



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA FUZZY AHP NA ANÁLISE DE RISCOS DA AHE SIMPLÍCIO - QUEDA ÚNICA

Mariana de Oliveira Avellar

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheira.

Orientadora:

Heloisa Teixeira Firmo, D.Sc

Co-orientador:

José Roberto Ribas, D.Sc

Rio de Janeiro

Maio de 2014

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA FUZZY AHP NA ANÁLISE DE RISCOS DA AHE SIMPLÍCIO - QUEDA ÚNICA

Mariana de Oliveira Avellar

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRA CIVIL.

Examinado por:

Prof^a. Heloisa Teixeira Firmo, D.Sc.

Prof. José Roberto Ribas, D.Sc.

Prof. Paulo Renato Diniz Junqueira Barbosa, M.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Maio de 2014

Avellar, Mariana de Oliveira

Aplicação da Metodologia Fuzzy AHP na Análise de Riscos da AHE Simplício – Queda Única / Mariana de Oliveira Avellar. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2014.

XII, 64 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadora: Prof^a. Heloisa Teixeira Firmo (D.Sc.)

Co-orientado: Prof. José Roberto Ribas (D.Sc.)

Projeto de Graduação – UFRJ / Escola Politécnica /

Curso de Engenharia de Civil, 2014.

Referências Bibliográficas: p. 56-59

1. Usinas Hidrelétricas em Construção. 2. Análise de Risco. 3. FAHP. 4. AHE Simplício.

I. Firmo, Heloisa Teixeira. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil. III.

Aplicação da Metodologia Fuzzy AHP na Análise de Riscos da AHE

Agradecimentos

À minha família, por estar sempre ao meu lado aconselhando e ajudando em todas as etapas do meu crescimento pessoal e profissional além de me darem todo o apoio de que necessitei para seguir sempre em frente em meus estudos e conquistas.

Ao meu cachorro Kakau, por todas as noites e madrugadas que passou a meu lado me fazendo companhia enquanto eu estudava para as incontáveis provas pelas quais passei.

Ao professor José Roberto Ribas, pela oportunidade de participar de projetos de pesquisa como o de usos múltiplos da UHE Corumbá IV e o de análise de risco no Aproveitamento de Simplício, tema proposto desta monografia. Durante os três anos de trabalho ao seu lado pude aprender sobre a abordagem FAHP, extremamente útil quando se analisa diversas alternativas. Além disso, tive a oportunidade de realizar pesquisas de campo entrevistando desde pessoas influentes de órgãos, autarquias e empresas estatais a moradores simples que, muitas vezes, tinham mais a contribuir para nossa pesquisa.

À professora Heloisa Teixeira Firmo, não só pela disponibilidade em orientar este trabalho mas também pelas ótimas aulas que tive durante meu período na faculdade.

Ao professor Paulo Renato, pela oportunidade de tê-lo presente em minha banca de defesa, além de ter proporcionado algumas das aulas mais animadas que tive.

Aos meus amigos e colegas de faculdade, que estiveram junto a mim ao longo desses sete anos, estudando e batalhando em busca do sonho de nos tornar engenheiros.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Aplicação da Metodologia Fuzzy AHP na Análise de Riscos da AHE Simplício - Queda Única

Mariana de Oliveira Avellar

Maio/2014

Orientadora: Heloisa Teixeira Firmo (D.Sc.)

Co-orientador: José Roberto Ribas (D.Sc.)

Curso: Engenharia Civil

O Brasil possui grande disponibilidade para uma das maiores fontes de energia renovável: a hidroeletricidade. De todo o seu potencial hidroelétrico só foram explorados até hoje cerca de um terço dessa oferta, isso por conta dos enormes riscos que há em uma construção desse porte; riscos que ocorrem tanto na época de projeto, quanto nas de construção e implantação. Para minimizar esse problema e ajudar na efetiva exploração do potencial hidrelétrico brasileiro, este trabalho discorrerá sobre a aplicação da técnica Fuzzy AHP para elencar e hierarquizar os diversos tipos de riscos que podem aparecer em um empreendimento hidrelétrico. No estudo de caso analisado ocorreram diversos problemas socioambientais, contratuais e financeiros que foram detectados ao longo da obra e que serão apresentados e hierarquizados durante este trabalho.

Palavras-chave: Usinas Hidrelétricas em Construção, Gerenciamento de Riscos, FAHP.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

Application of Fuzzy AHP Methodology in Risk Analysis of AHE Simplicio - Queda Única

Mariana de Oliveira Avellar

May/2014

Advisor: Heloisa Teixeira Firmo (D.Sc.)

Co-advisor: José Roberto Ribas (D.Sc.)

Course: Civil Engineering

Brazil has a great availability to one of the largest sustainable energy sources: hydroelectricity. Its entire hydroelectric potential only been exploited until now about a third of this offer, this due to the enormous risk that is in a building of this size; risks occurring either at the time of the project, as the construction and deployment. To alleviate this problem and help in the effective exploitation of Brazilian hydroelectric potential, this paper will discuss the application of Fuzzy AHP technique to outline and prioritize the various types of risks that can appear on a hydroelectric project. In the case study analyzed occurred many environmental, contractual and financial problems detected along the construction and they will be presented and prioritized throughout this work.

Keywords: Power Plants in Construction, Risk Management, FAHP.

Nomenclatura

AHE - Aproveitamento Hidrelétrico

AHP - Analytic Hierarchy Process

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

APP - Área de Preservação Permanente

BEN - Balanço Energético Nacional

CCR - Concreto Compactado a Rolo

E - East

EAP - Estrutura Analítica de Projetos

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

ETA - Estação de Tratamento de Água

ETE - Estação de Tratamento de Esgoto

FAHP - Fuzzy Analytic Hierarchy Process

FCA - Ferrovia Centro Atlântico

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis

FR - Fator de Risco

hab. - habitantes

Ibama - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Impsa - Indústrias Metalúrgicas Pescarmona S.A.

ISSQN - Imposto sobre Serviços de Qualquer Natureza

kv - quilovolt

LI - Licença de Instalação

MCDA - *Multi Criteria Decison Aid*

MCDM - Multi Criteria Decision Making

MG - Minas Gerais

MP - Ministério Público

MW - Megawatt

N - Norte

NE - Nordeste

PCH - Pequena Central Hidrelétrica

PLD - Preço de Liquidação das Diferenças

PMBOK - Project Management Body of Knowledge

RJ - Rio de Janeiro

SIPOT - Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro

SUS - Sistema Único de Saúde

SW - Southwest

TCU - Tribunal de Contas da União

TIR - Taxa Interna de Retorno

TVR - Trecho de vazão reduzida

UHE - Usina hidrelétrica

ZCAP - Zona de Cisalhamento de Além Paraíba

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Apresentação do Tema	1
1.2 Justificativa.....	2
1.3 Objetivo.....	3
1.4 Metodologia.....	3
1.5 Organização do Trabalho	4
2. ABORDAGEM TEÓRICA.....	5
2.1. Gerenciamento de Projetos.....	5
2.2. Conceito de Risco.....	6
2.3. Gerenciamento de Riscos.....	8
2.4. Análise de Riscos	11
I. Análise Qualitativa de Riscos.....	12
II. Análise Quantitativa de Riscos.....	13
III. Análise Semi-Quantitativa de Riscos	13
3. METODOLOGIA APLICADA.....	17
3.1. Análise de Decisão Multicritério	17
3.2. <i>Analytic Hierarchy Process</i> - AHP	18
3.3. Breve Informação Sobre a Lógica <i>Fuzzy</i>	20
3.4. <i>Fuzzy Analytic Hierarchy Process</i> - FAHP	20
3.4.1. Como Funciona o Método FAHP.....	21
4. ESTUDO DE CASO: APROVEITAMENTO HIDRELÉTRICO DE SIMPLÍCIO - QUEDA ÚNICA.....	30
4.1. Características Físicas e Ambientais da Área de Estudo	30
4.1.1. Localização Geográfica: Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.....	30
4.1.2. A AHE Simplício - Queda Única	31
4.1.3. Os Municípios do Entorno do Aproveitamento.....	37
4.1.3.1. Além Paraíba	40

4.1.3.2. Chiador	41
4.1.3.3. Sapucaia	42
4.1.3.4. Três Rios.....	43
4.1.4. Características Geológicas e Geográficas da Região.....	44
4.2. Etapas do Estudo.....	44
4.2.1. Seleção dos Pacotes de Serviço e dos Eventos de Risco	44
4.2.2. Seleção do Especialista	50
4.2.3. Formulário de Comparação Pareada	50
4.2.4. Métricas para Pacotes de Serviço e Eventos de Risco.....	51
4.3. Resultados do Modelo FAHP	53
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
REFERÊNCIAS ELETRÔNICAS	58
APÊNDICES	
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Interação dos grupos de processos em uma fase ou em um projeto.....	5
Figura 2: Gráfico Incerteza x Impacto do risco ao longo do projeto.....	7
Figura 3: EAP – Projeto construção de uma casa	14
Figura 4: Diagrama de contorno de risco	15
Figura 5: Curva isorisco apresentando os eventos de risco	15
Figura 6: Elementos da figura 5 ordenados	16
Figura 7: Número <i>Fuzzy</i> triangular.....	23
Figura 8: Comparação entre dois números <i>Fuzzy</i>	25
Figura 9: Esquema do Aproveitamento Hidrelétrico de Simplício	32
Figura 10: Vista da barragem já concluída	33
Figura 11: Vertedouro com três comportas tipo segmento	34
Figura 12: Escada de peixe em construção	34
Figura 13: Dique do aproveitamento	35
Figura 14: Tomada d’água de Simplício.....	35
Figura 15: Recorte geográfico de Além Paraíba	40
Figura 16: Recorte geográfico de Chiador	41
Figura 17: Recorte geográfico de Sapucaia	42
Figura 18: Recorte geográfico de Três Rios.....	43
Figura 19: Retaludamento de encosta em Simplício	46
Figura 20: Realocação da FCA em Anta.....	48
Figura 21: Gráfico apresentando o grau de impacto dos riscos, em porcentagem.	53
Figura 22: Gráfico apresentando o grau de impacto dos eventos de risco, em porcentagem.....	53

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Potencial hidrelétrico brasileiro.....	1
Tabela 2: Escala de impacto.....	12
Tabela 3: Escala de probabilidade	13
Tabela 4: Escala fundamental de Saaty.....	19
Tabela 5: Comparações pareadas entre cinco critérios	22
Tabela 6: Comparação pareada entre alternativas segundo determinado critério	22
Tabela 7: Matriz triangular de comparações pareadas entre critérios	27
Tabela 8: Soma das linhas e das colunas segundo cada critério	27
Tabela 9: Dados técnicos da obra.....	36
Tabela 10: Quantitativos civis da obra	36
Tabela 11: Características socioeconômicas do município de Além Paraíba	40
Tabela 12: Características socioeconômicas do município de Chiador	41
Tabela 13: Características socioeconômicas do município de Sapucaia.....	42
Tabela 14: Características socioeconômicas do município de Três Rios	43
Tabela 15: Pacotes de serviço do estudo de caso	45
Tabela 16: Eventos de risco do estudo de caso.....	48
Tabela 17: Comparação pareada entre Pacotes de Serviço	50
Tabela 18: Comparação pareada entre Eventos de Risco	51
Tabela 19: Soma das linhas e das colunas para os pacotes de serviço.....	52
Tabela 20: Soma das linhas e das colunas para os eventos de risco segundo o pacote de serviço GA	52
Tabela 21: Soma das linhas e das colunas para os eventos de risco segundo o pacote de serviço TE.....	52
Tabela 22: Soma das linhas e das colunas para os eventos de risco segundo o pacote de serviço SP.....	53

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do Tema

No ano de 2012 a fonte de energia hidráulica, a qual colabora com quase toda a energia gerada no país, apresentou uma redução de 2,6% em comparação a 2011 caindo para 76,9% de contribuição na matriz energética brasileira.

O motivo da grande participação dessa fonte no fornecimento de energia ocorre por conta das doze grandes bacias hidrográficas presentes no país – Amazônica, do Atlântico Leste, do Atlântico Nordeste Ocidental, do Atlântico Nordeste Oriental, do Atlântico Sudeste, do Atlântico Sul, do Paraguai, do Paraná, do Paraíba, do São Francisco, do Tocantins/Araguaia e do Uruguai – distribuídas por todas as cinco regiões. Cada uma dessas bacias têm características únicas e são importantes para a área que abrangem, no entanto, o estudo de caso desse projeto compreenderá somente a bacia do Atlântico Sudeste.

Essa bacia, onde se localizam o rio Paraíba do Sul e a usina de Simplício – tema do estudo –, possui potencial de cerca de 10 mil MW. Desses, 36,6% já estão em operação. A sub-bacia do rio Paraíba do Sul apresenta potencial total de aproximadamente 3.900 MW.

A tabela 1 apresenta o potencial total de energia hidráulica para cada uma das cinco regiões do país. Ele pode ser entendido como o potencial possível de ser técnica e economicamente aproveitado nas condições atuais de tecnologia (BEN, 2013).

Tabela 1: Potencial hidrelétrico brasileiro

Potencial Hidrelétrico Brasileiro			
Total - 248.862 MW			
Região		Em Construção	Em Operação
Sul	41.696 MW	1,31%	58,27%
Centro-Oeste	38.929 MW	0,49%	28,94%
Sudeste	43.979 MW	1,10%	56,37%
Nordeste	24.966 MW	0,10%	46,32%
Norte	99.292 MW	3,81%	14,78%

Fonte: SIPOT (2012)

Como pode-se perceber, a região Norte provavelmente irá sofrer com as especulações das empreiteiras em busca dos melhores locais para a construção de barragens. A coluna “Em Construção” mostra a porcentagem da capacidade total de cada região que está sendo construída. Observa-se que quase 4% dos 99.292 MW de todo o potencial da região setentrional está na fase de construção, enquanto somente 14,78% da capacidade total estão operando. Ainda analisando a tabela 1 verifica-se que a região sul já teve ultrapassada metade de seu potencial hidrelétrico.

Da mesma tabela pressupõe-se que ainda haverá muitos empreendimentos hidrelétricos a serem construídos e, por isso, os seus riscos devem ser evitados e/ou mitigados. Para tanto é necessária a realização dos projetos básico e executivo dos empreendimentos e ações preventivas para cada um dos eventuais riscos.

Esses eventuais riscos observados serão definidos a partir de entrevistas realizadas com especialistas de cada uma das áreas que mais influenciam na construção de uma usina hidrelétrica. Com os riscos definidos utiliza-se uma metodologia de análise de decisão multicritério para hierarquizá-los e decidir previamente quais serão as medidas tomadas caso o risco venha a ocorrer.

1.2 Justificativa

Conforme apresentado na tabela 1, ainda existirão muitas usinas a serem construídas com a finalidade de aproveitar todo o potencial hidráulico disponível. Esse é um tipo de construção complexa e que envolve um alto risco financeiro, sendo, por isso, o motivo de abordar esse tema.

A ideia de estudar o caso da usina de Simplício veio a partir de um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento sobre Sistemas de Gerenciamento de Riscos em Empreendimentos de Energia, mais precisamente hidráulica e eólica que são duas das principais fontes exploradas pela empresa que propôs essa pesquisa – Furnas Centrais Elétricas.

Os riscos de construção aparecem em quaisquer tipos de obras mas, dependendo das suas características, eles serão maiores ou menores, podendo até ser desprezíveis. Para o caso de hidrelétricas, que são obras que envolvem um grande volume financeiro, todos os riscos devem ser identificados e analisados e deve ser encontrada uma forma de eliminá-los ou então de mitigá-los.

O projeto proposto permitirá que os empreendimentos hidráulicos a serem construídos possam ser avaliados previamente em relação a seus eventuais riscos, favorecendo assim, a redução dos custos caso o evento identificado se realize.

Uma análise desse tipo possibilita uma preparação preventiva quanto a eventos indesejados, o que pode reduzir significativamente os custos da obra.

1.3 Objetivo

O objetivo deste trabalho é estimar os possíveis riscos do Aproveitamento Hidrelétrico de Simplício segundo a visão de um especialista e a aplicação da metodologia descrita a seguir.

1.4 Metodologia

O estudo foi estruturado em três etapas, a saber: gerenciamento de riscos, metodologia proposta e estudo de caso. A primeira etapa aborda o gerenciamento de riscos: os fundamentos, as fases, os tipos de análise de riscos. A segunda trabalha a metodologia proposta: FAHP (*Fuzzy Analytic Hierarchy Process*), apresentando seu conceito e suas aplicações. A última etapa abrange o estudo de caso na usina de Simplício: a apresentação da usina, os problemas que ocorreram durante a construção e a aplicação do modelo FAHP.

A aplicação da técnica citada acima servirá para hierarquizar preferências associadas à lógica *fuzzy* e determinar quais serão os pacotes de serviços e os eventos de riscos com maior potencial de impacto no empreendimento estudado segundo a visão de um especialista.

Para analisar este estudo de caso foram realizadas três visitas à obra em questão: a primeira em novembro de 2010; a segunda em março de 2012 e a terceira em agosto de 2012.

Para a obtenção dos resultados pretendidos foi realizada uma entrevista com um dos gerentes de projeto.

1.5 Organização do Trabalho

O trabalho foi organizado em cinco capítulos:

Capítulo 1: Apresenta a introdução ao estudo realizado, contendo a apresentação do tema, a justificativa, o objetivo, a metodologia e a organização do trabalho proposto.

Capítulo 2: Contém a abordagem teórica. Além do gerenciamento de projetos há o gerenciamento de riscos com os diversos conceitos, a fundamentação da gestão de risco e os tipos de análise de riscos.

Capítulo 3: Compreende a revisão bibliográfica, onde há as técnicas de decisão multicritério e o uso do método FAHP.

Capítulo 4: Aborda o estudo de caso e a aplicação da técnica FAHP na hierarquização dos pacotes de serviço e dos eventos de risco com base no formulário preenchido por um dos gerentes de projeto.

Capítulo 5: Apresenta as considerações finais sobre a utilização da metodologia escolhida e os resultados apresentados.

Ao final são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas no trabalho, o apêndice e o anexo.

2. ABORDAGEM TEÓRICA

2.1. Gerenciamento de Projetos

Para trabalhar esse tópico foram utilizados diversos materiais, dentre eles a quarta edição do PMBOK, do inglês *Project Management Body of Knowledge*, que é um guia de boas práticas em gerenciamento de projetos que possibilita aos gestores aplicar os conhecimentos contidos em suas páginas a fim de que seus projetos se tornem mais eficazes. No entanto, deve-se ressaltar que cada projeto é específico e o gerente verificará quais serão os processos aplicados e o grau de influência para cada um deles.

Esse guia explica que o gerenciamento de projetos é a aplicação de conhecimento, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto a fim de atender aos seus requisitos.

Ele define que os projetos devem ter cinco grupos de processo: Iniciação, Planejamento, Execução, Monitoramento e Controle e Encerramento. Esses grupos são vinculados pelas saídas que produzem, por exemplo, a saída do processo Iniciação se torna a entrada do processo Planejamento, e normalmente são eventos comuns que ocorrem mais de uma vez. O grande destaque aqui é o processo de Monitoramento e Controle, pois como pode ser observado na figura 1, ele interage com todos os outros quatro processos.

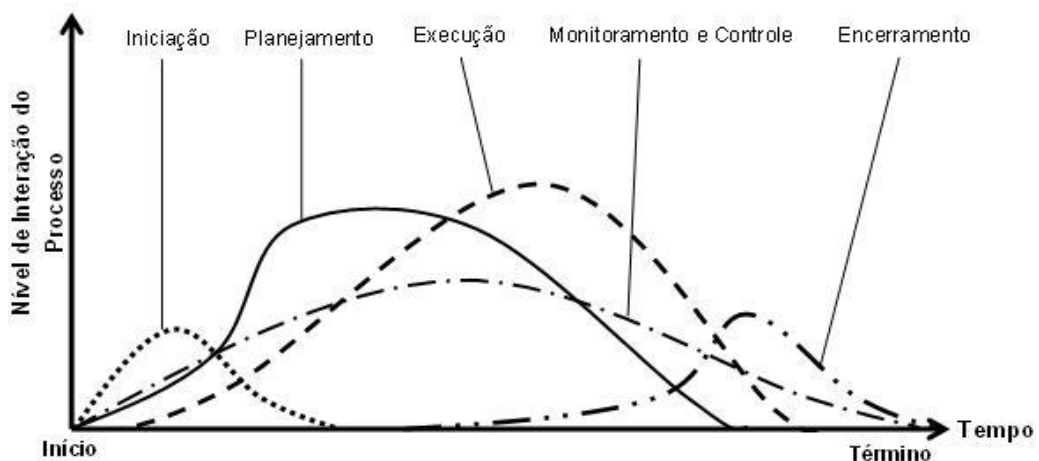


Figura 1: Interação dos grupos de processos em uma fase ou em um projeto

Fonte: Tradução livre de PMI (2008)

Além disso, o guia especifica nove áreas de conhecimento em gerenciamento de projetos, brevemente descritas abaixo.

1. Gerenciamento de integração do projeto: são definidas as atividades e os processos que integram os diversos elementos do gerenciamento de projetos;
2. Gerenciamento do escopo do projeto: são descritos todos os processos que irão garantir que o trabalho termine com sucesso;
3. Gerenciamento de tempo do projeto: o foco é atuar nos processos que se referem diretamente ao término do projeto;
4. Gerenciamento de custos do projeto: o objetivo é fazer com que o projeto termine dentro do valor para o qual foi orçado. Aqui estão os processos de planejamento, estimativa, determinação do orçamento e controle de custos;
5. Gerenciamento da qualidade do projeto: aparecem processos de planejamento, monitoramento, controle e, o mais importante, deve-se garantir que o projeto sairá conforme os requisitos de qualidade especificados;
6. Gerenciamento de recursos humanos do projeto: o ponto principal é a equipe participante. Há processos de planejamento, contratação ou mobilização, desenvolvimento e o próprio gerenciamento dessa equipe;
7. Gerenciamento das comunicações do projeto: as informações do projeto devem ser geradas, coletadas, disseminadas, armazenadas e enviadas ao destinatário final corretamente e no momento exato;
8. Gerenciamento de riscos do projeto: os processos envolvidos neste item visam a identificação, a análise e o controle dos riscos que podem aparecer no projeto. Esse tópico será, para esse estudo, o mais importante e, por isso, será mais bem detalhado nos capítulos adiante; e
9. Gerenciamento de aquisições do projeto: compras, aquisições de serviços, produtos ou resultados fazem parte dos processos dessa etapa.

2.2. Conceito de Risco

Segundo Varella (2004), um risco é qualquer evento ou condição em potencial que, se concretizando, pode afetar negativamente ou positivamente um objetivo do projeto. Mudanças na economia ou na legislação de determinada localidade e o uso de uma tecnologia não comprovada são alguns exemplos de riscos.

Eles têm duas dimensões: a probabilidade, que é a chance de ocorrência, e o impacto, efeito sobre os objetivos do projeto. A finalidade deste trabalho não é avaliar essas

duas dimensões, mas sim identificar os riscos. Como pode ser observado na figura 2, as incertezas são maiores no início do projeto e conforme o tempo vai passando, elas vão diminuindo.

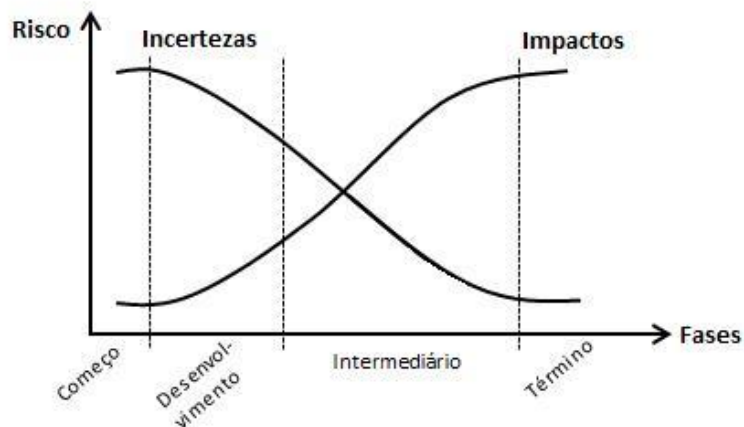


Figura 2: Gráfico Incerteza x Impacto do risco ao longo do projeto

Fonte: VARELLA et al. (2003)

Para Varella (2004) as categorias de riscos refletem as fontes comuns a vários eventos de risco, permitindo uma visão mais sistemática que facilita a identificação de riscos. Fazem parte delas os riscos técnicos, de gerência de projeto, organizacionais e os externos. Os riscos técnicos, de qualidade ou de desempenho decorrem do uso de tecnologias não comprovadas, metas de desempenho irrealistas e outros fatores que venham a afetar objetivos relacionados às características de produtos e serviços incluídos no escopo do projeto. Os riscos de gerência de projeto englobam os fatores relacionados com a qualidade do planejamento e do plano do projeto, falhas na programação das atividades, alocação de recursos, controle de mudanças, dentre outros. Os riscos organizacionais estão relacionados à organização responsável, seu ambiente e influência sobre o projeto, tais como: falta de priorização, de verba e competição de verbas entre projetos pelos recursos. Os riscos externos são caracterizados pelas influências externas ao ambiente e de entidades que tenham poder de controle sobre o projeto ou a organização responsável por tal. Alguns exemplos são as mudanças que ocorrem na legislação ou no clima e as greves.

Conforme Prado (1998) aponta o risco pode ser qualificado em três categorias: baixo, médio e alto. O risco baixo ocorre quando a expectativa de atrasos e o excesso de gastos são normais, o prejuízo é considerado baixo ou mesmo insignificante. Quando o excesso de gastos ou a expectativa de atrasos não estão nos planos, ou seja, há certo prejuízo para a empresa, o risco médio aparece. Já o pior de todos, o risco alto,

considera a expectativa de atrasos e o excesso de gastos inadmissíveis e há grande probabilidade de o projeto ser extinto. Os riscos podem ser provenientes de características intrínsecas ao projeto, da disponibilidade de recursos, do grau de comprometimento da alta administração, das interações com outros projetos, de fornecedores, de fatores externos, de cronograma apertado e da falta de poder do gerente do projeto.

Segundo o guia PMBOK (2008), risco é um evento ou uma condição incerta que, se ocorrer, tem efeito em pelo menos um objetivo (escopo, cronograma, custo e qualidade) do projeto. Ele pode ter uma ou mais causas e, caso apareça, pode ter um ou mais impactos. A causa pode ser um requisito, uma premissa, uma restrição ou uma condição que crie a possibilidade de resultados negativos ou positivos.

O livro *Project Risk Management Guidelines* (2005) define risco com sendo a exposição às consequências da incerteza. No contexto de um projeto é a chance de algo acontecer e causar impacto nos objetivos do mesmo. Ele possui dois elementos: a probabilidade de alguma coisa ocorrer e as consequências/impactos que possam advir se ele ocorrer.

2.3. Gerenciamento de Riscos

Segundo o COSO (2007), determinar prioridades, designar recursos e efetivar ações e processos com a finalidade de minimizar os riscos de um projeto não alcançar os seus fins são as tarefas do gestor de projetos que, por sua vez, será auxiliado pela gestão de riscos. As fases essenciais abordadas por ela passarão por um sistema contínuo de revisão e acompanhamento durante todo o ciclo de vida do projeto.

Para garantir que o gerenciamento de riscos de um projeto tenha um bom resultado deve-se levar em conta que todos os riscos relevantes para o êxito precisam ser percebidos e identificados com os respectivos efeitos e a chance de eles ocorrerem, o que facilitará na tomada de decisões. A avaliação de riscos deve ser feita de forma singular para que as prioridades possam ser definidas assim como a destinação dos recursos. As táticas utilizadas para conter os riscos provêm da conveniência de relacionar mais de um risco.

As finalidades do gerenciamento de riscos são as seguintes:

- Alinhar o apetite a risco com a estratégia adotada: os administradores definirão os objetivos relacionados às estratégias, desenvolverão os mecanismos capazes de gerenciar os riscos e avaliarão o apetite a eles ao analisar as estratégias;
- Fortalecer as decisões em resposta aos riscos: há maior rigor para identificar e selecionar as alternativas de respostas aos riscos, por exemplo, como evitá-los, reduzi-los, compartilhá-los e aceitá-los;
- Reduzir surpresas e prejuízos operacionais: eles são reduzidos quando as empresas adquirem melhor capacidade para identificar os eventos potenciais e estabelecem respostas a estes;
- Identificar e administrar riscos múltiplos e entre empreendimentos: com a gestão de riscos aparecerá uma resposta eficaz a impactos inter-relacionados e respostas integradas aos outros riscos que afetam diferentes áreas da organização;
- Aproveitar oportunidades: a ideia é identificar e aproveitar todas as oportunidades de forma proativa; e
- Otimizar o capital: com as informações adequadas em relação aos riscos pode-se conduzir uma avaliação eficaz das necessidades de capital e alocá-lo em outros investimentos.

Varella (2004) entende que o gerenciamento de riscos é um processo sistemático de definição, análise e resposta aos riscos do projeto cujo objetivo é maximizar os eventos positivos e minimizar as consequências dos eventos negativos.

O guia PMBOK (2008) cita cinco etapas para o gerenciamento de riscos:

1. Planejamento e Gerenciamento: essa é a parte integrante e essencial para todos os projetos. É feita a descrição de como os riscos serão gerenciados durante o seu ciclo de vida além de se definir um orçamento para isso. Os métodos de planejamento, controle e informação que serão utilizados, as atribuições e as responsabilidades de cada um dos integrantes, os critérios e os padrões para a medição e a avaliação dos riscos, a documentação, o registro e as lições aprendidas farão parte dessa etapa.

É importante ressaltar que tanto o autoconhecimento quanto a cultura e as políticas da empresa em relação a riscos são fatores que se diferenciam e afetam o planejamento da gestão de riscos.

As atividades de gerenciamento de riscos e os seus custos devem ser ajustados para cada tipo de projeto.

2. Identificação: essa fase foca nos objetivos do projeto. Qualidade, escopo, prazos e custos são as dimensões essenciais, onde os objetivos maiores são definidos e gradativamente detalhados, sendo transformados, ao longo do projeto, em obrigações. Objetivos meios são estabelecidos e colaborarão para o sucesso do projeto em direção aos objetivos e resultados gerais.

Nesta etapa, a descoberta, a definição e a documentação dos fatores ou eventos que possam vir a afetar os objetivos serão definidas, assim como suas características gerais. Trata-se de um processo investigativo que procura informações confiáveis por meio de registros e documentos, entrevistas e técnicas, como o *Brainstorming*¹, experiências com projetos similares, *Checklists*,² Análise SWOT³, dentre outros.

3. Análise: o resultado da etapa de Identificação de Riscos será uma lista dos possíveis riscos que podem impactar o projeto. Muitas vezes ela será extensa e, por isso, será necessário separar os itens mais importantes dos de menor importância. Esse processo é chamado de avaliação de risco. Esta etapa será melhor detalhada no capítulo 2.4.
4. Planejamento de Resposta: para Varella (2004), a efetividade do gerenciamento de riscos depende da escolha de uma estratégia adequada e do imediato desenvolvimento de ações específicas para lidar com os Eventos de Risco de maior impacto sobre o projeto.

Existem quatro linhas de ação estratégica em relação aos riscos: evitar, transferir, mitigar e aceitar.

¹ Dinâmica de grupo usada para resolver problemas específicos, desenvolver novas ideias ou projetos, coletar informações e estimular o pensamento criativo.

² Técnica utilizada para identificação de riscos de projetos comuns na empresa ou de natureza rotineira. É de uso rápido e prático. Normalmente se baseia em projetos anteriores.

³ Técnica utilizada no planejamento estratégico para avaliar o ambiente interno e o ambiente externo da empresa. Deve-se levar em conta seus fatores internos - forças e fraquezas, e seus fatores externos - oportunidades e ameaças.

Eventos podem ser evitados ao se eliminar as condições das suas prováveis ocorrências. Essa estratégia deve ser abordada quando os riscos possuem alta chance de ocorrência e suas consequências são muito sérias.

A transferência de um risco não o elimina. O que será transferida é a sua responsabilidade gerencial para terceiros. O seguro é um exemplo de transferência de riscos.

Podem ser consideradas estratégias para mitigar os riscos, todas as formas que buscam reduzir a chance de ocorrência e o seu impacto para limites aceitáveis.

Os riscos que possuem baixo efeito potencial podem ser aceitos, desde que respeitados os limites de tolerância. A aceitação pode ser passiva ou ativa. Se ela for ativa haverá um Plano de Contingência que será acionado caso o evento de risco se realize.

5. Monitoramento e Controle: esta etapa abrange as seguintes tarefas: monitoramento dos riscos residuais, identificação de novas ameaças, execução de planos de redução de riscos e avaliação da eficácia desses planos no decorrer do projeto.

2.4. Análise de Riscos

Ao longo deste capítulo será estudada a análise de risco, que pode ser entendida como o uso sistemático das informações disponíveis para determinar com que frequência eventos específicos podem ocorrer e a magnitude de suas consequências. Normalmente usam-se modelos matemáticos e técnicas para determinar essas magnitudes.

Deve-se chamar a atenção para o fato de que o objetivo deste trabalho não é determinar as probabilidades, somente os eventos que podem ocorrer.

A avaliação de riscos tem diversos objetivos:

- Dar uma visão geral do nível e do padrão do risco de projeto a ser enfrentado;
- Focar a atenção do gerenciamento nos riscos de maior relevância;
- Ajudar a decidir onde a ação é mais necessária naquele momento, e quais planos de ação devem ser desenvolvidos para atividades futuras; e

- Facilitar a alocação de recursos para dar apoio a decisões de ações de gerenciamento.

As informações usadas para realizar esta avaliação podem incluir dados históricos e empíricos, análises teórica e empíricas, opiniões de especialistas e até as preocupações dos investidores.

A seguir serão apresentadas três subdivisões da análise de riscos: as análises qualitativas, quantitativas e semi-quantitativa, sendo esta a mais importante para este projeto.

I. Análise Qualitativa de Riscos

De acordo com Varella (2004), a análise qualitativa é o processo de avaliar o impacto e a chance dos riscos identificados ocorrerem, o que irá permitir a qualificação e a classificação dos riscos em função do seu efeito potencial individual e irá priorizá-los de acordo com o grau de impacto no projeto global. Tanto os impactos sobre os objetivos quanto a probabilidade de ocorrência dos riscos são avaliados conforme categorias que expressam a graduação de intensidade e o nível de tolerância que servem de referência comum, no ponto de vista dos especialistas.

Segundo o *Project Risk Management Guidelines* (2005) a análise qualitativa é baseada em escalas nominais ou descritivas, que servem para expor as probabilidades e os impactos dos riscos. Esta é uma boa solução para uma revisão inicial ou para quando uma avaliação rápida é requerida. As tabelas 2 e 3 podem auxiliar na criação da matriz probabilidade x impacto.

Tabela 2: Escala de impacto

Classificação	Descrição da Consequência
A Catastrófica	Evento extremo, potencial para altos custos financeiros ou atrasos, ou danos para a imagem da empresa
B Grande	Evento crítico, potencial para maiores custos ou atrasos, ou produtos inadequados
C Moderada	Grande impacto, mas que pode ser gerenciada com empenho através de procedimentos padrão
D Baixa	Impacto menor com os procedimentos de gestão de rotina
E Insignificante	Impacto pode ser ignorado sem perigo

Fonte: Tradução livre de COOPER et al. (2005)

Tabela 3: Escala de probabilidade

Classificação	Descrição da Probabilidade
A Quase certo	Provável que ocorra durante a próxima aquisição
B Provável	Provável que ocorra nas próximas aquisições
C Possível	Provável que ocorra nas próximas 10 aquisições
D Improvável	É possível, mas improvável que ocorra nas próximas 10 aquisições
E Raro	Altamente improvável que ocorra nas próximas 20 aquisições

Fonte: Tradução livre de COOPER et al. (2005)

Essa matriz servirá para hierarquizar os riscos elencados e identificar quais deles estarão sujeitos a outras análises e gerenciamentos, além de detectar os que necessitam de resposta instantânea e de definir algo que é extremamente útil para comparação entre projetos, o classificação global de riscos.

II. Análise Quantitativa de Riscos

Segundo o *Project Risk Management Guidelines* (2005) este tipo de análise trabalha com relações de escalas numéricas para probabilidades e consequências ao invés de escalas descritivas.

A análise quantitativa é caracterizada por medição, análise numérica das dimensões de probabilidade e impacto dos riscos em caráter individual e projeções numéricas para o projeto como um todo. Os dados históricos, as entrevistas com os especialistas e os índices estatísticos são cruciais para esta análise, pois eles fundamentam estimativas mais concisas e seguras. Uma lista priorizada de riscos quantificados que detectam as maiores ameaças e oportunidades para o projeto, a chance de alcançar os objetivos do projeto com previsões mais realistas e os níveis de confiabilidade conhecidos são os seus principais resultados.

III. Análise Semi-Quantitativa de Riscos

A análise semi-quantitativa amplia o processo de análise qualitativa alocando valores numéricos às escalas descritivas. Os números são então usados para deduzir os eventos de risco. A probabilidade e a estimativa dos impactos não são usadas no início; primeiro começa-se com escalas qualitativas, que então são transformadas em valores numéricos que serão usados como indicadores ou medidas indiretas de probabilidades, impactos e prioridades.

Como primeiro passo do processo de avaliação deve ser determinado o nível de projeto em que a pesquisa será realizada e, com isso elaborar uma lista de elementos-chave. O objetivo é examinar o projeto com detalhes suficientes a fim de que sejam identificadas as áreas de maior risco, isso sem ter que examinar tudo em profundidade.

Um ótimo método para realizar tal tarefa é desagregar o projeto total em elementos menores ou seções de forma a facilitar a identificação. A não ser que se trabalhe com projetos pequenos, esta será uma técnica muito eficaz.

Esses elementos, chamados de elementos-chave, compõem uma lista que deve ser analisada item a item durante o processo de identificação. Os elementos vão se detalhando cada vez mais, o que permite aos identificadores focarem neles e analisá-los mais atentamente, o que seria diferente caso fossem analisar o projeto como um todo. A ferramenta utilizada para demonstrar isso chama-se EAP, ou Estrutura Analítica de Projeto. Um exemplo de seu uso pode ser observado no esquema da figura 3, o qual apresenta um modelo de EAP para a construção de uma casa.

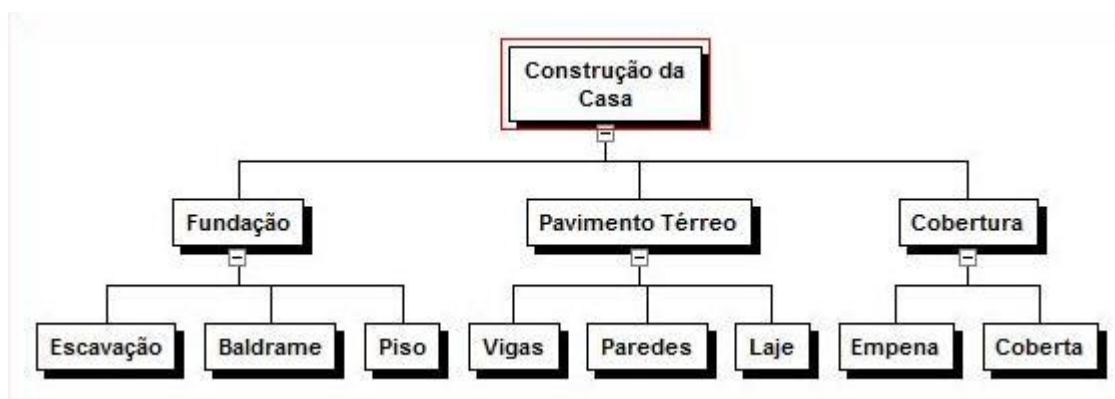


Figura 3: EAP – Projeto construção de uma casa

Fonte: <http://eduardoespiritosanto.wordpress.com/2010/02/23/a-importancia-da-eap/>
acessado em 17/11/2013

Há dois modos para calcular o fator de risco, o qual fornecerá a probabilidade de um risco surgir e a sua gravidade. Na primeira maneira, tanto a tabela de descrição de probabilidade quanto a de consequência serão transformadas em valores numéricos que variam de 0 (baixo) a 1 (alto) com a finalidade de encontrar a medida de risco da probabilidade P e da consequência C . O fator de risco FR pode ser calculado a partir da seguinte equação:

$$FR = P + C - (P \times C).$$

Os valores de P e C, quando plotados são encontrados em curvas isorisco ou até em diagramas, como o da figura 4. No caso de curvas isorisco, os eventos de risco podem ser colocados em ordem decrescente gerando um perfil de riscos que ajudará a decidir quais deles são aceitáveis e quais são inaceitáveis e, assim, poder eleger as prioridades no gerenciamento de risco. As figuras 5 e 6 mostram a curva isorisco e os elementos ordenados, respectivamente.

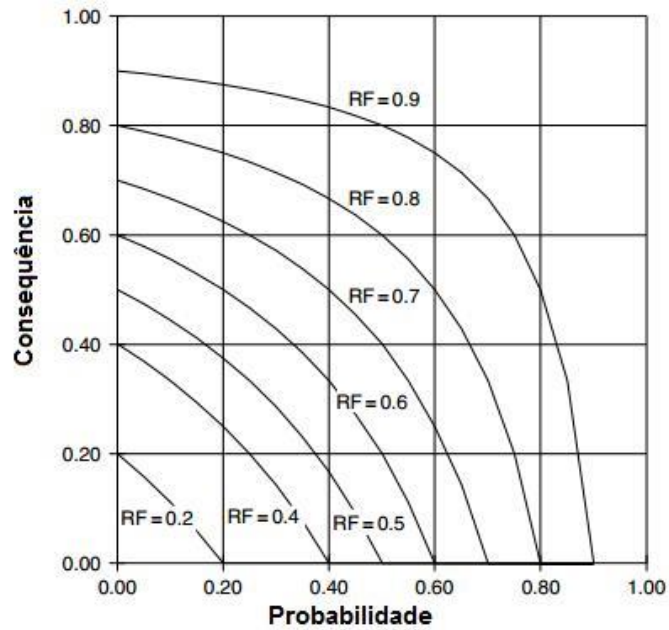


Figura 4: Diagrama de contorno de risco
Fonte: Tradução livre de COOPER et al. (2005)

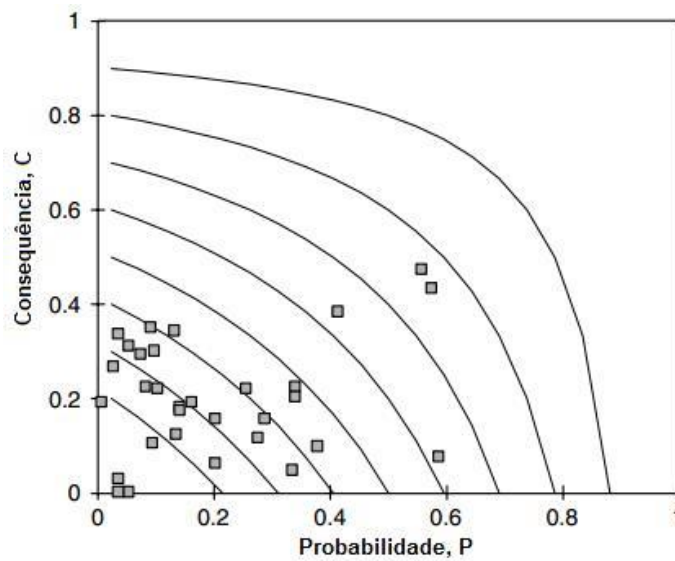


Figura 5: Curva isorisco apresentando os eventos de risco
Fonte: Tradução livre de COOPER et al. (2005)

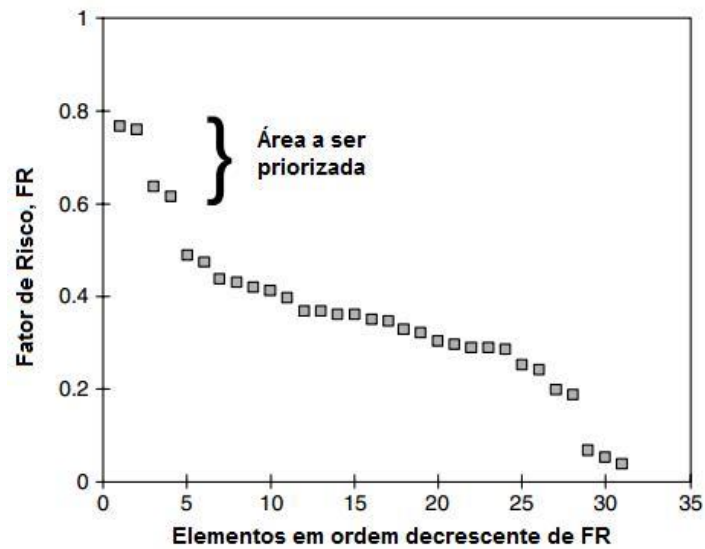


Figura 6: Elementos da figura 5 ordenados
 Fonte: Tradução livre de COOPER et al. (2005)

A outra maneira de calcular os Eventos de Risco é através da seguinte fórmula

$$FR = P \times C.$$

Diferentemente da primeira maneira, os valores de P e C não estão restritos ao intervalo [0,1]. No entanto, a desvantagem dessa fórmula é que os itens com elevadas consequências mas baixas probabilidades podem ser considerados como eventos de risco baixos e, por isso, não serão identificados como importantes.

3. METODOLOGIA APLICADA

3.1. Análise de Decisão Multicritério

A abordagem de uma análise de decisão multicritério ajuda na seleção de critérios pré-definidos segundo a conjunção de diferentes opiniões de vários atores inseridos no ambiente onde se deseja realizar a pesquisa. A preferência dos envolvidos será considerada para depois ser devidamente estruturada.

Duas análises multicritério têm grande visibilidade, a Tomada de Decisão Multicritério e a Análise de Decisão Multicritério.

A Tomada de Decisão Multicritério (em inglês, MCDM ou *Multi Criteria Decision Making*) é considerada a análise mais antiga e, como o próprio nome sugere, aborda a tomada de uma única decisão dentre diversos critérios que normalmente possuem a mesma natureza.

Os processos de tomada de decisão estão se tornando cada vez mais complexos. Tal fato possui uma forte relação com a frequência cada vez maior com a qual as análises multicritérios vêm sendo utilizadas. Segundo Saxena *et al.* (2010), processos que analisam diferentes benefícios de decisão para a tomada de uma decisão final se enquadram em praticamente todos os tipos de problemáticas.

Nesse contexto, muitas decisões adquirem um grau relativamente alto de imprecisão e de ambiguidade. Isso porque, em muitos casos, torna-se difícil mensurar os diferentes benefícios definidos para o processo de escolha.

Em 1896, o famoso cientista italiano Vilfredo Pareto iniciou os estudos da técnica denominada Análise de Decisão Multicritério (em inglês, MCDA ou *Multi Criteria Decision Aid*) e melhorou a sua aplicabilidade com o conceito de eficiência. Ao longo do tempo outros pesquisadores foram aprimorando esta técnica até que, em 1970, Thomas L. Saaty apareceu com o *Analytic Hierarchy Process (AHP)* evoluindo para o FAHP, em 1996, com Chang. O FAHP é uma extensão da análise do método AHP. Um pouco antes, em 1991, Roy deu a última agregação relevante para esta técnica: a possibilidade de hierarquia entre os critérios.

O capítulo 3.4 deste trabalho desenvolve o artigo publicado por Chang em 1996, atribuindo exemplos numéricos de Tang e Beynon (2005).

Como o trabalho visa a hierarquização das possíveis áreas de risco no empreendimento, o foco deste capítulo será o método FAHP.

3.2. *Analytic Hierarchy Process - AHP*

Como dito anteriormente, o professor Thomas Saaty desenvolveu o método AHP para auxiliar na tomada de decisões mais complexas.

É um método que tem sido muito utilizado, pois o problema será analisado sob um ponto de vista compreensivo e racional que tem a finalidade não só de estruturá-lo mas também de representar seus elementos e relacioná-los com os objetivos desejados, o que irá ajudar na hora de analisar as alternativas.

Coyle (2004) informa que o objetivo precípua do AHP é construir uma matriz capaz de representar os julgamentos relativos de elementos específicos.

As pessoas que trabalharão com o método devem, em primeiro lugar, decompor o problema em subproblemas independentes, o que será mais fácil de ser estudado. Após isso, os responsáveis pelo processo avaliam os elementos dos subproblemas e fazem comparações pareadas com todos eles. O elemento mais utilizado para realizar tais comparações é a escala desenvolvida pelo criador da técnica, a qual pode ser observada na tabela 4.

Tabela 4: Escala fundamental de Saaty

Valor	Importância relativa	Característica
1	Igual importância	Os dois elementos contribuem igualmente para o objetivo
3	Preponderância pequena de um sobre o outro	A experiência e o julgamento favorecem levemente um critério em relação ao outro
5	Preponderância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente um critério em relação ao outro
7	Preponderância muito grande ou demonstrada	Um critério é muito fortemente favorecido em relação ao outro
9	Preponderância absoluta	A evidência favorece um critério em relação ao outro com mais alto grau de certeza
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições
Valores Recíprocos	Se um elemento i obtiver um dos valores apresentados acima quando comparado com o elemento j , então j possuirá o valor recíproco (inverso) quando comparado com i	

Fonte: Tradução livre de Vargas e Saaty (2001)

Um dos pontos fortes do método AHP é a comparação pareada, bastante útil em processos decisórios que envolvem múltiplos critérios. A análise pareada dos mesmos permite a hierarquização considerando os diferentes critérios que podem vir a influenciar o processo. Desse sairá uma matriz de comparação pareada, representada por elementos independentes entre si. Com ela é possível determinar os pesos de cada um dos critérios e a sua hierarquia; e após isso, é feito o mesmo procedimento para as alternativas, objetivando também a sua ordenação.

O ponto negativo dessa análise é o fato de as imprecisões não poderem ser consideradas. Quando envolve um grande número de integrantes, cada uma das avaliações feitas por eles terá a sua respectiva imprecisão, o que refletirá no resultado final da análise.

Apesar disso, ela tem sido muito utilizada pois leva em conta critérios distintos que podem influenciar o processo.

3.3. Breve Informação Sobre a Lógica *Fuzzy*

Em 1965, Lotfi A. Zadeh apresentou a teoria de que os conjuntos *Fuzzy* não têm limites precisos. Para ele, o componente de um conjunto *Fuzzy* não serve para confirmar ou negar, mas sim para graduar.

Sua teoria é baseada na lógica dos Dois-Valores, que diz que quando "A" é um conjunto *fuzzy* e "x" é o objeto de análise, a proposição "x é um membro de A" não é necessariamente verdadeira ou falsa, como diz a lógica dos Dois-Valores, mas pode ser verdadeira até certo ponto, o ponto no qual "x" é realmente um membro de A.

É mais comum expressar graus para os componentes do conjunto *fuzzy*, tais como graus de verdade das proposições associadas por números pertencentes ao intervalo fechado [0,1]. Os valores extremos do intervalo, 0 e 1, podem representar tanto o total de recusa e aceitação de um membro para um dado conjunto *fuzzy*, como a falsidade e a verdade da proposição associada.

O seu artigo aparece como o mais citado do século XX, tem mais de 35 mil menções e já rendeu mais de 50 mil patentes nos Estados Unidos e no Japão. A invenção da lógica *fuzzy* foi uma brilhante contribuição que ultrapassou as fronteiras do conhecimento.

Uma das primeiras aplicações do seu invento foi na automatização do sistema de metrô na cidade japonesa Sendai. A aplicação da lógica *fuzzy* foi usada no sistema de controle da rede de trens para mudar de velocidade como se existisse no trem um motorista experiente. A ideia era fazer com que a aceleração e a frenagem resultassem em menos consumo de energia, o que seria bom para os passageiros, pois a tarifa custaria menos.

3.4. *Fuzzy Analytic Hierarchy Process* - FAHP

Ela é a integração da lógica *Fuzzy* com a técnica AHP. A ideia de juntá-las apareceu porque como havia incertezas nas tomadas de decisão do AHP quando aplicado sozinho precisava-se de uma outra técnica capaz de sanar este problema.

Para Tang e Beynon (2005), o FAHP surgiu como uma solução para esse tipo de processo decisório, no qual imprecisões dificultam uma tomada de decisão correta.

Segundo Saxena, Jain et al. (2010) o método é um dos mais eficientes, porém ele considera que o usuário possui todas as informações sobre o tema, o que dificilmente acontece.

Meixner (2011) afirma que a vantagem da utilização do método FAHP em processos decisórios envolvendo um grande número de participantes é ainda mais evidenciada. Na opinião do autor, este método deve agregar de maneira satisfatória as avaliações dos diversos participantes do processo de decisão, bem como as imprecisões inerentes às mesmas.

Sua grande flexibilidade está no fato de haver a possibilidade em adicionar uma medida de imprecisão a cada etapa. Essa medida é representada pelo grau de *fuzzificação* (δ), atribuído a cada comparação pareada do processo decisório. Com isso, a imprecisão incorpora-se ao processo de tomada de decisão e permite uma análise mais clara das possíveis escolhas.

3.4.1. Como Funciona o Método FAHP

A primeira etapa consiste na definição dos critérios e das alternativas do processo. Ele é decomposto em diferentes aspectos que são representados por dois vetores: um que representa os critérios $C_n = (C_1, C_2, C_3, \dots, C_n)$ – neste caso seriam os pacotes de serviço C_1, C_2 e C_3 – e outro representado pelas alternativas $A_n = (A_1, A_2, A_3, \dots, A_n)$ seriam os eventos de risco A_1, A_2, A_3 .

Feito isso, parte-se para as comparações pareadas de todos os critérios. Tais comparações permitirão a atribuição de pesos aos critérios definidos e a consequente verificação de quais aspectos do processo decisório são mais relevantes. Em seguida, serão realizadas comparações pareadas das alternativas sob o ponto de vista de cada um dos critérios. A atribuição de pesos às alternativas será, assim, realizada e as mesmas poderão ser hierarquizadas.

A tabela 4, representada pela escala de Saaty, é utilizada para realizar as comparações pareadas.

As próximas tabelas apresentarão um exemplo onde a escala mencionada foi utilizada para avaliar as comparações entre cinco critérios e entre as alternativas segundo um certo critério.

Tabela 5: Comparações pareadas entre cinco critérios

	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅
C₁	1	3	-	3	1/5
C₂	1/3	1	1/9	-	1/2
C₃	-	9	1	7	1
C₄	1/3	-	1/7	1	1/5
C₅	5	2	1	5	1

Fonte: Tang e Beynon (2005)

Tabela 6: Comparação pareada entre alternativas segundo determinado critério

C₁	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	1	-	-	-	5
A₂	-	1	7	1/3	5
A₃	-	1/7	1	1/5	5
A₄	-	3	5	1	5
A₅	1/5	1/5	1/5	1/5	1

C₂	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	1	1/8	1/8	1/7	-
A₂	8	1	-	-	5
A₃	8	-	1	1/8	5
A₄	7	-	8	1	5
A₅	-	1/5	1/5	1/5	1

C₃	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	1	1/8	-	1/7	-
A₂	8	1	-	1	3
A₃	-	-	1	1/8	3
A₄	7	1	8	1	3
A₅	-	1/3	1/3	1/3	1

C₄	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	1	1/7	1/5	1/9	-
A₂	7	1	7	-	1/6
A₃	5	1/7	1	1/8	6
A₄	9	-	8	1	6
A₅	-	6	1/6	1/6	1

C₅	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	1	3	2	5	1/3
A₂	1/3	1	1/3	3	1/5
A₃	1/2	3	1	4	1/3
A₄	1/5	1/3	1/4	1	1/9
A₅	3	5	3	9	1

Fonte: Tang e Beynon (2005)

Um número *Fuzzy* caracteriza-se por uma função de pertinência $\mu_A(x)$ que assume valores no intervalo fechado $[0,1]$.

Quando comparados dois números *Fuzzy* assume-se que a diagonal principal é composta pelo valor 1, pois um dado elemento comparado a ele mesmo sempre terá igual importância. Entretanto, comparando-se dois critérios ou duas alternativas distintas segundo um determinado critério, para ganhar celeridade no processo, pode-se avaliar somente um lado da diagonal principal já que o outro lado será o inverso do valor atribuído, como será explicado mais adiante.

Saxena et al. (2010) sugere diversas funções de pertinência: triangular, trapezoidal e gaussiana, no entanto, a mais utilizada é a triangular que pode ser descrita por:

$$(l, m, u),$$

onde l representa o limite inferior; m , o valor modal e u , o limite superior.

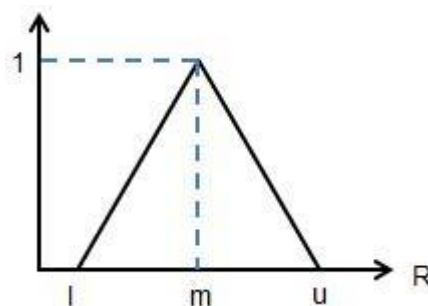


Figura 7: Representação de um número *Fuzzy* triangular

Fonte: Autoria própria (2013)

As operações matemáticas de adição, multiplicação e inverso com número *fuzzy* triangulares são apresentadas a seguir:

i) Adição: $A + B = (l_1, m_1, u_1) + (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2)$

ii) Multiplicação: $A * B = (l_1, m_1, u_1) * (l_2, m_2, u_2) = (l_1 * l_2, m_1 * m_2, u_1 * u_2)$

iii) Inverso: $(l_1, m_1, u_1)^{-1} \approx (1/l_1, 1/m_1, 1/u_1)$

Utilizando números *fuzzy* triangulares é possível construir uma matriz que contenha a importância relativa de cada par de alternativas, dada uma mesma hierarquia:

$$A = (a_{ij})_{n \times m}$$

Segundo Chang, seja um elemento i julgado como possuindo uma importância G sobre outro elemento j , de tal modo que:

$$a_{ij} = (l, G, u)$$

Os valores l e u representam graus *fuzzy* de julgamento. Sendo o valor G uma avaliação relativa do valor i com relação ao valor j . Quanto maior for este valor, maior será a importância do primeiro sobre o segundo, e quanto maior for a diferença $l - u$, maior será o grau *fuzzy* deste julgamento. Sendo assim, são válidas também as regras de operação, de tal modo que:

$$a_{ij}^{-1} = \left(\frac{1}{u}, \frac{1}{G}, \frac{1}{l} \right)$$

Agora, seja $A = (a_{ij})_{n \times m}$ uma matriz de comparação pareada onde $a_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ satisfaz o valor de comparação pareada onde:

$$l_{ij} = \frac{1}{l_{ji}}, \quad m_{ij} = \frac{1}{m_{ji}}, \quad u_{ij} = \frac{1}{u_{ji}}$$

Ao comparar dois números *fuzzy* triangulares convexos, ou seja, quando M_1 e M_2 se interceptam, Tang e Beynon (2005) sugerem o uso da equação abaixo, onde V representa a probabilidade de $M_1 \geq M_2$.

$$V(M_1 \geq M_2) = 1 \text{ se e somente se } m_1 \geq m_2$$

Pela equação seguinte pode-se determinar a chance de um número *fuzzy* M_1 ser maior que outros números *fuzzy*. A figura 8 traduz a equação abaixo para o formato de gráfico, onde $V(M_2 \geq M_1) = d$.

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ e } (M \geq M_2) \text{ e } \dots (M \geq M_k)]$$

$$= \min V(M \geq M_i), \quad i = 1, 2, \dots, k$$

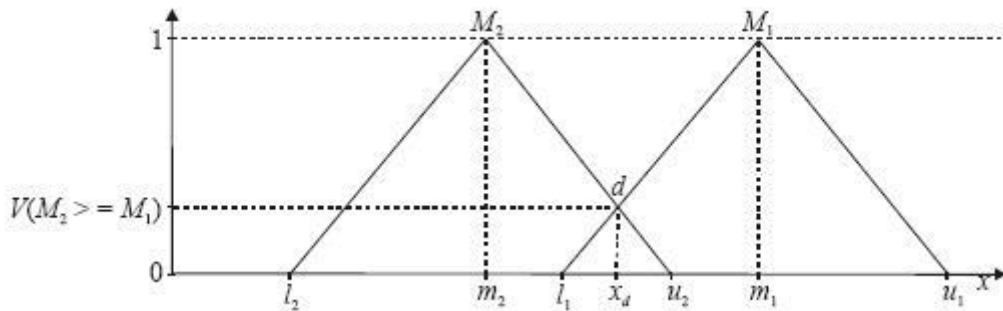


Figura 8: Comparação entre dois números Fuzzy

Fonte: Tang e Beynon (2005)

Quando $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ e $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$, a ordenada para d é dada pela equação:

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{máx}(M_1 \cap M_2)$$

$$V(M_2 \geq M_1) = \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}$$

Assumindo para n critérios, tem-se que:

$$d'(M_i) = \min V(S_i \geq S_k), \quad (k = 1, 2, 3, \dots, n) \text{ e } k \neq i$$

Então, o vetor de pesos será dado por:

$$W' = [d'(M_1), d'(M_2), d'(M_3), \dots, d'(M_n)]^T$$

Para $M_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ critérios.

O valor oriundo da comparação pareada será modelado em uma escala de valores *fuzzy* com um determinado grau de imprecisão. Essa escala é a escala de números *fuzzy* triangulares.

Dessa maneira, em uma dada comparação pareada entre os elementos i e j , na qual o elemento i é preferível ao elemento j , o item m do número triangular *Fuzzy* resultante dessa comparação pareada será um dos valores da tabela 4 que indica o quão preferível o elemento é. Os itens l e m do número triangular, por sua vez, descreverão a imprecisão do julgamento, que existe devido a incoerência em compreender um fenômeno no mundo real. Essa imprecisão é influenciada pelo grau de *fuzzificação* (δ),

o qual descreverá a imprecisão de cada julgamento. Dependendo do grau de *fuzzificação* utilizado deve-se atentar para a relação de preferência não se inverter no momento do cálculo dos extremos. O denominador dos elementos dos números triangulares *Fuzzy* nunca poderá ser menor do que 1. O grau de *fuzzificação* mais adotado é 0,5, no entanto podem ser usados valores maiores ou menores do que esse. Isso irá variar conforme as informações disponíveis no momento do julgamento; caso haja poucas informações deve-se atribuir um grau de *fuzzificação* elevado, caso contrário, esse grau deverá ser baixo.

No caso apresentado acima, m é a mediana correspondente à opinião do entrevistado e, l e u , seus extremos que identificam a imprecisão.

$$m - l = u - m = \delta$$

Dado o valor de m , o número *fuzzy* triangular associado à comparação pareada será:

$$(m - \delta, m, m + \delta)$$

E o seu respectivo inverso será:

$$(1 / (m + \delta), 1 / m, 1 / (m - \delta))$$

Quando o valor de m na comparação pareada for igual a 1, o número *fuzzy* triangular associado a essa comparação será o seguinte:

$$(1 / (1 + \delta), 1, 1 + \delta)$$

Quando o valor de m na comparação pareada for igual a 9, o número *fuzzy* triangular associado a essa comparação será o seguinte:

$$(1 / (9 + \delta), 9, 9)$$

Voltando ao exemplo das tabelas 5 e 6 e considerando um grau de *fuzzificação* igual a 0,5, tem-se uma nova tabela com a 7:

Tabela 7: Matriz triangular de comparações pareadas entre critérios

	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅
C₁	(1,1,1)	(2.5,3,3.5)	-	(2.5,3,3.5)	(0.1818, 1/5,0.2222)
C₂	(0.2857,1/3,0.4)	(1,1,1)	(1/9, 1/9, 0.1176)	-	(0.4,1/2,0.6667)
C₃	-	(8.5,9,9.5)	(1,1,1)	(6.5,7,7.5)	(0.6667,1,1.5)
C₄	(0.2857,1/3,0.4)	-	(0.1333,1/7,0.1538)	(1,1,1)	(0.1818, 1/5,0.2222)
C₅	(4.5,5,5.5)	(1.5,2,2.5)	(0.6667,1,1.5)	(4.5,5,5.5)	(1,1,1)

Fonte: Autoria própria (2014)

Para encontrar a hierarquia agregada deve-se somar os valores encontrados para l , m e u , isso após ter sido feito o preenchimento da matriz de comparações *fuzzy*. Essa tem que ser feita tanto para as colunas quanto para as linhas da matriz, como mostra a tabela 8.

Tabela 8: Soma das linhas e das colunas segundo cada critério

	Soma das linhas	Soma das colunas
C₁	(6.1818, 7.2000, 8.2222)	(6.0714, 6.6667, 7.3000)
C₂	(1.7968, 1.9444, 2.1843)	(13.500, 15.000, 16.000)
C₃	(16.6667, 18.000, 19.000)	(1.9111, 2.2540, 2.7715)
C₄	(1.6001, 1.6762, 1.7761)	(14.500, 16.000, 17.500)
C₅	(12.1667, 14.000, 16.000)	(2.4303, 2.9000, 3.6111)
Soma das somas das colunas		(38.4128, 42.8207, 47.1826)

Fonte: Autoria própria (2014)

O valor *fuzzy* de extensão sintética (S) pode ser calculado para cada critério, a partir da tabela 8 com o auxílio da equação:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \odot \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}$$

Os valores que aparecem ao lado de ‘Soma das somas das colunas’ é representado por (L_{soma} , M_{soma} , U_{soma}). Com isso, o somatório acima pode ser simplificado para:

$$S_i = Soma Linhas_i x \left(\frac{1}{Usoma_i}, \frac{1}{Msoma_i}, \frac{1}{Lsoma_i} \right)$$

Para o exemplo dado na tabela 8, Tang e Beynon prosseguem com os cálculos para encontrar os valores das somas associadas S_1 , S_2 , S_3 , S_4 e S_5 .

$$S_1 = (6.1818, 7.2000, 8.2222) * \left(\frac{1}{47.1826}, \frac{1}{42.8207}, \frac{1}{38.4128} \right) = (0.1310, 0.1681, 0.2140);$$

$$S_2 = (1.7968, 1.944, 2.1843) * \left(\frac{1}{47.1826}, \frac{1}{42.8207}, \frac{1}{38.4128} \right) = (0.0381, 0.0454, 0.0569);$$

$$S_3 = (16.6667, 18.0000, 19.0000) * \left(\frac{1}{47.1826}, \frac{1}{42.8207}, \frac{1}{38.4128} \right) = (0.3532, 0.4204, 0.4946);$$

$$S_4 = (1.6001, 1.6762, 1.7761) * \left(\frac{1}{47.1826}, \frac{1}{42.8207}, \frac{1}{38.4128} \right) = (0.0339, 0.0391, 0.0462);$$

$$S_5 = (12.1667, 14.000, 16.000) * \left(\frac{1}{47.1826}, \frac{1}{42.8207}, \frac{1}{38.4128} \right) = (0.2579, 0.3269, 0.4165);$$

Prosseguindo os cálculos, deve-se fazer comparações pareadas considerando todas as possibilidades entre as medidas *Fuzzy* encontradas. Após esse procedimento é realizado o cálculo da comparação global, d' , para cada um dos critérios. Com esses valores, obtém-se o vetor de pesos W' .

$$V(S_1 \geq S_2) = 1; \quad V(S_1 \geq S_3) = \frac{0.3532 - 0.2140}{(0.1681 - 0.2140) - (0.4204 - 0.3532)} = -1.2308 = 0;$$

$$V(S_1 \geq S_4) = 1; \quad V(S_1 \geq S_5) = 0; \quad V(S_2 \geq S_1) = 0; \quad V(S_2 \geq S_3) = 0;$$

$$V(S_2 \geq S_4) = 1; \quad V(S_2 \geq S_5) = 0; \quad V(S_3 \geq S_1) = 1; \quad V(S_3 \geq S_2) = 1;$$

$$V(S_3 \geq S_4) = 1; \quad V(S_3 \geq S_5) = 1; \quad V(S_4 \geq S_1) = 0;$$

$$V(S_4 \geq S_2) = \frac{0.0381 - 0.0462}{(0.0391 - 0.0462) - (0.0454 - 0.0381)} = 0.5655;$$

$$V(S_4 \geq S_3) = 0; \quad V(S_4 \geq S_5) = 0; \quad V(S_5 \geq S_1) = 1 \quad V(S_5 \geq S_2) = 1;$$

$$V(S_5 \geq S_3) = \frac{0.3532 - 0.4165}{(0.3269 - 0.4165) - (0.4204 - 0.3532)} = 0.4039;$$

$$V(S_5 \geq S_4) = 1;$$

$$d'(C_1) = V(S_1 \geq S_2, S_3, S_4, S_5) = \min(1, 0, 1, 0) = 0;$$

$$d'(C_2) = V(S_2 \geq S_1, S_3, S_4, S_5) = \min(0, 0, 1, 0) = 0;$$

$$d'(C_3) = V(S_3 \geq S_1, S_2, S_4, S_5) = \min(1, 1, 1, 1) = 1;$$

$$d'(C_4) = V(S_4 \geq S_1, S_2, S_3, S_5) = \min(0, 0, 0, 5655, 0, 0) = 0;$$

$$d'(C_5) = V(S_5 \geq S_1, S_2, S_3, S_4) = \min(1, 1, 0, 4039, 1) = 0.4039.$$

Por fim, $W' = (0, 0, 1, 0, 0.4039)$ e o vetor normalizado resulta em $W = (0, 0, 0.7123, 0, 0.2877)$.

Daí, tem-se que a ordem de preferências para o exemplo em questão é a seguinte:

$$C_3 > C_5 > C_1 = C_2 = C_4$$

No trabalho em questão, os pacotes de serviço representam os critérios e os eventos de risco, as alternativas.

4. ESTUDO DE CASO: APROVEITAMENTO HIDRELÉTRICO DE SIMPLÍCIO - QUEDA ÚNICA

4.1. Características Físicas e Ambientais da Área de Estudo

4.1.1. Localização Geográfica: Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul está localizada na macrorregião do Atlântico Leste e engloba os três estados mais representativos da federação: Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais. Como pertence a todos eles, é considerada uma bacia de domínio federal. Sua área é de 55.500 km², sendo 39,6% pertencente ao estado do Rio de Janeiro, 36,7% a Minas Gerais e o restante ao estado paulista. Cerca de 5,5 milhões de habitantes povoam esta região que abrange 180 municípios, a maioria de Minas Gerais.

Devido às diferenças topográficas e geológicas, dividiu-se esta bacia em quatro diferentes seguimentos: Paraíba de montanha (curso superior); Paraíba - curso médio e montante (curso médio superior); Paraíba - curso médio a jusante (curso médio inferior) e Paraíba curso final (curso inferior). A área de estudo localiza-se no curso médio inferior do Paraíba do Sul onde, segundo a classificação de Köppen, predomina os tipos climáticos Cwb (tropical de altitude com verões amenos) e Aw (quente e úmido com chuvas de verão).

Esta bacia pertence a uma das regiões econômicas mais importantes do país e nela desenvolvem-se atividades industriais, pecuária, agricultura, silvicultura e mineração. As atividades industriais concentram-se exatamente na região de estudo e é neste trecho da bacia que a situação é mais crítica, pois como há grande quantidade de indústrias (químicas, metalúrgicas, têxteis) há maior aglomeração da população e conseqüentemente mais poluição e despejo de resíduos contaminantes no rio. A atividade pecuária é representada pela criação de gado de leite. Já na agricultura destacam-se os plantios de cana-de-açúcar e de café. Para atender às necessidades na demanda da construção civil, a atividade de mineração na região capta, principalmente, areia dos rios além de argila, pedra britada e saibro.

As principais formas de uso da água da bacia são divididas em consuntivas e não consuntivas. Como as primeiras, pode-se citar: abastecimentos urbano e rural,

consumos industrial e agroindustrial, dessedentação de animais e aquicultura; já o lado não-consuntivo é representado pela manutenção da biodiversidade fluvial, recreação, navegação, geração hidrelétrica, controle de cheias, assimilação de esgotos ou diluição de efluentes e mineração.

Infelizmente há enormes fatores que degradam os recursos hídricos da bacia e com impactos que muitas vezes serão difíceis de ser sanados. Dentre os fatores de degradação, destacam-se: queimadas florestais e ocupação desordenada das margens dos rios, aterros e drenagem de alagadiços e lagoas marginais, retirada de materiais para construção civil (areia, argila, brita), processos erosivos nos solos das sub-bacias contribuintes, lançamento de agrotóxicos, de esgoto doméstico, de chorume e lixo, presença de barragens e represas. Algumas das consequências são identificadas por enchentes como causa do assoreamento, diminuição das vazões a jusante devido ao represamento irregular de rios, dentre outros.

No Anexo A pode ser observada a Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul abrangendo os estados de Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais.

4.1.2. A AHE Simplício - Queda Única

O aproveitamento hidrelétrico de Simplício localiza-se entre os estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais, abrangendo os municípios de Três Rios e Sapucaia, do lado fluminense e Além Paraíba e Chiador, na parte mineira.

O empreendimento estende-se por cerca 30 km ao longo do rio Paraíba do Sul sendo acessado através da BR-040 até o entroncamento com a BR-393 próximo à cidade de Três Rios. A última rodovia liga as cidades de Anta, Sapucaia e Além Paraíba.

Fazem parte deste complexo duas usinas, a PCH Anta e a UHE Simplício. O barramento do rio Paraíba do Sul foi feito à montante da PCH e o desvio ocorre através de túneis e canais que interligam os reservatórios de Tocaia, Lourical, Calçado e Antonina, formados por diques em vales localizados à margem esquerda do leito original. O desnível de 115 m foi aproveitado para formar a UHE Simplício, esta com capacidade maior.

Ao todo são sete diques, oito canais, sete túneis e cinco reservatórios que se somam ao canal de adução e à tomada d'água.



Figura 9: Esquema do Aproveitamento Hidrelétrico de Simplício

Fonte: http://www.oempreiteiro.com.br/Publicacoes/13002/Complexo_de_Simplicio_tem_obras_ao_longo_de_30_km_do_rio_Paraiba_do_Sul.aspx acessado em 27/07/2013

A PCH Anta possui potência instalada de 28 MW dividida em duas turbinas tipo Kaplan de 14 MW cada uma. Já a usina de Simplício agregará 305,7 MW ao complexo através de três turbinas Francis de 101,9 MW de potência cada. Dessa forma, o Aproveitamento Hidrelétrico de Simplício gerará uma potência instalada de 333,7 MW e sua energia assegurada totalizará 191,3 MW em média.

A barragem foi construída na cidade de Anta e apresenta seção em concreto compactado a rolo (CCR) tipo gravidade com o nível d'água do reservatório na elevação 251,00 m. Para construí-la foi necessário fazer três ensecadeiras para isolar a área. Em épocas de cheia, para complementar o vertimento, foi projetada uma soleira vertente de concreto convencional ao longo de praticamente toda a crista da barragem que está dimensionada para descarregar uma vazão de 8.500 m³/s, o que corresponde a uma cheia com período de recorrência de 10.000 anos. Para não haver contato direto entre o CCR e a água do rio, a parte mais a montante da barragem foi feita com revestimento de concreto convencional de aproximadamente 10 cm de espessura.

A barragem em CCR possui 220 m de largura e 29 m de altura. Entre a soleira e o vertedouro existe um bloco de concreto massa que, segundo o controle tecnológico feito no laboratório de Furnas, em Goiás, não necessitou de controle de temperatura, logo não foi necessária a utilização de agregados gelados ou água fria, muitas vezes

utilizada em obras com concreto massa. Durante a realização da obra percebeu-se a necessidade de utilizar juntas de dilatação entre as peças do vertedouro, do bloco de concreto massa e outras etapas da construção. O consumo de concreto era entre 200 m³ e 400 m³ por dia, o que variava conforme o lugar e a fase de construção. Durante toda a construção, somente a areia foi comprada, sendo parte dela artificial e vinda das escavações dos túneis.



Figura 10: Vista da barragem já concluída

Fonte: Autoria própria (09/08/2012)

O vertedouro, elemento de segurança que garante que não ocorrerá nenhum dano à barragem, funcionará escoando a água em excesso que irá chegar ao reservatório durante o período de chuvas. Como o reservatório funcionará à fio d'água, ou seja, toda a água que chega nele sairá através das turbinas ou das comportas do vertedouro, o risco de ocorrer algum dano à barragem é baixo. Esta subestrutura possui três comportas tipo segmento e está localizada na margem direita junto à calha do rio. Ele também foi feito em concreto massa e cada comporta possui 15 m de largura. No caso de ocorrência de vazões excepcionais, a barragem de CCR poderá ser galgada, funcionando como um vertedouro complementar. Sua face de jusante em degraus auxilia na dissipação de energia do escoamento.



Figura 11: Vertedouro com três comportas tipo segmento
Fonte: Autoria própria (01/11/2010)

Uma das condições do Ibama para a liberação da construção da usina foi a implantação de uma escada de peixes para não prejudicar a piracema. A ideia é conservar a vida aquática no rio Paraíba do Sul permitindo que espécies como piau e dourado transponham a barragem para se reproduzirem. Ela possui uma série de anteparos de concreto dispostos ao longo da estrutura formando pequenos tanques; quando são cobertos pela água, parecem degraus. Eles têm a função de reduzir a turbulência das correntes, diminuindo o esforço necessário que os peixes necessitam para percorrerem o canal. Existe uma tubulação de atração por baixo do piso da escada que, ao ser acionada, produz ondas e estimula a entrada do peixe no mecanismo de transposição. Ela possui comprimento igual a 329 m.



Figura 12: Escada de peixe em construção
Fonte: Autoria própria (20/03/2012)

Os diques são maciços compactados com seções típicas homogêneas em solo e mistas de terra e enrocamento. São adotados em locais de forma a se obter o melhor aproveitamento dos materiais provenientes das escavações obrigatórias dos túneis e canais. Alguns diques têm vertedouro, como o Tocaia e o Louriçal, para a elevação 253,00 m e são muito encaixados, não tendo área para acumular água. Algumas dessas estruturas construídas são classificadas como ambientais, pois funcionam como separador de qualidades diferentes de água.



Figura 13: Dique do aproveitamento

Fonte: Autoria própria (09/08/2012)

A usina de Simplício apresenta a estrutura da tomada d'água posicionada ao longo de uma elevação situada na vertente direita do rio Ribeirão do Peixe. A adução das águas se faz por intermédio de um canal associado a três túneis forçados para condução das águas até a casa de força, localizada na margem direita do referido rio. O retorno das águas ao rio Paraíba do Sul é feito através de um canal de fuga com cerca de 750 m de extensão.



Figura 14: Tomada d'água de Simplício

Fonte: Autoria própria (20/03/2012)

Após ser captada na tomada d'água, a altura de queda de 80 m será utilizada para produzir energia potencial. A água percorrerá 323 m através de condutos forçados, em número de três e com seis metros de diâmetro cada um e será conduzida até a casa de força e finalmente ao canal de fuga. Pouco antes de chegar à casa de força há um trecho blindado no canal adutor que serve para reduzir os efeitos do golpe de aríete, a ruptura nas paredes e a subpressão naquela área.

Os túneis construídos têm largura de 15,80 m x 14,70 m, trabalharão afogados e um deles possui 6 km de extensão. Para construí-los foi necessário trabalhar simultaneamente nos dois lados do túnel para evitar a diferença de pressões. Caso tivesse sido feita toda a seção de uma vez só, o túnel poderia fechar. Para garantir maior resistência, o piso deles foi feito em CCR.

Tabela 9: Dados técnicos da obra

Dados Técnicos			
Característica		UHE	
		Anta	Simplício
Potência (MW)		28	305,7
Unidades Geradoras	Quantidade	2	3
	Tipo	Kaplan	Francis
Queda líquida (m)		16,47	113
Vazão turbinada (m ³ /s)		190	340

Fonte: FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S/A

Tabela 10: Quantitativos civis da obra

Quantitativos Civis	
Escavação comum	13,4 milhões de m ³
Escavação em rocha	4,6 milhões de m ³
Escavação subterrânea de túneis (7 ao todo)	12.163 m
Escavação de canais a céu aberto	7.666 m
Aterro (10 diques, incluindo os ambientais)	6,712 milhões de m ³
Concreto estrutural	157.248 m ³
Concreto rolado	93.962 m ³
Aço de construção	78.000 t

Fonte: FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S/A

4.1.3. Os Municípios do Entorno do Aproveitamento

Os municípios de Três Rios, Sapucaia, Chiador e Além Paraíba, apesar de terem sido afetados por conta da grande complexidade do empreendimento, foram também beneficiados.

No pico da obra, em agosto de 2010, havia 4.777 funcionários trabalhando em empregos diretos e a mão de obra da região sempre foi maior do que 50%. Desde o início da construção, em 2007, foi repassado a esses quatro municípios mais de R\$ 33,5 milhões em ISSQN (Imposto sobre Serviços de Qualquer Natureza) e no futuro, quando a usina estiver gerando energia, a União, os estados e os municípios receberão *royalties* pelo uso da água.

Essa obrigatoriedade ocorre por conta da instituição da lei 9.433/97 que aborda a Política Nacional de Recursos Hídricos. O artigo 1º desta lei apresenta os seguintes fundamentos:

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

Já o artigo 2º enumera os seus três objetivos:

- I. assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
- II. a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
- III. a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

O capítulo IV da referida lei, no artigo 5º, lista os seis instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos:

- I. os Planos de Recursos Hídricos;
- II. o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
- III. a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
- IV. a cobrança pelo uso de recursos hídricos;
- V. a compensação a municípios;
- VI. o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

O item V deste artigo foi cumprido no empreendimento em questão ao se dizer que foram pagos *royalties* aos municípios atingidos.

A seção IV – Da Cobrança Do Uso De Recursos Hídricos do referido capítulo da lei apresenta quatro artigos (19 a 23), sendo que dois deles (20 e 23) foram vetados. Abaixo são descritos os artigos que não foram vetados:

No artigo 19 aparecem os objetivos da cobrança:

- I. reconhecer a água com bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor;
- II. incentivar a racionalização do uso da água;
- III. obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos.

O artigo 21 fala sobre o que deve ser observado ao se fixar os valores a serem cobrados pelo uso dos recursos hídricos:

- I. nas derivações, captações e extrações de água, o volume retirado e seu regime de variação;
- II. nos lançamentos de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, o volume lançado e seu regime de variação e as características físico-químicas, biológicas e de toxicidade do afluente.

Já o artigo 22 diz que os valores arrecadados deverão ser aplicados prioritariamente na bacia hidrográfica em que foram gerados sendo utilizados:

- I. no financiamento de estudos, programas, projetos e obras incluídos nos planos de recursos hídricos;

II. no pagamento de despesas de implantação e custeio administrativo dos órgãos e entidades integrantes do sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos.

§ 1º - A aplicação nas despesas previstas no inciso II deste artigo é limitada a sete e meio por cento do total arrecadado.

§ 2º - Os valores previstos no caput deste artigo poderão ser aplicados a fundo perdido em projetos e obras que alterem, de modo considerado benéfico à coletividade, a qualidade, a quantidade e o regime de vazão de um corpo de água.

Além do lado financeiro houve muitos benefícios para as comunidades ribeirinhas: a empresa responsável pela construção do complexo, Furnas, teve que construir um sistema de tratamento de esgotos, pois essa era uma das condicionantes para obter a Licença de Instalação (LI). Este sistema inclui três estações de tratamento (ETE's) nas localidades de Anta, Sapucaia e Sapucaia de Minas e possui 25 km de redes coletoras. Cerca de mil imóveis, comerciais e residenciais, foram ligados a essas redes e espera-se tratar mais de três milhões de litros de esgoto por dia.

No município de Sapucaia foi construído um aterro sanitário em 2010 que atende às cidades de Três Rios, Sapucaia, Areal, São José do Vale do Rio Preto e Paraíba do Sul. O local recebe os dejetos que se acumularam durante anos e a céu aberto nas margens do rio Paraíba do Sul. A disposição de cerca de 12 toneladas de lixo diários colabora para a preservação do solo e evita a contaminação do lençol freático.

Com a construção do Bairro 21, 21 famílias que moravam na área de preservação permanente (APP) receberam novas casas, algumas com dois e outras com três quartos e áreas de 77 m² e 85 m², respectivamente, em um loteamento implantado próximo a seu antigo local de residência. Esse novo bairro localiza-se no distrito de Bemposta, em Três Rios, e conta com praças, escola e igreja. Possui excelente infraestrutura – rede de água com poço artesiano e reservatório, rede coletora e estação de tratamento de esgoto, rede de drenagem de águas pluviais, ruas asfaltadas e iluminação pública.


Para minimizar os impactos provocados, a empresa responsável criou quase 40 programas e subprogramas ambientais que incluem: monitoramento e resgate da fauna e ictiofauna, recomposição da vegetação e recuperação de áreas degradadas, dentre outros.

As principais características dos quatro municípios atingidos encontram-se abaixo.

4.1.3.1. Além Paraíba

A tabela 11 apresenta os indicadores socioeconômicos do município de Além Paraíba, além dos dados de população, área da unidade territorial e densidade demográfica.

Tabela 11: Características socioeconômicas do município de Além Paraíba

 <p>Figura 15: Recorte geográfico de Além Paraíba</p> <p>Fonte: IBGE (2013)</p> <p>Bioma: Mata Atlântica</p>	Indicadores Socioeconômicos	Valores
	População 2010 (hab.):	34.349
	Área da unidade territorial (km ²):	510,354
	Densidade demográfica (hab./km ²):	67,30
	Produto Interno Bruto (PIB) per capita (R\$):	18.849,69
	Índice de Desenvolvimento Humano 2000 (IDH-M):	0,777
	Taxa de alfabetização 2010 (%):	86,6
	Nº estabelecimentos de saúde SUS:	27
	Incidência de pobreza (2010) (%):	27,99
	Abastecimento de água – Nº. de economias abastecidas (2010):	11.805


Fonte: IBGE (2013)

Município localizado no interior do estado de Minas Gerais. Está na região conhecida como Zona da Mata.

4.1.3.2. Chiador

A tabela 12 apresenta os indicadores socioeconômicos do município de Chiador, além dos dados de população, área da unidade territorial e densidade demográfica.

Tabela 12: Características socioeconômicas do município de Chiador

 <p>Figura 16: Recorte geográfico de Chiador</p> <p>Fonte: IBGE (2013)</p> <p>Bioma: Mata Atlântica</p>	Indicadores Socioeconômicos	Valores
	População 2010 (hab.):	2.785
	Área da unidade territorial (km ²):	252,938
	Densidade demográfica (hab./km ²):	11,01
	Produto Interno Bruto (PIB) per capita (R\$):	10.021,83
	Índice de Desenvolvimento Humano 2000 (IDH-M):	0,719
	Taxa de alfabetização 2010 (%):	82,7
	Nº. estabelecimentos de saúde SUS:	3
	Incidência de pobreza (2010) (%):	20,91
	Abastecimento de água – Nº. de economias abastecidas (2010):	970


Fonte: IBGE (2013)

Município localizado no estado de Minas Gerais. Está situado na Zona da Mata, é banhado pelos rios Paraíba do Sul e Paraibuna. Sua economia se baseia na pequena lavoura (cana de açúcar, feijão e milho) e na pecuária bovina leiteira.

4.1.3.3. Sapucaia

A tabela 13 apresenta os indicadores socioeconômicos do município de Sapucaia, além dos dados de população, área da unidade territorial e densidade demográfica.

Tabela 13: Características socioeconômicas do município de Sapucaia

 Figura 17: Recorte geográfico de Sapucaia Fonte: IBGE (2013) Bioma: Mata Atlântica	Indicadores Socioeconômicos	Valores
	População 2010 (hab.):	17.525
	Área da unidade territorial (km ²):	541,711
	Densidade demográfica (hab./km ²):	32,38
	Produto Interno Bruto (PIB) per capita (R\$):	23.052,41
	Índice de Desenvolvimento Humano 2000 (IDH-M):	0,742
	Taxa de alfabetização 2010 (%):	83,8
	Nº. estabelecimentos de saúde SUS:	15
	Incidência de pobreza (2010) (%):	35,26
	Abastecimento de água – Nº. de economias abastecidas (2010):	6.610


Fonte: IBGE (2013)

É conhecida como “cidade das mangas”, pois esse fruto é amplamente cultivado pelos habitantes locais. A origem do nome "Sapucaia" deve-se à existência no local, de grande quantidade de árvores conhecidas por sapucaias, que têm origem no termo indígena *yaçapucaí*. Apesar do nome tirado do fruto da árvore sapucaia, hoje não se encontram muitos exemplares na cidade.

4.1.3.4. Três Rios

A tabela 14 apresenta os indicadores socioeconômicos do município de Três Rios, além dos dados de população, área da unidade territorial e densidade demográfica.

Tabela 14: Características socioeconômicas do município de Três Rios

 Figura 18: Recorte geográfico de Três Rios Fonte: IBGE (2013) Bioma: Mata Atlântica	Indicadores Socioeconômicos		Valores
	População 2010 (hab.):		77.432
	Área da unidade territorial (km ²):		326,136
	Densidade demográfica (hab./km ²):		237,42
	Produto Interno Bruto (PIB) per capita (R\$):		22.363,32
	Índice de Desenvolvimento Humano 2000 (IDH-M):		0,782
	Taxa de alfabetização 2010 (%):		87,2
	Nº. estabelecimentos de saúde SUS:		33
	Incidência de pobreza (2010) (%):		27,01
	Abastecimento de água – Nº. de economias abastecidas (2010):		27.554

Fonte: IBGE (2013)

Já se destacou pela industrialização principalmente nos ramos ferroviário e alimentício, tendo declinado com a falência de duas grandes empresas da região. O oligopólio no setor comercial atrapalha o crescimento da cidade, inviabilizando a chegada de outras empresas. Atualmente, Três Rios vive um momento de prosperidade com diversas empresas se instalando no município devido à fase de crescimento econômico pela qual o país está passando e à privilegiada localização geográfica que permite o acesso rápido às principais estradas do país.

4.1.4. Características Geológicas e Geográficas da Região

Segundo Furnas, a região apresenta alto risco de fenômenos geológicos adversos, sendo o estudo fundamentado nos trabalhos de Valeriano (2006).

A geologia do entorno da AHE Simplício é constituída por um substrato cristalino de gnaisses, migmatitos e rochas granitoides de idade pressiluriana, intrudidos por diques de diabásio do Cretáceo Superior, recobertos parcialmente por depósitos superficiais. Esta cobertura cenozoica é representada por sedimentos aluvionares, colúvios e solos residuais.

A estruturação do cristalino é dominada pela ZCAP (Zona de Cisalhamento de Além Paraíba), uma expressiva faixa milonítica subvertical de alguns quilômetros de largura e dezenas de quilômetros de extensão (CAMPANHA, 1984). A movimentação desta zona de cisalhamento dúctil teve carácter notadamente transcorrente dextrógira, com desenvolvimento de foliação milonítica subvertical e lineação mineral sub-horizontal. Esta zona de cisalhamento tem forte expressão geomorfológica, na forma de um longo lineamento facilmente observável em cartas topográficas, fotografias aéreas e imagens de satélite.

A importância da ZCAP para o projeto em questão reside no fato de que grande extensão da calha do rio Paraíba do Sul encontra-se encaixada nesta zona de cisalhamento formando um longo trecho retilíneo desde Vassouras, a SW, até Muriaé, e NE, aproximadamente. Como os córregos Estaca e Simplício e outros menores da margem norte do rio Paraíba do Sul seguem a mesma estruturação, a sequência de canais e túneis previstos no projeto segue a mesma direção preferencial N60°E.

4.2. Etapas do Estudo

4.2.1. Seleção dos Pacotes de Serviço e dos Eventos de Risco

O primeiro passo desta etapa consistiu na definição dos pacotes de serviço e dos eventos de risco. Os riscos identificados na estrutura analítica do projeto do Aproveitamento de Simplício possuem fatores de riscos correlacionados que definem a estrutura analítica de riscos. O objetivo desta etapa é obter a matriz Pacote de Serviço x Evento de Risco.

Para determinar os riscos mais comuns associados a projetos de grande escala buscou-se o livro *Project Risk Management Guidelines* (2005). Nota-se que ele sugere determinados riscos que geralmente ocorrem em projetos de grande dimensão, o que não quer dizer que o gerente do projeto deva assumir todos eles, mas sim analisá-los caso a caso e definir se necessitam entrar na lista de riscos do empreendimento.

O capítulo 20 do guia apresenta alguns riscos que aparecem durante a construção de uma usina hidrelétrica e que podem causar onerosos custos, como: quantidade, custo unitário, cronograma e global. Já o capítulo 27 elenca uma série de exemplos que podem ser usados em projetos, dentre eles: político-social, custo e cronograma.

A apresentação *Hydroelectric Project Risk Analysis & the Bradley Lake Funding Model – Summary Report*, da empresa SNW Asset Management, relaciona mais alguns riscos e também eventos de risco, como: técnico, permissão e licenciamento, ambiental e geológico. Para simplificar o estudo de caso, os pacotes ambiental e geológico transformaram-se em um único pacote, o geoambiental; e o evento permissão e licenciamento será atribuído a sofrimento de multas ou penalizações regulatórias.

Assim, tem-se definidos os pacotes de serviço na tabela 15 e os eventos de risco na tabela 16.

Tabela 15: Pacotes de serviço do estudo de caso

	Pacotes de Serviço
GA	Geoambiental
TE	Técnico
SP	Social-político

Fonte: Autoria própria (2014)

Conforme dados coletados no P&D sobre Gestão de Riscos em Empreendimentos de Energia – Estudo de Caso da AHE Simplício-Queda Única e em sites especializados no empreendimento em questão, foram relacionados os seguintes motivos para as escolhas dos pacotes geoambiental, técnico e social-político.

a) Geoambiental

Assim que as escavações começaram, taludes se romperam, obrigando a um aumento no volume de escavação e na proteção por enrocamento dos taludes.

Com a ação das chuvas, aumentava-se o risco de colapso e de deterioração dos taludes nos canais.

Furnas consertou problemas de erosão preexistentes ao empreendimento, acertando a estabilização dos taludes e a revegetação de parte do mesmo.

A área de construção era bastante antropizada, com muitos focos de erosão, não existindo fragmento florestal, além de extremamente degradada.

A área de proteção permanente deverá ser revegetada em um período de cinco anos.

A ausência de um estudo de geologia mais específico na região do conduto forçado ocasionou a descoberta de uma falha geológica no momento da escavação entre os condutos 2 e 3.

Furnas teve de construir o aterro sanitário de Sapucaia.

A cidade de Sapucaia recebeu três ETA's e aproximadamente 1 km de rede.

Enquanto as obras de coleta e tratamento de esgoto da cidade ainda não haviam sido concluídas, o lançamento do efluente *in natura* era realizado diretamente no rio Paraíba do Sul, causando problemas ambientais.

Furnas foi obrigada a realizar obras de esgoto em três municípios. A ETE deveria ter capacidade adicional de tratar não apenas o esgoto das residências, mas ainda o chorume liberado pelo aterro sanitário que foi construído.



Figura 19: Retaludamento de encosta em Simplício

Fonte: Autoria própria (09/08/2012)

b) Técnico

Devido a alterações no projeto que mudaram o quantitativo de insumos para um valor maior, ocorreu, em alguns momentos, indisponibilidade desses insumos.

As linhas de transmissão deveriam ligar a usina de Anta à usina de Simplício e esta à Subestação Rocha Leão. Até agosto de 2012 nenhuma das duas ligações havia sido concluída.

Na mesma época, a parte civil do empreendimento já estava praticamente concluída e a parte eletromecânica estava mais de 50% concluída.

Simplício foi uma obra que levou a leilão um projeto básico incompleto, a exemplo das sondagens geológicas e teto financeiro mal estabelecido.

O estudo básico do projeto não previu a instabilidade do solo.

As carências que ocorreram no projeto executivo, a exemplo de erros de especificação, desencadearam a geração de pleitos por parte dos contratados.

Uma empresa foi contratada em tempo hábil para realizar as redes de esgoto, entretanto, não conseguiu atender ao contrato.

c) Político-social

A Licença de Operação não apresenta problemas com o Ibama, mas foi cassada pelo Ministério Público e estava vinculada à conclusão de coleta e ao tratamento de esgoto de Sapucaia.

O MP condicionou a Furnas que concluísse as ligações da rede de água com as residências, totalizando 75% de atendimento.

O aterro sanitário construído por Furnas resolveu o problema de um lixão que estava localizado próximo à Usina de Anta em área que estará alagada. Antigamente, a cada aumento de vazão no rio Paraíba do Sul, o lixo depositado naquele local era carregado espalhando esta poluição em outros pontos a jusante. Neste local em particular, o Ministério Público determinou, adicionalmente, a construção de um dique para evitar o alagamento e a possibilidade de contaminação da água no futuro.

Furnas foi obrigada a realocar 6 km de via férrea e 6 km de via rodoviária.

A questão fundiária envolveu 146 famílias, um número pequeno para o porte da usina, tendo sido totalmente resolvido.

Na época da importação dos equipamentos eletromecânicos, a Argentina havia estabelecido uma nova legislação há cerca de oito meses, de que os componentes importados como insumo de fabricação deveriam ter clara correspondência com o produto a ser fabricado no país e que seria exportado. Até agosto de 2012, a maioria

dos equipamentos para montagem das turbinas e geradores de Anta estava parada na fronteira entre Brasil e Argentina, impedindo o prosseguimento da montagem das duas máquinas de 14 MW cada.

Chegou a determinado momento da obra, em que o TCU não estava mais autorizando a realização de novos aditivos.



Figura 20: Realocação da FCA em Anta
Fonte: Aatoria própria (20/03/2012)

A seguir, as razões para a seleção dos eventos de risco.

Tabela 16: Eventos de risco do estudo de caso

Eventos de Riscos	
CR	Extrapolar o prazo
CT	Extrapolar o orçamento
MR	Sofrer multas ou penalizações regulatórias

Fonte: Aatoria própria (2014)

a) Extrapolar o prazo

Muitos atrasos ocorreram devido a demora na autorização do Ibama para novos desmatamentos.

Decorrente da alta demanda sobre a área jurídica, a falta de autonomia dos gerentes de projeto acabava também afetando o andamento da obra, a exemplo de impedimento no enchimento do reservatório por conta de processos judiciais envolvendo reassentados.

A reconstituição do talude do canal de fuga passou a ser tratada como um evento potencial de atraso.

A empresa responsável pela montagem eletromecânica não cumpriu o cronograma devido ao problema da ligação das linhas de transmissão.

Em agosto de 2012, a montagem eletromecânica estava atrasada.

Os empreiteiros não aceitavam prosseguir com a obra com a promessa de que seria feito um acerto financeiro futuro. Logo, a possibilidade de paralisação era dada como certa.

A necessidade de obras de reforço na região dos condutos 2 e 3 causaria um atraso de seis meses.

b) Extrapolar o orçamento

O valor inicial do projeto não condizia com a realidade, tendo sido calculado a partir de um projeto básico deficiente. Se fosse considerado o valor atual, certamente a TIR não consideraria o projeto viável. Em alguns momentos Furnas corria o risco de ter a obra paralisada por falta de dinheiro.

Alguns valores licitados para compra de materiais foram insuficientes. Na hora da licitação, as empresas apresentavam cotações mais baixas e após ganharem não tinham condições de cumprir a oferta.

Furnas estava pagando multas à ANEEL por conta dos atrasos de entrada em operação comercial.

Considerando o valor previsto inicial de R\$ 1,2 bilhões, comparado ao montante que foi despendido, R\$ 2,2 bilhões, notou-se que o orçamento original era irreal, calculado a partir de um projeto básico deficiente. A Lei Orçamentária Anual foi sendo revisada por decorrência de fatos imprevistos, que não foram antecipados nos projetos básico e executivo da obra.

Um dos motivos para o não cumprimento dos recursos comprometidos era a baixa cotação apresentada pela empresa no momento da licitação, abaixo de um teto estabelecido já irreal, e que acabava por comprometer seu orçamento e sua capacidade de atender às exigências estabelecidas no contrato.

Em um determinado momento, por falta de aditivos, a disponibilidade de recursos para os serviços necessários à finalização da obra se exauriu. Furnas não possuía dotação financeira para prosseguir com Simplício.

c) Sofrer multas e penalizações regulatórias

Em vários momentos Furnas era obrigada a recorrer ao Ibama em todas as ocasiões que havia escorregamentos de taludes para solicitar novos licenciamentos, com

aumentos sucessivos na supressão vegetal. O tempo necessário para a obtenção da autorização para o retaludamento junto ao Ibama era extremamente moroso.

Para a construção das ETE's o Ibama solicitou, primeiramente, um tratamento terciário. Mas como a água utilizada não serviria para consumo, o órgão aceitou que fosse feito um tratamento secundário.

Dentre as exigências impostas pelo Ibama, o projeto deveria manter uma vazão média de 200 m³/s para que fosse liberado o enchimento do reservatório.

Furnas solicitou à ANEEL um projeto de uma subestação com tecnologia mais recente e mais próxima da Usina, entretanto, o órgão foi irredutível com relação à localização da subestação em Rocha Leão.

4.2.2. Seleção do Especialista

Para determinar qual seria o especialista entrevistado, o critério utilizado foi o grau de importância e a intensidade de participação que o mesmo representava no Aproveitamento Hidrelétrico. Logo, foi escolhido um dos Gerentes de Projeto.

4.2.3. Formulário de Comparação Pareada

Nesta etapa da pesquisa de campo foi solicitado ao Gerente de Projeto selecionado que preenchesse um formulário de comparação pareada. Este formulário estava dividido em duas fases:

1ª) comparação pareada entre os Pacotes de Serviço e

2º) comparação pareada entre os Eventos de Risco dado determinado Pacote de Serviço – eram três tabelas.

O formulário pode ser observado nas tabelas 17 e 18.

Tabela 17: Comparação pareada entre Pacotes de Serviço
 Comparação pareada entre Pacotes de Serviço

GA X TE	
GA X SP	
TE X SP	

GA - Geoambiental

TE - Técnico

SP - Sócio político

Fonte: Autoria própria (2014)

Tabela 18: Comparação pareada entre Eventos de Risco

Comparação pareada entre Eventos de Risco segundo o Pacote de Serviço GEOAMBIENTAL

CR X CT	
CR X MR	
CT X MR	

CR- Extrapolar o prazo

CT - Extrapolar o orçamento

MR - Sofrer multas ou penalizações regulatórias

Comparação pareada entre Eventos de Risco segundo o Pacote de Serviço TÉCNICO

CR X CT	
CR X MR	
CT X MR	

CR- Extrapolar o prazo

CT - Extrapolar o orçamento

MR - Sofrer multas ou penalizações regulatórias

Comparação pareada entre Eventos de Risco segundo o Pacote de Serviço SÓCIO-POLÍTICO

CR X CT	
CR X MR	
CT X MR	

CR- Extrapolar o prazo

CT - Extrapolar o orçamento

MR - Sofrer multas ou penalizações regulatórias

Fonte: Aatoria própria (2014)

Para o preenchimento dessas tabelas, usou-se a técnica do *FAHP* com o auxílio da escala de nove pontos de Saaty (1980) da tabela 4. Solicitou-se que, dessa escala, fossem utilizados somente os números ímpares para não haver tanta dúvida na hora do preenchimento. O questionário aplicado ao especialista com as comparações pareadas encontra-se no Apêndice.

4.2.4. Métricas para Pacotes de Serviço e Eventos de Risco

Como foi explicado no item 3.2, o método *AHP* deve ser utilizado juntamente com outro método que possa quantificar. Neste caso, decidiu-se pela utilização dos números *fuzzy*. As comparações pareadas entre pacotes de serviço e eventos de risco são apresentadas na forma de matrizes, as quais serviram de entrada para o método *FAHP*. O grau de *fuzzificação* (δ) adotado neste estudo de caso foi igual a 0.5.

As matrizes triangulares *fuzzy* para o especialista entrevistado encontram-se no Apêndice.

Na tabela 19 serão calculados os pesos para os pacotes de serviço e nas seguintes (20 a 22) serão calculados os pesos dos eventos de risco dado um determinado pacote de serviço. O processo que será utilizado será a soma das linhas e das colunas.

Os valores das somas associadas S_i , das probabilidades de superioridade V , do vetor W' e do vetor normalizado W para os pacotes de serviço estão calculados no Apêndice, assim como para os eventos de risco segundo cada pacote de serviço.

Tabela 19: Soma das linhas e das colunas para os pacotes de serviço

	Soma das linhas	Soma das colunas
GA	(8, 9, 10)	(1.468, 1.533, 1.622)
TE	(3.786, 4.333, 4.9)	(3.786, 4.333, 4.9)
SP	(1.468, 1.533, 1.622)	(8, 9, 10)
Soma da soma das colunas		(13.254, 14.866, 16.522)

Fonte: Autoria própria (2014)

Tabela 20: Soma das linhas e das colunas para os eventos de risco segundo o pacote de serviço GA

GA	Soma das linhas	Soma das colunas
CR	(8, 9, 10)	(1.468, 1.533, 1.622)
CT	(1.468, 1.533, 1.622)	(8, 9, 10)
MR	(3.786, 4.333, 4.9)	(3.786, 4.333, 4.9)
Soma das somas das colunas		(13.254, 14.866, 16.522)

Fonte: Autoria própria (2014)

Tabela 21: Soma das linhas e das colunas para os eventos de risco segundo o pacote de serviço TE

TE	Soma das linhas	Soma das colunas
CR	(8, 9, 10)	(1.468, 1.533, 1.622)
CT	(3.786, 4.333, 4.9)	(3.786, 4.333, 4.9)
MR	(1.468, 1.533, 1.622)	(8, 9, 10)
Soma das somas das colunas		Soma da soma das colunas

Fonte: Autoria própria (2014)

Tabela 22: Soma das linhas e das colunas para os eventos de risco segundo o pacote de serviço SP

SP	Soma das linhas	Soma das colunas
CR	(10, 11, 12)	(1.419, 1.476, 1.554)
CT	(5.786, 6.333, 6.9)	(3.682, 4.2, 4.722)
MR	(1.315, 1.343, 1.376)	(12, 13, 14)
Soma das somas das colunas		(17.101, 18.676, 20.276)

Fonte: Autoria própria (2014)

4.3. Resultados do Modelo FAHP

Com a agregação dos valores dos pacotes de serviços e dos eventos de risco segundo um determinado pacote de serviço, o grau de impacto final pode ser determinado. As figuras 21 e 22 apresentam a hierarquização consolidada dos pacotes de serviço e dos eventos de risco.

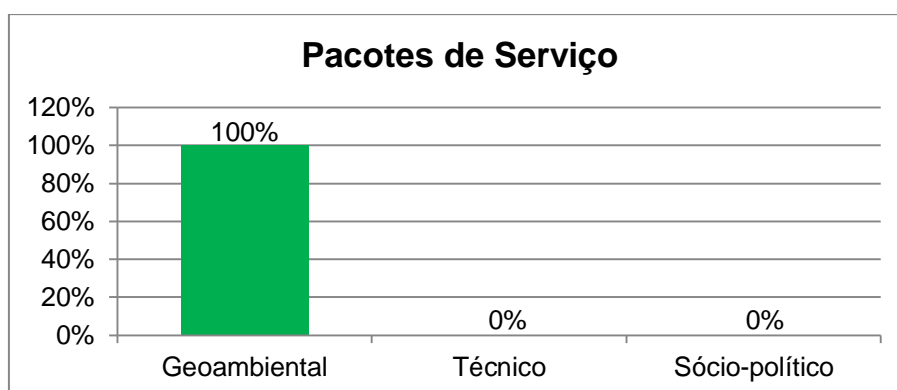


Figura 21: Gráfico apresentando o grau de impacto dos riscos, em porcentagem.

Fonte: Autoria própria (2014)



Figura 22: Gráfico apresentando o grau de impacto dos eventos de risco, em porcentagem.

Fonte: Autoria própria (2014)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A finalidade deste estudo era ordenar os riscos mais preocupantes do empreendimento analisado com o auxílio da Análise de Decisão Multicritério denominada FAHP. Foi pedido ao especialista que considerasse os riscos desde o início da obra até o seu término.

A decisão pela escolha da análise semi-quantitativa foi muito boa, pois foi possível valorar, com o auxílio da escala de Saaty, a opinião do participante. Se tivesse sido escolhida a análise qualitativa, e se houvesse mais de uma opinião, a hierarquia consolidada não poderia ter sido obtida, porque este tipo de análise forneceria, subjetivamente, o *ranking* dos riscos e dos eventos de riscos para cada um dos entrevistados segundo critérios como: *catastrófica, alta, moderada, pequena e insignificante*, além de não considerar as imprecisões dos julgamentos.

Com a técnica da Estrutura Analítica de Processo Semi-quantitativa foi possível segregar os macroprocessos (pacotes de serviço) em atividades (eventos de risco), o que facilitou bastante a abordagem da metodologia proposta.

Com a aplicação da lógica Fuzzy associada ao AHP conseguiu-se realizar a hierarquia de cada pacote de serviço para o referido participante. Para ele, o único pacote que importa é o Geoambiental que, de fato, foi o que causou maiores problemas aos empreiteiros.

Dentre os eventos de risco, pelo resultado obtido nota-se que Extrapolar o orçamento (CT) e Sofrer multas ou penalizações regulatórias (MR) não foram fatores relevantes para o projeto, pois os custos da obra eram estimados em R\$ 1,3 bilhão na época do leilão, em 2005, ultrapassaram R\$ 2,2 bilhões e sempre que Furnas requisitava, o TCU liberava um novo aditivo para o empreendimento. Já as multas e as penalizações regulatórias advieram de grandes problemas que ocorreram principalmente por conta de intervenções estatais, como o Ministério Público e o Ibama, que exigiram paralisações até que os problemas fossem sanados.

Para o especialista, como o Complexo deveria ter sido entregue em agosto de 2011 mas só entrou em operação dois anos depois, isso causou um grande prejuízo financeiro para a empresa.

Comparando os resultados obtidos com o que foi coletado sobre o empreendimento observa-se que aqueles representaram fielmente as informações, pois todas as vezes

que houve pesquisas de campo no local, os funcionários comentavam sobre os problemas ambientais e geológicos que ocorreram.

Vale destacar que o objetivo precípua do trabalho desenvolvido é servir de inspiração para os futuros empreendedores de novas construções de usinas hidrelétricas. Essa técnica irá ajudar na tomada de decisões, analisando o que é mais vantajoso ou desfavorável.

Com esse pequeno modelo, esses empreendedores poderão reunir os seus especialistas de diversas áreas – financeira, técnica, operacional, de engenharia, de contratos – para discutir sobre os possíveis problemas que poderão aparecer na construção do novo projeto, seja ele PCH, UHE ou até mesmo uma eólica. Isso ajudará a reduzir os custos caso um evento identificado preliminarmente venha a ocorrer.

Sem mais, esse novo aprendizado foi muito proveitoso e interessante. Conhecer e visitar uma usina hidrelétrica ainda na fase de construção é uma oportunidade única. Além disso, trabalhar com um estudo de caso complexo com a obra de Simplício foi ótimo, pois muitos dos problemas que podem aparecer em um empreendimento desse porte apareceram por lá, o que agregou valor ao estudo realizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPANHA, G. A. C. e FERRARI, A. L., Lineamento de Além Paraíba: um exemplo de zona de cisalhamento. In: Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, p. 5425-5432, 1984.

CHANG, D.Y., "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP", *European Journal of Operational Research*, v.95, n.3, pp.649-655, 1996.

COOPER, D. et al., *Project Risk Management Guideline: Managing Risk in Large Projects and Complex Procurements*, Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 2005.

COSO: Gerenciamento de Riscos na Empresa – Estrutura Integrada: Sumário Executivo e Estrutura e Gerenciamento de Riscos na Empresa – Integrated Framework: Application Techniques, 2 vol. set, 2007.

COYLE, G. *The Analytic Hierarchy Process (AHP)*, 2004.

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S/A, Relatório de Prestação de Serviços Técnicos Especializados para a Execução do Projeto de P&D: "Sistema de Gerenciamento de Riscos em Empreendimentos de Energia" – Resultado da Pesquisa de Campo AHE Simplício - Queda Única, Rio de Janeiro, 2012.

MEIXNER, O. *Fuzzy AHP Group Decision Analysis and its Application for the Evaluation of Energy Sources*, 2011.

MILLER, R. e LESSARD, D. *Understanding and managing risks in large engineering projects*, 2001.

PRADO, D. S., *Planejamento e Controle de Projeto*, Série: Gerência de Projetos, vol.2, ed. DG, p.71-83, 1998.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, PMI. *Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK)*, ed. 4, Pennsylvania: 14 Campus Boulevard, 2008.

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

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. *Decision making with the analytic network process: economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks*. New York: Springer, 2006.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process*. Massachusetts: Kluwer, 2001.

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

SAXENA, V., JAIN, M. et al. *Fuzzy Delphi Hierarchy Process and Its Application to Improve Indian Telemedical Services*, 2010.

TANG, Y. e BEYNON, M. *Application and Development of a Fuzzy Analytic Hierarchy Process within a Capital Investment Study*, 2005.

VALERIANO, C. M. *Reconhecimento Geológico-Estrutural da Área do AHE Simplício (RJ)*. Relatório técnico, 2006.

VARELLA, L. et al., *Como se Tornar um Profissional em Gerenciamento de Projetos: Livro-Base de Preparação para Certificação PMP – Project Management Professional*, Rio de Janeiro, Qualitymark, 2004.

REFERÊNCIAS ELETRÔNICAS

ANA. Agência Nacional de Águas. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>> Acesso em: 26/07/2013.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>> Acesso em: 13/11/2013.

BEN - Balanço Energético Nacional 2013. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/2_-_BEN_-_Ano_Base/1_-_BEN_Portugues_-_Ingls_-_Completo.pdf> Acesso em 13/11/2013.

Definição de Brainstorming. Disponível em: <<http://www.significados.com.br/brainstorming/>> Acesso em 28/05/2014.

Eletrobrás. Disponível em: <<http://www.eletrobras.com/elb/data/Pages/LUMIS21D128D3PTBRIE.htm>> Acesso em: 14/11/2013.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: <www.epe.gov.br> Acesso em: 11/05/2013.

Furnas. Disponível em: <<http://www.furnas.com.br/detalhesNoticiaExterna.aspx?Tp=N&idN=1125>> Acesso em 28/07/2013.

Hydroelectric Project Risk Analysis & the Bradley Lake Funding Model – Summary Report. Disponível em: <<ftp://ftp.aidea.org/RailbeltLargeHydro/RLHRiskAnalysis.pdf>> Acesso em: 27/03/2014

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <www.ibge.gov.br> Acesso em: 28/07/2013.

Informações sobre Lógica Fuzzy. Disponível em: <<http://www.inf.ufsc.br/~mauro/ine5371/slide/AulaFuzzy.pdf>> Acesso em 29/06/2014.

Infraestrutura Urbana. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/29/artigo292642-1.aspx>> Acesso em: 13/04/2014.

Economia IG. Disponível em <<http://economia.ig.com.br/empresas/infraestrutura/mp-do-rio-acusa-ibama-de-ser-leviano-por-liberar-hidreletrica/n1597737895976.html>> Acesso em 27/04/2014.

Lei 9.433/1997 - Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm> Acesso em 29/06/2014.

O Empreiteiro. Disponível em: <http://www.oempreiteiro.com.br/Publicacoes/13002/Complexo_de_Simplicio_tem_obras_ao_longo_de_30_km_do_rio_Paraiba_do_Sul.aspx> Acesso em: 27/07/2013.

Portal PCH. Disponível em: <<http://www.portalpch.com.br/index.php/96-saiba-mais/111-pld-preco-de-liquidacao-das-diferencas>> Acesso em 18/11/2013.

SIPOT - Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro. Disponível em: <<https://www.eletronbras.com/ELB/data/Pages/LUMIS21D128D3PTBRIE.htm>> Acesso em 28/05/2014.

WIKIPEDIA. Analytic Hierarchy Process. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Analytic_Hierarchy_Process> Acesso em: 20/11/2013.

APÊNDICE

FORMULÁRIO

- **Especialista:** gerente de projeto de Simplício

Comparação Pareada entre os Pacotes de Serviço

GA X TE	3
GA X SP	5
TE X SP	3

GA - Geoambiental

TE - Técnico

SP - Sócio político

Comparação pareada entre Eventos de Risco segundo o Pacote de Serviço GEOAMBIENTAL

CR X CT	5
CR X MR	3
CT X MR	1/3

CR - Extrapolar o prazo

CT - Extrapolar o orçamento

MR - Sofrer multas ou penalizações regulatórias

Comparação pareada entre Eventos de Risco segundo o Pacote de Serviço TÉCNICO

CR X CT	3
CR X MR	5
CT X MR	3

CR - Extrapolar o prazo

CT - Extrapolar o orçamento

MR - Sofrer multas ou penalizações regulatórias

Comparação pareada entre Eventos de Risco segundo o Pacote de Serviço SÓCIO-POLÍTICO

CR X CT	3
CR X MR	7
CT X MR	5

CR - Extrapolar o prazo

CT - Extrapolar o orçamento

MR - Sofrer multas ou penalizações regulatórias

Cálculo das Matrizes Fuzzy para o Especialista

	GA	TE	SP
GA	(1, 1, 1)	(2.5, 3, 3.5)	(4.5, 5, 5.5)
TE	(0.286, 0.333, 0.4)	(1, 1, 1)	(2.5, 3, 3.5)
SP	(0.182, 0.2, 0.222)	(0.286, 0.333, 0.4)	(1, 1, 1)

GA	CR	CT	MR
CR	(1, 1, 1)	(4.5, 5, 5.5)	(2.5, 3, 3.5)
CT	(0.182, 0.2, 0.222)	(1, 1, 1)	(0.286, 0.333, 0.4)
MR	(0.286, 0.333, 0.4)	(2.5, 3, 3.5)	(1, 1, 1)

TE	CR	CT	MR
CR	(1, 1, 1)	(2.5, 3, 3.5)	(4.5, 5, 5.5)
CT	(0.286, 0.333, 0.4)	(1, 1, 1)	(2.5, 3, 3.5)
MR	(0.182, 0.2, 0.222)	(0.286, 0.333, 0.4)	(1, 1, 1)

SP	CR	CT	MR
CR	(1, 1, 1)	(2.5, 3, 3.5)	(6.5, 7, 7.5)
CT	(0.286, 0.333, 0.4)	(1, 1, 1)	(4.5, 5, 5.5)
MR	(0.133, 0.143, 0.154)	(0.182, 0.2, 0.222)	(1, 1, 1)

Fonte: Autoria própria (2014)

Cálculo dos Pesos dos Pacotes de Serviço e dos Eventos de Risco

- Pacotes de Serviço: GA, TE, SP

Os cálculos das somas associadas S_i para os pacotes de serviço seguem abaixo:

$$S_1 = (8, 9, 10) * \left(\frac{1}{16.522}, \frac{1}{14.866}, \frac{1}{13.254} \right) =$$

$$S_1 = (0.484203, 0.605408, 0.754489);$$

$$S_2 = (3.786, 4.333, 4.9) * \left(\frac{1}{16.522}, \frac{1}{14.866}, \frac{1}{13.254} \right) =$$

$$S_2 = (0.229149, 0.291470, 0.369700);$$

$$S_3 = (1.468, 1.533, 1.544) * \left(\frac{1}{16.522}, \frac{1}{14.866}, \frac{1}{13.254} \right) =$$

$$S_3 = (0.088851, 0.103121, 0.122378).$$

E os cálculos das probabilidades de superioridade de um número *Fuzzy* em relação a outro são:

$$V(S_1 > S_2) = 1; V(S_1 > S_3) = 1;$$

$$V(S_2 > S_1) = 0; V(S_2 > S_3) = 1;$$

$$V(S_3 > S_1) = 0; V(S_3 > S_2) = 0.$$

Com isso, calcula-se o vetor W' composto do mínimo das probabilidades V dos pacotes de serviço relacionados entre si:

$$W' = (1, 0, 0)$$

A partir do vetor W' pode-se encontrar W , que representa o vetor normalizado. Por um acaso, os vetores serão iguais.

$$W = (1, 0, 0)$$

- Eventos de Risco: GA, TE, SP.

* Segundo o Pacote de Serviço GA

$$S_{1CR} = (0.484203, 0.605408, 0.754489); S_{1CT} = (0.088851, 0.103121, 0.122378);$$

$$S_{1MR} = (0.229149, 0.291470, 0.369700)$$

$$V(S_{1CR} > S_{1CT}) = 1; V(S_{1CR} > S_{1MR}) = 1;$$

$$V(S_{1CT} > S_{1CR}) = 0; V(S_{1CT} > S_{1MR}) = 0;$$

$$V(S_{1MR} > S_{1CR}) = 0; V(S_{1MR} > S_{1CT}) = 1$$

$$W'_1 = (1, 0, 0)$$

$$W_1 = (1, 0, 0)$$

* Segundo o Pacote de Serviço TE

$$S_{2CR} = (0.284203, 0.605408, 0.754489); S_{2CT} = (0.229149, 0.291470, 0.369700);$$

$$S_{2MR} = (0.088851, 0.103121, 0.122378)$$

$$V(S_{2CR} > S_{2CT}) = 1; V(S_{2CR} > S_{2MR}) = 1;$$

$$V(S_{2CT} > S_{2CR}) = 0; V(S_{2CT} > S_{2MR}) = 1;$$

$$V(S_{2MR} > S_{2CR}) = 0; V(S_{2MR} > S_{2CT}) = 0$$

$$W'_2 = (1, 0, 0)$$

$$W_2 = (1, 0, 0)$$

* Segundo o Pacote de Serviço SP

$$S_{3CR} = (0.493194, 0.588991, 0.701713); S_{3CT} = (0.285362, 0.339098, 0.403485);$$

$$S_{3MR} = (0.064855, 0.071910, 0.080463)$$

$$V(S_{3CR} > S_{3CT}) = 1; V(S_{3CR} > S_{3MR}) = 1;$$

$$V(S_{3CT} > S_{3CR}) = 0; V(S_{3CT} > S_{3MR}) = 1;$$

$$V(S_{3MR} > S_{3CR}) = 0; V(S_{3MR} > S_{3CT}) = 0$$

$$W'_3 = (1, 0, 0)$$

$$W_3 = (1, 0, 0)$$

Para encontrar a hierarquia final dos eventos de riscos, agregam-se os valores dos vetores W'_i .

$$W' = (3, 0, 0)$$

$$W = (1, 0, 0)$$

Anexo

Anexo A: Delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

