1.1.4	Identificação de alternativas opcionais	Envio de questionário a especialistas com perguntas abertas e análises documentais	Apêndice A - Questão 4

1.2	Identificação e medição dos critérios		
1.2.1	Identificação dos principais critérios/atributos ambientais, sociais, econômicos e técnicos	Consulta ao Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas	MME e CEPEL (2007)
1.2.2	Identificação dos principais critérios/atributos ambientais, sociais, econômicos e técnicos baseada em especialistas	Envio de questionário a especialistas com escala tipo Likert e escolha de dois critérios/atributos com as médias mais altas para cada dimensão dos critérios	Apêndice A - Questão 2
1.2.3	Validação dos critérios/atributos escolhidos	Utilização da hierarquização de objetivos do <i>Value-Focused Thinking</i>	Apêndice A - Questão 1
1.2.4	Medição dos critérios/atributos das dimensões socioambiental, econômica e técnica da matriz de decisão da área do reservatório	Entrevista com especialistas seguida de envio de questionário com escala Likert	Apêndice B – Parte 1
1.2.5	Medição dos critérios/atributos das dimensões socioambiental, econômica e técnica da matriz de decisão da vazão do rio Xingu	Entrevista com especialistas seguida de envio de questionário com escala Likert	Apêndice B – Parte 1
2	Aplicação dos métodos MCDA		
2.1	Medição dos pesos dos tomadores de decisão	Envio de questionários para especialistas.	Apêndice B – Parte 2

Fonte: Elaborado pelo autor

4 RESULTADOS

Os resultados da pesquisa realizada compreenderam duas partes: (i) a construção de duas matrizes de decisão envolvendo dois principais problemas na construção da UHE Belo Monte e (ii) a aplicação de dois métodos MCDA (ELECTRE III e um baseado na Teoria de Jogos) para apresentar as respostas (ordenações) das alternativas. A primeira parte detalhou as escolhas das alternativas e as escolhas dos critérios/atributos utilizados nas duas matrizes de decisão. A segunda parte demonstrou a aplicação dos métodos MCDA comparando-os, focando nas tomadas de decisões individuais do ELECTRE III e nas tomadas de decisão em grupo de ambos os métodos.

4.1 Formação das matrizes de decisão

A formação da matriz de decisão configurou-se na etapa basilar para aplicação dos métodos MCDA. Esta formação consistiu na criação de alternativas e critérios, estes medidos em relação a cada alternativa, relacionados à UHE Belo Monte. Primeiramente, foi feita a identificação das alternativas e, em seguida, a identificação dos critérios. Essa ordem na descrição dos resultados não diz respeito à adoção de uma abordagem específica *Top-Down* ou *Bottom-Up*. Ou seja, os critérios não foram criados por meio de uma discussão das alternativas – o que, caso ocorresse, justificaria o termo *Bottom-Up* – e nem todos os critérios foram construídos baseados em valores/objetivos que ensejariam as construções de novas alternativas – o que, caso ocorresse, justificaria o termo *Top-Down*. Entretanto, as ideias da abordagem *Top-Down* pelo uso do VFT foram utilizadas como parâmetro.

4.1.1 Problemas principais na construção da UHE Belo Monte

O quadro 3 demonstra a exposição de seis partes principais dos problemas envolvendo a construção da UHE Belo Monte. Para cada uma dessas partes, existem diferenças na quantidade de alternativas que foram adotadas na construção do empreendimento, que envolvem não só as alternativas de engenharia em si (como tipo de turbina e número de turbina) como alternativas reflexos dessa engenharia e que impactam o meio ambiente.

Quadro 3. Partes principais dos problemas na construção da UHE Belo Monte

Parte 1	Tamanho do reservatório em km ²
Parte 2	Localização dos reservatórios
Parte 3	Presença, ausência e tamanho dos canais de derivação
Parte 4	Valores da vazão mínima de estiagem em m ³ /s e vazão mínima de cheia

Parte 5	Tamanho da barragem em metros de altura
Parte 6	Condicionantes da obra

Fonte: Elaborado pelo autor

No quadro 4, foram selecionados três problemas principais das seis partes do quadro 3, sendo adaptadas sua forma de escrita, que se baseava na análise documental. A localização do reservatório não foi escolhida por apresentar muitas variações nas alternativas e já estar relacionada ao tamanho do reservatório. Os canais de derivação e o tamanho da barragem em metros de altura não foram escolhidos por também relacionarem-se ao tamanho do reservatório. Os condicionantes da obra não foram escolhidos por serem em grande número de alternativas. Dessa forma, optou-se por dar destaque aos problemas de área do reservatório, vazões no trecho de vazão reduzida e locais da casa de força complementar, apresentados no quadro 4.

Quadro 4. Problemas principais na construção da UHE Belo Monte

Problema 1	Área do reservatório
Problema 2	Vazões no trecho de vazão reduzida
Problema 3	Locais da casa de força complementar

Fonte: Elaborado pelo autor

Os especialistas elencaram o problema 1 e o problema 2 como os mais importantes, com médias de 6,5 e 6, sendo 5,5 a média do problema 3. Quatro dos cinco especialistas ponderaram o problema 1 com a máxima pontuação, ao passo que o problema 2 recebeu 6 por parte de quase todos os especialistas – apenas um especialista atribuiu-lhe 4. Desta forma, dentre os três problemas apresentados no quadro 4, somente os problemas 1 e 2 foram considerados. Com estes dois problemas determinados, foi iniciada a identificação das alternativas para cada um deles.

4.1.2 Alternativas adotadas na construção da UHE Belo Monte e alternativas opcionais

As alternativas adotadas na UHE Belo Monte foram, para o problema 1, a área do reservatório de 516 km² e, para o problema 2, vazões no trecho de vazão reduzida (200m³/s na estiagem, 2.000m³/s nas cheias e entre 1.000m³/s a 1.500m³/s no período de transição), ambos valores de acordo com o Estudo de Impacto Ambiental (LEME ENGENHARIA LTDA, 2009a) e Projeto Básico de Engenharia da obra (NESA, 2010). Algumas alternativas opcionais em relação às alternativas adotadas no projeto para os problemas 1 e 2 foram identificadas por especialistas. Para o problema 1, foram identificadas como alternativas opcionais o tamanho do

reservatório ser menor do que o do projeto original (cerca de 30% a 40%) e a utilização de pequenos reservatórios com a presença de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs). Em relação ao problema 2, contudo, foi identificada apenas uma alternativa opcional pelos especialistas: a presença de vazões variáveis, não fixas em um período.

Ainda com relação ao problema 1, tem-se que um especialista não respondeu e dois ressaltaram a dificuldade em se propor alternativas opcionais. Sobre o problema 2, dois especialistas não opinaram e um ressaltou a dificuldade em se propor alternativas opcionais. Ademais, foram expressas algumas ideias gerais sobre as alternativas da obra como (i) a necessidade de garantir a geração de energia ininterrupta em um período de, pelo menos, dois anos para lidar com prováveis mudanças climáticas e (ii) a consideração de que o parâmetro principal escolhido talvez tenha sido os custos sob a lógica do governo e de empreendedores.

Para o problema 1, a alternativa 1 foi a alternativa real adotada no projeto de construção da usina, sendo criadas outras três alternativas opcionais, indicadas pela alternativa 1a, 1b e 1c (ver quadro 5). As alternativas 1a e 1b foram advindas da opinião de especialistas. A alternativa 1c foi retirada do tamanho do reservatório proposto em um dos primeiros projetos da usina na década de 1980, época em que usina ainda era chamada de Kararaô.

Quadro 5. Alternativas da matriz de decisão 1 – Área do reservatório

Identificação	Alternativas	Origem
Alternativa 1	Área do reservatório de 516 km ²	Projeto Básico de Engenharia da UHE Belo Monte
Alternativa 1a	Área do reservatório de 335 km ²	Especialistas
Alternativa 1b	Pequenos reservatórios (Presença de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs))	Especialistas
Alternativa 1c	Área do reservatório de 1225 km ²	Projeto Kararaô na década de 1980

Fonte: Elaborado pelo autor

Para o problema 2, a alternativa 2 foi alternativa real adotada no projeto de construção da usina, sendo, também, criadas três outras alternativas opcionais, indicadas pela alternativa 2a, 2b e 2c (ver quadro 6). A alternativa 2a também foi advinda da opinião de especialistas. Já a alternativa 2b foi criada partindo do pressuposto de que pudesse haver um projeto que não modificasse as vazões naturais do rio e, por fim, a alternativa 2c apresentou números de vazões que são a média entre a vazão natural do rio e aquela escolhida para a obra, visando demonstrar uma alternativa intermediária entre a alternativa 2 e alternativa 2b.

Quadro 6. Alternativas da matriz de decisão 2 – Vazões no rio Xingu

Identificação	Alternativas	Origem
Alternativa 2	Vazões no Trecho de Vazão Reduzida. As vazões serão da ordem de 200m ³ /s na estiagem, 2.000m ³ /s nas cheias e entre 1.000m ³ /s a 1.500m ³ /s no período de transição.	Projeto Básico de Engenharia da UHE Belo Monte
Alternativa 2a	Vazões mais variáveis, não fixas num período.	Especialistas
Alternativa 2b	Vazões muito próximas às naturais do rio (As oscilações normais no trecho (sem considerar a presença da usina) entre vazões de cheia e seca são de 1.017m ³ /s a 23.414m ³ /s. No período de transição, é de 7.800m ³ /s).	Projeto que não alterasse as vazões do rio
Alternativa 2c	Vazões mais próximas às naturais (608,5m ³ /s na estiagem, 4525m ³ /s no período de transição e 12707m ³ /s no período da cheia).	Média entre as vazões naturais e a vazão escolhida na obra (Trecho de Vazão Reduzida da UHE Belo Monte)

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.3 Critérios ambientais, sociais, econômicos e técnicos para a construção de uma usina hidrelétrica

A identificação de critérios/atributos de dimensões em âmbito ambiental, social, econômica e técnica foi realizada por meio de consulta ao Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas (MME; CEPEL, 2007), que já é utilizado para análise de aproveitamentos hidrelétricos em bacias hidrográficas e comporta a evolução do conhecimento brasileiro nesta área. A primeira etapa desta identificação ocorreu por meio da seleção de 60 critérios/atributos que estavam contidos no manual por meio de uma análise documental e, posteriormente, a segunda identificação foi feita pela ponderação atribuída por especialistas, quando houve uma redução para 16 critérios/atributos.

Na análise do manual citada anteriormente, foram identificados dois principais itens que apresentavam critérios/atributos: o item “Critérios básicos das alternativas” e o item “Estudos preliminares/avaliação dos impactos socioambientais negativos por aproveitamento”. A fim de poder diferenciar as alternativas propostas, optou-se por trabalhar com os critérios/atributos que elencariam impactos negativos das alternativas. Assim, a maioria dos selecionados adveio do último item citado. Além disso, os critérios/atributos desse segundo item foram mais compreensíveis quando analisados, pois não utilizaram diversos componentes-sínteses relacionados, como no item “Critérios básicos das alternativas”.

No quadro 7, estão apresentados os 60 critérios/atributos obtidos na análise documental, incluindo suas sete áreas de atuação (Características técnicas da usina; Ecossistemas aquáticos; Ecossistemas terrestres; Modos de vida; Organização territorial; Base econômica; e População indígena e populações tradicionais), seus códigos e suas dimensões. A nomenclatura das sete áreas citadas foi retirada do próprio manual. Em relação às dimensões, a nomenclatura ambiental, social e econômica adveio dos Indicadores de Desenvolvimento Sustentável (IBGE, 2015), enquanto que a dimensão técnica ou as dimensões combinadas foram incluídas por esta pesquisa.

Quadro 7. Critérios/atributos iniciais

Código	Critério/Atributo	Dimensão
Características técnicas da usina		
CTU1	Custo total anual da usina em R\$	Técnico-econômica
CTU2	Ganho de energia firme em MW médios	Técnica
CTU3	Taxa anual de desconto	Técnica
CTU4	Custo anual de operação e manutenção de usinas hidrelétricas, em R\$/kW/ano	Técnico-econômica
CTU5	Potência instalada em MW	Técnica
CTU6	CUR - Custo unitário de referência, em R\$/MWh	Técnico-econômica
CTU7	Custos socioambientais	Técnica
CTU8	Número de unidades geradoras da casa de força principal (tipo Francis)	Técnica
CTU9	Número de unidades geradoras da casa de força complementar (tipo Bulbo)	Técnica
Ecossistemas aquáticos		
EA1	Alteração da extensão total do ambiente aquático a ser modificado	Ambiental
EA2	Perda de ambientes ecologicamente estratégicos	Ambiental
EA3	Rotas migratórias afetadas	Ambiental
EA4	Perda de ambientes de elevada energia hidrodinâmica	Ambiental
EA5	Alteração da vegetação marginal	Ambiental
EA6	Qualidade da água dos futuros reservatórios	Ambiental
EA7	Interferência no regime de vazões (efeitos a jusante do reservatório)	Ambiental
EA8	Possibilidade de ocorrência de eutrofização no reservatório	Ambiental
EA9	Ocorrência de outras espécies da fauna vertebrada passíveis de impacto (mamíferos aquáticos, répteis)	Ambiental
EA10	Alteração no regime natural de vazões	Ambiental
EA11	Extensão do trecho de vazão reduzida	Ambiental
EA12	Transposição de água	Ambiental

Ecossistemas terrestres		
ET1	Perda de ambientes com maior grau de integridade ecológica	Ambiental
ET2	Aumento da pressão sobre os ecossistemas terrestres (desmatamento, caça, extrativismo, agropecuária e comércio ilegal de espécies)	Ambiental
ET3	Perda de vegetação marginal	Ambiental
ET4	Perda de cobertura vegetal	Ambiental
ET5	Interferência em corredores ecológicos na área de influência	Ambiental
ET6	Exclusividade fisionômica e integridade do ecossistema terrestre	Ambiental
ET7	Relevância da fauna na área afetada	Ambiental
Modos de vida		
MV1	Número de pessoas ou de famílias atingidas (rural e urbana)	Social
MV2	Bens de consumo coletivo atingidos	Social
MV3	Modificações nos indicadores de qualidade de vida	Social
MV4	Mudanças nas condições de capitalização/descapitalização preexistente	Social
MV5	Alterações na rede de relações das quais os grupos sociais urbanos dependem para garantir sua sobrevivência	Social
MV6	Ruptura dos vínculos de dependência entre rural e urbano	Social
MV7	Vínculos de socialidade comprometidos	Social
MV8	Comprometimento da identidade sociocultural e de sua expressão espaço-temporal	Social
MV9	Interferência no patrimônio histórico, cultural e arqueológico	Social
Organização territorial		
OT1	Número, localização e características dos núcleos atingidos parcial e totalmente	Social
OT2	Disponibilidade de áreas para os reassentamentos previstos	Social
OT3	Estimativa da população a ser remanejada (rural e urbana)	Social
OT4	Equipamentos de produção, consumo e serviços atingidos	Socioeconômica
OT5	Extensão e funções da infraestrutura viária atingida	Socioeconômica
OT6	Estimativa dos usuários dos recursos hídricos atingidos	Social
OT7	Articulações intermodais atingidas	Socioeconômica
OT8	Perda de território (superfície e participação no território total do município)	Socioeconômica
Base econômica		
BE1	Quantitativo e valor da produção afetada por setor	Econômica
BE2	Atividades econômicas atingidas vinculadas ao rio	Econômica
BE3	Emprego e renda suprimidos	Econômica
BE4	Mercados afetados	Econômica
BE5	Características e ordem de grandeza dos recursos e potencialidades da bacia hidrográfica suprimidos (jazidas minerais, áreas de aptidão agrícola, extrativismo, potencial turístico e dotadas de potencial biológico e genético)	Econômica
BE6	Expressão econômica e social das potencialidades atingidas	Econômica

BE7	Interferência nas finanças municipais	Econômica
População indígena e populações tradicionais		
PIT1	Potencialização dos conflitos	Social
PIT2	Relação entre território inundado e território disponível	Social
PIT3	Comprometimento da unidade política	Social
PIT4	Comprometimento do relacionamento interétnico	Social
PIT5	Riscos de extinção	Social
PIT6	Comprometimento dos vínculos intra-grupos e com outros grupos	Social
PIT7	Interferência nas condições etno-ecológicas	Socioambiental
PIT8	Importância do território inundado para o grupo	Socioambiental

Fonte: Elaborado pelo autor

Os critérios/atributos relacionados às áreas de atuação Ecossistemas aquáticos; Ecossistemas terrestres; Modos de vida; Organização territorial; Base econômica e População indígena e populações tradicionais foram retirados do item “Estudos preliminares/avaliação dos impactos socioambientais negativos por aproveitamento” do Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas (MME; CEPEL, 2007). Já os critérios/atributos relacionados à área de atuação e Características técnicas da usina tiveram várias origens diferentes. Os critérios/atributos “Custo total anual da usina em R\$” (CTU1), “Ganho de energia firme em MW médios” (CTU2), “Taxa anual de desconto” (CTU3), “Custo anual de operação e manutenção de usinas hidrelétricas, em R\$/kW/ano” (CTU4) foram obtidos do mesmo manual, mais especificamente do item “Índice custo-benefício energético do aproveitamento”. Os critérios/atributos “Potência instalada em MW (CTU5), “CUR - Custo unitário de referência, em R\$/MWh” (CTU6) e “Custos socioambientais” (CTU7) também foram retirados do referido manual, respectivamente, dos itens “Estudos preliminares/Estudos energéticos/Potência instalada”, “Índice custo-benefício energético da alternativa” e “Critérios básicos das alternativas”. Já os critérios/atributos “Número de unidades geradoras da casa de força principal (tipo Francis)” (CTU8) e “Número de unidades geradoras da casa de força complementar (tipo Bulbo)” (CTU9) foram retirados do Projeto Básico de Engenharia da UHE Belo Monte (NESA, 2010).

Nota-se que as dimensões ambiental, social, econômica e suas combinações (segunda, terceira, quarta, quinta e sexta área de atuação citadas no quadro 7) referem-se claramente aos impactos negativos, ou seja, visaram diferenciar as alternativas, considerando a melhor aquela que tivesse o menor impacto. Em relação à dimensão técnica e suas variações (primeira área de atuação citada no quadro 7), por sua vez, foi possível perceber que o mesmo não aconteceu para

todos os critérios/atributos, pois houve aqueles que indicaram benefícios ao projeto (“Ganho de energia firme em MW médios “ (CTU2) e “Potência instalada em MW (CTU5)) – ou seja, quanto melhor, melhor a alternativa seria. Tem-se, portanto, que os critérios/atributos buscaram elencar tanto a área de impactos negativos quanto as características técnicas de benefício que as alternativas possuíam, como ganho de energia e potência instalada.

Todos os 60 critérios/atributos iniciais do quadro 7 foram ponderados por quatro especialistas de várias áreas, todos atuantes em universidades estaduais paulistas e por um especialista de uma agência ambiental, também paulista. Foram solicitados aos especialistas que eles fornecessem uma ponderação em ordem de concordância de 1 a 7 (escala tipo Likert) para cada critério/atributo. A média entre as ponderações dos entrevistados foi utilizada para ordenar, em ordem crescente, os critérios/atributos em cada área de atuação, dada pelos cinco especialistas considerados nesta etapa da pesquisa. A partir disto, os critérios/atributos foram selecionados a partir da média dessas ponderações visando, primeiramente, escolher dois deles de maior média em cada uma das sete áreas, conforme pode ser visto na tabela 2.

Tabela 2. Critérios/atributos selecionados

Código	Critério/Atributo	Média
ET1	Perda de ambientes com maior grau de integridade ecológica	5,2
ET2	Aumento da pressão sobre os ecossistemas terrestres (desmatamento, caça, extrativismo, agropecuária e comércio ilegal de espécies)	6,0
EA1	Alteração da extensão total do ambiente aquático a ser modificado	5,6
EA6	Qualidade da água dos futuros reservatórios	5,6
BE1	Quantitativo e valor da produção afetada por setor	5,6
BE3	Emprego e renda suprimidos	5,0
MV1	Número de pessoas ou de famílias atingidas (rural e urbana)	6,2
MV3	Modificações nos indicadores de qualidade de vida	5,4
OT1	Número, localização e características dos núcleos atingidos parcial e totalmente	5,0
OT2	Disponibilidade de áreas para os reassentamentos previstos	5,2
PIT7	Interferência nas condições etno-ecológicas	6,0
PIT8	Importância do território inundado para o grupo	5,8
CTU1	Custo total anual da usina em R\$	4,4
CTU2	Ganho de energia firme em MW médios	5,4
CTU4	Custo anual de operação e manutenção de usinas hidrelétricas, em R\$/kW/ano	5,6
CTU5	Potência instalada em MW	5,6

Fonte: Elaborado pelo autor

Entretanto, houve algumas peculiaridades no processo de escolha em algumas áreas. Em relação à área “Características técnicas da usina”, em vez de apenas dois critérios/atributos,

foram escolhidos quatro destes com as maiores médias nas ponderações, de modo a haver um equilíbrio em cada dimensão da sustentabilidade. Assim, os critérios/atributos considerados nesta área foram “Custo anual de operação e manutenção” (CTU1), “Potência instalada em MW” (CTU5), “Ganho de energia firme em MW médios” (CTU2) e “Custo total anual da usina em R\$” (CTU1). Os critérios/atributos “Custos socioambientais” (CTU7) e “Custo unitário de referência” (CTU6) não foram considerados, por, respectivamente, serem muito geral/subjetivo e específico/técnico.

No que se refere à área “Ecossistemas aquáticos”, os critérios/atributos, novamente, foram escolhidos levando-se em consideração as duas maiores médias: “Alteração da extensão total do ambiente aquático a ser modificado” (EA1) e “Qualidade da água dos futuros reservatórios” (EA6). O critério/atributo “Extensão do trecho de vazão reduzida” (EA11) não foi considerado, apesar de ter havido empate na ponderação deste com os outros dois critérios, por se relacionar diretamente com uma alternativa analisada.

No que tange à área de “Ecossistemas terrestres”, também foram considerados aqueles que apresentaram a maior média na ponderação: “Aumento da pressão sobre os ecossistemas terrestres (desmatamento, caça, extrativismo, agropecuária e comércio ilegal de espécies)” (ET2) e “Perda de ambientes com maior grau de integridade ecológica” (ET1), o que se justifica por ambos não serem específicos como os demais.

Em relação à área “Modos de vida”, assim como nas áreas anteriores, foram considerados os que apresentaram a maior média na ponderação: “Número de pessoas ou de famílias atingidas (rural e urbana)” (MV1) e “Modificações nos indicadores de qualidade de vida” (MV3). O critério “Interferência no patrimônio histórico, cultural e arqueológico” (MV9) não foi considerado, apesar do empate na ponderação com o último critério/atributo citado, por ser demasiadamente específico.

No que concerne à área “Organização territorial”, mais uma vez, foram considerados os critérios/atributos que apresentaram a maior média na ponderação: “Disponibilidade de áreas para os reassentamentos previstos” e “Número, localização e características dos núcleos atingidos parcial e totalmente” (OT1). A escolha do primeiro justifica-se pelo fato de, ao ser adaptado na tabela 3, ele relacionou-se com os critérios “Estimativa da população a ser remanejada (rural e urbana)” (OT3) e “Estimativa dos usuários dos recursos hídricos atingidos” (OT6), que empataram com o critério de segunda maior ponderação. Ainda nesta mesma área, o critério “Articulações intermodais atingidas” (OT7), mesmo empatando também com o de segunda maior ponderação, não foi considerado por se relacionar a um tema específico.

Por fim, em relação à área “Base econômica”, também foram considerados os critérios/atributos que apresentaram maior média na ponderação: “Quantitativo e valor da produção afetada por setor” (BE1) e “Emprego e renda suprimidos” (BE3). Com relação à área “População indígena e populações tradicionais”, mais especificamente, as duas maiores médias escolhidas foram os critérios/atributos “Interferência nas condições etno-ecológicas” (PIT7) e “Importância do território inundado para o grupo” (PIT8).

Na tabela 3, os critérios/atributos da tabela 2 foram adaptados visando esclarecer sua forma de mensuração, ou seja, ensejou-se mais as características de atributos na concepção de Keeney (1992), que o diferencia da ideia de critério, ressaltando sua característica mensurável. Além disso, alguns apresentaram modificações e suas direções foram expostas, dividindo estas direções em uma situação negativa ou positiva para as diferentes alternativas. Observa-se que houve a intenção de cada dimensão da sustentabilidade apresentar o mesmo número de critérios/atributos, pois houve quatro destes na dimensão ambiental, quatro na social, dois na dimensão socioambiental, dois na dimensão econômica e dois na dimensão técnico-econômica. Em comparação com os critérios/atributos técnicos, o número também se assemelha, pois foram dois destes só técnicos somados aos dois que são técnico-econômicos, estes contados nas duas áreas.

Tabela 3. Critérios/atributos adaptados e considerados nas matrizes de decisão

Código	Critério/Atributo	Direção	Dimensão	Total
ET1	Perdas de áreas preservadas	Negativa	Ambiental	4
ET2	Pressão sobre os ecossistemas terrestres	Negativa	Ambiental	
EA1	Extensão total do ambiente aquático a ser modificado	Negativa	Ambiental	
EA6	Impacto na qualidade da água dos futuros reservatórios	Negativa	Ambiental	
BE1	Produção econômica afetada	Negativa	Econômica	2
BE3	Emprego e renda suprimidos	Negativa	Econômica	
MV1	Famílias atingidas	Negativa	Social	4
MV3	Deterioração nos indicadores de qualidade de vida	Negativa	Social	
OT1	Núcleos atingidos parcial e totalmente	Negativa	Social	
OT2	Aumento da necessidade de reassentamentos	Negativa	Social	
PIT7	Interferência nas condições etno-ecológicas	Negativa	Socioambiental	2
PIT8	Impacto do território inundado para os grupos indígenas e tradicionais	Negativa	Socioambiental	
CTU1	Custo total de implantação	Negativa	Técnico-econômica	2
CTU4	Custo anual de operação/manutenção	Negativa	Técnico-econômica	

CTU2	Ganho de energia firme em MW	Positiva	Técnica	2
CTU5	Potência instalada em MW	Positiva	Técnica	

Fonte: Elaborado pelo autor

A maioria dos critérios/atributos adaptados (11 dos 16 selecionados) não apresentaram modificações substanciais ou elas relacionaram-se apenas a pequenas modificações na escrita, sendo estes casos representados pelos critérios “Perdas de áreas preservadas” (ET1), “Pressão sobre os ecossistemas terrestres” (ET2), “Extensão total do ambiente aquático a ser modificado” (EA1), “Impacto na qualidade da água dos futuros reservatórios” (EA6), “Emprego e renda suprimidos” (BE3), “Famílias atingidas” (MV1), “Núcleos atingidos parcial e totalmente” (OT1), “Interferência nas condições etno-ecológicas” (PIT7), “Ganho de energia firme em MW” (CTU2), “Custo anual de operação/manutenção” (CTU4) e “Potência instalada em MW” (CTU5). Nestes indicadores citados, houve grande quantidade de critérios que já apresentaram a determinação do que deveria ser mensurado, ou seja, critérios que seriam atributos na concepção de Keeney (1992). Já a “Pressão sobre os ecossistemas terrestres”, o “Impacto na qualidade da água dos futuros reservatórios” e a “Interferência nas condições etno-ecológicas” eram mais subjetivos e, por esse motivo, exigiam discussão do que deveria ser mensurado.

Os critérios/atributos que apresentaram as maiores modificações em relação a como estavam descritos no Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas (MME; CEPEL, 2007) foram "Quantitativo e valor da produção afetada por setor" (BE1), "Modificações nos indicadores de qualidade de vida" (MV3), "Disponibilidade de áreas para os reassentamentos previstos" (OT2), "Importância do território inundado para o grupo" (PIT8) e "Custo total anual da usina em R\$" (CTU1), passando a ser adaptados para "Produção econômica afetada" (BE1), "Deterioração nos indicadores de qualidade de vida" (MV3), "Aumento da necessidade de reassentamentos" (OT2), "Impacto do território inundado para os grupos indígenas e tradicionais" (PIT8) e "Custo total de implantação" (CTU1), respectivamente. Como pode ser observado, em ambos, houve a intenção de aprofundar a concepção de atributos (KEENEY, 1992) e, em alguns, houve algumas modificações mais relevantes, como ressaltar a direção negativa (“Deterioração nos indicadores de qualidade de vida”) ou ampliar sua definição (“Custo total de implantação”).

Os 16 critérios/atributos da tabela 3 foram considerados tanto para o problema 1 (área do reservatório) quanto para o problema 2 (vazão do rio Xingu). Porém, antes de iniciar a medição dos referidos critérios, foi feita uma validação destes pela aplicação do VFT.

4.1.4 Validação dos critérios escolhidos pelo VFT

Nesta seção, buscou-se validar os critérios/atributos adaptados da tabela 3 usando como parâmetro a hierarquização de objetivos do método de estruturação de problema VFT (KEENEY, 1992) em uma aplicação a especialistas. Os objetivos visados na construção de uma UHE e, mais especificamente, na construção da UHE Belo Monte foram, de acordo com seus tipos, agrupados no quadro 8. Essa hierarquização foi feita visando apresentar uma visão geral dos cinco especialistas que participaram da pesquisa, ou seja, não representou a visão individual de cada especialista e levou em conta considerar a questão da geração de energia elétrica e o caso da UHE Belo Monte. Isto significou que os objetivos identificados visaram hierarquizar o problema de uma maneira de mais fácil entendimento, já que para quatro dos cinco especialistas foram elencados objetivos que poderiam ser fundamentais que se vincularam tanto à geração de energia elétrica como ao desenvolvimento sustentável.

Quadro 8. Hierarquização dos objetivos fundamentais, fins e meios

Objetivos fundamentais	
1	Maximizar a oferta de energia elétrica no país, com interligação ao SIN (Sistema Interligado Nacional)
2	Maximizar o desenvolvimento no interior dos estados da região
Objetivos fins/meios	
2	Maximizar o desenvolvimento sustentável com a mais ampla contemplação das variáveis econômicas, sociais e ambientais
2.1	Maximizar a atuação de forma equilibrada com a floresta em todas as suas dimensões (fauna, flora, populações indígenas e ribeirinhas)
2.2	Maximizar o atendimento a real necessidade socioeconômica de geração de energia elétrica no país
2.3	Maximizar a relação custo/benefício, ou seja, se o benefício da energia gerada (para diferentes fins) ocorre em um patamar em que os custos (ambientais, sociais) são os mais baixos possíveis
2.4	Maximizar uma estrutura que promova a mediação dos conflitos ambientais existentes em cada <i>stakeholder</i> , que entende a sustentabilidade apenas em seu prisma de conhecimento
2.5	Maximizar o desenvolvimento de um Plano de Gestão Ambiental na bacia hidrográfica do empreendimento

Fonte: Elaborado pelo autor

A partir da aplicação do VFT, verificou-se a existência de dois objetivos fundamentais: “Maximizar a oferta de energia elétrica no país” e “Maximizar o desenvolvimento no interior dos estados da região”. O primeiro está claramente ligado ao fornecimento de maior quantidade de energia elétrica, algo natural de se esperar de uma UHE. Já o segundo referiu-se ao fato de a UHE em questão estar inserida na região norte do país. Em relação aos objetivos fins e meios,

houve um objetivo fim – “Maximizar o desenvolvimento sustentável” – sendo completado por cinco objetivos meios, que se relacionaram a atuar de maneira equilibrada com a floresta, entender a real necessidade de energia elétrica no país, promover uma boa relação custo/benefício do empreendimento, promover uma boa intermediação entre os *stakeholders* e desenvolver um bom Plano de Gestão Ambiental na bacia hidrográfica do empreendimento.

Os objetivos fundamentais de geração de energia elétrica e de desenvolvimento sustentável estavam presentes nas respostas de quatro dos cinco especialistas, sendo que apenas um especialista se destacou pela ênfase na geração de energia elétrica. Dessa forma, o modo com que os objetivos estão dispostos no quadro 8 poderá sofrer uma modificação a depender do especialista, ou seja, os objetivos fundamentais podem se tornar objetivos fins/meios e vice e versa. Optou-se por essa configuração da geração de energia elétrica como objetivo fundamental por ela ser de fácil entendimento, até mesmo porque a fixação do objetivo fim “desenvolvimento sustentável” evidencia que os objetivos fundamentais devem ser maximizados considerando este objetivo fim.

Finalmente, foi identificado que todos os critérios/atributos selecionados na tabela 3 apresentaram relação com os objetivos hierarquizados, conforme mostra o quadro 9, o que significa que a forma que eles foram selecionados obteve resultados contundentes com os objetivos da construção de uma UHE. Percebe-se, assim, que não houve nenhum critério/atributo que não estivesse vinculado a um objetivo. Entretanto, também foi possível notar que os critérios/atributos selecionados não atenderam a todos os objetivos hierarquizados pelo VFT, havendo três objetivos com critérios/atributos ausentes e um presente parcialmente.

Quadro 9. Objetivos e critérios selecionados

Objetivos fundamentais		Critério/Atributo
1	Maximizar a oferta de energia elétrica no país, com interligação ao SIN (Sistema Interligado Nacional)	CTU2 e CTU5
2	Maximizar o desenvolvimento no interior dos estados da região	Presente parcialmente
Objetivos fins/meios		
2	Maximizar o desenvolvimento sustentável com a mais ampla contemplação das variáveis econômicas, sociais e ambientais	ET1, ET2, EA1, EA6, BE1, BE3, MV1, MV3, OT1, OT2, PIT7, PIT8, CTU1, CTU2, CTU4 e CTU5
2.1	Maximizar a atuação de forma equilibrada com a floresta em todas as suas dimensões (fauna, flora, populações indígenas e ribeirinhas)	ET1, ET2, EA1, EA6, BE1, BE3, PIT7 e PIT8

2.2	Maximizar o atendimento da real necessidade socioeconômica de geração de energia elétrica no país	Ausente
2.3	Maximizar a relação custo/benefício, ou seja, o benefício da energia gerada (para diferentes fins) ocorrem em um patamar em que os custos (ambientais, sociais) são os mais baixos possíveis	ET1, ET2, EA1, EA6, MV1, MV3, OT1, OT2, PIT7 e PIT8
2.4	Maximizar uma estrutura que promova a mediação dos conflitos ambientais existentes em cada <i>stakeholder</i> , que entende a sustentabilidade apenas em seu prisma de conhecimento	Ausente
2.5	Maximizar o desenvolvimento de um Plano de Gestão Ambiental na bacia hidrográfica do empreendimento	Ausente

Fonte: Elaborado pelo autor

O objetivo fundamental de maximizar a oferta de energia esteve presente nos critérios/atributos “Ganho de energia firme em MW” (CTU2) e “Potência instalada em MW” (CTU 5). Já o objetivo fundamental de maximizar o desenvolvimento no interior de estados da região fez-se presente apenas parcialmente nos critérios/atributos selecionados. Nota-se que esse último objetivo se relaciona mais ao caso da UHE Belo Monte e que, indiretamente, acabou sendo contemplado pelos critérios/atributos “Famílias atingidas” (MV1), “Deterioração nos indicadores de qualidade de vida” (MV3), “Produção econômica afetada” (BE1) e “Emprego e renda suprimidos” (BE3).

Em relação ao objetivo fim de maximizar o desenvolvimento sustentável, todos os critérios/atributos da tabela 3 apresentaram uma vinculação com este objetivo, ou seja, percebeu-se que todos são capazes de medir (direta ou indiretamente) características que fomentam a possibilidade de determinada alternativa ser ou não a melhor opção para o desenvolvimento sustentável.

Em relação ao objetivo meio de maximizar a atuação de forma equilibrada com a floresta, os critérios/atributos presentes relacionaram-se a área de atuação Ecossistemas Terrestres, Ecossistemas Aquáticos, Base Econômica e População Indígena e Tradicionais. Já o objetivo meio de maximizar o custo/benefício de energia elétrica gerada foi contemplado pelos critérios/atributos “Perdas de áreas preservadas” (ET1), “Pressão sobre os ecossistemas terrestres” (ET2), “Extensão total do ambiente aquático a ser modificado” (EA1), “Impacto na qualidade da água dos futuros reservatórios” (EA6), “Famílias atingidas” (MV1), “Deterioração nos indicadores de qualidade de vida” (MV3), “Núcleos atingidos parcial e totalmente” (OT1), “Aumento da necessidade de reassentamentos” (OT2), “Interferência nas condições etno-

ecológicas” (PIT7) e “Impacto do território inundado para os grupos indígenas e tradicionais” (PIT8) em relação à parte de custo deste objetivo.

Os objetivos meios de maximizar o atendimento da real necessidade socioeconômica de geração de energia elétrica, de maximizar uma estrutura que promova a mediação dos conflitos ambientais existentes em cada *stakeholder* e de maximizar o desenvolvimento de um Plano de Gestão Ambiental na bacia hidrográfica estiveram ausentes nos critérios/atributos da tabela 3. Estes três objetivos foram as maiores lacunas encontradas nos critérios/atributos considerados nas matrizes de decisão, porém consistiram em objetivos meios que se relacionam ao objetivo fim de desenvolvimento sustentável, este último contemplado por todos os 16 critérios/atributos.

4.1.5 Matrizes de decisão para a área do reservatório e vazão no rio Xingu

As tabelas 4 e 5⁶ demonstram os 16 critérios/atributos da tabela 3 mensurados para a alternativa 1 e suas alternativas opcionais (alternativas 1a, 1b e 1c), formando os valores da matriz de decisão para o problema da área do reservatório. Já as tabelas 6 e 7 demonstram os 16 critérios/atributos da tabela 3 mensurados para a alternativa 2 e suas alternativas opcionais (alternativas 2a, 2b e 2c), formando os valores da matriz de decisão para o problema da vazão no rio Xingu. Ambas as matrizes serviram de base para a aplicação dos métodos MCDA.

Tabela 4. Medição dos critérios das dimensões socioambientais da matriz de decisão da área do reservatório

	Ambiental				Socioambiental		Social			
	ET1	ET2	EA1	EA6	PIT7	PIT8	MV1	MV3	OT1	OT2
Alternativa 1	5,5	5,5	5	6	6	4,5	5,5	7	5,5	5
Alternativa 1a	6,5	7	5,5	6,5	7	5,5	6,5	8	6,5	6
Alternativa 1b	4	5	3,5	4,5	4,5	2,5	4	6	4,5	4
Alternativa 1c	1,5	2	2	3,5	4	1,5	2,5	5	2,5	2

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 5. Medição dos critérios das dimensões técnico-econômicas da matriz de decisão da área do reservatório

	Técnica		Técnica/Econômica		Econômica	
	CTU5	CTU2	CTU4	CTU1	BE1	BE3
Alternativa 1	6	6	7	7	4	4,5
Alternativa 1a	4	5	5	7	5	5,5

⁶ As matrizes foram divididas para facilitar a visualização dos critérios.

Alternativa 1b	5,5	4,5	5,5	6	2	5
Alternativa 1c	8	7	6,5	5,5	2,5	3,5

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 6. Medição dos critérios dimensões socioambientais da matriz de decisão da vazão no rio Xingu

	Ambiental				Socioambiental		Social			
	ET1	ET2	EA1	EA6	PIT7	PIT8	MV1	MV3	OT1	OT2
Alternativa 2	3,5	3,5	2,5	1,5	4	2	4	5,5	4,5	3
Alternativa 2a	5	5,5	4,5	4,5	6	5,5	4,5	6	5,5	4,5
Alternativa 2b	8,5	8	8,5	8	8,5	8	5,5	7	7	6
Alternativa 2c	8,5	8	8	8,5	8,5	8	5	6,5	6,5	6

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 7. Medição dos critérios das dimensões técnico-econômicas da matriz de decisão da vazão no rio Xingu

	Técnica		Técnica/Econômica		Econômica	
	CTU5	CTU2	CTU4	CTU1	BE1	BE3
Alternativa 2	5	5	5	4,5	2	3
Alternativa 2a	6,5	7	5,5	5	5,5	5
Alternativa 2b	7,5	8	7,5	7,5	7,5	6,5
Alternativa 2c	6,5	6	6,5	6,5	7,5	6

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2 Aplicação dos métodos MCDA

Para a aplicação do ELECTRE III e do método multicritério baseado na Teoria de Jogos para abordagens em grupo proposto por Leoneti (2012; 2015), as matrizes de decisão para o problema da área do reservatório (tabela 4 e 5) e para o problema da vazão no rio Xingu (tabela 6 e 7) foram consideradas. Além das matrizes, foi necessário a medição dos pesos dos tomadores de decisão com a utilização do método de pesos *Rank-order Centroid* (ROC) (BARRON; BARRETT, 1996). Com estas etapas, foi possível a ordenação das alternativas para ambas as matrizes considerando os dois métodos MCDA. As ordenações foram feitas, no ELECTRE III, individualmente e em grupo e, no método baseado na Teoria de Jogos, em grupo.

4.2.1 Medição dos pesos dos tomadores de decisão

As escalas dos critérios de acordo com os tomadores de decisão estão apresentadas e transformadas em pesos pela aplicação do ROC na tabela 8. Os pesos foram os mesmos utilizados para ambas as matrizes, pois foram observados que, dos quatro participantes, três deram a mesma escala dos critérios para os critérios/atributos de duas matrizes. Apenas o especialista em finanças ordenou de maneira diferente as escalas das duas matrizes de decisão e optou-se por considerar a escala da área do reservatório.

Tabela 8. Pesos dos tomadores de decisão pelo método de pesos ROC para aplicação dos métodos MCDA

	Finanças 1	Impactos ambientais/ Legislação ambiental	Tomada de decisão/Gestã o Ambiental	Bacias hidrográficas /Ecologia	Grupo (média)
Perdas de áreas preservadas	0,04	0,04	0,05	0,21	0,09
Pressão sobre os ecossistemas terrestres	0,12	0,08	0,06	0,15	0,10
Extensão total do ambiente aquático a ser modificado	0,03	0,12	0,04	0,12	0,08
Impacto na qualidade da água dos futuros reservatórios	0,10	0,10	0,21	0,10	0,13
Interferência nas condições etno-ecológicas	0,01	0,21	0,03	0,06	0,08
Impacto do território inundado para os grupos indígenas e tradicionais	0,00	0,03	0,03	0,05	0,03
Famílias atingidas	0,01	0,03	0,08	0,07	0,05
Deterioração nos indicadores de qualidade de vida	0,05	0,15	0,15	0,08	0,11
Núcleos atingidos parcial e totalmente	0,02	0,02	0,07	0,03	0,04
Aumento da necessidade de reassentamentos	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02
Potência instalada em MW	0,21	0,06	0,01	0,04	0,08
Ganho de energia firme em MW	0,06	0,07	0,02	0,00	0,04
Custo anual de operação/manutenção	0,08	0,05	0,01	0,02	0,04

Custo total de implantação	0,15	0,00	0,00	0,02	0,04
Produção econômica afetada	0,07	0,01	0,10	0,01	0,05
Emprego e renda suprimidos	0,02	0,01	0,12	0,01	0,04

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.2 Ordenação das alternativas das duas matrizes de decisão pelo método ELECTRE III

A ordem de preferência do método ELECTRE III para as alternativas do problema da área do reservatório foram elencadas no quadro 12 (ver quadros 10 e 11 para identificação das alternativas e jogadores). Os jogadores 1, 2 e 4 apresentaram como alternativa mais adequada a própria área escolhida na construção da usina, a alternativa 1, com área do reservatório de 516km², seguida pelas alternativas 1a, 1b e 1c. Já o jogador 3 apresentou como alternativa mais adequada a alternativa 1a, que seria uma área do reservatório menor, de 335km², seguida pelas alternativas 1, 1b e 1c. O grupo apresentou como alternativa mais adequada também a própria área escolhida na construção da usina, a alternativa 1, com área do reservatório de 516km², seguida pelas alternativas 1a, 1b e 1c.

Quadro 10. Alternativas consideradas na matriz de decisão da área do reservatório

Alternativa 1	Área do reservatório de 516 km ²
Alternativa 1a	Área do reservatório de 335 km ²
Alternativa 1b	Pequenos reservatórios (Presença de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs))
Alternativa 1c	Área do reservatório de 1225 km ²

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 11. Jogadores considerados na matriz de decisão da área do reservatório

Jogador 1	Finanças
Jogador 2	Impactos ambientais/Legislação ambiental
Jogador 3	Tomada de decisão/Gestão Ambiental
Jogador 4	Bacias hidrográficas/Ecologia

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 12. Ordenação das alternativas da matriz de decisão da área do reservatório pelo método ELECTRE III

Ordem	Jogador 1	Jogador 2	Jogador 3	Jogador 4	Grupo (média)
1ª	Alternativa 1	Alternativa 1	Alternativa 1a	Alternativa 1	Alternativa 1
2ª	Alternativa 1a	Alternativa 1a	Alternativa 1	Alternativa 1a	Alternativa 1a
3ª	Alternativa 1b	Alternativa 1b	Alternativa 1b	Alternativa 1b	Alternativa 1b
4ª	Alternativa 1c	Alternativa 1c	Alternativa 1c	Alternativa 1c	Alternativa 1c

Fonte: Elaborado pelo autor

A alternativa de área do reservatório de 516 km², que foi a real adotada na construção da UHE Belo Monte, foi, assim, avaliada como a alternativa mais adequada na abordagem em grupo e para três dos quatro jogadores. Para um dos tomadores de decisão, com viés para a área ambiental, a escolha do reservatório seria menor do que a atual, sendo a alternativa 1a em primeira ordem.

Já a ordem de preferência do método ELECTRE III para as alternativas da vazão do rio Xingu foram elencadas no quadro 15 (ver quadros 13 e 14 para identificação das alternativas e jogadores). Os jogadores 1, 2 3 e 4 apresentaram como alternativa mais adequada as vazões muito próximas às naturais do rio, a alternativa 2b, seguida pelas alternativas 2c, 2 e 2a (estas duas últimas empatadas). Já o grupo apresentou também como alternativa mais adequada as vazões muito próximas às naturais do rio, a alternativa 2b, seguida pelas alternativas 2c, 2 e 2a (estas duas últimas empatadas). Nesta matriz, assim, não houve nenhum jogador em que a ordem das alternativas diferiu da ordem do grupo e nem entre os próprios jogadores.

Quadro 13. Alternativas consideradas na matriz de decisão da vazão no rio Xingu

Alternativa 2	Vazões no Trecho de Vazão Reduzida. As vazões serão da ordem de 200m ³ /s na estiagem, 2.000m ³ /s nas cheias e entre 1.000m ³ /s a 1.500m ³ /s no período de transição.
Alternativa 2a	Vazões mais variáveis, não fixas num período.
Alternativa 2b	Vazões muito próximas às naturais do rio (As oscilações normais no trecho (sem considerar a presença da usina) entre vazões de cheia e seca são de 1.017m ³ /s a 23.414m ³ /s. No período de transição, é de 7.800m ³ /s).
Alternativa 2c	Vazões mais próximas às naturais (608,5m ³ /s na estiagem, 4525m ³ /s no período de transição e 12707m ³ /s no período da cheia).

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 14. Jogadores considerados na matriz de decisão da vazão no rio Xingu

Jogador 1	Finanças
Jogador 2	Impactos ambientais/Legislação ambiental
Jogador 3	Tomada de decisão/Gestão Ambiental
Jogador 4	Bacias hidrográficas/Ecologia

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 15. Ordenação das alternativas da matriz de decisão da vazão no rio Xingu pelo método ELECTRE III

Ordem	Jogador 1	Jogador 2	Jogador 3	Jogador 4	Grupo (média)
1 ^a	Alternativa 2b	Alternativa 2b	Alternativa 2b	Alternativa 2b	Alternativa 2b
2 ^a	Alternativa 2c	Alternativa 2c	Alternativa 2c	Alternativa 2c	Alternativa 2c
3 ^a	Alternativa 2	Alternativa 2	Alternativa 2	Alternativa 2	Alternativa 2
3 ^a	Alternativa 2a	Alternativa 2a	Alternativa 2a	Alternativa 2a	Alternativa 2a

Fonte: Elaborado pelo autor

A alternativa de vazões muito próximas às naturais do rio, que não foi a adotada na construção da UHE Belo Monte, foi, assim, avaliada como a alternativa mais adequada na abordagem em grupo e em todos os quatro jogadores.

O entendimento do caso da UHE Belo Monte, considerando as duas avaliações das matrizes de decisão pelo método ELECTRE III, foi, dessa forma, não generalista, ou seja, a avaliação ficou restrita as duas alternativas (alternativa 1 e alternativa 2, respectivamente, dos problemas 1 e 2). Isso é observado pela alternativa de área de 516km², alternativa mais adequada para o problema 1, inviabilizar que as vazões no rio Xingu sejam mais próximas às naturais, esta que foi a alternativa mais adequada do problema 2; e vice e versa. Cabe ressaltar, entretanto, que, para o jogador 3, especialista em “Tomada de decisão/Gestão Ambiental”, a alternativa mais adequada seria a alternativa 1a, com área do reservatório menor, de 335 km².

4.2.3 Ordenação das alternativas das duas matrizes de decisão pelo método baseado na Teoria de Jogos

Os equilíbrios de Nash encontrados para as alternativas do problema da área do reservatório para os quatro jogadores foram demonstrados na tabela 9. O grupo apresentou como melhor equilíbrio o equilíbrio 2 (consenso) pela alternativa 1 de área do reservatório de 516km². O segundo melhor equilíbrio foi o equilíbrio 3 (coalizão) pela alternativa 1b de pequenos reservatórios (presença de pequenos reservatórios com pequenas centrais hidrelétricas). Já o terceiro melhor equilíbrio, o equilíbrio 1, não apresenta maioria para escolha (empate entre alternativas 1 e 1b). Houve, portanto, três equilíbrios encontrados tendo sido a ordenação dos equilíbrios definidas pela média dos pagamentos entre os jogadores, sendo a mais alta a do equilíbrio 2, o que significa que, individualmente, a maioria dos jogadores teria uma utilidade (representada pelo valor de pagamento) alta caso entrassem em acordo por escolher esta alternativa.

A alternativa de área do reservatório de 516 km², que foi a real adotada na construção da UHE Belo Monte, foi, assim como no ELECTRE III, avaliada como a alternativa mais adequada na abordagem em grupo pelo método baseado na Teoria de Jogos proposto por Leoneti (2012; 2015).

Tabela 9. Equilíbrios da matriz de decisão da área do reservatório pelo método baseado na Teoria de Jogos

	Alternativas				Pagamentos				Média
	Jog. 1	Jog. 2	Jog. 3	Jog. 4	Jogador 1	Jogador 2	Jogador 3	Jogador 4	
Equilíbrio 1	1c	1b	1c	1b	0,249734	0,079686	0,064648	0,009035	0,1008
Equilíbrio 2	1	1	1	1	0,464118	0,558961	0,574874	0,512115	0,5275
Equilíbrio 3	1c	1b	1b	1b	0,241773	0,079795	0,064648	0,009224	0,0989

Fonte: Elaborado pelo autor

Já os equilíbrios de Nash encontrados para as alternativas do problema da vazão no rio Xingu para os quatro jogadores foram elencados na tabela 10. O grupo apresentou como melhor equilíbrio o equilíbrio 1 (consenso) pela alternativa 2b de vazões muito próximas às naturais do rio. Já o segundo melhor equilíbrio foi o equilíbrio 2 (consenso) pela alternativa 2c de vazões mais próximas às naturais. Houve, portanto, dois equilíbrios encontrados que foram ordenados conforme a média dos pagamentos entre os jogadores.

A alternativa de vazões muito próximas às naturais do rio, que não foi a adotada na construção da UHE Belo Monte, foi, assim como no ELECTRE III, avaliada como a alternativa mais adequada na abordagem em grupo. Neste caso, o segundo melhor equilíbrio, o equilíbrio 2 de vazões mais próximas às naturais, não apareceu como alternativa mais adequada (em primeira ordem) em nenhum dos jogadores na aplicação do ELECTRE III.

Tabela 10. Equilíbrios da matriz de decisão da vazão no rio Xingu pelo método baseado na Teoria de Jogos

	Alternativas				Pagamentos				Média
	Jog. 1	Jog. 2	Jog. 3	Jog. 4	Jogador 1	Jogador 2	Jogador 3	Jogador 4	
Equilíbrio 1	2b	2b	2b	2b	0,97536	0,97558	0,89387	0,97679	0,95540
Equilíbrio 2	2c	2c	2c	2c	0,66429	0,84900	0,88483	0,92683	0,83124

Fonte: Elaborado pelo autor

O entendimento do caso da UHE Belo Monte, considerando as duas avaliações das matrizes de decisão, foi, dessa forma, assim como no ELECTRE III, não generalista, ou seja, a avaliação ficou restrita as duas alternativas (alternativa 1 e alternativa 2, respectivamente, dos problemas 1 e 2). Isso é observado pela alternativa de área de 516km², alternativa do grupo

mais adequada para o problema 1, inviabilizar que as vazões no rio Xingu sejam mais próximas às naturais, alternativa do grupo mais adequada do problema 2 e vice versa.

Observou-se, dessa forma, que as alternativas avaliadas como adequadas para o problema 1 e problema 2 foram as mesmas na abordagem em grupo na aplicação do ELECTRE III e do método baseado na Teoria de Jogos e equilíbrio de Nash proposto por Leoneti (2012, 2015). Entretanto, houve algumas diferenças no método baseado na Teoria de Jogos que podem influenciar num melhor entendimento do caso. Nele, para a matriz da área do reservatório, houve a clara identificação do segundo melhor equilíbrio, o equilíbrio 3 (coalizão) pela alternativa de pequenos reservatórios, que, pelo ELECTRE III, ficou em terceiro na ordenação. Além disso, se fosse assim adotado esse segundo melhor equilíbrio, haveria uma relação maior com os resultados encontrados na análise do problema das vazões no rio Xingu, pois pequenos reservatórios gerariam um impacto diferente nas vazões. Já para a matriz de vazão no rio Xingu, o método baseado na Teoria de Jogos apresentou como segundo equilíbrio uma vazão diferente das vazões naturais/muito próximas.

5 DISCUSSÃO

A ordenação das duas matrizes de decisão para ambos os métodos MCDA (quadro 12, quadro 15, tabela 9 e tabela 10) não teve por intenção corroborar ou não a escolha em prol da construção da UHE Belo Monte, confirmar ou não a adequabilidade de seus documentos oficiais de decisão, ou, ainda, analisar a totalidade do caso. A principal intenção do estudo foi realizar uma demonstração da aplicação dos métodos MCDA e ressaltar que os mesmos podem ser utilizados para obter um melhor entendimento do problema complexo que a usina representa, instigando uma maior participação de outros tomadores de decisão. Essa principal intenção vai ao encontro da abordagem construtivista dos métodos MCDA de apoiar o processo de tomada de decisão, ou seja, de fornecer novas variáveis que podem ser consideradas no processo decisório, seja ele estruturado por critérios, alternativas ou opiniões.

Por meio dos resultados expressos na seção anterior, principalmente pelas alternativas utilizadas nas matrizes de decisão e por suas ordenações, percebe-se a existência de uma relação entre esses resultados e vários impactos ambientais que alguns autores discutiram, como Fearnside (2006) e Cunha e Ferreira (2012). Tal fato ressalta a importância da aplicação dos métodos MCDA para estruturar problemas em situações reais e complexas.

Na etapa de estruturação do problema, foram identificadas a área do reservatório e as vazões no trecho de vazão reduzida no rio Xingu como as duas partes principais do problema da UHE Belo Monte. Vários autores apontaram essas duas partes como sendo questões de grande importância e causadoras de diversos impactos socioambientais (FEARNSIDE, 2006; CUNHA; FERREIRA, 2012). Assim, a metodologia de estruturação proposta nesta pesquisa conseguiu chegar aos mesmos problemas-chave da usina que aqueles apontados por outros autores (FEARNSIDE, 2006; CUNHA; FERREIRA, 2012), ao se utilizar de análise documental e de opinião de outros especialistas ambientais.

Os critérios/atributos apresentados na tabela 3 e considerados nas matrizes de decisão englobavam diversas áreas – social, ambiental, socioambiental, técnico-econômica e técnica –, abarcando variáveis que visaram aos objetivos do desenvolvimento sustentável. A utilização de critérios/atributos de várias áreas foi importante na pesquisa, uma vez que essas variáveis podem ser utilizadas em estudos que focam apenas uma abordagem com critérios/atributos monetários na tomada de decisão, como em Esmeraldo et al., (2012), que analisaram as linhas de transmissão envolvidas na UHE Belo Monte sob a ótica de custos. Além disso, os critérios/atributos para o caso não são tão encontrados facilmente.

Tanto o ELECTRE III quanto o método baseado na Teoria de Jogos apresentaram como alternativa mais adequada para o grupo a área de 516km² no reservatório da UHE Belo Monte,

que foi a alternativa adotada no empreendimento. Sobre este tema, Fearnside (2006) afirma que o reservatório da UHE Belo Monte não é grande em relação ao potencial de energia elétrica da usina, ou seja, os impactos deste reservatório não seriam tão impactantes se comparado a outros reservatórios maiores, que geram menos energia. Entretanto, o autor evidencia que há pequena quantidade de informações disseminadas sobre possíveis reservatórios adicionais à UHE Belo Monte, que servirão para regularizar a vazão no rio Xingu, aumentando a geração de energia na usina. Dessa forma, a construção da UHE Belo Monte geraria impactos ambientais que poderiam aumentar com o passar do tempo se houvesse a construção de novos empreendimentos.

Notou-se, assim, que, apesar de a aplicação dos métodos MCDA nesse estudo propiciar uma discussão das alternativas e dos vários critérios/atributos que podem se vincular ao reservatório da usina, a estruturação do problema não identificou/considerou o impacto futuro de novas UHEs na Amazônia. Entretanto, torna-se difícil a mensuração de eventos que não aconteceram e a presente pesquisa, em sua metodologia, optou por fazer uso de critérios/atributos de impactos oriundos em sua grande maioria do Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas (MME; CEPEL, 2007). Por fim, nota-se, em relação a esse manual, a provável possibilidade da análise da construção de novas usinas no rio Xingu na etapa de Avaliação Ambiental Integrada.

Outra variável que poderia ser considerada na estruturação do problema foi a destinação da energia gerada na UHE Belo Monte. Isso foi expresso na aplicação do VFT (quadro 8) pelo objetivo “Maximizar o atendimento a real necessidade socioeconômica de geração de energia elétrica no país” e corroborado por autores que afirmaram que a geração de energia elétrica na UHE Belo Monte só atenderá a demanda de energia de grandes empresas ligadas ao alumínio (FEARNSIDE, 2006; HALL; BRANDFORD, 2012). Dessa forma, demonstrou-se, também, que os critérios/atributos selecionados (tabela 3) não abarcaram tal tema. Porém, os impactos envolvendo o caso podem se estender infinitamente, o que impossibilitaria o uso de uma matriz de decisão com variáveis finitas. Além disso, assim como no caso de outros prováveis reservatórios, a presente pesquisa não fez uso dessas novas variáveis por elas não estarem contidas nos critérios/atributos de impactos do Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas (MME; CEPEL, 2007), ou seja, não fazer parte da metodologia.

Tanto o ELECTRE III quanto o método baseado na Teoria de Jogos apresentaram como alternativa mais adequada a de vazões muito próximas às naturais do rio, que não foi a adotada na construção da UHE Belo Monte. Essa ordenação foi ao encontro de Cunha e Ferreira (2012), que ressaltaram o impacto das vazões como o maior impacto gerado pelo empreendimento,

impacto esse que afetará a comunidade, biomas, a flutuação cíclica do rio e a dispersão de sementes. Esses resultados demonstraram a clara identificação do problema das vazões que a UHE acarretará, considerando critérios/atributos de várias dimensões e opiniões de vários especialistas.

Sobre os questionamentos do processo de tomada de decisão da obra, Fearnside (2006, 2009) indicou a necessidade de alterações no licenciamento ambiental no Brasil quando envolvesse projetos de impactos muito abrangentes e interdependentes, citando a UHE Belo Monte. Barros e Ravena (2011) suscitaram dúvidas se a condução das audiências públicas no caso da UHE Belo Monte foi feita da maneira mais adequada, destacando que elas ocorreram sob uma esfera coercitiva, em que os contrários a obra não puderam se manifestar plenamente. Franco e Feitosa (2013) ressaltaram que o Brasil foi até mesmo criticado por organizações internacionais pela forma com que foram feitos os processos de consulta às comunidades atingidas na construção da UHE Belo Monte e que o processo de tomada de decisão deu pouca ênfase aos direitos humanos. Assim, torna-se evidente a necessidade de maiores consultas à população atingida no caso da UHE Belo Monte. Devido a esse contexto de necessidade de inclusão de mais participantes na decisão da UHE Belo Monte, os métodos MCDA podem servir como mecanismos de aumento da participação dos envolvidos no processo decisório ao considerarem vários tomadores de decisão ao mesmo tempo em que garantem estabilidade à decisão, como foram com a aplicação aos especialistas de várias áreas apresentada nesta pesquisa.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Optou-se, nesta pesquisa, pela divisão do problema que envolve a construção da UHE Belo Monte em várias partes devido a sua complexidade. A etapa de estruturação das matrizes de decisão da UHE Belo Monte propiciou a identificação de algumas dessas partes importantes, como o tamanho do reservatório, a presença e o tamanho dos canais de derivação, os valores da vazão mínima de estiagem em m^3/s e a vazão mínima de cheia, o tamanho da barragem em metros de altura e os condicionantes da obra. Os dois problemas principais destacados pela análise de especialistas foram a área do reservatório e as vazões no trecho de vazão reduzida.

Esses dois problemas principais serviram de base para a construção de duas matrizes de decisão. A primeira etapa para a construção destas matrizes foi a identificação das alternativas adotadas e das opcionais relacionadas aos dois problemas, sendo, para o problema 1, as alternativas de área do reservatório de 516 km^2 (a adotada na obra), área do reservatório de 335 km^2 , pequenos reservatórios e área do reservatório de 1225 km^2 ; e, para o problema 2, as alternativas de trecho de vazão reduzida no rio Xingu (a adotada na obra), vazões mais variáveis, vazões muito próximas às naturais e vazões mais próximas às naturais. Vale ressaltar que houve dificuldade por parte dos especialistas em elencarem muitas alternativas opcionais ao projeto.

Após esta etapa, foi feita a identificação dos critérios pela análise documental do Manual de Inventário de Bacias Hidroelétricas, seguida da análise de especialistas. Chegou-se, assim, aos dezesseis critérios/atributos que envolveram as dimensões de sustentabilidade e técnicas, que foram adaptados a fim de esclarecer sua forma de mensuração. Eles foram dispostos de maneira a abranger cada dimensão da sustentabilidade em igual número, com a presença da dimensão técnica e validados por meio da aplicação do VFT (o que não é comum na área), em que se observou que todos os critérios/atributos apresentaram vínculos com os objetivos hierarquizados pelo método, apesar de nem todos os objetivos terem sido representados por critérios/atributos. Ademais, notou-se que os objetivos fundamentais identificados não foram consenso na maioria dos especialistas na aplicação do VFT e a abordagem de considerar os critérios de impactos negativos a fim de discriminar as alternativas também foi um diferencial da pesquisa.

Com as duas matrizes de decisão medidas, iniciou-se a aplicação do método ELECTRE III. A alternativa de área do reservatório de 516 km^2 , que foi a real adotada na construção da UHE Belo Monte, foi avaliada como a alternativa mais adequada na abordagem em grupo e por três dos quatro jogadores. Já a alternativa de vazões muito próximas às naturais do rio, que não foi a adotada na construção da UHE Belo Monte, foi avaliada como a alternativa mais adequada

na abordagem em grupo e em todos os quatro jogadores. O entendimento do caso da UHE Belo Monte, considerando as duas avaliações das matrizes de decisão, foi, dessa forma, não generalista, ou seja, a avaliação ficou restrita às duas alternativas (alternativa 1 e alternativa 2, respectivamente, dos problemas 1 e 2). Isso é observado pela alternativa de área de 516 km², alternativa do grupo mais adequada para o problema 1, inviabilizar que as vazões no rio Xingu sejam mais próximas às naturais, alternativa do grupo mais adequada do problema 2 e vice versa.

Entretanto, houve algumas diferenças no método baseado na Teoria de Jogos que podem influenciar um melhor entendimento do caso, como a clara identificação do segundo melhor equilíbrio, o equilíbrio 3 (coalizão) pela alternativa 1b de pequenos reservatórios com pequenas centrais hidrelétricas. Se o segundo melhor equilíbrio fosse assim adotado, haveria uma relação maior com os resultados encontrados na análise do problema das vazões no rio Xingu, pois uma diminuição do reservatório poderia alterar o impacto gerado nas vazões.

As contribuições da pesquisa foram divididas em duas partes. Uma está relacionada ao caso da UHE Belo Monte em si, pois a modelagem feita para uso dos métodos MCDA propiciou maior entendimento do caso, elencando vários critérios, alternativas e considerando diversos tomadores de decisão, o que corrobora com a abordagem construtivista dos métodos e aumenta suas possibilidades de uso em um contexto ainda pouco aplicado. A outra contribuição está relacionada intrinsecamente aos métodos MCDA, pois o uso destes ocorreu com critérios que tiveram como parâmetro a validação feita por um Método de Estruturação de Problemas e em um problema complexo. Ainda quanto aos métodos MCDA, foi feita a utilização de dois diferentes métodos, que levaram a uma interpretação das diferentes ordenações das alternativas e o método proposto por Leoneti (2012; 2015) obteve resultados adequados e próximos ao ELECTRE III.

Nesta pesquisa, a modelagem da UHE Belo monte foi feita, pois foram identificadas/avaliadas partes principais do problema da usina, bem como alternativas reais e opcionais, além de os diferentes critérios das dimensões da sustentabilidade e da dimensão técnica terem fomentado a discussão sobre a sustentabilidade do projeto. Nesse sentido, nota-se que as decisões tomadas na construção da UHE Belo Monte foram acompanhadas do Estudo de Impacto Ambiental, do Relatório de Impacto Ambiental e do Projeto Básico de Engenharia, ou seja, de documentos técnicos integrantes da legislação ambiental brasileira. Tais estudos, quando bem elaborados, são fundamentais para o processo decisório por reunirem diversas informações a fim de justificar as escolhas locais e técnicas das alternativas adotadas em

empreendimentos. Entretanto, muitos destes documentos levam anos para serem feitos e podem ser de difícil entendimento para diversos gestores envolvidos no processo decisório.

Ao contrário dessas dificuldades, os métodos MCDA podem propiciar uma modelagem dos problemas de maneira mais rápida, facilitar o entendimento desses problemas e, principalmente, incluir diversos tomadores de decisão, como os atingidos pela construção do empreendimento, que, no caso do licenciamento da UHE Belo Monte, não foram considerados apropriadamente conforme apontam diversos autores. Alguns autores elencaram, ainda, os problemas do processo decisório da usina, como a ausência de consultas públicas adequadas aos indígenas e problemas nas audiências públicas.

Sugere-se, portanto, que os métodos MCDA possam ser uma etapa inicial na discussão de problemas complexos e que ocorram, por exemplo, juntamente com as audiências públicas de grandes estudos ambientais, a fim de captar opiniões de diversos tomadores de decisão, incluindo várias alternativas ao projeto (seja de especialistas ou não), valorando diversas opiniões e identificando (seja por especialistas ou por análises documentais) múltiplos critérios. Ou seja, eles serão úteis tanto para uma melhoria da participação dos atingidos, por proporcionar uma participação formal se aplicados corretamente, quanto para uma discussão mais estruturada da decisão e de fácil compreensão a ser tomada entre os gestores.

A partir deste estudo, são feitos os seguintes encaminhamentos para futuras pesquisas: (i) a criação de matrizes de decisão para outras partes do problema da UHE Belo Monte, promovendo a análise de outras alternativas e a expansão dos critérios/atributos considerados, (ii) a ampliação do número de tomadores de decisão, visando a considerar os atingidos na obra, (iii) a análise dos resultados feita por especialistas de energia elétrica e hidrelétricas, (iv) a utilização de valores reais/estimados para os critérios mensuráveis como os custos de operação/manutenção e potência de energia gerada e (v) a execução da análise de sensibilidade e de robustez. Como encaminhamento específico de utilização dos métodos MCDA, sugere-se que eles passem ser aplicados nas etapas de licenciamento ambiental no Brasil, principalmente em relação aos EIAs ou AAI.

As limitações deste estudo referem-se, primordialmente, à utilização da escala tipo Likert, que desempenhou papel influenciador nas matrizes de decisão⁷, aos especialistas envolvidos (que podem ser de um número maior de organizações/instituições), aos critérios existentes passíveis de mensuração como os custos e energia gerada, à participação de especialistas apenas do estado de São Paulo e à não realização de uma análise de sensibilidade

⁷ Entretanto, ressalta-se a dificuldade de mensuração dos critérios/atributos e que, no caso das alternativas opcionais, seriam também estimativas.

e robustez dos métodos. Por fim, deve-se ressaltar que o estudo aqui realizado analisou critérios e alternativas de um caso em fase de implementação/operação, ou seja, cujas decisões reais, à época da pesquisa, já haviam sido tomadas e que, devido a sua complexidade, comporta diversas variáveis que podem ter fugido do controle dos analistas, implicando, assim, na necessidade de maiores estudos. Dessa forma, não houve a intenção de esgotar as discussões sobre a UHE Belo Monte, mas de promovê-las.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, L. H.; MOTA, C. M. M.; ALENCAR, M. H. The problem of disposing of plaster waste from building sites: Problem structuring based on value focus thinking methodology. **Waste Management**, v. 31, n. 12, p. 2512-2521, 2011.

ALMEIDA, T. A.; MORAIS, D. C.; COSTA A. P. C. S.; ALENCAR, L. H.; DAHER, S. F. D.; **Decisão em Grupo e Negociação: Métodos e Aplicações**. São Paulo: Editora Atlas, 2012.

ANANDA, J.; HERATH, G. Evaluating Public Risk Preferences in Forest Land-Use Choices Using Multi-Attribute Utility Theory. **Ecological Economics**, v. 55, p. 408-419, 2005.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Consórcio Norte Energia vence o leilão de energia da Usina Hidrelétrica Belo Monte**. 2010. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=3385&id_area=90>. Acesso em 20 set. 2015.

ARVAI, J. L.; GREGORY, R.; McDANIELS, T. L. Testing a Structured Decision Approach: Value-Focused Thinking for Deliberative Risk Communication. **Risk Analysis**, v. 21, n. 6, p. 1065-1076, 2001.

BARRON, F. H.; BARRETT, B. E. The efficacy of SMARTER—Simple multi-attribute rating technique extended to ranking. **Acta Psychologica**, v. 93, n. 1, p. 23-36, 1996a.

BARRON, F. H.; BARRETT, B. E. Decision quality using ranked attribute weights. **Management Science**, v. 42, n.11, 1996b.

BARROS, R. M.; TIAGO FILHO, G. L. Small hydropower and carbon credits revenue for an SHP project in national isolated and interconnected systems in Brazil. **Renewable Energy**, v. 48, p. 27-34, 2012.

BARROS, T.; RAVENA, N. Representações sociais nas audiências públicas de Belo Monte: do palco ao recorte midiático. In: IV ENCONTRO DA COMPOLÍTICA, 4, 2011, Rio de Janeiro-RJ. **Anais do IV Encontro da Compolítica**, Brasil: Associação Brasileira de Pesquisadores em Comunicação e Política, 2011.

BECCALI, M.; CELLURA, M.; MISTRETTA, M. Decision-Making in Energy Planning-Application of the Electre Method at Regional Level for the Diffusion of Renewable Energy Technology. **Renewable Energy**, v. 28, n. 13, p. 2063-2087, 2003.

BEHZADIAN, M. et al. A State-of the-Art Survey of TOPSIS Applications. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 17, p. 13051–13069, 2012.

BEHZADIAN, M. et al. PROMETHEE: A Comprehensive Literature Review on Methodologies and Applications. **European Journal of Operational Research**, v. 200, n. 1, p. 198-215, 2010.

BELTON, V.; STEWART, T. **Multiple criteria decision analysis**: an integrated approach. New York: Springer Science and Business Media Dordrecht, 2002.

BIELZA, C.; GÓMEZ, M.; SHENOY, P. P. A review of representation issues and modeling challenges with influence diagrams. **Omega** 39, v. 3, p. 227–241, 2011.

BILBAO-TEROL, A. et al. Using TOPSIS for Assessing the Sustainability of Government Bond Funds. **Omega**, v. 49, p. 1–17, 2014.

BODILY, S. E. **Modern Decision Making**. New York: McGraw-Hill, 1985.

BORAN, F. E.; GENÇ, S.; KURT, M.; AKAY, D. A Multi-Criteria Intuitionistic Fuzzy Group Decision Making for Supplier Selection with TOPSIS Method. **Expert Systems with Applications**, v. 36, n. 8, p. 11363–11368, 2009.

BORGES, A. Ibama nega licença de operação a Belo Monte. **O Estado de São Paulo**, 2015. Disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,ibama-nega-licenca-de-operacao-para-belo-monte,1767184>>. Acesso em 01 nov. 2015.

BORGES, F. Q. Administração pública do setor elétrico: indicadores de sustentabilidade no ambiente residencial do estado do Pará (2001-10). **Revista de Administração Pública**, v. 46, n. 3, p. 737-751, 2012.

BRANS, J. P. Lingenierie de la decision. Elaboration dinstruments daide a la decision. Methode PROMETHEE. In: NADEAU, R.; LANDRY, M. (Ed.). **Laide a la Decision**: Nature, Instruments et Perspectives Davenir. Quebec: Presses de Universite Laval, 1982. p. 183-214.

BRANS, J. P. The PROMETHEE VI Procedure. How to Differentiate Hard from Soft Multicriteria Problems. **Journal of Decision Systems**, v. 4, p. 213-223, 1995.

BRANS, J. P.; MARESCHAL, B. PROMETHEE V – MCDM Problems with Segmentation Constraints. **INFOR**, v. 30, n. 2, p. 85-96, 1992.

BRANS, J. P.; VINCKE, P.; MARESCHAL, B. How to Select and how to Rank Projects: The PROMETHEE Method. **European Journal of Operational Research**, v. 24, n. 2, p. 228-238, 1986.

BRATMAN, E. Z. Contradictions of green development: Human rights and environmental norms in light of Belo Monte dam activism. **Journal of Latin American Studies**, v. 46, n. 2, p. 261-289, 2014.

BRESSER PEREIRA, L. C.; MARAVALL, J. M.; PRZEWORSKI, A. **Economic reforms in new democracies**. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.

BRYANT, J. Requirements capture using SODA. **European Journal of Information Systems**, v. 6, 1997.

BRYSON, J. M.; ANDERSON, S. R. Applying Large-Group Interaction Methods in the Planning and Implementation of Major Change Efforts. **Public Administration Review**, v. 60, n. 2, 2000.

BUEDE, D. M. Structuring Value Attributes. **Interfaces**, v. 16, n. 2, 1986.

CALILI, R. F.; COSTA, H. G.; QUELHAS, O. L. G.; SOUZA, R. C. Estudo de modelos decisórios para escolha de alternativas de usinas geradoras de energia elétrica: utilização dos métodos multicritério TOPSIS, ELECTRE e AHP. In: 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND INDUSTRIAL MANAGEMENT; XIV CONGRESO DE INGENIERÍA DE ORGANIZACIÓN DONOSTIA, 2010, San Sebastián. **Artículos do XIV Congreso de Ingeniería de Organización Donostia**. San Sebastián, 2010.

CAMARGO, A. S. G.; UGAYA, C. M. L.; AGUDELO, L. P. P. Proposta de Definição de Indicadores de Sustentabilidade para Geração de Energia Elétrica. **Revista Educação e Tecnologia CEFET/PR/MG/RJ**, v. 5, n. 8, 2004.

CANADA. Environment Canada. **Federal Contaminated Sites Action Plan (FCSAP): Decision-Making Framework**. Gatineau, 2013. 68 p.

CARRARO, C.; MARCHIORI, C.; SGOBBI, A.; Applications of Negotiation Theory to Water Issues. **Fondazione Eni Enrico Mattei**. n. 65, v. 05, 2005. Disponível em <<http://ssrn.com/abstract=722362>> Acesso em 17 ago. 2015.

CARVALHO, J. F.; SAUER, I. L. Um sistema interligado hidroelétrico para o Brasil. **Estudos Avançados**, v. 27, n. 77, p. 117-123, 2013.

CHAMODRAKAS, I.; MARTAKOS, D. A. Utility-Based Fuzzy TOPSIS Method for Energy Efficient Network Selection in Heterogeneous Wireless Networks. **Applied Soft Computing**, v. 12, n. 7, p. 1929–1938, 2012.

CHECKLAND, P. Soft Systems Methodology: A Thirty Year Retrospective. **Systems Research and Behavioral Science**, v. 17, p. 11-58, 2000.

CHEN, Y.; HIPEL, K. W.; KILGOUR, D. M. Distance Models With an Application in Water Resources Management. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics - Part A: Systems and Humans**, v. 37, n. 5, p. 680-691, 2007.

COBB, B. R.; SHENOY, P. P. Decision making with hybrid influence diagrams using mixtures of truncated exponentials. **European Journal of Operational Research**, v. 186, n. 1, p. 261–275, 2008.

COOPER, D.; SCHINDLER, P. **Business Research Methods**. 12. ed. New York: McGraw-Hill/Irwin, 2014.

CRUZ, D. **Ibama concede licença para operação de Belo Monte**, 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/noticia/2015/11/ibama-concede-licenca-para-operacao-de-belo-monte.html>>. Acesso em 24 set. 2015.

CUNHA, D. A.; FERREIRA, L. V. Impacts of the Belo Monte hydroelectric dam construction on pioneer vegetation formations along the Xingu River, Pará State, Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 35, n. 2, pp. 159-167, 2012.

CUOGHI, K. G.; LEONETI, A. B. Identificação dos múltiplos critérios da vulnerabilidade social pela aplicação do Value-Focused Thinking. In: XXII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (SIMPEP), 12, 2015, Bauru. **Anais do XXII SIMPEP**, Brasil, 2015.

DCLG - DEPARTMENT FOR COMMUNITIES AND LOCAL GOVERNMENT. **Multi-Criteria Analysis: a Manual**. London, 2009.

DIAKOULAKI, D., GEORGIOUA, P., TOURKOLIAS, C., GEORGOPOULOU, E., LALAS, D., MIRASGEDIS, S., SARAFIDIS, Y. A multicriteria approach to identify investment opportunities for the exploitation of the clean development mechanism. **Energy Policy**, v. 35, n. 2, p. 1088–1099, 2007.

DIAS, L. C. P.; MACEDO, M. N.; COSTA, M. H.; COE, M. T.; NEILL, C. Effects of land cover change on evapotranspiration and streamflow of small catchments in the Upper Xingu River Basin, Central Brazil. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 4, p. 108–122, 2015.

DUBOIS, H. F. W. Harmonization of the European vaccination policy and the role TQM and reengineering could play. **Quality Management in Health Care**, v. 10, n. 2, p. 47–57, 2002.

DYER, J. S. MAUT – Multiattribute Utility Theory. In: FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHROGOTT, M. **Multi-Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys**. New York: Springer, 2005.

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER NETO, G.; NORONHA, S. M. **Apoio à decisão: metodologia para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas**. Florianópolis: Insular, 2001.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2015: Ano base 2014**. Rio de Janeiro, RJ, 2015a. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Forms/Anurio.aspx>>. Acesso em 01 nov. 2015a.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2015: Ano base 2014**. – Rio de Janeiro, RJ, 2015b. 292p.

ESMERALDO, P. C. V.; ARAÚJO, E.; CARVALHO JR, D. S.; SILVEIRA, M. A. N. Long distance transmission interconnections expansions in Brazil impacted by Belo Monte power plant. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LARGE HIGH VOLTAGE ELECTRIC SYSTEMS, 44, 2012, Paris. **Proceedings 44th International Conference on Large High Voltage Electric Systems**, France: CIGRE, 2012. p. 9.

FAILING, L.; GREGORY, R.; HIGGINS, P. Science, Uncertainty, and Values in Ecological Restoration: A Case Study in Structured Decision-Making and Adaptive Management. **Restoration Ecology**, v. 21, n. 4, p. 422–430, 2013.

FAPESPA – Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará. **Painel de Indicadores**. Belo Monte. 2014. Disponível em: <<http://www.idesp.pa.gov.br/index.php/todas-as-publicacoes/40-belo-monte>>. Acesso em 18 mai. 2015.

FEARNSIDE, Philip M. As hidrelétricas de Belo Monte e Altamira (Babaquara) como fontes de gases de efeito estufa. **Novos Cadernos NAEA**, v. 12, n. 2, p. 5-56, 2009.

FEARNSIDE, Philip M. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. **Conservation biology**, v. 19, n. 3, p. 680-688, 2005.

FEARNSIDE, Phillip M. Dams in the Amazon: Belo Monte and Brazil's hydroelectric development of the Xingu river basin. **Environmental Management**, v. 38, n. 1, p. 16-27, 2006.

FIANI, R. **Teoria de Jogos**. São Paulo: Elsevier, 2012.

FIGUEIRA, J.; MOUSSEAU, V.; ROY, B.; in ELECTRE Methods. FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. **Multi-Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys**. New York: Springer, 2005.

FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. **Multi-Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys**. New York: Springer, 2005.

FLEURY, L. C.; ALMEIDA, J. A construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte: conflito ambiental e o dilema do desenvolvimento. **Ambiente & Sociedade**, v. 16, n. 4, p. 141-156, 2013.

FRANCO, F. C. O.; FEITOSA, M. L. P. A. M. Desenvolvimento e direitos humanos: marcas de inconstitucionalidade no processo Belo Monte. **Revista Direito GV**, v. 9, n. 1, p. 93-114, 2013.

FRANCO, L. A.; MONTIBELLER, G. Problem Structuring for Multicriteria Decision Analysis Interventions. **Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science**, 2009.

FREITAS, A. H. A.; MAGRINI, A. Multi-criteria decision-making to support sustainable water management in a mining complex in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 47, p. 118-128, 2013.

FRIEND, J. New Directions in Software for Strategic Choice. **European Journal of Operational Research**, v. 61, p. 154-164, 1992.

FROTA, M. N.; TICONA, E. M.; NEVES, A. V.; MARQUES, R. P.; BRAGA, S. L.; VALENTE, G. Experimental Thermal and Fluid Science On-line cleaning technique for mitigation of biofouling in heat exchangers: A case study of a hydroelectric power plant in Brazil. **Experimental Thermal and Fluid Science**, v. 53, p. 197–206, 2014.

GOMES, J. P. P.; VIEIRA, M. M. F. O campo da energia elétrica no Brasil de 1880 a 2002. **Revista de Administração Pública**, v. 43, n. 2, p. 295-321, 2009.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. São Paulo: Atlas, 2012.

GOODWIN, P.; WRIGHT, G. **Decision Analysis for Management Judgement**. New Jersey: Wiley, 2004.

GREGORY, F. H.; LAU, S. P. Logical soft systems modelling for information source analysis – The case of Hongkong Telecom. **Journal of the Operational Research Society**, v. 50, n. 2, p. 124-137, 1999.

HALL, A.; BRANDFORD, S.. Development, dams and Dilma: the saga of Belo Monte. **Critical Sociology**, v. 38, n. 6, p. 851-862, 2012.

HARDMAN, J.; PAUCAR-CACERES, A.; A Soft Systems Methodology (SSM) Based Framework for Evaluating Managed Learning Environments. **System Practice and Action Research**, v. 24, n. 2, p. 165-185, 2011.

HASSAN, O. A. B. Application of value – focused thinking on the environmental selection of wall structures. **Journal of Environmental Management**, v. 70, p. 181-187, 2004.

HAURANT, P.; OBERTI, B., MUSELLI, A. N. Multicriteria Selection Aiding Related to Photovoltaic Plants on Farming Fields on Corsica Island: A Real Case Study Using the ELECTRE Outranking Framework. **Energy Policy**, v. 39, n. 2, p. 676-688, 2011.

HJORTSO, C. N. Enhancing public participation in natural resource management using Soft OR—an application of strategic option development and analysis in tactical forest planning. **European Journal of Operational Research**, v.152, n. 3, p. 667-683, 2004.

HO, W.; DEY, P. K.; LOCKSTRÖM, M. Strategic Sourcing: A Combined QFD and AHP Approach in Manufacturing. **Supply Chain Management**, v. 16, n. 6, p. 446–461, 2011.

HOENKE, K. M.; KUMAR, M.; BATT, L. A GIS based approach for prioritizing dams for potential removal. **Ecological Engineering**, v. 64, p. 27–36, 2014.

HOWARD, R. A.; MATHESON, J. E. Influence Diagrams. **Decision Analysis**, v. 2, n. 3, p. 127–143, 2005.

HUANG, I. B.; KEISLER, J.; LINKOV, I. Multi-Criteria Decision Analysis in Environmental Sciences: Ten Years of Applications and Trends. **Science of the Total Environment**, v. 409, n. 19, p. 3578–3594, 2011.

HWANG, C.L.; YOON, K. **Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications**. New York: Springer-Verlag, 1981.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010** – Resultados relativos à educação e deslocamento e aos temas trabalho e rendimento. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em 18 mai. 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores de desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=294254>>. Acesso em 01 nov. 2015.

IEA – International Energy Agency. **IEA Energy Atlas 2012**. Disponível em: <<http://energyatlas.iea.org/?subject=-1118783123>>. Acesso em 18 mai. 2015.

INFANTE, C. E. D. C.; MENDONCA, F. M.; VALLE, R. A. B. Análise de robustez com o método Electre III: o caso da região de Campo das Vertentes em Minas Gerais. **Gestão & Produção**, v. 21, n. 2, p. 245–255, 2014.

ISA – Instituto Socioambiental. **Especial Belo Monte – o que diz o especialista**. 2015. Disponível em: <<http://www.socioambiental.org/esp/bm/esp.asp>>. Acesso em 20 set. 2015.

JABLONSKÝ, J. **Microsoft Excel based system for multicriteria evaluation of alternatives**. University of Economics Prague, Department of Econometrics, 2009. Disponível em: <http://nb.vse.cz/~jablon/>. 2009. Acesso em 18 mai. 2015.

JOHAM, C.; METCALFE, M.; SASTROWARDOYO. Project conceptualization using pragmatic methods: An Australian public sector organization which regularly manages multiple complex projects. **International Journal of Project Management**, v. 27, p. 787–794, 2009.

KAILIPONI, P. Analyzing evacuation decisions using multi-attribute utility theory (MAUT). **Procedia Engineering**, v. 3, p. 163-174, 2010.

KAJANUS, M.; KANGA, J.; KURTTILA, M. The use of value focused thinking and the A'WOT hybrid method in tourism management. **Tourism Management**, v. 25, n. 4, p. 499–506, 2004.

KAMMEIER, H. D. A computer-aided strategic approach to decisionmaking in urban planning: an exploratory case study in Thailand. **Cities**, v. 15, n. 2, p. 277-295, 1998.

KANNAN, D.; JABBOUR, A. B. L. S.; JABBOUR, J. C. Selecting Green Suppliers Based on GSCM Practices: Using Fuzzy TOPSIS Applied to a Brazilian Electronics Company. **European Journal of Operational Research**, v. 233, n. 2, p. 432-447, 2014.

KAO, H. Y. Diagnostic reasoning and medical decision-making with fuzzy influence diagrams. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, v. 90, n. 1, p. 9-16, 2008.

KARAGIANNIDIS, A.; MOUSSIOPOULOS, N. Application of ELECTRE III for the Integrated Management of Municipal Solid Wastes in the Greater Athens Area. **European Journal of Operational Research**, v. 97, n. 3, p. 439-449, 1997.

KEENEY, R. L. Value-Focused Thinking: a path to creative decision-making. Cambridge-MA: **Harvard University Press**, 1992.

KEENEY, R. L. Establishing Research Objectives to Address Issues of Climate Change. **Social Economic Planning Sciences**, v. 28, n. 1, p. 1-8, 1994.

KEENEY, R. L. Value-Focused Brainstorming. **Decision Analysis**, v. 9, n. 4, p. 303–313, 2012.

KEENEY, R. L. Value-focused thinking: identifying decision opportunities and creating alternatives. **European Journal of Operational Research**, v. 92, p. 537-549, 1996.

KEENEY, R.L.; GREGORY, R.S. Selecting Attributes to Measure the Achievement of Objectives. **Operations Research**, v. 23, n. 1, p. 1-11, 2005.

KELLER, L. R.; HO, J. Decision Problem Structuring: generating options. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. 18, n. 5, p. 715-728, 1988.

KIM, Y.; CHUNG, E. S.; JUN, S. M.; KIM, S. U. Prioritizing the Best Sites for Treated Wastewater Instream Use in an Urban Watershed Using Fuzzy TOPSIS Resources. **Conservation and Recycling**, v. 73, p. 23-32, 2013.

KIRKWOOD, C.W. **Strategic Decision Making: Multiobjective Decision Analysis with Spreadsheets**. Belmont, CA: Duxbury Press, 1997.

LAI, Y.; LIU, T.; HWANG, C. TOPSIS for MODM **European Journal of Operational Research**, v. 76, n. 3, p. 486-500, 1994.

LEE, A. H. I. A fuzzy AHP evaluation model for buyer-supplier relationships with the consideration of benefits, opportunities, costs and risks. **International Journal of Production Research**, v. 47, n. 15, p. 4255–4280, 2009.

LEME ENGENHARIA LTDA. **Usina Hidrelétrica Belo Monte**. EIA – Estudo de Impacto Ambiental. 2009a. Disponível em: <<http://www.idesp.pa.gov.br/index.php/observatorio-belo-monte?showall=&start=4#links-eia>>. Acesso em 10 set. 2015.

LEME ENGENHARIA LTDA. **Usina Hidrelétrica Belo Monte**. RIMA – Relatório de Impacto Ambiental. 2009b. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com/ELB/data/Pages/LUMIS46763BB8PTBRIE.htm>>. Acesso em 19 mai. 2015.

LEONETI, A. B. **Teoria dos Jogos e Sustentabilidade na Tomada de Decisão: Aplicação a Sistemas de Tratamento de Esgoto**. 2012. 167 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2012.

LEONETI, A. B. Utility Function for modeling Group Multicriteria Decision Making problems as Games. In: 23RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIPLE CRITERIA DECISION MAKING, 2015, Hamburg. **Book of Abstracts of 23rd International Conference on Multiple Criteria Decision Making**, German, 2015.

LEONETI, A. B. Inconsistências na classificação de alternativas em métodos multicritérios de apoio à tomada de decisão. In: XLVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2014, Salvador. **Anais do XLVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, Brasil, 2014.

LEONETI, A. B.; OLIVEIRA, S. V. W. B.; OLIVEIRA, M. M. B. O equilíbrio de Nash como uma solução para o conflito entre eficiência e custo na escolha de sistemas de tratamento de esgoto sanitário com o auxílio de um modelo de tomada de decisão. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.15, p. 53-64, 2010.

LESSA, A C. R.; SANTOS, M. A.; MADDOCK, J. E. L.; BEZERRA, C. S. Emissions of greenhouse gases in terrestrial areas pre-existing to hydroelectric plant reservoirs in the Amazon: The case of Belo Monte hydroelectric plant. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 51, n. C, p. 1728-1736, 2015.

LEVINO, N. A.; MORAIS, D. C. A proposal for structuring and evaluating problems for participatory decision making in sanitation context. In: **IEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics**, 2011.

LEVINO, N. A.; MORAIS, D. C. Applying Strategic Choice Approach for Decision Making of Watersheds Committees. In: **IEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics**, 2013.

LEVINO, N. A.; MORAIS, D. C. Participatory Multicriteria Decision Making Model in Hydrographic Basin Committee. In: **IEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics**, Seul – Coréia, 2012.

LIU, P.; ZHANG, X. Research on the Supplier Selection of a Supply Chain Based on Entropy Weight and Improved ELECTRE-III Method. **International Journal of Production Research**, v. 49, n. 3, p. 637–646, 2011.

LOBATO, T. C.; HAUSER-DAVIES, R. A.; OLIVEIRA, T. F.; MACIEL, M. C.; TAVARES, M. R. M.; SILVEIRA, A. M.; SARAIVA, A. C. F. Categorization of the trophic status of a hydroelectric power plant reservoir in the Brazilian Amazon by statistical analyses and fuzzy approaches. **Science of the Total Environment**, v. 506-507, p. 613-620, 2015.

MAASER, N. F. **Decision-Making in Committees: Game-Theoretic Analysis**. London, New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010.

MACHARIS, C.; BRANS, J. P.; MARESCHAL, B. The GDSS PROMETHEE Procedure – a PROMETHEE–GAIA Based Procedure for Group Decision Support. **Journal of Decision Systems**, v. 7, p. 283-307, 1998.

MARTINS, M. V. L.; TIAGO FILHO, G. L.; MALDONADO, O. A.; SILVEIRA, J. L. Proposição de um indicador de poluição para usinas hidrelétricas. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2013, Bento Gonçalves. **Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Brasil, 2013.

McDANIELS, T. L. A. Multiattribute Index for Evaluating Environmental Impacts of Electric Utilities. **Journal of Environmental Management**, v. 46, p. 57-66, 1996.

MERRICK, J. R. W.; GARCIA, M. W. Using Value-Focused Thinking to Improve Watersheds. **Journal of the American Planning Association**, v. 70, n. 3, p. 313-327, 2004.

MILLER, A. C; MERKHOFFER, M. W.; HOWARD, R. A. **Development of Automated Aids for Decision Analysis**. Menlo Park, CA: Stanford Research Institute, 1976.

MIRAKYAN, A.; GUIO, R. D. A methodology in innovative support of the integrated energy planning preparation and orientation phase. **International Journal of Energy**, v. 78, n. 15, p. 916-927, 2014.

MME - Ministério de Minas e Energia; CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. **Manual de Inventários Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas**, 2007. Disponível em: <<http://www.eletrobras.com/elb/data/Pages/LUMISF99678B3PTBRIE.htm>>. Acesso em 01 nov. 2015.

MONTIBELLER, G.; FRANCO, L. A.; LORD, E.; IGLESIAS, A. Structuring multi-criteria portfolio analysis models. **London School of Economics and Political Science**, v. 102, 2008.

MONTIBELLER, G.; FRANCO, L. A.; LORD, E.; IGLESIAS, A. Structuring Resource Allocation Decisions: a framework for building multi-criteria portfolio models with area-grouped projects. **European Journal of Operational Research**, v. 199, n. 3, p. 846-856, 2009.

MORETTO, E. M.; GOMES, C. S.; ROQUETTI, D. R.; JORDAO, C. O. Histórico, tendências e perspectivas no planejamento espacial de usinas hidrelétricas brasileiras: a antiga e atual fronteira Amazônica. **Ambiente & Sociedade**, v. 15, n. 3, p. 141-164. 2012.

MORTON, A.; ACKERMANN, F.; BELTON, V. Problem structuring without workshops? Experiences with distributed interaction within a PSM process. **Journal of the Operational Research Society**, v. 58, p. 547-556, 2007.

NESA – Núcleo de Estudos Socioambientais. **Projeto Básico de Engenharia**. 2010. Disponível em: <<http://www.idesp.pa.gov.br/index.php/observatorio-belo-monte?showall=&start=4#outros-documentos>>. Acesso em 10 set. 2015.

NEVES, L. P.; DIAS, L. C.; ANTUNES, C. H.; MARTINS, A. G. Structuring an MCDA model using SSM: A case study in energy efficiency. **European Journal of Operational Research**, v. 199, p. 834-845, 2009.

NGAI, E. W. T.; TOB, C. K. M.; CHING, V. S. M.; CHAN, L. K.; LEE, M. C. M.; CHOI, Y. S.; CHAI, P. Y. F. Development of the conceptual model of energy and utility management in textile processing: A soft systems approach. **International Journal of Production Economics**, v. 135, n. 2, p. 607-617, 2012.

OMETTO, J. P.; CIMBLERIS, A. C. P.; SANTOS, M. A.; ROSA, L. P.; ABE, D.; TUNDISI, J. G.; STECH, J. L.; BARROS, N.; ROLAND, F. Carbon emission as a function of energy generation in hydroelectric reservoirs in Brazilian dry tropical biome. **Energy Policy**, v. 58, p. 109-116, 2013.

OPRICOVIC, S.; TZENG, G. H. Compromise Solution by MCDM Methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS. **European Journal of Operational Research**, v. 156, n. 2, p. 445-455, 2004.

ORDOOBADI, S. M. Application of AHP and Taguchi Loss Functions in Supply Chain. **Industrial Management and Data Systems**, v. 110, n. 8, p. 1251-1269, 2010.

PAO, H. T.; FU, H. C. The causal relationship between energy resources and economic growth in Brazil. **Energy Policy**, v. 61, p. 793-801, 2013.

PAPADOPOULOS, A.; KARAGIANNIDIS, A. Application of the Multi-Criteria Analysis Method Electre III for the Optimisation of Decentralised Energy Systems. **Omega**, v. 36, n. 5, p. 766-776, 2008.

PAPAYOANOU, P. **Game Theory for Business: A Primer in Strategic Gaming**. Sugar Land: Probabilistic Publishing, 2010.

PARNELL, G. S.; HUGHES, D. W.; BURK, R. C.; DRISCOLL, P. J.; KUCIK, P. D.; MORALES, B. L.; NUNN, L. R. Survey of Value-Focused Thinking: Applications, Research Developments and Areas for Future Research. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 20, p. 49-60, 2013.

PARNELL, G.S., Value-Focused Thinking. IN: RAINEY, L.; LOERCH, A. (Org.). **Methods for Conducting Military Operational Analysis**. Alexandria, VA: Military Operations Research Society, 2007. p. 619-656.

PATERSON, A. Dr Edwardde Bono's six thinking hats and numeracy. **Australian Primary Mathematics Classroom**, v. 11, n. 3, p. 11–15, 2006.

PEREIRA, R. Orçado em R\$ 16 bilhões, custo da usina de Belo Monte já supera os R\$ 30 bilhões. **Estadão**, 2013. Disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,orcado-em-r-16-bilhoes-custo-da-usina-de-belo-monte-ja-supera-os-r-30-bilhoes,153398e>>. Acesso em 20 set. 2015.

PETKOV, D.; PETKOVA, O.; ANDREW, T.; NEPAL, T. Mixing Multiple Criteria Decision Making with soft systems thinking techniques for decision support in complex situations. **Decision Support Systems**, v. 43, p. 1615–1629, 2007.

PINTO, L. F. From Tucuruí to Belo Monte: the history really progresses? **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 7, n. 3, p. 777-782, 2012.

POHEKAR, S.D., RAMACHANDRAN, M. Multi-criteria evaluation of cooking energy alternatives for promoting parabolic solar cooker in India. **Renewable Energy**, v. 29, n. 9, p. 1449–1460, 2004.

POLATIDIS, H., HARALAMBOPOULOS, D.A. Renewable energy systems: A societal and technological platform. **Renewable Energy**, v. 32, p. 329–341, 2007.

RANDELL, H. Structure and agency in development-induced forced migration: the case of Brazil's Belo Monte Dam. **Population and Environment**, p. 1-23, 2015.

REID, J. I. et al. An Application of SSM in the On-Farm Labour Situation in the New Zealand Dairy Industry. **Systems Research and Behavioral Science**, v. 16, n. 4, p. 341-350, 1999.

RIBAS, J. R.; PINHEIRO, M. T. G. Identificação de riscos na construção de hidrelétricas: uma aplicação fuzzy AHP na AHE Santo Antônio. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

PESQUISA OPERACIONAL, 2013, Natal. **Anais do XLV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**. Natal: SOBRAPO, 2013.

ROCHA, K.; MOREIRA, A.; LIMP, R. Determinantes dos altos deságios nos leilões de transmissão de energia elétrica no Brasil entre 1999-2010. **Revista Brasileira de Economia**, v. 67, n. 2, p. 261-274, 2013.

ROGERS, M.; BRUEN, M. Choosing Realistic Values of Indifference, Preference and Veto Thresholds for Use with Environmental Criteria within ELECTRE. **European Journal of Operational Research**, v. 107, p. 542-551, 1998.

ROGERS, M.; BRUEN, M.; MAYSTRE, L. **Electre and decision support: methods and applications in engineering and infrastructure investment**. New York: Springer Science; Business Media, 2000.

ROSZKOWSKA, E. Rank Ordering Criteria Weighting Methods—a Comparative Overview. **Optimum Studia Ekonomiczne**, v. 65, n. 5, p. 14-33, 2013.

ROUWETTE, E.; BASTINGS, I.; BLOKKER, H. A Comparison of Group Model Building and Strategic Options Development and Analysis **Group Decision and Negotiation**, v. 19, n. 5, p. 1-23, 2011.

ROY, B. ELECTRE III: Algorithme de Classement Base Sur Une Représentation Floue des Préférences en Présence des Critères Multiples. **Cahiers du CERO**, v. 20, n. 1, p. 3-24, 1978.

ROY, B. The Outranking Approach and the Foundations of ELECTRE Methods. **Theory and Decision**, v. 31, n. 1, p. 49-73, 1991.

ROY, B.; VANDERPOOTEN, D. The European School of MCDA: Emergence, Basic Features and Current Works. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 5, n. 1, p. 22-37, 1996.

SAATY, T. L. **Decision making for leaders: The analytic hierarchy process for decisions in a complex world**. Pittsburgh, PA: RWS Publications, 2012.

SAATY, T. L. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. **European Journal of Operational Research**, North-Holland, v. 48, p. 9-26, 1990.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. New York: McGraw-Hill, 1980.

SANTOS, S. M. S. B. M.; HERNANDEZ, F. M. (Org.). Painel de Especialistas, 2009.
Disponível em:
<http://www.socioambiental.org/banco_imagens/pdfs/Belo_Monte_Painel_especialistas_EIA.pdf>. Acesso em 10 jan. 2016.

SCHMIDT, C. A. J.; LIMA, M. A. M. A demanda por energia elétrica no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, v. 58, n. 1, p. 67-98, 2004.

SGOUROU, E.; KATSAKIORI, P.; PAPAIOANNOU, J.; GOUTSOS, S.; ADAMIDES, E. International Symposium on Safety Science and Technology: Using Soft Systems Methodology as a systemic approach to safety performance evaluation. **Procedia Engineering**, v. 45, p. 185-193, 2012.

SHENG, H.; NAH, F. F. H.; SIAU, K. Strategic implications of mobile technology: A case study using Value-Focused Thinking. **Journal of Strategic Information Systems**, v. 14, n. 3, p. 269-290, 2005.

SILVÉRIO, A. A.; RODRIGUES, L. C. Aplicação do método AHP na identificação e classificação de critérios de seleção de projetos: um caso do setor de energia. In: II SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS, 2013, São Paulo-SP. **Anais do II SINGEP e I S2IS**. São Paulo-SP, 2013.

SIMON, H. A. **Models of Bounded Rationality**. Cambridge, MA: MIT Press, 1982.

SOUSA JÚNIOR, W.C.; REID, J. Uncertainties in Amazon hydropower development: Risk scenarios and environmental issues around the Belo Monte dam. **Water Alternatives**, v. 3, n. 2, p. 249-268, 2010.

SOUSA, W. L. **Impacto Ambiental de Hidrelétricas: Uma Análise Comparativa de Duas Abordagens**. 2000. 154 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação em Pesquisa e Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

SOUZA, A. N.; JACOBI, P. R. Expansão da Matriz Hidrelétrica no Brasil: as Hidrelétricas da Amazônia e a perspectiva de mais Conflitos Socioambientais. In: V ENANPPAS, 5, 2010, Florianópolis. **Anais do V ENANPPAS**, Brasil: Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, 2010.

SPLETTSTOESSER, D. Electronic Decision-Making for Developing Countries. **Group Decision and Negotiation**, v. 7, n. 5, p. 417-433, 1998.

SPRONK, J.; STEUER, R. E.; ZOPOUNIDIS, C. Multi-Criteria Decision Aid: Analysis in Finance. In: FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. **Multi-Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys**. New York: Springer, 2005.

SRDJEVIC, B. Linking Analytic Hierarchy Process and Social Choice Methods to Support Group Decision-Making in Water Management. **Decision Support Systems**, v. 42, p. 2261-2273, 2007.

SUBRAMANIAN, N.; RAMANATHAN, R. A. Review of Applications of Analytic Hierarchy Process in Operations Management. **International Journal of Production Economics**, v. 138, p. 215-241, 2012.

SURIYA S.; MUDGAL, B. V. Soft systems methodology and integrated flood management: a study of the Adayar watershed, Chennai, India. **Water and Environment Journal**, v. 27, n. 4, p. 462-473, 2013.

TIAN, W.; BAI, J.; SUN, H.; ZHAO, Y. Application of the Analytic Hierarchy Process to a Sustainability Assessment of Coastal Beach Exploitation: A Case Study of the Wind Power Projects on the Coastal Beaches of Yancheng. **Journal of Environmental Management**, China, v. 115, p. 251-256, 2013.

TORLAK, N. G.; MÜCELDILI, B. Soft Systems Methodology in Action: The Example of a Private Hospital. **Systemic Practice and Action Research**, v. 27, n. 4, p. 325-361, 2014.

TSITA, K. G.; PILAVACHI, P. A. Evaluation of Alternative Fuels for the Greek Road Transport Sector Using the Analytic Hierarchy Process. **Energy Policy**, v. 48, p. 677-686, 2012.

VERNON, D.; HOCKING, I. Thinking hats and good men: Structured techniques in a problem construction task. **Thinking Skills and Creativity**, v. 14, p. 41-46, 2014.

VINCKE, J. P.; BRANS, P. A Preference Ranking Organization Method: The PROMETHEE Method for MCDM. **Management Science**, v. 31, p. 641-656, 1985.

VINODH, S.; GIRUBHA, R. J. PROMETHEE Based Sustainable Concept Selection. **Applied Mathematical Modelling**, v. 36, n. 11, p. 5301-5308, 2012.

WATSON, S. R.; BUEDE, D. M. **Decision Synthesis: The Principles and Practice of Decision Analysis**. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.

WESTIN, F. F.; SANTOS, M. A.; MARTINS, I. D. Hydropower expansion and analysis of the use of strategic and integrated environmental assessment tools in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 37, p. 750–761, 2014.

WIBOWO, S.; DENG, H. Consensus-based decision support for multicriteria group decision making. **Computers & Industrial Engineering**, v. 66, n. 4, p. 625–633, 2013.

WILSON, C. **Brainstorming and Beyond: A User-Centered Design Method**. Oxford: Elsevier, 2013.

YAZDANI, A. A.; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R. Integration of the fish bone diagram, brainstorming, and AHP method for problem solving and decision making—a case study. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 63, n. 5, p. 651–657, 2012.

YOO, S.; KIM, J.; KIM, T. Value-focused thinking about strategic management of radio spectrum for mobile communications in Korea. **Telecommunications Policy**, v. 25, n. 10, p. 703–718, 2001.

APÊNDICE A

QUESTIONÁRIO 1

Prezado(a) sr.(a)

A pesquisa de mestrado intitulada “Avaliação das alternativas na construção da Usina Hidrelétrica Belo Monte pela aplicação de métodos multicritério de apoio à decisão” está em andamento no Programa de Pós-Graduação em Administração de Organizações da FEA/RP – USP e investiga os prós e contras da construção da Usina Hidrelétrica Belo Monte.

A importância da investigação da construção da referida usina justifica-se pela direta relação existente entre a geração de energia elétrica e os diversos impactos ambientais, econômicos e sociais que a construção e a operação da usina implicarão, além de ser esse um problema complexo que envolve diversos grupos de opiniões conflitantes.

A pesquisa é inovadora por utilizar um método multicritério não compensatório e outro baseado na Teoria de Jogos em um caso de alta complexidade. Destarte, para fins de aplicação dos métodos multicritérios e de análises descritivas da formação das matrizes de decisão, é fundamental coletar a opinião individual de especialistas acerca da obra – uma vez que o estudo não trabalhará com inferências.

Desse modo, solicitamos sua contribuição para esta pesquisa por meio do preenchimento do questionário anexado a este e-mail. O questionário levará entre 20 e 30 minutos para ser respondido e deverá ser encaminhado a este e-mail: XXXXX

Salientamos que, por questões de ética, os resultados da pesquisa não identificarão os participantes nem o local com o qual possuem vínculos empregatícios e, ainda, que os resultados das respostas não serão divulgados na íntegra, sendo utilizados apenas para auxiliar a estruturação do problema.

Solicita-se que o questionário seja respondido e enviado até o dia XX/XX/2015. Entendemos a brevidade do período, mas ressaltamos a importância da pesquisa pelos fatos já expostos.

Certos de sua contribuição,
Atenciosamente,

Kaio Guilherme Cuoghi

Mestrando em Administração de Organizações na Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto (FEARP-USP)
Bacharel em Administração pela UNESP/FCAV

Prof. Dr. Alexandre Bevilacqua Leoneti

Professor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto (FEARP-USP)

Questão 1 - Quais os objetivos devem ser visados na construção de uma Usina Hidrelétrica e, mais especificamente, na construção da Usina Hidrelétrica Belo Monte? Podem ser considerados objetivos diversos que forem julgados necessários, relacionados a questões ambientais, econômicas, sociais, técnicas ou outras.

Questão 2 - Considerando os critérios/atributos abaixo listados, numere-os de 1 a 7 considerando uma escala tipo Likert em termo de concordância ou não com o critério, sendo 1 para aqueles de menor concordância e 7 para os de maior (Poderá haver vários em nível 1 e vários em nível 7 a julgar pela sua opinião). O nível 3 indicará indiferença. Todos foram construídos baseados no Manual de Inventário de Bacias Hidrelétricas elaborado pela CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica) em 2007.

Código	Crítérios/Atributos	Nível de importância (1 a 7)
Características técnicas da usina		
CTU1	Custo total anual da usina em R\$	
CTU2	Ganho de energia firme em MW médios	
CTU3	Taxa anual de desconto	
CTU4	Custo anual de operação e manutenção de usinas hidrelétricas, em R\$/kW/ano	
CTU5	Potência instalada em MW	
CTU6	CUR - Custo unitário de referência, em R\$/MWh	
CTU7	Custos socioambientais	
CTU8	Número de unidades geradoras da casa de força principal (tipo Francis)	
CTU9	Número de unidades geradoras da casa de força complementar (tipo Bulbo)	
Ecossistemas aquáticos		
EA1	Alteração da extensão total do ambiente aquático a ser modificado	
EA2	Perda de ambientes ecologicamente estratégicos	
EA3	Rotas migratórias afetadas	
EA4	Perda de ambientes de elevada energia hidrodinâmica	
EA5	Alteração da vegetação marginal	
EA6	Qualidade da água dos futuros reservatórios	
EA7	Interferência no regime de vazões (efeitos a jusante do reservatório)	
EA8	Possibilidade de ocorrência de eutrofização no reservatório	
EA9	Ocorrência de outras espécies da fauna vertebrada passíveis de impacto (mamíferos aquáticos e répteis)	
EA10	Alteração no regime natural de vazões	
EA11	Extensão do trecho de vazão reduzida	
EA12	Transposição de água	
Ecossistemas terrestres		
ET1	Perda de ambientes com maior grau de integridade ecológica	
ET2	Aumento da pressão sobre os ecossistemas terrestres (desmatamento, caça, extrativismo, agropecuária e comércio ilegal de espécies)	

ET3	Perda de vegetação marginal	
ET4	Perda de cobertura vegetal	
ET5	Interferência em corredores ecológicos na área de influência	
ET6	Exclusividade fisionômica e integridade do ecossistema terrestre	
ET7	Relevância da fauna na área afetada	
Modos de vida		
MV1	Número de pessoas ou de famílias atingidas (rural e urbana)	
MV2	Bens de consumo coletivo atingidos	
MV3	Modificações nos indicadores de qualidade de vida	
MV4	Mudanças nas condições de capitalização/descapitalização preexistente	
MV5	Alterações na rede de relações das quais os grupos sociais urbanos dependem para garantir sua sobrevivência	
MV6	Ruptura dos vínculos de dependência entre rural e urbano	
MV7	Vínculos de socialidade comprometidos	
MV8	Comprometimento da identidade sociocultural e de sua expressão espaço-temporal	
MV9	Interferência no patrimônio histórico, cultural, arqueológico	
Organização territorial		
OT1	Número, localização e características dos núcleos atingidos parcial e totalmente	
OT2	Disponibilidade de áreas para os reassentamentos previstos	
OT3	Estimativa da população a ser remanejada (rural e urbana)	
OT4	Equipamentos de produção, consumo e serviços atingidos	
OT5	Extensão e funções da infraestrutura viária atingida	
OT6	Estimativa dos usuários dos recursos hídricos atingidos	
OT7	Articulações intermodais atingidas	
OT8	Perda de território (superfície e participação no território total do município)	
Base econômica		
BE1	Quantitativo e valor da produção afetada por setor	
BE2	Atividades econômicas atingidas vinculadas ao rio	
BE3	Emprego e renda suprimidos	
BE4	Mercados afetados	
BE5	Características e ordem de grandeza dos recursos e potencialidades da bacia hidrográfica suprimidos (jazidas minerais, áreas de aptidão agrícola, extrativismo, potencial turístico e dotadas de potencial biológico e genético)	
BE6	Expressão econômica e social das potencialidades atingidas	
BE7	Interferência nas finanças municipais	
População indígena e populações tradicionais		
PIT1	Potencialização dos conflitos	
PIT2	Relação entre território inundado e território disponível	
PIT3	Comprometimento da unidade política	
PIT4	Comprometimento do relacionamento interétnico	
PIT5	Riscos de extinção	

PIT6	Comprometimento dos vínculos intra-grupos e com outros grupos	
PIT7	Interferência nas condições etno-ecológicas	
PIT8	Importância do território inundado para o grupo	

Questão 3 - Na próxima página, numere os problemas da construção da Usina Hidrelétrica Belo Monte/PA em nível de importância de 1 a 7 (considerando uma escala tipo Likert), sendo 1 para aquelas partes de menor concordância e 7 para os de maior, levando em conta critérios ambientais, econômicos e sociais assim como na questão 2. Se considerar outras partes escolhidas na construção da obra mais importantes, favor indicá-las e indicar o nível de importância/concordância da mesma (1 a 7). Nesta página, há uma breve informação sobre a usina e uma imagem de seu arranjo geral. As partes e informações complementares foram retiradas do Relatório Final do Projeto Básico de Engenharia e do Estudo de Impacto Ambiental da obra.

Arranjo Geral da Usina Hidrelétrica Belo Monte

Fonte: Usina Hidrelétrica Belo Monte – Projeto Básico de Engenharia

A Potência da Usina será de 11.233,1 MW, com energia firme de 4.371,78 MW. Dos 4.371,78 MW de energia firme, 4226,26 MW serão oriundos da casa de força principal, localizada no sítio Belo Monte e os 145,52MW, na casa de força complementar no sítio Pimental. Haverá 18 unidades geradoras da casa de força principal (tipo "Francis") no sítio Belo Monte e 6 unidades geradoras da casa de força complementar (tipo Bulbo) no sítio Pimental.

Problemas da construção da Usina Hidrelétrica Belo Monte	Nível de importância (1 a 7)
---	-------------------------------------

Problema 1

Área do reservatório	
-----------------------------	--

Problema 2

Locais da casa de Força Complementar no Sítio Pimental (localizado a cerca de 40km da cidade de Altamira/PA) e da casa de Força Principal no Sítio Belo Monte (na imagem da página anterior, ambos possuem setas com os dizeres “tomada d’água”)	
---	--

Problema 3

Vazões no Trecho de Vazão Reduzida, que possuirá 100 km de extensão entre o Eixo Pimental e a casa de Força da UHE Belo Monte	
<i>Observação sobre esta parte: As vazões serão da ordem de 200 m³/s na estiagem, 2.000 m³/s nas cheias e entre 1.000 m³/s a 1.500 m³/s no período de transição. As oscilações normais no trecho (sem considerar a presença da usina) entre vazões de cheia e seca são de 1.017m³/s a 23.414m³/s. No período de transição, é de 7.800 m³/s. Isto resulta em uma sincronização da maioria dos processos ecológicos de plantas e animais tais como reprodução das plantas, migração de animais e atividades de pesca, entre outros.</i>	

Questão 4 - Quais são alternativas possíveis em relação as três partes da página anterior (ou em relação a outra parte relevante que indicou) que poderiam ser adotadas na construção da Usina Hidrelétrica Belo Monte/PA?

Problemas da construção da Usina Hidrelétrica Belo Monte e outras possível alternativas
--

Problema 1

Área do reservatório (de 516 km² no projeto da usina)
<i>Apresente abaixo as outras alternativas que você considera possíveis ou estratégicas para a Problema 1 (construção do reservatório)</i>

Problema 2

Locais da casa de Força Complementar no Sítio Pimental (localizado a cerca de 40km da cidade de Altamira/PA) e da casa de Força Principal no Sítio Belo Monte (na imagem da página anterior, ambos possuem setas com os dizeres “tomada d’água”)

Problema 3

Vazões no Trecho de Vazão Reduzida, que possuirá 100km de extensão entre o Eixo Pimental e a casa de Força da UHE Belo Monte

Questão 5 – Apresente informações complementares que julgar necessário.

APÊNDICE B

QUESTIONÁRIO 2

PARTE 1:

- Preencher todos os critérios de 1 a 9 para todas as alternativas das duas matrizes de decisão considerando a Etapa A “Área – Questionário com a escala likert como função de valor” e Etapa B “Vazão – Questionário com a escala likert como função de valor”.

PARTE 2:

- Atribuição do valor de 1 a 100 para cada um dos 16 critérios (valores podem ser iguais se assim for o pensamento).
- Ordenação dos critérios de 1 a 16, sendo 1 o de maior importância.

PARTE 1

Etapa A - Área – Questionário com a escala likert como função de valor

CRITÉRIO AMBIENTAL/PERDAS DE ÁREAS PRESERVADAS

Considerando as **perdas de áreas preservadas**, a alternativa “Área do reservatório de 1225 km²” é a de **menor impacto ambiental**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando a **perdas de áreas preservadas**, a alternativa “Área do reservatório de 516 km²” é a de **menor impacto ambiental**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando a **perdas de áreas preservadas**, a alternativa “Área do reservatório de 335 km²” é a de **menor impacto ambiental**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando a **perdas de áreas preservadas**, a alternativa “Pequenos reservatórios” é a de **menor impacto ambiental**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

CRITÉRIO AMBIENTAL/ PRESSÃO SOBRE OS ECOSISTEMAS TERRESTRES

Considerando a **pressão sobre os ecossistemas terrestres**, a alternativa “Área do reservatório de 1225 km²” é a de **menor impacto ambiental**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando a **pressão sobre os ecossistemas terrestres**, a alternativa “Área do reservatório de 516 km²” é a de **menor impacto ambiental**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando a **pressão sobre os ecossistemas terrestres**, a alternativa “Área do reservatório de 335 km²” é a de **menor impacto ambiental**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando a **pressão sobre os ecossistemas terrestres**, a alternativa “Pequenos reservatórios” é a de **menor impacto ambiental**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

CRITÉRIO AMBIENTAL/ EXTENSÃO TOTAL DO AMBIENTE AQUÁTICO A SER MODIFICADO

Considerando a **extensão total do ambiente aquático a ser modificado**, a alternativa “Área do reservatório de 1225 km²” é a de **menor impacto ambiental**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando a **extensão total do ambiente aquático a ser modificado**, a alternativa “Área do reservatório de 516 km²” é a de **menor impacto ambiental**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando **a extensão total do ambiente aquático a ser modificado**, a alternativa “**Área do reservatório de 335 km²**” é a de **menor impacto ambiental**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando **a extensão total do ambiente aquático a ser modificado**, a alternativa “**Pequenos reservatórios**” é a de **menor impacto ambiental**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

CRITÉRIO AMBIENTAL/ IMPACTO NA QUALIDADE DA ÁGUA DOS FUTUROS RESERVATÓRIOS

Considerando **o impacto na qualidade da água dos futuros reservatórios**, a alternativa “**Área do reservatório de 1225 km²**” é a de **menor impacto ambiental**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando **o impacto na qualidade da água dos futuros reservatórios**, a alternativa “**Área do reservatório de 516 km²**” é a de **menor impacto ambiental**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando **o impacto na qualidade da água dos futuros reservatórios**, a alternativa “**Área do reservatório de 335 km²**” é a de **menor impacto ambiental**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando **o impacto na qualidade da água dos futuros reservatórios**, a alternativa “**Pequenos reservatórios**” é a de **menor impacto ambiental**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

CRITÉRIO SOCIAL E AMBIENTAL/ INTERFERÊNCIA NAS CONDIÇÕES ETNO-ECOLÓGICAS

Considerando **a interferência nas condições etno-ecológicas**, a alternativa “**Área do reservatório de 1225 km²**” é a de **menor impacto social/ambiental**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando **a interferência nas condições etno-ecológicas**, a alternativa “**Área do reservatório de 516 km²**” é a de **menor impacto social/ambiental**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando **a interferência nas condições etno-ecológicas**, a alternativa “**Área do reservatório de 335 km²**” é a de **menor impacto social/ambiental**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando **a interferência nas condições etno-ecológicas**, a alternativa “**Pequenos reservatórios**” é a de **menor impacto social/ambiental**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

CRITÉRIO SOCIAL E AMBIENTAL/ O IMPACTO DO TERRITÓRIO INUNDADO PARA OS GRUPOS INDÍGENAS E TRADICIONAIS

Considerando **o impacto do território inundado para os grupos indígenas e tradicionais**, a alternativa “**Área do reservatório de 1225 km²**” é a de **menor impacto social/ambiental**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5 ☐6 ☐7 ☐8 ☐9

Considerando **o impacto do território inundado para os grupos indígenas e tradicionais**, a alternativa “**Área do reservatório de 516 km²**” é a de **menor** impacto social/ambiental?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5 ☐6 ☐7 ☐8 ☐9

Considerando **o impacto do território inundado para os grupos indígenas e tradicionais**, a alternativa “**Área do reservatório de 335 km²**” é a de **menor** impacto social/ambiental?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5 ☐6 ☐7 ☐8 ☐9

Considerando **o impacto do território inundado para os grupos indígenas e tradicionais**, a alternativa “**Pequenos reservatórios**” é a de **menor** impacto social/ambiental?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5 ☐6 ☐7 ☐8 ☐9

CRITÉRIO SOCIAL/ AS FAMÍLIAS ATINGIDAS

Considerando **as famílias atingidas**, a alternativa “**Área do reservatório de 1225 km²**” é a de **menor** impacto social?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5 ☐6 ☐7 ☐8 ☐9

Considerando **as famílias atingidas**, a alternativa “**Área do reservatório de 516 km²**” é a de **menor** impacto social?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5 ☐6 ☐7 ☐8 ☐9

Considerando **as famílias atingidas**, a alternativa “**Área do reservatório de 335 km²**” é a de **menor** impacto social?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5 ☐6 ☐7 ☐8 ☐9

Considerando **as famílias atingidas**, a alternativa “**Pequenos reservatórios**” é a de **menor** impacto social?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5 ☐6 ☐7 ☐8 ☐9

CRITÉRIO SOCIAL/ A DETERIORAÇÃO NOS INDICADORES DE QUALIDADE DE VIDA

Considerando **a deterioração nos indicadores de qualidade de vida**, a alternativa “**Área do reservatório de 1225 km²**” é a de **menor** impacto social?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5 ☐6 ☐7 ☐8 ☐9

Considerando **a deterioração nos indicadores de qualidade de vida**, a alternativa “**Área do reservatório de 516 km²**” é a de **menor** impacto social?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5 ☐6 ☐7 ☐8 ☐9

Considerando **a deterioração nos indicadores de qualidade de vida**, a alternativa “**Área do reservatório de 335 km²**” é a de **menor** impacto social?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5 ☐6 ☐7 ☐8 ☐9

Considerando **a deterioração nos indicadores de qualidade de vida**, a alternativa “**Pequenos reservatórios**” é a de **menor** impacto social?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5 ☐6 ☐7 ☐8 ☐9

CRITÉRIO SOCIAL/ OS NÚCLEOS ATINGIDOS PARCIAL E TOTALMENTE

Considerando **os núcleos atingidos parcial e totalmente**, a alternativa “Área do reservatório de 1225 km²” é a de **menor impacto social**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando **os núcleos atingidos parcial e totalmente**, a alternativa “Área do reservatório de 516 km²” é a de **menor impacto social**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando **os núcleos atingidos parcial e totalmente**, a alternativa “Área do reservatório de 335 km²” é a de **menor impacto social**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando **os núcleos atingidos parcial e totalmente**, a alternativa “Pequenos reservatórios” é a de **menor impacto social**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

CRITÉRIO SOCIAL/ O AUMENTO DA NECESSIDADE DE REASSENTAMENTOS

Considerando **o aumento da necessidade de reassentamentos**, a alternativa “Área do reservatório de 1225 km²” é a de **menor impacto social**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando **o aumento da necessidade de reassentamentos**, a alternativa “Área do reservatório de 516 km²” é a de **menor impacto social**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando **o aumento da necessidade de reassentamentos**, a alternativa “Área do reservatório de 335 km²” é a de **menor impacto social**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando **o aumento da necessidade de reassentamentos**, a alternativa “Pequenos reservatórios” é a de **menor impacto social**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

CRITÉRIO TÉCNICO/ POTÊNCIA INSTALADA EM MW

Considerando **a potência instalada em MW**, a alternativa “Área do reservatório de 1225 km²” é a de **maior benefício técnico**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando **a potência instalada em MW**, a alternativa “Área do reservatório de 516 km²” é a de **maior benefício técnico**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando **a potência instalada em MW**, a alternativa “Área do reservatório de 335 km²” é a de **maior benefício técnico**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando **a potência instalada em MW**, a alternativa “Pequenos reservatórios” é a de **maior benefício técnico**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

CRITÉRIO TÉCNICO/ O GANHO DE ENERGIA FIRME EM MW

Considerando o **ganho de energia firme em MW**, a alternativa “Área do reservatório de 1225 km²” é a de **maior benefício técnico**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5 ☐6 ☐7 ☐8 ☐9

Considerando o **ganho de energia firme em MW**, a alternativa “Área do reservatório de 516 km²” é a de **maior benefício técnico**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5 ☐6 ☐7 ☐8 ☐9

Considerando o **ganho de energia firme em MW**, a alternativa “Área do reservatório de 335 km²” é a de **maior benefício técnico**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5 ☐6 ☐7 ☐8 ☐9

Considerando o **ganho de energia firme em MW**, a alternativa “Pequenos reservatórios” é a de **maior benefício técnico**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5 ☐6 ☐7 ☐8 ☐9

CRITÉRIO TÉCNICO E ECONÔMICO/ O CUSTO ANUAL DE OPERAÇÃO/MANUTENÇÃO

Considerando o **custo anual de operação/manutenção**, a alternativa “Área do reservatório de 1225 km²” é a de **maior benefício técnico/econômico**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5 ☐6 ☐7 ☐8 ☐9

Considerando o **custo anual de operação/manutenção**, a alternativa “Área do reservatório de 516 km²” é a de **maior benefício técnico/econômico**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5 ☐6 ☐7 ☐8 ☐9

Considerando o **custo anual de operação/manutenção**, a alternativa “Área do reservatório de 335 km²” é a de **maior benefício técnico/econômico**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5 ☐6 ☐7 ☐8 ☐9

Considerando o **custo anual de operação/manutenção**, a alternativa “Pequenos reservatórios” é a de **maior benefício técnico/econômico**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5 ☐6 ☐7 ☐8 ☐9

CRITÉRIO TÉCNICO E ECONÔMICO/ O CUSTO TOTAL DE IMPLANTAÇÃO

Considerando o **custo total de implantação**, a alternativa “Área do reservatório de 1225 km²” é de **maior benefício técnico/econômico**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5 ☐6 ☐7 ☐8 ☐9

Considerando o **custo total de implantação**, a alternativa “Área do reservatório de 516 km²” é a de **maior benefício técnico/econômico**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5 ☐6 ☐7 ☐8 ☐9

Considerando o **custo total de implantação**, a alternativa “Área do reservatório de 335 km²” é a de **maior benefício técnico/econômico**?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5 ☐6 ☐7 ☐8 ☐9

Considerando o custo total de implantação, a alternativa “Pequenos reservatórios” é a de maior benefício técnico/econômico?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

CRITÉRIO ECONÔMICO/A PRODUÇÃO ECONÔMICA AFETADA

Considerando a produção econômica afetada, a alternativa “Área do reservatório de 1225 km²” é a de menor impacto econômico?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando a produção econômica afetada, a alternativa “Área do reservatório de 516 km²” é a de menor impacto econômico?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando a produção econômica afetada, a alternativa “Área do reservatório de 335 km²” é a de menor impacto econômico?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando a produção econômica afetada, a alternativa “Pequenos reservatórios” é a de menor impacto econômico?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

CRITÉRIO ECONÔMICO/O EMPREGO E RENDA SUPRIMIDAS

Considerando o emprego e renda suprimidas, a alternativa “Área do reservatório de 1225 km²” é a de menor impacto econômico?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando o emprego e renda suprimidas, a alternativa “Área do reservatório de 516 km²” é a de menor impacto econômico?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando o emprego e renda suprimidas, a alternativa “Área do reservatório de 335 km²” é a de menor impacto econômico?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Considerando o emprego e renda suprimidas, a alternativa “Pequenos reservatórios” é a de menor impacto econômico?

Discordo totalmente

Concordo totalmente

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Etapa B -Vazão – Questionário com a escala likert como função de valor

Esta etapa teve os mesmos questionamentos da Etapa A, só mudando as quatro alternativas que, em vez da área, foram as quatro alternativas da vazão da matriz de decisão 2.

PARTE 2

Legenda para os critérios:

ET1	Perdas de áreas preservadas
ET2	Pressão sobre os ecossistemas terrestres
EA1	Extensão total do ambiente aquático a ser modificado
EA6	Impacto na qualidade da água dos futuros reservatórios
PIT7	Interferência nas condições etno-ecológicas
PIT8	Impacto do território inundado para os grupos indígenas e tradicionais
MV1	Famílias atingidas
MV3	Deterioração nos indicadores de qualidade de vida
OT1	Núcleos atingidos parcial e totalmente
OT2	Aumento da necessidade de reassentamentos
CTU5	Potência instalada em MW
CTU2	Ganho de energia firme em MW
CTU4	Custo anual de operação/manutenção
CTU1	Custo total de implantação
BE1	Produção econômica afetada
BE3	Emprego e renda suprimidos