



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LUIZ CARLOS MAGALHÃES OLIMPIO

MODELO FUZZY PARA ANÁLISE DE RISCOS EM PROJETOS DE EDIFICAÇÕES

FORTALEZA

2017

LUIZ CARLOS MAGALHÃES OLIMPIO

MODELO FUZZY PARA ANÁLISE DE RISCOS EM PROJETOS DE EDIFICAÇÕES

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Dra. Vanessa Ribeiro Campos.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

O39m Olimpio, Luiz Carlos Magalhães.
Modelo fuzzy para análise de riscos em projetos de edificações / Luiz Carlos Magalhães Olimpio. – 2017.
110 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2017.
Orientação: Profa. Dra. Vanessa Ribeiro Campos.

1. Modelo Fuzzy. 2. Análise de Riscos. 3. Construção Civil. I. Título.

CDD 620

LUIZ CARLOS MAGALHÃES OLIMPIO

MODELO FUZZY PARA ANÁLISE DE RISCOS EM PROJETOS DE EDIFICAÇÕES

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Vanessa Ribeiro Campos (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Silvrano Adonias Dantas Neto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Rodrigo Amaral de Codes
Universidade Estadual do Ceará (UFC)

“Our intuitive attitude to life implies non-illusory, non-empty, non-powerless decision, since decision in this sense excludes both perfect foresight and anarchy in nature, it must be defined as choice in face of bounded uncertainty.” (SHACKLE, 2010)

AGRADECIMENTOS

À Prof. Dr.^a Vanessa Ribeiro Campos, orientadora deste trabalho, pela sua competência, dedicação e incentivo.

Aos professores Silvrano Adonias Dantas Neto e Rodrigo Amaral de Codes, participantes da banca examinadora de defesa de monografia, pelo tempo despendido na avaliação e julgamento deste trabalho, como também pelas importantes sugestões.

Aos gestores entrevistados, pelo tempo concedido nas entrevistas.

Aos meus pais, pelo apoio e encorajamento durante esta caminhada.

RESUMO

A construção civil está incorporada à um ambiente complexo e dinâmico, onde uma grande variedade de fatores, muitas vezes desconhecidos, são influentes sobre os objetivos das organizações e projetos. Este ambiente se torna ainda mais complexo devido a necessidade de associar respostas rápidas e precisas em um mercado extremamente competitivo. Para atingir essa demanda, ferramentas capazes de prover estas soluções neste cenário vem sendo incorporadas ao modelo de gestão, com a intenção de auxiliar o gestor nas tomadas de decisões. Estas ferramentas devem ser capazes de compor sistemas que identificam e analisam estes fatores, permitindo que o decisor trace caminhos que evitem riscos e promovam oportunidades. Assim, o gerenciamento de riscos foi integrado ao gerenciamento de projetos, viabilizando a efetividade dos procedimentos que tangem esta problemática. Muitas ferramentas que auxiliam no gerenciamento de risco têm sido desenvolvidas na literatura, e aplicadas em casos reais. Para lidar com os dados incertos e incompletos deste cenário, onde também a linguagem natural é uma das variáveis mais utilizadas na caracterização do ambiente, vários destes estudos vêm incorporando a lógica *fuzzy*. Este trabalho se propõe a elaborar um modelo que adote a lógica *fuzzy* para analisar fatores de riscos em função dos critérios mais importantes na caracterização dos objetivos de um projeto, que são a qualidade, o custo e o tempo. Em um primeiro momento irá se discorrer minuciosamente sobre o gerenciamento de riscos no setor da construção civil, permitindo apresentar o setor, e a sua necessidade do uso desta ferramenta. Em diante são apresentados os fundamentos da lógica *fuzzy* que serão aplicados na metodologia. Se propõe então um sistema de inferência *fuzzy* baseado em Mamdani, onde foram elaboradas funções de agrupamento para cada um dos critérios considerados e para a saída risco, além de regras que compõem a relação entre estas variáveis. O modelo incorpora este método de inferência na análise de um caso, para então retornar valores de riscos que devem auxiliar o gestor na tomada de decisão. Para elaborar uma discussão em torno do modelo e avaliar sua validade dois cenários são criados e simulados através de uma análise de sensibilidade. Como finalização do trabalho retornam-se conclusões sucintas sobre pontos discutidos e são produzidas perspectivas para este estudo.

Palavras-chave: Modelo *Fuzzy*, Análise de Riscos, Construção Civil

ABSTRACT

The civil construction is inserted in a complex and dynamic environment, where a wide variety of factors, often unknown, are influential on the goals of organizations and projects. This environment becomes even more complex due to the need to associate fast and accurate responses in an extremely competitive market. To reach this demand, tools capable of providing these solutions in this scenario have been incorporated into the management model, with the intention of assisting the manager in the decision-making. These tools should be able to create systems that identify and analyze these factors, allowing the decision maker trace paths to avoid risks and promote opportunities. As a result, risk management has been integrated into project management, enabling the effectiveness of the procedures that concern this issue. Many tools that assist in risk management have been developed in the literature and applied in real cases. In order to deal with the uncertain and incomplete data present in this scenario, where natural language is also one of the most used variables in the environmental characterization, several of these studies have been incorporating the fuzzy logic. This study aims to develop a model that adopts fuzzy logic to analyze the risk factors in terms of the most important criteria for the objectives characterization of a project, which are quality, cost and time. In a first moment it will be detailed discussed the risk management in the construction sector, allowing to present the sector, and its necessity of the use of this tool. Forwards, are presented the fundamentals of fuzzy logic that will be applied in the methodology. Then it is proposed a fuzzy inference system based on Mamdani, where grouping functions were elaborated for each of the considered criteria and for the output risk, then rules that make the relationship between these variables were built. The model incorporates this method of inference in the analysis of a case, to return values of risks that should assist the manager in the decision-making. To elaborate a discussion around the model and to evaluate its validity two scenarios are created and simulated through a sensitivity analysis. As the closure of this work, succinct conclusions are made on points discussed and perspectives are composed for this study.

Keywords: *Fuzzy Model*, Risk Analysis, Civil Construction

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Equilíbrio entre atividades de planejamento e controle.	24
Figura 2: Fases do desenvolvimento do empreendimento e suas etapas	30
Figura 3: Curva de Esforço (LoE) e a distribuição de principais etapas nas fases de um projeto.	31
Figura 4 - Influência sobre mudanças e os custos para efetua-las durante a construção.	43
Figura 5: Modelo idealizado de esforço sobre o gerenciamento de risco durante o ciclo de vida do projeto.	45
Figura 6: Incerteza em projetos de construção,	46
Figura 7: Diagrama de Processos da Metodologia.	63
Figura 8: Processos em modelo de inferência Mamdani.	71
Figura 9: Funcionamento de inferência no Modelo.	72
Figura 10: Máquina de inferência Mamdani.	73
Figura 11: Função de Agrupamento para o critério Qualidade.	75
Figura 12: Função de Agrupamento para o critério Custo.	100
Figura 13: Função de Agrupamento para o critério Prazo.	100
Figura 14: Função de Agrupamento para o saída Risco.	100
Figura 15: Funcionamento de Inferência para Entradas 8, 12% e 5 meses.	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Riscos controláveis e incontroláveis do processo de design de projetos.	52
Tabela 2: Riscos associados ao processo de contratos e aquisições.	54
Tabela 3: Resultados Parciais de Descrição dos Fatores de Risco.	66
Tabela 4 - Descrição de Incertezas/Fatores de Risco à analisar	67
Tabela 5: Resultados Parciais de Descrição de Critérios.....	69
Tabela 6: Relação de Fatores de Riscos e Critérios.....	69
Tabela 7: Influência de Fatores de Risco sob Critérios.	70
Tabela 8: Funções de Agrupamento.	74
Tabela 9: Regras para Máquina de Inferência	76
Tabela 10: Valores discretos de Risco da aplicação do Modelo e Graus de Pertinência.	78
Tabela 11: Valores discretos de Risco em em Caso e Cenário 1	81
Tabela 12: Valores discretos de Risco em em Caso e Cenário 2.....	85
Tabela 13: Função de Agrupamento para Cenário 1	103
Tabela 14: Regras para Cenário 1	104
Tabela 15: Função de Agrupamento para Cenário 2.	106
Tabela 16: Regras para Cenário 2.....	107

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Comparações entre prazos de licenciamento e construção no Brasil, EUA e EU. ...	22
Gráfico 2: Saída Gráfica do Matlab: Superfície para Prazo x Custo x Risco.	77
Gráfico 3: Ranking de Riscos.	79
Gráfico 4: Saída gráfica de relação custo e qualidade. (a) caso (b) cenário 1.	81
Gráfico 5: Ranking de riscos do Cenário 1 e comparação com Caso.	82
Gráfico 6: Fatores de Risco e Barras de Critérios para Cenário 1.	83
Gráfico 7: Saída gráfica de relação prazo e custo. (a) caso real (b) cenário 2.	84
Gráfico 8: Ranking de riscos do Cenário 2 e comparação com Caso.	85
Gráfico 9: Fatores de Risco e Barras de Critérios para o Cenário 2.	87
Gráfico 10: Saída Gráfica do Matlab: Superfície para Custo x Qualidade x Risco.	102
Gráfico 11: Saída Gráfica do Matlab: Superfície para Prazo x Qualidade x Risco.	102
Gráfico 12: Saída Gráfica do Matlab para Cenário 1: Superfície para Prazo x Custo x Risco.	105
Gráfico 13: Saída Gráfica do Matlab para Cenário 1: Superfície para Prazo x Qualidade x Risco.	105
Gráfico 14: Saída Gráfica do Matlab para Cenário 2: Superfície para Custo x Qualidade x Risco.	108
Gráfico 15: Saída Gráfica do Matlab para Cenário 2: Superfície para Prazo x Qualidade x Risco.	108

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
DECONCIC	Departamento da Indústria da Construção
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICC	Indústria da Construção Civil
GP	Gerenciamento de Projetos
GR	Gerenciamento de Riscos
INRE	Instituto Nacional de Recuperação Empresarial
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
PIB	Produto Interno Bruto
PMBOK	Produto Interno Bruto

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Justificativa	17
1.2 Objetivos	19
1.3 Estrutura do Trabalho	20
2. REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 Indústria da Construção Civil	21
2.2 Planejamento na Construção Civil.....	23
2.3 Gerenciamento de Projetos	26
Projetos na Construção Civil.....	27
Ciclo de Vida de um Projeto	29
2.4 Gerenciamento de Riscos	32
Gerenciamento de Riscos em Projetos	33
Processos do Gerenciamento de Riscos	34
2.5 Gerenciamento de Riscos em Projetos da Construção Civil	36
Identificação e Classificação	37
Análise e Mensuração	39
Atitude Sobre o Risco	42
Riscos em Fases	44
Riscos na Pré-Construção.....	46
2.6 Sistema <i>Fuzzy</i>	55
Fundamentos dos Conjuntos Fuzzy.....	55
Números Fuzzy	57
Relações Fuzzy.....	58
Variáveis Linguísticas	59
Inferências Fuzzy	60
Defuzzificação.....	61

3. METODOLOGIA	62
3.1 Estruturação do Problema	64
3.2 Dados de Entrada	66
3.3 Máquina de Inferência <i>Fuzzy</i>	70
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
4.1 Aplicação em Caso	74
4.2 Análise de Sensibilidade	80
Cenário 1	80
Cenário 2	83
5. CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS	88
REFERÊNCIAS	91
APÊNDICE A – ILUSTRAÇÕES GRÁFICAS DE RESULTADOS	100
APÊNDICE B – DADOS DA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	103
ANEXO A – TÉCNICAS DE ANÁLISE DE RISCO	109
ANEXO B – FATORES QUE AFETAM CRONOGRAMA	110
ANEXO C – PROBLEMAS COM DOCUMENTOS DE DESIGN	111

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil tem um papel socioeconômico e estratégico importante no desenvolvimento do país por ser um dos setores que mais contribuem com o produto interno bruto (PIB) e pela grande geração de empregos, o setor inclui ainda toda a complexa cadeia de atividades ligada a construção, como serviços ligados direta e indiretamente ao ramo, fornecedores de insumos industriais e outros. No primeiro semestre de 2015 a indústria da construção civil representava 10,1% do PIB total do país, ainda, de acordo com dados apresentados pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2016) obtidos através dos levantamentos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a indústria ocupava mais de 9 milhões de empregados em 2014, o que representou aproximadamente 8,67 % dos empregos para aquele ano.

A construção civil no Brasil enfrenta diversas dificuldades operacionais e gerenciais, como técnicas construtivas ultrapassadas, mão de obra desqualificada, não conformidade de serviços e produtos, baixa qualidade do produto final, baixa produtividade e processos gerenciais deficientes (FREJ; ALENCAR, 2010). Estes problemas podem ser atribuídos, mas não somente, à heterogeneidade do produto, que requer um planejamento não padronizado, a grande influência de fatores externos, como os fatores climáticos, ao processo de subcontratação, ao relacionamento com as distribuidoras de insumo na construção civil, e a negligência aos procedimentos e técnicas de gestão.

Segundo Thomaz (2001), o aperfeiçoamento dos sistemas de organização das empresas construtoras e das obras e o planejamento adequado de suprimentos e fornecedores ajudam na qualidade da construção, mas por si só não garantem a evitar falhas. Azevedo *et al* (2011) descrevem que um correto gerenciamento de projeto de construção civil deve considerar suas propriedades específicas, dentre elas estão a mobilização de uma grande quantidade de materiais, o conflito entre *stakeholders*, o ambiente dinâmico e complexo, e uma avaliação do grau de risco. Frej e Alencar (2010) complementam ao dizer que empresas de construção civil vem enfrentando dificuldades e em consequência perdendo competitividade devido ao não uso de modelos de gerenciamento de projetos.

As incertezas são inerentes a qualquer empreendimento, e em projetos de construção civil elas estão ainda mais evidentes (TAH; CARR, 2001). O efeito destas incertezas sobre os objetivos da organização é chamado de “risco” (ABNT 31000, 2009), no entanto o entendimento de risco é distinto de autor para autor e para a situação a qual se aplica, como Al-

Bahar e Crandall (1990) que definem risco como a exposição à chance de eventos adversos ou favoráveis que afetam os objetivos do projeto como consequência de uma incerteza.

Da segmentação do gerenciamento de projetos se tem o gerenciamento de riscos (PMI, 2013), que é uma ferramenta sistemática que trata exclusivamente da avaliação de projetos, empresas e outras organizações para identificar e analisar os riscos que podem influenciar nos seus objetivos (MILLS, 2001). Esta análise permite implementar ações para eliminar, evitar ou minimizar os riscos para então auxiliar nas tomadas de decisão (DOONAN, 2001).

Difícilmente as construtoras desenvolvem um programa de gestão de riscos no qual poderia quantificar e tratar os riscos sistematicamente, ao invés disso, costumam desenvolver regras baseadas na sua experiência e julgamento, método que é ineficiente na predição do impacto dos riscos sobre os objetivos do projeto (AL-BAHAR; CRANDALL, 1990). Sabe-se que quanto mais cedo os riscos forem identificados e analisados mais facilmente eles poderão ser devidamente tratados, e também aumenta-se as chances de encontrar oportunidades aproveitáveis para o projeto (KLEMETTI, 2006), além disso, nas fases iniciais deste a influência das partes interessadas sobre as mudanças é maior, enquanto o custo para executá-las é menor (PMI,2013).

O presente trabalho se propõe então a elaborar um modelo *fuzzy* para análise dos principais riscos identificados em projetos de edificações multifamiliares de padrão médio durante o planejamento, presentes também na fase de pré-construção, que compreende as fases de concepção e preparação do projeto. Para isto foram usadas ferramentas propostas pela literatura especializada e por autores de publicações sobre o tema, dentre elas cita-se o uso da revisão da documentação técnica, a consulta a profissionais da área, por especialistas e gerentes de projeto, que neste contexto será a pessoa responsável pelo planejamento, controle e tomadas de decisão no empreendimento, deste modo os resultados obtidos transmitem a percepção destes profissionais. Através da concepção e aplicação do modelo será realizado a caracterização dos riscos, permitindo assim observar a relação entre os fatores de risco e os critérios considerados.

1.1 JUSTIFICATIVA

A recessão econômica que afetou praticamente todos os mercados do mundo no início do século 21 ainda se mostra presente no cenário nacional. De acordo com o IPEA (2016), desde o segundo trimestre de 2014 o ciclo recessivo ainda atinge a economia brasileira. Os dados sobre o PIB divulgados pelo IBGE revelam uma economia em recessão, e a construção civil se mostra como um dos setores mais afetados, registrando no segundo semestre de 2016 o quinto recuo na margem de seis semestres, obtendo os piores resultados dentre os setores avaliados. Segundo o Instituto Nacional de Recuperação Empresarial (INRE) 339 empresas da construção civil entraram em recuperação judicial e 218 faliram entre janeiro e abril de 2016.

A Indústria da Construção Civil encontra dificuldades devido a diminuição de investimentos, principalmente o subsetor de obras públicas e residenciais (IPEA, 2016), ocasionando a redução na execução de projetos e conseqüentemente de faturamento. Diante desta realidade as empresas e organizações precisam procurar diferenciais para se manterem competitivas e sobreviverem. A adoção do gerenciamento de projetos de uma maneira sistemática ajuda a empresa a melhorar a qualidade, reduzir custos e prazos, e encontrar novas oportunidades (MOREIRA, 2016).

Akintoye e Macload (1997) afirmam que as incertezas dos projetos de construção civil influenciam o custo, o prazo e a qualidade. Mills (2001) acrescenta ao dizer que a construção civil é reconhecida por não conseguir gerenciar os riscos, resultando em muitos projetos falhando em cumprir prazos e metas de custo. Royer (2000) declara que o gerenciamento de riscos deveria ser um dos assuntos importantes para gerentes de projetos, já que riscos não gerenciados ou não mitigados são uma das principais causas da falha total do projeto.

De acordo com Zhi (1995), identificar e analisar os riscos apenas com o gerenciamento de projetos é uma tarefa difícil devido ao perfil único de cada projeto, de modo que os riscos nunca ocorrem da mesma maneira. Carr e Tah (2001) dizem que o uso sistemático do gerenciamento de riscos é necessário para combater a baixa performance, que é inerente nos projetos de construção civil.

O uso do gerenciamento de risco desde o início do projeto é ideal, pois ajuda a equipe se familiarizar com a ferramenta, a tornando mais efetiva, e permite a identificação, análise e tratamento de riscos com menos interferências no projeto (ISO 31000, 2009). Para Banaitiene e Banaitis (2012) um gerenciamento de risco efetivo encoraja a empresa de construção a quantificar, analisar e tratar os riscos durante todo o empreendimento, e quando

conseguem gerenciar o risco adequadamente reduzem custos financeiros, melhoram a produtividade, aumentam a taxa de sucesso em novos projetos, e melhoram as tomadas de decisão. Mills (2001) complementa ao dizer que o gerenciamento de risco de maneira sistemática permite uma análise de custo-benefício na etapa de tratamento dos riscos, a retirada de contingências desnecessárias, a aceitação de riscos para prevenir outros mais impactantes, e a realização de uma orçamento realístico, que considera os riscos.

A incrível complexidade e dinamicidade dos projetos de construção tem imposto incertezas substanciais e subjetividades no processo de análise de riscos (TAYLAN *et al*, 2014). A maioria dos problemas em análise de risco contém uma mistura de dados quantitativos e qualitativos; sendo assim técnicas quantitativas puras podem ser inadequadas. A aplicação de uma metodologia baseada em *fuzzy* permite a transformação das variáveis linguísticas, e do julgamento subjetivo, para lidar com os dados qualitativos (DIKMEN; BIRGONUL; HAN, 2007). A teoria *fuzzy* possui uma grande adaptabilidade à ambientes diversos, e vem sendo adaptada aos métodos de tomada de decisão (ZAVADSKAS *et al*, 2017). Estes métodos incluem a consideração de multicritérios e alternativas, e dados de entrada em forma de variáveis linguísticas.

Estudos vem sendo realizados com a proposta da teoria *fuzzy* na análise de risco (MOROTE; VILA, 2011; CAMPOS; LIMA, 2016; ZAVADSKAS *et al*, 2017), e não apenas se baseiam nas metodologias convencionais, desenvolvendo novos métodos e aplicações. Existe uma grande miscelânea de trabalhos que adotam os métodos de apoio a decisão com a teoria *fuzzy*, como *fuzzy*/TOPSIS (TAYLAN *et al*, 2014), *fuzzy*/AHP (ISIKI; ALADAG, 2017) e *fuzzy*/ELECTRE (CHEN; XU; XIA, 2015). No entanto, percebe-se que a lógica *fuzzy* quando aplicada com métodos de inferência já conceituados durante as primeiras aplicações em controladores (MAMDANI; ASSILIAN, 1975) é muito eficiente na determinação de fatores que podem auxiliar na tomada de decisão (CAMPOS; LIMA, 2016). Deste modo, se pretende conceber um modelo através do uso da teoria da lógica *fuzzy*, e dos conceitos fundamentais do apoio a decisão multicritério, para hierarquizar riscos e auxiliar na escolha dos decisores do projeto.

1.2 OBJETIVOS

Objetivo Geral

- Concepção de um modelo de análise de riscos para edificações que adota a teoria da lógica *fuzzy* em um ambiente multicritério.

Objetivos Específicos

- Apresentar a indústria da construção civil no âmbito dos riscos;
- Identificação de fatores de risco no ambiente delimitado;
- Avaliação de dados levantados para modelagem *fuzzy* multicritério; e
- Validação pela análise de sensibilidade de modelo proposto.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é estruturado em 5 capítulos:

No primeiro capítulo foi realizada uma introdução, que compreendeu a apresentação do tema a ser abordado e estudado. Também foram expostos a justificativa do estudo e os objetivos a serem atingidos com a finalização deste trabalho.

O capítulo 2 compreende na construção do referencial teórico, o qual avalia o peso e a confiabilidade de resultados de pesquisas anteriores, com a intenção de identificar pontos de consenso, bem como controvérsias, regiões de sombra e lacunas que merecem ser esclarecidas (ALVES-MAZZOTTI; GEWANDSZNAJDER, 1999). No capítulo 3 apresenta-se a metodologia proposta para a elaboração de um modelo fundamentado nos conceitos discutidos no capítulo anterior.

No capítulo 4, através da aplicação da metodologia proposta os resultados são apresentados, realizando-se uma breve discussão do sistema desenvolvido, a qual é aprofundada nesta seção durante a análise de sensibilidade, onde são simulados dois cenários para avaliar o funcionamento do modelo.

No capítulo 5 encontra-se a conclusão, onde se defende a importância do estudo realizado que teve como produto o modelo concebido. Ainda são relatadas percepções gerais que trazem pontos importantes, finalizando com a elaboração das perspectivas para o estudo, se propondo novas abordagens e alterações no modelo que podem resultar no seu aprimoramento.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A indústria da construção civil (ICC) tem um papel socioeconômico e estratégico importante no desenvolvimento do país por ser um dos setores que mais contribuem com o produto interno bruto (PIB) e pela grande geração de empregos, o setor inclui ainda uma grande cadeia de atividades ligada a construção, como serviços ligados direta e indiretamente ao ramo, fornecedores de insumos industriais e outros.

Segundo o Departamento da Indústria da Construção (DECONCIC), no primeiro semestre de 2015 a indústria da construção civil representava 10,1% do PIB total do país, ainda, de acordo com dados apresentados pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2016) obtidos através dos levantamentos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a indústria ocupava mais de 9 milhões de empregados em 2014, o que representou aproximadamente 8,67 % dos empregos para aquele ano.

Devido a indústria ser bastante artesanal, pouco industrializada, e com elevada empregabilidade, caracteriza um ambiente pouco controlado e com maior risco de acidentes (PIERI; TORRES; PEREIRA FILHO, 2016). Apenas em 2012 a Previdência Social registrou 62.874 acidentes provenientes de trabalhadores da construção civil, o que para aquele ano representou 8,92% dos acidentes registrados. Entre estes acidentes, 42,8% correspondem a acidentes na construção de edifícios ou empreendimentos imobiliários (BRASIL, 2014).

A complexa cadeia que engloba a ICC abrange setores industriais como: siderurgia, metalurgia, mineração, vidro, cerâmica, madeira, plásticos, equipamentos elétricos e mecânicos, e diversos prestadores de serviços, como escritórios de projetos, empreiteiras e incorporadoras (MELLO, 2007). A indústria também carrega grande responsabilidade devida sua relação com o meio ambiente, consumindo recursos naturais de uma forma substancial, seja na obtenção de matérias primas, na modificação do meio e nas consequências das relações ocasionadas por esta, e na geração de entulho.

O setor de construção civil abrange subsetores cujas atividades se relacionam apresentam dinâmicas de mercado distintas. O setor de construção é classificado em três divisões de acordo com IBGE na Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 2.0):

- i. Subsetor das Edificações: ligada a construção de edifícios e sua manutenção;

- ii. Subsetor da Construção Pesada: ligada a implantação da infraestrutura de transportes, energia, telecomunicação e saneamento bem como montagem de instalações industriais;
- iii. Subsetor de Serviços Especializados: como a preparação do terreno para construção, as instalações elétricas e hidráulicas e as obras de acabamento.

No entanto, percebe-se que quando se estuda a cadeia de construção civil, inclui-se o subsetor de materiais de construção, dada a sua relevância.

Mello e Amorim (2009) associam a baixa produtividade do mercado nacional aos:

- i. Trabalhadores com baixa qualificação;
- ii. Pouco interesse das pequenas e médias empresas em melhorar o nível de qualificação dos empregados;
- iii. Baixo investimento das empresas em pesquisa e desenvolvimento;
- iv. Ausência de investimentos e conhecimento das empresas em técnicas de pré-fabricação, modularização, gerenciamento e implantação de sistemas e ferramentas de TI;
- v. Pouca utilização de sistemas de planejamento do trabalho;
- vi. Altas taxas de desperdício de materiais e retrabalho.

Ainda, entre os problemas enfrentados pelo mercado da construção civil nacional, Mello e Amorim (2009) concluem que o prazo médio para obras de edificação no Brasil é três vezes maior do que os nas construções americanas e até duas vezes o gasto nas construções europeias. Quanto ao licenciamento, no Brasil se leva duas vezes mais tempo do que nos Estados Unidos e é 50% maior do que aquele gasto na União Europeia, dados ilustrados no Gráfico 1.

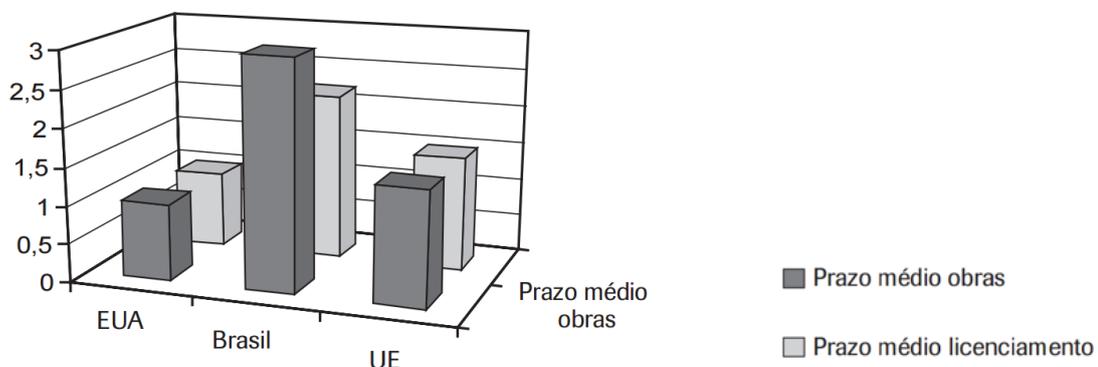


Gráfico 1: Comparações entre prazos de licenciamento e construção no Brasil, EUA e EU. Fonte: Mello e Amorim (2009)

De acordo com Moreira (2016), o setor de construção civil pode ser considerado um dos mais sensíveis às variações de mercado interno e procura do consumidor. Esta informação é constatada na queda de seus índices durante o período de recessão econômica a qual o país enfrenta. Os dados sobre o PIB divulgados pelo IBGE revelam que a construção civil se mostra como um dos setores mais afetados, registrando no segundo semestre de 2016 o quinto recuo na margem de seis semestres, obtendo os piores resultados dentre os setores avaliados (IPEA, 2016).

Deste modo percebe-se que se faz necessário desenvolver estratégias para promover a estabilização das empresas envolvidas na ICC. Isto pode ser efetuado com o auxílio da pesquisa científica, que permite entender os cenários para então adotar medidas que se adequem a realidade. De antemão, grande atenção tem se dado aos aspectos gerenciais dos projetos de construção, devido justamente as grandes deficiências já apresentadas, onde através da abordagem de todos os processos da gerência de projetos, torna-se possível criar caminhos que levem a tomada de decisões embasadas em fundamentos e que propiciam maior segurança em atingir os objetivos planejados previamente e racionalmente, encorajando o investimento em novos empreendimentos e nutrindo a competitividade do mercado.

2.2 PLANEJAMENTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Chiavenato (2003) trata o planejamento como a tarefa de traçar as linhas gerais do que deve ser feito e dos métodos de fazê-lo, a fim de atingir os objetivos da empresa. Abreviando, o planejamento determina antecipadamente quais são os objetivos a serem atingidos e como se deve fazer para alcançá-los, sendo esta a primeira função administrativa. Segundo o autor o planejamento ainda pode ser dividido em níveis distintos: o planejamento estratégico, o tático e o operacional.

O planejamento estratégico pode ser visto como a definição de ações necessárias para atingir os objetivos na visão da organização, de um mercado-alvo, de seus clientes, de seus produtos (AZEVEDO, 2013). De tal modo, o planejamento estratégico permite que a empresa identifique para onde deve se direcionar para ter a oportunidade de criar valor aos seus clientes atuais e potenciais.

As funções de um administrador podem ser divididas no planejamento, na organização, na direção, e no controle, onde estas podem agir como um ciclo, quando na medida em que se repete ocorre uma contínua correção e ajustamento do planejamento por meio da

retroação (CHIAVENATO, 2003). Deste modo, o desenvolvimento de um ciclo permite definir quais as correções que deverão ser introduzidas no ciclo seguinte, e assim por diante, o que assinala a retroalimentação do sistema como uma necessidade na atividade de administrar.

Slack *et al* (2006) caracterizam o planejamento e controle para atingir objetivos em longos, médios e curtos prazos e a relação sobre a importância entre o planejamento e controle nestes, como pode ser observado na Figura 1. O autor ainda aborda individualmente o planejamento e controle nos diversos setores da produção, mas sem desconsiderar as suas inter-relações. Desta forma o planejamento está ligado à formulação de planos baseados em expectativas e o controle com a sua contínua atualização durante a sua implementação devido a dinâmica de variáveis envolvidas.

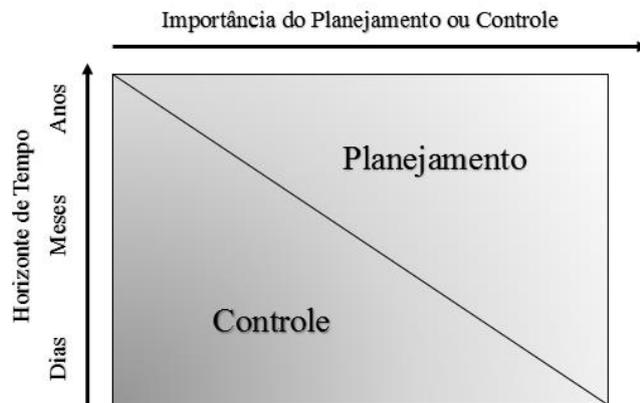


Figura 1: Equilíbrio entre atividades de planejamento e controle. Fonte: adaptado de Slack et al (2006)

Mintzberg (2004) sugere uma definição operacional do planejamento, o definindo como o esforço para formalizar a estratégia, a tomada de decisão, e a administração, para alcançar os objetivos determinados.

O ambiente da construção vem sofrendo mudanças expressivas, na qual a concorrência, antes quase inexistente, hoje se mostra mais forte. Isso pode ser explicado pela mudança da percepção dos consumidores que se tornaram muito mais exigentes no atendimento às suas necessidades, exigindo assim uma nova postura para o setor (MATTOS, 2010). Essa postura deve ser atendida através de um planejamento e posição estratégica diferente da empregada até então (THOMAZ, 2001).

O planejamento é um dos principais tópicos do gerenciamento, e envolve o orçamento, compras, gestão de pessoas, comunicações, entre outros. Planejar permite a priorização de ações, acompanhar serviços, comparar as fases da obra com a linha de balanço e custos e tomar providências em tempo hábil para evitar desvios do objetivo do projeto (MATTOS, 2010).

De acordo com Thomaz (2001) as construtoras passaram a alterar suas estratégias, principalmente para atividades produtivas, antes aplicadas a um plano secundário, onde tinham suas estratégias operacionais voltadas para as atividades não-produtivas, hoje buscam uma maior eficiência técnica e econômica, através de atividades mais voltadas à produção. Ele relata que os processos de treinamentos e requalificação de operários, programas setoriais para melhoria da qualidade de produtos, criação de organismos independentes de certificação de produtos e de sistemas de gestão da qualidade no setor estão tomando forma na indústria da construção.

Sabe-se que existe uma certa complexidade produtiva ao longo do sistema construtivo. Este deve ser administrado com competência de maneira a proporcionar coordenação e coerência de todas as atividades produtivas e agentes envolvidos. Deste modo o aumento da produtividade e do nível de serviço desejado pelo cliente final é alcançado (THOMAZ, 2001). A deficiência no planejamento pode recorrer em consequências desastrosas para uma obra e à empresa que a executa, e no entanto a construção civil apresenta um grande volume de projetos que são administrados sem qualquer planejamento (MATTOS, 2010).

De maneira que se possa alcançar os objetivos do projeto, é necessária uma administração que visualize, e coordene com eficiência as ligações da cadeia de suprimentos do sistema construtivo. Para isto, a administração dessa cadeia terá de ser efetuada através de um processo logístico, o qual vem se compondo nos fundamentos do sucesso de outros setores industriais (THOMAZ, 2001). Logo, o planejamento na construção se torna essencial no gerenciamento e na execução de projeto pois ele envolve escolha de tecnologias, a estimação de recursos e durações de atividades, e a identificação de qualquer interação sobre estas. Planejar é pensar, aplicar, controlar e corrigir a tempo, e envolve o estudo do projeto, a definição metodológica e logística, e a geração de cronogramas (MATTOS, 2010).

Segundo Moreira (2016) o planejamento está relacionado intimamente ainda com a tomada de decisão, pois é através deste processo que os objetivos são atingidos e o plano para o projeto pode ser cumprido. O planejamento deve englobar todos os processos complexos que envolvem o projeto e a organização, e não se ater apenas ao orçamento, o escopo e o cronograma. Desenvolver um plano de construção é uma tarefa crítica no gerenciamento, e é composto por aspectos técnicos e complexos que serão necessários na tomada de decisão da organização.

A ISO 31.000 (ISO, 2009) propõe uma estrutura para que as organizações desenvolvam, implementem e melhorem continuamente na finalidade de integrar o processo para gerenciar riscos na governança, estratégia e planejamento, gestão, processos de reportar

dados e resultados, políticas, valores e cultura em toda a organização. Considera-se que dentro dos procedimentos para a concepção desta estrutura o planejamento estratégico e operacional, assim como o controle e a tomada de decisão são partes vitais para o modelo de gestão de riscos à ser integrado. Neste âmbito o gerenciamento de risco adere à abordagem do planejamento, uma vez que é construído sobre eventos futuros, numa tentativa de controlá-los.

2.3 GERENCIAMENTO DE PROJETOS

A ISO 21.500 (ISO, 2012) define o gerenciamento de projeto como a aplicação de métodos, ferramentas, técnicas e competências ao projeto, e se equipara a definição encontrada no PMBOK (PMI, 2013), que trata o gerenciamento de projeto como sendo o emprego de conhecimentos, ferramentas, técnicas, e habilidades às atividades no projeto para que este atenda aos seus requisitos no final.

Walker (2007) traz à tona a importância do cliente a definição de gerenciamento de projetos quando o define como o planejamento, a coordenação e o controle de um projeto, da sua concepção até sua finalização, a qual é atingida quando os requisitos do cliente nos termos de utilidade, função, qualidade, tempo e custo; o estabelecimento de relações entre os recursos; a integração, o monitoramento e controle do projeto e os seus resultados; e a avaliação e seleção de alternativas de encontro a satisfação do cliente, sejam alcançadas.

Limmer (2013) define o gerenciamento de projetos como um conjunto de operações planejadas que buscam a execução de um projeto respeitando suas condições pré-estabelecidas de prazo, custo, qualidade e risco durante todo o seu ciclo de vida. O projeto chega ao seu fim quando os objetivos são alcançados, estes no entanto podem mudar durante o seu ciclo de vida devido a fatores externos e internos.

O gerenciamento de projetos nos Estados Unidos se fundamenta no Guia PMBOK, publicado pelo Project Management Institute (PMI), na Inglaterra, as referências são a Association for Project Management (APM) e o British Standards Institution (BSI); Na Austrália, a norma é a Australian Institute for Project Management (AIPM); existindo ainda o padrão da International Project Management Association (IPMA), entre outros.

O Gerenciamento de riscos é um das nove áreas de conhecimento definidas pelo Project Management Institute (PMI). As nove áreas são:

1. Gerenciamento de Integração de Projeto
2. Gerenciamento de Escopo de Projeto
3. Gerenciamento de Tempo de Projeto

4. Gerenciamento de Custos de Projeto
5. Gerenciamento de Qualidade de Projeto
6. Gerenciamento de Recursos humanos no Projeto
7. Gerenciamento de Comunicação de Projeto
8. Gerenciamento de Risco de Projeto
9. Gerenciamento de Aquisições de Projeto

Apesar dessas áreas de conhecimento serem na teoria igualmente importantes para o gerente de projetos, na prática ele deve determinar quais as áreas oferecem maiores impactos nos resultados do projeto.

O guia PMBOK apresenta os processos de gerenciamento de projetos, e estes são agrupados em cinco categorias conhecidas como grupos de processos de (PMI, 2013):

- i. Iniciação. Processos executados para definir um novo projeto ou uma nova fase de um projeto e obtenção de autorização para iniciar.
- ii. Planejamento. Processos necessários para definir o escopo do projeto, refinar os metas e definir a linha de ação necessária para atingir os objetivos.
- iii. Execução. Processos realizados para executar o trabalho planejado no plano de gerenciamento do projeto para obedecer especificações
- iv. Monitoramento e controle. Os processos exigidos para acompanhar, analisar e controlar o progresso e desempenho do projeto, identificar quaisquer áreas nas quais serão necessárias mudanças no plano, e iniciar as mudanças correspondentes.
- v. Encerramento. Os processos executados para finalizar todas as atividades de todos os grupos de processos, visando encerrar formalmente o projeto ou fase.

Os grupos de processos são raramente eventos distintos ou que ocorrem uma única vez, sendo na verdade atividades sobrepostas que ocorrem ao longo de todo o projeto (SMITH; MERNA; JOBLING, 2006).

Projetos na Construção Civil

As mudanças estão presentes especialmente nos projetos de construção civil, o que torna importante o desenvolvimento do plano de gerenciamento do projeto ser um processo iterativo e elaborado ao longo do seu ciclo de vida (WALKER, 2007). Deste modo a melhoria contínua e o detalhamento de um plano conforme informações mais detalhadas e específicas e estimativas mais exatas tornam-se disponíveis, o que permite que o gerente de projeto defina e gerencie o trabalho progressivamente com um nível maior de detalhes (PMI, 2013).

Existe no entanto uma dificuldade na obtenção de dados no setor, principalmente na etapa de concepção e planejamento de um projeto. Alguns fatores associados é a falta de tempo ou o elevado custo para gerá-los, o que ocasiona um aumento na incerteza na tomada de decisões, fazendo com que a concepção de um novo projeto de construção ainda mais arriscada (ZENG; AN; SMITH, 2007; WANG; YUAN, 2011).

A qualidade das obras na construção civil não é apenas resultado de cuidados relacionados aos recursos empregados no processo de produção, como materiais, mão de obra e controle dos serviços contratados, mas ao mesmo tempo realizados pelos projetos (MELHADO, 2001). Para o autor isto se confirma pelo grande número de problemas patológicos dos edifícios atribuídos às falhas de projeto, o que são considerados desvios dos objetivos do projeto e consequências de riscos não tratados.

Silva (2000) indica fatores que diferenciam os projetos de construção civil:

- i. O cliente interfere na concepção e execução do empreendimento;
- ii. Os projetos e as obras são feitos separadamente;
- iii. Há alta rotatividade e baixa capacitação da mão de obra;
- iv. Baixo nível de automatização no serviços;
- v. A identificação dos problemas é feita durante a produção;
- vi. Há um grau elevado de incerteza durante o planejamento; e
- vii. Não existe o hábito de se fazer reuniões de avaliação do empreendimento nem avaliações pós-ocupação, o que impede a melhoria contínua e o aprendizado.

Além destes fatores, Verdi (2000) complementa ao enumerar características e particularidades que diferenciam os projetos de engenharia em relação aos projetos seriados, são eles a:

- i. a confecção de um projeto ainda é uma atividade, e apesar da utilização da informática, cada documento é uma produto distinto;
- ii. um projeto é constituído de uma grande quantidade de desenhos, especificações, memoriais, não sendo resultado único de uma produção seriada.
- iii. a qualidade final de um projeto é revelada na sua execução, assim o cliente não consegue detectar todas as falhas no recebimento. Muitas vezes as falhas só são identificadas em fases avançadas da construção, onerando o empreendimento;
- iv. o grande número de envolvidos no processo de projeto (usuários, clientes, projetistas, financiadores, construtores) com interesses muitas vezes divergentes

e relações contratuais pouco definidas, implica em que a definição do conceito de qualidade fique dependa dos diversos participantes; e

- v. a improvisação é uma constante. Não se investe tempo em planejamento e atividades como estudos de construtabilidade e, logo, a atividade tem que ser revista e refeita no canteiro.

Altounian (2011) destaca que a conclusão de uma obra com êxito depende do bom gerenciamento nas diversas etapas dos processos de atividades pelas quais perpassam o projeto de execução de uma obra de engenharia. Se destaca a importância de ser seguido essa sequência de etapas, cumpridas cada uma contemplando todos os pré-requisitos antes de seguir para a fase seguinte.

Ciclo de Vida de um Projeto

Os projetos são usualmente organizados em fases que são determinadas por necessidade de controle. As fases facilitam a identificação de *millestones* (pontos de decisão importantes) e apontam mudanças efetivas de posicionamento da equipe frente ao planejamento, gerenciamento, estratégia, logística e operação. Esta percepção permite um melhor controle de recursos necessários para atingir as metas pré-estabelecidas (SMITH; MERNA; JOBLING, 2006).

Estas fases obedecem uma sequência lógica, com começo, meio e fim, e usa recursos para atingir os objetivos. De maneira a gerenciar um projeto eficientemente durante toda sua vida, uma série de atividades devem ser executadas em cada fase. As fases deste projeto são, em conjunto, conhecidas como o ciclo de vida de um projeto (ISO, 2012). O ciclo de vida não deve ser confundido com os grupos de processos de gerenciamento de projeto, estes consistem de atividades que podem ser executadas e ocorrer novamente em cada fase de um projeto. Ainda, o ciclo de vida do projeto independe do ciclo de vida do produto produzido ou modificado pelo projeto (PMI, 2013).

Gehbauer (2002) apresenta uma abordagem sobre as fases de desenvolvimento de um empreendimento identificando suas etapas e pontos de decisão, reunidos na Figura 2. A primeira fase corresponde ao estudo de viabilidade do empreendimento, e observa-se que algumas das etapas de planejamento já se iniciam nesta fase e se desdobrarão até as fases de planejamento e execução. Para o autor a fase de análise de viabilidade se estende até a execução do projeto legal, e a etapa de execução do projeto se inicia após a licitação e contratações.

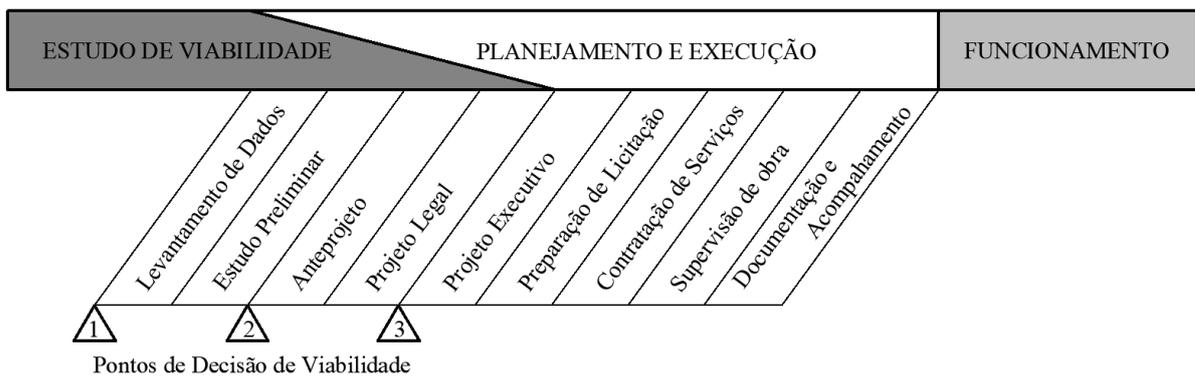


Figura 2: Fases do desenvolvimento do empreendimento e suas etapas Fonte: adaptado de Gehbauer (2002)

O estudo de viabilidade acontece antes de se dar início à elaboração de projetos, e deve ser executado com a maior quantidade de dados e análises que permitam uma decisão madura sobre a continuidade do empreendimento. O primeiro momento de análise de continuidade do projeto é identificado na Figura 2 no triângulo um. Se a decisão for pela continuidade do empreendimento, inicia-se então a fase de projetos e planejamento da execução, divididas em nove etapas (GEHBAUER, 2002).

Segundo Smith, Merna e Jobling (2006) na indústria da construção as fases podem ser identificadas como: Pré-Viabilidade, Viabilidade, Design, Aquisição e Contratos, Implementação, Procuração, Entrega e Operação. No entanto diferentes fases possuem diferentes nomes para cada autor, mas ainda continuam contendo as mesmas atividades, assim a terminologia usada não é importante, já que genericamente estes ciclos de vida são identificados muito similarmente. Uma divisão objetiva em apenas quatro fases que representam o ciclo de vida de um projeto podem ser a concepção, preparação, execução e finalização.

Em cada uma destas fases uma série de subfases podem ser identificadas. A fase de conceito inclui a identificação de necessidades, o estudo de viabilidade, a identificação de alternativas e a apresentação de uma proposta, bem como sua permissão de prosseguir. Na preparação uma série de estudos e decisões são conduzidas para viabilizar o início do processo de construção, estes estudos envolvem o desenvolvimento de planos de construção, designs, orçamentos, cronogramas, e outros (PMI, 2013).

Na etapa de execução as aquisições e contratações para a realização de serviços ocupam o principal papel, no entanto o planejamento ainda influi fortemente como uma subfase, atuando no monitoramento da performance dos serviços, na gestão da qualidade, gestão de riscos, na logística, entre outros. Finalmente na etapa de transferência realiza-se a o treinamento

de operadores, revisões de termos do projeto, arquivamento de dados da obra, a entrega do empreendimento e do termo de responsabilidade (PMI, 2013).

A curva de nível de esforço (LoE) está associada ao esforço necessário para conduzir o projeto durante seu ciclo de vida, e pode ser representada pela quantidade de pessoas dedicada em tempo integral. A Figura 3 ilustra as fases do projeto e percebe-se que o esforço dado durante toda a fase de concepção é menos significativo, enquanto atinge seu pico nas etapas de planejamento e construção até decair na transferência à finalização do empreendimento.

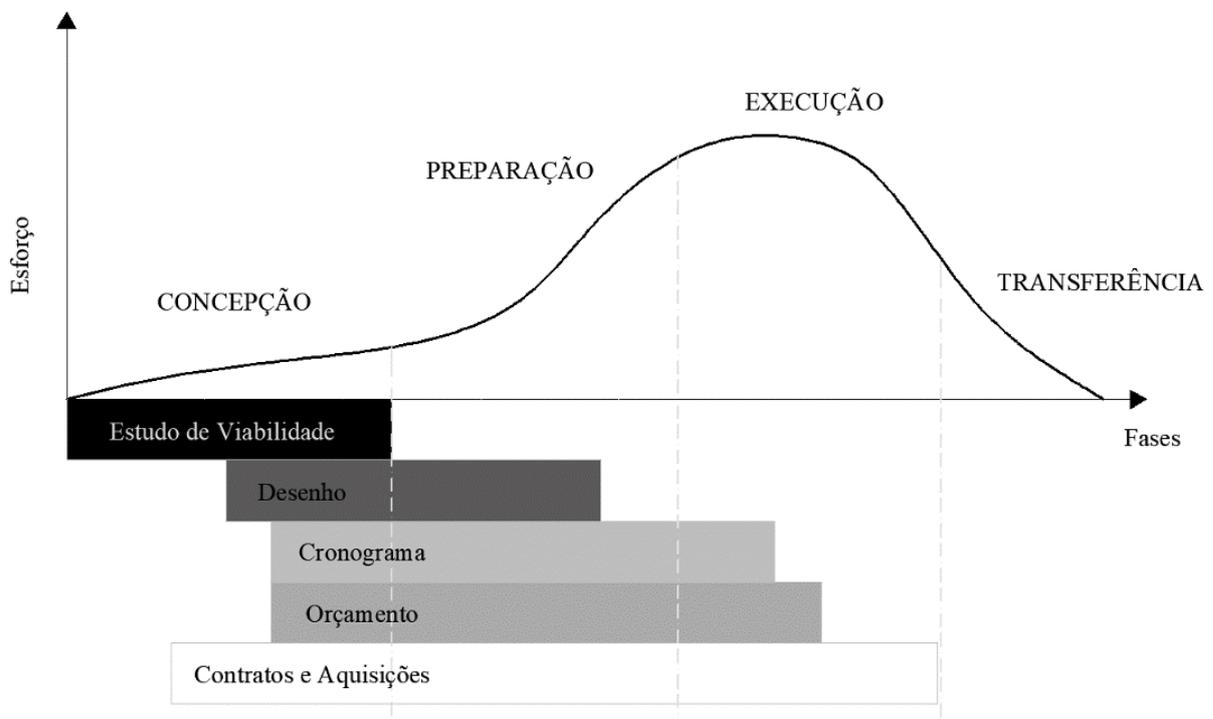


Figura 3: Curva de Esforço (LoE) e a distribuição de principais etapas nas fases de um projeto. Fonte: Autor

Para este trabalho agruparemos os processos envolvidos no projeto em cinco grupos que estão geralmente presentes em qualquer projeto de construção. As etapas são:

- i. Estudo de Viabilidade
- ii. Desenho
- iii. Cronograma
- iv. Orçamento
- v. Contratos e Aquisições

Na Figura 3 apresenta-se a interpretação do autor em função das abordagens por Gehbauer (2003) em relação ao desenvolvimento destas etapas nas fases do projeto,

entendendo-se que o projeto na construção civil, sendo heterogêneo e irregular, estas etapas podem modificar-se sensivelmente. Entender a estrutura das etapas e seu comportamento com as fases do projeto é importante na identificação dos riscos e sua caracterização e na delimitação daqueles que estão envolvidos intrinsecamente com as fases antes da construção (UHER; TOAKLEY, 1999).

Para os objetivos deste trabalho se torna necessário considerar os riscos e etapas adotadas devido sua forte influência sobre a predição de eventos prováveis e suas consequências sobre o custo, o tempo, segurança e qualidade, influenciando fortemente na tomada de decisão e da continuidade do empreendimento.

2.4 GERENCIAMENTO DE RISCOS

O entendimento de risco pode diferir de um autor para outro, no entanto percebe-se que dentre as obras mais relevantes na área, e àquelas definições propostas por associações e órgãos normalizadores, concordam entre si nos principais pontos. Pode-se destacar algumas das definições:

- Perry e Hayes (1985) expressou o risco como a exposição à perda econômica ou seu ganho devido ao envolvimento destes nos processos de construção;
- Al-Bahar e Crandall (1990) definem risco como a exposição à chance de eventos adversos ou favoráveis que afetam os objetivos do projeto como consequência de uma incerteza;
- Chapman (2001) considera o risco um evento que, se ocorrer, terá um efeito positivo ou negativo sobre a realização dos objetivos de um projeto;
- Klemetti (2006) define o risco como o incerto acontecimento que ocasionará impactos que contradiz as expectativas quando o projeto está finalizado.
- PMBOK (2013) trata o risco como um evento ou uma condição incerta que, se ocorrer, terá um efeito positivo ou negativo sobre pelo menos um dos objetivos do projeto, tais como escopo, cronograma, custo e qualidade ou segurança;
- ISO 31.000 (2009) define o risco como o efeito da incerteza devido influências e fatores internos e externos nos objetivos do projeto ou da organização, e pode ser marcada por eventos e suas consequências;

Baloi e Price (2003) afirmam que as incertezas são de diferentes tipos e origens, como os erros, as imprecisões, as variabilidades, as ambiguidades e a ignorância. Estas incertezas podem ser devido à falta ou insuficiência de informações. Os autores complementam

ao considerar que o risco tem diferentes significados para diferentes atores na construção, e varia de acordo com os seus pontos de vista. Engenheiros, projetistas e construtoras possuem uma visão mais técnica do risco, enquanto incorporadores e bancos possuem uma visão mais econômica e financeira.

A interpretação tradicional do risco é negativo, representando perdas, danos e consequências adversas, no entanto este fenômeno pode oferecer consequências positivas ou negativas aos objetivos do projeto. Os riscos positivos e negativos são comumente chamados de oportunidades e ameaças. O projeto pode ser aceito se os riscos estiverem dentro das tolerâncias e em equilíbrio com as recompensas que podem ser obtidas ao assumi-los (PMI, 2013), logo riscos que oferecem oportunidades podem ser adotados a fim de gerar valor.

Gerenciamento de Riscos em Projetos

O gerenciamento de risco é certamente um dos elementos mais difíceis do gerenciamento de projetos, pois o gerente deve reconhecer e identificar as causas dos riscos e traçar as suas consequências no projeto sem que haja metodologias que garantam resultados totalmente efetivos para quaisquer projeto e/ou organização. Deste modo existe a necessidade do uso de ferramentas compreensíveis e sistemáticas para identificar e analisar e tratar os riscos atingindo assim os objetivos pré-definidos (PMI, 2013).

Quanto menos previsível a natureza dos projetos, maior são os riscos (ZHI, 1995). O risco é um problema na mente do profissional de negócios, entretanto este considera ter o dom de lidar com eles, tentando eliminá-los sem focar em diminuir sua ocorrência ou reduzir sua severidade (KANGARI, 1995). Para isto é essencial o uso do gerenciamento de riscos desde as primeiras etapas do projeto, onde ocorre as maiores decisões, como o alinhamento e seleção dos métodos de construção que poderão ser mudados (UHER; TOAKLEY, 1999).

Se os riscos não são identificados estes não podem ser controlados, transferidos e gerenciados. Sabe-se ainda que eliminar todos os riscos do projeto é impossível, logo, existe a necessidade de um processo formal de gerenciamento de riscos para gerenciá-los (DIKMEN; BIRGONUL; HAN, 2007). O sucesso do projeto dependerá da combinação de estratégias de resposta usadas para mitigar os riscos, e a habilidade da organização lidar com estes (DIKMEN; BIRGONUL; HAN, 2007).

O gerenciamento de risco permite a análise de custo-benefício na etapa de tratamento dos riscos, a remoção de contingências desnecessárias, a aceitação de riscos para prevenir outros mais impactantes, e a realização de um orçamento realístico (MILLS, 2001). No entanto a sua adoção na ICC está acontecendo em um ritmo muito lento, com exceção nos

projetos de alto risco, como em petroquímicos, usinas nucleares, na exploração de óleo e no setor aeroespacial (FLANAGAN; NORMAN, 1993).

É importante o reconhecimento das empresas imobiliárias nas vantagens da incorporação do gerenciamento de risco, permitindo que reduzam custos financeiros, melhorem a produtividade, aumentem a taxa de sucesso em novos projetos e melhorem as tomadas de decisão (BANAITIENE; BANAITIS, 2012), encorajando a empresa de construção a quantificar, analisar e tratar os riscos durante todo o empreendimento.

O gerenciamento de risco deve ser composto pela aplicação sistemática de procedimentos e práticas de análise. Na literatura esses procedimentos se alteram e se dividem em diferentes etapas, dependendo de qual estratégia se adotou, como estratégias proativas onde se identificam os riscos e implementam-se medidas para prevenir os efeitos indesejados, ou estratégias reativas onde se acompanham a ocorrência dos riscos e seus efeitos.

Processos do Gerenciamento de Riscos

Cada área de conhecimento se subdivide em diversos processos, o PMBOK (PMI, 2013) apresenta os processos do gerenciamento de riscos que são:

- i. Planejamento do Gerenciamento de Risco;
- ii. Identificação dos Riscos;
- iii. Análise Qualitativa dos Riscos;
- iv. Análise Quantitativa dos Riscos;
- v. Planejamento de Resposta aos Riscos; e
- vi. Monitoramento e Controle de Riscos.

Observa-se na literatura processos de gerenciamento de riscos variados, no entanto usualmente sempre são considerados os quatro mais importantes, como Nieto-Morote e Vila (2011) adotam, são a:

- i. Identificação dos Riscos;
- ii. Análise do Riscos;
- iii. Tratamento dos Riscos; e
- iv. Monitoramento dos Riscos.

A identificação dos riscos é o primeiro passo, e talvez o mais importante, nos processos de gerenciamento de risco, pois tenta identificar a fonte e o tipo de riscos. Isto inclui o reconhecimento das condições de potenciais eventos no projeto de construção e o esclarecimento das responsabilidades do risco desde as primeiras fases do projeto. (WANG; CHOU, 2003)

A fonte de risco é o elemento que, individualmente ou combinado, tem o potencial para dar origem ao risco. O evento é a ocorrência ou mudança em um conjunto específico de circunstâncias planejadas ou esperadas dentro do projeto, este pode consistir em uma ou mais ocorrências que podem ter várias causas. A norma ISO 31000 enfatiza que um evento pode ser referido como um "incidente" ou um "acidente" onde quando não existe consequências também pode ser referido como um "quase acidente". (ISO, 2009)

As técnicas de análise de riscos vem sendo desenvolvidas constantemente por vários autores. A análise de risco é uma etapa necessária para a seleção de ações adequadas que objetivam entender as consequências e probabilidades envolvidas na ocorrências dos riscos identificados (CHAPMAN; WARD, 2003; KLEMETTI, 2006; TAH; CAR, 2000).

As análises de risco podem ser classificadas em dois grandes grupos quanto ao tipo de dado de entrada, são elas as análises qualitativas e análises quantitativas. A análise qualitativa dos riscos é o processo de priorização para análise ou ação adicional através da avaliação e combinação de sua probabilidade de ocorrência e impacto (PMI, 2013). Este é normalmente um meio rápido e econômico de estabelecer as prioridades do processo planejar as respostas aos riscos. A análise quantitativa dos riscos é o processo de analisar numericamente o efeito dos riscos, para respaldar a tomada de decisões, a fim de reduzir o grau de incerteza dos projetos considerando os objetivos gerais do projeto (PMI, 2013).

A etapa de tratamento de risco se refere a seleção e implementação de uma estratégia que visa responder aos riscos e podem envolver (ISO, 2009):

- i. Evitar o risco pela decisão de não iniciar ou descontinuar a atividade que dá origem ao risco;
- ii. Assumir ou aumentar o risco, a fim de buscar uma oportunidade;
- iii. Remoção da fonte de risco;
- iv. Alteração da probabilidade;
- v. Alteração das consequências;
- vi. Compartilhamento do risco com outra parte ou partes; e
- vii. Retenção do risco por uma escolha consciente.

O monitoramento, ou controle dos riscos, é a última etapa do gerenciamento de riscos, onde o sistema é supervisionado para medir a eficiência das ações de tratamento e detectar riscos que podem não terem sido identificados em passos anteriores, considerando também a existência de novos riscos devido a fase de tratamento (PMI, 2013).

2.5 GERENCIAMENTO DE RISCOS EM PROJETOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os processos da construção civil estão repletos de perigos e riscos (TAH; CARR, 2001). Podemos citar problemas de segurança e saúde, ao atendimento do cronograma e aspectos financeiros como pagamentos, ao capital de giro e financiamento. O setor ainda apresenta riscos que se relacionam ao planejamento, execução, comunicação e interação com o ambiente externo (ABDERISAK; LINDAHL, 2015).

Os projetos de construção podem ser imprevisíveis (ZOU; ZHANG; WANG, 2007). A indústria encara muitas incertezas inerentes, como flutuação da margem de lucro, a competitividade e procedimentos de licitação, mudança de clima, alteração de produtividade em campo, situações políticas, inflação, entre outros. São necessários procedimentos onde os riscos possam ser lidados com a empresa, ou transferidos para outras partes envolvidas com o projeto. Esta decisão deve ser tomada em função da competência da parte envolvida em analisar, minimizar ou controlar os riscos expostos (KANGARI, 1995).

Gerenciar os riscos nos projetos é importante em ordem de atingir os objetivos em termo de custo, qualidade, segurança e sustentabilidade ambiental (ZOU; ZHANG; WANG, 2007). É essencial que as empresas de construção dominem os riscos e incertezas para poderem analisar os seus efeitos e suas causas, para então saber quais os projetos que oferecem maiores riscos. Isto irá influir na tomada de decisão para alocação de recursos no gerenciamento destes riscos entre os projetos (KARIMIAZARI *et al*, 2011).

Os gerentes precisam garantir a entrega do custo de projeto, cronograma e performance como planejado. Para atingir este objetivo é necessário gerenciar os riscos presentes no projeto desde as fases iniciais, e pelos processos de contrato, aquisição, fabricação, construção e funcionamento (CARR; TAH, 2001).

O gerenciamento de riscos é um processo iterativo e deve ser implementado sistematicamente em todo o ciclo de vida do projeto, do planejamento à sua entrega, para a obtenção de melhores resultados (ZOU; ZHANG; WANG, 2007). Este deve descobrir fontes de risco e incertezas, entendendo seus impactos, e aumentando as respostas gerenciais cabíveis na construção (UHER; TOAKLEY, 1999), tendo como meta garantir que os objetivos sejam atingidos (MILLS, 2001). Nesse âmbito o gerenciamento de riscos deve ser uma das preocupações dos gerentes, pois os riscos não gerenciados e não mitigados são uma das principais causas do insucesso de projetos (ROYER, 2001).

O projetos de construção possuem riscos muito complexos, envolvendo os investidores, a incorporadora, os consultores, as construtoras e os fornecedores. Alguns riscos

que podem ser considerados são interferências nas operações devido fatores de acesso, ao controle de poluição e resíduos, acidentes de construção, e assim como problemas de design e construção (CARR; TAH, 2001). É importante salientar que os riscos podem aumentar quando projetos são executados em áreas congestionadas (BANAITIENE; BANAITIS, 2012), característica frequente nas construções habitacionais de múltiplos pavimentos em centros urbanos.

Diversos fatores que influem no aumento de riscos e que causam atrasos no cronograma e custo. Alguns fatores que influem no cronograma são a posse atrasada do terreno, problemas com o clima, condições de subsolo inesperadas, flutuações na mão de obra e no fornecimento de materiais, comunicação ineficaz e ausência de coordenação com locais (ZHI, 1995). Fatores que causam aumento dos custos podem ser naturalmente gerados devido a estimativa descuidadas, seguros inadequados, flutuação na mão de obra local e preços de material.

Os riscos podem ser controlados diretamente através do gerenciamento de projetos, no entanto torna complicado à sua análise do princípio, já que este nunca acontece da mesma maneira, onde a experiência sem uma análise sistemática continuará ineficiente (ZHI, 1995). A ICC sofreu uma reformulação desde a recessão econômica no mercado internacional, e isto tem transformado e gerado novos riscos no setor. Em resposta a esta perigosa combinação, o gerenciamento de risco tem se tornado mais sistemático, visando a efetividade da ferramenta (MC GRAW-HILL, 2017).

Alguns pesquisadores investigam o risco em função do contexto particular de uma fase do projeto, como a concepção/estudo de viabilidade (UHER; TOAKLEY, 1999), a fase de desenho (CHAPMAN, 2001) e a fase de construção (ABDOU, 1996) ao invés de uma perspectiva da vida completa do projeto. Este tipo de enfoque permite conhecer profundamente o comportamento dos riscos em fases distintas, e auxilia na adoção de diferentes estratégias durante as fases para lidar com os riscos de maneira mais eficiente.

Identificação e Classificação

Na literatura muitos *checklists* de riscos e *breakdown structures* dos riscos vem sendo propostos para ajudar na identificação e classificação, dentre eles temos:

- Perry e Hayes (1985) identificou 29 maiores riscos que podem ser classificados sobre as categorias de físicos, ambientais, design, logística, financeiro, legal, político, construção, e de operação;

- Mustafa e Al-Bahar (1991) identificou 32 fatores de risco, agrupados em seis categorias, e os mediu através do processo analítico hierárquico (AHP);
- Al-Bahar e Crandall (1990) incorpora um diagrama de influência para identificar riscos relacionados, e utiliza a simulação Monte-Carlo para analisar estes riscos de projeto através do sistema de gerenciamento de risco (CRMS);
- Zhi (1995) definiu os riscos prováveis em projetos internacionais de acordo com suas fontes, como nação e região, indústria da construção, empresa e projeto;
- Hastak e Shaked (2000) desenvolveram modelo com um método sistemático de quantificar riscos em projetos, os quais os autores agruparam os 73 riscos em tangíveis e intangíveis sobre três categorias;
- Tah e Car (2001) inicialmente categorizam o risco em dois grupos de acordo com sua natureza em externas ou internas, e as subdividem em outros seis subgrupos depois da aplicação da técnica de WBS (Work Breakdown Structure) e são: local, global, econômico, físico, política e mudança tecnológica;
- Baloi e Price (2003) identifica riscos que afetam a performance de projetos de construção, e os classificando em sete principais categorias através da uma ferramenta de decisão fundamentada em teoria difusa para analisar os impactos dos riscos identificados; e
- Para Wang e Chou (2003) a classificação dos riscos dependeu principalmente se o projeto é local ou internacional, os agrupando em três categorias de localidade/país, projeto e de mercado.

Existem muitas maneiras de classificação dependendo do método de gerenciamento de riscos à ser usado. Zavadskas, Turskis e Tamosaitiene (2010) classificam os riscos em três grandes grupos, externos, internos e de projeto. Os riscos externos estão além do controle da equipe de gerenciamento de projetos e podem ser divididos em políticos, econômicos, sociais e climáticos.

Os riscos políticos são mudanças de leis, regulamentos e políticas, bem como um sistema de administração impróprio. Os riscos econômicos são devidos inconsistência da economia na escala municipal, estadual e nacional. Os riscos sociais estão se tornando importantes a se considerar, pela necessidade de mensurar os impactos do projeto em certas áreas, por exemplo. O risco climático é relativo a desastres naturais ou variações climáticas imprevisas (ZAVADSKAS, TURSKIS, TAMOSAITIENE, 2010).

Os riscos internos podem ser divididos em de recursos, equipe, local de construção, documentos e informações. Os de recurso são referentes aos materiais e equipamentos; os riscos de participantes do projeto se referem a riscos associados com intervenientes (*stakeholders*), devido a problemas de falta de envolvimento, conhecimento, cooperação ou motivação. A equipe é composta pela equipe de planejamento, a construtora, a incorporadora, os fornecedores e terceirizadas; os riscos ligados ao local da construção estão ligados aos perigos inerentes da construção no canteiro de obra, que também se relacionam aos riscos à saúde; os riscos devidos documentação e informação assumem tanto as deficiências de comunicação, como os trâmites que exigem grande volume de documentos, como permissões, mudanças, disputas judiciais, etc. (ZAVADSKAS, TURSKIS, TAMOSAITIENE, 2010).

Os riscos de projeto podem ser divididos em cronograma, custo, qualidade, construção e tecnologia. Os de cronograma são àqueles que ocasionam mudanças na duração. Os de custos afetam primordialmente o orçamento. Os de qualidade são relativos a trabalhos defeituosos e imperfeitos. Os de construção envolvem mudanças nas técnicas de construção e do escopo do projeto. Os riscos de tecnologia são relativos a erros de gerenciamento, qualificação de trabalho, entre outros. (ZAVADSKAS, TURSKIS, TAMOSAITIENE, 2010).

No processo de identificação dos eventos de riscos os especialistas devem focar na descrição sucinta e clara destes, na forma de mensuração, na identificação das consequências além de certificar-se de que estes poderão ser quantificadas, identificando-se a frequência (períodos, datas) da ocorrência do risco e descrição de todas as causas que poderiam deflagrá-lo (SMITH; MERNA; JOBLING, 2006)

Um dos maiores passos no gerenciamento de riscos é identificar os potenciais riscos. Através dos dados coletados uma lista de riscos identificados é construída, e estes devem receber uma priorização para ser investido recursos naqueles mais significativos, e permitirá a definição de diretrizes para a melhoria do processo de gestão de riscos na fase de concepção e projeto dos empreendimento (BARRETO; ANDERY, 2015).

Análise e Mensuração

O objetivo principal da análise de risco é estimar o risco identificando os eventos indesejados, a probabilidade de ocorrência deste evento, e as consequências que tal evento traria pra o objetivo do projeto (KARIMIZAZARI *et al*, 2011). A análise de risco envolve a medição, seja por métodos qualitativos, quantitativos, ou ambos para produzir uma estimação do nível de significância dos fatores de risco no projeto (PMI, 2013).

A mensuração dos riscos associados a um projeto ou empreendimento está associada à indicação de valores de parâmetros pré-definidos (AZEVEDO, 2013). A maior parte dos modelos de gerenciamento de risco encontrados na literatura utiliza a probabilidade (probabilidade de ocorrência de um evento de risco) e o impacto (impacto gerado nos objetivos do projeto) como parâmetros para a determinação do risco (CHAPMAN *et al.*, 2003). Outros parâmetros, menos utilizados são o grau de tolerância ao risco (SALLES JR *et al.*, 2006), a significância (HAN *et al.*, 2008) ou severidade (CAR; TAH, 2001; CHAPMAN, 2001), produtos de combinações entre a probabilidade e o impacto.

Ao avaliar o impacto de um evento de risco, tem que considerar consequências do evento nos objetivos do projeto, mas também características do contexto, tanto internas (qualificação de pessoal, eficiência do gerenciamento, contratos claros e bem formados) quanto externas (concorrência, rotatividade de mão de obra, pressões de mercado), pois são essas características que irão determinar a relação entre o evento e suas consequências e o contexto afetado pelo evento (AZEVEDO, 2013).

As consequências de um evento de risco sobre os objetivos de um projeto são dependentes do contexto no qual o projeto está sendo executado e podem ser influenciadas por:

- Características da empresa (capacidade de gerenciamento, planejamento e resposta, formação e experiência dos dirigentes, dentre outros);
- Características do projeto (formação da equipe, treinamento, grau de detalhamento das plantas executivas, probabilidade de alterações no projeto, etc.);
- Características do mercado (ameaças externas, concorrência, fornecedores, etc.).

Os métodos de análise de risco partiram de uma prática simples e clássica para modelos robustos matemáticos com consideração da lógica difusa. Muitas das técnicas de análise de risco utilizadas em projetos de construção são comparativamente análises com alta grau de maturidade (ZENG; AN; SMITH, 2007). Morano (2003) desenvolve uma pesquisa na literatura para compreender o estado da arte da análise de riscos, e coleta técnicas usadas em projetos, bem como sua frequências. No ANEXO A é apresentado os resultados desta pesquisa.

São os métodos quantitativos clássicos usados na indústria da construção a Simulação de Monte Carlo, a Análise de sensibilidade (WHITE, 1995), o Método do caminho crítico (KAUFMANN; GUPTA, 1988), a Análise da Árvore de Eventos (HUANG; CHEN; WANG, 2001), o Modo de Falha, Efeitos e Análise Crítica (BOWLES; PELAEZ, 1995). Estes métodos usam apenas dados que são quantitativos, e só são efetivos em técnicas quantitativas sofisticadas quando estes dados são de boa qualidade (ZENG; NA; SMITH, 2007). No entanto

apenas alguns projetos consideram os riscos de uma maneira consistente e lógica, enquanto a maioria dos projetos realizam as análises de maneira muito subjetiva e qualitativa (MILLS, 2001).

Muitos acadêmicos declaram insuficiente atenção é dada aos métodos e modelos de análise de riscos, resultando-se no uso modelos inadequados para o projeto (KARIMIZAZARI *et al*, 2011). O uso de lógica *fuzzy* em análises qualitativas e quantitativas estão sendo aprofundadas e estudadas para permitir contornar a subjetividade dos dados coletados em projetos da construção civil (CARR; TAH, 2001; CHO; CHOI; KIM, 2002; CHOI; CHO; SEO, 2004, IDRUS; NURUDDIN; ROHMAN, 2011).

Outros métodos amplamente utilizados para a tradução dos dados qualitativos em quantitativos são a Análise Hierárquica de Processos (SAATY, 1990; ZAYED; AMER; PAN, 2008), e a utilização das ferramentas de decisão multi-critério e multi-atributo (MCDM) que permitem a precisa comparação entre os resultados da análise de risco qualitativo e quantitativo (AZEVEDO, 2013; MOREIRA, 2016).

Cada um dos métodos possuem suas vantagens e desvantagens, e sua eficiência pode ser aumentada pela adoção de métodos que resultam da combinação entre os fundamentos de cada um, pode-se relatar as técnicas de análise multi-critério TOPSIS/*fuzzy*, TOPSIS, AHP/*fuzzy* e DEA, que, no entanto não apresentam muita variedade de aplicações na literatura (ZEYDAN; COLPAN; COBANOGLU, 2011; TAYLAN, 2014).

Dentro da literatura muitos autores vem destacando a importância de métodos e sistemas que melhorem a efetividade e aceitabilidade das atividades do gerenciamento de risco. Jannadi e Almishari, (2003), e Leung, Tummala e Chuah (1998) sugerem técnicas avançadas com o uso de computadores e modelos pra estimar custos dissertando que os métodos tradicionais demandam muito recurso e tempo. Al-Zarooni e Abdou (2000) afirmam que a utilização da tecnologia de informação e ferramentas com o uso computadorizado auxiliam na tomada de decisão. Akintoye e Macleod (1997) apontaram superioridades dos métodos computadorizados sobre os métodos tradicionais:

- Os métodos tradicionais consideram a análise um método determinístico ocasionando falhas devido à natureza da indústria da construção; e
- As ferramentas baseadas em computador podem lidar com ambientes dinâmicos e incertos da indústria da construção, permitindo que os tomadores de decisão atualizem os seus planos e progresso de projeto.

Com o crescimento da importância das ferramentas de computador, pesquisadores tentam desenvolver programas que integrem as ferramentas do gerenciamento de risco.

- Touran e Lopez (2006) desenvolveram um método utilizando o @Risk para analisar os efeitos da escalação de custos em grandes construções.
- Dikmen, Birgonul e Han (2007) desenvolvem uma ferramenta específica para a análise de risco de incorpora a teoria geral de risco e a lógica difusa para quantificar o nível de custos em projetos internacionais.
- Fung *et al* (2010) cria um sistema que auxilia a as práticas de gerenciamento de riscos à segurança.
- Carr e Tah (2001) desenvolve um protótipo que incorpora a lógica *fuzzy* à análise de risco que facilita o uso de informações de projetos passados, e também salva os dados do projeto atual.
- Han *et al* (2008) desenvolveu o FIRMS (Sistema de Gerenciamento de Risco Totalmente Integrado) que é uma ferramenta de auxílio via web para projetos internacionais.

Esses métodos diferem entre si, e cada um apresenta vantagens e desvantagens, sendo ideal que a análise de risco seja adequada para a organização e para as características do próprio projeto (KARIMIAZARI, 2011).

Atitude Sobre o Risco

Ward, Chapman e Curtis (1991) associam os aspectos culturais, tais como a falta de conhecimento, as atitudes negativas a mudança motivos da dificuldade da implementação gerenciamento de risco, em especial das técnicas de análise, não serem mais aplicadas na construção.

O gerenciamento de riscos na construção civil quando aplicado ainda desconsidera os riscos e incertezas em todas as fases do ciclo de desenvolvimento do projeto, e as implicações financeiras dos riscos são usualmente escondidas dos investidores na tentativa de tornar o projeto viável (UHER; TOAKLEY, 1999).

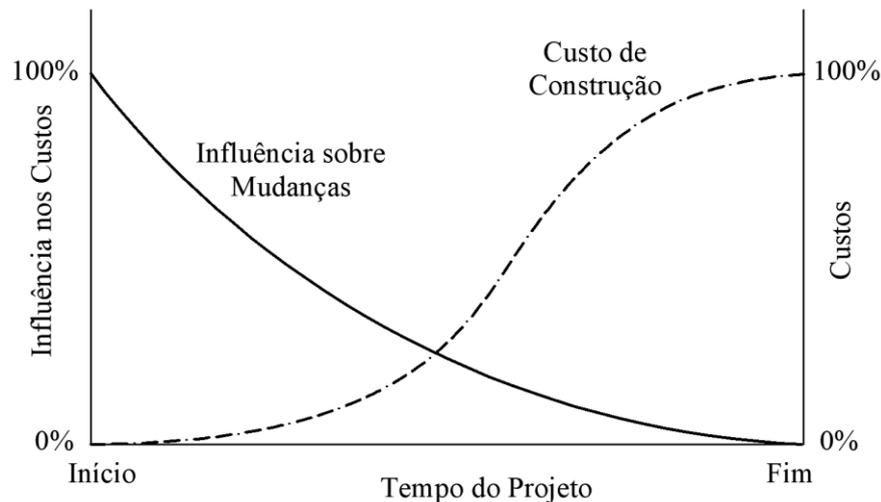


Figura 4 - Influência sobre mudanças e os custos para efetuar-las durante a construção. Fonte: adaptado de PMI (2013)

Os riscos e incertezas são maiores no início do projeto e estes diminuem ao longo de sua vida à medida que as decisões são tomadas e as entregas realizadas. A capacidade de influenciar as características finais do produto do projeto, sem impacto significativo sobre os custos, é mais alta no início do projeto e diminui à medida que este progride para o seu término (PMI, 2013). A Figura 4 ilustra a ideia de que os custos das mudanças e correções de erros geralmente aumentam significativamente à medida que o projeto se aproxima do término.

Uher e Toakley (1999) acreditam que o processo de adesão do gerenciamento de riscos na indústria de construção é uma tarefa sensível e que, se embasando nos trabalhos de Stace e Dunphy (1993), podem ser alcançadas em combinação com uma nova cultura, como nos conceitos de Gerenciamento de Projeto e Gerenciamento de Qualidade, que se aderiram aos projetos do setor devido a sua implementação direta na mudança da estrutura da construção civil.

Fan, Li e Sheu (2008) e Tserng *et al.* (2009) relatam que a maioria das empresas conduz o gerenciamento de risco com base na sua experiência anterior e preferência em relação ao risco, e não em técnicas de análise. Logo torna-se um julgamento subjetivo baseado na intuição ou em normas internas, desvirtuando a avaliação sistemática das condições específicas do projeto (HAN *et al.*, 2008).

Para Uher e Toakley (1999) os maiores obstáculos na aplicação do gerenciamento de risco são devido à falta de entendimento sobre o assunto, e dos seus potenciais benefícios. A maior proporção dos obstáculos estão associadas aos engenheiros estruturais, construtoras e aos arquitetos. Os autores afirmam que apesar das atitudes dos tomadores de decisão na ICC quanto ao risco e a incerteza ser conhecido, existe pouca informação quanto a sua atitude frente

ao gerenciamento de risco como uma ferramenta sistemática de tomada de decisão, esta noção sobre o seu comportamento é ainda mais vaga quando se trata da fase de concepção nos novos projetos.

Enquanto muita ênfase deve ser dada ao desenvolvimento de um nível apropriado de conhecimento sobre as técnicas qualitativas de análise de risco, e as habilidades necessárias para sua efetiva aplicação na fase conceitual do projeto, a capacidade de entender e aplicar técnicas quantitativas de análise de risco é igualmente importante (UHER; TOAKLEY, 1999).

Riscos em Fases

Como a quantidade e a qualidade de informações relacionadas aos riscos é diferente em cada fase, a complexidade da tomada de decisão também se modifica, sendo coerente aplicar abordagens distintas em cada uma delas. (HAN *et al*, 2008). Logo, em cada fase de um projeto de construção, o gerenciamento de um risco específico deve ser alocado para a parte responsável que tem as melhores qualificações ou capacidade de lidar com estes (OSIPOVA, 2007).

Frequentemente as equipes do projeto estão envolvidas em apenas poucas fases, conseqüentemente focam nos resultados em curto prazo relativos ao seu próprio interesse, e não ao projeto como um todo, gerando um gerenciamento de risco menos efetivo. No entanto, pouca atenção na comunidade acadêmica é dada em identificar o papel de cada ator individualmente no gerenciamento de risco através das diferentes fases do projeto (OSIPOVA, 2007).

Zou, Zhang e Wang (2007) relatam que um gerenciamento de risco será muito mais efetivo se for executado em função de suas etapas. Um projeto de construção pode ser dividido em diversas fases que variam de autor para autor, onde a diferença entre elas dependerá do tipo de metodologia ou foco da análise. Ainda, entre elas podemos encontrar termos que na prática terão o mesmo significado (SMITH; MERNA; JOBLING, 2006).

Já que é impossível prever com precisão quais serão todos os riscos do projeto na etapa de concepção devido à mudança e geração de novos riscos durante a implementação do projeto, o gerenciamento de risco deve ser aplicado em todas as fases do projeto (OSIPOVA, 2007). A autora relata que muitos estudiosos advertem a grande importância do gerenciamento de risco nas primeiras fases, já que as decisões durante as etapas antes da construção resguardam grande significância nos objetivos e resultados do projeto. No entanto as técnicas de gerenciamento de risco continuam sendo pouco aplicadas no início do projeto (UHER; TOAKLEY, 1999), onde consideração dos riscos já na etapa de planejamento, pode reduzir a vulnerabilidade à falha de processos nas etapas posteriores (LIMMER, 2013).

Do entendimento das pesquisas de Osipova (2007), onde se verifica a percepção dos clientes, construtores, consultores e arquitetos em seus respectivos processos, se verificou que insuficiente atenção é dada nas primeiras fases. Os resultados demonstram o envolvimento dos atores com os processos de gerenciamento de risco somente nas fases que mais participam. Sabe-se que no entanto deveria se realizar esforço nestas primeiras etapas para permitir a elaboração de orçamentos, cronogramas, escopos, desenhos e planejamento concisos do início com os objetivos finais do projeto. A Figura 5 apresenta o entendimento do autor sobre a ideal distribuição da participação das partes sobre os riscos no decorrer do projeto.

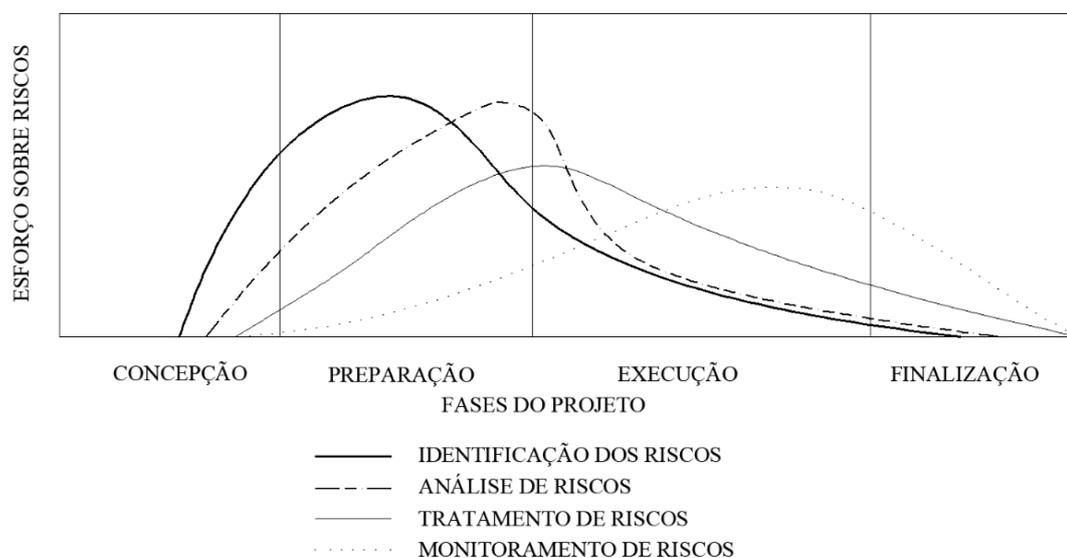


Figura 5: Modelo idealizado de esforço sobre o gerenciamento de risco durante o ciclo de vida do projeto. Fonte: Autor

A estratégia tradicional de respostas aos riscos da fase de construção (transferir, compartilhar, reduzir ou evitar) aplicada em cinco passos (identificação, análise, avaliação, resposta e monitoramento), nem sempre demonstra a mesma eficiência no gerenciamento dos riscos de todas as fases HAN *et al* (2008). Esta percepção corrobora que o plano do gerenciamento de risco deve considerar estratégias que consideram posicionamentos e investimentos que foquem na melhor eficiência possível considerando os recursos limitados.

No mercado imobiliário nacional a análise de riscos normalmente se concentra nos aspectos econômico financeiros, incluindo a análise de viabilidade econômica e de circunstâncias externas à empresa (BUZI; JUNGLES; AVILA, 2012; AZEVEDO, 2013), sem que maior atenção seja dada à fase de concepção (BARRETO; ANDERY, 2015).

Em geral, os participantes do projeto não relacionam os riscos da construção às primeiras fases, seja por ausência de envolvimento, de influência, ou do desconhecimento sobre a importância na análise e tratamento destes na minimização de recursos necessários e no

aproveitamento e geração de oportunidades. A próxima seção busca apresentar dados relevantes para a compreensão do gerenciamento de riscos nestas etapas.

Riscos na Pré-Construção

Apesar do gerenciamento se estender durante todo o projeto, as suas principais atividades são conduzidas antes da construção (OSIPOVA, 2007). É nesta fase onde parcerias são realizadas, consultores são apontados, os fundos são levantados e as aprovações em estudos são obtidas, onde o escopo do empreendimento é definido e as decisões mais críticas são feitas, e logo abrange os maiores riscos (AZEVEDO, 2013). Qualquer decisão nesta fase pode desencadear um efeito em cadeia durante todo o projeto (BAYDOUN, 2011).

Os serviços executados na pré-construção podem ser àqueles realizados antes da construção se iniciar (JIMOH, 2016), neste contexto, os riscos na fase de pré-construção são àqueles que foram considerados durante a concepção e preparação do projeto.

As fases iniciais do projeto possuem o maior grau de incerteza sobre o futuro devido as mudanças ocasionais no escopo do projeto, no cronograma, nos desenhos, no orçamento bem como a maior probabilidade de existência de riscos desconhecidos (UHER; TOAKLEY, 1999).

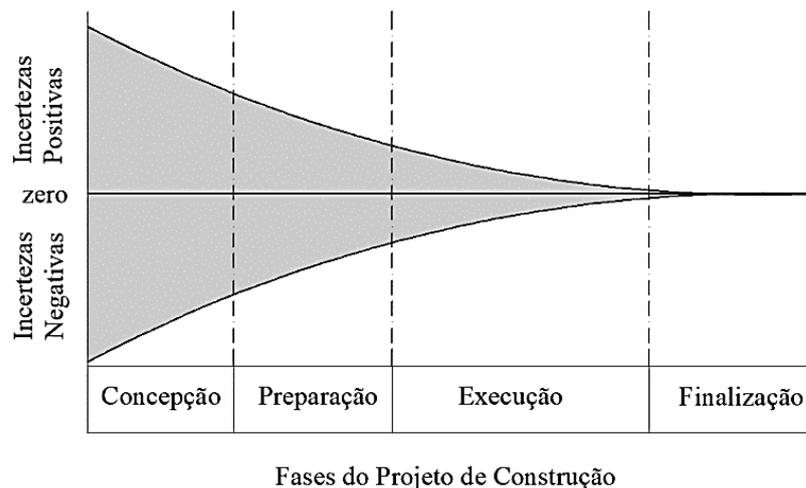


Figura 6: Incerteza em projetos de construção, Fonte: adaptado de Smith, Merna e Jobling (2006)

Os aspectos políticos, sociais e ambientais influenciam diretamente nos processos na pré-construção, onde incertezas nascem do completo desconhecimento e desinformação sobre o projeto (TAROUN, 2014). No entanto, essas incertezas vão se reduzindo a medida que o projeto avança e se encontra no seu período de ocupação (KLEMETTI, 2006), esta relação é ilustrada na Figura 6.

A fase de desenvolvimento do projeto deve ser considerada, pois não só o nível de risco, mas também as oportunidades associadas são altas durante a fase de concepção e desenho

(KLEMETTI, 2006). A previsão oportuna de situações desfavoráveis permite tomar providências a tempo, Mattos (2010) denomina oportunidade construtiva como sendo àquela onde a realização de alterações possuem um custo baixo.

A área de aplicação do gerenciamento de riscos se expandiu para além da fase de construção e passou a incluir os campos da tomada de decisão na elaboração de propostas comerciais, da execução de estudos de viabilidade, da elaboração de estudos de marketing, das avaliações de desempenho e do gerenciamento das contingências na orçamentação (HAN *et al.* 2006).

Chapman (2001) diz que outras pesquisas sugerem que a forma como os riscos são identificados nas fases iniciais dos empreendimentos terá grande impacto na maneira como eles serão mitigados ou monitorados na fase de construção e operação. Várias pesquisas apontam para o fato de que a identificação e tratamento de riscos na fase de projeto são fundamentais para a garantia de custos, prazos e escopo dos empreendimentos (MC GRAW-HILL, 2014).

Jimoh (2016) elucida que quando se adota o gerenciamento de construção a partir do início do contrato, nas fases de concepção de projeto os clientes ficam aptos a utilizar o expertise dos construtores em todos os aspectos de design e planejamento. Observa-se que durante a fase de concepção do projeto os riscos são tratados de maneira ineficiente, algumas das atitudes observadas em seu trabalho são:

- A contingência é alocada como um risco imprevisível, sem considerar que o risco pode reduzir drasticamente a margem de lucro do projeto;
- Os erros e omissões na fase de design são resolvidos usando o conhecimento do construtor;
- Não envolvimento de todos os investidores e atores na fase de planejamento da obra; e
- Alta demanda de consultorias durante tomadas de decisão;

Os resultados da pesquisa de Barreto e Andery (2015) apontam que as empresas incorporadoras não possuem mecanismos adequados para a gestão de riscos na fase de concepção, e esses mecanismos concentram-se, sobretudo, na etapa de análise de viabilidade econômica dos empreendimentos.

Barreto e Andery (2015) propõem que a explicitação das ações envolvidas com a gestão de riscos pode ser um primeiro passo para que as empresas implementem estes modelos nos estágios iniciais de desenvolvimento dos empreendimentos. Deste modo a próxima seção deste trabalho se propõe a apresentar o cenário do gerenciamento de riscos nos principais processos que envolvem as fases antes da construção, e através de Gehbauer (2002) o autor

entende que são o Estudo de Viabilidade; o Cronograma; o Orçamento; o Desenho; e os Contratos e Aquisições.

a) Estudo de Viabilidade

Para o gerenciamento dos processos de risco ser efetivo este deve ser aplicado desde o início, incluindo o estudo de viabilidade e as fases iniciais do planejamento (AGERBERG J.N; ÅGREN, 2012). Clientes, designers e o governo deve tomar responsabilidade de gerenciar os riscos relevantes trabalhando cooperativamente nas fases de análise preliminar para direcionar os riscos potenciais em tempo (ZOU; ZHANG; WANG 2007).

O objetivo do estudo de viabilidade é estabelecer se o projeto será viável economicamente, ajudando a identificar possibilidades mais atrativas para o projeto e assessorar no desenvolvimento da documentação, como os documentos relativos a aprovação, o plano de execução e a estratégia inicial (WALKER, 2007). Algumas outras atividades que também podem estar envolvidas com este processo incluem, mas não se limitam à:

- Análise de Impacto Ambiental;
- Aprovações de cunho jurídico e legal;
- Análise do financiamento e verba disponível;
- Estudo do local da obra, bem como construções pré-existentes;
- Estudo de acesso ao local da obra;
- Estudo de mercado e mão de obra na localidade;
- Estudo de abastecimento do local de obra; e
- Consideração de opções de contrato.

Somente o custo da preparação da proposta comercial pode chegar até 5% do custo do projeto (MELLO, 2007). Estes custos podem variar de 0,1% até 1% do orçamento final, dependendo da complexidade do projeto e do grau de detalhamento com que foi elaborada a documentação da licitação (GEHBAUER, 2002).

A maioria dos riscos nesta fase está relacionada a clientes e agências governamentais (ZOU; ZHANG; WANG, 2007). Os clientes devem saber que tipo de projeto eles precisam, de modo a conduzir um estudo de viabilidade do modo mais prático possível, e desenvolver o design, cronograma e escopo do projeto de modo que se tenham informações suficientes para servir como um guia do desenvolvimento futuro do projeto (ZOU; ZHANG; WANG, 2007).

Para minimizar problemas de burocracia, e diminuir a quantidade de procedimentos e aprovações, as incorporadoras devem manter um contato próximo das agências reguladoras do governo, seja na ordem nacional, estadual ou municipal (ZOU; ZHANG; WANG, 2007). A influência potencial da flutuação de custos dos materiais de construção já devem ser consideradas também nesta etapa.

b) Cronograma

O planejamento é iniciado com o estudo detalhado do escopo, a partir do qual as atividades construtivas são definidas e programadas em forma de um cronograma, de modo a garantir o cumprimento do prazo da obra. Os recursos necessários para a execução das atividades são identificados e quantificados; suas disponibilidades analisadas e os prováveis fornecedores consultados (GEHBAUER, 2002).

O cronograma inicia-se durante as primeiras fases e, logo, o escopo do projeto ainda não é um consenso entre as equipes e disciplinas envolvidas, pois potencialmente sofrerá alterações durante o desenvolvimento em fases posteriores (MULHOLLAND; CHRISTIAN, 1999). Os cronogramas apresentam significativa incerteza devido aos riscos inerentes a todas as atividades de construção, como resultado, atrasos são comuns nos projetos de construção, o que ocasiona grandes perdas. Logo, prever os atrasos é um dos fatores que irão influir no sucesso (LUU, 2009).

Os prazos são normalmente ultrapassados devido a problemas da elaboração de projetos e disputas, ambos previsíveis, mas a sua probabilidade e efeitos são difíceis de calcular com qualquer precisão devido a singularidade de cada projeto de construção civil (THOMPSON; PERRY, 1992 *apud* MULHOLLAND; CHRISTIAN, 1999).

Desafios são encontrados na tentativa de considerar incertezas no cronograma de projetos. O primeiro é que sistemas que realizam essas considerações não são disponíveis comercialmente; o segundo refere-se a dificuldade de acesso as informações documentadas da indústria da construção ou o conhecimento desenvolvido pela empresa ao longo dos anos; o terceiro é a dificuldade de envolver e motivar a equipe de gerenciamento de projeto a identificar e analisar os riscos existentes na determinação do cronograma da obra (MULHOLLAND; CHRISTIAN, 1999).

Os problemas que são causas do insucesso de cronogramas podem ser divididos em cinco grupos: a) Natureza da engenharia e da construção; b) Alocação de recursos; c) Complexidades das operações de projeto e métodos de cronograma; d) Desconfiança sobre ferramentas modernas de cronograma; e e) Estimação do tempo para a atividade.

(MULHOLAND; CHRISTIAN 1999). Segue nos ANEXO B as incertezas referentes ao processo de cronograma listadas pelos autores.

A predição da duração das atividades é um dos temas mais considerados no âmbito da análise e modelagem de riscos em atrasos de construção e que auxiliam na implementação de novas informações mais precisas no cronograma. Mulholland e Christian (1999) usam a técnica PERT e desenvolvem a distribuição da duração do projeto, onde a variação da distribuição da duração é usada como medida para o risco do cronograma: quanto maior a variância, maior é o risco associado a duração do projeto.

Alguns modelos auxiliam na redução destes riscos, como análise estocástica que combinam as incertezas dos custos e da duração (TAVARES; FERREIRA; COELHO, 1998), *belief networks* para estimar valores otimistas e pessimistas de duração das atividades (NASIR; MCCABE; HARTONO, 2003), o uso de redes de influência para determinar as interdependências de duração e custo nas atividades de construção (POH; TAR, 2006) e o uso de ferramentas de multicritério (GTOPSIS) considerando efeitos de segurança, saúde e aspectos ambientais na duração do projeto (MOJTAHEDI; MOUSAVI; MAKUI, 2010).

Os resultados da pesquisa de Luu (2009) concluem que os atrasos mais significativos em obras são devido a aspectos financeiros e de contratos e aquisição. O autor recomenda que construtores devem entender claramente a responsabilidade de prover serviços em tempo, estando bem preparados financeiramente, enquanto as incorporadoras devem focar nos pagamentos em tempo.

c) Orçamento

A autorização da elaboração do orçamento inicia-se a partir da etapa de planejamento da obra, sendo seu objetivo principal a definição do preço a ser proposto para a execução (HAN *et al*, 2008). O orçamento executado de maneira simplificado, sem o gerenciamento dos tempos e recursos por atividade, embute um nível elevado de risco no orçamento, que pode resultar em preços insuficientes ou elevados, configurando boas oportunidades definidas pelos orçamentos elevados que forem aprovados, prejuízo pela não contratação das obras com orçamento elevado e prejuízos com a contratação de obras a preços insuficientes (SILVA, 2008). Esta característica de mercado deixa claro para a organização a importância das técnicas de gerenciamento de projetos, em especial os processos básicos de gerenciamento de custos, cuja aplicação reduz significativamente as ameaças de redução de lucros.

As incertezas decorrentes da orçamentação das obras de construção civil podem ter seus efeitos intensificados ou atenuados nos proprietários de obras e nas organizações de construção civil em função do tipo de contrato (SILVA, 2008). O orçamento também deve incluir custos para os procedimentos de prevenção de riscos à saúde. A consideração de custos de maneira racional permite atingir um valor ótimo entre os custos devido acidentes, os recursos disponíveis, e o nível de segurança (AMINBAKHSH; GUNDUZ; SONMEZ, 2013).

Através de ferramentas para mapear riscos do conhecimentos dos riscos e processos da construção se pode realizar uma análise das vulnerabilidades dos projetos e determinar os riscos que direcionam para o aumento dos custos, de modo que se permita adicionar estes já na elaboração do orçamento (YILDIZ, 2014).

d) Desenho

Barreto e Andery (2003) declaram que se dá pouca importância aos estudos iniciais e na definição do anteprojeto arquitetônico, podendo estar associado ao fato de que o desenvolvimento de projetos ainda é visto exclusivamente como um custo, e não como um fator fundamental para o sucesso dos empreendimentos. Uma evidência desta declaração se dá pelo reconhecimento da contratação de anteprojetos pelo menor preço.

Andi e Minato (2003) investigam a qualidade dos documentos de desenho que influenciam na construção, onde notam que o defeito de desenho como o mais importante risco ao sucesso do projeto. Esta informação ainda é confirmada pela percepção do cliente e do construtor. O trabalho levanta fatores que influenciam na qualidade, encontrados no ANEXO C, e logo, podem ser tratados como riscos a qualidade do design e no processo de construção em si.

Taylan (2014) aponta a variação por defeitos no desenho e variação dos requisitos dos clientes como as causas das mudanças excessivas do projeto, e sugere que para diminuir esse risco o projetista deve entender totalmente o que o cliente deseja e desenvolver um plano de comunicação entre ambos. Segundo Zou, Zhang e Wang (2007) os escritórios de arquitetura e engenharia envolvidos no desenvolvimento do projeto atuam de maneira muito importante, e podem reduzir os riscos ao:

- Entender totalmente as necessidades dos clientes e seus requisitos;
- Ter informações importantes relativas as condições do local da obra e articular as necessidades dos clientes de modo competente considerado as limitações de recursos;

- Desenvolver de forma colaborativa o design junto às equipes que desenvolvem o cronograma e orçamento para reduzir potenciais alterações no futuro;
- As incorporadoras devem reduzir mudanças, e quando estas são necessárias e inevitáveis, devem informar ao grupo de engenheiros e arquitetos previamente;
- Sempre que possível os designers devem envolver a construtora e os clientes para revisar desenhos em ordem de minimizar os defeitos e considerar as técnicas de construção ao processo de desenvolver o design, bem como o valor monetário.

Chapman (2001) realiza um trabalho minucioso no desenvolvimento de uma metodologia eficaz de identificação e análise de riscos durante o desenho, apresentando através de etapas os conhecimentos do gerenciamento de riscos desenvolvidas para projetos genéricos e os conhecimentos específicos desta etapa em um projeto de construção. A Tabela 1 apresenta alguns dos riscos recorrentes apresentados pelo autor.

Tabela 1: Riscos controláveis e incontroláveis do processo de design de projetos.

Controláveis	Incontroláveis
Submissão atrasada do planejamento	Condições de planejamento impostas ao design
Ausência de Procedimentos de Controle de Mudanças	Falência de projetistas
Ausência de Coordenação de design	Inflação
Delegação atrasada de desenhos aos escritórios	Taxas
Término atrasado dos desenhos	Problemas de infraestrutura ao entorno da obra
Erros de informações sobre produção	Mudanças na legislação

Fonte: Chapman (2001)

No mesmo âmbito, Frijters e Swuste (2008) realizam uma pesquisa de identificação dos riscos em um projeto de um escritório comparando a execução de dois andares, seguindo as práticas similares àquelas propostas pelo PMBOK para identificação e mensuração dos riscos eles os classificam em uma matriz de probabilidade e impacto.

Abderisak e Lindahl (2015) verificam que o BIM (*Bulding Information Modeling*) auxilia nas dificuldades de comunicação, informação e suporte durante e depois do processo de desenho. A implementação de BIM e outras ferramentas digitais permitem o compartilhamento de informações, e que o fazendo reduzem drasticamente os riscos relacionados a falha de comunicação. O BIM ainda permite verificar as questões de saúde e segurança, consideração de quesitos de legislações e normatizações, a facilidade na integração de projetos, o tratamento

de resíduos da construção, e a facilidade da implementação dos conceitos da construção enxuta (ABDERISAK; LINDAHL, 2015)

Dharmapalan *et al* (2015) apresenta a influência do desenho na segurança e saúde do trabalhador da construção, ao conduzir uma quantificação e análise dos riscos mais comuns em uma típica construção de múltiplos pavimentos. A avaliação das características do design foi baseado em fatores de risco calculados em função dos riscos existentes da execução daquele design para cada atividade.

Pesquisas e a prática têm demonstrado que decisões feitas durante o desenho influenciam de maneira positiva a segurança dos trabalhadores na execução e manutenção do edifício (BEHM, 2005). Isto acontece porque estes profissionais estão em uma posição de tomada de decisão em relação à segurança no canteiro em que é possível reduzir ou eliminar os riscos antes mesmo destes estarem efetivamente presentes durante a construção (PIERI; TORRES; PEREIRA FILHO, 2016; GAMBATESE; HINZE, 1999). Este conceito é conhecido como *Safety in Design* (SAFETY IN DESIGN, 2015). Apesar deste conceito relacionar-se com o enfoque nas consequências aos objetivos do projeto, sabe-se que os acidentes de trabalho tem grande influência no custo, no cronograma, na qualidade, e no bem estar dos atores envolvidos e logo devem ser integralizados à análise de risco.

e) Aquisição e Contratos

Os passos que envolvem a etapa de aquisição e contratos apesar de serem simples em natureza, o processo é complexo e muitas atividades estão envolvidas, havendo a necessidade de pessoal para a execução destas etapas. Alguns perigosos riscos nesta fase incluem a etapa de seleção dos fornecedores, a definição de um processo de seleção, e o tempo de entrega (MULHOLAND; CHRISTIAN, 1999)

Melhado (2001) defende o estabelecimento de rotinas para a inspeção de materiais no ato de entrega e que a qualificação e avaliação dos fornecedores passa a ser uma boa norma de gestão, garantindo, assim, o relacionamento fornecedor/ construtora o que infere também na diminuição dos riscos relacionados a comunicação. Algumas fontes de risco da etapa de aquisição e contrato, como custos maiores do que o estimado, materiais fora da validade útil, demora na identificação de material, técnicas de controle manuais, mudança de especificação afetam fabricação, sistema de qualidade do fornecedor, performance dos fornecedores, entre outros. (MELHADO, 2001)

De acordo com Potts (2008) *apud* Agerberg e Ågrem (2012) a seleção das estratégias de procuração decide o nível de risco no projeto de construção e apresenta as partes

distintas de um contrato em Estrutura da organização, Sistema de pagamento; Procedimento de proposta; e Condições do contrato.

Para Osipova (2007), cada tipo de contrato apresentará riscos específicos, o contrato de Projeto-Licitação-Construção gera uma visão distinta dos custos do projeto, que são determinados antes da construção se iniciar. A autora realça que este tipo de contrato apresenta menos risco para o construtor, por não se envolver com a os riscos existentes no processo de design. No entanto Potts (2008) *apud* Agerberg e Ågrem (2012) argumenta que a desvantagem deste tipo de contrato é que costuma consumir mais tempo. Osipova e Eriksson (2011) defendem que este oferece menor margem de lucro que os contratos de Projeto-Construção.

O resultado da pesquisa de Hlaing *et al.* (2008) apontam falhas nos documentos de contratos, o que tornou um dos maiores riscos sobre a percepção das construtoras. Para Zhao, Hwang e Phng (2013) os riscos de contrato também obtiveram grande representatividade, e verificou-se relação entre estes e os riscos de compras e aquisições. O autor conclui que uma maior proporção de recursos de custos e trabalho são investidos no gerenciamento de riscos contratuais, enquanto mais tempo é investido no gerenciamento de risco de aquisições. Jimoh (2016) identifica riscos associados ao processo de contratos e aquisições são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Riscos associados ao processo de contratos e aquisições.

Contratos e Aquisições
Método de contrato inapropriado
Especificações erradas
Seleção inapropriada de terceirizados
Custos de trabalho e material mal calculados
Avaliação inconsistente
Ações contra terceirizadas

Fonte: Jimoh (2016)

Carneiro, Pitorri e Medeiros (2006) apontam que para a escolha do tipo mais adequado de contrato é necessário discutir ou compreender os direitos e deveres definidos nas cláusulas contratuais. Ainda, o contrato pode ser usado como uma das formas de transferência de riscos entre as partes. Percebe-se que, antes da identificação dos riscos propriamente ditos relacionados à este processo, a principal preocupação se dá na pesquisa de formas e mecanismos de alocação e transferência dos riscos entre as partes envolvidas através dos tipos de contratos realizados (WITT; LIAS, 2011; SMITH; MERNÁ; JOBLING, 2006).

2.6 SISTEMA FUZZY

A lógica *fuzzy* é uma forma de traçar valores de entrada até um espaço de saída com conveniência aos formatos destes valores, relacionando aspectos de precisão e significância importantes para a percepção humana. Os sistemas que usam a lógica *fuzzy* compreendem um conceito simples e flexível, sendo tolerante a dados imprecisos, e podendo ser construída em função da experiência de profissionais (MATWORKS, 2013). Ainda, a lógica *fuzzy* vem sendo largamente usada devido sua capacidade de ser fundida com outras técnicas, principalmente por permitir trabalhar com dados linguísticos.

O homem usualmente lida com situações complexas contendo dados imprecisos ou aproximados apresentados usualmente em linguagem verbal. A utilidade da lógica *fuzzy* é conseguir traduzir e aplicar estes termos em forma matemática sem que se perca a natureza desses dados que, diferentemente da lógica booleana, que apenas atendem a termos de zero e um, a lógica *fuzzy* permite adotar infinitos valores no intervalo entre estes dois extremos, logo, operações específicas devem ser consideradas para tratar destes tipos de dados.

Em um sistema *fuzzy*, uma entrada “nítida” (tradução livre do termo “*crisp*” usado na língua inglesa) é caracterizada como um valor numérico real, e convertido em grupos para a função de agrupamento baseado no seu valor real. Neste ponto de vista, a saída de um sistema *fuzzy* é baseado em seus agrupamentos para diferentes funções de agrupamento, também denominadas de função de pertinência, o que pode ser considerado um tipo de intervalo de entrada.

Um sistema pode ser definido como um conjunto de elementos interdependentes que formam um todo organizado (BERTHANLANFFY, 1975), e consiste em qualquer sistema cujas variáveis, ou pelo menos alguma delas, são apresentadas como valores de um conjunto *fuzzy* (KLIR; YAN, 1995). Para cada variável, os conjuntos *fuzzys* são definidos e relacionados à um conjunto universal, que se trata normalmente de um intervalo de valores reais. Nestes casos os conjuntos *fuzzy* são números *fuzzy*, e as variáveis associadas são variáveis linguísticas (KLIR; YUAN, 1995).

Fundamentos dos Conjuntos Fuzzy

Apesar da teoria de conjuntos *fuzzy* estudar a lógica difusa em dados incertos, a teoria possui uma abordagem muito bem conceituada. A formalização matemática de um conjunto *fuzzy* se baseia em conjuntos clássicos e em suas relações de operação, determinados por Zadeh (1965).

Definição 1: A função característica de um subconjunto A em um universo U é dada por:

$$\chi_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x \in A \\ 0, & \text{se } x \notin A \end{cases} \quad (1)$$

Logo uma função em domínio de U está contida no conjunto $\{0,1\}$, onde quando $\chi_A(x) = 1$ indica que o elemento x está em A , enquanto $\chi_A(x) = 0$ indica que x não está em A .

Definição 2: Um subconjunto *fuzzy* F em um universo U é representado por:

$$\varphi_F : U \longrightarrow [0, 1] \quad (2)$$

A classe dos subconjuntos *fuzzy* de U é denominado por $F(U)$, onde o valor de $\varphi_F : U$ indica o grau com que o elemento x de U está no conjunto *fuzzy* F , onde quando adota 0 e 1 representam pertinência mínima e máxima respectivamente (SOUZA; MESQUITA, 2010). Na linguagem *fuzzy*, um subconjunto clássico costuma ser chamado de conjunto *crisp*, ou nítido.

Na teoria de conjuntos *fuzzy* existem operações matemáticas assim como nos conjuntos clássicos, algumas das operações típicas realizadas são a união, intersecção e complemento.

Definição 3. Dados os conjuntos *fuzzy* A e B em U , a união $A \cup B$, a intersecção $A \cap B$, e o complemento A' são conjuntos *fuzzy* com funções de pertinência representadas pelas equações:

$$\varphi_{(A \cup B)}(x) = \max\{\varphi_A(x), \varphi_B(x)\}, \forall x \in U \quad (3)$$

$$\varphi_{(A \cap B)}(x) = \min\{\varphi_A(x), \varphi_B(x)\}, \forall x \in U \quad (4)$$

$$\varphi_{A'}(x) = 1 - \varphi_A(x), \forall x \in U \quad (5)$$

Em dois subconjuntos *fuzzy* A e B , estes serão iguais caso suas funções de pertinência coincidam, ou seja, $\varphi_A(x) = \varphi_B(x), \forall x \in U$. Para um conjunto vazio sua função de pertinência será igual a zero, enquanto que um conjunto U terá grau de pertinência igual a um, para isto as propriedades de elemento nulo e neutro abaixo são válidas:

$$A \cap \emptyset = \emptyset \quad \text{e} \quad A \cup \emptyset = A \quad (6)$$

$$A \cap U = A \quad \text{e} \quad A \cup U = U \quad (7)$$

As principais propriedades das operações com subconjuntos fuzzy são apresentadas abaixo:

Comutatividade:

$$A \cup B = B \cup A \quad \text{e} \quad A \cap B = B \cap A \quad (8)$$

Associatividade:

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap C \quad \text{e} \quad A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup C \quad (9)$$

Idempotência:

$$A \cup A = A \quad \text{e} \quad A \cap A = A \quad (10)$$

Distributividade

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C) \quad \text{e} \quad A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C) \quad (11)$$

Números Fuzzy

O conceito de números *fuzzy* é necessário para se poder quantificar os valores qualitativos e permitir realizar operações matemáticas (SOUZA; MESQUITA, 2010). O número fuzzy é um caso especial de um conjunto fuzzy que define um intervalo fuzzy nos números reais, \mathbb{R} . Para um número real cujo valor preciso não é conhecido com exatidão, este número é definido através de um intervalo fuzzy.

Definição: Um subconjunto fuzzy A é chamado de número fuzzy quando o conjunto universo no qual a pertinência deste subconjunto está definida, sendo o conjunto dos números reais \mathbb{R} satisfazendo as condições:

- i. Todos os α -níveis de A são não-vazios, com $0 \leq \alpha \leq 1$
- ii. Todos os α -níveis de A são intervalos fechados de \mathbb{R}
- iii. A condição limite superior de A é limitada por $\{x \in \mathbb{R}: \varphi_A(x) > 0\}$

Os números *fuzzy* mais comuns são os triangulares, trapezoidais e em forma de sino de função gaussiana.

Um número *fuzzy* é dito triangular se sua função de pertinência é da forma:

$$\varphi_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \leq a, \\ \frac{x-a}{u-a}, & \text{se } a < x \leq u, \\ \frac{x-b}{u-b}, & \text{se } u \leq x < b, \\ 0, & \text{se } x \geq b. \end{cases} \quad (12)$$

Um número *fuzzy* é dito trapezoidal quando sua função de pertinência é na forma de um trapézio, e dada por:

$$\varphi_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & \text{se } a \leq x < b, \\ 1, & \text{se } b \leq x \leq c, \\ \frac{d-x}{d-c}, & \text{se } c < x \leq d, \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (13)$$

Relações Fuzzy

A relação matemática entre números *fuzzy* é formalizada através das relações de conjunto. Em uma relação entre conjuntos clássicos se indica a existência ou não da associação entre dois objetos (SOUZA; MESQUITA, 2010). A relação *fuzzy*, além de indicar esta existência, também informa o grau da relação entre os objetos.

Uma relação clássica R é um subconjunto do produto cartesiano, representada pela função:

$$\chi_R : U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n \longrightarrow \{0, 1\}, \quad (14)$$

Onde

$$\chi_R(x_1, x_2, \dots, x_n) = \begin{cases} 1, & \text{se } (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R \\ 0, & \text{se } (x_1, x_2, \dots, x_n) \notin R \end{cases} \quad (15)$$

Definição: (Relação Fuzzy) incorpora uma função de pertinência, assim uma relação *fuzzy* R sobre $U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n$ é qualquer subconjunto *fuzzy* de $U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n$, assim, uma relação *fuzzy* R é definida por $\varphi_R : U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n \rightarrow [0,1]$.

O produto cartesiano na teoria de conjuntos *fuzzy* é similar à operação de interseção, estando a diferença nos conjuntos universo, que, na interseção os subconjuntos *fuzzy* são de um mesmo universo, enquanto no produto cartesiano podem ser de universos diferentes.

Definição: (Produto Cartesiano) O produto cartesiano dos subconjuntos A_1, A_2, \dots, A_3 de U_1, U_2, \dots, U_3 é a relação *fuzzy* $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$ cuja função de pertinência é apresentada como

$$\varphi_{A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \varphi_{A_1}(x_1) \wedge \varphi_{A_2}(x_2) \wedge \dots \wedge \varphi_{A_n}(x_n) \quad (16)$$

Onde, \wedge representa o mínimo. Então para os conjuntos clássicos A_1, A_2, \dots, A_3 o produto cartesiano clássico $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$ pode o representar pela definição anterior, substituindo as funções de pertinências pelas funções dos conjuntos A_1, A_2, \dots, A_3

A composição nas relações *fuzzy* binárias tem uma papel importante nas aplicações da lógica *fuzzy*, principalmente para a aplicação das máquinas de inferência nas composição de max-min.

Definição: (Relação Binária) Em duas relações *fuzzy* binárias R e S , temos $U \times V$ e $V \times W$. A composição binárias $R \cdot S$ é uma relação *fuzzy* binária em $U \times V$ em que a função de pertinência é dada por

$$\varphi_{R \circ S}(x, z) = \sup_{y \in V} \left[\min(\varphi_R(x, y), \varphi_S(y, z)) \right], \quad (17)$$

Onde:

$$x \in U \text{ e } z \in W.$$

Sendo os conjuntos U , V e W finitos, a forma matricial da relação $R \cdot S$ é dada pela composição max-min obtida como uma multiplicação de matrizes, onde o produto será o mínimo, e a soma o máximo. Um caso especial desta composição é a regra da composição de inferência.

Variáveis Linguísticas

O sucesso da lógica *fuzzy* se dá pelo seu caráter prático, permitindo conclusões a partir de proposições incertas. A formalização dessas proposições é conhecida como raciocínio aproximado (SOUZA; MESQUITA, 2010). Na lógica clássica sentenças verdadeiras tem valor lógico 1, enquanto sentenças falsas têm valor lógico 0. Na aplicação da lógica *fuzzy* os valores lógicos assumem valores dentre do intervalo booleano através das relações mencionadas.

Para isto o método dedutivo conhecido como *modus ponens* é aplicado, diferenciando do método clássico apenas devido a subjetividade considerada na aplicação *fuzzy*. A expressão das variáveis linguísticas é dada pela representação de subconjuntos *fuzzy*. Assim uma variável linguística X em um universo U é uma variável com valores assumidos no subconjunto *fuzzy* U .

A partir da regra de inferência:

Regra: “IF x é A , THEN y é B ”

Fato: “ x é A ”

Conclusão: “ y é B ”

A saída de um modelo clássico de *modus ponens* se apresenta como

$$\chi_B(y) = \sup_{x \in U} [\min(\chi_R(x, y), \chi_A(x))], \quad (18)$$

O *modus ponens fuzzy* permite a adoção de funções de pertinência. Os substantivos e seus critérios são modelados por conjuntos *fuzzy* e os conectivos por operadores como mínimo, máximo, implicações e negações, resultando em um conjunto *fuzzy* obtido pela extensão da regra de composição de inferência, apresentado abaixo:

$$\varphi_B(y) = \sup_{x \in U} [\min(\varphi_R(x, y), \varphi_A(x))], \quad (19)$$

Isto revela o potencial da lógica *fuzzy*, que permite a modelagem da sentença assumindo valores de incerteza, produzindo saídas com melhor representação da entrada difusa.

Inferências Fuzzy

A ideia da lógica *fuzzy* foi inventada pelo professor L.A. Zadeh da Universidade de California em Berkeley (ZADEH, 1965). Esta invenção foi apenas reconhecida pela sua funcionalidade quando E.H. Mamdani, professor na Universidade de Lomdon aplicou a lógica *fuzzy* em uma prática de controle de automação em 1975 (MAMDANI; ASSILIAN, 1975). Desde então, muitas aplicações vem sendo desenvolvidas, sejam elas na área industrial, na automação, em bancos, hospitais, e, mais recentemente, na análise de riscos.

A inferência *fuzzy* é um processo de formular o mapeamento de um dado de entrada até um dado de saída usando a lógica *fuzzy*. A base de regras é modelada matematicamente por uma relação *fuzzy* R para conjuntos *fuzzy* de dados. A função de pertinência de R é representada por:

$$\varphi_R(x, y) = \max_{1 \leq i \leq r} (\varphi_{R_i}(x, u)), \quad (20)$$

Onde R_i é a relação *fuzzy* obtida da regra i , cuja função de pertinência é obtida em função dos valores x e u , onde x representa os critérios de entrada e u os de saída.

Neste trabalho desenvolvemos um modelo que usa a inferência Mamdani (MAMDANI; ASSILIAN, 1975). Este método é o mais comum dentre as metodologias *fuzzy*, e foi um dos primeiros métodos aplicados no controle de sistemas. De maneira sucinta, Mamdani apresenta uma relação binária M entre x e u para modelar matematicamente a base de regras. Esse método tem como base a regra de composição de inferência *max-min*.

Em cada regra R_i a condicional “if x é A_j , então u é B_j ” é modelada pela aplicação do mínimo. Adotando-se \wedge (mínimo) para o conceito lógico “and” e o máximo para o conceito lógico “or”. Assim a relação *fuzzy* M é o subconjunto *fuzzy* $X \times U$, cuja pertinência é dada por:

$$\varphi_M(x, u) = \max_{1 \leq i \leq r} (\varphi_{R_i}(x, u)) = \max_{1 \leq i \leq r} [\varphi_{A_j}(x) \wedge \varphi_{B_j}(u)], \quad (21)$$

Onde r é o número de regras que compõem a base de regra e, A_j e B_j são subconjuntos da regra j .

Defuzzificação

Para cada entrada *fuzzy*, a máquina de inferência produzirá uma saída *fuzzy* que deve indicar um valor lógico a ser assumido pelo usuário ou controlador. No entanto pode existir a necessidade da transformação desse valor *fuzzy* para um valor nítido. Dessa forma deve-se indicar um método para “defuzzificar” a saída e se obter um valor nítido.

Existem diversos métodos de defuzzificação na literatura, ou “defuzzificadores”. Os mais utilizados são os métodos do centroides, centro dos máximos e o da média dos máximos, estes são descritos rapidamente:

- O método do centroide, ou centro de gravidade, calcula o centro geométrico da área composta, onde o valor na abscissa x do ponto calculado será o valor real da saída.
- O método do centro dos máximos a saída é calculada como uma média dos máximos onde os pesos são resultados da inferência, considerando as contribuições múltiplas das regras.
- O método da média dos máximos a saída é obtida através da média de todos os elementos do universo que apresentam os valores máximos das funções de pertinência.

3. METODOLOGIA

A necessidade constante de informações rumo ao crescimento pessoal é uma característica inerente do ser humano. A pesquisa é um recurso primordial para obter informações acerca de um determinado assunto. A pesquisa científica é a realização concreta de uma investigação planejada, desenvolvida e redigida de acordo com as normas consagradas pela ciência (RUIZ, 1991). Consiste de uma atividade complexa pois compreende uma série de processos com objetivos distintos em função da problemática levantada.

A metodologia é um dos processos vitais de uma pesquisa, e retrata os métodos necessários para a obtenção de dados que desenvolverão raciocínios que devem resultar em informações úteis na compreensão, descrição, ou solução do problema (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2006). A metodologia pode ser pautada em vários critérios, como o tipo de pesquisa, o tipo de enfoque, os métodos ou instrumentos adotados, e a validação dos resultados.

Quanto ao tipo de pesquisa, ou objetivos de pesquisa, podem ser classificados em exploratórias, correlacionais, descritivas ou explicativas (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2006). A classificação delinea a estratégia de estudo a ser usada na pesquisa. O projeto, os dados coletados, a maneira de obtê-los, a amostragem, e outros componentes do processo de pesquisa. Na prática, a pesquisa inclui elementos dos vários tipos durante suas fases. Um estudo quantitativo pode, por exemplo, desenvolver-se como descritivo e concluir explicando relações causais realizando correlações (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2006). O tipo de pesquisa deste trabalho é explicativo, onde, a partir do entendimento das variáveis presentes e suas relações, se pretende mensurar os efeitos destas produzindo valores que influirão na tomada de uma decisão.

A abordagem ou enfoque é um marco importante no desenvolvimento da pesquisa científica. É selecionada de modo a trazer orientação ao pesquisador para este realizar escolhas subsequentes quanto aos métodos e técnicas de pesquisa. Cada abordagem traz um conjunto de características, com virtudes e fraquezas. Para esta pesquisa foi adotada uma abordagem quantitativa, onde as características, de acordo com Bryman (1989), envolvem a:

- Mensurabilidade: gera resultados que são traduzíveis em escalas numéricas;
- Causalidade: expressam relação de causa e efeito entre variáveis;
- Generalização: permite a aplicação da metodologia em ambientes similares com outras variáveis; e
- Replicação: possível repetir a pesquisa e encontrar resultados semelhantes.

A abordagem de pesquisa ainda pode ser subgrupada em uma pesquisa empírica, que é primariamente dirigida por descobertas e medidas empíricas. Com decorrência da pesquisa empírica reportaremos os resultados da pesquisa teórica. Dentre os métodos mais apropriados na área de engenharia relacionada a processos produtivos podemos citar o:

- Levantamento tipo *survey*: coleta de dados com grande amostra e uso de estatística;
- Estudo de Caso: análise aprofundada de objetos de pesquisa com múltiplos instrumentos;
- Modelagem: técnicas, usualmente matemáticas, que descrevem o sistema ou parte do sistema com o uso da abstração da realidade;
- Experimento: estudo de relação causal entre variáveis de um sistema sob condições controladas pelo pesquisador.

Nesta pesquisa se adotou o método de modelagem. Ainda, a elaboração do modelo é adequada para a teoria e conceitos estudada. Este modelo receberá influência da perspectiva de profissionais da área, através do uso de técnicas específicas contidas nos métodos de *survey*, usadas na modelagem de preferências de decisor. O pesquisador deve assegurar que exista adesão entre observações e ações na realidade para um modelo proposto (MIGUEL, 2012).

Na Figura 7 se apresenta o diagrama como os processos propostos para a metodologia desenvolvida.

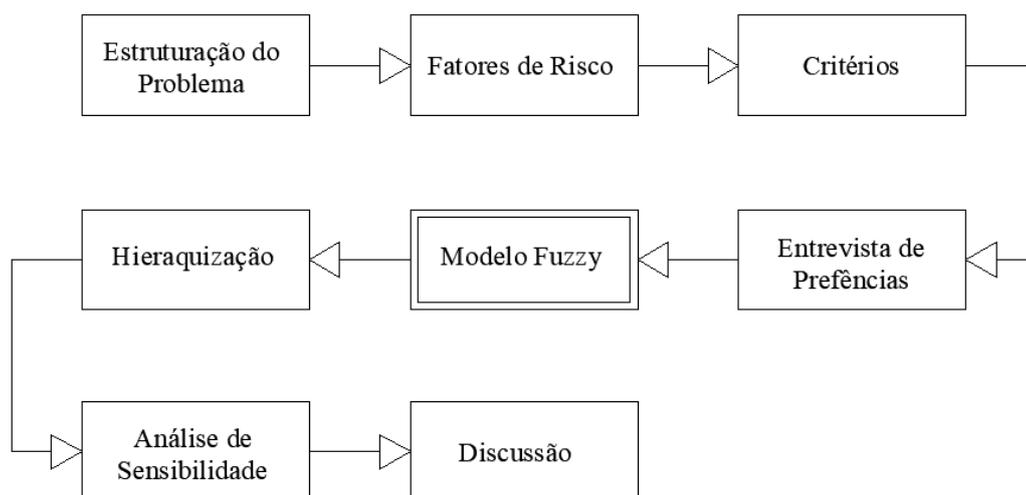


Figura 7: Diagrama de Processos da Metodologia. Fonte: Autor

O papel dos modelos é a construção ordenada das variáveis que compõem uma problemática. A partir dele é possível prever dados, o que auxilia no desenvolvimento de uma ação para solucionar um problema (MIGUEL, 2012). No entanto não basta o pesquisador ter conhecimento sobre a ordem dos elementos do modelo, mas deve ter também a capacidade de organizá-los de maneira a estabelecer sentido. Segundo Alves (1995: 47), “modelos são construções intelectuais, palpites, apostas, baseados na crença de que existe uma relação de analogia entre aquilo que conhecemos e aquilo que desejamos conhecer”.

3.1 ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA

Se torna necessário apresentar o campo de estudo e o cenário o qual será aplicado o método, promovendo a delimitação do universo da pesquisa e contribuindo na compreensão da área de aplicação implicadas com o a problemática. Para a estruturação do problema a revisão foi indispensável, esta foi classificada como empírica, a qual o conforme Alves-Mazzotti e Gewandszajder (1999) o pesquisador procura explicar como o problema vem sendo pesquisado do ponto de vista metodológico procurando responder:

- Quais procedimentos normalmente empregados no estudo desse problema?
- Que fatores vêm afetando os resultados?
- Que propostas têm sido feitas para explicá-los ou controlá-los?
- Que procedimentos vêm sendo empregados para analisar os resultados?

O conhecimento e compreensão dos riscos que envolvem um novo empreendimento são imprescindíveis para garantir que os objetivos sejam alcançados. A identificação, análise, tratamento e o monitoramento, processos que compõem o gerenciamento de riscos, permitem que a equipe responsável tome decisões para assegurar o desenvolvimento do projeto baseados usualmente nos critérios de custo, tempo e qualidade. Assim, se torna possível a adoção de procedimentos que garantam melhores resultados, evitando falhas, reduzindo erros, e maximizando oportunidades.

Diversas estratégias são concebidas para fornecer informações pertinentes que auxiliem o decisor nas tomadas de decisões. Existe um esforço no desenvolvimento de modelos que consideram as características dos termos linguísticos e sua subjetividade. A tradução e avaliação de dados relativos a percepção humana deve adotar valores que estão além do certo e do errado. A lógica *fuzzy*, também conhecida como lógica difusa, permite a leitura destes dados considerando a sua natureza incerta. Na análise de riscos, mesmo quando se realiza uma

análise quantitativa, o uso desta lógica auxilia no tratamento destes dados de maneira mais adequada.

A lógica *fuzzy* é útil na tomada de decisão, onde variáveis são definidas em termos inexatos. O uso desta lógica no planejamento e logística pode levar a vantagens adicionais em relação a minimização de custos, de prazo e maximização de qualidade, permitindo converter a experiência humana em uma forma compreensível a modelos de matemáticos de apoio a tomada de decisão.

As atividades definidas na estruturação do problema são cinco:

- i. **A Identificação do Ambiente:** delimita a coleta de dados dentro e a validação do modelo para àquele ambiente. Para a esta delimitação se adotará a norma NBR 12721 – Avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios. Esta norma dispõe de classes de residências unifamiliares e edifícios multifamiliares em função das características de área e composição. Para este trabalho adotou-se a Residência Multifamiliar de Padrão Normal com até dezesseis pavimentos tipo (R16 – N), detalhada nesta norma.
- ii. **Os atores envolvidos:** abrange os intervenientes que influirão na concepção e na alimentação do modelo. Consiste em especialistas e gerentes de projeto, que neste contexto será a pessoa responsável pelo planejamento e controle do empreendimento, deste modo os resultados obtidos transmitem a percepção destes profissionais sobre o risco em função de critérios.
- iii. **Entradas:** são determinados os fatores de risco através da revisão bibliográfica e que sofrerá influência da percepção dos atores através da hierarquização e posterior priorização, compondo um dos dados de entrada necessários, junto aos critérios de avaliação.
- iv. **A Ferramenta de Análise:** a implementação da lógica *fuzzy* como um enfoque na elaboração de um modelo que traga resultados em torno da problemática de caracterização dos fatores, que auxiliará o decisor na;
- v. **A Aplicação:** Auxiliando na a tomada de decisão, que permitirá a consideração da caracterização dos fatores de risco na busca da melhor solução para o problema levantado.

3.2 DADOS DE ENTRADA

Os principais dados de entrada para o sistema são os fatores de risco e os critérios. O método de coleta da percepção dos atores é realizado de maneira a identificar as suas preferências sem influir nas respostas através de técnicas propostas na modelagem de preferências. Cuidados devem ser tomados para captar as preferências, de modo que estes dados levantados são importantes na elaboração do modelo e de sua validação.

Os fatores de risco são àquelas incertezas que possuem um potencial reconhecido de influir nos objetivos dos projetos. O levantamento de todos os fatores influentes em projetos de construção é importante para, em um projeto específico, delimitar àqueles que estão contidos. A descrição sucinta dos riscos permite o entendimento da relação daqueles fatores a realidade disposta. Elabora-se então uma *checklist* em função da revisão dos projetos e da percepção dos atores, permitindo, em função da experiência da equipe, visualizar quais os critérios mais influentes.

A partir da revisão bibliográfica realizada neste trabalho, construiu-se uma *checklist* dos principais fatores de riscos nas fases pré-construção de uma edificação, apresentada na Tabela 3. Dentre estes fatores de risco levantados, se identificou àqueles que estão contidos no Planejamento, processo adotado no trabalho de Moreira (2016). Os dados das preferências do decisor quanto à como cada fator de risco influencia um determinado critério foram realizados a partir da pesquisa da autora para edificações de médio padrão.

Tabela 3: Resultados Parciais de Descrição dos Fatores de Risco.

Processo	Analisadas	Fator de Risco
Estudo de Viabilidade		Mudanças na legislação e Dados desatualizados
		Permissões negadas
		Dificuldades na aquisição do terreno
		Inacurácia no estudo do terreno
		Desenhos preliminares mal executados
		Incompatibilidade entre financiamento e fluxo de caixa
Cronograma	I1	Cronogramas otimistas e sem contingências
	I2	Estimação de duração de atividades imprecisa
		Procedimentos de aprovações longos
		Atrasos em pagamentos
		Elaboração e interpretação de redes de atividades

Orçamento	I3	Dificuldades na alocação de recursos
	I3	Imprecisão sobre dados de performance
	I4	Equipe de orçamento despreparada ou inexperiente
	I5	Inacurácia em quantitativos Flutuações de Preço
Desenho	I6	Planejamento de projetos ineficiente e laborioso
	I6	Excessivas mudanças e atualizações
	I6	Detalhes e métodos construtivos inadequados
		Deconsideração de procedimentos de segurança e saúde
		Incompatibilidade com orçamento Coordenação e Comunicação entre projetos deficiente
Contratos e Aquisições	I1	Excesso de burocracia e documentos
	I7, I8	Problemas com fornecedores
	I9	Problemas com terceirizadas
	I10	Intervenções de <i>stakeholders</i> Condições de mercado Problemas com seguradora de equipamentos Mudanças de cláusulas de contrato

Fonte: Autor

Os fatores de risco que serão analisados estão indicados na segunda coluna da Tabela 3. A autora adota o termo “incerteza” para fatores de risco. Verificou-se que as incertezas identificadas por Moreira (2016) podem equivaler à um ou mais fatores de riscos identificados neste trabalho, ainda, no fator de risco “Problemas com Fornecedores” no processo “Contratos e Aquisições” atendem à duas incertezas. A descrição destas incertezas de Planejamento para estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4 - Descrição de Incertezas/Fatores de Risco à analisar

Cronograma	I1	Atraso de Suprimentos	Problemas gerados devido a deficiência em planejamento, criando cronogramas otimistas, desconsiderando prováveis complicações com a distribuição de materiais.
	I2	Estimativa de Duração de Atividades	Falhas no estudo da duração de atividades podem levar a aumento do prazo para finalização do projeto.

Orçamento	I3	Falhas na Programação de Mão de Obra	Valores de pessoa e material são realizados sem confiança, e performance para o projeto específico não é considerada.
	I4	Previsões de Orçamento	Equipe de orçamento despreparada ou inexperiente com projetos desta natureza.
	I5	Erros em Quantitativos	Falhas na quantificação das atividades e dos materiais necessários, bem como no preço unitário dos itens
Desenho	I6	Especificações de Projeto	Detalhes construtivos inadequados, especificações, e incompatibilização de projetos atrasam o início da obra geram erros em outros processos.
Contratos e Aquisições	I7	Problemas com Fornecedor	Os contratos entre terceirizadas e fornecedores são dificilmente atendidos. Mudanças são necessárias representam risco.
	I8	Equipamentos Especiais	Materiais disponíveis apenas por poucos fornecedores, necessidade de contratação de equipe exclusiva e itens incomuns do projeto podem ser perigosos.
	I9	Mão de Obra desqualificada	Escassez na mão de obra qualificada gera consequências grandes nos critérios para o sucesso do projeto.
	I10	Comunicação entre <i>Stakeholders</i>	Comunicação entre participantes podem levar a fatores de insucesso do projeto

Fonte: adaptado de Moreira (2016)

Os critérios a serem considerados para a avaliação de projetos de construção civil normalmente se restringem à três: o custo; o tempo; e a qualidade. Estes critérios pertencem ao modelo do triângulo de ferro. Trata-se de um modelo representado por um triângulo equilátero, cujos lados se relacionam, e quando alterados, os demais lados passam a sofrer efeitos. Estes critérios foram descritos em função de suas características na Tabela 5. A qualidade assume a conformidade e satisfação, o custo assume os custos diretos e indiretos, enquanto o tempo assume o valor apenas de prazo.

Tabela 5: Resultados Parciais de Descrição de Critérios

Critérios	Descrição
Qualidade	A qualidade aqui representa o atendimento dos requisitos pré-determinados para o projeto, que podem ter se fundamento em normas de desempenho e padrão de acabamento. A qualidade também representará a satisfação do cliente final da edificação.
Custo	Equivalem aos custos diretos e indiretos, como escritórios de projeto, com contratação de consultores, deslocamento, ensaios, mão de obra, aquisições, entre outros.
Prazo	O prazo se refere ao tempo programado para finalização de uma atividade, fase ou projeto. Os fatores de risco podem influir neste prazo negativamente, ao alongá-lo.

Fonte: Autor

A pesquisa de preferências com o decisor de um projeto de edificação residencial de padrão médio teve como resultados as suas percepções sobre a intensidade de influência de cada fator de risco sobre cada um dos critérios determinados. Estes dados são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Relação de Fatores de Riscos e Critérios

Código	Fatores de Risco	Conformidade / Satisfação		Custo	Prazo
		Influência	Influência	Influência	Influência
I1	Atraso de Suprimentos	Baixíssimo	Baixíssimo	Médio	Alto
I2	Estimativa de Duração Atividades	Médio	Baixíssimo	Alto	Alto
I3	Falhas na Programação	Alto	Baixíssimo	Médio	Alto
I4	Previsões do Orçamento	Alto	Baixíssimo	Alto	Alto
I5	Erros nas Quantidades	Baixíssimo	Baixíssimo	Alto	Médio
I6	Especificações do Projeto	Altíssimo	Baixíssimo	Médio	Alto
I7	Problemas com Fornecedor	Altíssimo	Baixíssimo	Médio	Alto
I8	Equipamentos Especiais	Baixo	Baixíssimo	Médio	Alto
I9	Mão de Obra Qualificada	Altíssimo	Alto	Alto	Alto
I10	Comunicação entre <i>stakeholders</i>	Alto	Baixíssimo	Médio	Médio

Fonte: Autor

As escalas usadas para a classificação dos critérios foi construída durante a entrevista com o decisor. Foram definidas uma escala de cinco divisões para o critério de qualidade, e escalas de três divisões para os critérios de custo e prazo. Na Tabela 7 é apresentada a escala numérica da Tabela 6.

Durante a entrevista, frequentemente os decisores usam termos de intensidade, que servirão para associar uma coeficiente na escala numérica no critério de qualidade. Para os critérios de custo e prazo foram coletados valores para o pior cenário em porcentagem de custo total da obra para o primeiro, e aumento de prazo em meses para o segundo. O critério de qualidade foi composto pela média aritmética de conformidade e satisfação do cliente final, visto que ambos possuíam mesmo peso para o decisor entrevistado. Assim, os valores numéricos são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Influência de Fatores de Risco sob Critérios.

Código	Fatores de Risco	Critérios		
		Qualidade	Custo	Prazo
I1	Atraso de Suprimentos	5	8%	6
I2	Estimativa de Duração de Atividades	2.5	15%	12
I3	Falhas na Programação	4	8%	6
I4	Previsão do Orçamento	4	15%	6
I5	Erros nas Quantidades	0.5	12%	2
I6	Especificações do Projeto	5	10%	12
I7	Problemas com Fornecedor	5	8%	6
I8	Equipamentos Especiais	1.5	10%	6
I9	Mão de Obra Qualificada	8.5	13%	6
I10	Comunicação entre stakeholders	4	10%	3

Fonte: Autor

3.3 MÁQUINA DE INFERÊNCIA FUZZY

Modelos podem ser construídos para abstrair aspectos de um sistema. Neste trabalho desenvolvemos o modelo com o uso do método de inferência de Mamdani (MAMDANI; ASSILIAN, 1975). Este método foi escolhido por ser intuitivo, de aplicação simples, robusto, possuindo aceitação entre profissionais, e principalmente por ser adequado para dados de entrada em forma de linguagem natural vindos de percepções humanas.

Para o sistema teremos os três critérios como conjuntos *fuzzy* de entrada para método de inferência, e como saída do modelo obteremos um valor que traduzirá o risco para cada fator de risco. A etapas realizadas no sistema *fuzzy* podem ser visualizadas no diagrama de processos da Figura 8.

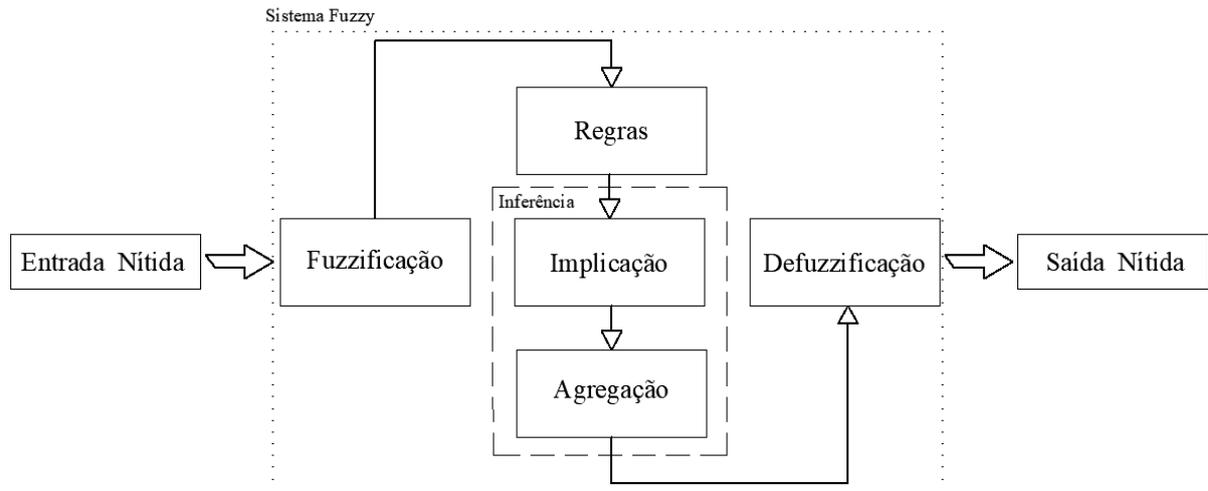


Figura 8: Processos em modelo de inferência Mamdani. Fonte: Autor

O primeiro passo consiste na fuzzificação, que é a transformação dos valores nítidos em entradas *fuzzys*. Como introduzido, isto acontece pela atribuição de valores de entrada das preferências do decisor, contidos na Tabela 7, à uma função de agrupamento, definidos pelo pesquisador através da interpretação das preferências do decisor.

No segundo passo são criadas regras de controle, que são regras condicionais do tipo “*if-then*”, que explicam a relação entre critérios e o risco com o uso dos operadores “*and*” e “*or*”. O terceiro passo é a implicação, onde uma função matemática irá ditar o funcionamento dos operadores “*and*” e “*or*”, que devem produzir uma saída preliminar *fuzzy* para cada uma das regras. A agregação será uma função para relacionar os resultados da implicação, ou seja, as saídas preliminares *fuzzy*, para uma saída final *fuzzy*.

A defuzzificação será a transformação deste número *fuzzy* em um valor nítido. Isto é realizado com alguma função dentre as dispostas na literatura. O método a ser adotado neste trabalho é a média dos máximos (MOM), por ser considerado mais adequado para as saídas presentes no sistema devido sua concentração nos valores extremos, o que se tornou mais representativo para o decisor entrevistado.

O funcionamento da inferência para o modelo está ilustrada na Figura 9. As entradas são representadas por um valor na abscissa em forma de x_1 para o critério 1, e x_2 o critério 2, fornecendo um grau de pertinência para cada critério. O valor da abscissa de x_1 e x_2 alimenta as regras incorporadas na inferência, no entanto foi apresentado apenas dois critérios por motivo de simplificação, sendo suficiente para entender a lógica da máquina de inferência.

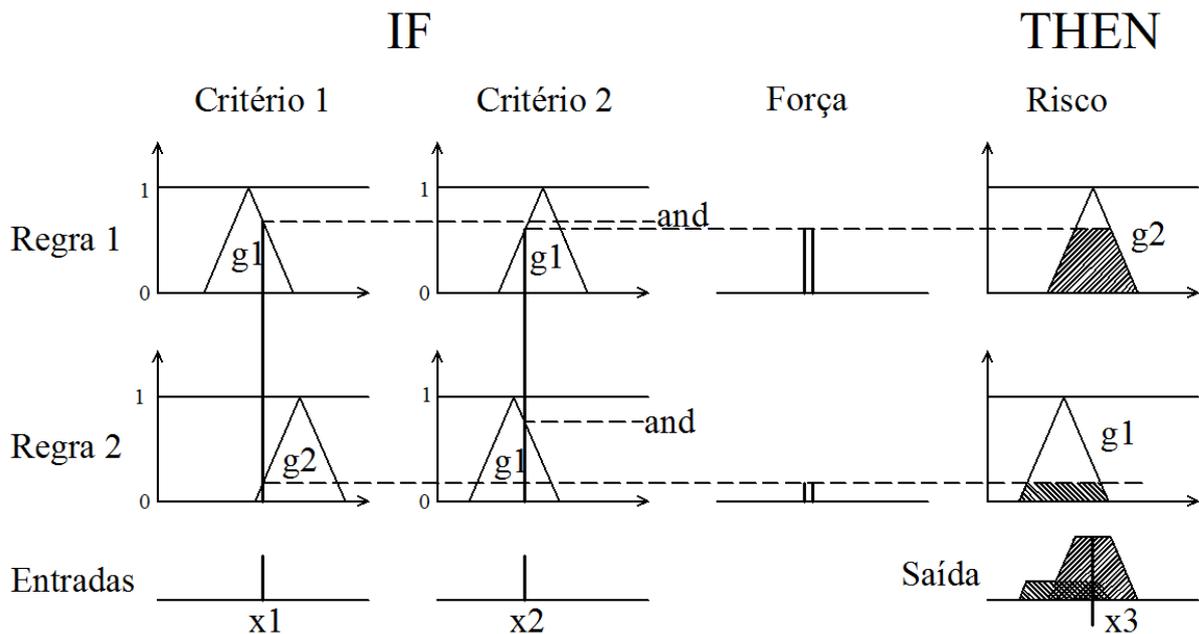


Figura 9: Funcionamento de inferência no Modelo. Fonte: Autor

Para as regras que atendem a relação de antecedente (critérios) e consequente (risco) as operações podem ser feitas, realizando-se então a implicação. A função *and* adota o valor mínimo de pertinência, que deve variar de 0 à 1 dentre os critérios para cada regra dada, como apresentado na equação 21 no tópico de Inferências *Fuzzy*.

O valor mínimo é então multiplicado pela força da regra, também chamado de peso, que pode variar de 0 à 1. Para o exemplo apresentado na Figura 9 o peso da regra é de valor unitário, não havendo redução da pertinência no valor mínimo adotado.

Da implicação teremos um número *fuzzy* como resultado para cada uma das regras atendidas. O próximo passo será a agregação, que para a inferência de Mamdani nada mais é que a soma dos números *fuzzy*. Na operação os conjuntos *fuzzy* se sobrepõem, formando um conjunto final que resulta os limites dos conjuntos *fuzzy* somados.

Por fim, realiza-se a defuzzificação pelo método das médias máximas, que pode ser representado pela equação

$$x3 = \sum_{j=1}^l \frac{z_j}{l} \quad (22)$$

Onde $x3$ é a média dos máximos, enquanto z_j é o ponto no qual a função do conjunto *fuzzy* é máxima, sendo l o número de vezes na qual a distribuição alcança o máximo.

Abreviando, o processo *fuzzy* do modelo é um processo de forma nítida – *fuzzy* – nítida. A entrada e a avaliação final dos valores de saída devem considerar variáveis numéricas, enquanto no processo intermediário temos uma inferência *fuzzy*, onde apenas operações *fuzzy* são desempenhadas. O motivo pelo qual é preciso a mudança de um valor de entrada nítido para uma variável *fuzzy*, é que, no ponto de vista do controle *fuzzy*, e da intuição humana, absolutamente nenhuma variável nítida existe (BAI; WANG, 2006).

Na implementação do método *fuzzy* proposto nesta pesquisa será utilizada a ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox/Matlab* (MATWORKS, 2013). A janela de configuração do aplicativo da máquina de inferência Mamdani é apresentada na Figura 10. Neste processo inicial são configurados os métodos para os operadores “*and*” e “*or*”, mantidos como mínimo e máximo respectivamente, as funções de implicação para mínimo e agregação para máximo, e o método do defuzzificador para médio dos máximos (*mom*). Os critérios de entradas estão apresentados nos quadros à esquerda, de qualidade, custo e prazo, enquanto a saída da aplicação da máquina de inferência será o valor do risco.

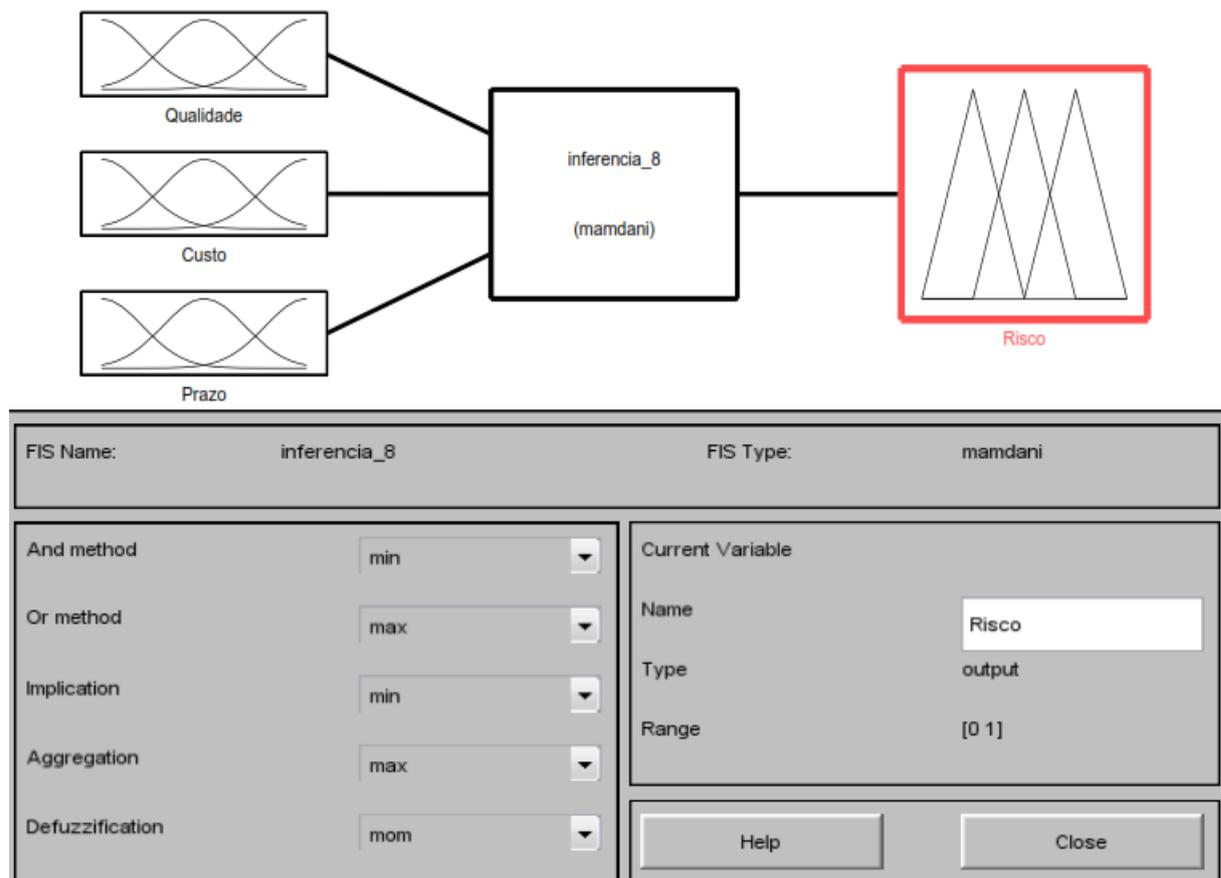


Figura 10: Máquina de inferência Mamdani. Fonte: Autor

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A metodologia proposta de análise de riscos através da implementação de um modelo de risco com a adoção de lógica *fuzzy* por meio da programação na ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox/Matlab®* foi posta em prática em um caso, neste foi realizado a análise de riscos no processo de planejamento em edificações de médio padrão na cidade de Fortaleza. Foram utilizados alguns dados de entrada do trabalho produzido por Moreira (2016). Também foram necessários coleta de novos dados, importantes para a construção do modelo *fuzzy*.

Para constatar o funcionamento do modelo e contribuir na discussão permitindo argumentos embasados no comportamento simulado do modelo foi também realizada a análise de sensibilidade em dois cenários distintos, consentindo a validação do modelo proposto.

4.1 APLICAÇÃO EM CASO

Através da pesquisa realizada com um decisor foram definidas as funções de agrupamento para os critérios de entrada e saída. Como exposto anteriormente, as funções são um dos passos necessários para transformar os dados de entrada em números *fuzzy*, e requeridos para viabilizar os procedimentos da implicação e da agregação. A Tabela 8 apresenta os resultados da pesquisa.

Tabela 8: Funções de Agrupamento.

Crítérios e Saída	Conjunto	Descrição	Função de Agrupamento
Qualidade	Baixissimo	Afeta de maneira irrisória a qualidade	[0 0 1 2]
	Baixo	Baixa influência sobre a qualidade	[0.5 2 3 4]
	Médio	Afeta a qualidade perceptivelmente	[3 4 5 6]
	Alto	Alta influência sobre a qualidade	[4.5 7 8 9.5]
	Altíssimo	Afeta de maneira altíssima a qualidade	[7 9 10 10]
Custo	Baixo	Afeta margem aceitável custos do projeto	[0 0 3 6]
	Médio	Afeta medianamente os custos do projeto	[3 6 9 10.5]
	Alto	Afeta de inaceitável os custos do projeto	[7.5 10.5 15 15]
Prazo	Curto	Baixa influência sobre o prazo da obra	[0 0 0.9 1.8]
	Médio	Média influência sobre o prazo da obra	[1.2 1.8 2.8 3.3]
	Longo	Alta influência sobre o prazo da obra	[2.8 3.6 6 6]
Risco	Reduzido	Oferece baixo risco ao projeto	[0 0 2 4]
	Mediano	Oferece risco mediano ao projeto	[3 4 5 7]
	Perigoso	Oferece alto risco ao projeto	[5 7 10 10]

Fonte: Autor

As funções de agrupamento podem ser apresentadas em forma gráfica. A Figura 11 apresentada abaixo, e a Figura 12, Figura 13 e Figura 14 no Apêndice A apresentam as funções de agrupamento para qualidade, custo, prazo e risco, respectivamente. Estas funções percebidas pelo decisor apresentaram forma trapezoidal. Isto se dá devido a existência de margens em torno da média para qual o termo linguístico atinge pertinência máxima. Esta visão é muito perceptível em decisores de construção civil, constatada em diversos trabalhos com aplicação *fuzzy* neste setor. Exemplificando esse comportamento, para alguns casos particulares, nas funções de prazo para decisores com objetivos e pagamentos em função do mês, o atraso de 15 dias no final de mês teria o mesmo impacto que o atraso do respectivo mês inteiro.

Uma das grandes vantagens da aplicação do modelo *fuzzy* é que este permite o uso de variáveis com grandezas diferentes e intervalos diversos, não havendo a necessidade de conversão em fatores, como alguns métodos propõem. Tendo isto em mente, é necessário compreender que para as funções de agrupamento os critérios de entrada para este modelo terão o mesmo peso se apresentarem as mesmas proporções. Logo, para produzir um sistema que retrate as preferências entre critérios este comportamento deve ser respeitado, tendo em vista que as funções de agrupamento e as regras devem se complementar.

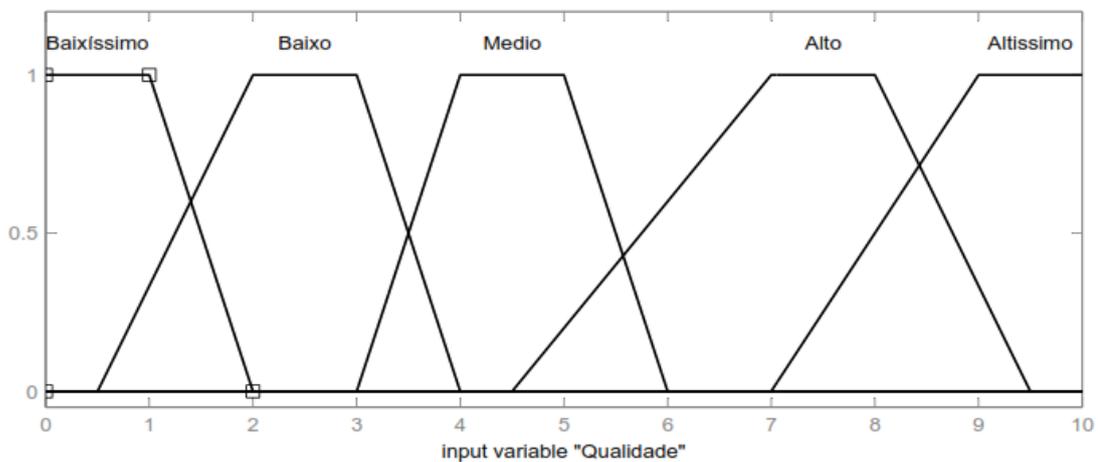


Figura 11: Função de Agrupamento para o critério Qualidade. Fonte: Autor

As regras são basicamente a transcrição das percepções do decisor quanto as relações existentes, na medida do possível, entre os critérios de entrada e a saída risco. Para isto foram elaboradas 39 regras com a finalidade de caracterizar estas relações. O decisor deve alimentar a coluna do peso das regras definidas, sendo a medida que compreende as relações, buscando melhor representar seu posicionamento. A Tabela 9 apresenta as regras utilizadas no modelo proposto.

Tabela 9: Regras para Máquina de Inferência

Regras	Influência de Critérios em Risco						Peso da Regra	Risco
	Qualidade		Custo		Prazo		%	
1	Baixissimo	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	100	Reduzido
2	Baixo	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	100	Reduzido
3	Baixo	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	85	Reduzido
4	Baixo	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	70	Reduzido
5	Medio	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	100	Mediano
6	Alto	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	70	Perigoso
7	Alto	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	85	Perigoso
8	Alto	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	100	Perigoso
9	Altissimo	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	100	Perigoso
10	Altissimo	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	70	Perigoso
11	Baixissimo	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	70	Reduzido
12	Medio	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	85	Perigoso
13	Medio	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	85	Reduzido
14	Alto	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	70	Reduzido
15	Baixo	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	70	Perigoso
16	Baixissimo	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	0	Reduzido
17	Baixissimo	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	85	Mediano
18	Baixissimo	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	70	Perigoso
19	Altissimo	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	70	Reduzido
20	Altissimo	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	85	Mediano
21	Altissimo	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	50	Perigoso
22	x	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	100	Reduzido
23	x	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	100	Perigoso
24	Altissimo	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	x	<i>then</i>	100	Perigoso
25	Altissimo	<i>and</i>	x	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	100	Perigoso
26	Alto	<i>and</i>	x	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	100	Perigoso
27	Alto	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	x	<i>then</i>	100	Perigoso
28	Baixo	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	85	Reduzido
29	Alto	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	85	Perigoso
30	x	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	50	Reduzido
31	x	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	50	Reduzido
32	x	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	50	Reduzido
33	x	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	30	Mediano
34	x	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	50	Mediano
35	x	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	50	Mediano
36	Altissimo	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	x	<i>then</i>	100	Perigoso
37	Altissimo	<i>and</i>	x	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	100	Perigoso
38	Alto	<i>and</i>	x	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	100	Perigoso
39	Alto	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	x	<i>then</i>	100	Perigoso

Autor

Foram utilizadas apenas regras do tipo “and” devido a facilidade da interpretação de seu contexto. As entradas do conjunto de agrupamento para os critérios que estão preenchidas com o “x” significam que não foram consideradas na determinação do peso desta regra. As regras elaboradas devem ser capazes de cobrir todas as possibilidades das relações de entrada e saída, que satisfaça no mínimo os valores de entrada adotados na Tabela 7. Para isto o modelo pode ser testado com valores coordenados e aleatórios antes de se realizar a pesquisa com o decisor. Este procedimento foi realizado e percebido algumas descontinuidades que poderiam ser consideradas anormalidades à primeira vista, mas são resultados inerentes da compreensão humana do decisor diante de um ambiente multicritério, sendo então mantidas.

A ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox* permite que durante a fase de elaboração do sistema já seja possível visualizar graficamente a relação tridimensional entre as entradas e a saída, como ilustrado na Gráfico 2 para as entradas prazo e custo. Deste modo é possível produzir gráficos de superfície para ilustrar a relação entre valores de duas entradas e uma saída.

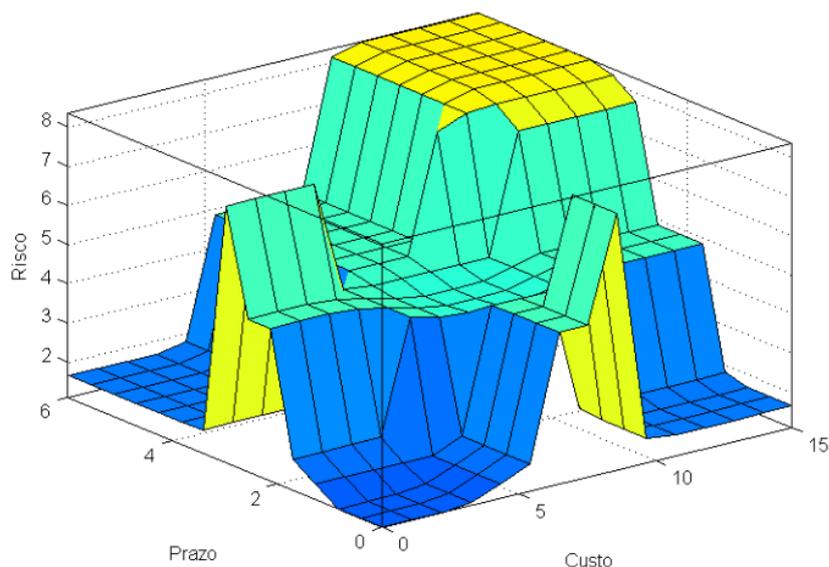


Gráfico 2:Saída Gráfica do Matlab: Superfície para Prazo x Custo x Risco. Fonte: Autor

As informações contidas no gráfico são muito convenientes para ajudar na modelagem do sistema e confirmar o comportamento deste junto ao decisor, ajudando no aprimoramento e na identificação de possíveis erros. Ainda se torna uma alternativa para confirmar se as regras foram suficientes para representar os valores de influência dos fatores de risco sobre os critérios. No entanto, por se tratar da relação de três entradas e uma saída, para compreender o valor desta deve ser avaliado os três gráficos gerados, necessitando uma sobreposição destes de modo a ilustrar esta relação de saída para todos os dados de entrada.

Como interpretação do gráfico gerado para a relação prazo, custo e risco, como disposto anteriormente existem descontinuidades, localizadas entre o valor próximo ao máximo de uma entrada com valores mínimos da outra. Isto se deu pelo não cobrimento de regras nessa margem, por não existirem dados de entrada de influência dos fatores de risco sobre os critérios com essa característica dentre os dados de entrada coletados com o decisor.

O resultado final da aplicação da metodologia, da influência de fatores de risco sobre os critérios, das funções de agrupamento, e das regras de relação entre variáveis, obtemos o valor de risco apresentados na Tabela 10, junto com o conjunto *fuzzy* ao qual pertence, e seu grau de pertinência.

Tabela 10: Valores discretos de Risco da aplicação do Modelo e Graus de Pertinência.

Cód.	Fatores de Risco	Critérios			Risco	Conjunto Fuzzy	Grau de Pertinência
		Qualidade	Custo	Prazo			
I1	Atraso Suprimentos	5	8%	6	4.850	Mediano	1
I2	Estimativa Duração Atividades	2.5	15%	12	8.200	Perigoso	1
I3	Falhas na Programação	4	8%	6	4.850	Mediano	1
I4	Previsão Orçamento	4	15%	6	8.350	Perigoso	1
I5	Erros nas Quantidades	0.5	12%	2	4.850	Mediano	1
I6	Especificações do Projeto	5	10%	12	8.250	Perigoso	1
I7	Fornecedor	5	8%	6	4.850	Mediano	1
I8	Equipamentos Especiais	1.5	10%	6	8.050	Perigoso	1
I9	Mão de Obra Qualificada	8.5	13%	6	8.250	Perigoso	1
I10	Comunicação	4	10%	3	4.850	Mediano	1

Fonte: Autor

Nas últimas duas colunas são apresentadas o conjunto *fuzzy* ao qual o fator de risco pertence, e seu grau de pertinência. Devido a forma das funções de agrupamento, principalmente a saída, serem trapezoidais, e ao método de agregação utilizado, que considera a média na abscissa quando a pertinência é máxima, os valores de pertinência obtidos foram máximos. Ainda, por estarem próximos da média, estes fatores de risco tiveram pertencimento apenas à um grupo de risco.

Verificou-se que não existem riscos pertencentes ao conjunto “Reduzido”. Este resultado era esperado, visto que os riscos aqui analisados foram àqueles mais percebidos pelos decisores, devido ao seu grau de influência nos critérios. Logo, são riscos mais perigosos que, mesmo sem uma ferramenta sistemática, o decisor conseguia visualizá-los, sem no entanto realizar uma caracterização adequada destes.

A hierarquização dos valores dos riscos, produto final da aplicação do modelo, são apresentadas no gráfico encontrado na Gráfico 3, que ilustra também a influência dos critérios nas barras sobrepostas pela barra de risco.

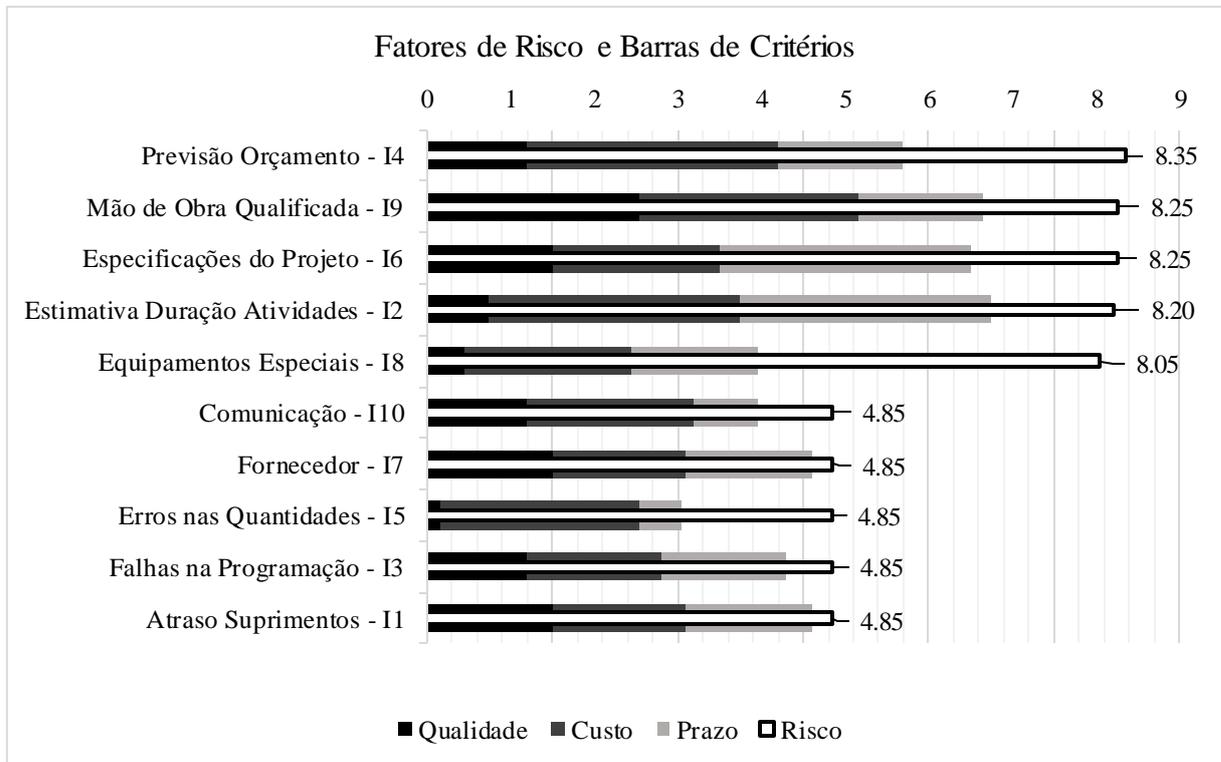


Gráfico 3: Ranking de Riscos. Fonte: Autor

A utilização de poucos grupos de saída *fuzzy*, junto a sua forma trapezoidal, produziu resultados que, dentro de um mesmo grupo existe pouca, ou nenhuma variação, enquanto há grande variação de valores entre os grupos de risco entre Mediano e Perigoso. Isto inviabilizou a consideração do grau de pertinência na hierarquização, ficando a sua classificação apenas em função do valor discreto do risco. No entanto, a base de regras condicionais, e a formação dos conjuntos de agrupamento *fuzzy* continua sendo muito efetivo na composição do *ranking* e na caracterização do fator de risco para o projeto, visto sua grande capacidade de ilustrar, com fidelidade, a experiência do decisor diante das variáveis analisadas.

Para examinar o funcionamento do modelo se realizará uma análise de sensibilidade, onde a partir de dois cenários propostos será verificado se o modelo funciona adequadamente. Se pretende manter os dados de entrada, e variar a base de regras e a função de agrupamento, simulando dois decisores com percepções distintas. Deste modo é avaliado se os dados gerados pelo modelo para o caso se mostram congruentes com aqueles produzidos pelos cenários.

4.2 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Neste tópico é verificado se o modelo proposto representa apropriadamente o problema, ou seja, se o modelo descreve adequadamente o comportamento do sistema diante das hipóteses admitidas (MIGUEL, 2012). Para isto, a análise de sensibilidade consiste em verificar se a estrutura e os parâmetros do modelo *fuzzy* são adequados para resolver o problema levantado.

A análise de sensibilidade determina o efeito de uma variação de um determinada entrada e sua saída. É instrumento útil para determinar a importância de uma variável sobre o resultado final de outra e permite verificar características consistentes nas saídas que tragam à respostas concisas e lógicas, e, no trabalho de repetição dos testes pode-se prever o comportamento do modelo. Este tipo de análise deve permitir a validade do modelo testado.

Cenário 1

Neste primeiro cenário foi simulada a percepção de um decisor que prioriza os custos acima do prazo, tendo a qualidade menos influência que estas últimas duas variáveis. Este tipo de cenário pode existir tanto devido ao tipo de projeto, que pode por exemplo requerer um orçamento fechado que não permite replanilhamentos, e não sendo exigido boa qualidade de acabamento e inexistência de normatização rigorosa quanto à conformidade, ou devido as experiências do(s) decisor(es), ou ainda à ambos. As funções de agrupamento na Tabela 13 e as regras elaboradas na Tabela 14 para este cenário são apresentadas no Apêndice B.

A saída gráfica apresentada na Gráfico 4 mostra a relação das duas principais variáveis que sofreram mudanças devido as alterações realizadas para este cenário. Percebem-se mudanças razoáveis, onde agora os valores do critério de entrada custo acima de aproximadamente 6% já atingem valores de risco perigosos, mesmo sem ser considerada nenhuma influência da qualidade. Ainda, os valores de qualidade não influenciam no resultado risco enquanto não atingirem valores próximos de 6. Visualiza-se um aumento muito sensível na máxima saída de risco para os valores de entradas máximos, sendo maior para o cenário avaliado. Isto deve-se ao uso de pesos menos ponderados utilizados no cenário. No Apêndice B são apresentadas no Gráfico 12 para a relação de Prazo e Custo e no Gráfico 13 para a relação entre Prazo e Qualidade.

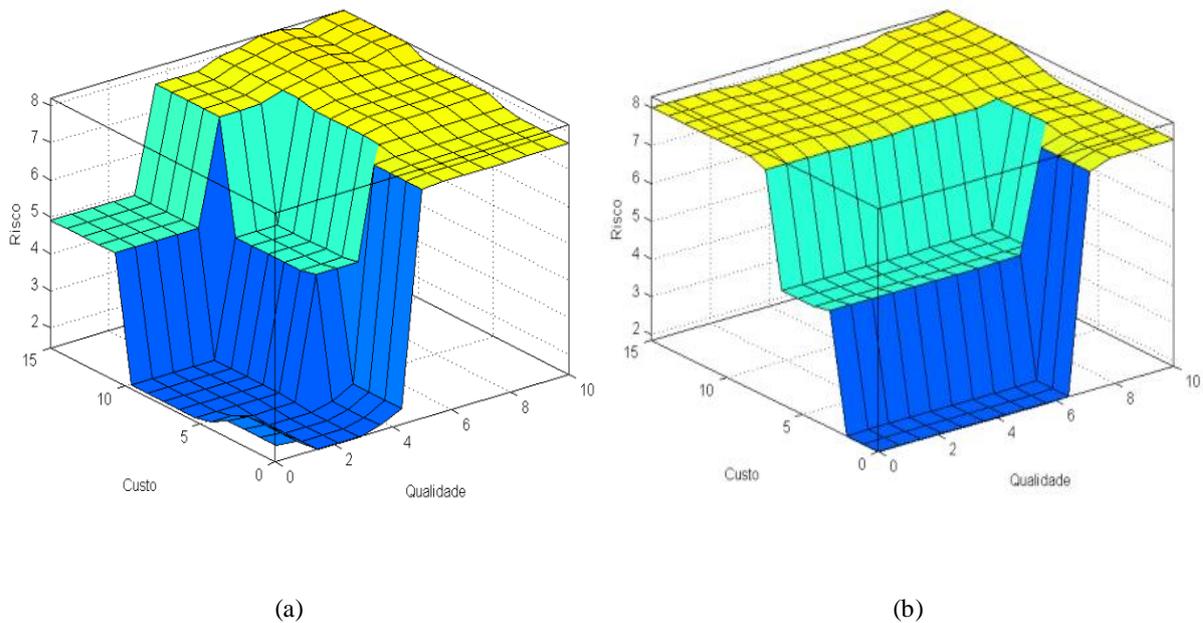


Gráfico 4: Saída gráfica de relação custo e qualidade. (a) caso (b) cenário 1. Fonte: Autor

Como resultado da aplicação da metodologia proposta à estes novos dados de entrada, a Tabela 11 apresenta os valores discretos de riscos para o Cenário 1, mantendo, como proposto, as entradas de influência dos fatores de riscos sobre os critérios.

Tabela 11: Valores discretos de Risco em em Caso e Cenário 1

Fatores de Risco	Critérios			Risco	
	Qualidade	Custo	Prazo	Caso	Cenário 1
I1 Atraso de Suprimentos	5	8%	6	4.85	7.95
I2 Estimativa de Duração de Atividades	2.5	15%	12	8.20	8.40
I3 Falhas na Programação	4	8%	6	4.85	7.90
I4 Erros na Previsão de Orçamento	4	15%	6	8.35	8.40
I5 Erros nas Quantidades	0.5	12%	2	4.85	4.75
I6 Especificações do Projeto	5	10%	12	8.25	8.30
I7 Problemas com Fornecedor	5	8%	6	4.85	7.95
I8 Equipamentos Especiais	1.5	10%	6	8.05	8.40
I9 Mão de Obra Qualificada	8.5	13%	6	8.25	8.50
I10 Comunicação entre <i>Stakeholders</i>	4	10%	3	4.85	7.95

Fonte: Autor

No Gráfico 5 é exibido a hierarquização dos fatores de risco em função dos valores de risco. Percebe-se rapidamente que os fatores de risco do caso estudado se mantiveram entre os riscos mais perigosos para o Cenário 1. Alguns dos fatores de risco que antes estavam no grupo que oferecia riscos medianos, agora são riscos perigosos, mas que se mantiveram valores

inferiores àqueles anteriormente já perigosos, com exceção do fator de risco “Erros nas Quantidade – I5”, que dentre os fatores analisados foi o único que sofreu redução na análise deste cenário. Isto se deu pela existência de uma região no estudo do caso onde o prazo e a qualidade em valores baixos não assumem valores mínimos

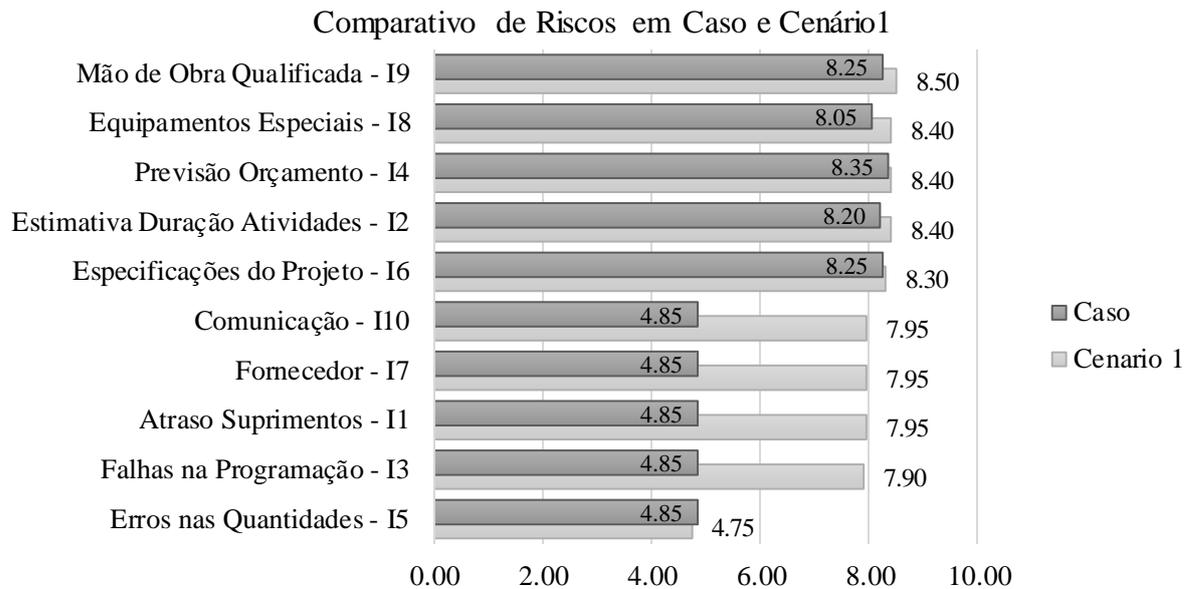


Gráfico 5: Ranking de riscos do Cenário 1 e comparação com Caso. Fonte: Autor

O fator de risco de Mão de Obra Qualificada – I9 assume agora valor máximo em risco, onde para o caso estudado ocupava a terceira posição, empatado com o fator de risco Especificações do Projeto – I6. Apesar do custo ter sido valorizado sobre a qualidade, a formação lógica do modelo garante a consideração da qualidade para valores altos como um critério a promover incrementos nos valores de risco. Isto foi desejável pois, apesar da qualidade não ser um dos critérios mais importantes, a falha na qualidade em níveis altos teria também uma relação com custo, como proposto pelo modelo do triângulo de ferro dos critérios.

Os riscos de Equipamentos Especiais – I8, Previsão de Orçamento – I4, e Estimativa de Duração de Atividades – I2, apesar de apresentados em ranking mantém a mesma posição de acordo com o valor de saída. Propõe-se para o decisor que nestes casos sejam avaliados as relações dos critérios e outros fatores para a escolha da alternativa prioritária durante uma tomada de decisão. O mesmo acontece diante dos outros empates encontrados na análise de risco sob os critérios. A Gráfico 6 ilustra a relação dos critérios com os valores de saída risco.

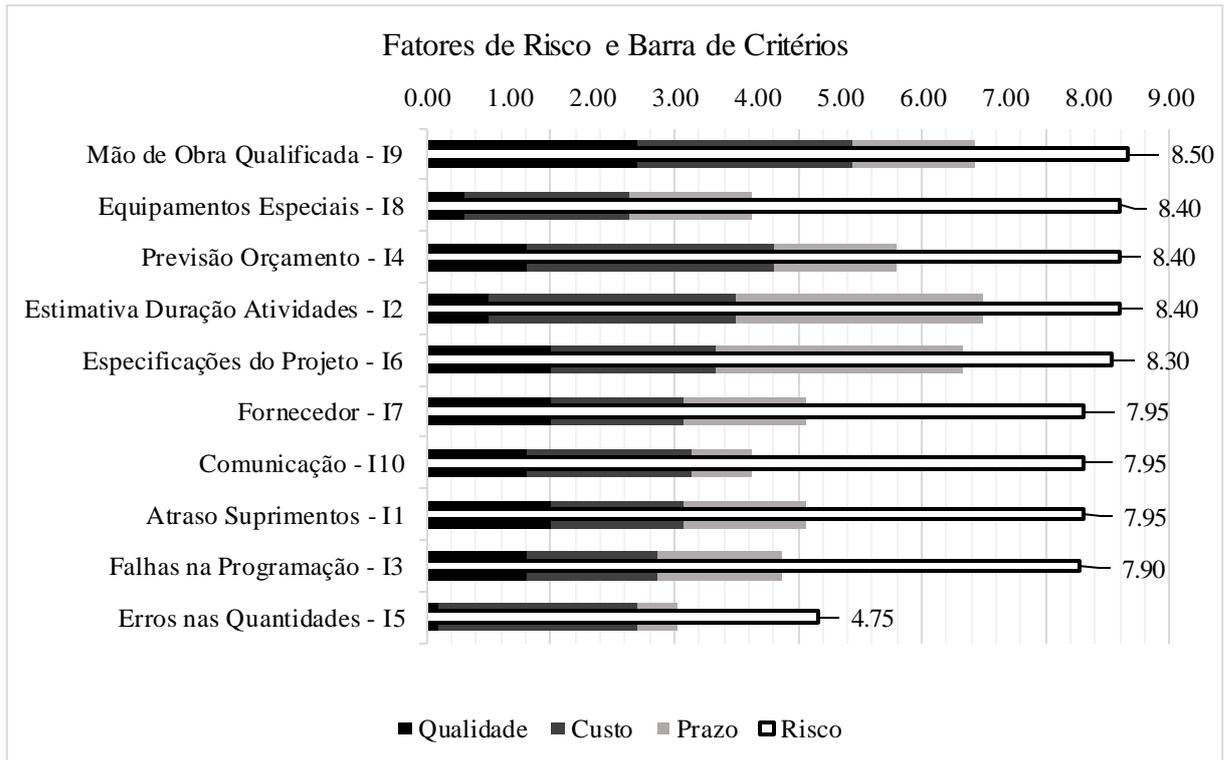


Gráfico 6: Fatores de Risco e Barras de Critérios para Cenário 1. Fonte: Autor

Cenário 2

No segundo cenário foi simulada a percepção de um decisor que prioriza o prazo sob os custo e qualidade, esta última variável novamente apresentou baixa importância para este decisor. Este cenário está presente em projetos com *deadlines* que permitem baixa margem de erro, e em contratos que estipulem multas sobre o atraso na entrega do projeto, e não sendo exigido qualidades excelentes de acabamento, e inexistência de normatização rigorosa quanto à conformidade, ou devido as experiências do(s) decisor(es), ou ainda à ambos. As funções de agrupamento são apresentadas na Tabela 15 e as regras elaboradas na Tabela 16, ambas no Apêndice B.

A saída gráfica apresentada no Gráfico 7 ilustra a relação das duas principais variáveis analisadas no Cenário 2. É possível visualizar que o prazo possui maior influência sobre o valor de saída risco do que o valor de custo para todos os conjuntos *fuzzy* da saída. Para riscos perigosos, acima de 6, verifica-se a superfície plana contendo mais valores para a entrada prazo, observando-se este comportamento a partir de aproximadamente dois meses, enquanto que para a entrada custo a partir de 10%. Isto se repete para os conjuntos *fuzzy* de saída de risco mediano, e reduzido.

Assim como no Cenário 1, percebe-se um aumento muito sensível na máxima saída de risco para os valores de entrada máximos, sendo maior para o cenário avaliado. Isto deve-se ao uso de pesos menos ponderados utilizados no cenário. No Apêndice B são apresentadas no Gráfico 14 para a relação de Prazo e Custo e no Gráfico 15 para a relação Prazo e Qualidade.

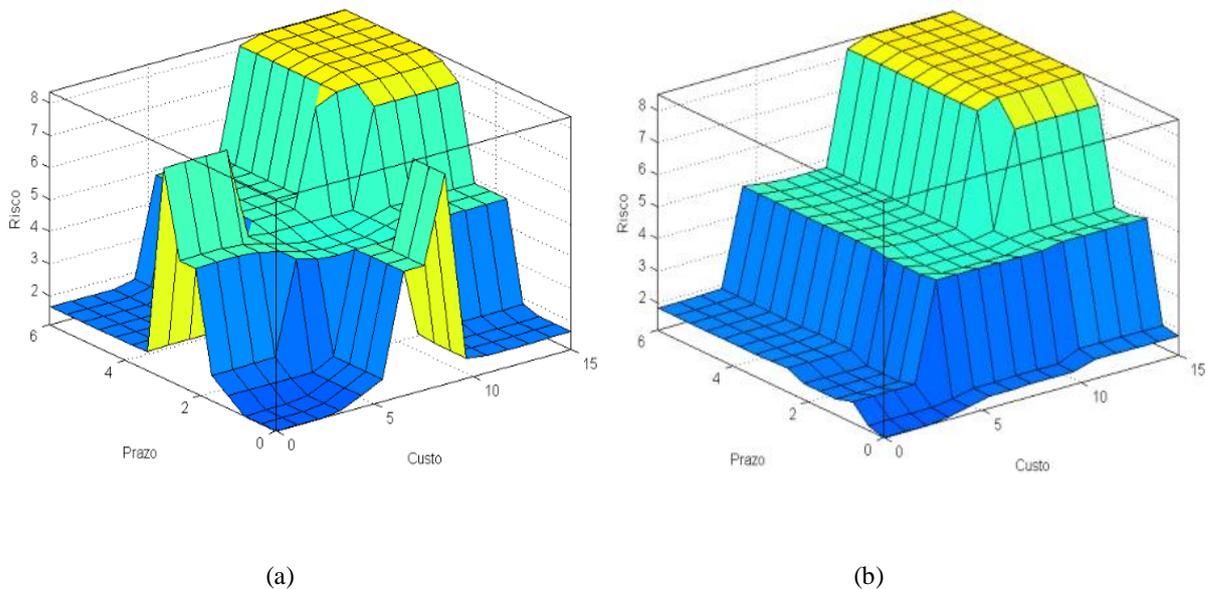


Gráfico 7: Saída gráfica de relação prazo e custo. (a) caso real (b) cenário 2. Fonte: Autor

Para o estudo do caso na Gráfico 7 se nota a quebra de continuidade para uma entrada mínima e outra máxima, isto não é causado pela ausência de regras ou defeitos na construção das funções de agrupamento, pois as mesmas foram usadas na elaboração dos dois cenários que não apresentaram este comportamento. O cenário 2 avaliado apresenta continuidade das regras, formando um gráfico que se comporta com maior conformidade. Pode-se responsabilizar esta construção harmoniosa à intuição do autor que conhece o funcionamento lógico do sistema e os efeitos das entradas sobre os resultados. Isto certamente não significa que o modelo consegue ilustrar melhor a realidade, mas sim que existe uma influência do modelador sobre o sistema, e que pode ser negativa, devendo ser analisado essa parcialidade durante a composição das regras do modelo.

Como resultado da aplicação da metodologia proposta à estes dados de entrada, a Tabela 12 apresenta os valores discretos de riscos para o Cenário 2.

Tabela 12: Valores discretos de Risco em em Caso e Cenário 2

Fatores de Risco	Critérios			Risco	
	Qualidade	Custo	Prazo	Caso	Cenário 2
I1 Atraso Suprimentos	5	8%	6	4.85	4.75
I2 Estimativa Duração Atividades	2.5	15%	12	8.20	8.50
I3 Falhas na Programação	4	8%	6	4.85	4.75
I4 Previsão Orçamento	4	15%	6	8.35	8.50
I5 Erros nas Quantidades	0.5	12%	2	4.85	4.80
I6 Especificações do Projeto	5	10%	12	8.25	8.35
I7 Fornecedor	5	8%	6	4.85	4.75
I8 Equipamentos Especiais	1.5	10%	6	8.05	8.35
I9 Mão de Obra Qualificada	8.5	13%	6	8.25	8.50
I10 Comunicação	4	10%	3	4.85	8.35

Fonte: Autor

No Gráfico 8 a hierarquização dos fatores de risco em função dos valores de saída é apresentada. Assim como no cenário 1, os fatores de risco do caso estudado se mantiveram entre os riscos mais perigosos para este cenário.

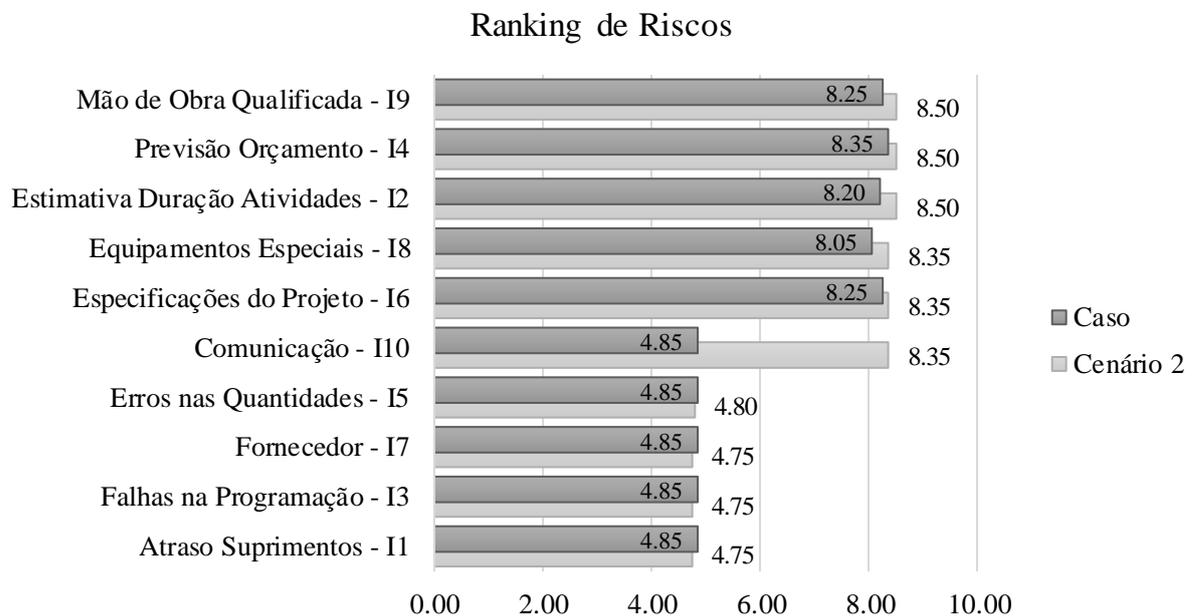


Gráfico 8: Ranking de riscos do Cenário 2 e comparação com Caso. Fonte: Autor.

Os fatores de risco que antes estavam no grupo de riscos medianos continuam pertencentes deste grupo, com exceção do fator de risco Comunicação – I10, que dentre os analisados obteve aumento em sua saída, sendo considerado agora um fator de risco que oferece risco perigoso. Apesar de suas entradas baixas, para os cenários e para o caso estudado, a

formulação das regras receberam grande peso da variável custo, mesmo quando as entradas das outras duas variáveis são baixas. A exceção desta hipótese é o fator de risco Erros nas Quantidades – I5, que apesar de ter uma entrada de custo de 12% pertence ao grupo de riscos medianos. Isto se dá devido as duas outras entradas serem “baixíssimas” e “curto”, principalmente no que se refere ao prazo, que obteve a menor, e única entrada que no grupo de prazo curto.

Assim, atenta-se que os fatores de riscos que foram elencadas para o grupo de riscos perigosos também corroboram nos Cenário 2 elaborado. A diminuição muito sensível dos valores dos riscos do grupo de riscos medianos se dá basicamente devido as novas funções de agrupamento, onde seus topos foram levemente transpostos para próximo da origem nas funções de agrupamento intermediárias, possível verificar esta informação na Tabela 15 no Apêndice B. Pelo mesmo motivo acontece o aumento nos resultados de risco para os grupos de risco perigosos, onde as suas funções de agrupamento tiveram seu intervalo majorado, com exceção do critério qualidade.

Para o Cenário 2 o fator de risco de Mão de Obra Qualificada – I9 obtém valor máximo, visto que não houveram mudanças nas relações das regras, nem redução da importância de custo em relação ao primeiro cenário, mas apenas o incremento da importância do prazo. Este mesmo fator de risco agora ocupa a primeira posição empatados com os fatores de risco Previsão de Orçamento – I4 e Estimativa de Duração de Atividades – I2. A baixa variação nos grupos são características inerentes do modelo desenvolvido, como já exposto, e que se apresenta mais fortemente no Cenário 2 devido as regiões dos grupos sofrerem ainda menos variações nas saídas, isto pode ser observado nos gráficos de superfície da relação entre as variáveis do modelo.

Assim como nas análises do Caso e do Cenário 1, no Gráfico 9 se apresenta o ranking junto aos critérios, que ajuda a observar a influência destas entradas na saída risco para o cenário. Ressalta-se que, mesmo com a valorização do critério de prazo, isto aconteceu de forma muito sensível, demonstrando que o modelo admite estas variações pequenas, destacando-se que o ideal é a formulação de regras e conjuntos dedicados para um decisor, um projeto, ou até mesmo um único processo decisório.

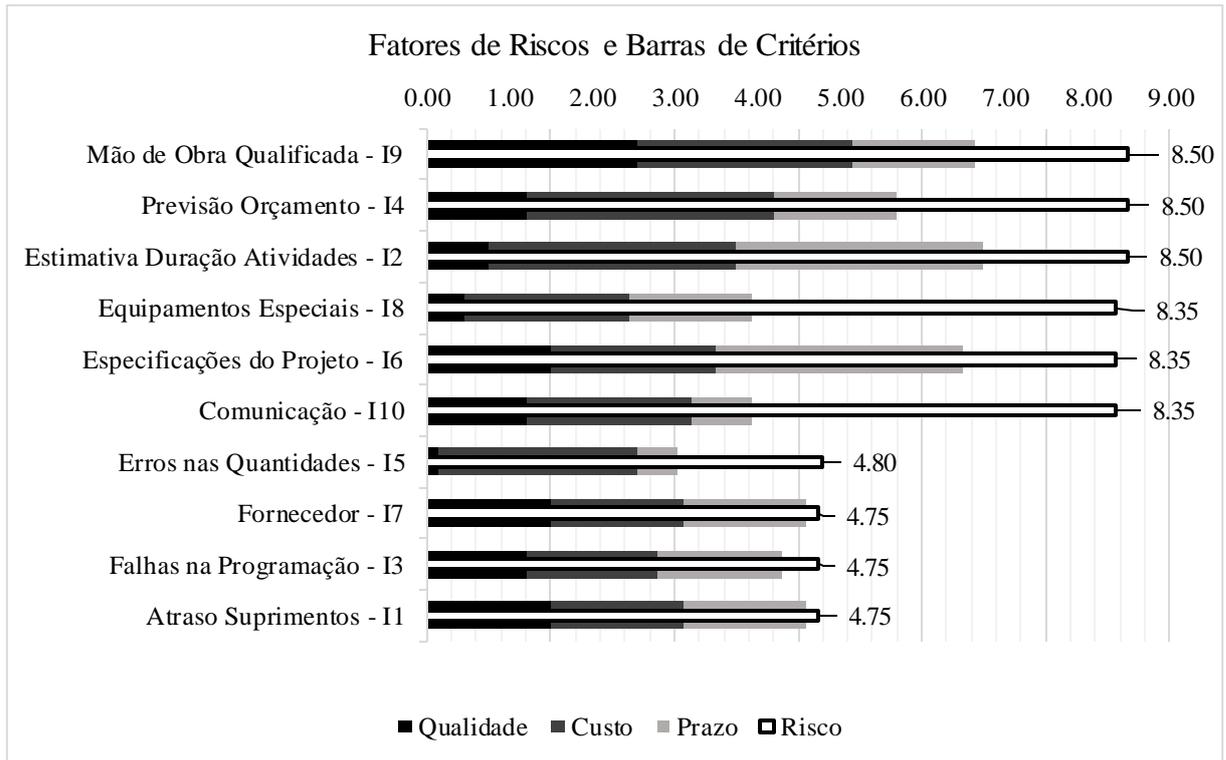


Gráfico 9: Fatores de Risco e Barras de Critérios para o Cenário 2. Fonte: Autor

5. CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

A fundação científica da análise e gerenciamento de risco continua ainda sombria em alguns assuntos, no que se refere a parte teórica que se fundamenta em perspectivas e princípios que podem seriamente confundir os tomadores de decisão (AVEN, 2016). Positivamente nos anos recentes muitas tentativas estão sendo feitas para integrar as pesquisas que estão sendo realizadas sobre os conceitos, a análise e o gerenciamento de risco. O interesse sobre os problemas fundamentais é interessante devido a sua influência no aspecto social, tecnológico e na consideração dos riscos em outros ambientes.

O entendimento do risco e os conceitos para sua caracterização e gestão é primordial entre os atores de projeto de construção civil, formados pelas equipes envolvidas com os processos que compõem toda a cadeia da execução. Deve-se trazer à tona a importância desta ferramenta para o sucesso do projeto em termos de custo, tempo e qualidade. Esta consciência deve vir da compreensão dos riscos como principais responsáveis na falha ao alcance dos objetivos do projeto como planejados.

O conhecimento sobre esta ferramenta deve ser cada vez mais difundido, até fazer parte da cultura de empresas de construção civil do mercado nacional, assim como acontece no cenário internacional, principalmente em países desenvolvidos. A resistência a ferramenta deve ser eliminada através do entendimento das vantagens que esta proporciona, principalmente quanto a segurança econômica e ao auxílio na competitividade, permitindo a redução de custos, contingências, e incertezas que quando acontecem são tratadas como inevitáveis ou imprevisíveis.

A elaboração de modelos, composta pela simulação de um ambiente com o levantamento de suas variáveis, se trata muitas vezes de uma tarefa complexa, mas necessária, por produzir resultados muito satisfatórios. A lógica *fuzzy* à primeira vista é uma teoria de difícil entendimento, mas que, em sua essência, traduz com acurácia a realidade incerta da subjetividade humana de maneira simples e coerente. Muitos modelos baseados na teoria *fuzzy* para a análise de riscos, e que auxiliam na tomada de decisão, estão sendo concebidos na literatura e na prática. Isto vem acontecendo devido a percepção dos autores e profissionais da área da adequabilidade deste enfoque difuso sobre as variáveis incertas do risco.

O trabalho realizado propôs uma formulação de uma análise de riscos através da consideração de três critérios, que são a qualidade, custo e prazo, com uma única saída risco que deve auxiliar na tomada de decisão. Para este modelo foi proposto o uso da lógica *fuzzy*, elaborando-se um sistema de inferência *fuzzy* baseado em Mamdani (MAMDANI; ASSILIAN,

1975), com o auxílio da ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox* do Matlab® e com uso deste software para auxiliar na alimentação dos dados em matrizes importadas de planilhas eletrônicas. Através deste trabalho pretende-se conseguir resultados convenientes em uma estrutura elegante e de fácil entendimento, e que permita a visualização, até certo ponto, gráfica da lógica adotada, desenvolvida influenciada unicamente nas preferências dos decisores, considerando critérios e suas relações com as saídas e as alternativas identificadas.

Aplicou-se a metodologia em dados coletados em entrevistas de preferências de decisores diante de fatores de riscos e critérios durante o processo de planejamento para edificações de padrão médio na cidade de Fortaleza. Os dados foram provenientes do trabalho de Moreira (2016), e de entrevistas com decisor para a implementação da lógica *fuzzy*, coletando-se informação necessária para elaboração das regras, e na construção das funções de agrupamento. O decisor precisa ter domínio sobre o problema analisado, e ser capaz de expor suas percepções, sejam elas advindas de sua experiência profissional, acadêmica ou pessoal. O importante é que o comportamento do modelo retorne valores condizentes com suas preferências e as características do projeto avaliado.

Os resultados do modelo foram testados para os cenários propostos. Percebe-se que, diante das alterações das prioridades realizada com os decisores em termos de regra e funções de agrupamento, com o uso dos mesmos valores de entrada, houve baixa mudança no ranking dos fatores de risco, podendo-se concluir, de uma forma geral que estes foram devidamente caracterizados e que o modelo se apresenta sensível as variáveis de entrada.

Recomenda-se que adaptações e melhoramentos possam ser realizados baseando-se na metodologia proposta neste trabalho, objetivando conseguir resultados não só mais precisos e confiáveis, como também que permitam o uso efetivo dos valores de pertinência como outra saída a ser adotada na caracterização dos riscos.

Se incentiva uma avaliação das regras necessárias para compor um modelo *fuzzy* através do uso da máquina de inferência de Mamdani adotada. As regras, que tem o papel de modelar o comportamento das relações de implicação, devem variar em função da quantidade de funções de pertinência e quantidade de variáveis de entrada e saída. Em Codes (2016), foram adotadas vinte regras na obtenção de resultados precisos na avaliação de um subsistema do Sistema de Aporte de Água Bruta para a Região Metropolitana de Fortaleza (SAAB/RMF), com entradas de Possibilidade de Ocorrência e Severidade das Consequências, com nove funções de pertinência no total. Análises acima da quantidade e forma das regras no uso desta máquina de inferência, discutindo-se também a influência do uso de funções de mínimos (and) e máximos (or) são estimuladas.

Uma das perspectivas de estudo que pode ser aludida é a adoção de novas funções de agrupamento. Deste modo, é encorajado o estudo e a aplicação de diferentes distribuições das funções, sejam elas gaussianas ou triangulares. Simões e Shaw (2007) apontam sobre a aplicação destes últimos tipos de função de maneira a promover valores de pertinência mais precisos. Outro enfoque, é a proposta do uso de mais quantidades de funções, onde os autores defendem que a adição de duas funções à um sistema modelado originalmente com cinco melhora a precisão em 15%.

O processo desenvolvido neste trabalho possui potencial de ser aprofundado, as aplicações com esta ferramenta podem ser diversas. Propõe-se a análise dos riscos individualmente em função dos seus processos e fases, para depois realizar a análise dos riscos totais de um processo em uma determinada fase, e finalmente do processo como um todo para um dado projeto. Sugere-se que o funcionamento da ferramenta seja entendida pelos decisores, para que os dados produzidos entreguem confiança nas tomadas de decisão, permitindo também que a modelagem possa ser mais dinâmica e precisa.

Por fim, o modelo proposto pode ser usado pelo decisor como uma ferramenta que permite reconhecer e caracterizar os fatores de risco existentes no projeto estudado, auxiliando na estruturação de procedimentos decisórios diante de um sistema de multicritérios em um ambiente com dados difusos, onde, entre as medidas de caracterização, temos o uso de variáveis linguísticas.

REFERÊNCIAS

- ABDERISAK, A.; LINDAHL, G. Take a Chance on Me? Construction Client's Perspectives on Risk Management. *Procedia Economics and Finance*, v. 21, p. 548–554, 2015.
- ABDOU, O. A. Managing Construction Risks. *Journal of Architectural Engineering*, v. 2, n. Mar, p. 3–10, 1996.
- ABDUL-RAHMAN, H.; LOO, S. C.; WANG, C. Risk identification and mitigation for architectural, engineering, and construction firms operating in the Gulf region. *CANADIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING*, v. 39, n. 1, p. 55–71, jan. 2012.
- AGERBERG J.N., ÅGREN J. Risk Management in the tendering process: A survey of risk management practices within infrastructural construction. 2012. 73f. Dissertação (Mestrado no Programa de Design e Gerenciamento de Projetos de Construção) – Chalmers University of Technology - Goteborg, Sweden 2012
- AKINTOYE, A. S; MACLEOD, M. J. Risk analysis and management in Construction. *International Journal of Project Management*, Great Britain, Vol. 15, N. 1, pp. 31-38, 1997.
- ALTOUNIAN, C.S. Obras Públicas – Licitação, Contratação, Fiscalização e Utilização. 2. ed. Editora Forum, Belo Horizonte, 2011
- ALVES, R. Filosofia da ciência: introdução ao jogo e suas regras. 21 ed. São Paulo: Brasense, 1995.
- ALVES-MAZZOTTI, A. J.; GEWANDSZNAJDER, F. O método nas ciências naturais e sociais: pesquisa quantitativa e qualitativa. 2. ed. São Paulo, Pioneira, 1999. 203 p.
- AL-BAHAR, J.F.; CRANDALL, K.C. Systematic risk management approach for construction projects. *Journal of Construction Engineering Management*, 1990, Sept., vol. 116, N.3, p. 533-546.
- AL-ZAROONI S., ABDOU A. Risk management in pre-design stage and its potential benefits for UAE public projects, 28th World Congress on Housing Challenges for the 21st Century, Abu Dhabi, UAE, 2012. Anais... 15–19 April, 2000, 109–118. Abu Dhabi, UAE.
- AMINBAKSH, S.; GUNDUZ, M.; SONMEZ, R. Safety risk assessment using analytic hierarchy process (AHP) during planning and budgeting of construction projects. *Journal of Safety Research*, v. 46, p. 99–105, 2013.
- ANDI; MINATO, T. Design documents quality in the Japanese construction industry: Factors influencing and impacts on construction process. *International Journal of Project Management*, v. 21, n. 7, p. 537–546, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR ISO 31000. Gestão de Riscos: princípios e diretrizes. 2009.
- AZEVEDO, R.C. et al. Avaliação de desempenho do processo de orçamento: estudo de caso em uma obra de construção civil. Porto Alegre: Ambiente Construído, 2011.
- AZEVEDO, R.C. Um Modelo para Gestão de Risco na Incorporação de Imóveis usando Metodologia Multicritério para Apoio à Decisão – Construtivista (MCDA-C). 290 p., 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2013.

- BAI, Y.; WANG, D. Fundamentals of Fuzzy Logic Control - Fuzzy Sets, Fuzzy Rules and Defuzzifications. In: BAI, Y.; ZHUANG, H.; WANG, D. (Eds.). . Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications. London: Springer London, 2006. p. 17–36.
- BALOI, D.; PRICE, A. D. F. Modelling global risk factors affecting construction cost performance. *International Journal of Project Management*, v. 21, n. 4, p. 261–269, 2003.
- BANAITIENE, N.; BANAITIS, A. Risk Management in Construction Projects *In Risk Management - Current Issues and Challenges*, Dr. Nerija Banaitiene (Ed.), InTech, 2012 doi: 10.5772/51460. Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/risk-management-current-issues-and-challenges/risk-management-in-construction-projects>. Acesso em: 13 abr. 2017.
- BARRETO, F. DE S. P.; ANDERY, P. R. P. Contribuição à gestão de riscos no processo de projeto de incorporadoras de médio porte. *Ambiente Construído*, v. 15, n. 4, p. 71–85, 2015.
- BAYDOUN, M. Risk mitigation for preconstruction phases of large scale development projects in developing countries. *Millennium Development International. PM World Today*. nov. 2011.
- BRASIL. Informe de Previdência Social: Julho/2014. Ministério da Previdência Social. Brasília, 2014. v.26. Disponível em: http://www.previdencia.gov.br/wp-content/uploads/2014/10/Ret_Offset_Informe_julho_2014.pdf >. Acesso em: 20 fev. 2017.
- BEHM, Michael. Linking Construction Fatalities to the Design for Construction Safety Concept. *Safety Science*. [S.l.]: Elsevier, 2005. p. 589-611. v. 43.
- BERTHANLANFFY, L.V. Teoria Geral dos Sistemas. Rio: Vozes, 1975
- BOWLES, J. B.; PELEZ, C. E. Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 50, n. 2, p. 203–213, 1995.
- BRYMAN, A. Research Methods and organization studies. Londres: Unwin Hyman, 1989.
- BUZI, D.; JUNGLES, E.; AVILA, A. Gerenciamento de Riscos em Incorporações Imobiliárias: uma abordagem utilizando a lógica fuzzy. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., Juiz de Fora, 2012. Anais... Juiz de Fora: ANTAC, 2012.
- CAMPOS, L.M.L.; LIMA, A.S. Um método fuzzy para a análise qualitativa de riscos em projetos de desenvolvimento de software. *Revista Gestão & Tecnologia*, Pedro Leopoldo, v. 16, n. 2, p. 7-38, mai./ago. 2016
- CARNEIRO, W.;PITORRI, F.;MEDEIROS, A.L.B. Análise Comparativa dos Modelos de Contrato Propostos pelo PMBOK e pelo Novo Código Civil Brasileiro. *Gerenciamento de Projetos*,v.4. n1, p.3-10, maio. 2006.
- CARR, V.; TAH, J. H. . A fuzzy approach to construction project risk assessment and analysis: construction project risk management system. *Advances in Engineering Software*, v. 32, n. 10–11, p. 847–857, 2001.
- CBIC CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Banco de Dados: PIB Brasil e Construção Civil. 2016 . Disponível em:<<http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil> >. Acesso em: 17 abr. 2017.
- CHAPMAN, R. J. The controlling influences on effective risk identification and assessment for construction design management. *International Journal of Project Management* [S.I.], v. 19, n. 3, p. 147-160, 2001.

CHEN, N.; XU, Z.; XIA, M. The ELECTRE I Multi-Criteria Decision-Making Method Based on Hesitant Fuzzy Sets. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGY & DECISION MAKING*, v. 14, n. 3, p. 621–657, maio 2015.

CHIAVENATO, I. *Introdução à Teoria da Administração*. 5a. Ed. ed. São Paulo: Makron Books, 1997.

CHO, H. N.; CHOI, H. H.; KIM, Y. B. A risk assessment methodology for incorporating uncertainties using fuzzy concepts. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 78, n. 2, p. 173–183, 2002.

CHOI, H.-H.; CHO, H.-N.; SEO, J. W. Risk Assessment Methodology for Underground Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 130, n. 2, p. 258–272, 2004.

CODES, R.A. de. *Proposta metodológica de avaliação integrada de riscos na infraestrutura de sistemas hídricos por meio do programa Risco-Fuzzy – Estudo de caso: Sistema de aporte de água bruta para a região metropolitana de Fortaleza*. 111 p. 2016. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação no Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Fortaleza. 2016.

DIKMEN, I.; BIRGONUL, M. T.; HAN, S. Using fuzzy risk assessment to rate cost overrun risk in international construction projects. *International Journal of Project Management*, v. 25, n. 5, p. 494–505, 2007.

DHARMAPALAN, V. *et al.* Quantification and assessment of safety risk in the design of multistory buildings. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 141, n. 4, p. 401-409, 2014.

DOONAN, P. Freud, Fishing and risk management. *Risk Management*. New York. v. 48, n. 12, p 48, dez. 2001.

FAN, M.; LIN, N. P.; SHEU, C. Choosing a project risk-handling strategy: An analytical model. *International Journal of Production Economics*, v. 112, n. 2, p. 700–713, 2008.

FANG, D. et al. Risks in Chinese Construction Market—Contractors' Perspective. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 130, n. 6, p. 853–861, 2004.

FINDLAY, E.A.G. *Guia para apresentação de projetos de pesquisa*. Joinville, SC: UNIVILLE. 2006.

FLANAGAN, R. e NORMAN, G. *Risk management and construction*, Blackwell, Oxford. 1993.

FREJ, T.A.; ALENCAR, L.H. Fatores de sucesso no gerenciamento de múltiplos projetos na construção civil em Recife. *Produção*, Recife, vol. 20, n.3, jul./set. 2010, p. 322-334.

FRIJTERS, A. C. P.; SWUSTE, P. Safety Assessment in Design and Preparation Phase. *Safety Science*, v. 46, p. 272–281, 2008.

FUNG, I. W. H. et al. Developing a Risk Assessment Model for construction safety. *International Journal of Project Management*, v. 28, n. 6, p. 593–600, 2010.

GAMBATESE, J.; HINZE, J. Addressing construction worker safety in the design phase designing for construction worker safety. *Automation in construction*, v. 8, n. 6, p. 643–649, 1999.

- GEHBAUER, F. Planejamento e Gestão de Obras. Editora Cefet-PR, 2002.
- GUPTA, D.; SHARMA, M.; SHANKAR TRIVEDI, D. Risk Management: Identifying Key Risks in Construction Projects. *International Journal of Civil and Structural Engineering Research* ISSN, v. 4, n. 1, p. 2348–76079, 2016.
- HAN, S. H. et al. A web-based integrated system for international project risk management. *Automation in Construction*, v. 17, n. 3, p. 342–356, 2008.
- HANNA, A. S.; THOMAS, G.; SWANSON, J. R. Construction Risk Identification and Allocation: Cooperative Approach. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 139, n. 9, p. 1098–1107, 2013.
- HASTAK, M.; SHAKED, A. ICRAM-1: Model for International Construction Risk Assessment. *Journal of Management in Engineering*, v. 16, n. 1, p. 59–69, 2000.
- HLAING, N. N. et al. Perceptions of Singapore construction contractors on construction risk identification. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, v. 13, n. 2, p. 85–95, 2008.
- HUANG, D.; CHEN, T.; WANG, M.-J. J. A fuzzy set approach for event tree analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, v. 118, n. 1, p. 153–165, 2001.
- IDRUS, A.; FADHIL NURUDDIN, M.; ROHMAN, M. A. Development of project cost contingency estimation model using risk analysis and fuzzy expert system. *Expert Systems with Applications*, v. 38, n. 3, p. 1501–1508, 2011.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa anual da indústria da construção, v. 17. Rio de Janeiro: IBGE, 2007
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 31000. Risk management: Risk assessment techniques, 2009.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO:21500. Guidance on Project Management. Geneve: International Standards Association, 2012.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA . Carta de Conjuntura. Vol. 32, 3º trimestre de 2016.
- ISIK, Z.; ALADAG, H. A fuzzy AHP model to assess sustainable performance of the construction industry from urban regeneration perspective. *JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND MANAGEMENT*, v. 23, n. 4, p. 499–509, 2017.
- JAAFARI, A. Management of risks, uncertainties and opportunities on projects: time for a fundamental shift. *International Journal of Project Management*, v. 19, p. 89 - 101, 2001.
- JANNADI, O. A.; ALMISHARI, S. Risk Assessment in Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 129, n. 5, p. 492–500, 2003.
- JIMOH, R. A. et al. Managing Pre-Construction and Construction Risks on Project Sites in Abuja-Nigeria. *Civil Engineering Dimension*, v. 18, n. 181, 2016.
- KARIMIAZARI, A. et al. Risk assessment model selection in construction industry. *Expert Systems with Applications*, v. 38, n. 8, p. 9105–9111, 2011.
- KLEMETTI, A., Risk Management in Construction Project Networks, Helsinki: Laboratory of Industrial Management, University of Technology, Report 2006/2, Espoo; 2006.

- KLIR, G.J. YAN, B. *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*. Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, 1995. 574 pp
- LEUNG, H. M.; RAO TUMMALA, V. M.; CHUAH, K. B. A knowledge-based system for identifying potential project risks. *Omega*, v. 26, n. 5, p. 623–638, 1998.
- LIMMER, C. V. *Planejamento, orçamento e controle de projetos e obras*. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2013.
- LUU, V. T. et al. Quantifying schedule risk in construction projects using Bayesian belief networks. *International Journal of Project Management*, v. 27, n. 1, p. 39–50, 2009.
- MAMDANI, E.H. ASSILIAN, S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 7, n.1, p.1-13, 1975.
- MATTOS, Aldo Dórea. *Planejamento e controle de obras - São Paulo*. Pini, 2010.
- MATWORKS. *Fuzzy Toolbox User's Guide: for use with MATLAB*. Natick, MA: The MathWorks, Inc., 2013.
- MC GRAW-HILL, *Managing Uncertainty and Expectations in Building Design and Construction*. McGraw-Hill Construction Report 2014.
- MC GRAW-HILL, *Managing Risk in the Construction Industry*. McGraw-Hill Construction Report 2017.
- MELHADO, S.B. *Gestão, Cooperação e Integração para um Novo Modelo. Voltado à Qualidade do Processo de Projeto na Construção de Edifícios*. São Paulo, 2001. 235p.
- MELLO, L.C.B.B. *Modernização das pequenas e médias empresas de construção civil: impactos dos programas de melhoria de gestão de qualidade*. 2007. 261f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Programa de pós graduação em engenharia civil da Universidade Federal Fluminense. Niterói. 2007.
- MELLO, L.C.B.B.; AMORIM, S. R. L. The subsector of buildings of the civil construction in Brazil: a x-ray of the sector compared to the European Union and the United States. *Produção [S.I.]*, v. 19, n. 2, p. 388-399, 2009.
- MIGUEL, P.A.C. *Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações*. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012.
- MILLS, Anthony. A systematic approach to risk management for construction. *Structural Survey*, v.19, n.5 p. 245 – 252, 2011. doi: 10.1108/02630800110412615
- MINTZBERG, H. *Ascensão e Queda do Planejamento Estratégico*. Porto Alegre: Bookman, 2004.
- MOJTAHEDI, S. M. H.; MOUSAVI, S. M.; MAKUI, A. Project risk identification and assessment simultaneously using multi-attribute group decision making technique. *Safety Science*, v. 48, n. 4, p. 499–507, 2010.
- MORANO, Cássia Andréa Ruotolo *Aplicação das Técnicas de Análise de Risco em Projetos de Construção*. 2003. 206 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense – UFF, Niterói, 2003.

- MOREIRA, D.J.S. Análise de riscos no planejamento de projetos de edificações com enfoque multicritério. 2016. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Estrutural e Construção Civil, Fortaleza, 2016.
- MULHOLLAND, B.; CHRISTIAN, J. Risk Assessment in Construction Schedules. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 125, n. 1, p. 8–15, 1999.
- MUSTAFA, M. A.; AL-BAHAR, J. F. Project risk assessment using the analytic hierarchy process. *Engineering Management, IEEE Transactions on*, v. 38, n. 1, p. 46–52, 1991.
- NASIR, D.; MCCABE, B.; HARTONO, L. Evaluating Risk in Construction–Schedule Model (ERIC–S): Construction Schedule Risk Model. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 129, n. 5, p. 518–527, 2003.
- NIETO-MOROTE, A.; RUZ-VILA, F. A fuzzy approach to construction project risk assessment. *International Journal of Project Management*, v. 29, n. 2, p. 220–231, 2011.
- OSIPOVA, E. Risk management in the different phases of a construction project - a study of actors' involvement, 4th Nordic Conference on Construction Economics and Organisation, 307 Sweden 2007. *Anais...*, Sweden 2007.
- OSIPOVA, E.; ERIKSSON, P. E. How procurement options influence risk management in construction projects. *Construction Management and Economics*, v. 29, n. 11, p. 1149–1158, 2011.
- PERRY, J. G. et al. Risk and its management in construction projects. p. 757–764, 1986.
- PIERI, M.; TORRES, G.; PEREIRA FILHO, J. Gerenciamento de riscos relacionados aos trabalhos em altura na fase de concepção do projeto de um edifício comercial. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. *Anais...* Porto Alegre: ANTAC, 2016
- POH, Y. P.; TAH, J. H. M. Integrated duration–cost influence network for modelling risk impacts on construction tasks. *Construction Management and Economics*, v. 24, n. 8, p. 861–868, 2006.
- PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. PMI. Um Guia do Conjunto de Conhecimento em Gerenciamento de Projetos – PMBOK. 5. ed. Pennsylvania, 2013.
- ROYER, P.S., Risk Management: The Undiscovered Dimension of Project Management, *Project Management Journal*, v. 31, n.1, p. 6-13, mar. 2000.
- RUIZ, J.A. Metodologia científica: guia para eficiência de estudos. 3ed. São Paulo: Atlas, 1991.
- SAATY, T. Método de Análise Hierárquica. São Paulo Makron Books do Brasil, 1991.
- SAFETY IN DESIGN. Design Guide CON307: Fall Prevention by Design. Disponível em: < <http://www.safetyindesign.org.uk/images/pdf-view/b6169-sid-con307.pdf> > Acesso em: 20 maio. 2017.
- SALLES JR, C. A. C.; SOLER, A. M.; VALLE, J. A. S.; RABECHINI, R. J. Gerenciamento de riscos em projetos. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006.
- SAMPIERI, R.H. COLLADO. F.C. LUCIO P.B; Metodologia de Pesquisa. 3 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

- SHACKLE, G. L. S. *Decision, Order and Time in Human Affairs*. Editora: Cambridge University Press, New York e Cambridge. United Kingdom, 2010.
- SHEN, L. Y.; WU, G. W. C.; NG, C. S. K. Risk Assessment for Construction Joint Ventures in China. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 127, n. 1, p. 76–81, 2001.
- SILVA, S.M.C.S.R.C. Planos gerais de garantia da qualidade de empreendimentos da construção: contributo para sua elaboração. 2000. Dissertação de mestrado. Lisboa. Instituto superior Técnico- Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2000.
- SILVA, M.B.S. Proposta de Roteiro para o Gerenciamento de Riscos em Obras Empreitadas de Construção Civil. 2008. 298 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.
- SIMÕES, M. G.; SHAW, I. S. *Controle e modelagem fuzzy*. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Blucher: FAPESP, 2007.
- SLACK, N. *et al.* *Administração da produção*. 1 ed. - 10. reimpr. São Paulo: Atlas, 2006.
- SMITH, N., MERNA, T., JOBLING, P.,: *Managing Risk in Construction Projects*. Blackwell Publishing, Oxford, UK, 2006.
- SOUZA, O.M., MESQUITA, M.E.R.V. *Introdução à Teoria dos Conjuntos Fuzzy*. Relatório de Iniciação Científica, Departamento de Matemática - Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, mar. 2010.
- STACE, D.; DUNPHY, D. The strategic management of corporate change. *Human Relations*, v. 46, n. 8, p. 905–918, 1993.
- TAH, J. H. M.; CARR, V. Towards a framework for project risk knowledge management in the construction supply chain. *Advances in Engineering Software [S.I.]*, v. 32, n. Compendex, p. 835-846, 2001.
- TANSCHKEIT, R. *Sistemas fuzzy*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE (SBAI), 6., 2003, Bauru. *Anais de Minicursos...* São Paulo: Sociedade Brasileira de Automática (SBA), 2003.
- TAROUN, A. Towards a better modelling and assessment of construction risk: Insights from a literature review. *International Journal of Project Management*, v. 32, n. 1, p. 101–115, 2014.
- TAVARES, L. V.; ANTUNES FERREIRA, J. A; SILVA COELHO, J. On the optimal management of project risk. *European Journal of Operational Research*, v. 107, n. 2, p. 451–469, 1998.
- TAYLAN, O. *et al.* Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies. *Applied Soft Computing Journal*, v. 17, p. 105–116, 2014.
- THOMAZ, Ercio. *Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção*. 1. Ed. São Paulo: PINI, 2001.
- TOURAN, A.; LOPEZ, R. Modeling Cost Escalation in Large Infrastructure Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 132, n. 8, p. 853–860, 2006.
- TOOLE, T. M.; GAMBATESE, J. The Trajectories of Prevention through Design in Construction. *Journal of Safety Research*, v. 39, n. 2, p. 225–230, 2008.

- TSERNG, H. P. et al. A study of ontology-based risk management framework of construction projects through project life cycle. *Automation in Construction*, v. 18, n. 7, p. 994–1008, 2009.
- VERDI, L.A.R. Metodologia de gerenciamento da qualidade em ambiente de projetos de engenharia. 2000. Tese (doutorado)-Escola Politécnica- USP.
- WALKER, A. *Project Management in Construction*. Blackwell Publishing, UK [S.I.], 2007.
- WANG, J.; YUAN, H. Factors affecting contractors' risk attitudes in construction projects: Case study from China. *International Journal of Project Management* [S.I.], v. 29, n. 2, p. 209-219, 2011.
- WANG, M.T.; CHOU, H.Y. Risk allocation and risk handling of highway projects in Taiwan. *Journal Management Engineering*, v.19 n.2, p.60–68, 2003.
- WARD, S. C.; CHAPMAN, C. B.; CURTIS, B. On the allocation of risk in construction projects. *International Journal of Project Management*, v.9, n.3, p. 140–147, 1991.
- WITT, E.; LIAS, R. Comparing Risk Transfers under Different Procurement Arrangements. *International Journal of Strategic Property Management*, v. 15, n. 2, p. 173–188, 2011.
- WHITE, D. Application of systems thinking to risk management: *Management Decision*, v. 33, n. 10, p. 35, 1995.
- YILDIZ, A. E. *et al.* A knowledge-based risk mapping tool for cost estimation of international construction projects. *Automation in Construction*, v. 43, p. 144–155, 2014.
- ZADEH, L. A. Fuzzy sets. *Information and Control*, v. 8, n. 3, p. 338–353, 1965.
- ZAYED, T.; AMER, M.; PAN, J. Assessing risk and uncertainty inherent in Chinese highway projects using AHP. *International Journal of Project Management* [S.I.], v. 26, n. *Compendex*, p. 408-419, 2008.
- ZAVADSKAS, E. K.; TURSKIS, Z.; TAMOŠAITIENE, J. Risk assessment of construction projects. *Journal of Civil Engineering and Management*, v. 16, n. 1, p. 33–46, 2010.
- ZAVADSKAS, E. K. et al. Integrated group fuzzy multi-criteria model: Case of facilities management strategy selection. *Expert Systems with Applications*, v. 82, p. 317–331, 2017.
- ZENG, J.; AN, M.; SMITH, N. J. Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment. *International Journal of Project Management* [S.I.], v. 25, n. 6, p. 589-600, 2007
- ZEYDAN, M.; COLPAN, C.; COBANOGLU, C. A combined methodology for supplier selection and performance e evaluation. *Expert Systems with Applications*, v. 38, n. 3, p. 2741–2751, 2011.
- ZHANG, G. M.; ZOU, P. X. W. Fuzzy analytical hierarchy process risk assessment approach for joint venture construction projects in China. *Journal of Construction Engineering and Management-Asce* [S.I.], v. 133, n. 10, p. 771-779, Oct 2007.
- ZHAO, X.; HWANG, B.; PHNG, W. Construction Project Risk Management in Singapore : Resources , Effectiveness , Impact , and Understanding. *Construction Management*, v. 18, p. 27–36, 2013.
- ZHI, He. Risk management for overseas construction projects. *International Journal of Project Management*, Vol. 13, N. 4, pp. 231-237, 1995

ZOU, P. X. W.; ZHANG, G.; WANG, J. Understanding the key risks in construction projects in China. *International Journal of Project Management*, v. 25, n. 6, p. 601–614, 2007.

APÊNDICE A – ILUSTRAÇÕES GRÁFICAS DE RESULTADOS

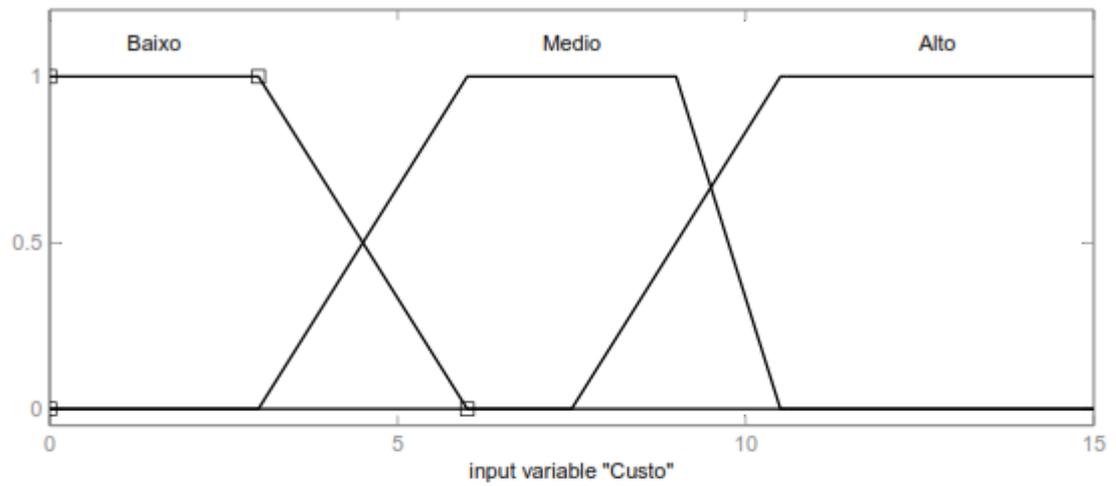


Figura 12: Função de Agrupamento para o critério Custo. Fonte: Autor

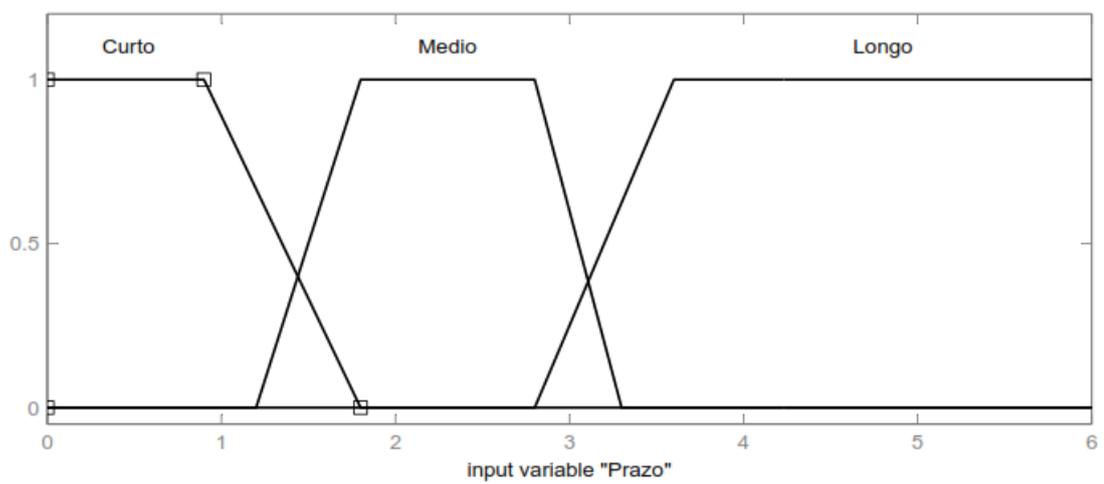


Figura 13: Função de Agrupamento para o critério Prazo. Fonte: Autor

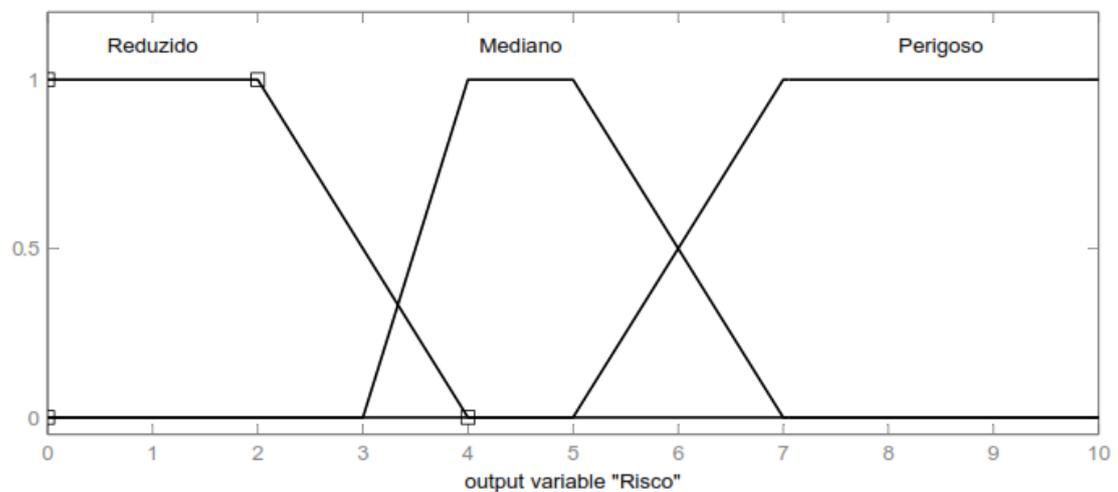


Figura 14: Função de Agrupamento para o saída Risco. Fonte: Autor

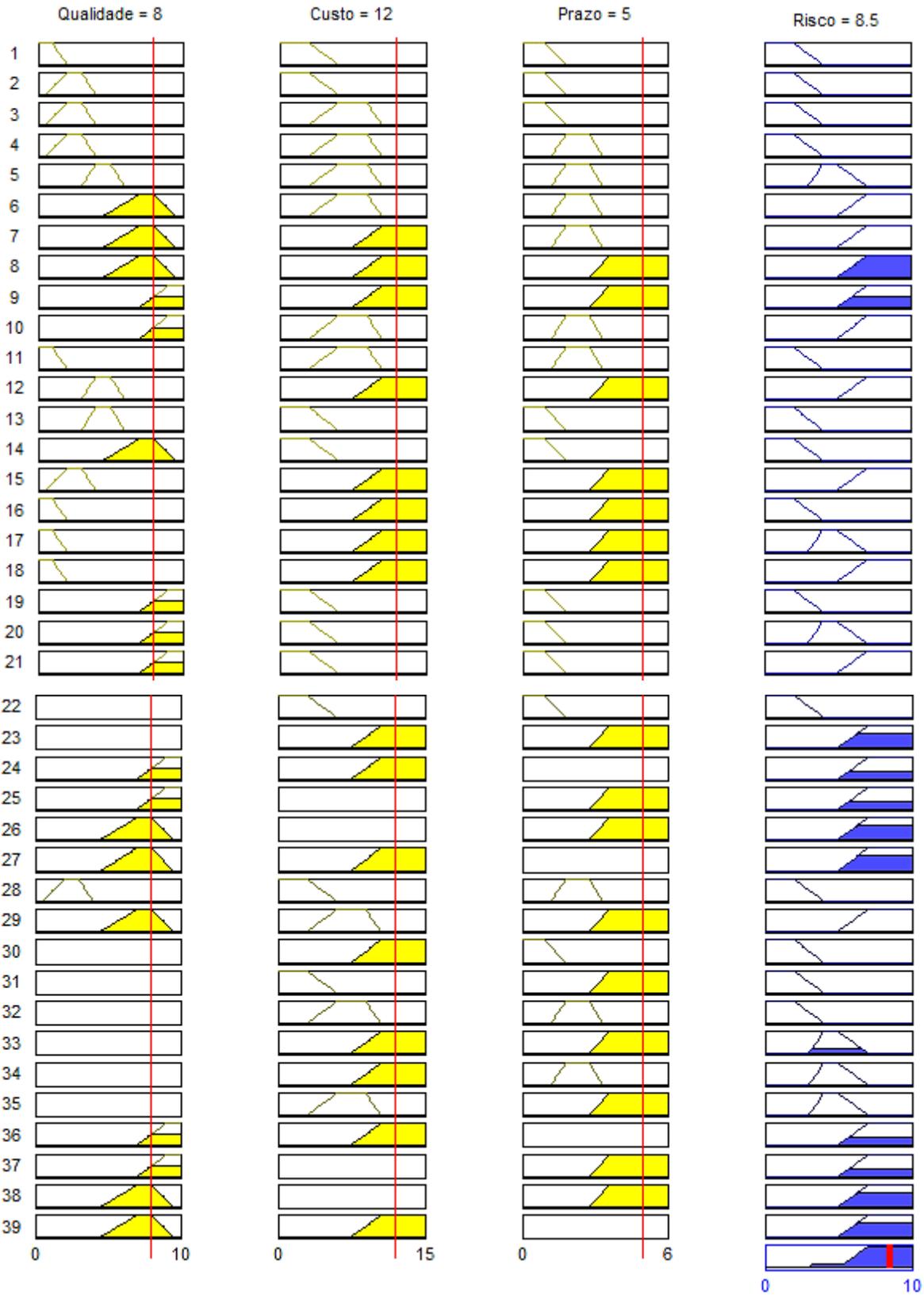


Figura 15: Funcionamento de Inferência para Entradas 8, 12% e 5 meses. Fonte: Autor

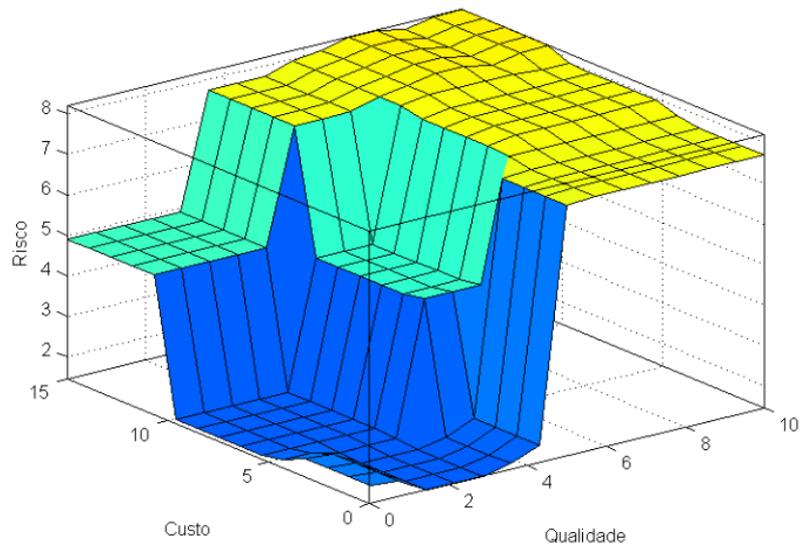


Gráfico 10: Saída Gráfica do Matlab: Superfície para Custo x Qualidade x Risco. Fonte: Autor

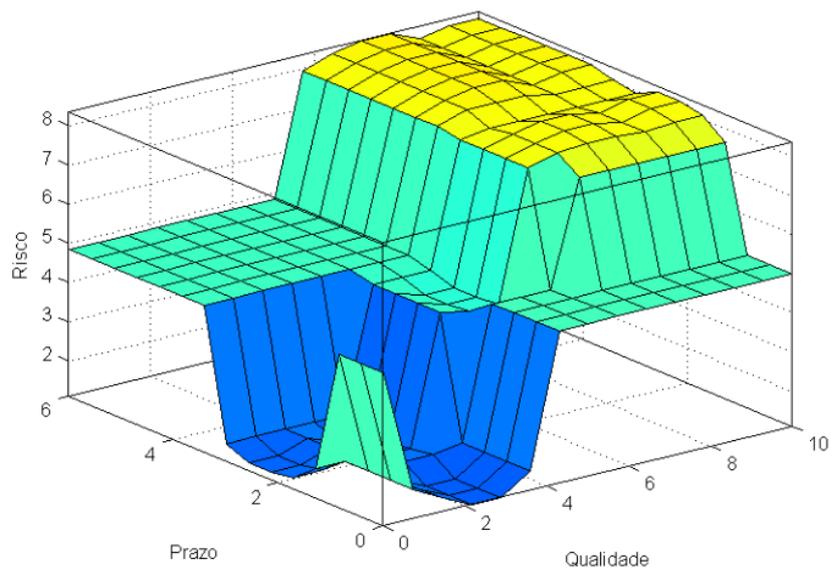


Gráfico 11: Saída Gráfica do Matlab: Superfície para Prazo x Qualidade x Risco. Fonte: Autor

APÊNDICE B – DADOS DA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Tabela 13: Função de Agrupamento para Cenário 1

Critérios e Saída	Conjunto	Descrição	Função de Agrupamento Cenário 1
Qualidade	Baixíssimo	Afeta de maneira irrisória a qualidade	[0 0 2 3]
	Baixo	Baixa influência sobre a qualidade	[1.5 3 4.5 6]
	Médio	Afeta a qualidade perceptivelmente	[4.5 5.5 6.5 8]
	Alto	Alta influência sobre a qualidade	[7 8 8.5 9]
	Altíssimo	Afeta de maneira altíssima a qualidade	[8 9.5 10 10]
Custo	Baixo	Afeta margem aceitável custos do projeto	[0 0 2 4]
	Médio	Afeta medianamente os custos do projeto	[2.5 5 7 8]
	Alto	Afeta de inaceitável os custos do projeto	[6 10.5 15 15]
Prazo	Curto	Baixa influência sobre o prazo da obra	[0 0 0.7 1.8]
	Médio	Média influência sobre o prazo da obra	[.9 1.5 2.5 3]
	Longo	Alta influência sobre o prazo da obra	[2.5 3.5 12 12]

Fonte: Autor

Tabela 14: Regras para Cenário 1

Regras	Influência de Critérios em Risco					Peso da Regra	Risco	
	Qualidade		Custo		Prazo			
1	Baixíssimo	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	100%	Reduzido
2	Baixo	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	100%	Reduzido
3	Baixo	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	80%	Reduzido
4	Baixo	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	80%	Reduzido
5	Medio	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	90%	Mediano
6	Alto	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	60%	Perigoso
7	Alto	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	100%	Perigoso
8	Alto	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	100%	Perigoso
9	Altíssimo	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	100%	Perigoso
10	Altíssimo	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	50%	Perigoso
11	Baixíssimo	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	70%	Reduzido
12	Medio	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	100%	Perigoso
13	Medio	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	100%	Reduzido
14	Alto	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	100%	Reduzido
15	Baixo	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	90%	Perigoso
16	Baixíssimo	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	20%	Reduzido
17	Baixíssimo	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	50%	Mediano
18	Baixíssimo	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	100%	Perigoso
19	Altíssimo	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	90%	Reduzido
20	Altíssimo	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	60%	Mediano
21	Altíssimo	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	40%	Perigoso
22	x	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	80%	Reduzido
23	x	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	90%	Perigoso
24	Altíssimo	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	x	<i>then</i>	50%	Perigoso
25	Altíssimo	<i>and</i>	x	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	40%	Perigoso
26	Alto	<i>and</i>	x	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	40%	Perigoso
27	Alto	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	x	<i>then</i>	50%	Perigoso
28	Baixo	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	95%	Reduzido
29	Alto	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	85%	Perigoso
30	x	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	20%	Reduzido
31	x	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	20%	Reduzido
32	x	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	20%	Reduzido
33	x	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	40%	Mediano
34	x	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	40%	Mediano
35	x	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	40%	Mediano
36	Altíssimo	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	x	<i>then</i>	80%	Perigoso
37	Altíssimo	<i>and</i>		<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	70%	Perigoso
38	Alto	<i>and</i>		<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	70%	Perigoso
39	Alto	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	x	<i>then</i>	80%	Perigoso

Fonte: Autor.

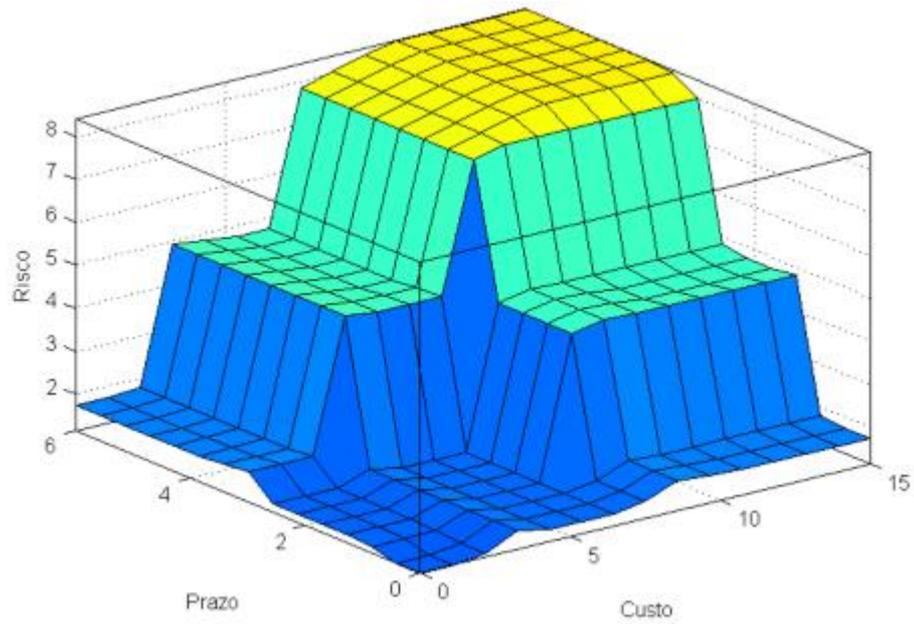


Gráfico 12: Saída Gráfica do Matlab para Cenário 1: Superfície para Prazo x Custo x Risco. Fonte: Autor

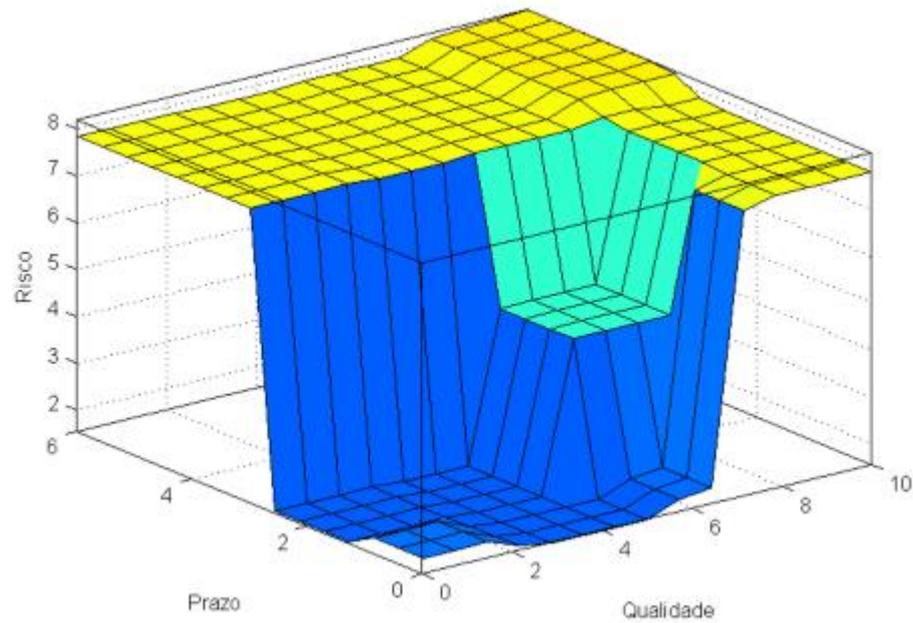


Gráfico 13: Saída Gráfica do Matlab para Cenário 1: Superfície para Prazo x Qualidade x Risco. Fonte: Autor

Tabela 15: Função de Agrupamento para Cenário 2.

Crítérios e Saída	Conjunto	Descrição	Função de Agrupamento Cenário 2
Qualidade	Baixissimo	Afeta de maneira irrisória a qualidade	[0 0 2 3]
	Baixo	Baixa influência sobre a qualidade	[1.5 3 4 6]
	Médio	Afeta a qualidade perceptivelmente	[4 5.5 7 7.5]
	Alto	Alta influência sobre a qualidade	[7 8 8.5 9.5]
	Altíssimo	Afeta de maneira altíssima a qualidade	[8 9.5 10 10]
Custo	Baixo	Afeta margem aceitável custos do projeto	[0 0 3 6]
	Médio	Afeta medianamente os custos do projeto	[3 6 9 10.5]
	Alto	Afeta de inaceitável os custos do projeto	[7.5 10.5 15 15]
Prazo	Curto	Baixa influência sobre o prazo da obra	[0 0 0.2 1]
	Médio	Média influência sobre o prazo da obra	[0.7 1.2 2 2.5]
	Longo	Alta influência sobre o prazo da obra	[2 2.6 12 12]

Fonte: Autor.

Tabela 16: Regras para Cenário 2.

Regras	Influência de Critérios em Risco					Peso da Regra	Risco	
	Qualidade		Custo		Prazo			
1	Baixíssimo	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	100%	Reduzido
2	Baixo	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	100%	Reduzido
3	Baixo	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	80%	Reduzido
4	Baixo	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	60%	Reduzido
5	Medio	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	90%	Mediano
6	Alto	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	90%	Perigoso
7	Alto	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	90%	Perigoso
8	Alto	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	100%	Perigoso
9	Altíssimo	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	100%	Perigoso
10	Altíssimo	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	72%	Perigoso
11	Baixíssimo	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	70%	Reduzido
12	Medio	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	100%	Perigoso
13	Medio	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	100%	Reduzido
14	Alto	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	100%	Reduzido
15	Baixo	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	100%	Perigoso
16	Baixíssimo	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	20%	Reduzido
17	Baixíssimo	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	60%	Mediano
18	Baixíssimo	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	100%	Perigoso
19	Altíssimo	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	100%	Reduzido
20	Altíssimo	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	40%	Mediano
21	Altíssimo	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	20%	Perigoso
22	x	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	80%	Reduzido
23	x	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	100%	Perigoso
24	Altíssimo	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	x	<i>then</i>	50%	Perigoso
25	Altíssimo	<i>and</i>	x	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	90%	Perigoso
26	Alto	<i>and</i>	x	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	90%	Perigoso
27	Alto	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	x	<i>then</i>	60%	Perigoso
28	Baixo	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	60%	Reduzido
29	Alto	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	95%	Perigoso
30	x	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Curto	<i>then</i>	20%	Reduzido
31	x	<i>and</i>	Baixo	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	10%	Reduzido
32	x	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	20%	Reduzido
33	x	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	40%	Mediano
34	x	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	Medio	<i>then</i>	30%	Mediano
35	x	<i>and</i>	Medio	<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	50%	Mediano
36	Altíssimo	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	x	<i>then</i>	60%	Perigoso
37	Altíssimo	<i>and</i>		<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	80%	Perigoso
38	Alto	<i>and</i>		<i>and</i>	Longo	<i>then</i>	80%	Perigoso
39	Alto	<i>and</i>	Alto	<i>and</i>	x	<i>then</i>	60%	Perigoso

Fonte: Autor.

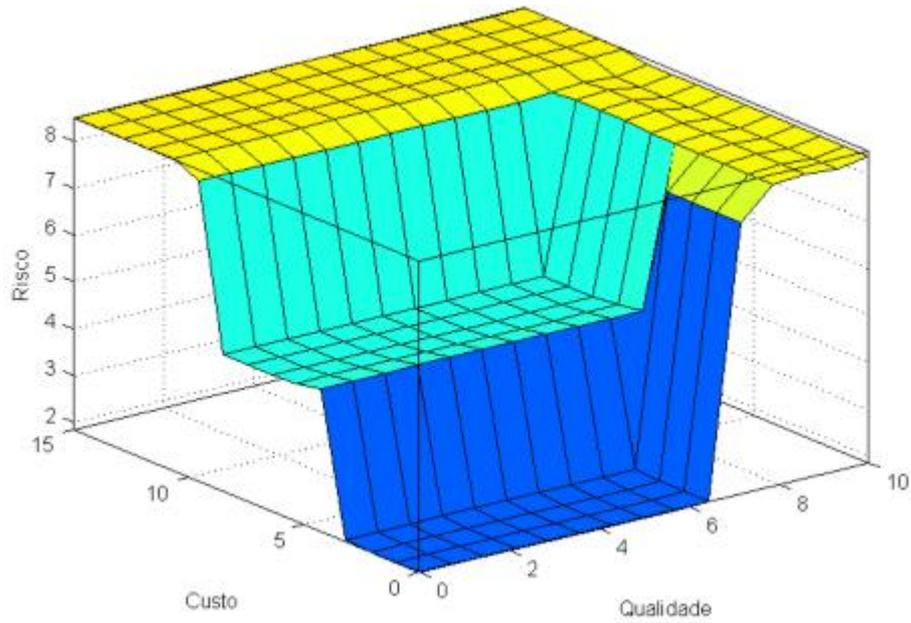


Gráfico 14: Saída Gráfica do Matlab para Cenário 2: Superfície para Custo x Qualidade x Risco. Fonte: Autor

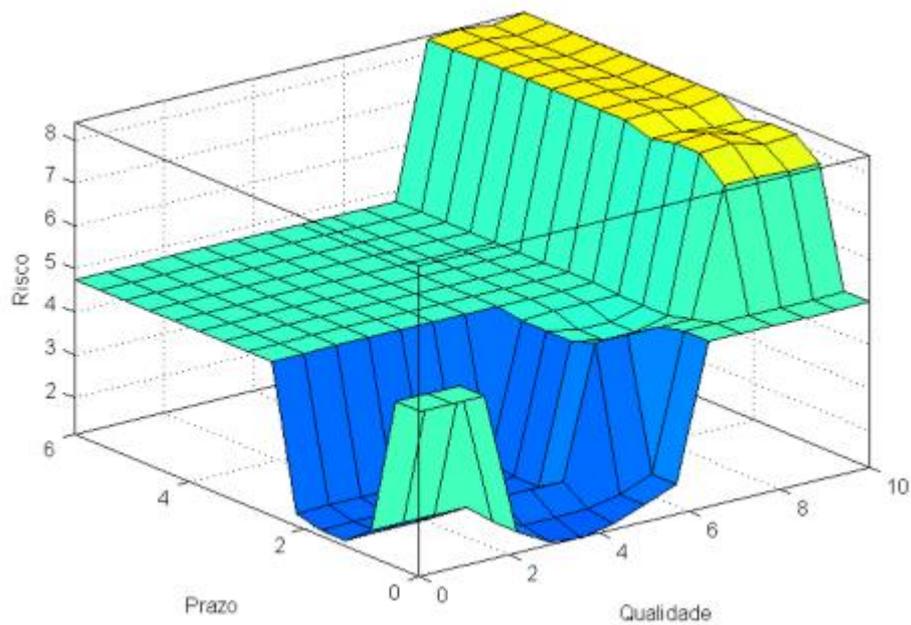


Gráfico 15: Saída Gráfica do Matlab para Cenário 2: Superfície para Prazo x Qualidade x Risco. Fonte: Autor

ANEXO A – TÉCNICAS DE ANÁLISE DE RISCO

TÉCNICAS DE ANÁLISE DE RISCO	SUBTOTAL
ANÁLISE HISTÓRICA	3
ANÁLISE DE PERIGO (HAZARD ANALYSIS)	5
ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS (PHA)	3
SÉRIE DE RISCOS	2
TÉCNICA DE INCIDENTES CRÍTICOS	2
WHAT-IF/CHECKLIST - WIC	5
HAZOP	11
ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	9
ANÁLISE DE DECISÃO	4
ANÁLISE MULTICRITÉRIO	13
ÁRVORE DE CAUSAS	2
ÁRVORE DE EVENTOS	7
ÁRVORE DE DECISÃO	6
ÁRVORE DE FALHAS	17
ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E EFEITOS - FMEA	10
ANÁLISE DE MODOS, EFEITOS E CRITICALIDADE DAS FALHAS - FMECA	4
ANÁLISE DE PROBABILIDADE	14
ANÁLISE DE CORRELAÇÃO	1
ANÁLISE DE CONSEQUÊNCIAS	2
PERT-RISCO	3
SIMULAÇÃO DE MONTE-CARLO	20
VALOR MONETÁRIO ESPERADO	4
VALOR PRESENTE LÍQUIDO	11
MÉTODO DE PAYBACK	5
MÉTODO DE TAXA INTERNA DE RETORNO	7
FUZZY	14
TOTAL	184

Fonte: Morano (2003)

ANEXO B – FATORES QUE AFETAM CRONOGRAMA

1. Engineering design
 - Regulatory, code, and safety
 - Requirements
 - Drawing control process
 - Environment impact assessment
 - Location and number of engineering centers
 - Engineering resource qualifications and pool depth
 - Engineering estimate
 - Project scope definition
 - Early engineering deliverables
 - Technology
 - Design criteria
 - Engineering and procurement interfacing
 - Engineering productivity
 - Engineering resources requirements
 - Material substitution procedure
 - Site investigation
2. Procurement
 - Vendor bid greater than estimate
 - Long lead items equipment and bulk material
 - Identification of equipment and material
 - Management techniques and systems
 - Specification changes affecting manufacturing
 - Vendor quality control
 - Vendor drawing control
 - Warranties
 - Procurement document control process
 - Manufacturing process
 - Material management organization
 - Tender evaluation and purchase order cycle
 - Vendor performance
 - Transportation concerns
 - Vendor labor problems
3. Site construction
 - Temporary facilities
 - Approved for construction drawings
 - Codes and standards
 - Standards of contract documents
 - Contractor selection process
 - Existing facilities
 - Government permits
 - Labor relations
 - Labor resource planning
 - Quality control
 - Safety
 - Site management process
 - Trades productivity
 - Construction turnover coordination
 - Design errors
 - Scope-related quantity increases
 - Percent complete of engineering at start site work
 - Design changes during construction
 - Constructability reviews
 - Contract strategy
 - Differing site conditions
 - Force mais, oui
 - Availability of equipment and material
4. Project management
 - Loss control program
 - Regulatory delays
 - Location
 - Site management staffing
 - Weather effects
 - Construction mistakes
 - Site stores management
 - Defective materials
 - Site access
 - Third-party overview
 - Start-up plan
 - Major equipment plan
 - Management experience
 - Project management budget
 - Project organizational model and implementation
 - Project control process
 - Project procedures
 - Definition of authority and responsibility
 - Scope definition and estimate
 - Financial/funding
 - External actions
 - Management resource pool
 - Owner quality assurance
 - Project complexity
 - Project duration
 - Project schedule
 - Commitment to the schedule
 - Records management
 - Regulatory reporting
 - Change order control
 - Owner driven

ANEXO C – PROBLEMAS COM DOCUMENTOS DE DESIGN

Design Documents Problems ^a

Insufficient clearances (from statutory bodies) prior to commencement on site
 Design not being achievable within the project budget
 Impractical construction methodologies and detailing
 Designs not adaptable or incompatible to site conditions and restrictions
 Design with a lack of understanding of the project delivery process
 Use of catch all type clauses, requiring allowance for items not designed/specified
 Fast-track design not keeping pace with construction activities
 Design changes causing disruption to critical construction activities
 Lack of innovation in design solutions provided
 Insufficient design coordination causing clashes between project elements
 Contractors have to rely on specification notes, where drawings actually required
 Documents lacking clarity and forcing contractors to interpret requirements
 Late production of colors and finishes schedules
 Documents issued with insufficient details or dimensions
 Limits being placed on the number or type of suppliers allowed
 Lack of definition and clarity in scope of works
 Insufficient design coordination causing clashes between services elements
 Documents lacking standard details (reinventing the wheel)
 Critical explanatory notes hidden in general notes
 Documents considered questionable in relation to project requirements
 Documents issued with conflicting information
 Documents issued with incorrect or inaccurate information
 Mixing of prescriptive and performance specification clauses
 Simple projects being unnecessarily over documented
 Specifying out-of-date or inappropriate materials or methods
 Non conformance of design to local by-laws requirements
 Materials or products specified contrary to manufacturers' recommendation
 Unreasonable tolerance or lack of allowable tolerances in design
 Documents calling up obsolete and inappropriate standards/specifications
 Issues of unchanged standard or manufacturers' specifications

Fonte: Andi e Minato (2003)