

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Rafael Bambirra Pereira

**INTEGRAÇÃO DE MÉTODOS DE PLANEJAMENTO EM CENÁRIOS E TOMADA
DE DECISÃO E SUAS APLICAÇÕES**

Belo Horizonte

2019

Rafael Bambirra Pereira

**INTEGRAÇÃO DE MÉTODOS DE PLANEJAMENTO EM CENÁRIOS E TOMADA
DE DECISÃO E SUAS APLICAÇÕES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Petr Iakovlevich Ekel
Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Luíz Soares

Área de concentração: Modelagem, Otimização e Inteligência Computacional

Belo Horizonte

2019

Rafael Bambirra Pereira

**INTEGRAÇÃO DE MÉTODOS DE PLANEJAMENTO EM CENÁRIOS E TOMADA
DE DECISÃO E SUAS APLICAÇÕES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Petr Iakovlevich Ekel
Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Luíz Soares

Área de concentração: Modelagem, Otimização e Inteligência Computacional

Prof. Dr. Petr Iakovlevich Ekel – PUC Minas (Orientador)

Profa. Dra. Rose Mary de Souza Batalha – PUC Minas

Dr. Cleber Esteves Sacramento – CEMIG

Belo Horizonte, 28 de fevereiro de 2019

AGRADECIMENTOS

Ao concluir esse projeto, me volto para traz e me lembro de todos que influenciaram minha jornada com profunda gratidão.

Agradeço a meus pais Paulo Pereira Filho e Maria Alice Bambirra, a minha irmã Luisa Bambirra Pereira e a minha Avó Iracema Vicente Bambirra, pelo amor autêntico e incondicional.

A Nicole Christine Silva Azevedo, pelo companheirismo, paciência e empatia.

Aos meus orientadores Petr Iakovlevich Ekel e Gustavo Luíz Soares pela inspiração e crença em minha pessoa.

A participantes da equipe de construção de cenários Matheus Alexandria Sposito, Rafael Fusco Chaves e Gabriela Martins Peixoto, pela amizade e ajuda na aplicação do método elaborado.

Aos companheiros de mestrado Thiago Melo Machado-Coelho, Samuel Pereira Da Rocha, Edson Tadeu Moreira, Marcelo de Carvalho Pereira e Felipe Diniz Ramalho pela amizade e encorajamento.

Já com lágrimas dos olhos, sinto-me privilegiado por ter a oportunidade de ter vivenciado as experiências que tive com todos vocês. Pelas lições valiosas que aprendi na presença de vocês, muito obrigado!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG).

“However good our futures research may be, we shall never be able to escape from the ultimate dilemma that all our knowledge is about the past, and all our decisions are about the future.” (RALSTON; WILSON, 2006)

RESUMO

Este documento utiliza planejamento em cenários para modelagem das incertezas em tomada de decisão multicritério. Para estreitar os laços entre essas disciplinas, desenvolveu-se um método, denominado de CCD (Construir Cenários e Decidir), que utiliza informações quantitativas e qualitativas para a construção dos cenários. A metodologia elaborada foi utilizada para solução de um problema de planejamento de portfólio energia presente nas indústrias eletrointensivas. Com o uso de mapas cognitivos *fuzzy*, foi possível a construção de cenários dinâmicos, que representam as situações definidas pela equipe envolvida na aplicação do método. Ao longo da aplicação do método CCD, foi possível avaliar o efeito da natureza de cada cenário nas variáveis sistêmicas ao longo do horizonte de planejamento, de forma que as funções objetivo de custo e risco das alternativas estabelecidas pudessem ser avaliadas em modelos $\langle X, M \rangle$ de tomada de decisão multicritério.

Palavras chave: Planejamento em cenários. Mapas cognitivos *fuzzy*. Tomada de decisão multicritério. Portfólio de energia. Indústrias eletrointensivas

ABSTRACT

This document uses scenario planning to model the uncertainties in multicriteria decision making. In order to strengthen the ties between these disciplines, a method was developed, called CCD (Build Scenarios and Decide – *Construir Cenários e Decidir*), which uses quantitative and qualitative information to construct the scenarios. The elaborated methodology was used to solve a problem of energy portfolio planning present in the electro-intensive industries. With the use of fuzzy cognitive maps, it was possible to construct dynamic scenarios, which represent the situations defined by the team involved in the application of the method. Throughout the application of the CCD method, it was possible to evaluate the effect of the nature of each scenario on the systemic variables along the planning horizon, so that the objective functions cost and risk of the established alternatives could be evaluated in $\langle X, M \rangle$ multicriteria decision-making models.

Keywords: Scenario planning. Fuzzy cognitive maps. Multicriteria decision making. Energy portfolio. Electro-Intensive Industries

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema De Cenário Baseado Em Desempenho	35
Figura 2 - Exemplo de FCM e sua matriz de pesos.....	40
Figura 3 - Construir Cenários e Decidir (CCD)	60
Figura 4 - Mapa Geral	71
Figura 5 - Funções de pertinência para defuzzificação dos pesos.....	76
Figura 6 - Evolução da produção da empresa (M t)	81
Figura 7 - Evolução do preço da energia	83
Figura 8 - FCM do Especialista 1	105
Figura 9 - FCM do Especialista 2.....	107
Figura 10 - FCM do Especialista 3.....	109
Figura 11 - FCM do Especialista 4.....	111
Figura 12 - Fluxo de caixa das alternativas para o “cenário base” (M R\$).....	119
Figura 13 - Fluxo de caixa das alternativas para o cenário “pouca chuva” (M R\$).....	123
Figura 14 - Fluxo de caixa das alternativas para o cenário “desenvolvimento paraguaio” (M R\$).....	127
Figura 15 - Fluxo de caixa das alternativas para o cenário “retomada da economia brasileira” (M R\$).....	131
Figura 16 - Fluxo de caixa das alternativas para o cenário “desenvolvimento mundial” (M R\$).....	135
Figura 17 - Fluxo de caixa das alternativas para o cenário “dilúvios” (M R\$).....	139
Figura 18 - Fluxo de caixa das alternativas para o cenário “subsídio para usinas renováveis” (M R\$).....	143
Figura 19 - Fluxo de caixa das alternativas para o cenário “desenvolvimento com chuvas” (M R\$).....	147
Figura 20 - Fluxo de caixa das alternativas para o cenário “aumento no preço dos combustíveis” (M R\$).....	151
Figura 21 - Fluxo de caixa das alternativas para o cenário “previsões” (M R\$).....	155

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Definições de planejamento em cenários e suas variáveis de resultado	29
Quadro 2 - Metodologia de Desenvolvimento de Cenários de Wilson e Ralston (Modelo SRI)	33
Quadro 3 - Passos do modelo de construção de cenários de Schoemaker	36
Quadro 4 - Processo do MSA	37
Quadro 5 - Avaliação das estratégias proposta no MSA	38
Quadro 6 - Exemplos de aplicação de FCM.....	45
Quadro 7 - Comparação dos Métodos de planejamento em cenários.....	46
Quadro 8 - Matriz Payoff.....	51
Quadro 9 - Matriz payoff com características estimadas	53
Quadro 10 - Matriz de Risco	53
Quadro 11 - Resultado do Passo 1	63
Quadro 12 - Cronograma do projeto.....	67
Quadro 13 - Procedimento de defuzzificação das variáveis Preço de energia e Produção eletrointensivos	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz com os critérios de escolha para a função objetiva de número p.....	56
Tabela 2 - Matriz com os critérios de escolha modificados para a função objetivo de número p	57
Tabela 3 - Matriz com os critérios de escolha agregados.....	57
Tabela 4 - Parâmetros de delimitação da análise.....	64
Tabela 5 - Indicadores de interesse.....	65
Tabela 6 - Dados técnico-econômicos das usinas	69
Tabela 7 - Índices do Mapa Geral	73
Tabela 8 - Categorias e tipo dos conceitos do FCM geral.....	73
Tabela 9 - Valores e descrição dos conceitos	74
Tabela 10 - Pesos do FCM geral	77
Tabela 11 - Procedimento de fuzzificação e valores iniciais.....	78
Tabela 12 - Resultados dos cenários.....	85
Tabela 13 - Matriz payoff para o critério custo (M R\$)	88
Tabela 14 - Característica estimadas da matriz payoff do critério custo (M R\$).....	88
Tabela 15 - Matriz payoff para o critério risco (M R\$).....	88
Tabela 16 - Característica estimadas da matriz payoff do critério risco (M R\$).....	89
Tabela 17 - Matriz de arrependimento do critério custo (M R\$).....	89
Tabela 18 - Matriz de arrependimento do critério risco (M R\$)	89
Tabela 19 - Matriz com os critérios de escolha estimados para o critério custo (M R\$)	90
Tabela 20 - Matriz com os critérios de escolha estimados para o critério risco (M R\$).....	90
Tabela 21 - Matriz modificada com os critérios de escolha para o critério custo	90
Tabela 22 - Matriz modificada com os critérios de escolha para o critério risco.....	91
Tabela 23 - Matriz agregada dos critérios de escolha	92
Tabela 24 - Índices do FCM do Especialista 1	113
Tabela 25 - Índices do FCM do Especialista 2.....	114
Tabela 26 - Índices do FCM do Especialista 3.....	115
Tabela 27 - Índices do FCM do Especialista 4.....	116
Tabela 28 - Simulação do “cenário base”.....	117
Tabela 29 - Simulação do cenário “pouca chuva”.....	121
Tabela 30 - Simulação do cenário “desenvolvimento paraguaio”.....	125
Tabela 31 - Simulação do cenário “retomada da economia brasileira”.....	129
Tabela 32 - Simulação do cenário “desenvolvimento mundial”	133
Tabela 33 - Simulação do cenário “dilúvios”	137
Tabela 34 - Simulação do cenário “subsídio para usinas renováveis”	141
Tabela 35 - Simulação do cenário “desenvolvimento com chuvas”	145
Tabela 36 - Simulação do cenário “aumento no preço dos combustíveis”	149
Tabela 37 - Simulação do cenário “previsões”.....	153

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	23
1.1. Objetivos.....	24
1.2. Estrutura do trabalho	24
2. REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1. Planejamento de Cenários	27
2.1.1. Metodologias de planejamento de cenários	31
2.1.1.1. Os quatro cenários de Dator.....	32
2.1.1.2. Modelo SRI.....	32
2.1.1.3. Sistema de Cenários Baseado em Desempenho	34
2.1.1.4. Método de Schoemaker.....	35
2.1.1.5. Abordagem de múltiplos cenários (MSA).....	37
2.1.1.6. Análise de impacto de tendências.....	38
2.1.1.7. Simulação Interativa de Impacto Cruzado – INTERAX.....	39
2.1.1.8. Mapas Cognitivos Fuzzy.....	40
2.1.2. Comparação entre os métodos	46
2.2. Teoria dos Conjuntos Nebulosos	48
2.2.1. Variáveis Linguísticas	50
2.3. Tomada de Decisão Multicritério em Condições de Incerteza com Base na Abordagem de Possibilidades	51
3. METODOLOGIA.....	59
4. APLICAÇÃO DO CCD E SEUS RESULTADOS	63
4.1. Desenvolvimento da Etapa 1.....	63
4.2. Desenvolvimento da Etapa 2.....	69
4.3. Desenvolvimento da Etapa 3.....	70
4.4. Desenvolvimento da Etapa 4.....	87
5. CONCLUSÃO.....	93
5.1. Contribuições	94
5.2. Trabalhos futuros	94

REFERÊNCIAS	96
APÊNDICE – FCM.....	105
APÊNDICE ÍNDICES DOS FCM.....	113
APÊNDICE SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS	117
Cenário base	117
Pouca chuva.....	121
Desenvolvimento paraguaio	125
Retomada da economia brasileira	129
Desenvolvimento mundial	133
Dilúvios	137
Subsídio para usinas renováveis	141
Desenvolvimento com chuvas.....	145
Aumento no preço dos combustíveis	149
Previsões.....	153

1. INTRODUÇÃO

Comumente em problemas de sistemas complexos de várias naturezas, faz-se necessário sua modelagem para que, com o desenvolvimento de simulações, se obtenha informações que possam dar suporte a análise. Entretanto, por mais completa e cuidadosa que seja a criação das ferramentas de modelagem, elas somente traduzem a realidade para modelos computacionais, sendo, conseqüentemente, imperfeitos (EKEL *et al.*, 2016).

Durante a modelagem de sistemas reais, é possível se deparar com fenômenos de natureza aleatória, ou com objetivos e restrições mal definidos em tarefas de projeto, planejamento, operação e controle. Também é possível encontrar situações em que se tenha que tomar decisões com a insuficiência ou pouca confiabilidade de informações, ou também sem que se consiga medir as conseqüências dessas decisões. Por fim, substancialmente, a incerteza é uma condição inerente ao contexto de problemas de planejamento e tomada de decisão (EKEL *et al.*, 2008; RAMALHO, 2017).

A disciplina de planejamento em cenários foi desenvolvida como uma abordagem que facilita o processo de identificação de fatores incertos e incontroláveis, que podem ter impacto sobre as conseqüências das decisões tomadas. Apesar da análise de cenários ter sido amplamente aceita como uma componente essencial dos diversos tipos de planejamento, e em particular, do planejamento estratégico, existe uma negligência em conectá-la com as abordagens de tomada de decisão multicritério (STEWART; DURBACH, 2016). Outro problema relacionado com planejamento em cenários, é a escassez de abordagens de planejamento em cenários que utilizem métodos quantitativos e qualitativos de construção de cenários de forma complementar. De modo que a falta de associação entre métodos quantitativos e qualitativos reduz a capacidade de se modelar incertezas das metodologias de planejamento em cenários (AMER *et al.*, 2013; KOK, 2009; KOK; VAN DELDEN, 2009).

Da mesma maneira, a fim de conduzir o processo decisório de maneira racional, a disciplina de tomada de decisão possibilitou a criação de um amplo conjunto de ferramentas que auxiliam os tomadores de decisão no planejamento e execução de atividades (FIGUEIRA *et al.*, 2005). No entanto um dos problemas associados ao esquema geral de tomada de decisão em ambientes de incerteza proposto em (PEREIRA *et al.*, 2015; RAMALHO *et al.*, 2019), é a utilização de $LP\tau$ sequências (SOBOL, 1979), que são sequências de discrepância quase-aleatórias utilizadas na construção de cenários. O uso dessas sequências permite a modelagem

das incertezas a partir da definição de estados de natureza estáticos, o que compromete a qualidade dos resultados do processo de tomada de decisão em ambientes dinâmicos.

1.1. Objetivos

O objetivo desse trabalho é a elaboração de um método de construção de cenários dinâmicos, que integre abordagens quantitativas e qualitativas em sua constituição. Os cenários construídos a partir desse método de planejamento em cenários, devem se conectar com a entrada dos modelos $\langle X, M \rangle$ de tomada de decisão multicritério (multiobjetivo), complementando a utilização das $LP\tau$ sequências.

Como caminho para tal, faz-se necessário uma revisão na literatura de métodos de planejamento em cenários, a fim de que se possa organizar o estado da arte dessa disciplina para a seleção do esquema mais adequado à necessidade desse trabalho.

Para atestar a validade desse novo método, se faz necessária sua aplicação em um problema com uma dinâmica sistêmica, onde suas partes de interesse se relacionam entre si ao longo do tempo. O caso especial de planejamento de portfólio energético de indústrias eletrointensivas foi escolhido para emprego do método denominado CCD (Construir Cenários e Decidir).

1.2. Estrutura do trabalho

O capítulo 2 introduz os conceitos de teoria dos conjuntos *fuzzy*, bem como os de tomada de decisão multicritério em condições de incerteza, que são necessários para o entendimento do método elaborado neste trabalho. Este capítulo também discorre sobre a disciplina de planejamento em cenários. Nele estão expostas as metodologias que compõe o estado da arte dessa área de conhecimento, assim como também é apresentado uma comparação entre essas metodologias.

A metodologia elaborada para a composição do método CCD é apresentada no capítulo 3. Neste capítulo se encontram as principais referências que inspiraram na formação do método e o passo a passo para sua aplicação.

O capítulo 4 apresenta a aplicação da metodologia elaborada em um problema hipotético de planejamento. Este capítulo também expõe os resultados alcançados com o trabalho.

Por fim, no capítulo 5 são apresentadas as conclusões do trabalho, as conclusões acerca do método elaborado, e seus possíveis pontos de melhoria.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Para a realização do trabalho, se fez necessário conceitos de planejamento em cenários, teoria dos conjuntos nebulosos e tomada de decisão. Esses fundamentos estão dispostos neste capítulo.

2.1. Planejamento de Cenários

A relação entre as ações do presente e suas consequências no futuro tem sido uma preocupação constante da humanidade em toda sua história. Este desejo de prever o futuro amenizando a incerteza em relação ao amanhã fez com que muitas decisões tenham sido suportadas por abordagens não científicas. Gradualmente as abordagens empíricas foram dando lugar ao pensamento científico. A fim de se conhecer o futuro, para que possamos tomar a melhor decisão, foram desenvolvidas ferramentas para modelar as incertezas e construir planejamentos (RALSTON; WILSON, 2006). Uma dessas ferramentas, é a utilização de cenários.

Cenários são definidos por (VAN DEN HAAG, 1968) como um conjunto hipotético de eventos futuros, construídos para esclarecer uma possível cadeia de eventos, bem como seus pontos de decisão. Segundo (GODET, 2000a), cenários são descrições de situações futuras, e das suas respectivas sucessões causais, capazes de explicar as consequências das ações atuais no futuro. Em contrapartida, para (RALSTON; WILSON, 2006) cenários são estruturas para a organizar as percepções das pessoas sobre futuros alternativos, no qual suas decisões podem se manifestar. Cenários, entretanto, não são previsões e nem variações ao redor de algum caso base; eles devem ser descrições plausíveis de futuros alternativos, e representar significativamente diferentes futuros (RALSTON; WILSON, 2006).

Embora seja utilizado de forma vaga em muitos casos, o termo “Cenário” se tornou parte do cotidiano da humanidade e é aplicado em diversas áreas do conhecimento. A maior complexidade e incerteza no ambiente de análise ressalta a importância de identificar tendências futuras e os cenários esperados. Utilizar de cenários para avaliar as possibilidades de ação, permite mensurar o impacto de quebras estruturais do modelo em foco (AMER *et al.*, 2013). A utilização de informações determinísticas na consideração de múltiplas alternativas futuras possíveis ajuda a conduzir o planejamento futuro de maneira holística e aumenta significativamente a capacidade de lidar com a incerteza e a utilidade do processo decisório geral (DER HEIJDEN, 2011). Os cenários fornecem uma visão geral do ambiente e destacam

as interações entre várias tendências e eventos futuros (MARTINO, 2003). Os cenários também são muito úteis para destacar as implicações de possíveis descontinuações futuras do sistema, identificar a natureza e o tempo dessas implicações e projetar as consequências de uma determinada ação ou decisão política (STRAUSS; RADNOR, 2004). O trabalho (MERISTÖ, 1989) defende que o processo de construção, as ideias e as visões que surgem nas mentes dos envolvidos são tão importantes quanto os próprios cenários em si. Apesar de sua utilidade, o planejamento de cenários ainda é considerado uma disciplina jovem (CHERMACK, 2011).

O uso sistêmico de cenários para esclarecer pensamentos acerca do futuro teve seu início após a segunda guerra mundial, quando o departamento de defesa estadunidense, juntamente com a corporação RAND, os utilizaram como método para planejamento militar na década de 1950. Posteriormente, o aprimoramento da metodologia da utilização de cenários ocorreu na década de 1960 em (HAAG, 1968), onde foram desenvolvidas narrativas para descrever os possíveis usos de tecnologias nucleares das nações. Na mesma década, O Instituto de Pesquisa de Stanford começou a oferecer planejamentos de negócio em longo prazo para empresas que consideram forças políticas e econômicas como essenciais para o desenvolvimento do seu negócio (CHERMACK, 2011).

A consolidação do uso de múltiplos cenários para planejamento se deu na década de 1970 com a companhia petrolífera Shell, que buscou por eventos que pudessem afetar o preço do petróleo, apesar de apresentar-se de forma constante desde o fim da segunda guerra mundial e haver uma crescente demanda desse produto. Assim, a equipe de planejamento da Shell percebeu que os árabes eram determinantes para o preço do petróleo e que podiam elevar o preço de 2 para inimagináveis 10 dólares o barril. O anúncio feito em 1972 foi recebido com descrédito pelas outras organizações e pelos próprios executivos, contudo a empresa aderiu algumas medidas contingenciais. No período de 1973 a 1979 o preço do barril de petróleo evoluiu de 2 dólares para 37 dólares, e a Shell, uma das empresas mais pobres das sete grandes companhias de petróleo da época, se tornou uma das mais lucrativas (LOURENCO *et al.*, 2010; MERISTÖ, 1989). Diante dessa conjuntura histórica, foi criado o planejamento em cenários.

O planejamento em cenários é um conjunto de metodologias que apresenta variações de acordo com o objetivo de aplicação (CHERMACK, 2011). A diversidade de pensamentos resulta em uma gama de interpretações sobre o conceito de planejamento em cenários. O Quadro 1 apresenta uma lista das diferentes visões encontradas na literatura sobre a sua definição e seus resultados.

Quadro 1 - Definições de planejamento em cenários e suas variáveis de resultado

(continua)

Referência	Definição	Resultado
(PORTER, 1985)	"Uma visão internamente consistente do que o futuro pode vir a ser - não uma previsão, mas um possível resultado futuro".	Uma visão de um possível resultado futuro.
(SCHWARTZ, 1991)	"Uma ferramenta para ordenar a percepção de uma pessoa sobre os futuros ambientes alternativos em que as decisões da pessoa podem ser tomadas".	Ordenar as percepções sobre ambientes de tomada de decisão de futuros alternativos.
(SIMPSON, 1992)	"O processo de construção de futuros alternativos do ambiente externo de um negócio".	Construir futuros alternativos.
(BLOOM; MENEFEE, 1994)	"Uma descrição de um futuro possível ou provável".	Descrever um futuro possível ou provável.
(COLLINS, 2001)	"Um salto imaginativo para o futuro".	Um futuro imaginário.
(THOMAS, 1994)	"O planejamento de cenários são inerentemente um processo de aprendizado que desafia a sabedoria convencional confortável da organização, concentrando a atenção em quantos anos o futuro pode ser diferente do presente".	Desafiar a sabedoria convencional e confortável sobre o futuro.
(SCHOEMAKER, 1995)	"Uma metodologia disciplinada para imaginar possíveis futuros em que as decisões organizacionais podem ser executadas".	Imaginar possíveis tomadas de decisão futuras.
(DER HEIJDEN, 2011)	(1) Cenários externos são "descrições internamente consistentes e desafiadoras de possíveis futuros"; (2) um cenário interno é "uma linha de argumentação causal, ligando uma opção de ação a um objetivo" ou "um caminho através do mapa cognitivo de uma pessoa".	Descrições de futuros possíveis; mapas cognitivos explícitos.
(DE GEUS, 1997)	"Ferramentas para discussões prospectivas e documentos cuja finalidade não é uma previsão ou um plano, mas uma mudança na mentalidade das pessoas que os usam".	Modificar pontos de vista.
(RINGLAND; SCHWARTZ, 1998)	"Essa parte do planejamento estratégico que se relaciona com as ferramentas e tecnologias para gerenciar as incertezas do futuro".	Gerenciar as incertezas futuras.

(conclusão)

Referência	Definição	Resultado
(BAWDEN, 1998)	“O planejamento de cenários é uma das várias técnicas de previsão usadas no desenvolvimento estratégico das organizações, que exploram a notável capacidade dos seres humanos de imaginar e aprender com o que é imaginado”.	Tornar explícito a imaginação e o aprendizado humano.
(FAHEY; RANDALL, 1998)	“Cenários são narrativas descritivas de projeções alternativas plausíveis de uma parte específica do futuro”.	Criar projeções alternativas plausíveis de uma parte específica do futuro.
(ALEXANDER; SERFASS, 1998)	“O planejamento de cenários é uma ferramenta eficaz de futuro que permite aos planejadores examinar o que é provável e o que é improvável que aconteça, sabendo que elementos improváveis em uma organização são aqueles que podem determinar seu relativo sucesso”.	Examinar probabilidades e improbabilidades futuras.
(TUCKER, 1999)	“Criar histórias de futuros e planos igualmente plausíveis, como se qualquer um pudesse avançar”.	Histórias de futuros igualmente plausíveis que informam o planejamento.
(KAHANE, 2004)	“Uma série de histórias imaginativas, mas plausíveis e bem focalizadas do futuro”.	Histórias plausíveis do futuro.
(KLOSS, 1999)	“Cenários são literalmente histórias sobre o futuro que são plausíveis e baseadas na análise da interação de um número de variáveis ambientais”.	Histórias plausíveis e informadas sobre o futuro.
(WILSON, 2000)	“Os cenários são uma ferramenta de gerenciamento usada para melhorar a qualidade da tomada de decisões executivas e ajudar os executivos a tomar decisões estratégicas melhores e mais resilientes”.	Melhoria na tomada de decisões estratégicas executivas.
(GODET, 2000b)	"Um cenário é simplesmente um meio de representar uma realidade futura, a fim de lançar luz sobre a ação atual em vista de futuros possíveis e desejáveis".	Uma realidade futura representada.

Fonte: (CHERMACK, 2011)

Apesar das diferentes visões encontradas no Quadro 1, o propósito do planejamento em cenários pode ser classificado em quatro categorias: mudança de pensamento; construção de narrativas acerca do futuro; melhoria da tomada de decisão e seus efeitos no futuro; melhoria da imaginação e aprendizado humano e organizacional (CHERMACK, 2011).

2.1.1. Metodologias de planejamento de cenários

Não há uma única abordagem para o planejamento em cenários, e a literatura revela que existem várias metodologias com características semelhantes para construí-los (AMER *et al.*, 2013; BRADFIELD *et al.*, 2005; CHERMACK, 2011; VARUM; MELO, 2010). Alguns modelos de construção se apresentam com maior evidência, como os trabalhos (RALSTON; WILSON, 2006) e (SCHOEMAKER, 1991), por apresentarem uma didática compreensível e de fácil aplicação. Trabalhos como os de (CHERMACK, 2011) e (KEOUGH; SHANAHAN, 2008) também apresentam formas genéricas de construção de cenários. De modo geral, esses trabalhos enfatizam a definição das questões, identificando os principais fatores, as partes interessadas, as tendências, as restrições e outras questões importantes de maneira sistemática classificando esses itens por importância e incerteza.

Segundo (RALSTON; WILSON, 2006), as metodologias de construção de cenários abordam diferentes perspectivas, representados pelos seguintes âmbitos: objetiva versus normativas; e a analítica versus intuitiva.

Cenários objetivos avaliam o ambiente externo futuro – tendências, incertezas, pontos chave, entre outros – e buscam, por meio de análises implicativas, auxiliar organizações na mudança de estratégias ou melhorar as decisões levando em consideração as consequências e impactos no ambiente, enquanto cenários normativos trabalham de forma oposta. Estes fazem perguntas sobre futuros alternativos à luz das visões da empresa e identificam quais os pontos de alavancagem para os negócios no ambiente externo. Assim, abordagens objetivas tratam o ambiente externo como fator incontrolável, enquanto abordagens normativas assumem que a empresa pode influenciar significativamente o ambiente externo por meio de suas ações (RALSTON; WILSON, 2006).

Cenários sob a perspectiva de construção analítica (quantitativa) utilizam modelos ou simulações para desenvolver tanto o quadro de alternativas dos cenários quanto seus detalhes. Já abordagens intuitivas, se concentram no desenvolvimento de visões qualitativas de futuro, que refletem os pensamentos das pessoas que desenvolvem e usam os cenários (RALSTON; WILSON, 2006).

Dentre os vários métodos qualitativos de construção de cenários, destacam-se: os quatro cenários de Dator, o modelo SRI, o sistema de cenários baseado em desempenho, o método de Schoemaker e a abordagem de múltiplos cenários (*Multiple Scenarios Approach – MSA*) proposta por Meristö. Já sobre os métodos quantitativos de planejamento em cenários, as abordagens mais populares encontradas na literatura, segundo (AMER *et al.*, 2013), são:

Análise de Impacto de Tendências (*Trend impact analysis – TIA*), Simulação Interativa de Impacto Cruzado (*Interactive Cross Impact Simulation – INTERAX*) e Mapas Cognitivos Nebulosos (*Fuzzy Cognitive Maps – FCM*).

2.1.1.1. *Os quatro cenários de Dator*

O trabalho (DATOR, 1979), seguido por (INAYATULLAH, 2008) e (LUM, 2016), defende uma abordagem que contém quatro tipos de cenários com respectivas características, sendo eles:

- a. Crescimento contínuo: Supõe-se o fortalecimento das condições e tendências atuais;
- b. Estado estável: Esta possibilidade procura deter o crescimento e encontrar um equilíbrio na economia e com a natureza. Destaca-se também uma sociedade equilibrada, mais suave e mais justa;
- c. Colapso: Este futuro resulta quando o crescimento contínuo falha e existem grandes contradições, com um alto nível de perturbação;
- d. Transformação: Este futuro tenta mudar os pressupostos básicos dos outros três. Ele se desenvolve através de mudanças tecnológicas ou culturais drásticas.

A utilização dessa abordagem de planejamento em cenários é ideal quando não se dispõe de tempo ou recursos para desenvolver um projeto detalhado de modelagem de incertezas. Um exemplo de aplicação dessa abordagem de planejamento em cenários, proposta por (DATOR, 1979), é o trabalho (MATOS, 2007), onde é avaliado a tomada de decisão em risco como um problema multicritério. Contudo, a avaliação das decisões somente nesses quatro cenários pode simplificar a avaliação da incerteza e ocasionar a distorção dos modelos de tomada de decisão.

2.1.1.2. *Modelo SRI*

Na metodologia de construção de cenários proposta em (RALSTON; WILSON, 2006), denominada de Modelo SRI (*SRI Model*), são evidentes processos intuitivos e qualitativos para a aplicação no meio empresarial. Contudo, os autores dessa metodologia ressaltam que é comum no processo de construção de cenários se encontrar envolvido com ambas classes de perspectivas em um mesmo projeto e que existe uma tendência na literatura, para o uso de abordagens mistas. Como apresentado em (AMER *et al.*, 2013), métodos estritamente

quantitativos são frequentemente criticados pois esses métodos dependem exclusivamente de dados históricos e assumem que as mesmas tendências prevalecerão no futuro. Geralmente, os métodos quantitativos são considerados úteis para projetos com foco restrito e têm horizonte de tempo curto, enquanto os métodos qualitativos são considerados apropriados para projetos com amplo escopo e longo horizonte de tempo. É notório que a utilidade dos métodos quantitativos diminui constantemente à medida que olhamos para o futuro, enquanto a utilidade das abordagens qualitativas aumenta neste caso.

Quadro 2 - Metodologia de Desenvolvimento de Cenários de Wilson e Ralston (Modelo SRI)

Passo	Atividade
Passo 1	Desenvolver o escopo dos cenários
Passo 2	Adquirir a participação, suporte e entendimento dos executivos
Passo 3	Definir o foco de decisão
Passo 4	Arquitetar o processo
Passo 5	Selecionar o facilitador
Passo 6	Formar Equipe de construção de cenários
Passo 7	Adquirir dados, Visões, e projeções disponíveis
Passo 8	Identificar e acessar os fatores relevantes de decisão
Passo 9	Identificar os direcionadores e forças críticas
Passo 10	Conduzir uma pesquisa focada nas questões, forças e direcionadores chave
Passo 11	Acessar as importâncias e incertezas das forças e dos direcionadores
Passo 12	Identificar os principais "eixos de incerteza"
Passo 13	Selecionar a lógica dos cenários para "cobrir as incertezas"
Passo 14	Escrever as linhas de narrativas para os cenários
Passo 15	Ensaiai o futuro com os cenários
Passo 16	Chegar à recomendação de decisão
Passo 17	Identificar sinais para monitoramento
Passo 18	Comunicar os resultados para a organização

Fonte: (RALSTON; WILSON, 2006)

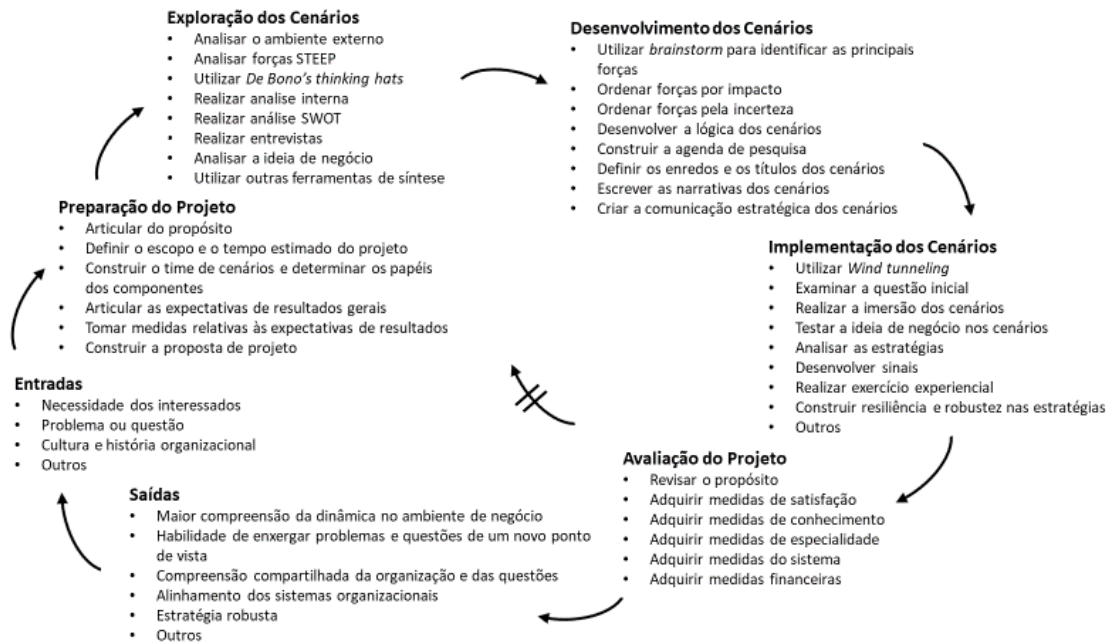
O processo apresentado pela Quadro 2 é composto por dezoito passos. Nesse processo, existe a preocupação de que todos os seus participantes tenham engajamento e entendimento sobre o que está sendo feito (passos 2, 5, 6, 10, 11, 14, 15, 16, 17 e 18). Essa metodologia, além de ser orientada para aplicação em grandes organizações, também é considerada por (CHERMACK, 2011) como sendo o procedimento mais bem detalhado de planejamento em cenários já publicado. No processo de tomada de decisão da metodologia apresentada em (RALSTON; WILSON, 2006), são presentes avaliações e ordenamentos qualitativos das incertezas pelo impacto e imprevisibilidade, e das alternativas em comparação com os cenários,

a partir de avaliações dos critérios e matrizes de fator-chave de sucesso. Portanto, além dessa metodologia possuir um processo de tomada de decisão pouco elaborado, a qualidade dos seus resultados depende fortemente do conhecimento e comprometimento da equipe de construção dos cenários. Ela também não conecta as variáveis matematicamente, o que pode levar a confusões no processo de análise dos cenários e de tomada de decisão, em especial nos passos 13, 14 e 15 e 16.

2.1.1.3. *Sistema de Cenários Baseado em Desempenho*

A metodologia proposta por (CHERMACK, 2011) se apresenta como uma evolução de (RALSTON; WILSON, 2006), e propõe que o projeto de planejamento em cenários deve se dar em duas etapas. A primeira, chamada de construção dos cenários possui três fases de projeto, sendo elas a preparação do projeto, exploração dos cenários, desenvolvimento dos cenários. A segunda etapa é a implantação dos cenários, que possui as fases de implementação dos cenários e avaliação do projeto. Cada fase de projeto é composta por diversas atividades em sua composição, por exemplo: utilização de matriz SWOT, que é uma técnica de análise comum na disciplina de administração (BULL *et al.*, 2016; PHADERMROD *et al.*, 2016); e pensamento em brainstorm, que é uma técnica de pensamento criativo (HENDER *et al.*, 2001, 2002). Uma visão detalhada desse método, denominado de Sistema De Cenário Baseado Em Desempenho (*Performance-Based Scenario System*), pode ser vista na Figura 1.

Figura 1 - Sistema De Cenário Baseado Em Desempenho



Fonte: (CHERMACK, 2011)

Apesar da metodologia de (CHERMACK, 2011) apresentar uma boa estrutura de proposta de projeto, no âmbito do detalhamento de custos e retorno do investimento, ela também compartilha das mesmas limitações do Modelo SRI, proposto por (RALSTON; WILSON, 2006), no quesito de avaliação de alternativas, dependência da equipe, e conexão com o processo de tomada de decisão.

2.1.1.4. Método de Schoemaker

Também pertencente à linha intuitiva se encontra o método proposto por Schoemaker em (SCHOEMAKER, 1991). Este trabalho oferece uma análise passo-a-passo de uma heurística para o planejamento de cenários assumindo uma perspectiva gerencial, além de apresentar uma aplicação da abordagem em um caso real, que envolve uma empresa de manufatura. O trabalho (SCHOEMAKER, 1991) utiliza ferramentas semelhantes às do trabalho (RALSTON; WILSON, 2006), como matrizes de fator-chave de sucesso, para a integração de cenários com tomada de decisão, e também compartilha das mesmas limitações apresentadas em (RALSTON; WILSON, 2006). A proposta feita em (SCHOEMAKER, 1991) se diferencia das demais abordagens pela recomendação de se construir dois cenários extremos – um positivo e outro negativo – para então se construir cenários intermediários. Essa recomendação pode ser útil para visualizar a delimitação da região de soluções permissíveis, entretanto o aumento do

número de funções objetivos com comportamentos distintos dificulta essa análise. No Quadro 3 é encontrada a descrição do método proposto em (SCHOEMAKER, 1991).

Quadro 3 - Passos do modelo de construção de cenários de Schoemaker
(continua)

Passo	Atividade
Passo 1.	Definir os problemas que se deseja entender melhor em termos de período de tempo, escopo e variáveis de decisão (por exemplo, preços do gás natural nos próximos 5 anos no Extremo Oriente). Revisar o passado para ter uma ideia dos graus de incerteza e volatilidade.
Passo 2.	Identificar as principais partes interessadas ou atores que teriam interesse nessas questões, tanto aquelas que podem ser afetadas por elas quanto aquelas que poderiam influenciar os assuntos de maneira apreciável. Identificar seus papéis, interesses e posições de poder atuais.
Passo 3.	Fazer uma lista das tendências atuais ou elementos predeterminados que afetarão a(s) variável(s) de interesse. Explicar brevemente cada um, incluindo como e por que isso exerce uma influência. Construir um diagrama pode ser útil para mostrar interligações e relações causais.
Passo 4.	Identificar as principais incertezas cuja resolução afetará significativamente as variáveis de seu interesse. Explicar brevemente por que esses eventos incertos são importantes, e também como eles se inter-relacionam.
Passo 5.	Construir dois cenários forçados colocando todos os resultados positivos das principais incertezas em um cenário e todos os resultados negativos no outro. Adicionar tendências selecionadas e elementos predeterminados a esses cenários extremos.
Passo 6.	Avaliar a consistência interna e a plausibilidade desses cenários artificiais. Identifique onde e por que esses cenários forçados podem ser internamente inconsistentes (em termos de tendências e combinações de resultados).
Passo 7.	Eliminar combinações que não sejam credíveis ou impossíveis e crie novos cenários (dois ou mais) até conseguir a consistência interna. Certifique-se de que esses novos cenários ofereçam uma ampla gama de resultados.
Passo 8.	Avaliar os cenários revisados em termos de como os principais interessados se comportariam neles. Quando apropriado, identificar tópicos para estudos adicionais que forneçam um suporte mais forte para seus cenários ou que possam levar a revisões desses cenários de aprendizagem.
Passo 9.	Reexaminar as consistências internas dos cenários de aprendizagem e avalie se certas interações devem ser formalizadas por meio de um modelo quantitativo. Em caso afirmativo, usar este modelo para executar algumas simulações de Monte Carlo depois de obter faixas de incerteza subjetiva (ou distribuições inteiras) para as principais variáveis independentes.

(conclusão)	
Passo	Atividade
Passo 10.	Reavaliar os intervalos de incerteza das variáveis de interesse dependentes (ou seja, variáveis alvo) e refazer os Passos de 1 a 9 para chegar a cenários de decisão que possam ser dados a outros para aprimorar sua tomada de decisão sob incerteza.

Fonte: (SCHOEMAKER, 1991)

2.1.1.5. *Abordagem de múltiplos cenários (MSA)*

Outra forma de se abordar o planejamento em cenários é a metodologia proposta em (MERISTÖ, 1989). Nesta abordagem finlandesa desenvolvida na Escola de Economia e Administração de Negócios de Turku, a construção de múltiplos cenários acontece em oito reuniões, cada uma representada por uma fase do processo, expostas no Quadro 4. Durante o processo de construção dos cenários dessa metodologia (fase 5), são escolhidas duas ou três variáveis a partir dos fenômenos de mudança apresentados na fase 3, e também se seleciona as constantes dos cenários a partir das crenças básicas apresentadas na fase 2. O maior número de itens expostos na fase 4 deve ser analisado, e suas respectivas conexões lógicas entre presente e futuro devem estar claras. O autor de (MERISTÖ, 1989), também recomenda a utilização de métodos como análise de impacto cruzado, descrita em (MIHAI, 1983), para a criação de, no máximo, três cenários distintos. Durante a etapa da escolha da estratégia (fase 7), uma tabulação cruzada entre cenários e estratégias é feita, juntamente com suas respectivas avaliações.

Quadro 4 - Processo do MSA

(continua)	
Fase	Atividade
Fase 1.	Definir a posição estratégica da empresa.
Fase 2.	Definir as crenças básicas gerenciais sobre o futuro.
Fase 3.	Identificar possíveis fenômenos de mudança no ambiente competitivo em longo prazo.
Fase 4.	Buscar ameaças e oportunidades.
Fase 5.	Construir os cenários.

(conclusão)

Fase	Atividade
Fase 6.	Selecionar os Cenários (buscar os 3 mais consistentes).
Fase 7.	Escolher a melhor estratégia.
Fase 8.	Reportar os resultados à organização.

Fonte: (MERISTÖ, 1989)

Quadro 5 - Avaliação das estratégias proposta no MSA

Cenários	Estratégias			
	estratégia 1	estratégia 2	estratégia 3	estratégia ...n
Cenário de ameaça	+	+	-	-
Cenário base	+	+	+	-
Cenário dos sonhos	+	-	-	-

Fonte: (MERISTÖ, 1989)

O trabalho (MERISTÖ, 1989) propõe uma avaliação booleana, como mostra o Quadro 5, para validar as estratégias, onde “+” representa a validade da alternativa no respectivo cenário, e “-” a sua invalidez. Existe também a preocupação com uma listagem das ações necessárias para a realização da melhor alternativa e da seleção da pessoa responsável pelo seu desenvolvimento. Ao avaliar as alternativas de forma booleana resulta em um processo limitado, uma vez que existe uma perda de informação na comparação das estratégias.

2.1.1.6. Análise de impacto de tendências

A análise de impacto de tendências tem sido usada desde a década de 1970. O TIA é uma combinação de extrapolações estatísticas com probabilidades e fornece uma abordagem sistemática para combinar extrapolação baseada em tendências históricas com julgamento sobre as probabilidades e impactos de eventos futuros selecionados (AMER *et al.*, 2013; BRADFIELD *et al.*, 2005; CHERMACK *et al.*, 2001; GORDON, 1994).

Assim, a TIA considera os efeitos de eventos que podem ocorrer no futuro. Gordon descreve que as duas etapas principais a seguir são necessárias para conduzir a análise de impacto das tendências (GORDON, 1994). Primeiramente, uma curva é ajustada aos dados históricos para calcular a tendência futura. Posteriormente, julgamentos de especialistas são usados para identificar um conjunto de eventos futuros que podem causar desvios da extrapolação de dados históricos. O método TIA já foi utilizado para construir cenários de saúde

pública, futuros do mercado farmacêutico e previsão de consumo de petróleo em transporte (GORDON, 1994). Essa abordagem já foi utilizada para avaliar a eficácia de políticas públicas por agências federais dos Estados Unidos da América, incluindo a *Federal Aviation Administration*, o *Federal Bureau of Investigation*, e o *National Science Foundation* (GORDON, 1994). Entretanto, o processo do método TIA é muitas vezes limitado pela indisponibilidade de dados históricos confiáveis. O método também não avalia possíveis impactos que os eventos podem ter uns sobre os outros, uma vez que ele se preocupa principalmente com a avaliação de uma variável chave ou previsão construída a partir de informações históricas.

2.1.1.7. *Simulação Interativa de Impacto Cruzado – INTERAX*

A metodologia INTERAX é outra abordagem quantitativa para o desenvolvimento de cenários, e foi desenvolvida por Enzer na Universidade do Sul da Califórnia (BRADFIELD *et al.*, 2005). Essa técnica usa modelos analíticos e avaliação especializada para desenvolver um melhor entendimento de ambientes futuros alternativos. Um banco de dados multidisciplinar contendo informações importantes de questões estratégicas de longo alcance e tendências futuras e eventos é desenvolvido para apoiar as atividades de construção de cenários (ENZER, 1980; ENZER; DIRECTOR, 1980).

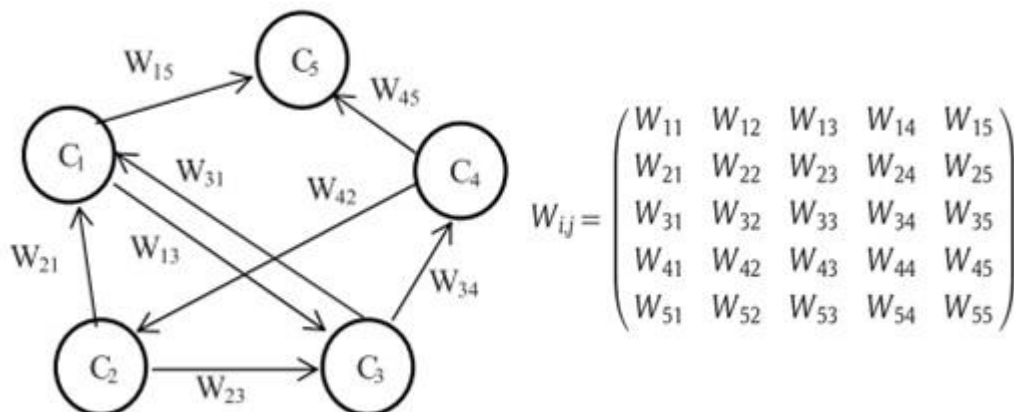
Esta base de dados é desenvolvida com base no pressuposto de que as condições macrosociais são comuns à maioria das questões estratégicas, portanto, uma varredura ambiental pode ser usada para suportar vários problemas (ENZER, 1981). Essa abordagem explora futuros alternativos como parte de um procedimento iterativo que começa com uma visão geral possíveis mudanças futuras (ENZER, 1980, 1981). Ela combina elementos da análise de impacto de tendências com os da análise de impacto cruzado para fornecer uma distribuição estatística dos resultados em torno da média. Ela também possui um custo alto de entrada, devido à construção da extensa base de dados, e a seleção de eventos iniciais é baseada unicamente em uma seleção aleatória usando as probabilidades inseridas pelo usuário.

2.1.1.8. Mapas Cognitivos Fuzzy

Outra abordagem de construção de cenários são os Mapas Cognitivos Fuzzy (*Fuzzy Cognitive Maps – FCM*), que é um método de inteligência computacional proposto por (KOSKO, 1986) como uma evolução dos mapas cognitivos, que é utilizado para modelar a dinâmica de sistemas (GLYKAS, 2010). Os FCM são baseados em variáveis definidas – denominadas de conceitos – que interagem entre si (GLYKAS, 2010; ÖZESMI; ÖZESMI, 2004). A estrutura gráfica dos mapas, permite a propagação causal sistêmica, e a representação simbólica da experiência humana e dos dados da operação do sistema (GLYKAS, 2010; STACH *et al.*, 2005).

Na representação gráfica dos FCM, os conceitos se encontram nos nós e são usados para representar diferentes aspectos do modelo, como entradas, saídas, regras ou estados. Então, $C_i, i = 1, \dots, N$ sendo N o número total de nós. O valor de cada conceito é normalizado no intervalo de $[0, 1]$. Portanto, $A_i \in [0, 1], i = 1, \dots, N$, sendo A_i o valor normalizado do conceito C_i . Os conceitos, por sua vez, são conectados por ramos que possuem diferentes pesos e direções a fim de representar a causalidade entre os nós. Os pesos se originam da experiência e conhecimento humano ou dados históricos, e assumem um valor de -1 à $+1$, onde um peso negativo representa uma correlação inversa entre os conceitos, e um peso positivo, uma correlação direta, então $W_{i,j} \in [-1, 1], i, j = 1, \dots, N$ (GLYKAS, 2010; KOSKO, 1986; KYRIAKARAKOS *et al.*, 2012; ÖZESMI; ÖZESMI, 2004). Um exemplo de FCM e sua matriz de pesos pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 - Exemplo de FCM e sua matriz de pesos



Fonte: (KYRIAKARAKOS *et al.*, 2012)

Mapas cognitivos são estruturas complexas uma vez que são constituídos por um grande número de variáveis que possuem muitas interconexões e ciclos de feedback. Essas estruturas resultam em um comportamento geral de sistemas. A análise da estrutura de um FCM requer a utilização de ferramentas de álgebra matricial e da teoria dos grafos. Examinando a estrutura dos mapas, é possível determinar como as partes interessadas entendem o sistema, como por exemplo, se percebem muitas funções forçando o sistema que estão fora de seu controle, ou se eles veem o sistema como hierárquico ou mais democrático (GLYKAS, 2010; ÖZESMI; ÖZESMI, 2004).

Para analisar um mapa cognitivo, o número de variáveis N e o número de conexões $nCon$ no mapa pode ser contado. No entanto, a teoria dos grafos nos fornece índices adicionais, além do número de variáveis e conexões. A densidade D de um FCM é um índice de conectividade, que mostra quão conectados ou esparsos os mapas são, funciona como um coeficiente de agrupamento (ÖZESMI; ÖZESMI, 2004), e pode ser apresentada pela seguinte equação:

$$D = \frac{nCon}{N(N - 1)} \quad (1)$$

Se a densidade de um mapa é alta, então quem o construiu vê um grande número de relações causais entre as variáveis. Os participantes do processo de construção podem ser comparados para ver quais grupos têm mais relacionamentos entre as variáveis. Se alguns grupos perceberem mais relacionamentos, eles terão mais opções disponíveis para mudar as coisas. Assim, esses grupos podem ser um catalisador de mudança (ÖZESMI; ÖZESMI, 2004).

O tipo das variáveis de um mapa também é importante, uma vez que ele mostra como as variáveis agem em relação às outras variáveis. Além disso, a quantidade dos diferentes tipos de conceitos em um mapa cognitivo facilita o entendimento de sua estrutura. Os três tipos são: transmissoras (direcionadores), receptoras (funções objetivo) e ordinárias (EDEN *et al.*, 1992; ÖZESMI; ÖZESMI, 2004). Essas variáveis são definidas pelos seus níveis de externalidade $ne(C_i)$ e de internalidade $ni(C_i)$.

O nível de externalidade é a soma da linha de valores absolutos de uma variável na matriz de adjacência, como apresenta a seguinte equação:

$$ne(C_i) = \sum_{j=1}^N W_{i,j}, i = 1, \dots, N \quad (2)$$

Sendo N o número total de variáveis. O nível de externalidade mostra as forças cumulativas de conexões $W_{i,j}$ saindo da variável i .

O nível de internalidade é a soma da coluna dos valores absolutos de uma variável, como descrito na seguinte equação:

$$ni(C_i) = \sum_{i=1}^N W_{i,j}, i = 1, \dots, N \quad (3)$$

O nível de internalidade apresenta a força cumulativa das variáveis que influenciam na variável i .

As variáveis transmissoras possuem $ne > 0 \wedge ni = 0$. As receptoras têm $ne = 0 \wedge ni > 0$. Já as variáveis ordinárias, possuem $ne \wedge ni \neq 0$, e portanto, podem se mais receptoras ou transmissoras, com base na proporção dos seus níveis de externalidade e internalidade (ÖZESMI; ÖZESMI, 2004).

A centralidade, ou nível total, de uma variável é a soma de seus índices de externalidade e internalidade, como mostra a seguinte equação:

$$nt(C_i) = ne(C_i) + ni(C_i) \quad (4)$$

A contribuição de uma variável em um mapa cognitivo pode ser entendido calculando sua centralidade, que mostra como a variável está conectada a outras variáveis e qual é a força cumulativa dessas conexões (KOSKO, 1986).

O número total de variáveis receptoras em um mapa pode ser considerado para construir um índice de complexidade do mapa. Muitas variáveis receptoras indicam que o mapa cognitivo considera muitos resultados e implicações que são resultado do sistema (EDEN *et al.*, 1992). Enquanto isso, um grande número de variáveis transmissoras indica o pensamento com influências *top-down*. Assim, podemos comparar os mapas cognitivos em termos de sua complexidade pelas razões de número de variáveis receptoras / transmissoras (R/T) (ÖZESMI; ÖZESMI, 2004).

Assim, o primeiro passo na análise de mapas cognitivos é descrever e tabular o número de variáveis e conexões e os índices estruturais da teoria dos grafos. Uma vez que o FCM foi construído e sua matriz de pesos codificada, é possível aplicar o modelo e simular o estado estável do sistema (para onde as coisas vão, se tudo continuar como está – Cenário Base). De acordo com (KOSKO, 1986), o valor dos conceitos, na iteração $k + 1$, é influenciado pelos outros restantes, na iteração k , segundo a seguinte equação:

$$A_i(k + 1) = f \left(A_i(k) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N W_{i,j} A_j(k) \right), i = 1, \dots, N \quad (5)$$

Em (5), f é uma função de ativação. Na revisão de literatura, encontrou-se quatro tipos de função de ativação comumente utilizadas: a função bivalente, e a função trivalente, a função sigmoide, e a função tangente hiperbólica (FELIX *et al.*, 2017).

- a. A função bivalente é uma função discreta conhecida que produz apenas respostas binárias que levam a um número finito de estados (FELIX *et al.*, 2017). Valores acima do limite λ assumem valor 1, caso contrário, 0. Com o intuito de reduzir a subjetividade dessa função, o valor de λ igual a 0,5 é proposto por (BUENO; SALMERON, 2009). Esta função pode ser descrita pela seguinte equação:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq \lambda \\ 1 & \text{se } x > \lambda \end{cases} \quad (6)$$

- b. A função trivalente é outra função de transferência discreta que produz um número finito de estados diferentes. A principal desvantagem das funções de transferência discreta está nas suas fracas capacidades de representação, dado que apenas cenários qualitativos podem ser modelados (FELIX *et al.*, 2017). Esta função pode ser descrita pela seguinte equação:

$$f(x) = \begin{cases} -1 & \text{se } x < 0 \\ 0 & \text{se } x = 0 \\ 1 & \text{se } x > 0 \end{cases} \quad (7)$$

- c. A função sigmoide é uma função de transferência contínua que produz um número infinito de estados que estão livremente distribuídos no intervalo de $[0, 1]$. Nessa função, $\lambda > 0$ e $h > 0$ são parâmetros especificados pelo usuário de inclinação e deslocamento respectivamente. Para valores pequenos (ex. $\lambda = 1$), essa função se aproxima da linear, e para valores grandes (ex. $\lambda = 10$) ela se aproxima de uma função discreta (FELIX *et al.*, 2017). Esta função pode ser descrita pela seguinte equação:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda(x-h)}} \quad (8)$$

- d. A função da tangente hiperbólica é uma função de transferência contínua que produz um número infinito de estados que estão livremente distribuídos no intervalo de $[-1, 1]$ para um valor de λ próximo de 5 (KYRIAKARAKOS *et al.*, 2012). Esta função pode ser descrita pela seguinte equação:

$$f(x) = \frac{e^{\lambda x} - e^{-\lambda x}}{e^{\lambda x} + e^{-\lambda x}} \quad (9)$$

Segundo (BUENO; SALMERON, 2009), a função sigmoide apresenta vantagens específicas com relação aos outros conceitos. Além disso, a saída necessária precisa ser mapeada no espaço $[0, 1]$. Essa é a razão de sua vasta utilização na literatura, incluindo essa dissertação.

Uma vez que na construção da causa e efeito dos conceitos do mapa são consideradas variáveis e relações de diversas naturezas, a utilização do modelo acontece tanto em âmbito qualitativo (AMER *et al.*, 2011; GLYKAS, 2010; GRAY *et al.*, 2014), como quantitativo (AMER *et al.*, 2013; JETTER; SCHWEINFORT, 2011; KOK, 2009). Essa característica se apresenta como uma nítida vantagem da abordagem de FCM sobre outros métodos de construção de cenários, uma vez que o principal obstáculo para a construção de cenários integrados é a pouca relação entre metodologias qualitativas e quantitativas (AMER *et al.*, 2013; KOK, 2009; KOK; VAN DELDEN, 2009).

Um fato que comprova essa vantagem é a vasta aplicação dos FCM em diversas áreas da ciência, para solucionar problemas de diferentes naturezas, o Quadro 6 expõe alguns mapas com suas referentes áreas de aplicação.

Quadro 6 - Exemplos de aplicação de FCM

Referência	Aplicação
(LEE <i>et al.</i> , 1998)	Problemas de saúde pública
(GROUMPOS, 2000)	Modelo trocador de calor
(GROUMPOS, 2000)	Modelo de supervisor para desempenho do trocador de calor
(STYLIOS; GROUMPOS, 1998)	Modelo de supervisor de planta
(KOULOURIOTIS <i>et al.</i> , 2001, 2002)	Controle industrial
(MOHR, 1997)	Modelo de crime e punição
(MOHR, 1997)	Modelo de impostos e transferências da <i>Economic and Monetary Union</i>
(KOSKO, 1988)	Esquadrão virtual de soldados
(MOHR, 1997)	Modelo da <i>Economic and Monetary Union</i> e do risco de guerra
(AGUILAR, 2005; AGUILAR, 2002)	Modelo simples de um país
(TSADIRAS; MARGARITIS, 1999)	Empresa de negócios virtual
(CARLSSON; FULLÉR, 1996)	Modelo de formação de estratégia
(SIRAJ <i>et al.</i> , 2001)	Evidência de múltiplos eventos suspeitos
(STYLIOS; GROUMPOS, 2004)	Modelo de controle de processo
(STYLIOS; GROUMPOS, 1999)	Sistema para controle direto de um processo

Fonte: (STACH *et al.*, 2005)

Além das áreas citadas no Quadro 6, especificamente na área de energia os FCM foram utilizados em (KONTI; DAMIGOS, 2018) para a avaliação da produção de bio-etanol na Grécia, em (ALIPOUR *et al.*, 2017) para construção de cenários para a produção de petróleo no Irã, em (KYRIAKARAKOS *et al.*, 2012) para gerenciamento de micro redes autônomas, em (KYRIAKARAKOS *et al.*, 2014) para auxiliar na tomada de decisão de construção de usinas de energia renovável, em (AMER *et al.*, 2011) para construção de cenários para energia eólica, em (JETTER; SCHWEINFORT, 2011) para construção de cenários para energia solar, e em (ZIV *et al.*, 2018) para avaliação do impacto potencial do *Brexit* no fornecimento de energia, água e comida.

2.1.2. Comparação entre os métodos

O Quadro 7 apresenta uma comparação entre os pontos positivos e negativos encontrados em cada método de construção de cenários.

Quadro 7 - Comparação dos Métodos de planejamento em cenários

(continua)

Método	Pontos Fortes	Pontos Fracos
Os quatro cenários de Dator	O processo é simples de se aplicar. Ele também facilita a capacidade do futurista de nomear e enquadrar suas próprias ideias e preocupações, e seu potencial de mudança em tais debates (AMER <i>et al.</i> , 2013).	Modelagem superficial das incertezas (AMER <i>et al.</i> , 2013).
Modelo SRI	Avalia as decisões de forma sistêmica, ao levar em consideração o conjunto de relações entre os fatores econômicos, políticos, tecnológicos, sociais e ambientais. Resulta no desenvolvimento de cenários flexíveis e internamente consistentes (AMER <i>et al.</i> , 2013).	As qualidades dos resultados desses modelos são influenciadas pelas habilidades de conhecimento, comprometimento, credibilidade e comunicação dos membros da equipe de construção dos cenários (AMER <i>et al.</i> , 2013). As variáveis dos cenários também não apresentam conexão matemática, e os resultados são apresentados em formato qualitativo. As conexões dos processos de construção dos cenários com tomada de decisão também são feitas de forma simplificada.
Sistema de Cenários Baseado em Desempenho	Possui os mesmos pontos fortes que o Modelo SRI, além de apresentar um processo com aplicação mais genérica.	
Método de Schoemaker	Visualização da região de incertezas. Essa abordagem também favorece a construção de cenários consistentes. (SCHOEMAKER, 1991)	
MSA	Abordagem simples e de rápida aplicação. Também expõe a responsabilidade dos próprios tomadores de decisão para alcançar o objetivo (MERISTÖ, 1989).	Modelagem das tendências e dos impactos das estratégias feita de forma escassa. Este método também apresenta uma conexão com processos de planejamento e tomada de decisão simplificada.

(conclusão)

Método	Pontos Fortes	Pontos Fracos
Análise de impacto de tendências	Esse método combina técnicas de previsão mais tradicionais, como séries temporais e econometria, com os fatores qualitativos. O usuário identifica os fatores impactantes e avalia sua probabilidade de ocorrência e a força de seu impacto. A extrapolação de tendências é modificada para levar em conta as percepções sobre como eventos futuros podem mudar devido a eventos sem precedentes (AMER <i>et al.</i> , 2013; GORDON, 1994).	O método não avalia possíveis impactos que os eventos podem ter um sobre o outro. TIA é concebido principalmente para a avaliação de uma variável-chave de decisão ou previsão quantitativa e sobre a qual existe informação histórica, e a qualidade dos resultados pode ser comprometida devido à indisponibilidade de dados históricos confiáveis de séries temporais (AMER <i>et al.</i> , 2013; GORDON, 1994).
Simulação Interativa de Impacto Cruzado – INTERAX	Produz uma distribuição de probabilidades de resultados (AMER <i>et al.</i> , 2013).	Depende de números aleatórios, junto com dados fornecidos pelo usuário, no início da análise (AMER <i>et al.</i> , 2013).
Mapas Cognitivos	Produz bons resultados quando a qualidade dos dados é baixa. Também possui fácil construção e pode retornar resultados tanto quantitativos quanto qualitativos. (KYRIAKARAKOS <i>et al.</i> , 2014; ÖZESMI; ÖZESMI, 2004)	Necessidade de determinar as condições de cada cenário.(ÖZESMI; ÖZESMI, 2004)

Fonte: Autoria Própria

Tendo o exposto em vista, esta dissertação se propôs a integrar as metodologias SRI e FCM para construção de cenários juntamente com a metodologia de tomada de decisão exposta na seção 2.3, a fim de aproximar os processos de planejamento em cenários qualitativo e quantitativo, dos processos de tomada de decisão, suprindo assim as críticas feitas em (AMER *et al.*, 2013; KOK, 2009; PAPAGEORGIU *et al.*, 2017; STEWART; DURBACH, 2016), sobre a conexão entre essas duas disciplinas, e também sobre os métodos utilizados para planejamento em ambientes dinâmicos.

2.2. Teoria dos Conjuntos Nebulosos

Os conjuntos nebulosos constituem um conceito fundamental na engenharia e na ciência (PEDRYCZ *et al.*, 2011), uma vez que a partir deles é possível explicar matematicamente o pensamento e percepção humana. As pessoas em seu cotidiano, se deparam com diversos conceitos e categorias, em que determinados objetos ou comportamentos se enquadram ou não, com intensidades diferentes. Os conjuntos *fuzzy* medem o quanto um objeto pertence a uma categoria. Portanto, um objeto pode participar de diversas categorias ao mesmo tempo, com níveis de pertencimento diferentes.

Uma exemplificação desse pensamento são os tamanhos das pessoas. Uma pessoa com 1,50 metros é considerada baixa, já uma pessoa com 1,90 metros é considerada alta. Uma pessoa com a altura de 1,70 metros pode ser considerada alta, e ao mesmo tempo, pode ser considerada baixa. Um outro exemplo, são as percepções de temperatura, em especial, como as pessoas compreendem se está frio, confortável e quente (PEDRYCZ *et al.*, 2011).

Em teoria, um conjunto *fuzzy* A é descrito como sendo uma função de pertinência que mapeia os elementos do universo \mathbf{X} no intervalo de 0 a 1 (PEDRYCZ *et al.*, 2011; ZADEH, 1997). Os conjuntos *fuzzy* também podem ser vistos como um conjunto de pares ordenados na forma $\{x, A(x)\}$, onde x é um elemento de \mathbf{X} e $A(x)$ representa o correspondente nível de pertinência. Na prática, a forma das funções de pertinência deve refletir o problema em questão. As funções devem refletir a percepção do conceito a ser representado, bem como o nível de detalhamento e precisão das variáveis no contexto no qual os conjuntos *fuzzy* são usados. Segundo (PEDRYCZ *et al.*, 2011), as funções de pertinência mais comuns utilizadas e que são definidas no universo dos números reais, são: a função triangular, a função trapezoidal, a função- Γ , a função-S, a função gaussiana, e a função tipo exponencial.

- a. Função triangular. Essa função é composta por partes de segmentos lineares, descritos da seguinte forma:

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a} & \text{se } x \in [a, m] \\ \frac{b-x}{b-m} & \text{se } x \in [m, b] \\ 0 & \text{se } x \geq b \end{cases} \quad (10)$$

- b. Função trapezoidal. Essa função é definida por quatro parâmetros, “a”, “b”, “m”, “n”, que delimitam as partes da função de pertinência, que assume a seguinte forma:

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x < a \\ \frac{x-a}{m-a} & \text{se } x \in [a, m] \\ 1 & \text{se } x \in [m, n] \\ \frac{b-x}{b-n} & \text{se } x \in [n, b] \\ 0 & \text{se } x > b \end{cases} \quad (11)$$

- c. Função- Γ . Essa função é expressa da seguinte forma, sendo que $k > 0$:

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a \\ 1 - \exp[k - (x - a)^2] & \text{se } x > a \end{cases} \quad (12)$$

- d. Função-S. Essa função é descrita da seguinte forma:

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a \\ 2 \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^2 & \text{se } x \in [a, m] \\ 1 - 2 \left(\frac{b-x}{b-n} \right)^2 & \text{se } x \in [m, b] \\ 1 & \text{se } x > b \end{cases} \quad (13)$$

- e. Função gaussiana. Essa função corresponde a seguinte forma:

$$A(x) = \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{\sigma^2}\right) \quad (14)$$

- f. Função tipo exponencial. Essa função é descrita da seguinte forma, sendo que $k > 0$:

$$A(x) = \frac{1}{1 + k(x - m)^2} \quad (15)$$

A amplitude da função tipo exponencial aumenta com a diminuição do valor de k .

Na prática, a evidência de valores exatos de parâmetros em modelos não é tão comum. Normalmente a incerteza e imprecisão aparecem devido à falta de conhecimento, informações incompletas, ou aleatoriedade de eventos que se refletem nos elementos do sistema (ZIO;

PEDRONI, 2013). A partir das funções de pertinência apresentadas acima – equações (10) a (15) – é possível capturar o conceito de inexatidão e modelar a informação imprecisa.

2.2.1. Variáveis Linguísticas

Em contraste com a ideia de variáveis numéricas, a noção de variável linguística pode ser considerada como uma variável cujos valores são conjuntos difusos. Em geral, as variáveis linguísticas podem assumir valores consistindo de palavras ou frases expressas em um determinado idioma.

É possível descrever fenômenos físicos ou também do sistema humano a partir da experiência de um pequeno grupo de pessoas (PEDRYCZ *et al.*, 2011). Elas descrevem suas observações sobre um fenômeno ao caracterizar seus estados. Naturalmente, palavras como: muito alto, muito baixo, quente, frio, bom, ruim, aparecem como variáveis que traduzem a percepção de quem está comunicando. Especificamente, os conjuntos *fuzzy* fornecem uma maneira de mapear um conjunto de termos finitos para uma escala linguística.

Conjuntos *fuzzy* dizem respeito à representação de coleções com limites pouco claros por meio de funções de associação que levam valores em um conjunto ordenado de valores de associação, e fornecem um meio de interface de quantidades numéricas e linguísticas (ZADEH, 1975b, c, a).

Para exemplificar esse pensamento, pode-se definir as condições do ambiente por meio da variável temperatura, que possui um universo $X = [0,40]$. Da mesma forma, também é possível qualificar a temperatura com rótulos, como: quente, confortável e frio. Um valor preciso de 20°C se aparenta mais simples se comparado ao termo impreciso “confortável”. Entretanto essa definição linguística é uma escolha entre três, enquanto 20°C é uma escolha entre muitas (PEDRYCZ *et al.*, 2011). O exemplo pode ser reforçado se o significado de confortável fosse concebido como cerca de 20 °C. Enquanto a quantidade numérica 20 °C pode ser visualizada como um ponto em um conjunto, o valor de temperatura linguística confortável pode ser visto como uma coleção de valores de temperatura em uma região limitada centrada em 20 °C (PEDRYCZ *et al.*, 2011). Portanto, o rótulo confortável pode ser considerado como uma forma de sumarização de informação, denominada de granulação, uma vez que serve para aproximar uma caracterização de fenômenos mal definidos ou complexos (ZADEH, 1975a). Mais detalhes sobre a teoria dos conjuntos nebulosos e variáveis linguísticas podem ser encontrados nos trabalhos (PEDRYCZ *et al.*, 2011; PEDRYCZ; GOMIDE, 2007).

2.3. Tomada de Decisão Multicritério em Condições de Incerteza com Base na Abordagem de Possibilidades

A abordagem clássica de tomada de decisão em ambientes de incerteza, é baseada na suposição de que a análise é realizada para um número K de alternativas $X_k, k = 1, \dots, K$, e em um dado número S de cenários $Y_s, s = 1, \dots, S$, que são associados por meio de matrizes *payoff* (BELYAEV, 1977; EKEL *et al.*, 2008; PEDRYCZ *et al.*, 2011; PEREIRA, *et al.*, 2015; PEREIRA *et al.*, 2016). Essas matrizes, exemplificadas no Quadro 8, apresentam as consequências das ações em cada cenários.

Quadro 8 - Matriz Payoff

	Y_1	...	Y_s	...	Y_S
X_1	$F(X_1, Y_1)$	...	$F(X_1, Y_s)$	...	$F(X_1, Y_S)$
...
X_k	$F(X_k, Y_1)$	...	$F(X_k, Y_s)$	...	$F(X_k, Y_S)$
...
X_K	$F(X_K, Y_1)$	...	$F(X_K, Y_s)$	...	$F(X_K, Y_S)$

Fonte: (PEDRYCZ *et al.*, 2011)

Para analisar as matrizes *payoff*, e para escolha das alternativas (soluções racionais), são utilizados critérios de escolha. Dentre as inúmeras formas de se escolher racionalmente entre uma ou outra alternativa, encontram-se em evidencia os critérios de Wald, Laplace, Savage e Hurwicz, que são utilizados em (EKEL *et al.*, 2008; PEDRYCZ *et al.*, 2011; PEREIRA *et al.*, 2015; PEREIRA *et al.*, 2016). Para a utilização desses critérios, é necessário analisar algumas características das matrizes de retorno, apresentadas no Quadro 9 (BELYAEV, 1977; PEDRYCZ *et al.*, 2011). Essa extensão do Quadro 8 está associada à incorporação das seguintes estimativas:

- a. A função objetivo de maior retorno representa a alternativa ou cenário mais otimista, e é utilizada quando se objetiva a maximização do problema, e determina a possibilidade de maior de retorno da alternativa, segundo a seguinte equação:

$$F^{max}(X_k) = \max_{1 \leq s \leq S} F(X_k, Y_s) \quad (16)$$

ou a possibilidade de maior de retorno do cenário, conforme a seguinte equação:

$$F^{max}(Y_s) = \max_{1 \leq k \leq K} F(X_k, Y_s) \quad (17)$$

- b. A função objetivo de menor retorno representa a alternativa ou cenário mais pessimista, e é utilizada quando se objetiva a minimização do problema. Ela determina a possibilidade de menor retorno da alternativa, segundo a seguinte equação:

$$F^{min}(X_k) = \min_{1 \leq s \leq S} F(X_k, Y_s) \quad (18)$$

ou a possibilidade de menor retorno do cenário, conforme a seguinte equação:

$$F^{min}(Y_s) = \min_{1 \leq k \leq K} F(X_k, Y_s) \quad (19)$$

- c. A função objetivo de retorno médio da alternativa apresenta o valor esperado da alternativa, e pode ser descrita pela seguinte equação:

$$\bar{F}(X_k) = \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S F(X_k, Y_s) \quad (20)$$

- d. A função objetivo de arrependimento máximo da alternativa representa um gasto excessivo que ocorre na escolha de uma combinação de uma respectiva alternativa em um cenário, ao invés da escolha da alternativa ótima local, para aquele cenário. Esta função pode ser descrita pela seguinte equação:

$$r^{max}(X_k) = \max_{1 \leq s \leq S} r(X_k, Y_s) \quad (21)$$

Para determinar o arrependimento (risco) $r(X_k, Y_s)$, é necessário definir para cada cenário, os valores máximos (17), se o objetivo é a maximização da função objetivo, ou os valores mínimos (19), se o objetivo é a minimização. Para tal, dispõe-se da utilização da matriz de riscos (Quadro 10), que apresenta o risco associado com a alternativa X_k e com o cenário Y_s . Esse risco pode ser descrito pela seguinte equação, se o objetivo é a maximização:

$$r(X_k, Y_S) = F^{max}(Y_S) - F(X_k, Y_S) \quad (22)$$

ou pela seguinte equação, se o objetivo é a minimização:

$$r(X_k, Y_S) = F(X_k, Y_S) - F^{min}(Y_S) \quad (23)$$

Quadro 9 - Matriz payoff com características estimadas

	Y_1	...	Y_s	...	Y_S	$F^{max}(X_k)$	$F^{min}(X_k)$	$\bar{F}(X_k)$	$r^{max}(X_k)$
X_1	$F(X_1, Y_1)$	...	$F(X_1, Y_s)$	...	$F(X_1, Y_S)$	$F^{max}(X_1)$	$F^{min}(X_1)$	$\bar{F}(X_1)$	$r^{max}(X_1)$
...
X_k	$F(X_k, Y_1)$	...	$F(X_k, Y_s)$	...	$F(X_k, Y_S)$	$F^{max}(X_k)$	$F^{min}(X_k)$	$\bar{F}(X_k)$	$r^{max}(X_k)$
...
X_K	$F(X_K, Y_1)$	...	$F(X_K, Y_s)$	...	$F(X_K, Y_S)$	$F^{max}(X_K)$	$F^{min}(X_K)$	$\bar{F}(X_K)$	$r^{max}(X_K)$
$F^{max}(Y_S)$	$F^{max}(Y_1)$	...	$F^{max}(Y_s)$	...	$F^{max}(Y_S)$				

Fonte: (PEREIRA *et al.*, 2015)

Quadro 10 - Matriz de Risco

	Y_1	...	Y_s	...	Y_S	$r^{max}(X_k)$
X_1	$r(X_1, Y_1)$	...	$r(X_1, Y_s)$	...	$r(X_1, Y_S)$	$r^{max}(X_1)$
...
X_k	$r(X_k, Y_1)$	...	$r(X_k, Y_s)$	...	$r(X_k, Y_S)$	$r^{max}(X_k)$
...
X_K	$r(X_K, Y_1)$	...	$r(X_K, Y_s)$	...	$r(X_K, Y_S)$	$r^{max}(X_K)$

Fonte: (PEREIRA *et al.*, 2015)

Os critérios de escolha de Wald, Laplace, Savage e Hurwicz, são baseados no uso das características $F^{max}(X_k)$, $F^{min}(X_k)$, $\bar{F}(X_k)$, e $r^{max}(X_k)$, definidos respectivamente por (16), (18), (20) e (21). As equações e análises dos critérios de escolha, descrito nas equações (24) a (27), são apresentadas sobre o pressuposto de que se almeja a maximização da função objetivo (PEDRYCZ *et al.*, 2011).

- a. O critério de Wald, utiliza a estimativa $F^{min}(X_k)$, e estipula que a alternativa a ser escolhida, representada por X^W , deve ser a alternativa que possui o maior valor da respectiva estimativa. Ou seja, entre as piores, se escolhe a melhor. Esse critério de escolha pode ser descrito pela seguinte equação:

$$\max_{1 \leq k \leq K} F^{min}(X_k) = \max_{1 \leq k \leq K} \min_{1 \leq s \leq S} F(X_k, Y_s) \quad (24)$$

- b. O critério de Laplace utiliza a estimativa $\bar{F}(X_k)$ e estipula que a alternativa a ser escolhida, representada por X^L , atinge seu valor máximo. Esse critério de escolha pode ser descrito pela seguinte equação:

$$\max_{1 \leq k \leq K} \bar{F}(X_k) = \max_{1 \leq k \leq K} \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S F(X_k, Y_s) \quad (25)$$

- c. Em contrapartida, o critério de Savage está correlacionado com a utilização da estimativa $r^{max}(X_k)$, que atinge o valor mínimo quando escolhida a alternativa X^S . Esse critério de escolha pode ser descrito pela seguinte equação:

$$\min_{1 \leq k \leq K} r^{max}(X_k) = \min_{1 \leq k \leq K} \max_{1 \leq s \leq S} r(X_k, Y_s) \quad (26)$$

- d. Por fim, o critério de Hurwicz utiliza uma combinação linear das estimativas $F^{min}(X_k)$ e $F^{max}(X_k)$, cuja combinação atinge seu valor máximo quando escolhida a alternativa X^H . Esse critério de escolha pode ser descrito pela seguinte equação:

$$\begin{aligned} \max_{1 \leq k \leq K} [\alpha F^{min}(X_k) + (1 - \alpha) F^{max}(X_k)] \\ = \max_{1 \leq k \leq K} \left[\alpha \min_{1 \leq s \leq S} F(X_k, Y_s) + (1 - \alpha) \max_{1 \leq s \leq S} F(X_k, Y_s) \right] \end{aligned} \quad (27)$$

onde $\alpha \in [0,1]$ é o coeficiente de “pessimismo-otimismo”, sendo sua magnitude definida previamente por um especialista.

A abordagem clássica de tomada de decisão em ambientes de incerteza está associada com a análise das equações (24) - (27) para uma função objetivo qualquer nos vários cenários $Y_s, s = 1, \dots, S$. Para isso, considera-se os próprios critérios de escolha de Wald, Laplace, Savage e Hurwicz, respectivamente, como funções objetivo, e se obtém as seguintes equações:

$$F^W(X_k) = F^{max}(X_k) = \max_{1 \leq s \leq S} F(X_k, Y_s) \quad (28)$$

$$F^L(X_k) = \bar{F}(X_k) = \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S F(X_k, Y_s) \quad (29)$$

$$F^S(X_k) = R^{max}(X_k) = \max_{1 \leq s \leq S} R(X_k, Y_s) \quad (30)$$

$$\begin{aligned} F^H(X_k) &= \alpha F^{min}(X_k) + (1 - \alpha) F^{max}(X_k) \\ &= \alpha \min_{1 \leq s \leq S} F(X_k, Y_s) + (1 - \alpha) \max_{1 \leq s \leq S} F(X_k, Y_s) \end{aligned} \quad (31)$$

Esta consideração feita nos critérios de escolha permite que se construa q problemas que geralmente contem quatro ou menos funções objetivo (PEREIRA *et al.*, 2015) da seguinte forma:

$$F_{r,p}(X) \rightarrow \underset{X \in L}{extr}, r = 1, \dots, t \leq 4, p = 1, \dots, q \quad (32)$$

sendo que as funções objetivo são: $F_{1,p}(X) = F_p^W(X_k)$, $F_{2,p}(X) = F_p^L(X_k)$, $F_{3,p}(X) = F_p^S(X_k)$ e $F_{4,p}(X) = F_p^H(X_k)$. Assim, a análise das alternativas de solução e consequente escolha de alternativas de soluções racionais pode ser realizada no âmbito dos modelos $\langle X, M \rangle$ (PEREIRA *et al.*, 2015).

Ao aplicar a abordagem de Bellman-Zadeh (EKEL *et al.*, 2016; PEDRYCZ *et al.*, 2011) para construir as funções de pertinência das funções acima e para encontrar a solução das alternativas $X_k, k = 1, \dots, K$, o método garante que a escolha das alternativas de solução racional respeite o princípio da otimalidade de Pareto. Nessa abordagem, as funções objetivo $F_p(x), p = 1, \dots, q$ são substituídas por conjuntos *fuzzy* $A_p = \{X, \mu_{A_p}(X)\}, X \in L, p = 1, \dots, q$ sendo $\mu_{A_p}(X)$ a função de pertinência de A_p (PEREIRA *et al.*, 2015). A solução D é definida como $D = \bigcap_{p=1}^q A_p$ com as funções de pertinência.

$$\mu_D(X) = \min_{1 \leq p \leq q} \mu_{A_p}(X), X \in L \quad (33)$$

A partir do uso de (33), é possível obter a seguinte solução:

$$\max \mu_D(X) = \max_{X \in L} \min_{1 \leq p \leq q} \mu_{A_p}(X) \quad (34)$$

Portanto, a solução de (32) pode ser descrita como:

$$X^o = \arg \max_{X \in L} \min_{1 \leq p \leq q} \mu_{A_p}(X) \quad (35)$$

Para se obter (35), é necessário construir $\mu_{A_p}(X), p = 1, \dots, q$, que refletem o grau de pertencimento da própria otimalidade em $F_p(X), X \in L, p = 1, \dots, q$. Para tal, deve-se utilizar respectivamente (36) e (37), para minimizar funções objetivos e maximizar funções objetivos, sendo $\lambda_p, p = 1, \dots, q$ os coeficientes de importância da correspondente função objetivo (PEREIRA *et al.*, 2015).

$$\mu_{A_p}(X) = \left[\frac{\max_{X \in L} F_p(X) - F_p(X)}{\max_{X \in L} F_p(X) - \min_{X \in L} F_p(X)} \right]^\lambda \quad (36)$$

$$\mu_{A_p}(X) = \left[\frac{F_p(X) - \min_{X \in L} F_p(X)}{\max_{X \in L} F_p(X) - \min_{X \in L} F_p(X)} \right]^\lambda \quad (37)$$

Considerando isso, a matriz com os critérios de escolha estimados para $p = 1, \dots, q$ é apresentada na Tabela 1. Portanto, ao dispor de q matrizes com critérios de escolha, pode-se construir q matrizes com critérios de escolha modificados, ao se aplicar (36), como apresenta a Tabela 2.

Tabela 1 - Matriz com os critérios de escolha para a função objetiva de número p

	$F_p^W(X_k)$	$F_p^L(X_k)$	$F_p^S(X_k)$	$F_p^H(X_k)$
X_1	$F_p^W(X_1)$	$F_p^L(X_1)$	$F_p^S(X_1)$	$F_p^H(X_1)$
...
X_k	$F_p^W(X_k)$	$F_p^L(X_k)$	$F_p^S(X_k)$	$F_p^H(X_k)$
...
X_K	$F_p^W(X_K)$	$F_p^L(X_K)$	$F_p^S(X_K)$	$F_p^H(X_K)$
	$\min_{1 \leq k \leq K} F_p^W(X_k)$	$\min_{1 \leq k \leq K} F_p^L(X_k)$	$\min_{1 \leq k \leq K} F_p^S(X_k)$	$\min_{1 \leq k \leq K} F_p^H(X_k)$
	$\max_{1 \leq k \leq K} F_p^W(X_k)$	$\max_{1 \leq k \leq K} F_p^L(X_k)$	$\max_{1 \leq k \leq K} F_p^S(X_k)$	$\max_{1 \leq k \leq K} F_p^H(X_k)$

Fonte: (PEREIRA *et al.*, 2015)

Tabela 2 - Matriz com os critérios de escolha modificados para a função objetivo de número p

	$\mu_{A_p}^W(X_k)$	$\mu_{A_p}^L(X_k)$	$\mu_{A_p}^S(X_k)$	$\mu_{A_p}^H(X_k)$
X_1	$\mu_{A_p}^W(X_1)$	$\mu_{A_p}^L(X_1)$	$\mu_{A_p}^S(X_1)$	$\mu_{A_p}^H(X_1)$
...
X_k	$\mu_{A_p}^W(X_k)$	$\mu_{A_p}^L(X_k)$	$\mu_{A_p}^S(X_k)$	$\mu_{A_p}^H(X_k)$
...
X_K	$\mu_{A_p}^W(X_K)$	$\mu_{A_p}^L(X_K)$	$\mu_{A_p}^S(X_K)$	$\mu_{A_p}^H(X_K)$

Fonte: (PEREIRA *et al.*, 2015)

Por fim, ao utilizar as q matrizes com critérios de escolha modificados e após aplicar (33), pode-se construir a matriz com os critérios de escolha agregados, apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Matriz com os critérios de escolha agregados

	$\mu_D^W(X_k)$	$\mu_D^L(X_k)$	$\mu_D^S(X_k)$	$\mu_D^H(X_k)$
X_1	$\mu_D^W(X_1)$	$\mu_D^L(X_1)$	$\mu_D^S(X_1)$	$\mu_D^H(X_1)$
...
X_k	$\mu_D^W(X_k)$	$\mu_D^L(X_k)$	$\mu_D^S(X_k)$	$\mu_D^H(X_k)$
...
X_K	$\mu_D^W(X_K)$	$\mu_D^L(X_K)$	$\mu_D^S(X_K)$	$\mu_D^H(X_K)$
	$\max_{1 \leq k \leq K} \mu_D^W(X_k)$	$\max_{1 \leq k \leq K} \mu_D^L(X_k)$	$\max_{1 \leq k \leq K} \mu_D^S(X_k)$	$\max_{1 \leq k \leq K} \mu_D^H(X_k)$

Fonte: (PEREIRA *et al.*, 2015)

Ao levar o que foi dito em consideração, o trabalho (PEREIRA *et al.*, 2015) propõe o esquema geral de tomada de decisão multicritério em ambientes de incerteza, que é descrito nas seguintes etapas:

- A primeira etapa consiste na construção de q matrizes payoff, de acordo com o número de funções objetivos que se deseja considerar, para todas as combinações das soluções apresentadas $X_k, k = 1, \dots, K$, e em um dado número de estados de natureza (cenários) $Y_s, s = 1, \dots, S$. O trabalho (PEREIRA *et al.*, 2015) ainda sugere a utilização de LP_T sequências (SOBOL, 1979) para a seleção desses estados de natureza. Para construir matrizes de retorno é necessário resolver S problemas multicritérios formalizados dentro da estrutura dos modelos $\langle X, M \rangle$. Ao solucioná-los, é possível obter a solução das alternativas $X_k, k = 1, \dots, K$, para $K \leq S$. Por conseguinte, $X_k, k = 1, \dots, K$ são substituídas por $F_p(X), p = 1, \dots, q$ para $Y_s, s = 1, \dots, S$. Essas substituições proporcionam as q matrizes payoff.

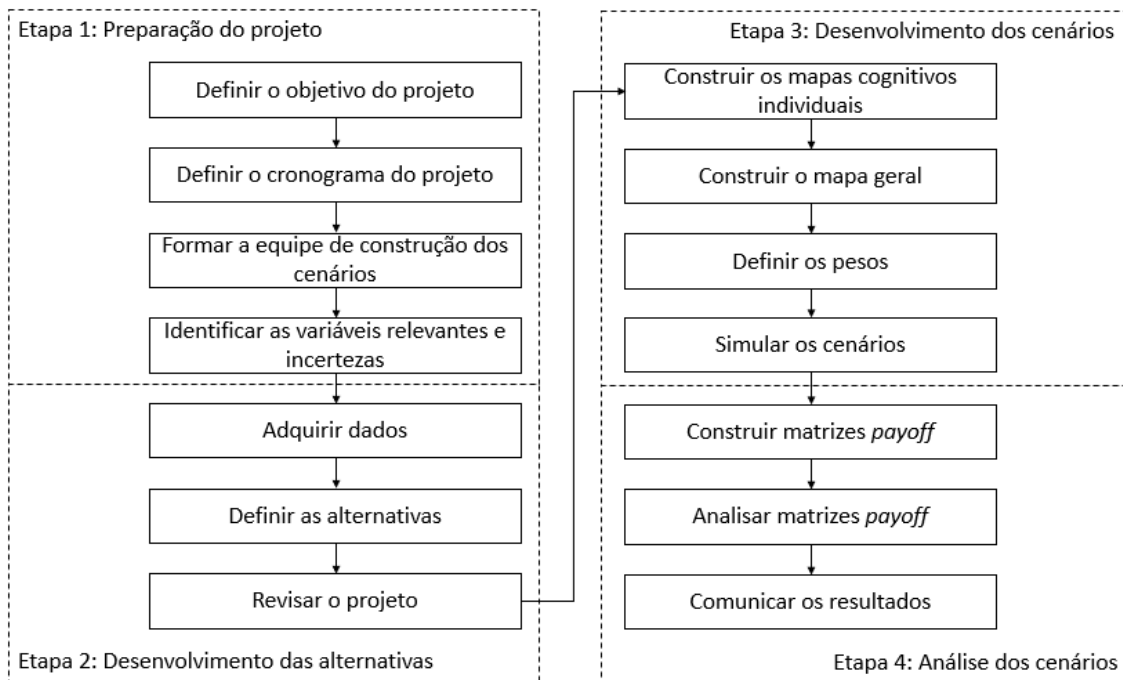
- b. A segunda etapa é relacionada à análise das matrizes payoff obtidas. A execução dessa etapa se baseia em (PEREIRA *et al.*, 2015), também apresentado nesta seção desta dissertação. Entretanto, a capacidade insuficiente de resolução dessa etapa pode ocasionar em soluções não únicas e esta circunstância exige a aplicação da terceira etapa.
- c. A terceira etapa é associada com a construção e análise de modelos $\langle X,R \rangle$ para a redução das regiões de incerteza na decisão. Como indicado em (PEDRYCZ *et al.*, 2011; PEREIRA *et al.*, 2015), o uso desses modelos permite que se leve em consideração na análise índices de caráter qualitativos, que se baseiam no conhecimento, experiência e intuição dos especialistas envolvidos.

3. METODOLOGIA

O objetivo desta seção é descrever a metodologia elaborada para a construção de cenários e sua conexão com tomada de decisão. O método de construção de cenários tem como inspiração os trabalhos (KYRIAKARAKOS *et al.*, 2014; ÖZESMI; ÖZESMI, 2004; RALSTON; WILSON, 2006), e o método de tomada de decisão utilizado, descrito na seção 2.3, possui seus fundamentos no trabalho (PEDRYCZ *et al.*, 2011). Denominada de CCD (Construir Cenários e Decidir), a metodologia de planejamento e tomada de decisão proposta neste documento almeja combinar os pontos fortes dos trabalhos (KYRIAKARAKOS *et al.*, 2014; ÖZESMI; ÖZESMI, 2004; RALSTON; WILSON, 2006), e (PEDRYCZ *et al.*, 2011). Também se almeja suprir a carência individual dos respectivos trabalhos, já apresentada nas seções 2.1.1 e 2.3. A partir dessa metodologia, é possível construir cenários que permitem avaliar de forma sistêmica e dinâmica a relação entre as variáveis em si, as possíveis alternativas, e as decisões.

O trabalho (RALSTON; WILSON, 2006), possui uma descrição de projeto de construção de cenários muito completa, e suas etapas de preparação do projeto e identificação das principais variáveis e pontos de decisão foram as mais sensatas e adequadas às necessidades deste trabalho ao considerar a revisão de literatura realizada. A utilização de FCM se apresentou ideal para análise em ambientes dinâmicos, em que se faz necessário a combinação de dados de diversas naturezas e opiniões de especialistas, e os trabalhos (KYRIAKARAKOS *et al.*, 2014; ÖZESMI; ÖZESMI, 2004) apresentam ótimos métodos de construção de cenários a partir de FCM, que possuem uma didática compreensível e aplicável. Os métodos e modelos de tomada de decisão apresentados em (PEDRYCZ *et al.*, 2011) estão na fronteira tecnológica dessa área de pesquisa, e também já foram utilizados para a solução de diversos problemas, como apresentado em (BERREDO *et al.*, 2011; EKEL *et al.*, 2016). Considerando o exposto, a Figura 3 apresenta um fluxograma que contém o detalhamento do método proposto.

Figura 3 - Construir Cenários e Decidir (CCD)



Fonte: Autoria própria

Para a construção de cenários que se encontram tanto no âmbito quantitativo quanto qualitativo, e para realizar a conexão dos cenários com tomada de decisão, foi proposta uma metodologia dividida em quatro etapas, composta de 14 passos.

A **etapa 1** objetiva criar as condições necessárias para o desenvolvimento do projeto. Em sua composição, encontram-se os passos:

- Passo 1. **Definir o objetivo do projeto**, que possui o intuito de estabelecer o propósito e justificativa do trabalho que será feito;
- Passo 2. **Definir o cronograma do projeto**, que estabelece os prazos das atividades que serão desenvolvidas;
- Passo 3. **Formar a Equipe de construção dos cenários**, que objetiva a construção de uma Equipe multidisciplinar, que entende do ambiente que engloba o objetivo definido no primeiro passo;
- Passo 4. **Identificar as variáveis relevantes e incertezas**, que possui o intuito de definir quais variáveis vão estar presentes no modelo, bem como definir quais incertezas os cenários devem cobrir;

A partir do que foi feito na **etapa 1**, na **etapa 2** o projeto volta seu foco para o entendimento sobre as variáveis e partes interessadas, e também para a construção de um consenso acerca dos ambientes de incerteza e possíveis alternativas. Para isso, dispõe-se dos passos:

- Passo 5. **Adquirir dados**, que possui a finalidade de dar suporte às análises da Equipe de cenários.
- Passo 6. **Definir as alternativas**, que objetiva a identificação de variáveis controladas para a construção de possíveis alternativas;
- Passo 7. **Revisar o projeto**, onde o intuito é a construção de um consenso coletivo sobre a dinâmica do sistema, dos objetivos projeto, das ações e dos cenários que representam as incertezas.

Uma vez que existe um consenso geral do projeto nos integrantes da Equipe, o método segue para a **etapa 3**, que possui o objetivo de construir os cenários. Para tal, são necessários os seguintes passos:

- Passo 8. **Construir os mapas cognitivos individuais**. A partir desse passo, é possível identificar como os integrantes da Equipe percebem a causalidade das variáveis e enxergam a dinâmica do sistema em si. Também é possível identificar o entendimento individual do processo e priorizar quem possui visões mais acuradas;
- Passo 9. **Construir o mapa geral**, que objetiva a integração dos pontos relevantes dos mapas individuais, a partir do consenso geral;
- Passo 10. **Definir os pesos**, que possui o intuito de definir a intensidade das relações das variáveis, e resulta na matriz de pesos do mapa geral.
- Passo 11. **Simular os cenários**. Neste passo, primeiramente se normaliza as variáveis do mapa geral. Em seguida se simula os cenários definidos na Etapa 2 para avaliar o comportamento sistêmico de cada variável do modelo, utilizando a fundamentação descrita em 2.1.1.8.

Na **etapa 4**, as alternativas descritas na **etapa 2** são avaliadas nos cenários construídos na **etapa 3**. Para isso, propôs-se os seguintes passos:

Passo 12. **Construir matrizes *payoff***. Neste passo, para cada função objetivo é construída uma matriz, que apresenta o retorno de cada alternativa em cada cenário;

Passo 13. **Analisar matrizes *payoff***. Para realizar este passo, utiliza-se o modelo de tomada de decisão descrito no capítulo 2.3. A partir deste passo, é possível dizer quais são as alternativas que atendem, de melhor e pior forma, os objetivos em questão.

Passo 14. **Comunicar os resultados**, onde se objetiva a elaboração de um documento e de uma apresentação com a síntese dos cenários e os seus pontos de atenção, e as recomendações de decisão.

Ao decorrer do método, após cada passo é feita uma reunião para garantir o entendimento e motivação do desenvolvimento do projeto por todos os seus integrantes. No método proposto é evidente a integração de três áreas, sendo elas: a construção de cenários qualitativos, referenciada nos trabalhos (CHERMACK, 2011; RALSTON; WILSON, 2006) para a elaboração das **etapas 1 e 2**; a construção de cenários quantitativos, referenciada nos trabalhos (KYRIAKARAKOS *et al.*, 2014; ÖZESMI; ÖZESMI, 2004; STACH *et al.*, 2005) para a elaboração da **etapa 3**; e tomada de decisão, referenciada nos trabalhos (BERREDO *et al.*, 2011; EKEL *et al.*, 2016; PEDRYCZ *et al.*, 2011) para a elaboração da **etapa 4**.

4. APLICAÇÃO DO CCD E SEUS RESULTADOS

Com o intuito de verificar o método proposto, optou-se por utilizar o CCD em um problema de planejamento no setor elétrico brasileiro. Nesse ambiente dinâmico, o caso especial das indústrias eletrointensivas se apresentou como uma boa oportunidade de aplicação, uma vez que esse tipo de indústria depende intrinsecamente da energia elétrica para o desenvolvimento dos seus processos produtivos, e existe uma carência geral no setor elétrico por técnicas de planejamento em médio e longo prazo pelas empresas de energia (DAHLGREN *et al.*, 2003).

4.1. Desenvolvimento da Etapa 1

Para realizar a Preparação do projeto (etapa 1), foi necessário explicitar de forma clara o propósito do projeto, além de se preocupar com o tempo, Equipe, e com as fontes de aquisição de dados para o desenvolvimento do projeto. O objetivo do projeto, proveniente do primeiro passo do método, está expressa no Quadro 11, e o cronograma proposto para a realização das atividades, está presente no

Quadro 11 - Resultado do Passo 1

O Intuito do projeto é avaliar as possíveis consequências de ações econômicas e climáticas no preço *spot* de energia em todo o âmbito energético nacional. Para tal, se faz necessário estudar todo o setor elétrico brasileiro, como sua dinâmica de funcionamento e planejamentos, bem como suas leis, a fim de se obter as variáveis do sistema. A partir da análise dos resultados obtidos no projeto, será possível orientar a decisão de uma empresa eletrointensiva, com relação ao planejamento de sua política energética e construção de seu portfólio de energia, bem como traçar possíveis alternativas, como construção de novas usinas, para solução desse problema de planejamento em ambiente de incerteza. Não só o lucro da empresa, também é de essencial importância na indústria eletrointensiva, a dependência da energia para o desenvolvimento dos seus processos produtivos. Variações no preço de energia podem comprometer o bem-estar da organização, e colocar em risco a continuidade dos processos de produção.

Fonte: Autoria própria

Para se prosseguir com o trabalho, também foi necessário definir alguns parâmetros dessa empresa hipotética e da economia brasileira (Tabela 4).

Tabela 4 - Parâmetros de delimitação da análise

Parâmetro	Valor
Produção total anual	20 Mt
Consumo energético específico	0,8 MWm/Mt
Consumo total anual	16 MWm
Taxa de desconto	15% a.a.
Taxa de câmbio	3,50 BR\$/US\$
Taxa de juros BNDES	5% a.a.
Porcentagem financiável do investimento	80%
Tipo de depreciação	Linear

Fonte: autoria própria.

A Equipe de construção dos cenários foi formada por membros com conhecimento multidisciplinar acerca do sistema energético brasileiro, além de possuírem interesse e disponibilidade de tempo para o projeto. Utilizando esses critérios, foi possível compor a Equipe com quatro especialistas, sendo eles:

- a. E₁: Economista com experiência em desenvolvimento econômico e difusão de tecnologias, em especial, sistemas fotovoltaicos;
- b. E₂: Engenheiro de energia com experiência em construção de usinas de energia renovável e projetos elétricos;
- c. E₃: Engenheiro de energia com experiência em análise de risco de energia, e autor dessa dissertação;
- d. E₄: Estudante de engenharia elétrica com experiência em processos eletrointensivos.

Com a Equipe formada, e ao seguir o mesmo caminho de classificação de variáveis que (MAKAPOB, 1973), na elaboração do **passo 4** do método CCD, optou-se por descrever as condições de desenvolvimento do sistema a partir da identificação dos seus componentes essenciais. Assim, classificou-se as variáveis sistêmicas em três grupos principais, sendo eles: naturais, econômicos e energéticos. A Tabela 5 apresenta os indicadores previamente definidos como interessantes para o sistema, após a reunião feita no **passo 4**.

Tabela 5 - Indicadores de interesse

Categoria	Indicador
Natural	Precipitação (chuvas)
Energética	PLD médio por subsistema
Energética	Energia Armazenada por subsistema
Energética	Demanda por região
Econômica	Preço do petróleo
Econômica	Preço do gás natural
Econômica	Preço do óleo combustível
Econômica	Exportações (Principalmente: China, EUA, EU, Japão, América Latina)
Econômica	Importações (Principalmente: China, EUA, EU, Japão, América Latina)
Econômica	Produção da indústria eletro intensiva (Mineração e pelotização; Papel e celulose; Química; Minerais não metálicos (ex. cimento); Ferro-gusa e aço + Ferroligas; Não ferrosos e outros metálicos) (MARQUES; HADDAD, 2016)
Econômica	Investimentos no setor elétrico
Econômica	PIB brasileiro
Econômica	Gastos do governo
Energética	Energia de Itaipu (Parcela do Paraguai)

Fonte: autoria própria

A partir da seleção prévia de indicadores de interesse, utilizando a opinião dos especialistas, foi possível identificar as incertezas do sistema, e definir quais indicadores apresentam maior relevância na análise. Segundo a equipe de construção de cenários, os indicadores Precipitação, Exportações, Importações, Preço dos combustíveis, Desenvolvimento brasileiro (PIB – brasil), e Desenvolvimento dos outros países (PIB), possuem uma incerteza significativa para análise.

Quadro 12 - Cronograma do projeto

Etapa	Passo	Mês 1				Mês 2				Mês 3			
		S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S 10	S 11	S 12
Etapa 1	Definir o Objetivo do Projeto	■											
Etapa 1	Definir o Cronograma do Projeto	■											
Etapa 1	Formar a Equipe de construção dos cenários	■											
Etapa 1	Adquirir Dados	■	■	■	■								
Etapa 2	Identificar as variáveis relevantes e incertezas					■	■						
Etapa 2	Definir as alternativas					■	■						
Etapa 2	Revisar o projeto							■	■				
Etapa 3	Construir os mapas cognitivos individuais							■	■				
Etapa 3	Construir o mapa geral							■	■				
Etapa 3	Definir os pesos									■	■		
Etapa 3	Simular os cenários									■	■		
Etapa 4	Construir matrizes <i>payoff</i>											■	■
Etapa 4	Analisar matrizes <i>payoff</i>											■	■
Etapa 4	Comunicar os Resultados												■

Fonte: Autoria própria

4.2. Desenvolvimento da Etapa 2

A **etapa 2** se iniciou com uma busca por dados do sistema elétrico brasileiro, e também, por informações que influenciam em sua dinâmica. No decorrer do **passo 5** do método CCD, foi possível a aquisição de projeções já existentes sobre o sistema, como (EPE, 2018), projeções sobre o desenvolvimento econômico e economia atual dos países (WORLD BANK GROUP, 2018), preço dos combustíveis (MUNDI, 2018b, a), além de dados sobre o SIN (CCEE, 2019; ONS, 2019), e da economia brasileira (BRASIL, 2018a; b; IBGE, 2018).

O desenvolvimento do **passo 6** também se deu com uma reunião. Para avaliar a consequência dos objetivos nos cenários, as alternativas desenvolvidas pela equipe foram constituídas pelas seguintes estratégias: Pagar o preço spot de energia; ou construir uma usina para autoprodução da fonte: solar, térmica a gás natural com ciclo combinado, eólica ou PCH. A Tabela 6 apresenta os custos de construção e operação das usinas, considerados neste trabalho para o desenvolvimento da análise financeira dessas alternativas.

Tabela 6 - Dados técnico-econômicos das usinas

Usina	Fator de Capacidade (%)	Custo Instalação (US\$/kW)	Custo Fixo O&M (US\$/kW-ano)	Custo Variável O&M (US\$/MWh)	Tempo de Construção (anos)	Vida útil (anos)
Gás Natural - Ciclo Combinado	60%	US\$ 1.200,00	18	2,3	3	20
Eólica	30%	US\$ 2.500,00	31	0	2	20
Solar fotovoltaica	20%	US\$ 5.900,00	12	0	2	20
PCH	50%	US\$ 2.600,00	29	0	2	50

Fonte: (PEREIRA, *et al.*, 2013)

Durante o **passo 7**, objetiva-se a preparação da equipe para avançar para a próxima etapa. Para isso, foi pedido para cada integrante do projeto fizesse uma revisão em tudo que já havia sido feito, e identificar pontos de melhorias. Posteriormente, foi feita uma reunião com todos os participantes da Equipe de construção de cenários para a exposição das novas ideias, e garantir um consenso geral acerca do projeto, das variáveis e suas relações.

4.3. Desenvolvimento da Etapa 3

No **passo 8** do método CCD, cada participante da Equipe construiu um FCM, representando como ele, ou ela, percebe a relação de causalidade entre as variáveis, ao levar em consideração os resultados dos passos anteriores. Durante a construção dos mapas individuais, ficou como critério livre a adição de novas variáveis ao sistema. Além de também ser considerada a simplificação dos pesos, sendo $W_{i,j} = 1$ para relação direta e $W_{i,j} = -1$ para relação inversa. Na construção dos FCM individuais foi utilizado o software *Mental Modeler* (GRAY *et al.*, 2013). Os mapas individuais de cada especialista são apresentados nas Figuras 8, 9, 10 e 11, na seção APÊNDICE – FCM, e seus respectivos índices nas Tabelas 24, 25, 26, e 27, na seção APÊNDICE ÍNDICES DOS FCM. É interessante observar que frente a um mesmo processo com as mesmas variáveis, cada indivíduo possui sua própria visão acerca do sistema, o que resulta em mapas distintos uns dos outros.

No **passo 9** foi construído o FCM geral, apresentado na Figura 4 e Tabelas 7, 8 e 9, onde considerou-se os mapas individuais de cada integrante como referência para sua construção. O trabalho (ÖZESMI; ÖZESMI, 2004) apresenta uma forma de agregação dos mapas em que se considera todas as informações de todos os mapas individuais no mapa geral. Contudo, a adição de informações sem seleção pode proporcionar inconsistência no sistema (SAATY, 2016). Portanto, por meio de uma reunião a fim de que todos conhecessem os mapas individuais de cada um, cada variável foi analisada em grupo e definida sua relevância para o FCM geral. Assim, chegou-se ao mapa mostrado na Figura 4. Percebe-se que nem todos os indicadores de interesse apresentados na Tabela 5 (**etapa 1**) foram utilizados como variáveis no FCM geral (Figura 4). Isso ocorreu devido a equipe ter entrado em consenso acerca de quais indicadores não possuem significância no sistema, e desconsiderá-los da análise.

Tabela 7 - Índices do Mapa Geral

Conceito	Nível de internalidade	Nível de externalidade	Centralidade
Preço da energia	5	2	7
Demanda de Energia Elétrica	4	1	5
Investimentos no setor elétrico	1	5	6
GFIS hidráulica	3	1	4
GFIS termoelétrica	4	1	5
GFIS solar	1	1	2
GFIS eólica	1	1	2
Precipitação	0	1	1
Energia Armazenada	1	2	3
PIB	2	3	5
Importações	1	1	2
Preço gás natural	0	2	2
Produção eletrointensivos	5	1	6
Preço do Óleo Combustível	0	3	3
Paraguai	0	1	1
Exportações	0	2	2
PCH	0	0	0
Térmica	0	0	0
Solar	0	0	0
Eólica	0	0	0
Custos com Energia	0	0	0
Risco	0	0	0
Nº de conceitos	22		
Nº de conexões	43		
Nº de variáveis transmissoras	5		
Nº de variáveis receptoras	0		
Nº de variáveis ordinários	11		
Conexões por variável	1,955		
Complexidade	0,000		
Densidade	0,093		

Fonte: autoria própria

Tabela 8 - Categorias e tipo dos conceitos do FCM geral

(continua)

Conceito	Tipo	Categoria
Preço da energia	Ordinária	Energética
Demanda de Energia Elétrica	Ordinária	Energética
Investimentos no setor elétrico	Ordinária	Energética
GFIS hidráulica	Ordinária	Energética
GFIS termoelétrica	Ordinária	Energética
GFIS solar	Ordinária	Energética
GFIS eólica	Ordinária	Energética
Precipitação	Transmissora	Natural

(conclusão)		
Conceito	Tipo	Categoria
Energia Armazenada	Ordinária	Energética
PIB	Ordinária	Econômica
Importações	Ordinária	Econômica
Preço gás natural	Transmissora	Econômica
Produção eletrointensivos	Ordinária	Econômica
Preço do Óleo Combustível	Transmissora	Econômica
Paraguai	Transmissora	Econômica
Exportações	Transmissora	Econômica
PCH	-	Alternativa
Térmica	-	Alternativa
Solar	-	Alternativa
Eólica	-	Alternativa
Custos com Energia	-	Função objetivo
Risco	-	Função objetivo

Fonte: autoria própria

Tabela 9 - Valores e descrição dos conceitos

(continua)

Conceito	Faixa	Descrição	Histórico ou referência
Preço da energia	50 a 600 R\$/MWh	PLD médio anual SIN	(CCEE, 2019)
Demanda de Energia Elétrica	60.000 a 80.000 MWm	Carga média anual SIN	(ONS, 2019)
Investimentos no setor elétrico	-20% a 20%	Taxa de variação anual de importações de máquinas e equipamentos de geração de energia	(BRASIL, 2018a)
GFIS hidráulica	-20% a 20%	Variação anual de garantia física hidráulica no SIN	(ONS, 2019)
GFIS termoeletrica	-10% a 10%	Variação anual de garantia física térmica no SIN	(ONS, 2019)
GFIS solar	0% a 40%	Variação anual de garantia física solar no SIN	(ONS, 2019)
GFIS eólica	-5% a 20%	Variação anual de garantia física eólica no SIN	(ONS, 2019)
Precipitação	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto	Precipitação média anual nas bacias hidrográficas do SIN	(INMET, 2019)
Energia Armazenada	Muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto	Energia armazenada média anual no SIN	(ONS, 2019)
PIB	-5% a 5%	Taxa de variação anual do PIB brasileiro	(IBGE, 2018)
Importações	-10% a 10%	Taxa de variação anual das Importações brasileiras de produtos eletrointensivos	(BRASIL, 2018a)
Preço gás natural	2,00 a 13,00 US\$/M BTU	Preço médio anual do gás natural	(MUNDI, 2018a)

			(conclusão)
Conceito	Faixa	Descrição	Histórico ou referência
Produção eletrointensivos	-5% a 5%	Taxa de variação anual da produção média das indústrias eletrointensivas. (Variação de produção anual da empresa hipotética em foco) (representado pela taxa de variação da remuneração média do setor eletrointensivo)	(BRASIL, 2018b)
Preço do Óleo Combustível	0,50 a 4,00 US\$/Galão	Preço médio anual do óleo combustível	(MUNDI, 2018b)
Paraguai	-5% a 8%	Taxa de variação do PIB do Paraguai	(BANCO MUNDIAL, 2019)
Exportações	-10% a 10%	Taxa de variação das exportações brasileiras de produtos eletrointensivos	(BRASIL, 2018a)
PCH	0 ou 16 MWm	Investir em uma PCH	(PEREIRA <i>et al.</i> , 2013)
Térmica	0 ou 16 MWm	Investir em uma usina termoeétrica	(PEREIRA <i>et al.</i> , 2013)
Solar	0 ou 16 MWm	Investir em uma usina solar	(PEREIRA <i>et al.</i> , 2013)
Eólica	0 ou 16 MWm	Investir em uma usina eólica	(PEREIRA <i>et al.</i> , 2013)
Custos com Energia	ℝ	Custo em reais	-
Risco	ℝ	Variação em reais do valor esperado	-

Fonte: autoria própria

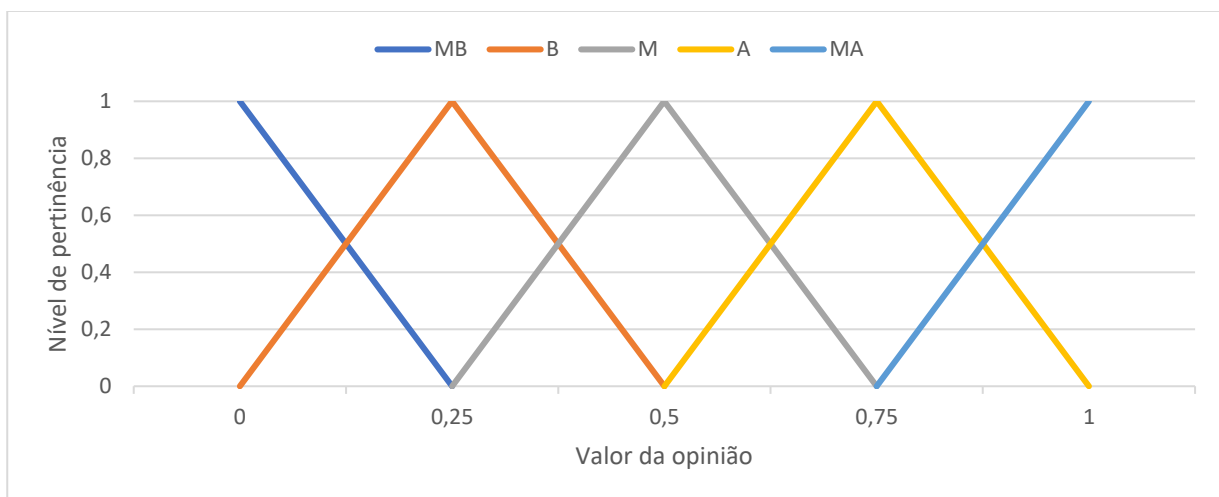
O FCM geral (Figura 4) apresenta a visão unificada da equipe de construção de cenários sobre o funcionamento da dinâmica de política energética de uma empresa eletrointensiva. Os conceitos do FCM geral e seus índices da teoria dos grafos estão apresentados na Tabela 7. A Tabela 8 apresenta o tipo e a categoria de cada conceito presente no FCM geral. E a Tabela 9 apresenta a faixa de valores de cada conceito e sua respectiva descrição.

Apresentado em verde claro na Figura 4, se encontram as variáveis classificadas como econômicas; de azul escuro, as variáveis naturais; e de amarelo as variáveis econômicas. Os conceitos marcados em rosa representam as alternativas, e os que estão marcados de branco, as funções objetivo. As setas azuis na Figura 4, apresentam uma relação direta; as vermelhas, uma relação inversa, e as setas pretas com o símbolo de interrogação, apresentam as relações analisadas após a construção dos cenários (só valem para a **etapa 4**). Portanto, os conceitos que pertencem às categorias “alternativa” e “função objetivo” não foram considerados para a simulação dos cenários (**passo 11**). Assim, seus índices da teoria dos grafos na Tabela 7 possuem o valor zero, assim como também elas não apresentam nenhum “tipo” na Tabela 8. A opção de se simular as variáveis independentemente das alternativas e das funções objetivo

também resultou em um mapa que possui seu índice de complexidade igual a zero, uma vez que ele não possui variáveis receptoras.

Após a construção do mapa geral, no **passo 10** cada participante da equipe de construção dos cenários definiu um peso para as setas azuis e vermelhas apresentadas na Figura 4. Ao utilizar variáveis linguísticas, a definição dos pesos foi realizada pela equipe de construção de cenários, e de acordo com o método apresentado em (KYRIAKARAKOS *et al.*, 2012, 2014), também exposto em (PEDRYCZ *et al.*, 2011). Ao considerar a mesma importância para cada especialista, essa metodologia de tomada de decisão consiste no uso do método de defuzzificação do centroide (RUNKLER, 1997) para transformar os valores linguísticos em numéricos a partir das funções de pertinência apresentadas na Figura 5. Os pesos do FCM geral são apresentados na Tabela 10, sendo: MB: Muito baixa; B: Baixa; M: Média; A: Alta; MA: Muito alta.

Figura 5 - Funções de pertinência para defuzzificação dos pesos



Fonte: autoria própria

Tabela 10 - Pesos do FCM geral

Peso	Influência de:	em:	E 1	E 2	E 3	E 4	Valor Final
W 1, 3	Preço da energia	Investimentos no setor elétrico	A	MA	M	MA	0,812
W 1, 13	Preço da energia	Produção eletrointensivos	A	A	MA	MA	-0,875
W 2, 1	Demanda de Energia Elétrica	Preço da energia	MA	A	MA	MA	0,937
W 3, 4	Investimentos no setor elétrico	GFIS hidráulica	MA	M	B	A	0,625
W 3, 5	Investimentos no setor elétrico	GFIS termoelétrica	MA	A	A	MA	0,875
W 3, 6	Investimentos no setor elétrico	GFIS solar	A	M	MA	A	0,750
W 3, 7	Investimentos no setor elétrico	GFIS eólica	MB	M	MA	A	0,562
W 3, 10	Investimentos no setor elétrico	PIB	MB	M	B	A	0,375
W 4, 1	GFIS hidráulica	Preço da energia	M	MA	MA	MA	-0,875
W 5, 1	GFIS termoelétrica	Preço da energia	A	MA	A	MA	0,875
W 6, 1	GFIS solar	Preço da energia	MB	B	MB	B	-0,125
W 7, 1	GFIS eólica	Preço da energia	MB	B	M	A	-0,375
W 8, 9	Precipitação	Energia Armazenada	A	MA	MA	MA	0,937
W 9, 4	Energia Armazenada	GFIS hidráulica	A	A	A	MA	0,812
W 9, 5	Energia Armazenada	GFIS termoelétrica	M	A	A	A	-0,687
W 10, 2	PIB	Demanda de Energia Elétrica	A	M	A	MA	0,750
W 10, 11	PIB	Importação	A	M	M	A	0,625
W 10, 13	PIB	Produção eletrointensivos	A	M	A	MA	0,750
W 11, 13	Importação	Produção eletrointensivos	M	B	M	MA	-0,562
W 12, 2	Preço gás natural	Demanda de Energia Elétrica	M	B	B	M	-0,375
W 12, 5	Preço gás natural	GFIS termoelétrica	A	M	M	A	-0,625
W 13, 2	Produção eletrointensivos	Demanda de Energia Elétrica	M	A	MA	MA	0,812
W 14, 2	Preço do Óleo Combustível	Demanda de Energia Elétrica	B	M	M	A	-0,500
W 14, 5	Preço do Óleo Combustível	GFIS termoelétrica	MB	M	MB	M	-0,250
W 14, 13	Preço do Óleo Combustível	Produção eletrointensivos	M	A	A	A	-0,687
W 15, 4	Paraguai	GFIS hidráulica	M	A	A	A	-0,687
W 16, 10	Exportação	PIB	MB	MA	MA	A	0,687
W 16, 13	Exportação	Produção eletrointensivos	MA	A	MA	A	0,875

Fonte: autoria própria

Para simular os cenários no **passo 11**, primeiro foi necessário realizar a fuzzificação das variáveis do FCM geral, que ocorreu conforme descrito na Tabela 11, essencialmente isso foi

necessário para que as variáveis quantitativas e qualitativas fossem mapeadas no espaço $[0, 1]$, conforme escrito na seção 2.1.1.8.

Tabela 11 - Procedimento de fuzzificação e valores iniciais

Variável	Procedimento de fuzzificação	Valor inicial
Preço da energia	50 assume o valor de 0 e 600 assume o valor de 1. Normalização linear assume lugar	270 R\$/MWh
Demanda de Energia Elétrica	60.000 assume o valor de 0 e 80.000 assume o valor de 1. Normalização linear assume lugar	65.600 MWm
Investimentos no setor elétrico	-20% assume o valor de 0 e 20% assume o valor de 1. Normalização linear assume lugar	0%
GFIS Hidráulica	-20% assume o valor de 0 e 20% assume o valor de 1. Normalização linear assume lugar	0,3%
GFIS Termoelétrica	-10% assume o valor de 0 e 10% assume o valor de 1. Normalização linear assume lugar	-0,2%
GFIS Solar	0% assume o valor de 0 e 40% assume o valor de 1. Normalização linear assume lugar	6%
GFIS Eólica	-5% assume o valor de 0 e 20% assume o valor de 1. Normalização linear assume lugar	0,5%
Precipitação	Muito baixa: 0; Baixa: 0,25; Média: 0,5; Alta: 0,75; Muito alta: 1.	Baixa
Energia Armazenada	Muito baixa: 0; Baixa: 0,25; Média: 0,5; Alta: 0,75; Muito alta: 1.	Baixa
PIB	-5% assume o valor de 0 e 5% assume o valor de 1. Normalização linear assume lugar	1%
Importações	-10% assume o valor de 0 e 10% assume o valor de 1. Normalização linear assume lugar	0%
Preço gás natural	2,00 assume o valor de 0 e 13,00 assume o valor de 1. Normalização linear assume lugar	3 US\$/MBTU
Produção eletrointensivos	-5% assume o valor de 0 e 5% assume o valor de 1. Normalização linear assume lugar	-0%
Preço do Óleo Combustível	0,50 assume o valor de 0 e 4,00 assume o valor de 1. Normalização linear assume lugar	2,1 US\$/Galão
Paraguai	-5% assume o valor de 0 e 8% assume o valor de 1. Normalização linear assume lugar	4%
Exportações	-10% assume o valor de 0 e 10% assume o valor de 1. Normalização linear assume lugar	-0,1%

Fonte: autoria própria

E seguida no **passo 11**, a partir dos valores iniciais das variáveis apresentado na Tabela 11, foi feita a simulação dos cenários com o intuito de cobrir as incertezas identificadas no **passo 4**. A simulação dos cenários ocorreu a partir da fixação de determinadas variáveis ao longo do tempo, que representa a natureza da respectiva situação. Trabalhos como (CHERMACK, 2011; DATOR, 1979; RALSTON; WILSON, 2006; RINGLAND; SCHWARTZ, 1998) limitam o número de cenários construídos a quatro, já trabalhos como (BRADFIELD *et al.*, 2005; GODET, 2000a), são mais flexíveis e permitem a construção de até seis cenários. Por outro lado, o trabalho (SAATY, 2016) motiva a realização de análises em um número próximo a sete componentes. Como o importante é varrer a região de incertezas e visto

que não há um consenso na literatura sobre quantos cenários devem constituir a análise, optou-se pela construção dos dez seguintes cenários:

- a. **Cenário base:** O intuito desse cenário é identificar como o sistema se comporta sem interferências (o que acontece se tudo continuar como está). Nenhuma variável é fixada (Tabela 28).
- b. **Pouca chuva:** Esse cenário apresenta as consequências sistêmicas de um período prolongado de poucas chuvas. A variável **Precipitações** é fixada em **Muito baixa** em todo o horizonte de análise (Tabela 29).
- c. **Desenvolvimento paraguaio:** Esse cenário se propõe analisar as consequências do desenvolvimento econômico do Paraguai em toda dinâmica econômica e energética do Brasil. Nesse cenário, com o Paraguai apresentando uma carga maior, ele utiliza mais de sua parcela de Itaipu, e menos energia é exportada para o Brasil. A variável **Paraguai** assume o valor de **8%** em todo o horizonte de análise (Tabela 30).
- d. **Retomada da economia brasileira:** Nesse cenário, o objetivo é avaliar as consequências de uma recuperação econômica brasileira, sem que as chuvas voltem ao normal. Em todo o horizonte, as variáveis **PIB** e **Precipitações** assumem respectivamente os valores **5%** e **Baixa** (Tabela 31).
- e. **Desenvolvimento mundial:** O objetivo desse cenário, é avaliar os impactos do crescimento econômico mundial, refletido no modelo como aumento das exportações brasileiras. As variáveis **Paraguai** e **Exportações** são fixadas nos valores de **8%** e **10%** respectivamente, em todo o horizonte de análise (Tabela 32).
- f. **Dilúvios:** O intuito desse cenário, é apresentar as consequências no sistema, de um período prolongado com muitas chuvas. A variável **Precipitação** assume o valor **Muito alto** em todo horizonte de análise (Tabela 33).
- g. **Subsídios para usinas renováveis:** Esse cenário apresenta o efeito de uma possível política de incentivo de fontes renováveis no sistema. As variáveis **GFIS Solar** e **GFIS Eólica** são fixadas em seu valor máximo em todo horizonte de análise (Tabela 34).
- h. **Desenvolvimento com chuva:** Esse cenário avalia se um longo período com chuvas acima da média consegue amenizar os efeitos de desenvolvimento econômico mundial. Para isso, as variáveis **Precipitação**, **Paraguai** e **Exportações** são fixadas em seu valor máximo em todo horizonte de análise (Tabela 35).
- i. **Aumento no preço dos combustíveis:** O intuito desse cenário, é avaliar as consequências sistêmicas de um período prolongado de preços altos de combustíveis. As

variáveis **Preço gás natural** e **Preço do Óleo Combustível** assumem seus valores máximos em todo horizonte de análise (Tabela 36).

- j. **Previsões:** Esse cenário avalia os efeitos de concretização das previsões já existentes, apresentadas em (BANCO MUNDIAL, 2019; BNDES, 2018; CCEE, 2019; EPE, 2018; ONS, 2019; WORLD BANK GROUP, 2018). Para isso, as variáveis: **Demanda de Energia Elétrica, GFIS Hidráulica GFIS Termoeétrica, GFIS Solar, GFIS Eólica, PIB, Preço do gás natural, Paraguai e Exportações**, foram fixados até o último ano da respectiva previsão, na Tabela 37.

As Tabela 28 a Tabela 37 apresentam as simulações dos cenários em todo o horizonte de análise podem ser encontradas no APÊNDICE SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS. Os valores das variáveis nessas tabelas se encontram fuzzificados segundo a Tabela 11, e as variáveis fixadas em cada cenário se encontram marcados de amarelo e em negrito. As tabelas desse apêndice também apresentam o resultado do Custo com energia, que foi calculado para cada cenário ao se multiplicar os valores correntes de produção da empresa e consumo específico (Tabela 4 – **etapa 1**), para se encontrar o consumo energético do ano corrente. Depois se multiplica o consumo energético e o preço da energia. Portanto, o custo com energia pode ser descrito pela seguinte equação:

$$CustEnerg(t) = PreçEnerg(t) \times ProdEmp(t) \times ConsEsp \quad (38)$$

Sendo: t : índice do ano; $CustEnerg$: Custos com energia; $PreçEnerg$: Preço da energia; $ProdEmp$: Produção da empresa; $ConsEsp$: consumo específico.

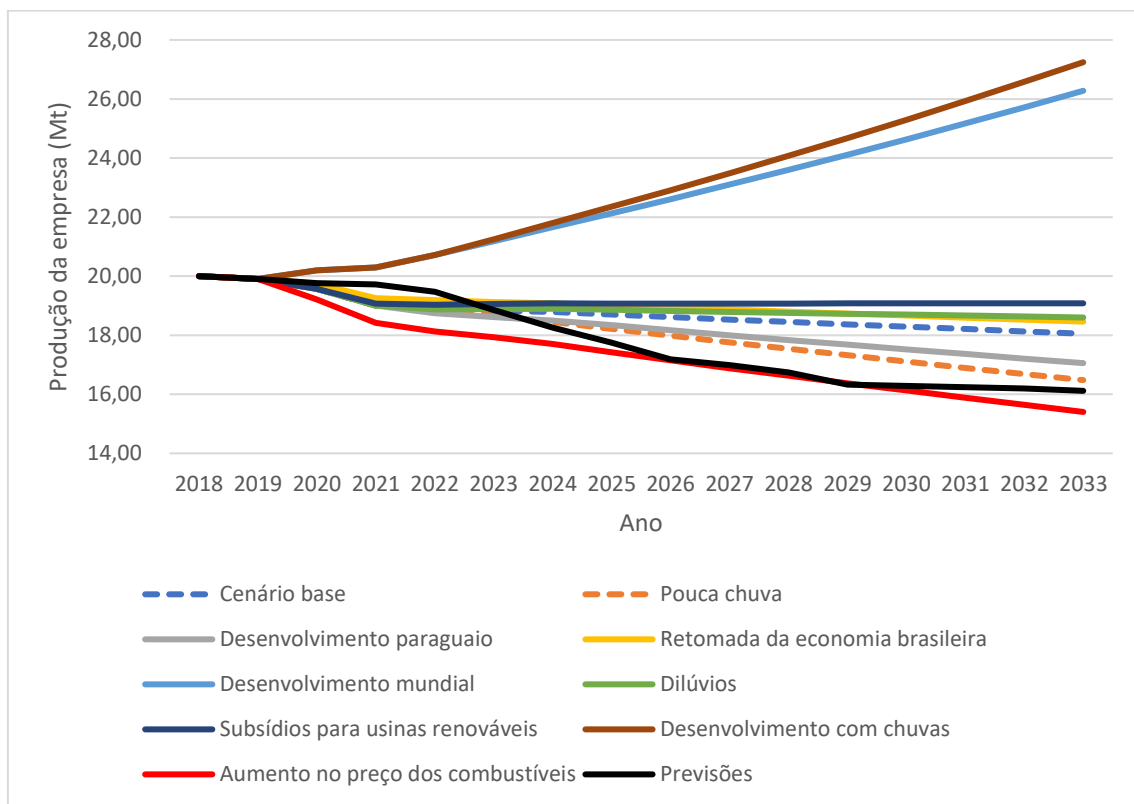
Para isso, se defuzzificou as variáveis Preço de energia e Produção eletrointensivos de acordo com o Quadro 13, além de se considerar que os valores de produção da empresa variam anualmente com a mesma intensidade da variável Produção eletrointensivos. Percebe-se que em cada uma das tabelas encontradas no APÊNDICE SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS apresenta sua própria visão acerca do futuro, resultando em um comportamento diferente de produção da empresa (Figura 6) e preço de energia (Figura 7).

Quadro 13 - Procedimento de defuzzificação das variáveis Preço de energia e Produção eletrointensivos

Variável	Procedimento de defuzzificação
Preço da energia	0 assume o valor de 50 e 1 assume o valor de 600. Normalização linear assume lugar
Produção eletrointensivos	0 assume o valor de -5% e 1 assume o valor de 5%. Normalização linear assume lugar

Fonte: autoria própria

Figura 6 - Evolução da produção da empresa (M t)



Fonte: autoria própria

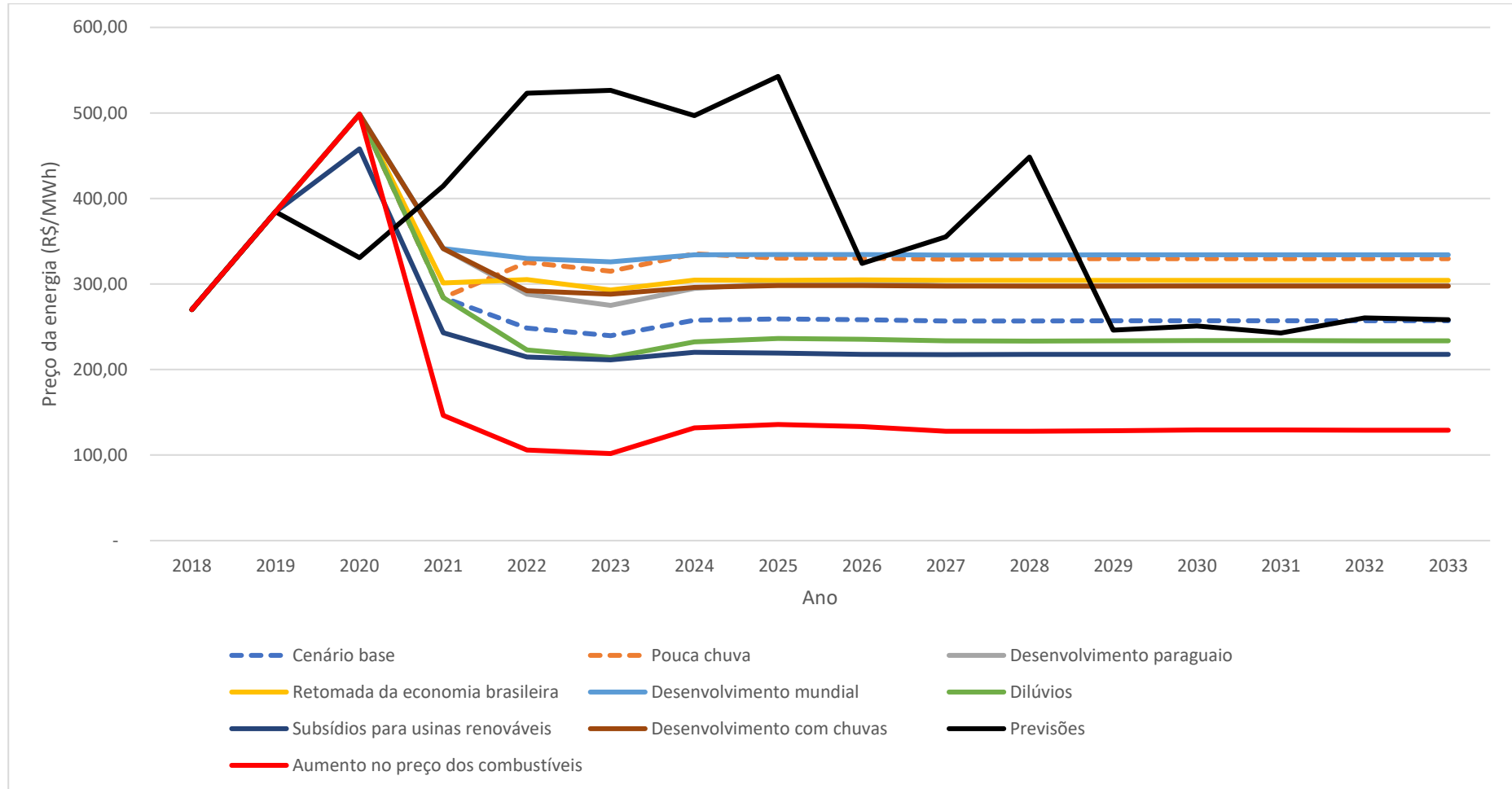
Com exceção dos cenários “Desenvolvimento mundial” e “Desenvolvimento com chuvas”, todos os outros cenários indicaram uma redução no longo prazo da produção da empresa, como apresenta a Figura 6. Esses dois cenários, possuem a variável Exportações fixada em seu valor máximo, o que implica em um crescimento de mercado constante no setor eletrointensivo (Tabela 32). No cenário “Desenvolvimento com chuvas”, a variável Precipitação, fixada em seu valor máximo, contribui ainda mais para o crescimento da produção, ao reduzir o preço da energia (Tabela 35).

Pontualmente o cenário “Retomada da economia brasileira” incentiva positivamente na produção da empresa. Entretanto, de forma sistêmica, o aumento das variáveis Importações, Demanda de energia elétrica, e conseqüentemente Preço da energia, proporcionou uma queda de produção no longo prazo nesse cenário (Tabela 31). Da mesma forma, a Tabela 33 apresenta que as altas precipitações no cenário “Dilúvios” resultaram sistemicamente em uma redução da variável Produção eletrointensivos, de forma similar ao cenário “Retomada da economia brasileira” no longo prazo, como mostra a Figura 6.

O cenário “Aumento no preço dos combustíveis” apresenta o pior resultado de produção da empresa, conforme mostra a Figura 6. Entretanto, a evolução da variável Produção eletrointensivos poderia apresentar valores ainda menores, se não fosse pela redução sistêmica das variáveis GFIS Termoelétrica, Demanda de energia elétrica e conseqüentemente, Preço da energia. Assim, o baixo preço de energia estimula a produção das indústrias eletrointensivas, que em uma situação não simulada de combinação entre os cenários “Aumento do preço dos combustíveis” e “Pouca chuva” poderia resultar no pior cenário construído de produção da empresa.

De forma complementar, todos os cenários apresentaram uma queda de produção da empresa no ano de 2019. Uma justificativa para esse acontecimento é o fato de todos os cenários também apresentarem um aumento no preço da energia do ano de 2018 para 2019, como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Evolução do preço da energia



Fonte: autoria própria

A evolução dos preços da energia é apresentada na Figura 7, sendo seus valores distintos entre os cenários. Entretanto, há simulações com comportamentos similares, onde existe um aumento crescente de preço até o ano de 2020, seguido por uma queda até o ano 2023 e por um leve aumento no ano de 2024, como em: “Aumento no preço dos combustíveis”, “Subsídio para usinas renováveis”, “Dilúvios”, “Cenário base”, “Desenvolvimento paraguaio”, “Desenvolvimento mundial” e “Desenvolvimento com chuvas”. Também de forma geral, com exceção do cenário “Previsões”, todos os cenários apresentaram pouca variação anual de preço da energia após o ano de 2024. Esses fatos podem ser contornados a partir da utilização de algoritmos de aprendizagem e desempenho no mapa geral, antes da simulação dos cenários, como os apresentados em (FELIX *et al.*, 2017; NÁPOLES *et al.*, 2016; STACH *et al.*, 2005).

De forma complementar, a Tabela 12 apresenta os valores médios de produção da empresa e preço da energia dos cenários. Essa tabela realça que cada cenário possui uma combinação de quantia média particular para as variáveis apresentadas.

Tabela 12 - Resultados dos cenários

Cenário	Média anual de Preço da energia [R\$/MWh]	Média anual de Produção da empresa [Mt]
Cenário base	281,15	18,77
Pouca chuva	336,18	18,15
Desenvolvimento paraguaio	315,01	18,34
Retomada da economia brasileira	318,53	19,06
Desenvolvimento mundial	343,16	22,58
Dilúvios	263,34	18,98
Subsídios para usinas renováveis	247,61	19,21
Desenvolvimento com chuva	315,62	22,92
Aumento no preço dos combustíveis	175,56	17,42
Previsões	382,92	17,69

Fonte: autoria própria

Os cenários que apresentaram uma média de preço abaixo R\$300,00 por MWh, foram: “Aumento no preço dos combustíveis”, “Subsídio para usinas renováveis”, “Dilúvios” e “Cenário base”. Todos os outros cenários apresentaram uma média de preço maior que R\$300,00 por MWh, como mostra a Tabela 12.

O cenário “Aumento no preço dos combustíveis”, além de apresentar a menor média de preço, também apresenta a menor média de **Produção da empresa**. Já a maior média de preço se encontra no cenário “Previsões”. Contudo, assim como no “Aumento no preço dos combustíveis”, o valor médio de **Produção da empresa** se mostrou abaixo dos 18 milhões de toneladas por ano, conforme a Tabela 12.

Ainda no cenário “Previsões” (Tabela 37 - APÊNDICE SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS), o baixo crescimento das variáveis Demanda de energia elétrica, Preço do gás natural e PIB nos três primeiros anos, favoreceram comportamentos de preço e produção distintos das outras curvas no início da simulação, como apresentam as Figuras 6 e 7. A previsão do aumento das variáveis GFIS Hidráulica e GFIS Eólica abaixo dos outros cenários, e GFIS Termoelétrica acima, contribuíram sistemicamente para preços acima de R\$500,00 por MWh no período de 2022 a 2025. O pico de preço no ano de 2028 desse cenário também se deve ao aumento das variáveis GFIS Termoelétrica e Demanda de energia elétrica. Como não há mais nenhuma variável fixada após o ano de 2028, os cenários “Previsões” e “Cenário base” assumem o mesmo valor de preço no final do horizonte de simulação, como evidenciado na Figura 7.

O “Cenário base” se encontra no centro dos demais cenários, ao apresentar valores nem tão altos e nem tão baixos, de preço e produção se comparado com os outros cenários, como mostra Tabela 12 e as Figuras 6 e 7.

A opção governamental de incentivar fontes renováveis de geração de energia, simulada no cenário “Subsídio para usinas renováveis”, proporcionou um impacto maior no Preço da energia do que o cenário “Dilúvios”, apresentando uma média de preço anual R\$16,00 menor, aproximadamente, se comparadas essas possibilidades na Tabela 12.

O cenário “Desenvolvimento com chuvas” apresenta a maior média de produção da empresa, como apresentado na Tabela 12. De forma geral, esse cenário também apresenta que um período com Precipitações estabelecidas em muito altas, ameniza os efeitos do crescimento econômico no preço de energia, simulados no cenário “Desenvolvimento mundial”, em aproximadamente R\$28,00 por MWh por ano. Ainda sobre o cenário “Desenvolvimento com chuvas”, como explicito na Figura 7, ele se estabiliza em valores próximos aos cenários “Desenvolvimento paraguaio” e “Retomada da economia brasileira”. As médias de preço desses cenários também se mostram próximas umas das outras, conforme a Tabela 12, o que implica em dizer que essas possibilidades tem efeito similar no preço da energia.

Os cenários “Pouca chuva” e “Desenvolvimento mundial”, apesar de apresentarem comportamentos distintos de preço nos 5 primeiros anos de análise, após o ano de 2024 o preço de ambos os cenários se estabilizam em valores muito próximos, como apresenta a Figura 7. A média de preço desses cenários também é próxima, de diferenciando por aproximadamente R\$7,00 por MWh, contudo esses cenários apresentam resultados distintos de produção da empresa, como mostra a Tabela 12. Portanto, a possibilidade de um crescimento econômico mundial, implicaria nas mesmas consequências para o preço da energia, da possibilidade de um

período de escassez de chuvas no sistema elétrico brasileiro. Entretanto essas situações trazem resultados diferentes de produção da empresa.

4.4. Desenvolvimento da Etapa 4

A **etapa 4** do método CCD, orientada pelo modelo de tomada de decisão apresentado em (PEDRYCZ *et al.*, 2011; PEREIRA *et al.*, 2015), é composta pela avaliação das alternativas arquitetadas na **etapa 2**, nos cenários construídos na **etapa 3**.

Ao iniciar o **passo 12**, primeiramente as alternativas apresentadas no **passo 6** precisam ser avaliadas financeiramente, de acordo com (PUCCINI, 2010), em cada cenário resultante do **passo 11**. Para isso, construiu-se um fluxo de caixa para cada alternativa em cada cenário, levando em consideração as características financeiras apresentadas na Tabela 4 (**etapa 1**). Esses fluxos avaliam o investimento do capital próprio da empresa na respectiva alternativa, exceto no cenário Subsídio para usinas renováveis. Neste, as alternativas Eólica e Solar possuem o investimento financiado no sistema SAC (sistema de amortização constante - juros sobre saldo devedor). Esses fluxos de caixa estão expostos no APÊNDICE SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS.

Como resultado do **passo 12**, obteve-se a matriz payoff para ambas as funções objetivo, junto com suas respectivas características. Para o custo com energia, as Tabelas 13 e 14 apresentam o valor presente líquido (VPL) das alternativas nos cenários. Para o risco (Tabelas 15 e 16), utilizou-se, assim como no trabalho (PEREIRA *et al.*, 2018), o módulo da diferença entre o VPL da alternativa do cenário, e o VPL esperado da alternativa, conforme a seguinte equação:

$$R_{k,s} = \left| VPL_{k,s} - \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S VPL_{k,s} \right| \quad (39)$$

sendo: k , o índice da alternativa; s , o índice do cenário; S , o número total de cenários; VPL , o valor presente líquido; e R , o risco.

Tabela 13 - Matriz payoff para o critério custo (M R\$)

Alternativa	Cenário base	Pouca chuva	Desenvolvimento paraguaio	Retomada da economia brasileira	Desenvolvimento mundial	Dilúvios	Subsídios para usinas renováveis	Desenvolvimento com chuvas	Aumento no preço dos combustíveis	Previsões
Spot	278,85	308,38	299,13	306,66	357,46	268,83	256,50	338,93	200,15	346,39
Gás Natural	232,53	232,53	237,55	234,85	241,24	232,53	224,80	241,24	227,17	228,26
Eólica	277,44	277,44	277,44	277,91	279,11	277,44	240,43	279,11	276,50	260,39
Solar fotovoltaica	455,16	455,16	455,16	455,63	456,83	455,16	373,51	456,83	454,22	438,11
PCH	275,35	275,35	275,35	275,82	277,02	275,35	237,02	277,02	274,41	258,30

Fonte: autoria própria

Tabela 14 - Característica estimadas da matriz payoff do critério custo (M R\$)

Alternativa	Fmin	Fmed	Fmax	Amax
Spot	200,15	296,13	357,46	118,14
Gás Natural	224,80	233,27	241,24	27,03
Eólica	240,43	272,32	279,11	76,36
Solar fotovoltaica	373,51	445,58	456,83	254,07
PCH	237,02	270,10	277,02	74,26

Fonte: autoria própria

Tabela 15 - Matriz payoff para o critério risco (M R\$)

Alternativa	Cenário base	Pouca chuva	Desenvolvimento paraguaio	Retomada da economia brasileira	Desenvolvimento mundial	Dilúvios	Subsídios para usinas renováveis	Desenvolvimento com chuvas	Aumento no preço dos combustíveis	Previsões
Spot	17,28	12,25	3,00	10,53	61,33	27,29	39,63	42,80	95,98	50,27
Gás Natural	0,74	0,74	4,28	1,58	7,97	0,74	8,47	7,97	6,10	5,01
Eólica	5,12	5,12	5,12	5,59	6,79	5,12	31,89	6,79	4,18	11,93
Solar fotovoltaica	9,58	9,58	9,58	10,05	11,25	9,58	72,06	11,25	8,64	7,47
PCH	5,25	5,25	5,25	5,72	6,92	5,25	33,08	6,92	4,31	11,80

Fonte: autoria própria

Tabela 16 - Característica estimadas da matriz payoff do critério risco (M R\$)

Alternativa	Fmin	Fmed	Fmax	Amax
Spot	3,00	36,04	95,98	91,81
Gás Natural	0,74	4,36	8,47	1,92
Eólica	4,18	8,76	31,89	23,42
Solar fotovoltaica	7,47	15,91	72,06	63,59
PCH	4,31	8,97	33,08	24,60

Fonte: autoria própria

As matrizes payoff construídas no passo anterior são analisadas no passo 13. Para tal, lança-se mão do método apresentado na seção 2.3 dessa dissertação, e se calcula as matrizes de arrependimentos de ambos os critérios, apresentadas nas Tabelas 17 e 18.

Tabela 17 - Matriz de arrependimento do critério custo (M R\$)

Alternativa	Cenário base	Pouca chuva	Desenvolvimento paraguaio	Retomada da economia brasileira	Desenvolvimento mundial	Dilúvios	Subsídios para usinas renováveis	Desenvolvimento com chuvas	Aumento no preço dos combustíveis	Previsões
Spot	46,32	75,85	61,58	71,80	116,22	36,30	31,71	97,69	0,00	118,14
Gás Natural	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,03	0,00
Eólica	44,91	44,91	39,90	43,06	37,87	44,91	15,63	37,87	76,36	32,14
Solar fotovoltaica	222,63	222,63	217,61	220,78	215,59	222,63	148,72	215,59	254,07	209,86
PCH	42,82	42,82	37,80	40,97	35,78	42,82	12,23	35,78	74,26	30,05

Fonte: autoria própria

Tabela 18 - Matriz de arrependimento do critério risco (M R\$)

Alternativa	Cenário base	Pouca chuva	Desenvolvimento paraguaio	Retomada da economia brasileira	Desenvolvimento mundial	Dilúvios	Subsídios para usinas renováveis	Desenvolvimento com chuvas	Aumento no preço dos combustíveis	Previsões
Spot	16,54	11,51	0,00	8,95	54,55	26,56	31,15	36,02	91,81	45,25
Gás Natural	0,00	0,00	1,27	0,00	1,18	0,00	0,00	1,18	1,92	0,00
Eólica	4,38	4,38	2,12	4,01	0,00	4,38	23,42	0,00	0,00	6,92
Solar fotovoltaica	8,85	8,85	6,58	8,47	4,46	8,85	63,59	4,46	4,46	2,45
PCH	4,51	4,51	2,25	4,14	0,13	4,51	24,60	0,13	0,13	6,78

Fonte: autoria própria

As matrizes de arrependimento de ambos os critérios (Tabelas 17 e 18), quantificam matematicamente as possibilidades de se fazer uma escolha errada ou certa para cada cenário. A melhor alternativa do cenário possui arrependimento igual a zero. Entretanto, como se faz uma análise em vários cenários, uma mesma alternativa pode não ser a ideal em todos os cenários.

Ao se seguir no passo 13, constrói-se as matrizes com os critérios de escolha estimados das funções objetivo (Tabelas 19 e 20) e posteriormente, as matrizes modificadas dos critérios de escolha (Tabelas 21 e 22), que possuem o coeficiente $\alpha = 0,75$.

Tabela 19 - Matriz com os critérios de escolha estimados para o critério custo (M R\$)

Alternativa	FW	FL	FS	FH
Spot	357,46	296,13	118,14	318,13
Gás Natural	241,24	233,27	27,03	237,13
Eólica	279,11	272,32	76,36	269,44
Solar fotovoltaica	456,83	445,58	254,07	436,00
PCH	277,02	270,10	74,26	267,02

Fonte: autoria própria

Tabela 20 - Matriz com os critérios de escolha estimados para o critério risco (M R\$)

Alternativa	FW	FL	FS	FH
Spot	95,98	36,04	91,81	72,74
Gás Natural	8,47	4,36	1,92	6,54
Eólica	31,89	8,76	23,42	24,97
Solar fotovoltaica	72,06	15,91	63,59	55,92
PCH	33,08	8,97	24,60	25,88

Fonte: autoria própria

Tabela 21 - Matriz modificada com os critérios de escolha para o critério custo

Alternativa	$\mu(\text{FW})$	$\mu(\text{FL})$	$\mu(\text{FS})$	$\mu(\text{FH})$
Spot	0,46	0,70	0,60	0,59
Gás Natural	1,00	1,00	1,00	1,00
Eólica	0,82	0,82	0,78	0,84
Solar fotovoltaica	0,00	0,00	0,00	0,00
PCH	0,83	0,83	0,79	0,85

Fonte: autoria própria

Tabela 22 - Matriz modificada com os critérios de escolha para o critério risco

Alternativa	$\mu(\text{FW})$	$\mu(\text{FL})$	$\mu(\text{FS})$	$\mu(\text{FH})$
Spot	0,00	0,00	0,00	0,00
Gás Natural	1,00	1,00	1,00	1,00
Eólica	0,73	0,86	0,76	0,72
Solar fotovoltaica	0,27	0,64	0,31	0,25
PCH	0,72	0,85	0,75	0,71

Fonte: autoria própria

Ao se utilizar os quatro critérios de escolha para avaliar as alternativas na função objetivo custo (Tabela 21), percebe-se que todos os critérios de escolha nos levam a mesma solução (Gás Natural). Eles também mostram que a alternativa de se investir em uma usina solar fotovoltaica será a mais onerosa.

Ao realizar a mesma avaliação para a função objetivo risco (Tabela 22), nota-se que a alternativa menos viável é a Spot, o que já era esperado, uma vez que o valor dessa alternativa é o mais volátil a mudança de cenário. Percebe-se também que a melhor opção ainda é investir em uma usina de gás natural, e que as alternativas de fonte renovável de energia (principalmente a solar fotovoltaica) foram penalizadas consideravelmente pelo cenário Subsídio para usinas renováveis. Esse cenário representa a situação de se investir nessas fontes de energia e posteriormente o governo proporcionar incentivos para alavancá-las na matriz energética nacional. As políticas de financiamento alteram o fluxo de caixa das fontes alternativas nesse cenário, como apresentado na Figura 18 no APÊNDICE SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS, tornando-as mais vantajosas. Ou seja, se investe em uma alternativa em um momento, e posteriormente o custo do investimento nela reduz, por conseguinte essa frustração está presente na função objetivo risco.

De forma antagônica, o cenário Aumento no preço dos combustíveis não foi capaz de penalizar de forma significativa a alternativa de se investir numa usina de gás natural em nenhuma das funções objetivo. Isso ocorreu devido ao fato de que durante a simulação desse cenário (Tabela 36 no APÊNDICE SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS), o aumento dos combustíveis proporcionou uma redução na demanda do sistema, e conseqüentemente também, uma redução no preço da energia.

Por fim, as matrizes modificadas dos critérios de escolha resultam na construção da matriz agregada, apresentada na Tabela 23. Observa-se que todos os critérios de escolha resultaram pela preferência da alternativa gás natural. Contudo, as alternativas de se investir em eólica ou PCH também apresentaram um valor que pode justificar uma análise mais detalhada entre essas três alternativas, podendo ser feita em modelos qualitativos (PEREIRA, J.G. *et al.*,

2015). A inserção de novas funções objetivo no problema proposto (por exemplo, emissões de CO_2) poderia mudar a resposta alcançada no final da análise.

Tabela 23 - Matriz agregada dos critérios de escolha

Alternativa	$\mu(FW)$	$\mu(FL)$	$\mu(FS)$	$\mu(FH)$
Spot	0,00	0,00	0,00	0,00
Gás Natural	1,00	1,00	1,00	1,00
Eólica	0,73	0,82	0,76	0,72
Solar fotovoltaica	0,00	0,00	0,00	0,00
PCH	0,72	0,83	0,75	0,71

Fonte: autoria própria

Após a análise das matrizes, o passo final do método CCD consiste em comunicar os resultados aos tomadores de decisão. Para isso, a Equipe elaboraria um documento com os resultados da análise e as recomendações de decisão. Uma vez que o método foi aplicado em uma empresa hipotética, essa síntese com o desenvolvimento e resultados do método serão apresentados no capítulo CONCLUSÃO.

5. CONCLUSÃO

A partir do objetivo de se alcançar uma melhoria na tomada de decisão multicritério em ambientes de incerteza de (PEDRYCZ *et al.*, 2011), foi elaborado o método CCD, que integra metodologias quantitativas e qualitativas de construção de cenários, juntamente com as técnicas de tomada de decisão multicritério. Este método aperfeiçoa a forma como é feita a modelagem da incerteza utilizando cenários no modelo $\langle X, M \rangle$ de tomada de decisão multicritério (multiobjetivo).

O método CCD, inspirado principalmente nos trabalhos (KYRIAKARAKOS *et al.*, 2014; PEDRYCZ *et al.*, 2011; RALSTON; WILSON, 2006), possibilitou a análise multicritério em ambientes de cenários dinâmicos, a partir da utilização de mapas cognitivos *fuzzy* para sua construção, de maneira que as variáveis, alternativas e funções objetivo pudessem influenciar umas às outras. Os cenários desenvolvidos pela equipe formada, foram capazes de avaliar o comportamento sistêmico das variáveis. A construção de diversas situações que envolveram as incertezas naturais, econômicas e energéticas, resultou em cenários dinâmicos para análise das alternativas dentro de modelos $\langle X, M \rangle$.

A abordagem proposta permite superar as limitações que são encontradas na aplicação das $LP\tau$ sequências para construção de cenários, sendo elas a impossibilidade de criação de duas ou mais situações distintas com respostas semelhantes, e a ausência do caminho de evolução dos valores atuais para os previstos. Os cenários “Desenvolvimento paraguaio” e “Retomada da economia brasileira” apresentaram resultados semelhantes das variáveis preço da energia e produção da empresa, apesar de possuírem naturezas diferentes. Em particular, cenários que apresentem os mesmos valores são considerados como sendo o mesmo cenário ao usar $LP\tau$ sequências, impossibilitando uma ou mais situações na análise. Uma vez que toda a evolução das variáveis no tempo também faz parte do cenário, sua análise não é exclusiva de um estabelecido valor final dessas variáveis. A exclusão de um cenário também penaliza as alternativas que poderiam proteger a empresa naquela situação em especial. Portanto, a análise em cenários deve considerar como uma determinada natureza impacta nas variáveis de interesse, e seus efeitos ao longo do tempo. Diferentemente das $LP\tau$ sequências, o método elaborado não analisa os efeitos de determinados valores de preço da energia e produção da empresa no custo e risco, mas sim as consequências das situações que levam essas variáveis para seus respectivos valores.

Ao se aplicar o método CCD no problema da empresa eletrointensiva hipotética, foi possível melhorar o entendimento dos integrantes da equipe de construção de cenários acerca do sistema em que as empresas eletrointensivas estão inseridas. A partir de reuniões periódicas, realizadas em cada passo do método, foi possível manter o engajamento dos participantes e um fluxo contínuo de trabalho. De forma global, o FCM geral conseguiu representar o pensamento dos integrantes com relação a dinâmica das variáveis do sistema. A partir do FCM geral, foi possível a construção de cenários de diversas naturezas, dentre elas: econômicas, climáticas e políticas. Com os cenários criados dessa forma, foi possível a análise das alternativas nos modelos $\langle X, M \rangle$, possibilitando assim a **tomada de decisão multicritério em ambientes de cenários dinâmicos e de incerteza**. No final da análise, conclui-se que a melhor opção para essa empresa hipotética, seria investir em uma usina termoelétrica de gás natural com ciclo combinado, e que a empresa não deveria investir de forma alguma em uma usina solar fotovoltaica ou liquidar a preço spot.

5.1. Contribuições

Diferentemente do uso de $LP\tau$ sequências, os cenários construídos com o CCD possibilitaram a avaliação multicritério das alternativas em cenários dinâmicos, a partir do estabelecimento da conexão entre planejamento em cenários e tomada de decisão, sendo essas as principais contribuições do trabalho.

Outra contribuição desse trabalho, foi a elaboração de um método de construção de cenários que integrasse metodologias relacionadas à utilização de informações quantitativas e qualitativas em sua composição, suprimindo as críticas às metodologias existentes expostas em (AMER *et al.*, 2013; KOK, 2009; KOK; VAN DELDEN, 2009; STEWART; DURBACH, 2016). Para a realização desse trabalho, também foi necessário se realizar uma revisão na literatura de métodos de construção de cenários, sendo essa mais uma contribuição desse trabalho.

5.2. Trabalhos futuros

Uma possível melhoria do método CCD, seria a utilização dos FCM individuais, e seus respectivos índices para definir a importância de cada especialista na construção dos pesos do FCM geral. Isso permitiria que profissionais com mais experiência em um determinado assunto

tivesse mais importância em pesos que conectam variáveis desse assunto, e menos influencia em outras conexões.

Durante a aplicação do método CCD, foi possível perceber que o tempo de desenvolvimento das atividades, a qualidade das alternativas e dos cenários construídos são sensíveis a experiência e comprometimento da equipe de construção dos cenários. Portanto outra possível melhoria, seria a incorporação de algoritmos de aprendizagem e desempenho no **passo 10** do método CCD, como os apresentados em (FELIX *et al.*, 2017; NÁPOLES *et al.*, 2016; STACH *et al.*, 2005), isso possibilitaria uma verificação do FCM geral antes da simulação dos cenários, reduzindo assim a interferência humana e os erros causados pela falta de experiência ou comprometimento dos especialistas. Por fim, ainda é possível incorporar atrasos temporais nas variáveis, como apresentado em (STERMAN *et al.*, 2000), durante o **passo 11** do método CCD. É esperado que a partir desse trabalho futuro, seja possível garantir um comportamento mais oscilatório e aderente ao histórico das variáveis durante a simulação dos cenários.

REFERÊNCIAS

- AGUILAR, J. A Survey about Fuzzy Cognitive Maps Papers (Invited Paper). *International Journal of Computational Cognition*, v. 3, n. 2, p. 27–33, 2005.
- AGUILAR, Jose. Adaptive Random Fuzzy Cognitive Maps. 2002, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2002. p. 402–410.
- ALEXANDER, William; SERFASS, Richard. Beyond vision: creating and analyzing your organization's quality future. *Quality Progress*, v. 31, n. 7, 1998.
- ALIPOUR, M. *et al.* A new hybrid fuzzy cognitive map-based scenario planning approach for Iran's oil production pathways in the post-sanction period. *Energy*, v. 135, p. 851–864, set. 2017. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544217310629>>.
- AMER, Muhammad; DAIM, Tugrul U.; JETTER, Antonie. A review of scenario planning. *Futures*, v. 46, p. 23–40, fev. 2013. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016328712001978>>.
- AMER, Muhammad; JETTER, Antonie; DAIM, Tugrul. Development of fuzzy cognitive map (FCM)-based scenarios for wind energy. *International Journal of Energy Sector Management*, 2011.
- BANCO MUNDIAL. *Paraguay*. Disponível em: <<https://datos.bancomundial.org/pais/paraguay?fbclid=IwAR1EmgUwAXtSPKY03-jub89yDVV1eN9QVjnkxjwSzVYFUB3Gud3nIGru0y4>>. Acesso em: 11 set. 2019.
- BAWDEN, R. The leadership revolution. 1998, [S.l.: s.n.], 1998.
- BELYAEV, Lev S. A Practical Approach to Choosing Alternative Solutions to Complex Optimization Problems under Uncertainty. *International Institute for Applied Systems Analysis*, v. 1, n. January, p. 1–60, 1977.
- BERREDO, R.C. *et al.* Decision making in fuzzy environment and multicriteria power engineering problems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, v. 33, n. 3, p. 623–632, mar. 2011. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0142061511000020>>.
- BLOOM, Michael J.; MENEFEE, Mary K. Scenario Planning and Contingency Planning. *Public Productivity & Management Review*, v. 17, n. 3, p. 223, 1994. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/3380654?origin=crossref>>.
- BNDES. *O crescimento da economia brasileira 2018-2023*. . [S.l.]: DEPEC. , 2018
- BRADFIELD, Ron *et al.* The origins and evolution of scenario techniques in long range business planning. *Futures*, 2005.
- BRASIL. *Exportação e Importação Geral*. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>>. Acesso em: 28 dez. 2018a.
- BRASIL. *Relação Anual de Informações Sociais ação Anual de Informações Sociais – RAIS*. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br/rais/default.asp>>. Acesso em: 28 dez. 2018b.
- BUENO, Salvador; SALMERON, Jose L. Benchmarking main activation functions in fuzzy cognitive maps. *Expert Systems with Applications*, v. 36, n. 3 PART 1, p. 5221–5229, 2009.

Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2008.06.072>>.

BULL, J. W. *et al.* Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats: A SWOT analysis of the ecosystem services framework. *Ecosystem Services*, v. 17, p. 99–111, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.11.012>>.

CARLSSON, Christer; FULLÉR, R. Adaptive fuzzy cognitive maps for hyperknowledge representation in strategy formation process. *Proc. Int. Panel Conf. Soft Intell. Comput.*, n. January 2013, p. 43–50, 1996. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.28.4315&rep=rep1&type=pdf>>.

CCEE. *Preços*. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/oquefazemos_menu_lateral/precos?_afLoop=1017663905770663&_adf.ctrl-state=rbijxsxbq_46#!%40%40%3F_afLoop%3D1017663905770663%26_adf.ctrl-state%3Drbijxsxbq_50>. Acesso em: 11 jan. 2019.

CHANG LEE, Kun *et al.* Strategic Planning Simulation Based on Fuzzy Cognitive Map Knowledge and Differential Game. *Simulation*, v. 71, n. 5, p. 316–327, 1998.

CHERMACK, Thomas J. *Scenario planning in organizations: how to create, use, and assess scenarios*. [S.l.]: Berrett-Koehler Publishers, 2011.

CHERMACK, Thomas J; LYNHAM, Susan A; RUONA, Wendy E A. A review of scenario planning literature. *Futures Research Quarterly*, v. 17, n. 2, p. 7–32, 2001.

COLLINS, Jim. *Good to Great: Why Some Companies Make the Leap and others Don't*. 1. ed. New York: HSM, 2001.

DAHLGREN, Robert; CHEN-CHING LIU; LAWARREE, J. Risk assessment in energy trading. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 18, n. 2, p. 503–511, maio 2003. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1198278/>>.

DATOR, James. The futures of cultures and cultures of the future. *Perspectives on Cross Cultural Psychology*, Academic Press, New York, NY, 1979.

DE GEUS, A. The living company: Habits for survival in a turbulent business environment. *Harvard Business School Press*. Boston., 1997.

DER HEIJDEN, Kees. *Scenarios: the art of strategic conversation*. 2. ed. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2011.

EDEN, Colin; ACKERMANN, Fran; CROPPER, Steve. The analysis of cause maps. *Journal of Management Studies*, v. 29, n. 3, p. 309–324, 5 maio 1992. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1467-6486.1992.tb00667.x>>.

EKEL, P.Ya.; MARTINI, J.S.C.; PALHARES, R.M. Multicriteria analysis in decision making under information uncertainty. *Applied Mathematics and Computation*, v. 200, n. 2, p. 501–516, jul. 2008. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0096300307011307>>.

EKEL, Petr *et al.* Multiobjective and multiattribute decision making in a fuzzy environment and their power engineering applications. *Information Sciences*, v. 361–362, p. 100–119, set. 2016. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0020025516302730>>.

ENZER, Selwyn. Exploring long-term business climates and strategies with interax. *Futures*, v. 13, n. 6, p. 468–482, 1981.

ENZER, Selwyn. INTERAX—An interactive model for studying future business environments: Part I. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 17, n. 2, p. 141–159, jun. 1980. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0040162580900499>>.

ENZER, Selwyn; DIRECTOR, ÓAssociate. INTERAX—An interactive model for studying future business environments: Part II. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 17, n. 3, p. 211–242, jul. 1980. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0040162580900645>>.

EPE. *Plano decenal de expansão de energia 2027 - PDE 2027*. . [S.l.: s.n.]. , 2018

FAHEY, Liam; RANDALL, Robert M. *Learning from the future: competitive foresight scenarios*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1998.

FELIX, Gerardo *et al.* A review on methods and software for fuzzy cognitive maps. *Artificial Intelligence Review*, 2017.

FIGUEIRA, José; MOUSSEAU, Vincent; ROY, Bernard. ELECTRE methods. *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys*. [S.l.]: Springer, 2005. p. 133–153.

GLYKAS, Michael. *Fuzzy cognitive maps: Advances in theory, methodologies, tools and applications*. [S.l.]: Springer, 2010. v. 247.

GODET, Michel. How to be rigorous with scenario planning. *foresight*, v. 2, n. 1, p. 5–9, fev. 2000a. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/10.1108/14636680010802438>>.

GODET, Michel. The Art of Scenarios and Strategic Planning. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 65, n. 1, p. 3–22, set. 2000b. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0040162599001201>>.

GORDON, Theodore J. Trend impact analysis. *Futures research methodology*, v. 2, p. 9, 1994.

GRAY, S. A.; ZANRE, E.; GRAY, S. R.J. Fuzzy cognitive maps as representations of mental models and group beliefs. *Intelligent Systems Reference Library*, 2014.

GRAY, Steven A. *et al.* Mental Modeler: A fuzzy-logic cognitive mapping modeling tool for adaptive environmental management. *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, p. 965–973, 2013.

GROUMPOS, Peter P. Fuzzy Cognitive Maps in modeling supervisory control systems. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, v. vol: 8, p. pp: 83-98, 2000.

HENDER, Jillian M. *et al.* An examination of the impact of stimuli type and GSS structure on creativity: Brainstorming versus non-brainstorming techniques in a GSS environment. *Journal of Management Information Systems*, v. 18, n. 4, p. 59–85, 2002.

HENDER, Jillian M. *et al.* Improving group creativity: Brainstorming versus non-brainstorming techniques in a GSS environment. *Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences*, v. 00, n. c, p. 37, 2001.

IBGE. *Séries Históricas e Estatísticas*. Disponível em: <https://seriesestatisticas.ibge.gov.br/lista_tema.aspx?op=0&no=7>. Acesso em: 28 dez. 2018.

INAYATULLAH, Sohail. Six pillars: Futures thinking for transforming. *Foresight*, v. 10, n. 1, p. 4–21, 2008.

- INMET. *BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa*. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>. Acesso em: 11 jan. 2019.
- JETTER, Antonie; SCHWEINFORT, Willi. Building scenarios with Fuzzy Cognitive Maps: An exploratory study of solar energy. *Futures*, v. 43, n. 1, p. 52–66, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.futures.2010.05.002>>.
- KAHANE, Adam. *Solving tough problems: An open way of talking, listening, and creating new realities*. [S.l.]: Berrett-Koehler Publishers, 2004.
- KEOUGH, Shawn M.; SHANAHAN, Kevin J. Scenario Planning: Toward a More Complete Model for Practice. *Advances in Developing Human Resources*, v. 10, n. 2, p. 166–178, 2008.
- KLOSS, Linda L. The Suitability and Application of Scenario Planning for National Professional Associations. *Nonprofit Management and Leadership*, v. 10, n. 1, p. 71–83, 1999. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/nml.10106>>.
- KOK, Kasper. The potential of Fuzzy Cognitive Maps for semi-quantitative scenario development, with an example from Brazil. *Global Environmental Change*, v. 19, n. 1, p. 122–133, fev. 2009. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959378008000794>>.
- KOK, Kasper; VAN DELDEN, Hedwig. Combining two approaches of integrated scenario development to combat desertification in the Guadalentín watershed, Spain. *Environment and Planning B: Planning and Design*, v. 36, n. 1, p. 49–66, 2009. Disponível em: <<http://epb.sagepub.com/lookup/doi/10.1068/b32137>>.
- KONTI, A.; DAMIGOS, D. Exploring strengths and weaknesses of bioethanol production from bio-waste in Greece using Fuzzy Cognitive Maps. *Energy Policy*, v. 112, p. 4–11, jan. 2018. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421517306237>>.
- KOSKO, Bart. Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, v. 24, n. 1, p. 65–75, 1986.
- KOSKO, Bart. Hidden patterns in combined and adaptive knowledge networks. *International Journal of Approximate Reasoning*, v. 2, n. 4, p. 377–393, 1988.
- KOULOURIOTIS, D.E.; DIAKOULAKIS, I.E.; EMIRIS, D.M. Anamorphosis of fuzzy cognitive maps for operation in ambiguous and multi-stimulus real world environments. 2002, [S.l.]: IEEE, 2002. p. 1156–1159. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1008860/>>.
- KOULOURIOTIS, D.E.; DIAKOULAKIS, I.E.; EMIRIS, D.M. Learning fuzzy cognitive maps using evolution strategies: a novel schema for modeling and simulating high-level behavior. *Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation (IEEE Cat. No.01TH8546)*, v. 1, n. February, p. 364–371, 2001. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=934413>>.
- KYRIAKARAKOS, George *et al.* A fuzzy cognitive maps-petri nets energy management system for autonomous polygeneration microgrids. *Applied Soft Computing Journal*, 2012.
- KYRIAKARAKOS, George *et al.* A fuzzy cognitive maps decision support system for renewables local planning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. [S.l.: s.n.], 2014
- LOURENCO JR, Antonio; DE OLIVEIRA, Luiz Cláudio Vieira; KILIMNIK, Zélia Miranda. Scenario planning as learning/O planejamento de cenários como aprendizado. *Future Studies*

Research Journal: Trends and Strategy, v. 2, n. 1, p. 3–33, 2010.

LUM, Richard A K. *4 Steps to the Future: A Quick and Clean Guide to Creating Foresight*. [S.l.]: Vision Foresight Strategy LLC, 2016.

MARQUES, Maria Carolina Correia; HADDAD, Eduardo Amaral. Consumo de energia elétrica das exportações brasileiras: uma análise sistêmica por área de concessão de distribuição. *Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)*, 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/O7Vs3C>>.

MARTINO, Joseph P. A review of selected recent advances in technological forecasting. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 70, n. 8, p. 719–733, out. 2003. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S004016250200375X>>.

MATOS, Manuel A. Decision under risk as a multicriteria problem. *European Journal of Operational Research*, v. 181, n. 3, p. 1516–1529, set. 2007. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377221706002062>>.

MERISTÖ, Tarja. Not forecasts but multiple scenarios when coping with uncertainties in the competitive environment. *European Journal of Operational Research*, v. 38, n. 3, p. 350–357, 1989.

MIHAI, V. Cross-Impact Method. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, v. 18, n. 4, p. 51–58, 1983.

MOHR, Stephen T. *The Use and Interpretation of Fuzzy Cognitive Maps*. 1997. Master's Project, Rensselaer Polytechnic Institute, 1997.

MUNDI, Index. *Gás Natural Preço Mensal*. Disponível em: <<https://www.indexmundi.com/pt/preços-de-mercado/?mercadoria=gás-natural&meses=300>>. Acesso em: 28 dez. 2018a.

MUNDI, Index. *Óleo Combustível Preço Diário*. Disponível em: <<https://www.indexmundi.com/pt/preços-de-mercado/?mercadoria=óleo-combustível&meses=300>>. Acesso em: 28 dez. 2019b.

NÁPOLES, Gonzalo *et al.* On the convergence of sigmoid Fuzzy Cognitive Maps. *Information Sciences*, 2016.

ONS. *Capacidade instalada no SIN - 2018/2023*. Disponível em: <<http://ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>>. Acesso em: 12 jan. 2019.

ONS. *Histórico da Operação*. Disponível em: <<http://ons.org.br/paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao>>. Acesso em: 11 jan. 2019.

ÖZESMI, Uygur; ÖZESMI, Stacy L. Ecological models based on people's knowledge: a multi-step fuzzy cognitive mapping approach. *Ecological Modelling*, v. 176, n. 1–2, p. 43–64, 15 ago. 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030438000300543X>>. Acesso em: 6 ago. 2018.

PAPAGEORGIU, Elpiniki I. *et al.* A concept reduction approach for fuzzy cognitive map models in decision making and management. *Neurocomputing*, v. 232, p. 16–33, abr. 2017. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925231216315727>>.

PEDRYCZ, Witold; EKEL, Petr; PARREIRAS, Roberta. *Fuzzy Multicriteria Decision-Making: Models, Methods and Applications*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2011.

- PEDRYCZ, Witold; GOMIDE, Fernando. *Fuzzy Systems Engineering Computing*. [S.l.: s.n.], 2007. Disponível em: <<http://www.wiley.com/go/p>>.
- PEREIRA, Amaro Olimpio *et al.* Perspectives for the expansion of new renewable energy sources in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 23, p. 49–59, jul. 2013. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032113001226>>.
- PEREIRA, J.G. *et al.* On multicriteria decision making under conditions of uncertainty. *Information Sciences*, v. 324, p. 44–59, dez. 2015. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0020025515004454>>.
- PEREIRA, Joel JR *et al.* Risk reducing actions: efficiency evaluation. *WSEAS Transactions on Business and Economics*, v. 13, p. 613–619, 2016. Disponível em: <<http://www.wseas.org/multimedia/journals/economics/2016/b165807-069.pdf>>.
- PEREIRA, Rafael Bambirra *et al.* *Agregação de métricas de risco com o operador owa aplicada a comercialização de energia. XXII Congresso Brasileiro de Automática - CBA 2018*. [S.l.: s.n.], 2018.
- PHADERMROD, Boonyarat; CROWDER, Richard M.; WILLS, Gary B. Importance-Performance Analysis based SWOT analysis. *International Journal of Information Management*, p. 1–10, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2016.03.009>>.
- PORTER, Michael E. Technology and competitive advantage. *Journal of Business Strategy*, v. 5, n. 3, p. 60–78, jan. 1985. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/eb039075>>.
- PUCCINI, Abelardo de Lima. *Matemática Financeira Objetiva e Aplicada*. 8. ed. [S.l.]: Saraiva, 2010.
- RALSTON, Bill; WILSON, Ian. *The scenario planning handbook*. [S.l.: s.n.], 2006.
- RAMALHO, Felipe Diniz *et al.* Multicriteria Decision Making under Conditions of Uncertainty in Application to Multiobjective Allocation of Resources. *Information Fusion*, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S156625351830157X>>.
- RAMALHO, Felipe Diniz. *Utilização da Informação qualitativa no processo de tomada de decisão*. 2017. 2017.
- RINGLAND, Gill; SCHWARTZ, Peter. *Scenario planning: managing for the future*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1998.
- RUNKLER, Thomas A. Selection of appropriate defuzzification methods using application specific properties. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, v. 5, n. 1, p. 72–79, 1997.
- SAATY, Thomas. Seven is the Magic Number in Nature. *Proceedings of the American Philosophical Society*, v. 160, n. 4, p. 335, 2016.
- SCHOEMAKER, Paul J. H. Scenario planning: a tool for strategic thinking. *Sloan management review*, v. 36, n. 2, p. 25–50, 1995.
- SCHOEMAKER, Paul J. H. When and how to use scenario planning: A heuristic approach with illustration. *Journal of Forecasting*, v. 10, n. 6, p. 549–564, nov. 1991. Disponível em: <<http://web.a.ebscohost.com.libproxy.nps.edu/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=c7e879e2-f8b8-40d8-9279-81b18255cfa4%40sessionmgr4010&vid=2&hid=4206>>.

SCHWARTZ, Peter. The art of the long view: scenario planning-protecting your company against an uncertain world. *London, UK: Century Business*, 1991.

SIMPSON, Daniel G. Key lessons for adopting scenario planning in diversified companies. *Planning Review*, v. 20, n. 3, p. 10–48, mar. 1992. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/eb054355>>.

SIRAJ, A.; BRIDGES, S.M.; VAUGHN, R.B. Fuzzy cognitive maps for decision support in an intelligent intrusion detection system. 2001, [S.l.]: IEEE, 2001. p. 2165–2170. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/944405/>>.

SOBOL, I M. On the Systematic Search in a Hypercube. *Society for Industrial and Applied Mathematics*, v. 16, n. 5, p. 790–793, 1979.

STACH, Wojciech *et al.* Genetic learning of fuzzy cognitive maps. *Fuzzy Sets and Systems*, v. 153, n. 3, p. 371–401, ago. 2005. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0165011405000308>>.

STERMAN, John D *et al.* *Business Dynamics Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. [S.l.: s.n.], 2000. Disponível em: <<http://www.mhhe.com>>.

STEWART, Theodor J; DURBACH, Ian. Dealing with uncertainties in MCDA. *Multiple Criteria Decision Analysis*. [S.l.]: Springer, 2016. p. 467–496.

STRAUSS, Jeffrey D.; RADNOR, Michael. Roadmapping for Dynamic and Uncertain Environments. *Research-Technology Management*, v. 47, n. 2, p. 51–58, 26 mar. 2004. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/08956308.2004.11671620>>.

STYLIOS, C.D.; GROUMPOS, P.P. Modeling Complex Systems Using Fuzzy Cognitive Maps. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 2004.

STYLIOS, Chrysostomos D.; GROUMPOS, Peter P. Fuzzy Cognitive Maps: a model for intelligent supervisory control systems. *Computers in Industry*, v. 39, n. 3, p. 229–238, jul. 1999. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0166361598001390>>.

STYLIOS, Chrysostomos D.; GROUMPOS, Peter P. The challenge of modelling supervisory systems using fuzzy cognitive maps. *Journal of Intelligent Manufacturing*, v. 9, n. 4, p. 339–345, 1998.

THOMAS, Charles W. Learning from imagining the years ahead. *Planning Review*, v. 22, n. 3, p. 6–11, mar. 1994. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/eb054462>>.

TSADIRAS, Athanasios K.; MARGARITIS, Konstantinos G. An experimental study of the dynamics of the certainty neuron fuzzy cognitive maps. *Neurocomputing*, v. 24, n. 1–3, p. 95–116, 1999.

TUCKER, Kerry. Scenario planning. *ASSOCIATION MANAGEMENT*, v. 51, p. 70–76, 1999.

VAN DEN HAAG, Ernest. The Year 2000: A Framework for Speculation on the Next Thirty-three Years. Herman Kahn, Anthony J. Wiener. *American Journal of Sociology*, v. 74, n. 2, p. 200–201, set. 1968. Disponível em: <<https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/224626>>.

VARUM, Celeste Amorim; MELO, Carla. Directions in scenario planning literature - A review of the past decades. *Futures*, v. 42, n. 4, p. 355–369, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.futures.2009.11.021>>.

WILSON, Ian. From Scenario Thinking to Strategic Action. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 65, n. 1, p. 23–29, set. 2000. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0040162599001225>>.

WORLD BANK GROUP. *Global Economic Prospects*. . [S.l.: s.n.]. , 2018

ZADEH, L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—III. *Information Sciences*, v. 9, n. 1, p. 43–80, jan. 1975a. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0020025575900171>>.

ZADEH, L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I. *Information Sciences*, v. 8, n. 3, p. 199–249, jan. 1975b. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6128544>.

ZADEH, L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—II. *Information Sciences*, v. 8, n. 4, p. 301–357, jan. 1975c. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0020025575900468>>.

ZADEH, Lotfi A. Toward a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic. *Fuzzy Sets and Systems*, v. 90, n. 2, p. 111–127, 1997.

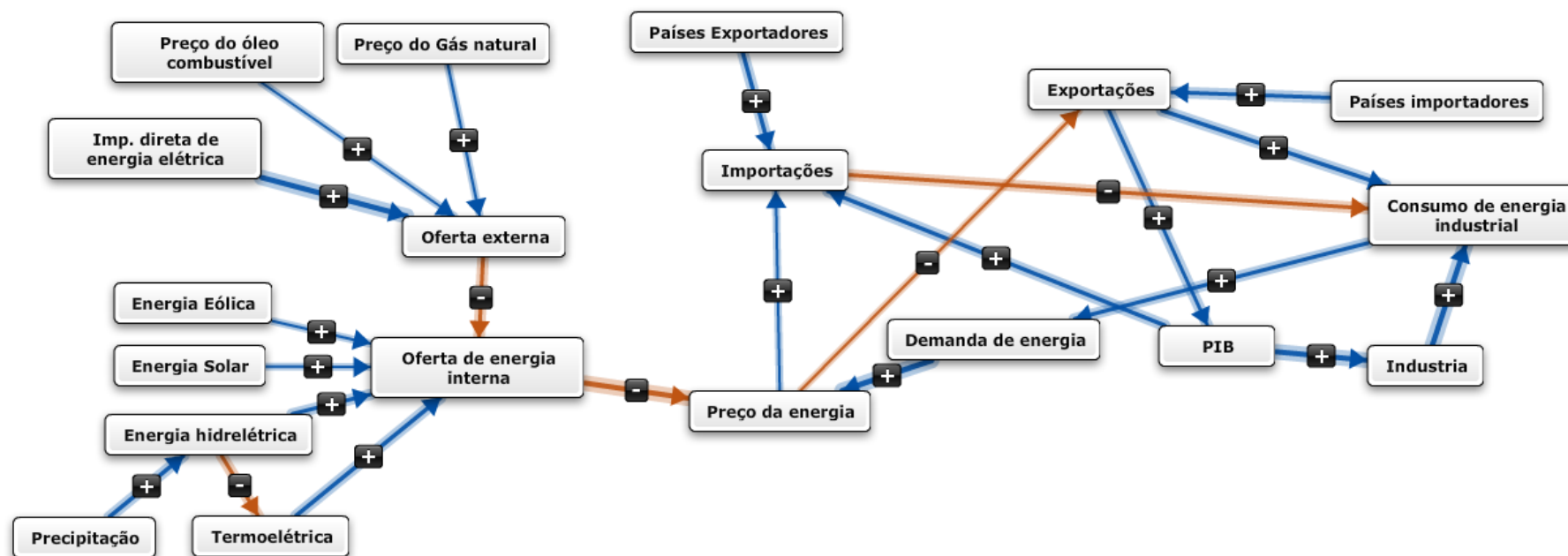
ZIO, Enrico; PEDRONI, Nicola. *Literature review of methods for representing uncertainty*. [S.l.]: FonCSI, 2013.

ZIV, Guy *et al.* The potential impact of Brexit on the energy, water and food nexus in the UK: A fuzzy cognitive mapping approach. *Applied Energy*, v. 210, p. 487–498, jan. 2018. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261917310450>>.

МАКАРОВ, Алексей Александрович. *Методы исследования и оптимизации энергетического хозяйства*. [S.l.]: Наука, Сибирское отделение, 1973.

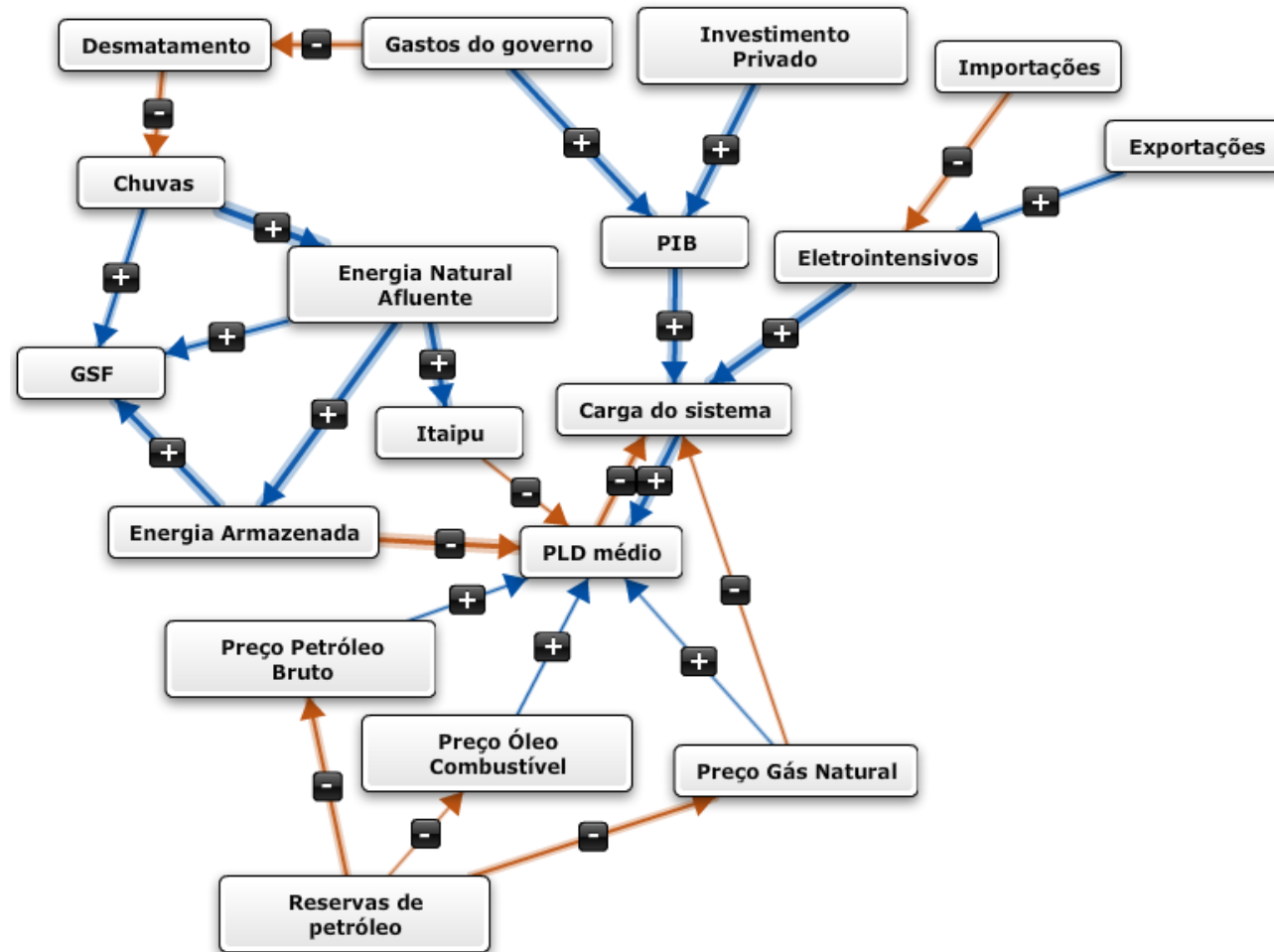
APÊNDICE – FCM

Figura 8 - FCM do Especialista 1



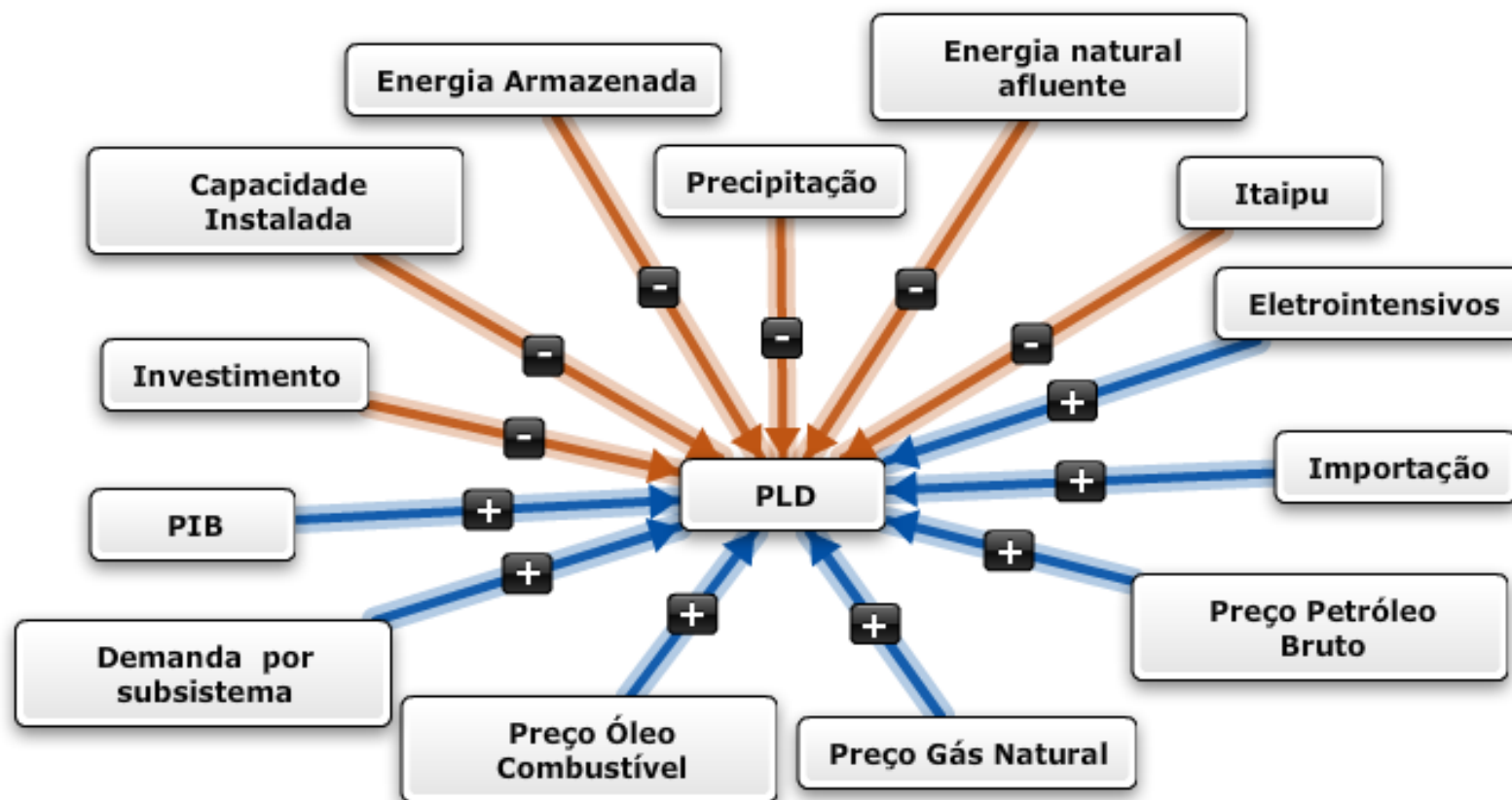
Fonte: autoria própria

Figura 10 - FCM do Especialista 3



Fonte: autoria própria

Figura 11 - FCM do Especialista 4



Fonte: autoria própria

APÊNDICE ÍNDICES DOS FCM

Tabela 24 - Índices do FCM do Especialista 1

Variável	Nível de internalidade	Nível de externalidade	Centralidade	Tipo
Termoelétrica	1	1	2	ordinária
Preço do óleo combustível	0	1	1	transmissora
Preço do Gás natural	0	1	1	transmissora
Preço da energia	2	2	4	ordinária
Precipitação	0	1	1	transmissora
Países importadores	0	1	1	transmissora
Países Exportadores	0	1	1	transmissora
PIB	1	2	3	ordinária
Oferta externa	3	1	4	ordinária
Oferta de energia interna	5	1	6	ordinária
Industria	1	1	2	ordinária
Importações	3	1	4	ordinária
Imp. direta de energia elétrica	0	1	1	transmissora
Exportações	2	2	4	ordinária
Energia hidrelétrica	1	2	3	ordinária
Energia Solar	0	1	1	transmissora
Energia Eólica	0	1	1	transmissora
Demanda de energia	1	1	2	ordinária
Consumo de energia industrial	3	1	4	ordinária
Nº de variáveis	19			
Nº de conexões	23			
Nº de variáveis transmissoras	8			
Nº de variáveis receptoras	0			
Nº de variáveis ordinários	11			
Conexões por variável	1,211			
Complexidade	0,000			
Densidade	0,067			

Fonte: autoria própria

Tabela 25 - Índices do FCM do Especialista 2

Variável	Nível de internalidade	Nível de externalidade	Centralidade	Tipo
Preço do Petróleo	0	3	3	transmissora
Chuvas	0	2	2	transmissora
Eletrointensivos	0	2	2	transmissora
PIB	1	2	3	ordinária
Preço do óleo Combustível	1	1	2	ordinária
Preço do Gás Natural	1	1	2	ordinária
Exportações	1	1	2	ordinária
Investimentos no setor elétrico	1	1	2	ordinária
Vazão dos rios	1	1	2	ordinária
Energia Armazenada	2	1	3	ordinária
Demanda	2	1	3	ordinária
Capacidade Instalada	1	1	2	ordinária
Importações	1	0	1	receptor
PLD	5	0	5	receptor
Nº de variáveis	14			
Nº de conexões	17			
Nº de variáveis transmissoras	3			
Nº de variáveis receptoras	2			
Nº de variáveis ordinários	9			
Conexões por variável	1,211			
Complexidade	0,667			
Densidade	0,093			

Fonte: autoria própria

Tabela 26 - Índices do FCM do Especialista 3

Variável	Nível de internalidade	Nível de externalidade	Centralidade	Tipo
Reservas de petróleo	0	3	3	transmissora
Preço Óleo Combustível	1	1	2	ordinária
Preço Petróleo Bruto	1	1	2	ordinária
Preço Gás Natural	1	2	3	ordinária
PLD médio	6	1	7	ordinária
PIB	2	1	3	ordinária
Itaipu	1	1	2	ordinária
Investimento Privado	0	1	1	transmissora
Importações	0	1	1	transmissora
Gastos do governo	0	2	2	transmissora
GSF	3	0	3	receptor
Exportações	0	1	1	transmissora
Energia Natural Afluente	1	3	4	ordinária
Energia Armazenada	1	2	3	ordinária
Eletrointensivos	2	1	3	ordinária
Desmatamento	1	1	2	ordinária
Chuvas	1	2	3	ordinária
Carga do sistema	4	1	5	ordinária
Nº de variáveis	18			
Nº de conexões	26			
Nº de variáveis transmissoras	5			
Nº de variáveis receptoras	1			
Nº de variáveis ordinários	12			
Conexões por variável	1,444			
Complexidade	0,200			
Densidade	0,085			

Fonte: autoria própria

Tabela 27 - Índices do FCM do Especialista 4

Variável	Nível de internalidade	Nível de externalidade	Centralidade	Tipo
Preço Óleo Combustível	0	1	1	transmissora
Preço Petróleo Bruto	0	1	1	transmissora
Preço Gás Natural	0	1	1	transmissora
Precipitação	0	1	1	transmissora
PLD	13	0	13	receptor
PIB	0	1	1	transmissora
Itaipu	0	1	1	transmissora
Investimento	0	1	1	transmissora
Importação	0	1	1	transmissora
Energia Armazenada	0	1	1	transmissora
Eletrointensivos	0	1	1	transmissora
Energia natural afluyente	0	1	1	transmissora
Demanda por subsistema	0	1	1	transmissora
Capacidade Instalada	0	1	1	transmissora
Nº de variáveis	14			
Nº de conexões	13			
Nº de variáveis transmissoras	13			
Nº de variáveis receptoras	1			
Nº de variáveis ordinários	0			
Conexões por variável	0,929			
Complexidade	0,077			
Densidade	0,071			

Fonte: autoria própria

APÊNDICE SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS

Cenário base

Tabela 28 - Simulação do “cenário base”

Ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Preço da energia	0,40	0,61	0,82	0,43	0,36	0,34	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
Demanda de Energia Elétrica	0,28	0,86	0,84	0,81	0,76	0,85	0,86	0,86	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Investimentos no setor elétrico	0,50	0,73	0,81	0,88	0,74	0,71	0,70	0,72	0,72	0,72	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
GFIS Hidráulica	0,51	0,51	0,88	0,92	0,93	0,91	0,90	0,90	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
GFIS Termoelétrica	0,49	0,57	0,31	0,30	0,34	0,26	0,25	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
GFIS Solar	0,15	0,75	0,84	0,86	0,88	0,84	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
GFIS Eólica	0,22	0,70	0,77	0,80	0,82	0,78	0,77	0,76	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
Precipitação	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Energia Armazenada	0,25	0,67	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
PIB	0,60	0,83	0,86	0,88	0,88	0,87	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
Importações	0,50	0,75	0,83	0,83	0,84	0,84	0,84	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
Preço gás natural	0,09	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Produção eletrointensivos	0,50	0,45	0,33	0,21	0,43	0,48	0,48	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
Preço do Óleo Combustível	0,46	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Paraguai	0,72	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Exportações	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Custos com Energia (M R\$)	37,84	53,61	68,34	37,84	32,85	31,61	33,93	33,96	33,69	33,32	33,19	33,08	32,95	32,80	32,65	32,51

Fonte: autoria própria

Figura 12 - Fluxo de caixa das alternativas para o “cenário base” (M R\$)

ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Spot																
Investimento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo	-37,84	-53,61	-68,34	-37,84	-32,85	-31,61	-33,93	-33,96	-33,69	-33,32	-33,19	-33,08	-32,95	-32,80	-32,65	-32,51
Fluxo de caixa	-37,84	-53,61	-68,34	-37,84	-32,85	-31,61	-33,93	-33,96	-33,69	-33,32	-33,19	-33,08	-32,95	-32,80	-32,65	-32,51
VPL	-278,85															
Gás Natural - Ciclo Combinado																
Investimento	-67,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01
Custo Variável	-37,84	-53,61	-68,34	-37,84	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,88
Fluxo de caixa	-105,04	-53,61	-68,34	-37,84	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	24,74
VPL	-232,53															
Eólica																
Investimento	-140,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74
Custo Variável	-37,84	-53,61	-68,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	49,00
Fluxo de caixa	-177,84	-53,61	-68,34	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	47,26
VPL	-277,44															
Solar Fotovoltaica																
Investimento	-330,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67
Custo Variável	-37,84	-53,61	-68,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	115,64
Fluxo de caixa	-368,24	-53,61	-68,34	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	114,97
VPL	-455,16															
PCH																
Investimento	-145,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62
Custo Variável	-37,84	-53,61	-68,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	107,74
Fluxo de caixa	-183,44	-53,61	-68,34	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	106,12
VPL	-275,35															

Fonte: autoria própria

Pouca chuva

Tabela 29 - Simulação do cenário “pouca chuva”

Ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Preço da energia	0,40	0,61	0,82	0,43	0,50	0,48	0,52	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
Demanda de Energia Elétrica	0,28	0,86	0,84	0,81	0,76	0,85	0,83	0,83	0,82	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
Investimentos no setor elétrico	0,50	0,73	0,81	0,88	0,74	0,77	0,76	0,78	0,78	0,78	0,77	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
Geração Hidráulica	0,51	0,51	0,88	0,85	0,86	0,83	0,84	0,83	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Geração Termoelétrica	0,49	0,57	0,31	0,45	0,49	0,40	0,42	0,42	0,43	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
Geração Solar	0,15	0,75	0,84	0,86	0,88	0,84	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Geração Eólica	0,22	0,70	0,77	0,80	0,82	0,78	0,79	0,78	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79
Precipitação	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Energia Armazenada	0,25	0,67	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
PIB	0,60	0,83	0,86	0,88	0,88	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
Importação	0,50	0,75	0,83	0,83	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Preço gás natural	0,09	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Produção eletrointensivos	0,50	0,45	0,33	0,21	0,43	0,39	0,39	0,37	0,37	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
Preço do Óleo Combustível	0,46	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Paraguai	0,72	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Exportação	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Custos com Energia (M R\$)	37,84	53,61	68,34	37,84	43,01	41,20	43,36	42,13	41,62	40,93	40,50	40,00	39,52	39,02	38,53	38,06

Fonte: autoria própria

Figura 13 - Fluxo de caixa das alternativas para o cenário “pouca chuva” (M R\$)

ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Spot																
Investimento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo	-37,84	-53,61	-68,34	-37,84	-43,01	-41,20	-43,36	-42,13	-41,62	-40,93	-40,50	-40,00	-39,52	-39,02	-38,53	-38,06
Fluxo de caixa	-37,84	-53,61	-68,34	-37,84	-43,01	-41,20	-43,36	-42,13	-41,62	-40,93	-40,50	-40,00	-39,52	-39,02	-38,53	-38,06
VPL	-308,38															
Gás Natural - Ciclo Combinado																
Investimento	-67,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01
Custo Variável	-37,84	-53,61	-68,34	-37,84	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,88
Fluxo de caixa	-105,04	-53,61	-68,34	-37,84	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	24,74
VPL	-232,53															
Eólica																
Investimento	-140,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74
Custo Variável	-37,84	-53,61	-68,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	49,00
Fluxo de caixa	-177,84	-53,61	-68,34	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	47,26
VPL	-277,44															
Solar Fotovoltaica																
Investimento	-330,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67
Custo Variável	-37,84	-53,61	-68,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	115,64
Fluxo de caixa	-368,24	-53,61	-68,34	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	114,97
VPL	-455,16															
PCH																
Investimento	-145,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62
Custo Variável	-37,84	-53,61	-68,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	107,74
Fluxo de caixa	-183,44	-53,61	-68,34	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	106,12
VPL	-275,35															

Fonte: autoria própria

Desenvolvimento paraguaio

Tabela 30 - Simulação do cenário “desenvolvimento paraguaio”

Ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Preço da energia	0,40	0,61	0,82	0,53	0,43	0,41	0,45	0,46	0,46	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Demanda de Energia Elétrica	0,28	0,86	0,84	0,81	0,76	0,83	0,85	0,85	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Investimentos no setor elétrico	0,50	0,73	0,81	0,88	0,78	0,74	0,73	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Geração Hidráulica	0,51	0,51	0,72	0,81	0,82	0,80	0,78	0,78	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79
Geração Termoelétrica	0,49	0,57	0,31	0,30	0,34	0,29	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
Geração Solar	0,15	0,75	0,84	0,86	0,88	0,85	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Geração Eólica	0,22	0,70	0,77	0,80	0,82	0,79	0,78	0,77	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
Precipitação	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Energia Armazenada	0,25	0,67	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
PIB	0,60	0,83	0,86	0,88	0,88	0,87	0,87	0,86	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
Importação	0,50	0,75	0,83	0,83	0,84	0,84	0,84	0,84	0,83	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Preço gás natural	0,09	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Produção eletrointensivos	0,50	0,45	0,33	0,21	0,37	0,43	0,44	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
Preço do Óleo Combustível	0,46	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Paraguai	0,72	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Exportação	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Custos com Energia (M R\$)	37,84	53,61	68,34	45,48	37,84	35,90	38,23	38,68	38,35	37,60	37,19	36,88	36,61	36,29	35,95	35,62

Fonte: autoria própria

Figura 14 - Fluxo de caixa das alternativas para o cenário “desenvolvimento paraguaio” (M R\$)

ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Spot																
Investimento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo	-37,84	-53,61	-68,34	-45,48	-37,84	-35,90	-38,23	-38,68	-38,35	-37,60	-37,19	-36,88	-36,61	-36,29	-35,95	-35,62
Fluxo de caixa	-37,84	-53,61	-68,34	-45,48	-37,84	-35,90	-38,23	-38,68	-38,35	-37,60	-37,19	-36,88	-36,61	-36,29	-35,95	-35,62
VPL	-299,13															
Gás Natural - Ciclo Combinado																
Investimento	-67,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01
Custo Variável	-37,84	-53,61	-68,34	-45,48	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,88
Fluxo de caixa	-105,04	-53,61	-68,34	-45,48	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	24,74
VPL	-237,55															
Eólica																
Investimento	-140,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74
Custo Variável	-37,84	-53,61	-68,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	49,00
Fluxo de caixa	-177,84	-53,61	-68,34	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	47,26
VPL	-277,44															
Solar Fotovoltaica																
Investimento	-330,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67
Custo Variável	-37,84	-53,61	-68,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	115,64
Fluxo de caixa	-368,24	-53,61	-68,34	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	114,97
VPL	-455,16															
PCH																
Investimento	-145,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62
Custo Variável	-37,84	-53,61	-68,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	107,74
Fluxo de caixa	-183,44	-53,61	-68,34	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	106,12
VPL	-275,35															

Fonte: autoria própria

Retomada da economia brasileira

Tabela 31 - Simulação do cenário “retomada da economia brasileira”

Ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Preço da energia	0,40	0,61	0,82	0,46	0,46	0,44	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
Demanda de Energia Elétrica	0,28	0,86	0,89	0,88	0,83	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
Investimentos no setor elétrico	0,50	0,73	0,81	0,88	0,75	0,76	0,75	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
Geração Hidráulica	0,51	0,51	0,88	0,89	0,90	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
Geração Termoelétrica	0,49	0,57	0,31	0,37	0,41	0,33	0,33	0,32	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Geração Solar	0,15	0,75	0,84	0,86	0,88	0,84	0,85	0,84	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Geração Eólica	0,22	0,70	0,77	0,80	0,82	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
Precipitação	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Energia Armazenada	0,25	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
PIB	0,60	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Importação	0,50	0,75	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
Preço gás natural	0,09	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Produção eletrointensivos	0,50	0,45	0,42	0,25	0,47	0,46	0,48	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
Preço do Óleo Combustível	0,46	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Paraguai	0,72	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Exportação	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Custos com Energia (M R\$)	37,84	53,61	68,96	40,66	41,03	39,28	40,71	40,54	40,47	40,25	40,10	39,95	39,81	39,67	39,52	39,38

Fonte: autoria própria

Figura 15 - Fluxo de caixa das alternativas para o cenário “retomada da economia brasileira” (M R\$)

ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Spot																
Investimento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo	-37,84	-53,61	-68,96	-40,66	-41,03	-39,28	-40,71	-40,54	-40,47	-40,25	-40,10	-39,95	-39,81	-39,67	-39,52	-39,38
Fluxo de caixa	-37,84	-53,61	-68,96	-40,66	-41,03	-39,28	-40,71	-40,54	-40,47	-40,25	-40,10	-39,95	-39,81	-39,67	-39,52	-39,38
VPL	-306,66															
Gás Natural - Ciclo Combinado																
Investimento	-67,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01
Custo Variável	-37,84	-53,61	-68,96	-40,66	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,88
Fluxo de caixa	-105,04	-53,61	-68,96	-40,66	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	24,74
VPL	-234,85															
Eólica																
Investimento	-140,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74
Custo Variável	-37,84	-53,61	-68,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	49,00
Fluxo de caixa	-177,84	-53,61	-68,96	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	47,26
VPL	-277,91															
Solar Fotovoltaica																
Investimento	-330,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67
Custo Variável	-37,84	-53,61	-68,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	115,64
Fluxo de caixa	-368,24	-53,61	-68,96	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	114,97
VPL	-455,63															
PCH																
Investimento	-145,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62
Custo Variável	-37,84	-53,61	-68,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	107,74
Fluxo de caixa	-183,44	-53,61	-68,96	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	106,12
VPL	-275,82															

Fonte: autoria própria

Desenvolvimento mundial

Tabela 32 - Simulação do cenário “desenvolvimento mundial”

Ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Preço da energia	0,40	0,61	0,82	0,53	0,51	0,50	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
Demanda de Energia Elétrica	0,28	0,86	0,84	0,92	0,90	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
Investimentos no setor elétrico	0,50	0,73	0,81	0,88	0,78	0,78	0,77	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
Geração Hidráulica	0,51	0,51	0,72	0,81	0,82	0,80	0,79	0,79	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Geração Termoelétrica	0,49	0,57	0,31	0,30	0,34	0,29	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Geração Solar	0,15	0,75	0,84	0,86	0,88	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Geração Eólica	0,22	0,70	0,77	0,80	0,82	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79
Precipitação	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Energia Armazenada	0,25	0,67	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
PIB	0,60	0,83	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Importação	0,50	0,75	0,83	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
Preço gás natural	0,09	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Produção eletrointensivos	0,50	0,45	0,64	0,55	0,71	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
Preço do Óleo Combustível	0,46	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Paraguai	0,72	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Exportação	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Custos com Energia (M R\$)	37,84	53,61	70,55	48,56	47,91	48,38	50,70	51,84	52,96	54,06	55,23	56,43	57,66	58,92	60,20	61,50

Fonte: autoria própria

Figura 16 - Fluxo de caixa das alternativas para o cenário “desenvolvimento mundial” (M R\$)

ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Spot																
Investimento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo	-37,84	-53,61	-70,55	-48,56	-47,91	-48,38	-50,70	-51,84	-52,96	-54,06	-55,23	-56,43	-57,66	-58,92	-60,20	-61,50
Fluxo de caixa	-37,84	-53,61	-70,55	-48,56	-47,91	-48,38	-50,70	-51,84	-52,96	-54,06	-55,23	-56,43	-57,66	-58,92	-60,20	-61,50
VPL	-357,46															
Gás Natural - Ciclo Combinado																
Investimento	-67,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01
Custo Variável	-37,84	-53,61	-70,55	-48,56	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,88
Fluxo de caixa	-105,04	-53,61	-70,55	-48,56	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	24,74
VPL	-241,24															
Eólica																
Investimento	-140,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74
Custo Variável	-37,84	-53,61	-70,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	49,00
Fluxo de caixa	-177,84	-53,61	-70,55	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	47,26
VPL	-279,11															
Solar Fotovoltaica																
Investimento	-330,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67
Custo Variável	-37,84	-53,61	-70,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	115,64
Fluxo de caixa	-368,24	-53,61	-70,55	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	114,97
VPL	-456,83															
PCH																
Investimento	-145,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62
Custo Variável	-37,84	-53,61	-70,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	107,74
Fluxo de caixa	-183,44	-53,61	-70,55	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	106,12
VPL	-277,02															

Fonte: autoria própria

Dilúvios

Tabela 33 - Simulação do cenário “dilúvios”

Ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Preço da energia	0,40	0,61	0,82	0,43	0,31	0,30	0,33	0,34	0,34	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Demanda de Energia Elétrica	0,28	0,86	0,84	0,81	0,76	0,85	0,87	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
Investimentos no setor elétrico	0,50	0,73	0,81	0,88	0,74	0,68	0,67	0,69	0,70	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69
Geração Hidráulica	0,51	0,51	0,88	0,94	0,95	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
Geração Termoelétrica	0,49	0,57	0,31	0,25	0,28	0,21	0,19	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
Geração Solar	0,15	0,75	0,84	0,86	0,88	0,84	0,82	0,82	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
Geração Eólica	0,22	0,70	0,77	0,80	0,82	0,78	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
Precipitação	0,25	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Energia Armazenada	0,25	0,67	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
PIB	0,60	0,83	0,86	0,88	0,88	0,87	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
Importação	0,50	0,75	0,83	0,83	0,84	0,84	0,84	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
Preço gás natural	0,09	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Produção eletrointensivos	0,50	0,45	0,33	0,21	0,43	0,51	0,51	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
Preço do Óleo Combustível	0,46	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Paraguai	0,72	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Exportação	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Custos com Energia (M R\$)	37,84	53,61	68,34	37,84	29,48	28,33	30,79	31,25	31,06	30,74	30,67	30,66	30,63	30,57	30,52	30,46

Fonte: autoria própria

Figura 17 - Fluxo de caixa das alternativas para o cenário “dilúvios” (M R\$)

ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Spot																
Investimento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo	-37,84	-53,61	-68,34	-37,84	-29,48	-28,33	-30,79	-31,25	-31,06	-30,74	-30,67	-30,66	-30,63	-30,57	-30,52	-30,46
Fluxo de caixa	-37,84	-53,61	-68,34	-37,84	-29,48	-28,33	-30,79	-31,25	-31,06	-30,74	-30,67	-30,66	-30,63	-30,57	-30,52	-30,46
VPL	-268,83															
Gás Natural - Ciclo Combinado																
Investimento	-67,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01
Custo Variável	-37,84	-53,61	-68,34	-37,84	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,88
Fluxo de caixa	-105,04	-53,61	-68,34	-37,84	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	24,74
VPL	-232,53															
Eólica																
Investimento	-140,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74
Custo Variável	-37,84	-53,61	-68,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	49,00
Fluxo de caixa	-177,84	-53,61	-68,34	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	47,26
VPL	-277,44															
Solar Fotovoltaica																
Investimento	-330,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67
Custo Variável	-37,84	-53,61	-68,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	115,64
Fluxo de caixa	-368,24	-53,61	-68,34	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	114,97
VPL	-455,16															
PCH																
Investimento	-145,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62
Custo Variável	-37,84	-53,61	-68,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	107,74
Fluxo de caixa	-183,44	-53,61	-68,34	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	106,12
VPL	-275,35															

Fonte: autoria própria

Subsídio para usinas renováveis

Tabela 34 - Simulação do cenário “subsídio para usinas renováveis”

Ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Preço da energia	0,40	0,61	0,74	0,35	0,30	0,29	0,31	0,31	0,31	0,30	0,30	0,31	0,30	0,30	0,30	0,30
Demanda de Energia Elétrica	0,28	0,86	0,84	0,81	0,78	0,86	0,87	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
Investimentos no setor elétrico	0,50	0,73	0,81	0,86	0,70	0,67	0,67	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68
Geração Hidráulica	0,51	0,51	0,88	0,92	0,93	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Geração Termoeétrica	0,49	0,57	0,31	0,30	0,33	0,24	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
Geração Solar	0,15	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Geração Eólica	0,22	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Precipitação	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Energia Armazenada	0,25	0,67	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
PIB	0,60	0,83	0,86	0,88	0,88	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
Importação	0,50	0,75	0,83	0,83	0,84	0,84	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
Preço gás natural	0,09	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Produção eletrointensivos	0,50	0,45	0,33	0,25	0,48	0,52	0,51	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Preço do Óleo Combustível	0,46	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Paraguai	0,72	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Exportação	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Custos com Energia (M R\$)	37,84	53,61	62,79	32,46	28,61	28,23	29,42	29,28	29,10	29,07	29,10	29,11	29,11	29,11	29,11	29,12

Fonte: autoria própria

Figura 18 - Fluxo de caixa das alternativas para o cenário “subsídio para usinas renováveis” (M R\$)

ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Spot																
Investimento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo	-37,84	-53,61	-62,79	-32,46	-28,61	-28,23	-29,42	-29,28	-29,10	-29,07	-29,10	-29,11	-29,11	-29,11	-29,11	-29,12
Fluxo de caixa	-37,84	-53,61	-62,79	-32,46	-28,61	-28,23	-29,42	-29,28	-29,10	-29,07	-29,10	-29,11	-29,11	-29,11	-29,11	-29,12
VPL	-256,50															
Gás Natural - Ciclo Combinado																
Investimento	-67,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01
Custo Variável	-37,84	-53,61	-62,79	-32,46	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,88
Fluxo de caixa	-105,04	-53,61	-62,79	-32,46	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	24,74
VPL	-224,80															
Eólica																
Investimento	-140,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74
Custo Variável	-37,84	-53,61	-62,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Financiamento	112,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Amortização	0,00	-11,20	-11,20	-11,20	-11,20	-11,20	-11,20	-11,20	-11,20	-11,20	-11,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juros sobre saldo devedor (SAC)	0,00	-5,04	-4,48	-4,48	-4,48	-4,48	-4,48	-4,48	-4,48	-4,48	-4,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	49,00
Fluxo de caixa	-65,84	-69,85	-78,47	-17,42	-17,42	-17,42	-17,42	-17,42	-17,42	-17,42	-17,42	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	47,26
VPL	-240,43															
Solar Fotovoltaica																
Investimento	-330,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67
Custo Variável	-37,84	-53,61	-62,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Financiamento	264,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Amortização	0,00	-26,43	-26,43	-26,43	-26,43	-26,43	-26,43	-26,43	-26,43	-26,43	-26,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juros sobre saldo devedor (SAC)	0,00	-11,89	-10,57	-10,57	-10,57	-10,57	-10,57	-10,57	-10,57	-10,57	-10,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	115,64
Fluxo de caixa	-103,92	-91,94	-99,80	-37,68	-37,68	-37,68	-37,68	-37,68	-37,68	-37,68	-37,68	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	114,97
VPL	-373,51															
PCH																
Investimento	-145,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62
Custo Variável	-37,84	-53,61	-62,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Financiamento	116,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Amortização	0,00	-11,65	-11,65	-11,65	-11,65	-11,65	-11,65	-11,65	-11,65	-11,65	-11,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juros sobre saldo devedor (SAC)	0,00	-5,24	-4,66	-4,66	-4,66	-4,66	-4,66	-4,66	-4,66	-4,66	-4,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	107,74
Fluxo de caixa	-66,96	-70,50	-79,10	-17,93	-17,93	-17,93	-17,93	-17,93	-17,93	-17,93	-17,93	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	106,12
VPL	-237,02															

Fonte: autoria própria

Desenvolvimento com chuvas

Tabela 35 - Simulação do cenário “desenvolvimento com chuvas”

Ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Preço da energia	0,40	0,61	0,82	0,53	0,44	0,43	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Demanda de Energia Elétrica	0,28	0,86	0,84	0,92	0,90	0,93	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
Investimentos no setor elétrico	0,50	0,73	0,81	0,88	0,78	0,75	0,74	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Geração Hidráulica	0,51	0,51	0,72	0,85	0,87	0,85	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Geração Termoelétrica	0,49	0,57	0,31	0,25	0,28	0,23	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
Geração Solar	0,15	0,75	0,84	0,86	0,88	0,85	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Geração Eólica	0,22	0,70	0,77	0,80	0,82	0,79	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
Precipitação	0,25	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Energia Armazenada	0,25	0,67	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
PIB	0,60	0,83	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Importação	0,50	0,75	0,83	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
Preço gás natural	0,09	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Produção eletrointensivos	0,50	0,45	0,64	0,55	0,71	0,76	0,76	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Preço do Óleo Combustível	0,46	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Paraguai	0,72	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Exportação	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Custos com Energia (M R\$)	37,84	53,61	70,55	48,56	42,41	42,89	45,26	46,70	47,86	48,99	50,20	51,47	52,76	54,08	55,44	56,82

Fonte: autoria própria

Figura 19 - Fluxo de caixa das alternativas para o cenário “desenvolvimento com chuvas” (M R\$)

ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Spot																
Investimento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo	-37,84	-53,61	-70,55	-48,56	-42,41	-42,89	-45,26	-46,70	-47,86	-48,99	-50,20	-51,47	-52,76	-54,08	-55,44	-56,82
Fluxo de caixa	-37,84	-53,61	-70,55	-48,56	-42,41	-42,89	-45,26	-46,70	-47,86	-48,99	-50,20	-51,47	-52,76	-54,08	-55,44	-56,82
VPL	-338,93															
Gás Natural - Ciclo Combinado																
Investimento	-67,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01
Custo Variável	-37,84	-53,61	-70,55	-48,56	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,88
Fluxo de caixa	-105,04	-53,61	-70,55	-48,56	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	24,74
VPL	-241,24															
Eólica																
Investimento	-140,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74
Custo Variável	-37,84	-53,61	-70,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	49,00
Fluxo de caixa	-177,84	-53,61	-70,55	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	47,26
VPL	-279,11															
Solar Fotovoltaica																
Investimento	-330,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67
Custo Variável	-37,84	-53,61	-70,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	115,64
Fluxo de caixa	-368,24	-53,61	-70,55	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	114,97
VPL	-456,83															
PCH																
Investimento	-145,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62
Custo Variável	-37,84	-53,61	-70,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	107,74
Fluxo de caixa	-183,44	-53,61	-70,55	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	106,12
VPL	-277,02															

Fonte: autoria própria

Aumento no preço dos combustíveis

Tabela 36 - Simulação do cenário “aumento no preço dos combustíveis”

Ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Preço da energia	0,40	0,61	0,82	0,18	0,10	0,09	0,15	0,16	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
Demanda de Energia Elétrica	0,28	0,86	0,59	0,42	0,39	0,55	0,56	0,55	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
Investimentos no setor elétrico	0,50	0,73	0,81	0,88	0,61	0,56	0,56	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59
Geração Hidráulica	0,51	0,51	0,88	0,92	0,93	0,89	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
Geração Termoelétrica	0,49	0,57	0,11	0,11	0,12	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Geração Solar	0,15	0,75	0,84	0,86	0,88	0,80	0,78	0,78	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79
Geração Eólica	0,22	0,70	0,77	0,80	0,82	0,74	0,72	0,72	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
Precipitação	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Energia Armazenada	0,25	0,67	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
PIB	0,60	0,83	0,86	0,88	0,88	0,85	0,84	0,84	0,84	0,85	0,85	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Importação	0,50	0,75	0,83	0,83	0,84	0,84	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
Preço gás natural	0,09	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Produção eletrointensivos	0,50	0,45	0,15	0,09	0,34	0,39	0,38	0,34	0,34	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Preço do Óleo Combustível	0,46	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Paraguai	0,72	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Exportação	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Custos com Energia (M R\$)	37,84	53,61	67,10	18,90	13,45	12,78	16,37	16,57	16,02	15,13	14,89	14,76	14,63	14,40	14,16	13,93

Fonte: autoria própria

Figura 20 - Fluxo de caixa das alternativas para o cenário “aumento no preço dos combustíveis” (M R\$)

ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Spot																
Investimento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo	-37,84	-53,61	-67,10	-18,90	-13,45	-12,78	-16,37	-16,57	-16,02	-15,13	-14,89	-14,76	-14,63	-14,40	-14,16	-13,93
Fluxo de caixa	-37,84	-53,61	-67,10	-18,90	-13,45	-12,78	-16,37	-16,57	-16,02	-15,13	-14,89	-14,76	-14,63	-14,40	-14,16	-13,93
VPL	-200,15															
Gás Natural - Ciclo Combinado																
Investimento	-67,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01
Custo Variável	-37,84	-53,61	-67,10	-18,90	-3,38	-3,38	-3,38	-3,38	-3,38	-3,38	-3,38	-3,38	-3,38	-3,38	-3,38	-3,38
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,88
Fluxo de caixa	-105,04	-53,61	-67,10	-18,90	-4,39	-4,39	-4,39	-4,39	-4,39	-4,39	-4,39	-4,39	-4,39	-4,39	-4,39	22,49
VPL	-227,17															
Eólica																
Investimento	-140,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74
Custo Variável	-37,84	-53,61	-67,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	49,00
Fluxo de caixa	-177,84	-53,61	-67,10	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	47,26
VPL	-276,50															
Solar Fotovoltaica																
Investimento	-330,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67
Custo Variável	-37,84	-53,61	-67,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	115,64
Fluxo de caixa	-368,24	-53,61	-67,10	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	114,97
VPL	-454,22															
PCH																
Investimento	-145,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62
Custo Variável	-37,84	-53,61	-67,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	107,74
Fluxo de caixa	-183,44	-53,61	-67,10	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	106,12
VPL	-274,41															

Fonte: autoria própria

Previsões

Tabela 37 - Simulação do cenário “previsões”

Referência	Ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
	Preço da energia	0,40	0,61	0,51	0,66	0,86	0,87	0,81	0,90	0,50	0,55	0,72	0,36	0,37	0,35	0,38	0,38
(EPE, 2018)	Demanda de Energia Elétrica	0,28	0,36	0,45	0,53	0,61	0,69	0,77	0,84	0,92	1,00	0,83	0,82	0,78	0,86	0,86	0,85
	Investimentos no setor elétrico	0,50	0,73	0,81	0,78	0,83	0,89	0,89	0,88	0,90	0,77	0,79	0,85	0,70	0,71	0,70	0,72
(EPE, 2018; ONS, 2018)	Geração Hidráulica	0,51	0,55	0,54	0,59	0,50	0,50	0,50	0,93	0,93	0,93	0,91	0,92	0,93	0,90	0,91	0,90
(EPE, 2018; ONS, 2018)	Geração Termoeleétrica	0,49	0,52	0,64	0,82	0,74	0,51	0,85	0,50	0,50	0,71	0,26	0,29	0,33	0,25	0,25	0,24
(EPE, 2018; ONS, 2018)	Geração Solar	0,15	0,95	0,54	0,08	0,55	0,59	0,88	0,88	0,88	0,88	0,85	0,86	0,87	0,83	0,83	0,83
(EPE, 2018; ONS, 2018)	Geração Eólica	0,22	0,49	0,56	0,23	0,23	0,25	0,52	0,82	0,82	0,82	0,79	0,79	0,81	0,77	0,77	0,77
	Precipitação	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	Energia Armazenada	0,25	0,67	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
(BNDES, 2018)	PIB	0,60	0,77	0,79	0,80	0,82	0,84	0,88	0,88	0,88	0,89	0,87	0,87	0,88	0,86	0,86	0,86
	Importação	0,50	0,75	0,81	0,81	0,82	0,82	0,83	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,83	0,83
(EPE, 2018)	Preço gás natural	0,09	0,36	0,38	0,41	0,43	0,46	0,48	0,50	0,53	0,55	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	Produção eletrointensivos	0,50	0,45	0,43	0,48	0,38	0,18	0,18	0,22	0,18	0,39	0,35	0,25	0,47	0,47	0,47	0,45
	Preço do Óleo Combustível	0,46	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
(BANCO MUNDIAL, 2019)	Paraguai	0,72	0,59	0,60	0,60	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
(WORLD BANK GROUP, 2018)	Exportação	0,50	0,72	0,71	0,70	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	Custos com Energia (M R\$)	37,84	53,61	45,79	57,27	71,36	69,53	63,56	67,49	39,01	42,29	52,60	28,16	28,64	27,62	29,53	29,18

Fonte: autoria própria

Figura 21 - Fluxo de caixa das alternativas para o cenário “previsões” (M R\$)

ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Spot																
Investimento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo	-37,84	-53,61	-45,79	-57,27	-71,36	-69,53	-63,56	-67,49	-39,01	-42,29	-52,60	-28,16	-28,64	-27,62	-29,53	-29,18
Fluxo de caixa	-37,84	-53,61	-45,79	-57,27	-71,36	-69,53	-63,56	-67,49	-39,01	-42,29	-52,60	-28,16	-28,64	-27,62	-29,53	-29,18
VPL	-346,39															
Gás Natural - Ciclo Combinado																
Investimento	-67,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01	-1,01
Custo Variável	-37,84	-53,61	-45,79	-57,27	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13	-1,13
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,88
Fluxo de caixa	-105,04	-53,61	-45,79	-57,27	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	-2,14	24,74
VPL	-228,26															
Eólica																
Investimento	-140,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74
Custo Variável	-37,84	-53,61	-45,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	49,00
Fluxo de caixa	-177,84	-53,61	-45,79	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	-1,74	47,26
VPL	-260,39															
Solar Fotovoltaica																
Investimento	-330,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67
Custo Variável	-37,84	-53,61	-45,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	115,64
Fluxo de caixa	-368,24	-53,61	-45,79	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	114,97
VPL	-438,11															
PCH																
Investimento	-145,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo	0,00	0,00	0,00	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62
Custo Variável	-37,84	-53,61	-45,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	107,74
Fluxo de caixa	-183,44	-53,61	-45,79	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	106,12
VPL	-258,30															

Fonte: autoria própria

