



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL: ESTRUTURAS E**  
**CONSTRUÇÃO CIVIL**

**JOÃO UMBERTO DE PAULA CAVALCANTE FILHO**

**AVALIAÇÃO DE RISCOS COM SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO EM OBRAS DE**  
**GRANDE PORTE**

**FORTALEZA**

**2019**

JOÃO UMBERTO DE PAULA CAVALCANTE FILHO

AVALIAÇÃO DE RISCOS COM SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO EM OBRAS DE  
GRANDE PORTE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Estruturas e Construção Civil.

Área de concentração: Construção Civil

Orientadora: Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Vanessa Ribeiro Campos

FORTALEZA

2019

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)

---

- C364a Cavalcante Filho, João Umberto de Paula.  
Avaliação de riscos com simulação de Monte Carlo em obras de grande porte / João Umberto de Paula Cavalcante Filho. – 2019.  
104 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Fortaleza, 2019.  
Orientação: Prof. Dr. Vanessa Ribeiro Campos.
1. Gerenciamento de Riscos. 2. Estimativa de Custo. 3. Estimativa de Tempo. 4. Identificação de Riscos.  
5. Reserva de Contingência. I. Título.

CDD 624.1

---

JOÃO UMBERTO DE PAULA CAVALCANTE FILHO

AVALIAÇÃO DE RISCOS COM SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO EM OBRAS DE  
GRANDE PORTE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Estruturas e Construção Civil.

Área de concentração: Construção Civil

Aprovada em: 09/07/2019

BANCA EXAMINADORA

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Vanessa Ribeiro Campos (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Joaquim Eduardo Mota  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Francisco de Assis de Souza Filho  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof.<sup>a</sup> . Dr.<sup>a</sup> Mariana Rodrigues de Almeida  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

A Deus, meu Senhor amável, confiável e guia  
dos meus passos.

Aos meus pais, Ana Cleide e João Umberto  
incansáveis nas tarefas de me educar e amar.

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vanessa Ribeiro Campos, pela orientação e dedicação durante todo o mestrado e, especialmente, durante a elaboração desta pesquisa, sempre demonstrando interesse e responsabilidade no tema.

Aos professores participantes da banca examinadora Prof. Dr. Joaquim Eduardo Mota, Prof. Dr. Francisco de Assis de Souza Filho e Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Mariana Rodrigues de Almeida pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos professores e demais colaboradores do programa, pelo tempo e conhecimento compartilhado durante todo o mestrado.

Aos colegas da turma do mestrado, pelos auxílios, ensinamentos, companheirismo e amizade, que Deus os abençoe em suas caminhadas.

Aos meus queridos familiares e namorada por todo carinho, amor e paciência, durante esse período de provações e vitórias.

Aos engenheiros que participaram das entrevistas e proporcionaram a elaboração desse trabalho.

“Você pode encarar um erro como uma besteira a ser esquecida, ou como um resultado que aponta uma nova direção. ”

Steve Jobs

## RESUMO

A construção civil é uma das indústrias mais dinâmicas, arriscada e desafiadora. Em decorrência disso, o setor apresenta muitos problemas de gerenciamento, retratando uma elevada taxa de projetos com falhas, principalmente nos seus prazos e orçamentos. O Gerenciamento de Riscos (GR) surge como meio de melhorar a eficiência dos projetos deste setor. Este trabalho apresenta como objetivo a proposta de um modelo de avaliação de riscos em obras de grande porte, capaz de estimar o custo e o tempo do projeto, identificar e avaliar os riscos em função da sua probabilidade de ocorrência e impacto. De maneira metodológica, foram coletados os dados, das etapas principais de execução de uma obra de grande porte no município de Fortaleza/CE, com 3 engenheiros especialistas no assunto, sendo o primeiro utilizado para a modelagem da simulação, os outros dois foram utilizados para uma análise de cenários do caso. Os dados coletados foram os dados de entrada do software @risk para a Simulação de Monte Carlo (SMC). Com a simulação, foi possível determinar os custos e o cronograma da obra para um intervalo de confiança de 80%, assim como a identificação dos riscos que ocasionam a extrapolação do orçamento e atrasos dos serviços. Dentre os principais fatores que levam aos riscos e às contingências, cita-se os fatores financeiros, gerenciais e de projetos, sendo o atraso no recebimento das medições, planejamento inadequado e as diferenças encontradas no local da obra os fatores mais impactantes. Foram encontrados também as reservas de contingência para o orçamento e o cronograma, em relação aos custos foram de 11,60% e 11,91% para o cenário 1 e 2 respectivamente. Já em relação ao cronograma os valores foram bem maiores, sendo: 72,50% e 59,68%. O modelo demonstrou-se eficaz em: identificar os riscos potenciais em obras de grande porte; estimar os custos e o tempo da obra; calcular valores de reserva de contingências para os riscos de projeto; apresentar uma ferramenta de análise estatística de tomada de decisão para contratados e contratantes a respeito dos riscos de projetos; e fornecer parâmetros necessários para avançar para as próximas etapas do Gerenciamento de Riscos como a preparação às respostas ao risco.

**Palavras-chave:** Gerenciamento de Riscos. Estimativa de custo. Estimativa de tempo. Identificação de Riscos. Reserva de Contingência.



## **ABSTRACT**

Civil construction is one of the most dynamic, risky and challenging. As a result, the industry presented many management problems, presenting a high rate of projects with failures, mainly in their deadlines and budgets. Risk Management (RM) comes up to improve the efficiency of projects in the sector. This work presents a model of risk assessment in large projects, able to calculate the project time, identify and evaluate the risks in occurrence and impact. Data have been collected from the main stages of execution of a large work in the city of Fortaleza / CE, with three engineers specialized in large projects, the first one was used for modeling the simulation, the others were used for the scenario analysis of the case. All information gathered were used as input data to the software @ risk for a Monte Carlo Simulation (MCS). The simulation brings the possibility to obtain the cost budget and schedule for an 80% confidence interval, as well as an inscription of the risks that cause the extrapolation of the budget and delays. Among the main factors, it cites the factors incident to the financial, managerial and project risks, such as the delay in receiving the payments, the inadequate planning and the differences found in the site of the project, they were the most impact factors. Contingency reserves for the budget and schedule have been found: related to costs of 11.60% and 11.91% for scenarios 1 and 2. Regarding the schedule, the values were much higher, being: 72.50% and 59.68%. The model proved effective in: identification of risks in large scale projects; estimates of costs and time; calculate contingency reserve values for project risks; submit a tool for statistical analysis of decision making for contractors and contractors; provide needed information to move forward with the risk management.

**Keywords:** Risk Management. Cost Management. Schedule Management. Infrastructure projects. Risk Identification. Contingency Reserve.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cinco Fases do Ciclo de Vida de um Projeto e suas Interações.....	20
Figura 2 – Momento de Iniciar o GR.....	21
Figura 3 – Processos para a estimativa dos custos.....	23
Figura 4 – Ciclo dos processos de GR.....	32
Figura 5 – Riscos na construção.....	34
Figura 6 – Exemplo de EAR.....	37
Figura 7 – Matriz de Riscos com cores.....	43
Figura 8 – Simulação de Monte Carlo.....	54
Figura 9 – Tipos de distribuição probabilísticas contínuas.....	55
Figura 10 – Etapas para elaboração do modelo.....	57
Figura 11 – Obra de grande porte em Fortaleza/CE.....	58
Figura 12 – Maquete Eletrônica Seção Viária Típica.....	60
Figura 13 – Maquete Eletrônica Rotatória.....	61
Figura 14 – Orçamento de referência.....	64
Figura 15 – Matriz de Riscos modelo.....	68
Figura 16 – Framework do modelo.....	71
Figura 17 – Gráfico tornado genérico.....	73
Figura 18 – EAP obra de grande porte.....	74
Figura 19 – Estrutura analítica de riscos.....	83
Figura 20 – Matriz de riscos 1.....	85
Figura 21 – Matriz de riscos 2.....	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplo de registro de riscos .....	42
Tabela 2 – Descrição dos especialistas.....	63
Tabela 3 – Exemplo de Planilha para Preenchimento.....	65
Tabela 4 – Exemplo de Aplicação do Simulação de Monte Carlo.....	70
Tabela 5 – Parâmetros do orçamento de referência.....	75
Tabela 6 – Dados de custo cenário 1.....	76
Tabela 7 – Resultados para diferentes distribuições cenário 1.....	76
Tabela 8 – Dados de custo cenário 2.....	79
Tabela 9 – Resultados para diferentes distribuições cenário 2.....	79
Tabela 10 – Riscos e suas distribuições de probabilidade 1.....	85
Tabela 11 – Riscos e suas distribuições de probabilidade 2.....	89
Tabela 12 – Resumo dos resultados.....	92

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Trabalhos com a identificação de riscos em obras.....	38
Quadro 2 – Modelos de avaliação de riscos aplicados a construção civil 1980-2000.....	48
Quadro 3 – Modelos de avaliação de riscos aplicados na construção civil 2003-2018.....	50
Quadro 4 – Informações técnicas da obra.....	60
Quadro 5 – Informações técnicas da rotatória.....	61
Quadro 6 – Ordenação das atividades com as durações mais prováveis e dependências..	67
Quadro 7 – Codificação dos riscos identificados.....	84

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Custo total PERT 1.....	77
Gráfico 2	– Custo total Triangular 1.....	77
Gráfico 3	– Custo total Uniforme 1.....	78
Gráfico 4	– Custo total PERT 2.....	80
Gráfico 5	– Custo total Triangular 2.....	80
Gráfico 6	– Custo total Uniforme 2.....	80
Gráfico 7	– Duração do Projeto 1.....	81
Gráfico 8	– Duração do projeto 2.....	82
Gráfico 9	– Custo decorrente dos riscos estimados cenário 1.....	86
Gráfico 10	– Atraso decorrente dos riscos estimados cenário 1.....	87
Gráfico 11	– Análise de sensibilidade: custo do risco cenário 1.....	87
Gráfico 12	– Análise de sensibilidade: tempo do risco cenário 1.....	88
Gráfico 13	– Custo decorrente dos riscos estimados cenário 2.....	90
Gráfico 14	– Atraso decorrente dos riscos estimados cenário 2.....	90
Gráfico 15	– Análise de sensibilidade: custo do risco cenário 2.....	91
Gráfico 16	– Análise de sensibilidade: tempo do risco cenário 2.....	92

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

[t, t+ $\Delta$ t]	Duração, Duração + Variação
[\$, \$+ $\Delta$ \$]	Custo, Custo + Variação
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BDI	Benefícios e Despesas Indiretas
CAD	<i>Computer aided Design</i>
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EAP	Estrutura Analítica de Projetos
EAR	Estrutura Analítica de Riscos
EBR	Estimativa Baseada em Risco
EDRP	Estrutura de Discriminação de Riscos Potenciais
EHR	Estrutura Hierárquica de Riscos
GR	Gerenciamento de Riscos
IRM	<i>The Institute of Risk Management</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
OCG	<i>The former Office of Government Commerce</i>
PMBOK	<i>Project Management Body of Knowledge</i>
PMI	<i>Project Management Institute</i>
PPP	Parceria Pública Privada
PxI	Probabilidade x Impacto
SMC	Simulação de Monte Carlo

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Justificativa.....</b>	<b>16</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>17</b>
<b>1.3</b>	<b>Estrutura da Dissertação.....</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Gerenciamento de projetos.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.1</b>	<i>Gerenciamento dos custos.....</i>	<i>23</i>
<b>2.1.2</b>	<i>Gerenciamento do tempo.....</i>	<i>26</i>
<b>2.2</b>	<b>Riscos em projetos.....</b>	<b>27</b>
<b>2.2.1</b>	<i>Conceituação de risco.....</i>	<i>28</i>
<b>2.2.2</b>	<i>Gerenciamento de Riscos.....</i>	<i>30</i>
<b>2.2.3</b>	<i>Identificação dos Riscos.....</i>	<i>33</i>
<b>2.2.4</b>	<i>Análise dos Riscos.....</i>	<i>41</i>
<b>2.2.5</b>	<i>Gerenciamento de Riscos na construção civil.....</i>	<i>44</i>
<b>2.2.6</b>	<i>Modelos de Gerenciamento de Riscos aplicados à construção civil.....</i>	<i>46</i>
<b>2.3</b>	<b>Simulação de Monte Carlo.....</b>	<b>52</b>
<b>2.3.1</b>	<i>Distribuições de Probabilidade.....</i>	<i>54</i>
<b>3</b>	<b>DADOS E MÉTODOS.....</b>	<b>57</b>
<b>3.1</b>	<b>Formulação da questão de pesquisa.....</b>	<b>58</b>
<b>3.2</b>	<b>Caracterização da Obra .....</b>	<b>59</b>
<b>3.3</b>	<b>Coleta de dados.....</b>	<b>62</b>
<b>3.4</b>	<b>Tratamento dos dados.....</b>	<b>64</b>
<b>3.5</b>	<b>Simulação de Monte Carlo (SMC) .....</b>	<b>69</b>
<b>3.6</b>	<b>Análise dos Resultados.....</b>	<b>72</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>74</b>
<b>4.1</b>	<b>Simulação do custo.....</b>	<b>75</b>
<b>4.2</b>	<b>Simulação do tempo.....</b>	<b>81</b>
<b>4.3</b>	<b>Simulação do risco.....</b>	<b>82</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>94</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>96</b>
	<b>APÊNDICE.....</b>	<b>105</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das indústrias mais dinâmicas, arriscadas e desafiadoras. Com isso, o setor apresenta muitos problemas de gerenciamento em geral dos seus projetos, dentre eles, a gestão dos riscos. O setor apresenta uma reputação negativa com projetos falhando principalmente nos seus prazos e nos orçamentos (ADAM; JOSEPHSON; LINDAHL, 2017; MILLS, 2001). Em evidência, os projetos de infraestrutura, usualmente considerados de grande porte, apresentam com maior frequência atrasos e custos excessivos. (GUPTA, 2018; ZIDANE *et al.*, 2018).

Os projetos são esforços temporários empreendidos para a criação de produtos, serviços ou algum resultado (PMI, 2017). Os projetos do setor da construção civil são considerados de alta complexidade, compostos por elevadas condições de incertezas, principalmente, devido às informações imprecisas ou incompletas, que envolvem diversos critérios conflitantes entre si e a presença de vários *stakeholders* com poder ou não sobre o projeto (KAPLINSKI, 2013).

As obras de infraestrutura são usualmente conhecidas como de grande escala, porte ou vulto, assim definidas por apresentar elevados valores para a sua execução. Conforme a Lei 8.666/93, obra de grande porte é aquela que excede o valor de 25 multiplicado por R\$ 3.330.000,00. Geralmente, essas obras são benfeitorias de cunho social e envolvem grandes investimentos à infraestrutura da localidade, o que provoca uma maior responsabilidade dos gestores principalmente pelos elevados intervenientes e incertezas, que podem levar a riscos.

O Gerenciamento de Riscos (GR) em projetos de construção é considerado como o processo chave que direciona para o alcance dos objetivos referentes a tempo, custos, qualidade, segurança e sustentabilidade (JIMOH *et al.*, 2016). Desde que o GR vem tomando uma particular importância na execução de todos os projetos, uma especial atenção deve ser dada para projetos de grande porte, que possuem muitas áreas de risco em todo o ciclo do projeto (MOHAMED, 2016).

O primeiro processo do GR é a identificação dos riscos. Nessa fase é feita a definição dos fatores de incerteza e o esclarecimento do risco (ZAVADSKAS; TURSKIS; TAMOŠAITIENE, 2010). A identificação dos riscos determina quais riscos podem ou não afetar o projeto e o registro das suas características, é considerado um processo iterativo, pois novos riscos podem ser encontrados ao longo do decorrer do projeto (MOJTAHEDI; MOUSAVI; MAKUI, 2010).



Assim surge a análise do risco, a qual se torna uma aplicação numérica de técnicas tanto qualitativas quanto quantitativas. Em relação à análise quantitativa, a simulação de Monte Carlo tem sido amplamente utilizada para abordar, de maneira probabilística, os riscos principalmente no planejamento dos custos e do tempo de projetos de construção (SADEGHI; FAYEK; PEDRYCZ, 2010). A simulação surge principalmente devido a sua contribuição em fornecer informações preciosas, frente à falta de dados históricos.

Diante da apresentação do tema, o trabalho apresenta um modelo para estimar os riscos, que levam aos atrasos dos cronogramas e à extrapolação do orçamento de obras de grande porte. Assim como, uma análise dos riscos potenciais destas obras e seus impactos, esse modelo possui o intuito de facilitar o gerenciamento dos custos e do tempo em obras de grande porte do setor da construção civil. Para esse feito, será estudado uma obra de grande porte município de Fortaleza/CE, que contempla a execução de uma avenida, uma passarela e um viaduto.

## **1.1 justificativa**

O setor da construção civil apresenta um alto índice de obras com prazos e orçamentos estourados. É sabido que a grande maioria dos projetos do setor possuem um planejamento inadequado em que raras vezes representa com fidelidade o que foi executado. A desconsideração dos riscos e incertezas desses projetos é considerada a causa chave para o excessivo número de insucessos (ADAM; JOSEPHSON; LINDAHL, 2017).

As obras de infraestrutura são usualmente conhecidas como de grande escala, porte ou vulto, que são definidas assim por apresentar valores superiores a 25 vezes o limite de R\$ 3.330.000,00, conforme a Lei 8.666/93 e suas alterações. Essas obras usualmente são benfeitorias de cunho social e envolvem grandes investimentos à infraestrutura da localidade, o que provoca uma maior responsabilidade dos gestores principalmente pelos elevados intervenientes e incertezas.

Apesar dessa grande necessidade, o Gerenciamento de Riscos (GR) em projetos da construção ainda é ineficaz e a causa principal é a falta de conhecimento, tanto dos clientes como dos contratados (SERPELLA *et al.*, 2014).

O GR apresenta-se como uma grande necessidade de ser reconhecido pelos setores responsáveis da construção civil como algo irrefutável e que não deve ser negligenciado. Com isso, empresas almejam gerenciar seus projetos e suas reservas de

contingência através de análises confiáveis e embasadas cientificamente (DIAB; VARMA; PANTHI, 2017).

De acordo com Simister (2012), os processos de GR são amplamente estudados em instituições públicas e privadas, porém sem um padrão unificado dos processos e conceitos, evidenciando a necessidade de uma abordagem mais padronizada e profissional. São exemplos de fomentadores do tema: *The Project Management Institute (PMI)*, *The former Office of Government Commerce (OCG)*, *The International Organization for Standardization (ISO)*, *The Institute of Risk Management (IRM)*, entre outros (JIA *et al.*, 2013).

A abordagem sobre gestão de riscos é utilizada de maneira variada no setor de construção. Independentemente, das formas de contratação estão presentes em obras públicas (ARAÚJO, 2012) e em obras de Parceria Pública e Privada (PPP) (KE; WANG; CHAN, 2012). Também não existe distinção quanto ao tamanho das obras para justificar a utilização dos processos de gestão de riscos, trabalhos abordam o tema tanto em pequenas e médias firmas (MARCELINO-SÁDABA *et al.*, 2014; ZHAO; HWANG; PHNG, 2014), como em projetos da construção pesada (ALARCÓN *et al.*, 2011; IDRUS; FADHIL NURUDDIN; ROHMAN, 2011; JIA *et al.*, 2013). As obras de construção pesada são "obras basicamente de infraestrutura, tais como aeroportos, portos, rodovias, obras de saneamento, usinas hidrelétricas e nucleares, obras de arte, dentre outras" (ASSUMPÇÃO *apud* YASBEK, 2005, p. 30),

Uma grande necessidade do GR é a de análises cada vez menos subjetivas e relacionadas apenas com a experiência dos Gestores. Os gestores dos projetos deveriam saber, de maneira mais confiável, a probabilidade do cronograma e do orçamento ultrapassar o estimado, de maneira a tomarem melhores decisões gerenciais e corretivas. Desta maneira, uma distinta necessidade tem crescido para desenvolver métodos quantitativos para a avaliação da probabilidade de uma construção extrapolar o seu tempo e os seus custos (LUU *et al.*, 2009; SADEGHI; FAYEK; PEDRYCZ, 2010).

## **1.2 Objetivo geral**

O objetivo desta dissertação é propor um modelo de estimativa dos custos e do tempo, bem como, conjecturar os riscos, que levam aos atrasos dos cronogramas e à extrapolação do orçamento de obras de grande porte.

O trabalho conta com os seguintes objetivos específicos:

- ✓ Propor uma adequada organização do orçamento e do cronograma do projeto;
- ✓ Propor um método para identificação e hierarquização dos principais riscos;
- ✓ Identificar as distribuições probabilísticas que melhor representam o comportamento das variáveis contínuas e discretas de entrada;
- ✓ Simular com assistência de software computacional o orçamento e o cronograma com os riscos potenciais identificados;
- ✓ Determinar reservas de contingências para o projeto;
- ✓ Realizar a análise de sensibilidade da análise de riscos.

### **1.3 Estrutura da Dissertação**

Este trabalho é composto por quatro capítulos. Neste primeiro capítulo é apresentada a introdução sobre o tema desenvolvido, definindo o problema que motivou a sua realização, bem como a justificativa para a sua elaboração e os objetivos que se desejou atingir. No capítulo seguinte, apresenta-se a revisão bibliográfica sobre o GR na construção civil, focando nos assuntos relacionados a esse trabalho.

No capítulo três é apresentado a metodologia, que delimitará a pesquisa e os processos metodológicos para a elaboração do modelo e a obtenção dos resultados. O capítulo quatro apresentará os resultados obtidos com a execução do modelo, a partir dos dados coletados com os especialistas envolvidos nessa pesquisa. Nesse capítulo também estarão as discussões a respeito do tema e dos resultados.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A revisão bibliográfica foi dividida em três partes principais: gerenciamento de projetos com enfoque processos de estimação do custo e dos tempos na construção civil; Gerenciamento de Riscos; e revisão do método de Simulação de Monte Carlo.

A primeira parte apresentará as áreas e processos do Gerenciamento de Projetos importantes para o desenvolvimento desse trabalho, com uma descrição dos conceitos de projetos, estimativas de custo e de tempo.

Em seguida serão abordados conceitos relacionados ao Gerenciamento de Riscos, conceituando incertezas e riscos em projetos, de maneira a introduzir os tópicos sobre GR, que serão compostos pelos tópicos, identificação dos riscos, técnicas de análise dos riscos, modelos de avaliação dos riscos e o GR na construção civil. Essa divisão foi feita com o intuito de se observar o envolvimento desses tópicos no planejamento dos projetos de construção civil.

Por fim, foi feita a revisão sobre Simulação de Monte Carlo, abordando seus usos e as distribuições de probabilidades que descrevem o comportamento de variáveis aleatória.

### **2.1 Gerenciamento de projetos**

As dificuldades impostas pelo mercado, as mudanças das necessidades dos negócios, a não entrega do que foi prometido, falhas nas escolhas das prioridades, orçamentos extrapolados, atrasos nas entregas dos pacotes de trabalho, recursos limitados, escopos mal definidos são alguns dos problemas mais comuns enfrentados pelas empresas de diversos setores na condução dos seus projetos (RABECHINI JUNIOR; CARVALHO, 2013).

O Gerenciamento de Projetos surge como um conjunto de técnicas, métodos, processos e ferramentas capazes de amenizar as dificuldades impostas em projetos de alta complexidade, com o intuito de alavancar as capacidades dos gestores em obter os objetivos expostos em seus planos estratégicos. Essa forma de gestão é considerada o centro das atividades da maioria das organizações, que estão investindo bastante recursos em todos os seus setores (SAUSER; REILLY; SHENHAR, 2009).

Os projetos são definidos como esforços temporários empreendidos para a criação de produtos, serviços ou algum resultado. Sendo assim é indispensável que um projeto tenha um início e fim bem definidos e que esteja envolvido com a criação de algo inédito, por exemplo (PMI, 2017):

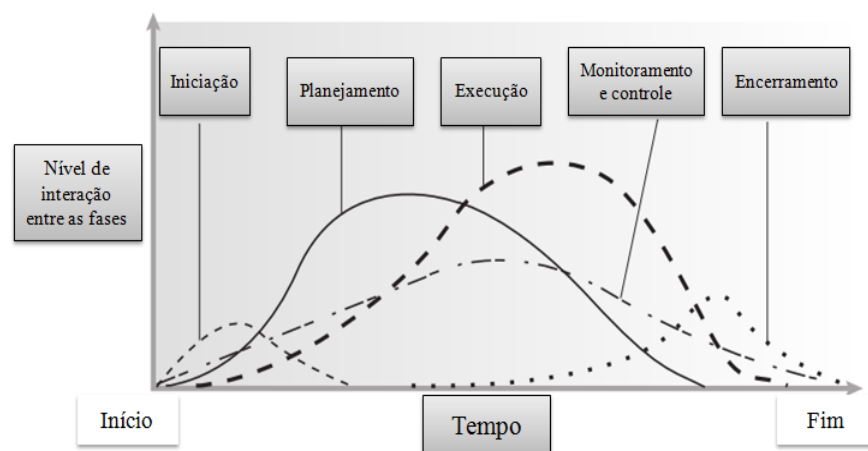
- Desenvolvimento de um novo projeto, serviço ou resultado;
- Uma mudança na estrutura, nos processos, corpo gestor, ou estilo da organização;
- Condução de uma pesquisa, a qual o resultado será habilmente aplicado;
- Construção de novos empreendimentos, plantas industriais ou infraestrutura;
- Implementação, ou melhorias em processos e procedimentos existentes.

Os projetos ocorrem em qualquer ambiente, e em todas as áreas do conhecimento, por exemplo, para o setor de construção civil a NBR 5670 (ABNT, 1997) conceitua projetos como uma definição quantitativa e qualitativa dos atributos técnicos, econômicos e financeiros de um serviço, ou obra de engenharia, fundamentada em uma base de dados, estudos, informações, discriminações técnicas, normas e outros.

Um dos elementos que melhor caracterizam um projeto é seu caráter temporário. A consequência dessa peculiaridade é o desdobramento das atividades inerentes a um projeto dentro de um espaço finito de tempo, denominado de Ciclo de Vida (PMI, 2017).

O Ciclo de Vida de um projeto inclui 5 etapas do processo de gerenciamento, são elas, iniciação, planejamento, execução, monitoramento e controle e encerramento. É relevante informar que as etapas não ocorrem isoladas e sem interação, mas sim em um complexo sobre sobreposição das etapas, como por exemplo, os comuns processos de planejamento, durante a execução de uma obra. A Figura 1 representa bem a linha temporal das fases do ciclo de vida entre os projetos e suas corriqueiras sobreposições (ZAVADSKAS; TURSKIS; TAMOŠAITIENE, 2010).

Figura 1- Cinco fases do ciclo de vida de um projeto e suas interações



Fonte: Adaptado de PMI (2013), p. 51.

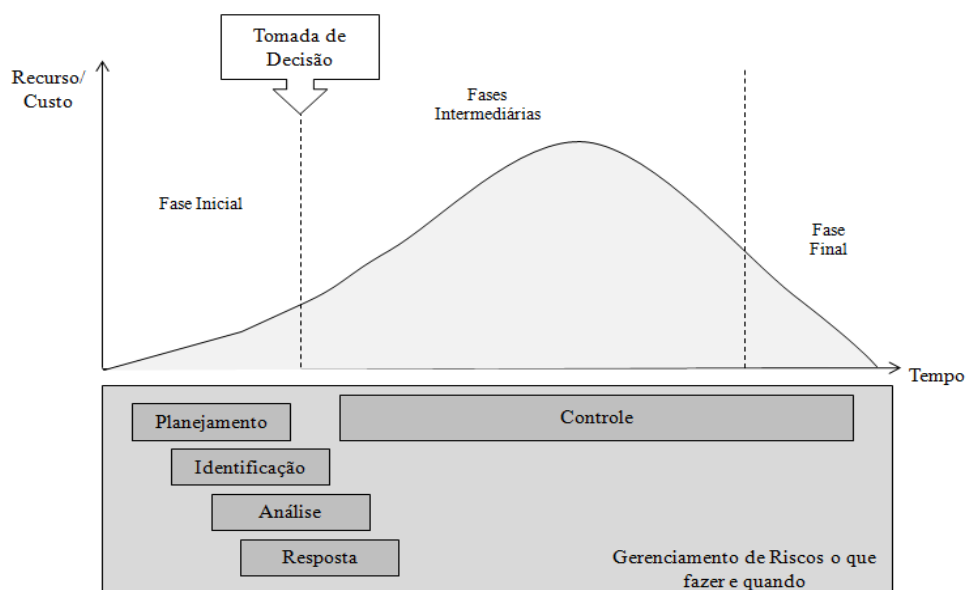
A maioria dos projetos não conseguem cumprir os objetivos de cronograma e de

orçamentos, falhando no alcance da satisfação ao cliente e nas expectativas das empresas. Vale ressaltar, que o sucesso de um projeto é mais do que um assertivo cronograma e orçamento, envolvendo também fatores adicionais em outras dimensões como os resultados esperados pelo negócio e preparação para o futuro. Independente apenas do fator sucesso muitos pesquisadores buscam investigar quais as principais razões para as falhas dos projetos (SAUSER; REILLY; SHENHAR, 2009).

Um projeto é composto por inúmeras variáveis que possuem incertezas intrínsecas à sua natureza, principalmente nas etapas iniciais, se essas pudessem ser identificadas e bem caracterizadas antecipadamente, então seria possível uma melhor estimativa dos custos, tempos e riscos de um projeto. Contudo as variáveis de um projeto nem sempre estão bem definidas e identificadas no início, sendo as suas probabilidades de ocorrência também variáveis dependentes do transcorrer do projeto (JAAFARI, 2001).

Quando os projetos estão inseridos em um ambiente estável, as incertezas tendem a diminuir durante o seu avançar, sendo alta nas etapas de concepção e reduzindo nas próximas etapas, decorrente de um planejamento proativo e de decisões coerentes. Pelo contrário, em ambientes instáveis, as incertezas não necessariamente diminuirão ao longo do tempo, o que pode ocasionar custos elevados em caso de erros de produção. Portanto é necessário um contínuo esforço de análise das variáveis, almejando sempre reavaliação do status do objetivo e reformulando as estratégias do projeto (JAAFARI, 2001).

Figura 2 - Momento de iniciar o GR.



Fonte: Joia (2015).

Como apresentado pela Figura 2, o GR desde o seu primeiro processo, deve ser

iniciado na etapa de concepção do projeto, a qual conduzirá as estimativas necessárias para o bom planejamento e execução do serviço ou produto. Até como meio de tomada de decisão final, para saber se o projeto deve seguir em frente ou não (JOIA, 2015).

O tema de gerenciamento de projeto apresenta uma relação estreita e conjugada com as fases de gerenciamento de custo e de tempo. Dessa maneira, é imprescindível para uma boa gestão o conhecimento dos processos de estimação e análise dessas etapas.

### ***2.1.1. Gerenciamento dos custos***

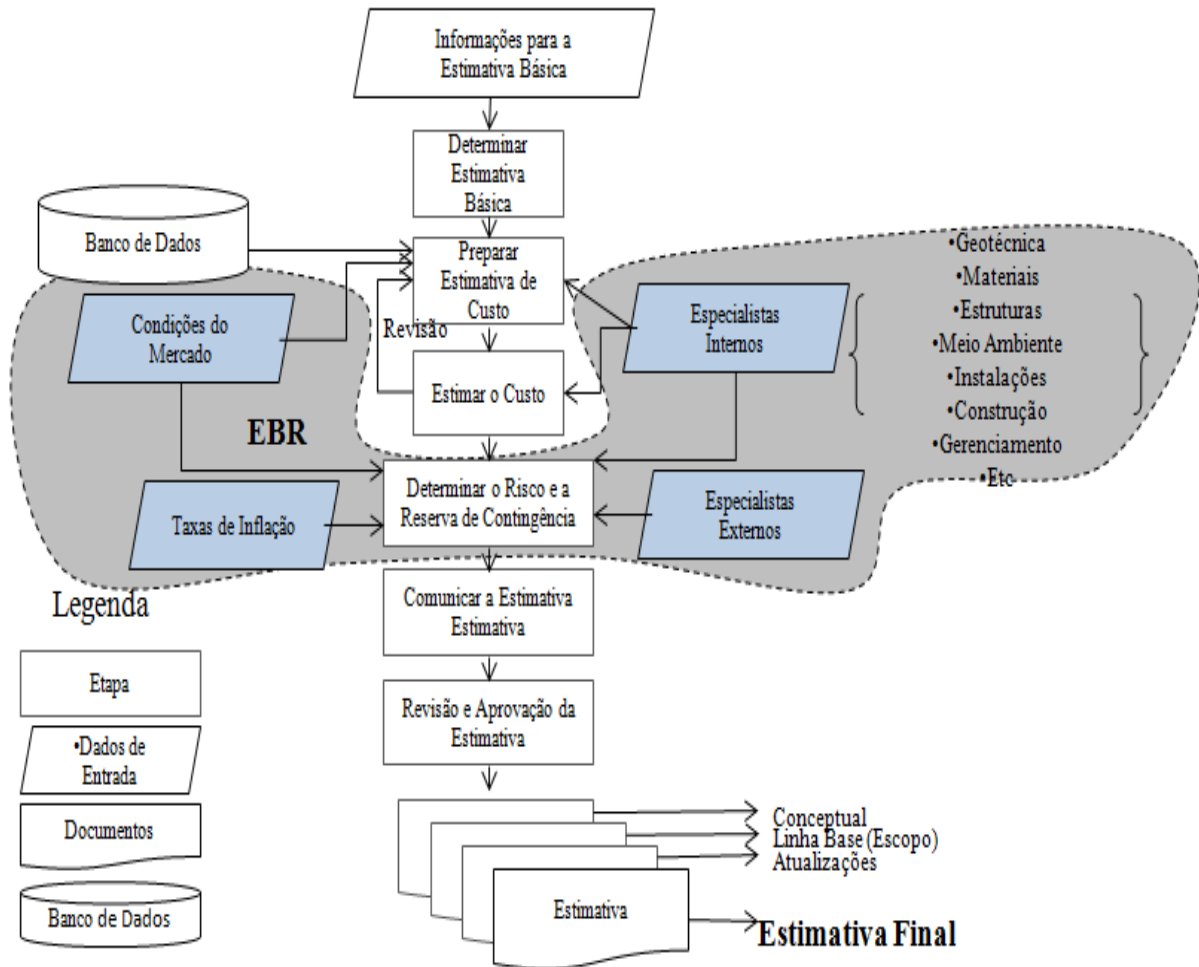
O gerenciamento de custos é composto por diversos processos em caráter cíclico: estimativa, medição, apropriação, controle e monitoramento. Refere-se a uma atividade técnica conferida ao gestor no planejamento e execução de um empreendimento, com o intuito, também, de sinalizar os desvios ao longo de todas as etapas, corroborando com a melhor tomada de decisão (MOREIRA, 2016).

O processo de estimativa de custo se apresenta crucial para que se obtenha o sucesso de um projeto. O Custo Base de um projeto é definido como o custo ao qual será esperado em caso da perfeita materialização do planejado. Algumas características do custo de um projeto é que ele deve ser imparcial e neutro, ou seja, não seja otimista demais ou conservador demais. Uma das principais preocupações nas estimativas de um custo base é a verificação das incertezas impostas pelo projeto, que podem levar a falhas irreparáveis. (CRETU; STEWART; BERENDS, 2011).

Conforme Cretu, Stewart e Berends (2011) são quatro os tipos de estimativas, são elas: paramétrica, análise histórica, baseada nos custos ou baseada nos riscos (ECB-R). Cada categoria abrange inúmeras ferramentas e técnicas para auxiliar o estimador na elaboração de estimativas de custo. As metodologias também podem ser utilizadas em combinação, dessa forma, é capaz de aumentar a sua eficiência e exatidão. Não existem processos que não se beneficiem ao seguirem um processo cuidadoso e deliberado no desenvolvimento do custo do projeto.

A Figura 3 apresenta um modelo, o qual as empresas podem usar para o desenvolvimento das estimativas de custo do projeto. Cada processo requer diferentes dados de entradas (*inputs*), métodos, técnicas e ferramentas. Uma importante informação é que os processos são escalonáveis dependendo do nível de estimativa que se pretende encontrar (CRETU; STEWART; BERENDS, 2011).

Figura 3- Processos para estimativa dos custos



Fonte: Adaptado de Cretu, Stewart e Berends (2011), p. 15.

O fluxograma apresenta os processos necessários para a estimativa dos custos de um projeto de construção civil complementado das informações necessárias para a identificação e análise dos potenciais riscos, que alimentam o processo de "Determinação dos Riscos e da Reserva de Contingência", de maneira a melhorar a estimativa através da ECB-R. Cada processo está explicitado a seguir (CRETU; STEWART; BERENDS, 2011):

- a) Determinar a estimativa Básica: essa etapa foca na obtenção das informações do projeto os quais são necessários para a estimativa dos custos do projeto, incluindo o escopo bem definido, os requisitos dos clientes, cronograma, entre outras informações. O nível dos detalhes do escopo variam dependendo da fase do projeto, tipo e complexidade. A estimativa básica deve ser documentada, pois cada etapa seguindo adicionará mais informações a este documento.
- b) Preparar e Estimar o Custo: essas etapas cobrem todo o desenvolvimento da estimativa dos custos dos componentes do projeto. Mais uma vez nessa etapa o



número de detalhe é dependente da fase do projeto. Dados importantes nessa etapa são detalhes do escopo do projeto, dados históricos, outros dados de custos, conhecimento das condições do mercado e o uso de taxas de inflação. Além, da ajuda de especialistas das áreas do projeto.

- c) **Determinação do Risco e da Reserva de Contingência:** essa etapa é provavelmente a mais difícil e controversa. Em estimativas de custo tradicionais é usual utilizar o um valor percentual para representar as incertezas dos processos de projeto e construção. É um processo considerado mais arte do que ciência em si, e totalmente fundamentado na experiência dos gestores. Contingências tipicamente diminuem em projeto maduro e bem gerenciado. A determinação dos riscos sob esta estimativa tradicional abordagem é de natureza grosseira e não calibrada para falar com os riscos individuais, mas sim caracterizar o nível geral de incertezas do projeto.
- d) **Comunicar Estimativa:** A estimativa dos custos deve ser repassada para os stakeholders internos e externo tanto em projetos públicos como privados. Esta etapa foca em determinar quais as informações devem ser repassadas, quem deverá recebê-las e como e quando devem ser comunicadas.
- e) **Revisão e Aprovação da Estimativa:** Estimativas devem ser constantemente revisadas, sempre que uma nova informação pertinente surja, que altere de alguma maneira o projeto. Essa etapa foca na aprovação da estimativa.

Dentre os processos, ressalta-se a etapa denominada "Determinação do Risco e da Reserva de Contingência", que não pode ser confundida com Estimativa Baseada em Risco (EBR). Em uma estimativa convencional todo esse processo de extrema importância é substituído apenas por um valor arbitrado e determinístico. Este custo usualmente é realizado de forma totalmente empírica e considerado um valor estático no orçamento, sendo utilizada uma taxa de 5 a 10% sobre os custos de execução de projetos passados semelhantes. Porém, é sabido que nem em todos os casos existem projetos semelhantes ou informações explícitas de fácil acesso, corroborando para demonstrar que esse método não possui uma base sólida, sendo difícil defendê-lo ou justificá-lo (ALARCÓN *et al.*, 2011; IDRUS; FADHIL NURUDDIN; ROHMAN, 2011).

A ECB-R é basicamente a inserção de processos GR nas etapas de gestão dos custos de um projeto, se for bem conduzida pode gerar economias consideráveis aos investidores (CHANG; KO, 2017). É uma forma de estimativa que ganha adeptos e vem trazendo benefícios e exatidão em diversos orçamentos ao redor do mundo, como exemplo, o

projeto de Expansão do Canal do Panamá, que utilizou tal metodologia com sucesso para a determinação das contingências do projeto de custo e tempo (ALARCÓN *et al.*, 2011), a estimativa do custo de um projeto de viaduto em rodovia (SADEGHI; FAYEK; PEDRYCZ, 2010), as estimativas de contingências em projetos de infraestrutura na Malásia (IDRUS; FADHIL NURUDDIN; ROHMAN, 2011), entre outros.

As contingências de um projeto estão usualmente atreladas ao orçamento e ao cronograma, sendo neste a alocação do *buffer* no fim do projeto. Em aspectos práticos de investimentos contingências tem os seguintes significados (TURSKIS; GAJZLER; DZIADOSZ, 2012):

- a) Contingência de período significa a extensão do tempo do projeto, o qual o contratante deveria aceitar em um nível assumido de risco;
- b) Contingência de valor significa a quantidade de dinheiro que o contratante deveria ter guardado como uma forma de garantia em vista da implementação do projeto, supondo um certo nível de risco.

Trabalhos estimaram a reserva de contingência a partir de modelos de análise de riscos, comparando os valores encontrados em simulação com os valores reais executados pelo projeto. Nessa comparação o modelo de gestão de riscos se apresentou viável, sendo três projetos comparados e o valor máximo de erro entre as reservas de contingências encontradas e os reais foi de 20%, segundo os autores Idrus, Nuruddin e Rohman (2011) um erro de  $\pm 20\%$  é considerável aceitável para validar o modelo e considerá-lo replicável e eficaz.

O processo de estimativa de custos deve ser executado de forma acurada e eficiente, pois muitos são os fatores que causam falhas e furos aos orçamentos, os fatores que mais afetam a exatidão são as capacidades financeiras do cliente, a complexidade do projeto, a falta de definição clara do escopo e as restrições encontradas no ambiente de trabalho. (HATAMLEH; HIYASSAT, 2018). Dentre os fatores não pode ser negligenciado os problemas políticos, que levam a casos de corrupção em grandes obras públicas, alavancando mais os problemas financeiros do cliente e dos contratados (MOUSAZADE; MAHMOUDABADI, 2017).

### 2.1.2 Gerenciamento de tempo

Os processos de gerenciamento de tempo são essenciais para o sucesso da execução de um projeto, sendo a elaboração do cronograma uma atividade de grande importância, sem ele é muito difícil coordenar as diversas atividades encontradas em um projeto de construção (LUU *et al.*, 2009).

Cretu, Stewart e Berends (2011) asseveram a estimativa do tempo de uma construção ou simplesmente cronograma é um plano de trabalho a ser realizado, mostrando ordenadamente as tarefas as quais devem ser executadas e a quantidade de tempo necessário para a realização de cada uma. Os autores enfatizam que não é possível ter uma estimativa completa do projeto sem uma estimativa de custo e de tempo. Sendo ambas mutuamente dependentes, principalmente quando considerado o valor do dinheiro no tempo.

A maioria dos cronogramas são desenvolvidos de maneira determinística. No entanto, os cronogramas são repletos de incertezas e riscos, os quais são inerentes às atividades da construção. Como resultado, atrasos no cronograma apesar de ter importante papel no insucesso e causar consideráveis perdas às partes integrantes dos projetos é algo muito comum. Sendo assim, é importante quantificar probabilidades de atrasos no cronograma enquanto se gerencia projetos de construção (NASIR; MCCABE; HARTONO, 2003).

Nasir, McCabe e Hartono (2003) desenvolveram um modelo com o objetivo de estimar as durações pessimistas e otimistas das atividades a partir da simulação de Monte Carlo. Esse modelo foi considerado pelos autores o primeiro a considerar a relação entre as variáveis. Em poucas horas foi possível simular as durações dos projetos de 17 estudos de caso. Os resultados foram consistentes e similares às semanas de trabalho dos integrantes do projeto para estimar as durações das atividades.

O setor da construção apresenta diversos problemas atrelados a atrasos nos processos construtivos, esses fatores se enfrentados durante o período de construção impedem o fluxo sistemático do trabalho, ocorrendo anomalias temporais no cronograma (KAZAZ; ULUBEYLI; TUNCBILEKLI, 2012).

Os atrasos nos projetos são de maiores ocorrências devido aos fatores financeiros do responsável pela obra e as dificuldades incorridas pelas políticas e regulamentações das obras, isso leva a necessidade de um fortalecimento nos contratos entre empreiteiros e órgãos públicos (VU *et al.*, 2017).

Kazaz, Ulubeyli e Tuncbilekli (2012) tiveram o cuidado de verificar em escala

mundial (17 países) as causas inerentes à construção que levam ao atraso dos serviços, em sequência de maior importância: mudanças de projeto e materiais, atraso de pagamentos, problemas de fluxo de caixa, problemas financeiros no contrato e baixa produtividade. Os fatores decorrentes de falhas nos projetos e na gestão financeira são muito impactantes para o atraso dos empreendimentos.

Luu *et al* (2009) ratifica esses fatores em seu trabalho, apontando como as principais causas de atrasos nas construções: as dificuldades financeiras do proprietário do projeto, falta de experiência dos empreiteiros, escassez de materiais, demorada liberação do local da obra para início dos serviços e atrasos nos pagamentos. Incluindo os problemas gerenciais como potenciais causadores de atrasos nas obras.

## **2.2 Riscos em projetos**

A gestão de riscos é no contexto de um projeto uma sistemática e abrangente forma de identificar, analisar e responder aos riscos de maneira que se consiga atingir os objetivos da organização (PMI, 2013).

No Brasil o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) desenvolve uma metodologia de GR para o setor de construção de rodovias que tem o objetivo de identificar, quantificar e avaliar os riscos (NEVES; RODRIGUES; PORTO, 2013).

Em novembro de 2009, a organização responsável mundialmente em promover a normalização de produtos e serviços, *The Organization for Standardization* (ISO) publicou a ISO 31000:2009-Gerenciamento de Riscos: Princípios e Orientações, com o objetivo de criar uma padronização para o GR e que os conceitos sejam gradualmente propagados, entre membros de companhias, políticos e administradores em geral. No ano de 2018 a norma apresentou uma atualização das diretrizes apresentadas na versão anterior.

Segundo Leitch (2010), em sua avaliação da norma, ele cita que o significado pretendido do texto é bastante abstrato e difícil de definir. As palavras e frases são também vagas, com significados diferentes daqueles da linguagem comum e as definições expressas são de pouca ajuda. Outras conclusões são que a norma se torna difícil de ser cumprida e não é matematicamente embasada, tendo muito pouco a dizer sobre probabilidade, dados e modelos.

A norma corrobora com a necessidade de avanços em pesquisa no assunto e criação de modelos cada vez mais úteis e universais sobre o assunto, capazes de resolver um dos

principais problemas que é falta de processos padronizados de GR (ZOU; CHEN; CHAN, 2010), e que abordem os problemas da gestão de riscos com maior robustez tanto qualitativa como quantitativamente, com o auxílio de dados históricos e/ou análises probabilísticas (LEITCH, 2010).

É importante o entendimento dos onze princípios expostos pela ISO 31000, os quais segundo a norma se forem alcançados e obedecidos, levará a uma efetivo gerenciamento de riscos que é (OLECHOWSKI *et al.*, 2016):

- Criador de valor;
- Parte integrante dos processos organizacionais;
- Parte da tomada de decisão;
- Explicitamente alocador de incertezas;
- Sistematizado e norteador;
- Fundamentado nas melhores informações;
- É personalizável
- Considerado fatores humanos e culturais;
- É transparente e inclusivo;
- Dinâmico, interativo e adaptável a mudanças;
- Facilitador das melhorias contínuas.

### ***2.2.1 Conceituação de risco***

A definição de risco apresenta uma vasta variação na literatura, sendo considerada a ideal aquela que de forma mais simplista e clara, retrate a sua utilização em um delimitado problema (SANSON *et al.*, 2008). Outras definições encontradas na literatura são as dos institutos Project Management Institute (PMI) para o qual "Risco é um evento incerto ou condição incerta que caso ocorra, terá um efeito positivo ou negativo no objetivo do projeto" (PMI, 2013 p. 310) e da *International Organization for Standardization (ISO)* em sua norma ISO 31000:2009 que define o risco como o efeito da incerteza nos objetivos, sendo um efeito o desvio do esperado, positivo ou negativo.

De acordo com Olsson (2007) tenta-se relacionar o risco com a incerteza, fundamentado na distinção entre incerteza aleatória e epistêmica, no seguinte dístico:

- Risco é incerteza mensurável;
- Incerteza é risco imensurável.

A incerteza está relacionada com a probabilidade de se alcançar o valor alvo do planejamento. Uma incerteza cria um risco, e sua extensão dependerá do nível de incerteza e da sua consequência para o projeto. Quando um evento possui 100% de probabilidade de ocorrência, sua incerteza se transforma em certeza, ou seja, qualquer evento que possua uma probabilidade entre 0% e 99% de ocorrência é considerado uma incerteza ao projeto e em caso de transferência de consequências, será definido como risco (JAAFARI, 2001)

Alessandri *et al* (2004) dizem que gestores financeiros por décadas vêm discutindo a diferença terminológica entre risco e incerteza. Segundo Agerberg (2012) existem hoje duas diferentes abordagens, sendo a primeira que a incerteza é equivalente ao risco e outra que ambos são completamente diferentes em conceitos. Apesar das diferenças de opinião, a maioria das partes interessadas concorda que risco é diferente das incertezas, porém apresentam sim uma representativa relação (PERMINOVA; GUSTAFSSON; WIKSTRÖM, 2008). E também concordam, entre si, sobre a importante relação desses termos com a área de gestão de projetos, considerando que a gestão de riscos pode tratar de ambos simultaneamente (SAMSON *et al*, 2008).

Senso assim, Ward e Chapman (2003) apresentam seu estudo focado em diferenciar a gestão dos termos, sendo o GR apresentado com seus processos orientados apenas para as ameaças de um projeto, esquecendo-se das possíveis oportunidades. Assim, limitando a sua contribuição ao melhor desempenho do projeto.

Algumas definições apresentam maior amplitude do que realmente o risco é, em um projeto, que são aquelas que apresentam o risco em referência a oportunidades ou ameaças, plausíveis de trazer resultados positivos ou negativos a algo (WINCH, 2010).

A incerteza é a falta de certeza relacionada à variabilidade em relação às medidas de desempenho como custos, duração ou qualidade. Está associada também com a ambiguidade, ou seja, a falta de clareza devido ao comportamento de todos os envolvidos, a falta de dados, falta de detalhes, falta de uma estrutura para considerar problemas, entre outros (WARD; CHAPMAN, 2003).

O Risco é um evento mensurável, a partir de dois valores: a sua probabilidade de ocorrência e o impacto da sua ocorrência. Definir a probabilidade de ocorrência é considerada a parte mais difícil dos processo de avaliação dos riscos e, com certeza, a mais influenciada pela experiência dos engenheiros orçamentistas, projetistas e de execução (CRETU; STEWART; BERENDS, 2011).

A maioria dos conceitos encontrados na literatura explica o risco como um evento que ocorre com certa probabilidade em combinação com uma consequência em caso de ocorrência (AGERBERG, 2012). A Equação 1 é uma forma simplificada de formular o risco, definido como (McNEIL *et al*, 2015):

$$\text{Risco (R)} = \text{Probabilidade de ocorrência do risco (P)} \times \text{Impacto (I)} \quad (1)$$

Na prática, a probabilidade de um evento pode ser estimada de acordo com a frequência que o evento ocorre em um determinado número de experimentos. Contudo se o número de experimentos não é grande o suficiente para ser representativo, e mais experimentos não possam ser executados, não é possível ter com exatidão probabilidade de um evento. Nessas circunstâncias, devem ser procurados especialistas capazes de fornecer tais informações, porém é convencional a substituição do conhecimento desses especialistas por métodos quantitativos embasados por distribuições probabilísticas (SADEGHI; FAYEK; PEDRYCZ, 2010).

Inicialmente, para facilitar o processo de determinação da probabilidade de ocorrência de um risco, Cretu, Fayek e Pedrycz (2010) recomendam a utilização das seguintes escalas: muito baixa (5%), baixa (25%), média (50%), alta (75%) e muito alta (95%). Essa escala é apenas utilizada como guia. No processo de elicitação qualquer valor é aceitável, contudo que não seja nem 0, pois nesse caso o risco nunca ocorreria, ou 100%, nesse caso a incerteza, torna-se uma certeza, não mais configurando um risco ao projeto. (JAAFARI, 2001). Convém afirmar que em casos que quando não se há nenhuma ideia de qual probabilidade utilizar, o valor de 50% pode ser apropriado (CRETU; STEWART; BERENDS, 2011).

### **2.2.2 Gerenciamento de Riscos**

O sucesso de um projeto é dependente da combinação dos riscos, das estratégias de respostas utilizadas para mitigar ou eliminar os riscos e a habilidade da empresa em gerenciá-los (DIKMEN *et al.*, 2008). Então pode-se dizer que uma definição sucinta de GR é gerenciar efetivamente os riscos (KARIMIAZARI *et al.*, 2011). A gestão dos riscos apresenta diversas vantagens aos projetos, como a (BANNERMAN, 2008):

- a) Identificação de cursos alternativos favoráveis de ação;
- b) Maior confiança em alcançar os objetivos de um projeto;

- c) Maiores chances de sucesso;
- d) Surpresas reduzidas;
- e) Estimativas mais precisas (por meio da redução das incertezas);
- f) Redução dos esforços da equipe de trabalho.

O GR é um conjunto de processos com o intuito de: identificar as fontes das incertezas, estimar as consequências de eventos incertos, gerar respostas estratégicas capazes de facilitar o alcance dos objetivos e quando munido de informações dos processos anteriores tomarem decisões em todas as etapas do ciclo de vida de um projeto. (ZAVADSKAS; TURSKIS; TAMOŠAITIENE, 2010).

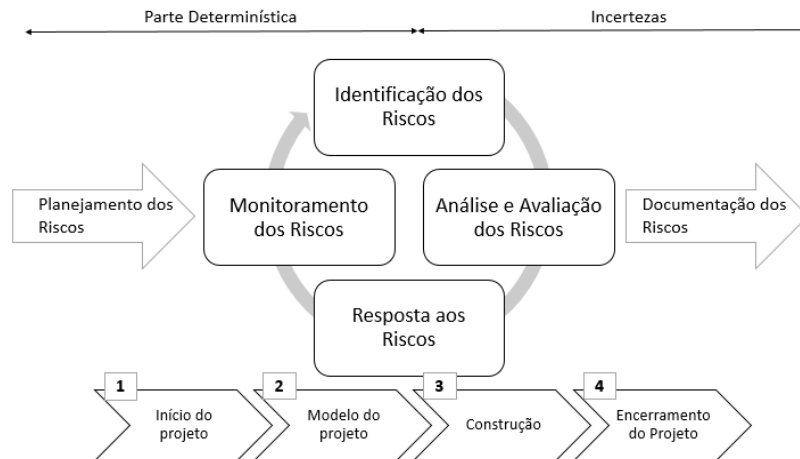
O GR é uma realidade no mercado e sua implementação é considerada bem embasada por gestores no mundo todo. Porém existem linhas críticas, que abordam que apesar da grande variedade e acessibilidade de ferramentas e técnicas, o GR é inadequado e não alcança o seu principal objetivo que é trazer certeza aos eventos incertos de um projeto, de maneira que as ameaças sejam minimizadas e a oportunidades maximizadas (OSIPOVA; ERIKSSON, 2013; TANG *et al.*, 2007).

Os principais processos são: o planejamento do Gerenciamento de Riscos, a identificação dos riscos, análise e avaliação dos riscos, respostas ao risco, monitoramento dos riscos e documentação dos riscos. Uma característica da gestão dos riscos é que os processos podem trabalhar de maneira separadas, demonstrando que existe um grau de maturidade dependendo da necessidade da instituição que o emprega. Porém a utilização em sua totalidade, sistematiza a gestão dos riscos do projeto (Figura 4), o que acaba por caracterizar uma análise mais robusta (JIA *et al.*, 2013).

A Figura 4 representa os seis processos e suas relações. Dentre todos esses processos o planejamento do GR é o ponto de partida para todos os seus processos. É normalmente útil regular e promover quatro processos sucessivos que são definidos como o núcleo do ciclo, de maneira a orientar sempre o auto aperfeiçoamento em todo o fluxo das etapas do ciclo de vida do projeto (JIA *et al.*, 2013).



Figura 4- Ciclo dos processos de GR



Fonte: Adaptado de JIA *et al.* (2013) v. 34, p 57.

A seguir estão representados a conceituação dos processos do risco em projetos, que formalizam a visão geral do conteúdo da gestão de riscos, são eles (PMI, 2013):

- a) Planejar o GR: é o processo de definição de como conduzir as atividades de um gerenciamento dos riscos de um projeto. O seu principal benefício é garantir que o grau, o tipo e a visibilidade do GR sejam proporcionais tanto aos riscos quanto à importância do projeto para a organização;
- b) Identificar os riscos: é o processo de determinar os riscos que podem afetar o projeto. Possui como principal benefício é a documentação dos riscos existentes, o que gera um arquivamento das lições aprendidas, colaborando para a linha de aprendizado em um projeto, aumentando assim a capacidade da equipe antecipar eventos;
- c) Realizar a análise qualitativa dos riscos: nesse processo é feita a priorização dos riscos para análise ou ação adicional através da avaliação e combinação da probabilidade de ocorrência pelo impacto. Nessa etapa os gerentes de projetos se habilitam a reduzir o nível de incerteza e focar os riscos de alta prioridade;
- d) Realizar a análise quantitativa dos riscos: é o processo de analisar numericamente o efeito dos riscos identificados nos objetivos gerais. Produzindo assim informações quantitativas dos riscos para respaldar a tomada de decisão;
- e) Planejar as respostas aos riscos: é o processo de desenvolvimento das opções e ações para aumentar as oportunidades e reduzir as ameaças aos objetivos do projeto. O principal objetivo deste processo é abordar os riscos por prioridade,

inserindo recursos e atividades no orçamento, cronograma conforme as necessidades;

- f) Controlar os riscos: aqui se implementa o plano de respostas dos riscos, acompanhando os riscos identificados, monitorando os riscos residuais, identificando novos riscos e avaliação da eficácia do processo de riscos durante todo o projeto. O intuito desse processo é a melhoria do grau de eficiência da abordagem dos riscos no decorrer de todo o ciclo de vida do projeto com a finalidade de otimizar continuamente as respostas aos riscos.

Um fator importante a ser considerado é que as pessoas diferem em percepção e avaliação dos processos. Sendo de extrema importância para os proponentes de um novo projeto entenderem, antes até das análises de viabilidade, como os indivíduos que estarão envolvidos nos processos irão perceber o nível de risco proposto pelo projeto. Considerando que as diferenças culturais entre áreas e países também devem ser analisadas durante os processos do GR (DE CAMPRIEU; DESBIENS; FEIXUE, 2007), assim como existe diferença na percepção do risco entre os diferentes participantes do projeto, como o próprio cliente, empreiteiro, superintendente, projetista, gerente de projetos e planejador (TANG *et al.*, 2007).

### **2.2.3 Identificação dos Riscos**

Se um risco não é identificado ele não pode ser controlado, transferido ou gerenciado, e eliminar todos os riscos de um projeto é uma tarefa impossível (BAJAJ; OLUWOYE; LENARD, 1997). Portanto, existe uma necessidade de processos formais de GR para gerenciar os diversos tipos de riscos.

É a primeira e principal fase dos processos de GR. Nessa fase são descritas as condições de competitividade, esclarecimento dos riscos e fatores de incerteza, reconhecimentos das fontes de risco e as consequências de eventos incertos (ZAVADSKAS; TURSKIS; TAMOŠAITIENE, 2010).

A identificação dos riscos determina quais riscos podem ou não afetar o projeto e o registro das suas características, é considerado um processo interativo, pois novos riscos podem ser encontrados ao longo do decorrer do projeto (MOJTAHEDI; MOUSAVI; MAKUI, 2010).

Riscos surgem de diferentes fontes: *stakeholders*, equipes, locais de trabalho e etc. Condições políticas, econômicas, climáticas e sociais contribuem para o grande número de

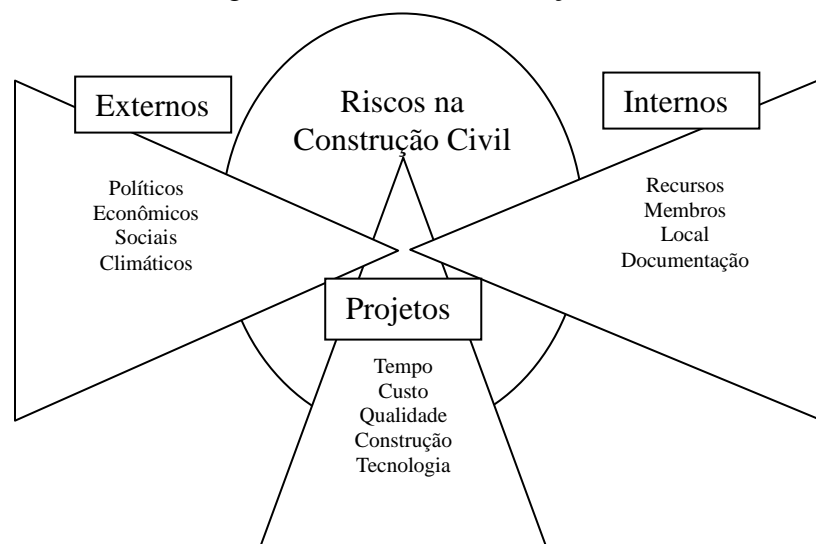
riscos possíveis de ocorrer em um projeto. Na construção civil os principais efeitos dos riscos estão no tempo e nos custos (ZAVADSKAS; TURSKIS; TAMOŠAITIENE, 2010).

Uma causa pode ser um requisito, premissa, restrição ou condição potencial que crie a possibilidade de efeitos negativos ou positivos. As causas geradoras de riscos podem ser em decorrência da cultura nacional, como apresentado no trabalho de (LIU; MENG; FELLOWS, 2015). Nos projetos de construção, os riscos estão bastante atrelados aos atrasos nas atividades que ocasionam falhas no cronograma e elevados custos, sendo principais causas para esses efeitos onerosos, a falta de planejamentos dos serviços, a contratação de terceirizados com baixas avaliações, além dos problemas de aquisição de materiais e gestão da mão de obra (GONZÁLEZ; GONZÁLEZ, 2014).

Choudhry e Iqbal (2013) ratificam que para a identificação dos riscos, as técnicas de consultar especialistas, check-lists, *brainstormings* e a obtenção de dados históricos ganham maior notoriedade por apresentar comprovada eficácia nos processos de gerenciamento de projeto.

De uma forma mais simples os riscos de um projeto de construção podem ser divididos em três principais grupos representados pela Figura 5:

Figura 5: Riscos na construção.



Fonte: Adaptado de Zavadskas, Turkis e Tamosaitiene (2010), v. 16 p.34.

Os riscos externos de um projeto são aqueles que os gestores não possuem controle porém se possível devem se manter informados, ou seja estão além do controle da equipe de gestão de projetos, são principalmente (ZAVADSKAS; TURSKIS; TAMOŠAITIENE, 2010):

- a) Políticos: mudanças do sistema Legislativo, regulamentações, políticas e sistemas administrativos inadequados e etc. (LI; LIAO, 2007)
- b) Econômicos: inconsistência da economia de um país, inflação, altas de juros entre outros. Esses riscos são razoavelmente esperados, pois são considerados inerentes à situação da economia no momento de análise.
- c) Sociais: são de grande importância na alocação dos riscos de um projeto. Normalmente, é uma área na qual pressões sociais e políticas tem baixo interesse no projeto, porém tem um grande impacto, influenciando muito o seu resultado.
- d) Climáticos: Exceto por condições anormais é um risco para o contratante assumir, já que seus impactos sobre os métodos de construção podem ser avaliados.

Os internos são os riscos que em caso de conhecimento dos mesmos, devem receber adequado tratamento, podendo ser eliminadas ou mitigadas. Estes riscos podem ser divididos de acordo com quem ou o que é seu causador, como exemplo o setor da construção elenca, como principais, o projetista, contratante, contratado, patrocinador, mão de obra própria e etc. Esses riscos são critérios intrínsecos aos recursos, membros do projeto, que são os: projetistas, empreiteiros, subcontratados, fornecedores. Também ao local de construção e os documentos e informações. (ZAVADSKAS; TURSKIS; TAMOŠAITIENE, 2010).

- Riscos dos recursos: materiais e equipamentos envolvem consideráveis riscos. A disponibilidade e produtividade dos recursos necessários para a execução do projeto são riscos, os quais o empreiteiro deve assumir.
- Riscos dos membros da equipe: referente aos problemas associados às pessoas envolvidas no desenvolvimento do projeto, o que pode ocasionar o crescimento da incerteza dos resultados do projeto, como rotatividade de mão de obra, falta de treinamento de pessoal, insuficiente conhecimento entre os membros, falta de motivação e cooperação, e problemas de comunicação.
  - ✓ Risco dos projetistas: a complexidade dos grandes projetos atribui grande desafio aos projetistas. Manter padrões alto de desempenho é algo bem difícil, e é usual encontrar projetos e especificações em inconformidade com o objetivo do projeto, o que leva a problemas de construção. Assim, falhas de projeto e de construtibilidade estão se tornando mais e mais frequentes.
  - ✓ Risco dos empreiteiros: o responsável principal pela construção está

sujeito aos riscos inerentes à execução e é o responsável imediato para avaliar o nível dos subempreiteiros e os riscos alocados a eles;

- ✓ Riscos dos subempreiteiros: são assumidos pelo empreiteiro normalmente. Apenas em casos especiais, dependendo de situação excepcionais podem ser alocados a outros stakeholders;
- ✓ Riscos dos fornecedores: todos os padrões aos processos de fornecimento de recursos em geral. Atenção à qualidade fornecida, prazos, idoneidade e etc.
- Riscos do local de construção: exposição a acidentes inerentes ao ambiente de trabalho;
- Riscos de documentação e informação: documentos contraditórios, ilegítimos, informações mal repassadas, falhas de comunicação, falta de dados e lições aprendidas.

Finalmente, existem os riscos do projeto são aqueles inerentes aos processos de construção, como tempo, custo, qualidade, métodos construtivos e tecnológicos, elencados a seguir (ZAVADSKAS; TURSKIS; TAMOŠAITIENE, 2010):

- a) Risco de tempo: pode ser determinado pela avaliação do atraso na construção, estimativas de prazos agressivas ou inviáveis;
- b) Risco de custo: orçamentos estimados de forma agressiva e inviáveis;
- c) Risco de qualidade do Projeto: o trabalho fora dos padrões é considerado um fator de risco significativo dessa categoria, pois além de ocasionar atrasos na construção e adicionais custos ao empreiteiro, causa disputas sobre a responsabilidade das falhas;
- d) Risco de construção: são os riscos envolvidos com o atraso da construção, mudanças e a tecnologia construtiva;
- e) Risco de tecnologia: erros de projetos, falta de tecnologia, erros de gerenciamentos, escassez de mão de obra qualificada.

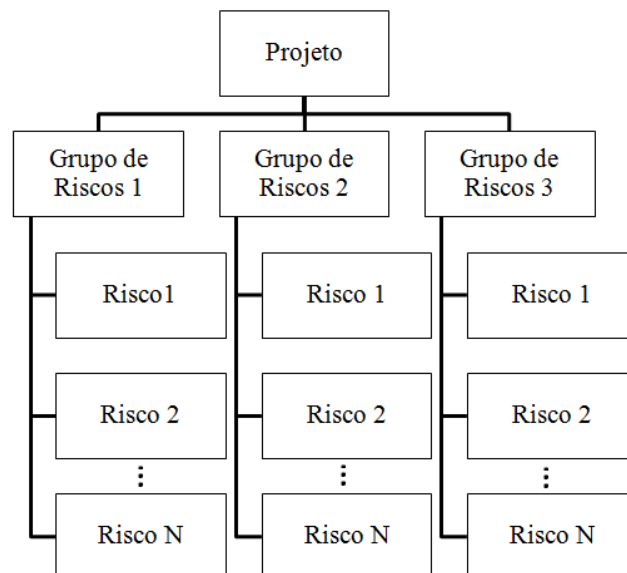
Os riscos, apesar da busca por uma caracterização padronizada (SIMISTER, 2012), usualmente, são identificados de diferentes formas. Nasir, McCabe e Hartono (2003) identificaram 69 riscos, categorizados em ambientais, geotécnicos, mão de obra, proprietário do projeto, design, condições da área, políticos, empreiteiros, fornecedores de serviços e de material. Os riscos eram inerentes à construção de edifícios.

Nesse processo de identificação em conjunto com os processos de avaliação, não devem ficar de fora uma priorização dos riscos potenciais, que possui o objetivo de ranquea-

los, pois seria muito difícil, ou mesmo impossível, desenvolver um plano para lidar com todos os riscos em cada etapa de um projeto. É usual, que essa priorização seja realizada tomando como base o grau da relação probabilidade e impacto do risco (NIETO-MOROTE; RUZ-VILA, 2011).

Para a melhor a visualização e facilidade de manuseio dos riscos identificado, recomenda-se a construção de uma Estrutura Analítica de Riscos (EAR) (Figura 6), a qual é uma ferramenta que fornece um meio para estruturar e organizar aqueles riscos identificados como potenciais, sendo uma representação hierárquica dos riscos de acordo com cada categoria. É uma estrutura baseada no conceito de Estrutura Analítica de Projetos (EAP) (HILLSON, 2003). A EAR é uma poderosa ajuda que fornece um formato comum para a analisar as informações relacionadas ao risco de cada etapa de um projeto. Essa técnica revela os riscos que ocorrem com mais frequência, permitindo que riscos genéricos sejam identificados lembrados para futuras referências, em conjunto com as suas respostas, se tornando um poderoso documento de combate às incertezas de um projeto (MOHAMED, 2016).

Figura 6- Exemplo de EAR.



Fonte: O Autor.

Hillson (2003) elenca algumas utilidades da EAR, como auxílio no processo de *identificação dos riscos*, facilitando agrupar e listas os riscos identificados, pode ser usado na *avaliação dos riscos*, alocando os riscos identificados à sua fonte na estrutura, fornecendo uma visão abrangente da exposição ao risco para cada uma das fontes de risco do projeto.

Assim, podendo comparar a exposição ao risco total com os impactos individuais de cada risco. Além disso, dará também aos tomadores de decisão conhecimento sobre os riscos críticos do projeto. Finalmente, a EAR ainda pode ser utilizado como ferramenta para reportar aos integrantes do projeto e organiza-los a partir das responsabilidades de cada um.

A EAR pode receber diferentes nomenclaturas na literatura, por exemplo, Estrutura de Discriminação de Risco Potencial (EDRP) com o fito de focar os esforços nos riscos potenciais (MOJTAHEDI; MOUSAVI; MAKUI, 2010) ou Estrutura Hierárquica de Riscos (EHR) (NIETO-MOROTE; RUZ-VILA, 2011).

O trabalho de Eypoosh, Dikmen e Birgonul (2011) considera que a identificação de redes de caminhos de riscos interativos, cada um iniciado a partir de diversas vulnerabilidades do sistema do projeto, é considerado um reflexo melhor das condições reais dos projetos de construção do que apenas a utilização de listas genéricas de riscos. Isso devido ao fato que uma causa poder levar a efeitos de primeira, segunda ou até terceira ordem, que inserem alterações negativas aos custos do projeto.

Ressalta-se que o GR se apresenta em todos os âmbitos contratuais dos setores de obras, tanto públicos como privados, incluindo também nesse conjunto as Parcerias Públicas Privadas (PPP), o qual apresenta diferentes preocupações quanto aos riscos, os quais os riscos se encontram em sua maioria em uma esfera política e econômica, como por exemplo: "intervenção do Governo"; "Errada tomada de decisão política"; "Confiabilidade do Governo"; "Corrupção"; "Flutuações cambiais e inflação"; entre outros.

Uma vez identificados os riscos de um projeto, é necessário que seja feita a priorização dos riscos, ou seja, a determinação daqueles riscos potenciais. A seguir (Quadro 1) é apresentada uma breve coletânea de artigos de periódicos, que forneceram listas de fatores de riscos inerentes ao setor da construção civil.

Quadro 1- Trabalhos com a identificação de riscos em obras.

<b>Autor/Ano</b>	<b>País/Região</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descrição</b>
<b>Tang et al (2007)</b>	China	Hidrelétrica Three Gorges	Priorização de 32 riscos identificados na literatura, pelo ponto de vista de vários <i>stakeholders</i> : cliente, empreiteiro, superintendente, projetista, gestores e planejadores.
<b>Luu et al (2007)</b>	Vietnã	Edificações	16 fatores de risco foram identificados através de questionário feito com 166 profissionais. Fornecendo 18 relações de causa-efeito entre os fatores identificados.

<b>Eyboosh, Dikmen e Birgonul (2011)</b>	Ásia, África e Europa	Variados	Análise de 166 projetos de empresas na Turquia executados no mercado internacional resultou em 36 caminhos de riscos inter-relacionados.
<b>Ke et al (2011)</b>	China	Projetos PPP	37 fatores de risco encontrado e analisados.
<b>Mahamid (2011)</b>	Palestina	Estradas	Identificação de 43 fatores de risco.
<b>Idrus, Fadhil Nuruddin e Rohman (2011)</b>	Malásia	Edificações e Infraestrutura	7 fatores de riscos externos e 7 fatores de risco internos hierarquizados a partir de uma EAR.
<b>Nieto-Morote e Rua-Vila (2011)</b>	Espanha	Edificação	13 riscos divididos em riscos de projetos, riscos de engenharia, de execução e dos fornecedores, organizados em uma EAR.
<b>Alarcón et al (2011)</b>	Panamá	Canal	14 riscos identificados que podem levar a falhas na estimativa de tempo e de custo no projeto de expansão do Canal do Panamá, fornecendo subsídios para a elaboração das reservas de contingências do projeto.
<b>Kazaz, Ulubeyli e Tuncbilekli (2011)</b>	Turquia	Variados	Análise de 34 fatores de riscos que causam atraso nas obras por 71 empresas.
<b>Abdul-Rahman, Loo e Wang (2012)</b>	Malásia	Variados	EAR dividida em: Financeira (8 fatores de risco), Gerencial (20 fatores de risco), Construção (18 fatores de risco), Projeto (6 fatores de risco), Operacional (6 fatores de risco) e Saúde e Segurança (3 fatores de risco). Riscos identificados para a análise do projeto realizados por empresas de Arquitetura, Engenharia e Construção da Malásia no Golfo.
<b>Choudry et al (2014)</b>	Paquistão	Pontes	7 categorias de riscos que afetam o desempenho na construção de pontes identificados através de entrevistas conduzidas com engenheiros e gerentes.
<b>Iqbal et al (2015)</b>	Paquistão	Variados	Em uma análise com 37 riscos em projetos de construção no Paquistão os 10 mais importantes foram: atraso de pagamentos; falta de verba para a construção; acidentes; erros de projeto; planejado diferente do executado; fraca performance dos empreiteiros; alta flutuação de taxas de inflação; escopo mal definido em contrato; má qualidade dos materiais e equipamentos; e na cadeia de suprimentos.



<b>Jarkas e Haupt (2015)</b>	Qatar	Variados	37 fatores de risco distribuídos. Os resultados obtidos indicam que os riscos relacionados ao grupo "cliente" são percebidos como os mais críticos, seguidos pelos fatores relacionados ao grupo "consultor", "contratado" e "exógeno", respectivamente. Os resultados mostram ainda que a opção "transferência" é a resposta predominante dos contratados aos riscos relacionados ao "cliente" e ao "consultor", enquanto a decisão de "retenção" é o principal padrão vinculado ao grupo "contratado" e "exógeno" fatores de risco.
<b>Gupta, Sharma e Trivedi (2016)</b>	Índia	Variados	20 fatores de riscos identificados em projetos de construção.
<b>Aziz (2017)</b>	Indonésia	Pontes	O estudo indica 15 fontes de riscos, dos quais 6 são riscos dominantes.
<b>Vu et al (2017)</b>	Vietnã	Rodovias	Primeiro, entre os 12 fatores principais mencionados acima, os autores identificam oito fatores que têm efeitos significativos nos atrasos em projetos de rodovias. Segundo, a análise as falhas de política e a capacidade fiscal do proprietário desempenham os papéis mais importantes.
<b>Zidane e Andersen (2018)</b>	Noruega	Variados	Dos 33 fatores que levam aos atrasos em projetos de construção, foram ranquados os 10 mais citados: alterações no projeto durante as ordens de construção / alteração; atrasos no pagamento dos contratados; mau planejamento e programação; má gestão e supervisão do local; projeto incompleto ou inadequado; experiência inadequada do contratante / métodos e abordagens de construção; dificuldades financeiras do contratado; dificuldades financeiras do patrocinador / proprietário / cliente; escassez de recursos (recursos humanos, máquinas, equipamentos); e baixa produtividade do trabalho e escassez de habilidades.

Fonte: O Autor.

Existe uma grande gama de fatores de risco que podem trazer impactos aos projetos. Esses riscos podem ser categorizados a partir da sua causa raiz, algumas das categorias descritas na literatura são, os riscos: de comunicação, financeiros, de

gerenciamento, recursos, organizacionais, projeto, psicológicos e do clima. Dentre esses, os riscos financeiros são os de maior ocorrência nesses tipos de obras (ADAM; JOSEPHSON; LINDAHL, 2017).

#### **2.2.4 Análise dos Riscos**

A análise dos riscos é inerentemente relacionada com a modelagem do risco. O Modelo de risco Probabilidade por Impacto (PxI) é a mais comum e o risco é usualmente avaliado através da apreciação da sua probabilidade de ocorrência e impacto. Para a análise dos riscos os métodos qualitativos e quantitativos vêm sendo melhorados de acordo com o aumento da complexidade dos projetos de construção e a necessidade de refletir aspectos como as interdependências entre os riscos e as interações entre eles e com o ambiente do projeto (TAROUN, 2014).

Dois tipos de técnicas de risco podem ser considerados: técnicas preventivas que podem ser usadas antes do início de um projeto para gerenciar os riscos que são antecipados durante a execução dos projetos; e as técnicas de correção que são usadas durante a fase de execução, uma vez que o risco já tenha ocorrido (BANAITIENE; BANAITIS, 2015)

As técnicas qualitativas de análise de risco podem ser usadas para avaliar os riscos identificados em uma avaliação simples e rápida (BAKER; PONNIAH; SMITH, 1998). As técnicas qualitativas são frequentemente utilizadas por empreiteiros e consultores e tem como objetivo principal, a geração de uma lista de priorização dos riscos, com a finalidade de identificar aqueles com maior fator  $PxI$ , que são os que exigem maior atenção e tratamento (LYONS; SKITMORE, 2004).

De acordo com Nieto-Morote e Ruz-Vila (2011) a análise qualitativa deve ser usada quando os dados numéricos dos riscos de um projeto são inadequados ou indisponíveis, em casos que os dados apresentam muita subjetividade, pode-se usar lógica *fuzzy* para capturar a imprecisão das variáveis linguísticas. Normalmente, isso ocorre na fase inicial de um novo projeto. Como consequência, é convencional que a análise de riscos de uma organização seja iniciada de maneira qualitativa antes que se possa métodos mais robustos quantitativos.

Segundo Dziadosz e Rejment (2015) os métodos mais frequentes mencionados para identificar riscos são os seguintes: *brainstorming*, técnica Delphi, *check-lists*, conhecimento de especialistas, auditorias internas, revisão periódica da documentação das empresas entre outros e as matrizes de risco.

Os métodos mais ordinários de análises qualitativas dos riscos apresentados na literatura são as matrizes de risco. Existe a metodologia do PRINCE 2 (GREAT BRITAIN, 2002) definida como relativamente simples, clara e de fácil execução (DZIADOSZ; REJMENT, 2015). O Tabela 1 ilustra um exemplo genérico para a disposição dos dados necessários para o preenchimento da planilha de identificação e avaliação, existe também uma sugestão para o custo da estratégia tomada para a resposta ao risco.

Essa técnica de coleta de dados apresenta os valores numéricos em margens, além de apresentar uma escala de conversão que pode ser pré-definida para os níveis de risco, por exemplo, 0 a 5% para muito baixo, 5-40% para baixo, 40-70% para médio, 70-80% para alto e 80-100% para muito alto (DZIADOSZ; REJMENT, 2015).

Tabela 1-Exemplo de registro de riscos

Item	Risco principal	Proprietário do Risco	Razão/Causa	Efeito	Avaliação do Risco		Nível do Risco	Estratégia de resposta ao Risco	Custo da estratégia
					Probabilidade	Impacto			
<b>Risco de Projeto</b>									
1	Falta de interesse do investidor	Investidor	Não compreensão do projeto	Aumento dos custos devido a suspensão do trabalho por falta de investimento	5-40%	\$50-\$500	Baixo	Observação do mercado, investimento em marketing...	\$100
2	Atrasos e dificuldades de se obter informações	Investidor	Escopo mal definido	Problemas nos processos do projeto	10-25%	\$100-\$200	Médio	Diagnóstico preliminares, organização de reuniões antes da elaboração de projetos	\$500
<b>Risco de Orçamento</b>									
<b>Risco de Cronograma</b>									

Fonte: Adaptado de Dziadosz e Rejment (2015).

Mahamid (2011) elaborou uma matriz de risco para avaliar quais os principais riscos que causavam atrasos em projetos de construção de estradas na visão dos donos dos empreendimentos. A análise utilizou as cores verde, amarelo e vermelho, que representavam a

gradação da probabilidade e do impacto, como Muito Baixo (MB), Baixo (B), Médio (M), Alto (A) e Muito Alto (MA) (Figura 7) para a representação de cada risco coletado por forma de questionários para as entidades públicas.

Figura 7 – Matriz de riscos com cores


Fonte: Adaptado de Mahamid (2011).

As zonas (verde, amarela e vermelha) possuem as seguintes atribuições: riscos encontrados na zona verde apresentam nível baixo prioridade, podendo ser ignorados. Os riscos que se encontram na zona amarela possuem moderada importância, sendo a sua probabilidade passível de redução e o seu impacto moderado deve ser controlado e reduzido a partir de planos de contingência. Finalmente, a zona vermelha apresenta os riscos com importância crítica, sendo considerados prioridades máximas, com grandes esforços pela equipe para que eles não ocorram (MAHAMID, 2011).

As principais características da matriz de risco são:

- O principal objetivo da sua aplicação é a identificação e avaliação do risco;
- Relativamente fácil de analisar e interpretar os seus resultados e de implementar, é um resumo do controle dos riscos de um projeto;
- A escala da variação dos valores de um dado critério é uma escala contratual;
- Um dos poucos métodos que destacam o proprietário do projeto e apresenta um resumo das estratégias das respostas aos riscos.

Em contraste a análise qualitativa, a quantitativa fornece aos tomadores de decisão um conhecimento numérico sobre as características dos riscos de um projeto e suas consequências. Os dados necessários para realizar o cálculo quantitativo devem ser obtidos de bancos de dados históricos ou de estimativas de especialistas (MOHAMED, 2016)

A abordagem quantitativa consiste em definir um problema, desenvolver um modelo, obter dados de entrada, determinar uma solução, testar a solução, analisar os resultados e implementar os resultados. Em alguns casos, testar a solução pode revelar que o modelo ou os dados de entrada estão incorretos. Isso significaria que todas as etapas que

seguem a definição do problema precisariam ser modificadas (RENDER, STAIR JR e HANNA, 2010).

Um dos principais motivos para a sua não utilização é o fato dos métodos serem demorados e exigirem um alto nível de conhecimento do analisador. Por esse motivo, Smith *et al* (2006) afirmam que esses métodos são mais adequados para projetos de grande porte.

As análises quantitativas são frequentemente baseadas em teorias matemáticas de probabilidade, que podem ser complexas e difíceis de gerenciar manualmente, com a grande maioria das técnicas apenas disponíveis em softwares computacionais. Dentre os principais métodos estão a simulação de Monte Carlo, as árvores de decisão e as análises de sensibilidades (RADU, 2009).

Um dos seus principais objetivos no setor da construção é analisar os efeitos sobre as quantificáveis medidas de desempenho: tempo e custo (POH; TAH, 2006). O mesmo autor critica pouca utilização dessas técnicas na indústria da construção, e quando utilizadas não há integração entre a análise entre os custos e o tempo do projeto, sendo ambos analisados separadamente, mesmo havendo grande interdependência entre as duas medidas de desempenho.

Outra aplicabilidade da análise quantitativa em projetos é identificar em um conjunto de projetos quais deles apresentam menos risco e assim maior viabilidade e atratividade para execução. A utilização de métodos híbridos de tomada de decisão como o TOPSISfuzzy e o AHPfuzzy são adequados para esse tipo de análise (TAYLAN *et al.*, 2014).

### ***2.2.5 Gerenciamento de Riscos na construção civil***

A aplicação de uma gestão sistêmica de riscos em projetos de construção já vem de longa data sendo reconhecida como uma efetiva abordagem para minimizar os impactos dos riscos nesse setor da indústria (FLANAGAN, ROGER, 1993).

Shrestha *et al* (2013) ratifica que obras em geral trazem riscos que levam aos atrasos e à extrapolação dos custos do projeto, e que quanto maior o tamanho maior a probabilidade de falhas nas estimativas de custo e tempo.

Uma empresa com processos bem definidos de GR encoraja sua equipe a identificar, quantificar e buscar respostas. Empresas que gerenciam efetivamente apresentam economia financeira, maior produtividade, melhores taxas de sucessos em novos projetos e tomada de decisão (BANAITIENE; BANAITIS, 2015).

A utilização do GR integrado com as estimativas de custo, de tempo e nos

processos de gerenciamento de projetos possuem muitas vantagens. Algumas das mais frequentes citadas por Alarcón *et al* (2011), são:

- a) Um melhor entendimento dos entregáveis do projeto, incluindo cronograma, requisitos dos processos e os potenciais obstáculos;
- b) Estimativas mais realistas e transparentes de componentes individuais do projeto, levando a uma expectativa mais realista dos custos e do tempo do projeto;
- c) Melhor entendimento dos valores de contingência do projeto e uma base para melhor compreensão da resolução das contingências;
- d) Informações mais precisas para apoiar outras atividades do projeto, como gestão do valor e o planejamento estratégico;
- e) E uma potencial melhoria dos processos de orçamentos e cronograma.

A crescente complexidade e dinâmica dos projetos de construção têm afetado a indústria da construção com riscos e perdas substanciais. O GR vem sendo reconhecido como crítico para esse setor de maneira a melhorar o seu desempenho e garantir o sucesso do projeto. A não observância dos processos de Gerenciamento de Risco em grandes projetos vem causando elevados prejuízos (ABDUL-RAHMAN; LOO; WANG, 2012; ZENG; AN; SMITH, 2007).

Apesar da comprovada necessidade e vantagens na implementação dos processos de gerenciamentos de risco, no setor da indústria da construção, muitas barreiras ainda são existentes. Segundo Choudhry e Iqbal (2013) em estudo realizado no Paquistão, as principais barreiras apresentadas foram: falta de um sistema formal de gerenciamento, falta de uma gestão de riscos unificada entre todas as partes de um empreendimento, escassez de conhecimento em técnicas, cultura reativa em vez de proativa, complexidade, entre outras.

O GR é apresenta uma necessidade de implantação de novos processos internos, assim a sua usabilidade na prática é limitada e causa certa aversão para os gestores de obras. Tendo em vista a sua importância, existem métodos criados a partir de visualização em softwares CAD, para tornar a experiência de gestão dos riscos mais visual e intuitiva (KANG *et al.*, 2013)

Ke, Wang e Chan (2012) afirmam que a eficácia da implementação de novos métodos está extremamente subordinada à cultura industrial local. Usualmente, as empresas utilizam de maneira inadequada os processos, acentuando a utilização de métodos qualitativos

em preferência aos métodos quantitativos, além de não os utilizar em todas as fases dos projetos.

Hu e Wu (2016) assevera que existe ainda um baixo nível de utilização dos processos de GR nas obras públicas. As empresas de construção ainda não apresentam um sistema de gestão com a avaliação dos riscos incorporados.

Os principais fatores que levam a essa dificuldade de implantação são a falta de: suporte para a implementação do sistema de GR pelos líderes e donos das empresa; a delegação de responsabilidades; a compreensão clara dos processos e procedimentos; a verificação da análise custo benefício; conhecimento do apetite ao risco dos tomadores de decisão; a implantação da cultura de riscos dentro da empresa, com todos compreendendo a linguagem de riscos; a frequência de treinamentos; gerenciamento do desempenho da empresa (HU; WU, 2016)

Dikmen *et al* (2008) acrescenta que a construção de bancos de dados de lições aprendidas que contenham informações relacionadas a riscos e avaliação de riscos ao longo do ciclo de vida do projeto de construção é conveniente. Essa ferramenta é capaz de armazenar, atualizar informações e realizar a avaliação pós-projeto, de forma, que novos empreendimentos possuam informações para uma adequada gestão dos riscos (DIKMEN *et al.*, 2008).

Finalmente, a gestão de riscos deve ser implementada em projetos de construção para assegurar a realização dos objetivos do projeto, independentemente do tamanho do projeto, pois ela apresenta uma correlação positiva entre a implementação do GR com a melhoria da qualidade, do custo e desempenho do cronograma. (ZHAO; HWANG; PHNG, 2014).

### ***2.2.6 Modelos de Gerenciamento de Riscos aplicados à construção civil***

Diversos princípios e métodos foram desenvolvidos para explicar, avaliar e gerir os riscos de projetos. E muitos avanços continuam sendo feitos nessa área, principalmente interligando a teoria e os procedimento práticos (AVEN, 2016).

Dentre os principais passos envolvidos no GR que são, basicamente a identificação dos riscos, avaliação e priorização dos riscos, e responder a esses riscos, o processo de avaliação é talvez considerado o mais complicado e de difícil tarefa. Sendo crítico em um projeto de construção civil (KARIMIAZARI *et al.*, 2011).

Apesar da dificuldade imposta, a avaliação da probabilidade de ocorrência dos

riscos e o seu impacto nos objetivos do projeto relacionados ao tempo, custo, qualidade e segurança fomentam a crescente criação de modelos capazes de auxiliar à tomada de decisão e a melhor gestão dos riscos e incertezas (THOMAS; KALIDINDI; GANESH, 2006).

É importante apontar que o risco pode se apresentar de formas diferentes dependendo do agente que o esteja avaliando. Por exemplo, a avaliação é representada por um engenheiro, uma equipe ou uma empresa? Essa definição pode trazer informações diferentes ao projeto, além de ser importante para a definição de um modelo confiável (TAILLANDIER *et al.*, 2015)

Zou, Chen e Chang (2010) citam a necessidade de um melhor treinamento em avaliação de riscos, tanto qualitativa quanto quantitativa, para o pessoal da construção e desenvolver e aplicar risco corporativo padronizado.

Uma das dificuldades de cada empresa pode ser qual o modelo de avaliação de riscos que será utilizado. De acordo com Lichtenstein (1996) selecionar o modelo ideal é uma particularidade de cada empresa, e é afetada por muitos fatores, como, o custo de implantação técnica, o nível de aprovação das partes interessadas externas ao projeto, a estrutura da organização, adaptabilidade, o tamanho da empresa, nível de risco, filosofia de segurança da empresa, consistência, usabilidade, confiança, validade, credibilidade e automação são fatores que devem ser considerado na seleção do tipo de método de avaliação. Com todos esses fatores que podem ser quantitativos ou qualitativos, escolher ou até mesmo formular um método adequado para uma empresa é algo complicado.

Modelos de avaliação de Riscos envolvem dois outros fatores importantes de modelagem: o setor da construção é descrito como um colaborativo trabalho em equipe, repleto de processos, nos quais existem partes com diferentes interesses, funções e objetivos, todos em busca de um objetivo em comum, então a solução desse problema é vital que envolva, se não todas, o máximo possível de intervenientes. O segundo fator é que no mundo real a maioria do conhecimento é mais impreciso do que preciso, portanto as informações fornecidas para a escolha do melhor modelo serão imprecisas e incompletas (KARIMIAZARI *et al.*, 2011).

O Quadro 2 apresenta uma coletânea realizada por Thomas *et al* (2006) de vários modelos de avaliação de riscos utilizados na construção civil, relacionados com as principais ferramentas e teorias utilizadas nesses modelos, o que reforça a importância e relevância do GR aplicado ao setor da construção civil.



Quadro 2 - Modelos de avaliação de riscos aplicados na construção civil 1980-2000

<b>Modelo</b>	<b>Ferramenta/Teoria Básica</b>	<b>Autor</b>	<b>Observações</b>
<b>Cost impact assessment under varying risk allocation between owner and contractor</b>	Tomada de decisão	<b>Levitt <i>et al</i> (1980)</b>	Incorpora diferentes percepções de risco, incentivo para executar, valor de riscos controláveis e preferências diferentes para aceitar riscos.
<b>Decision model for risky investments</b>	Teoria da utilidade multiatributo e probabilidade Bayesiana	<b>Ibbs e Crandal (1982)</b>	A complexidade do modelo aumenta com aumento no número de atributos.
<b>Cost assessment framework for political risks in international construction.</b>	Diagramação da linha de influência	<b>Ashley e Bonner (1987)</b>	Identificação de fontes primárias de risco político e seu impacto nos três elementos do fluxo de caixa do projeto: custo do trabalho, custo do material e custo indireto.
<b>Identification, goal description, risk allocation, risk evaluation and risk mitigation</b>	Sistema especialista-Análise da lógica Fuzzy	<b>Kangari e Boyer (1989)</b>	Modelo que aceita entrada de dados subjetivos de especialistas.
<b>Assessment of project risks during the bidding stage</b>	Processo de Hierarquia Analítica (AHP)	<b>Mustafa e Al-Bahar (1991)</b>	Incorpora entradas tanto subjetivas como objetivas.
<b>Bid mark up for construction risk</b>	Lógica Fuzzy	<b>Peak <i>et al</i> (1993)</b>	Consequências associadas ao risco são estimadas como números difusos.
<b>Loss assessment model</b>	Lógica Fuzzy e redes neurais	<b>Jablonowski (1994)</b>	Rede neural é treinada usando perfil de risco difuso para vários cenários de risco e seleções de limite de especialista associado.
<b>Liability assessment model</b>	Tomada de decisão e diagrama de influência	<b>Jeljeli e Russell (1995)</b>	Facilidade para incorporar a subjetividade opinião de um especialista.
<b>Cost risk analysis</b>	Diagrama de influência e simulação de Monte Carlo	<b>Diekmann <i>et al</i> (1996)</b>	Modelado para interno e externo riscos. Diagramação de influência para riscos externos e simulação para riscos internos.
<b>Evaluation of project life cycle risks</b>	Árvore de decisão e análise gráfica de confiança	<b>Tsai <i>et al</i> (1999)</b>	Dados objetivos são necessários para cada fator de risco como entrada. A sensibilidade dos fatores de risco e a eficácia das estratégias de gerenciamento de risco podem ser avaliadas.
<b>Schedule risk assessment model</b>	Tomada de decisão em conjunto com sistema de informação Hipertext	<b>Mulholland e Cristian (1999)</b>	Incorporação do conhecimento e experiência de especialistas, informações específicas do projeto.
<b>Liability assessment model for project disputes</b>	Simulação de Monte Carlo	<b>Winter (1999)</b>	Desenvolvido por Baker e McKenzie, Londres.
<b>Project investment decision model for international projects</b>	Teoria da decisão normativa baseada em risco	<b>Han e Diekmann (2001)</b>	Eficaz para descrever relação subjetiva entre variáveis. Utilização de análises de cenário e sensibilidade.
<b>Risk assesment for International projects</b>	Processo de Hierarquia Analítica (AHP)	<b>Hastak e Shaked (2000)</b>	Fornecer uma abordagem estruturada para avaliar os indicadores de risco em nível de país, nível de mercado e nível de projetos internacionais.

<b>Assessment of construction project risks</b>	Lógica Fuzzy	<b>Tah e Carr (2000)</b>	Exposição ao risco do projeto em termos de tempo, custo, qualidade e segurança, usando informações linguísticas de especialistas.
<b>Infrastructure risk analysis model (IRAM)</b>	Árvore de decisão e análise probabilística	<b>Exell et al (2000)</b>	Desenvolvido para sistema de distribuição de água, mas pode ser estendido para outros sistemas. A vulnerabilidade de componentes é avaliada subjetivamente e a análise de cenários é feita por meio da abordagem de árvore de eventos.
<b>Evaluation of investment decision in infrastructure project</b>	Simulação de Monte Carlo	<b>Yel e Tiong (2000)</b>	Critérios de decisão como VPL em risco (medida do retorno esperado mínimo em um determinado nível de confiança) combinando métodos de custo médio ponderado de capital e retorno devido de risco. Dificuldade em obter funções de densidade de probabilidade de entrada

Fonte: O Autor.

Nas décadas de 80 e 90 as principais teorias e ferramentas utilizadas para a avaliação dos riscos foram correlacionadas com métodos qualitativos, onde os principais objetivos era descobrir como melhor tratar a subjetividade imposta pelas incertezas, por esse motivo, a lógica fuzzy, Teoria da Utilidade Multiatributo e AHP apresentaram destaques nos modelos dessa época. Já nos métodos quantitativos, os diagramas de influência, árvore de decisão e utilização da simulação de Monte Carlo nos anos 2000 representaram a evolução científica do assunto no setor da construção.

Dando sequência ao trabalho de Thomas *et al* (2006) o Quadro 3 contempla diversos modelos criados, com objetivos variados, porém todos atuantes na melhoria do Gerenciamento de Riscos em projetos de construção.

A utilização dos métodos de tomada de decisão em geral (HANNA; THOMAS; SWANSON, 2013; NIETO-MOROTE; RUZ-VILA, 2011; ZAVADSKAS; TURSKIS; TAMOŠAITIENE, 2010; ZENG; AN; SMITH, 2007) e os híbridos (GUPTA, 2018; ZAVADSKAS; TURSKIS; TAMOŠAITIENE, 2010), apareceram com maior frequência nos anos 2000 até os dias atuais.

Outros modelos abordados pela literatura são os que apresentam métodos probabilísticos de simulação de Monte Carlo (ALARCÓN *et al.*, 2011; ALBOGAMY; DAWOOD, 2015; CHANG; KO, 2017; GUPTA, 2018; SADEGHI; FAYEK; PEDRYCZ, 2010), probabilidade bayesiana (LUU *et al.*, 2009; NASIR; MCCABE; HARTONO, 2003; QAZI *et al.*, 2016), análises estocásticas (TAILLANDIER *et al.*, 2015) e a utilização do Program Evaluation Review Technique (PERT) são as que mais aparecem nos modelos de GR.

Quadro 3 - Modelos de avaliação de riscos aplicados na construção civil 2003-2018

<b>Schedule Model (ERIC-S)</b>	PERT e Belief Networks	<b>Nasir, McCabe e Hartono (2003)</b>	O modelo resultante é referido como ERIC-S. Este é o primeiro modelo de riscos de cronograma de construção conhecido pelos escritores que quantifica as relações entre as variáveis
<b>Assesment of Critical risks in BOT road projects</b>	Árvore de decisão, Previsão de probabilidade Delphi Fuzzy	<b>Thomas et al (2006)</b>	A estrutura de avaliação de risco proposta é genérica e pode ser aplicada com as devidas modificações para se adequar a qualquer projeto de desenvolvimento complexo em que os dados passados sejam inadequados para a avaliação de risco.
<b>Assesment of risk factor in construction project</b>	Processo de Hierarquia Analítico (AHP) e lógica Fuzzy	<b>Zeng, An e Smith (2007)</b>	A aplicação de técnicas fuzzy fornece uma ferramenta eficaz para lidar com as incertezas e subjetividades decorrentes do processo de construção. Um processo de hierarquia analítica modificado é usado para estruturar e priorizar diversos fatores de risco.
<b>Quantifying schedule risk in construction</b>	Bayesian Belief Networks (BBN) e análise causa-efeito	<b>Luu et al (2009)</b>	O principal objetivo deste trabalho é quantificar a probabilidade de atrasos em projetos de construção no Vietnã usando redes bayesianas.
<b>Fuzzy Monte Carlo Simulation (FMCS) framework for risk analysis of construction projects</b>	Lógica Fuzzy e Simulação de Monte Carlo	<b>Sadegui et al (2010)</b>	Modelo de simulação de propósito especial para uma dada faixa de custo. Este modelo é utilizado para estimar o custo de um projeto de viaduto de rodovia.
<b>Project Risk Managment using multi-attribute group technique</b>	Técnica MAGDM e Estrutura de Discriminação de Risco Potencial (EDRP)	<b>Mojtahedi, Mousavi e Makui (2010)</b>	Novos critérios foram definidos para o GR do projeto, que cobrem problemas de identificação e avaliação de riscos simultaneamente.
<b>Risk assesment of construction projects</b>	Teoria Multiatributo de tomada de decisão (TOPSYS-grey e COPRAS-G)	<b>Zavadskas, Turskis e Tamosaitiene (2010)</b>	Os atributos de avaliação de risco são selecionados levando em consideração os interesses e objetivos das partes interessadas, bem como os fatores que influenciam a eficiência do processo de construção e o valor dos imóveis.
<b>Risk assesment model selection in construction industry</b>	Tomada de Decisão, Lógica Fuzzy e Técnica de Grupo Nominal (NGT)	<b>Karimiazari et al (2011)</b>	Usando o método TOPSIS fuzzy, este estudo fornece um processo racional e sistemático para desenvolver o melhor modelo sob cada um dos critérios de seleção.
<b>Project Cost Estimation Model</b>	Lógica Fuzzy	<b>Idrus, Nurussin e Rohman (2011)</b>	O método proposto envolveu o desenvolvimento de modelo de contingência de custos para projetos de construção e infraestrutura na Malásia.

<b>Risk Planning and Management for Panama Canal Expansion Program</b>	Simulação Monte Carlo	<b>Alarcón <i>et al</i> (2011)</b>	Este modelo de contingência é baseado em uma simulação de Monte Carlo das estimativas de custo e cronograma, levando em consideração os riscos mais significativos identificados para o projeto
<b>Fuzzy Approach to construction project risk assessment</b>	Lógica Fuzzy e Processo de Hierarquia Analítica (AHP)	<b>Nieto-Morote e Ruz-Vila (2011)</b>	Este artigo apresenta uma nova metodologia para construção Análise de risco do projeto para lidar com os riscos associados aos projetos de construção nas situações complicadas em que as informações para avaliar os riscos são inquantificáveis, incompletas ou não alcançáveis.
<b>Development of a 4D object-based system</b>	Lógica Fuzzy, Processo de Hierarquia Analítica (AHP) e 4D CAD	<b>Kang <i>et al</i> (2013)</b>	Para visualizar as informações de risco analisadas, um sistema de simulação para visualizar informações de risco é desenvolvido em conjunto com um sistema CAD quadridimensional (4D). O sistema proposto é aplicado a um projeto de construção de amostra para verificar sua usabilidade.
<b>Client-based risk managment methodology</b>	Hierarquia Analítica (AHP) e Monte Carlo	<b>Albogamy e Dawood (2015)</b>	Metodologia de um modelo de gerenciamento de risco focado no cliente.
<b>Multi-agent Model (SMACC)</b>	Análise Estocástica	<b>Taillandier <i>et al</i> (2015)</b>	Usando simulações multiagentes, juntamente com uma abordagem estocástica, os impactos de risco podem ser avaliados para cada parte interessada e para todo o projeto
<b>Project Risk Time Managment</b>	PERT	<b>Gladysz <i>et al</i> (2015)</b>	O modelo é baseado em uma modificação do método PERT e pode ser reduzido a um problema de programação linear mista. O modelo é ilustrado por meio de um caso do mundo real relativo a um projeto de construção.
<b>Major Infrastructure Risk Assesment Framewok (MIRAF)</b>	AHP	<b>Wang <i>et al</i> (2016)</b>	Dois regimes alternativos para a rota transoceânica: o sistema de túneis e o sistema de pontes são comparados em termos de riscos durante os diferentes períodos de tempo do projeto.
<b>Project Complexity and Risk Managment (ProCRiM)</b>	Teoria da Utilidade e Bayesian Belief Networks (BBN)	<b>Qazi <i>et al</i> (2016)</b>	Identificação dos riscos críticos e seleção de estratégias de mitigação de risco no estágio inicial de um projeto, levando em conta a função de utilidade do tomador de decisão em relação à importância dos objetivos do projeto e a interação holística entre complexidade e risco do projeto.
<b>Risk Assesment Model Based on Time Value of Money</b>	Probabilidade e Lógica Fuzzy	<b>Mousazade e Mahmoudabadi (2017)</b>	Usando a coleta de dados experimentais para um prédio da escola primária em construção, mostra que o modelo proposto pode ajudar os tomadores de decisão a determinar e avaliar os riscos de custo e renda sobre as atividades do projeto.

<p><b>Estimating the Standard Deviations of Lognormal Cost Variables in analysis of Construction Risks</b></p>	<p>Fluxo de Caixa Descontado e Simulação de Monte Carlo</p>	<p><b>Chang e Ko (2017)</b></p>	<p>Desenvolvimento de um novo método para melhorar o rigor da Simulação de Monte Carlo, estabelecendo a ligação entre a estimativa de parâmetros e a avaliação de fontes de risco individuais.</p>
<p><b>Prioritize Risks and to Quantify Risks in Term of Overall Project Delays</b></p>	<p>GTOPSIS, JRAP e Simulação de Monte Carlo</p>	<p><b>Gupta e Thakkar (2018)</b></p>	<p>A pesquisa adota uma abordagem integrada para priorizar riscos usando a Técnica de Grupo para Preferência de Pedido por Semelhança com a Solução Ideal (GTOPSIS) e para quantificar riscos em termos de atrasos no projeto usando o Julgamento de Processo de Análise de Risco (JRAP) e Simulação de Monte Carlo (MCS).</p>

Fonte: O Autor.

Dentre todos os modelos avaliados toma destaque o de Kang *et al* (2013) que utilizou CAD 4D como ferramenta de auxílio para o GR, demonstrando a evolução dos temas relacionados ao assunto.

Ressalta-se que tais modelos buscaram principalmente o tratamento da subjetividade das incertezas de forma que os riscos potenciais fossem melhor estudados e avaliados. É comum a utilização dos modelos principalmente em obras da construção pesada (ALARCÓN *et al.*, 2011; IDRUS; FADHIL NURUDDIN; ROHMAN, 2011). A apresentação de modelos em edificações torna-se algo mais recente (MOUSAZADE; MAHMOUDABADI, 2017).

Grandes projetos de infraestrutura também encontram no GR formas de avaliar qual alternativas que representam a verificação dos riscos e ajudam a visualizar os problemas que podem ser enfrentados e assim economizar milhões, como no projeto para conectar a província de Guangdong e a Ilha de Hainan na China, alternativas foram estudadas a partir de um modelo de GR baseado e adaptado do AHP, o estudo avaliou quais os riscos de executar uma ponte ou um túnel para cruzar o oceano nessa rota (WANG *et al.*, 2016).

### 2.3 Simulação de Monte Carlo

A Simulação de Monte Carlo (SMC) é uma técnica estatística, a qual pesquisadores afirmam ser de grande importância para a avaliação das incertezas em um projeto (REZAIE *et al.*, 2007).

A SMC é utilizada como ferramenta pelo PMBOK (2013), sendo conhecido como o mais utilizado em análises quantitativas de riscos. E artifício pode modelar os fenômenos em duas partes: fatores determinados (por exemplo as atividades dos projetos) e em fatores aleatórios (tempo e os custos das atividades). Outros componentes como a distribuição de probabilidade, a média, margem de confiança e variância são introduzidas nas variáveis aleatórias formulando o modelo. A SMC fornece a possibilidade de conhecer o comportamento de fatores aleatórios, e como resultado torna o risco calculável (HOJJATI; NOUDEHI, 2015).

A SMC tem sido amplamente utilizada em várias análises para abordar incertezas probabilísticas em estimativas dos efeitos dos riscos nos custos e nos cronogramas em projetos de construção, com maior evidência em projetos de grande escala. Como no projeto de expansão do Canal do Panamá (ALARCÓN *et al.*, 2011), construção de pontes no Paquistão (CHOUDHRY *et al.*, 2014), construção de viadutos no Canadá (SADEGHI; FAYEK; PEDRYCZ, 2010) e em projetos urbanos também no Canadá (NASIR; MCCABE; HARTONO, 2003).

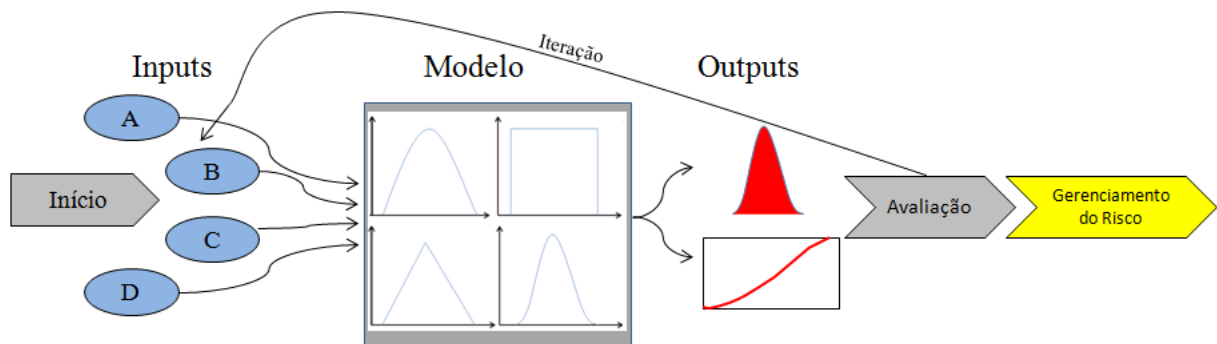
Na SMC executada para a análise dos orçamentos e cronogramas da construção de pontes no Paquistão foram feitas 1000 iterações, sendo utilizado um intervalo de 80% de confiança, significando que existem 80% de probabilidade do custo ou tempo superar o valor encontrado para esse valor (CHOUDHRY *et al.*, 2014).

Um valor de 80% implica que um em cada cinco projetos com as mesmas características podem exceder o valor de 80% do orçamento, esse valor de 80% é considerado um valor razoável para obras de infraestrutura (ALARCÓN *et al.*, 2011).

Considera-se um ponto fraco desse método o fato dele não considerar as relações entre as incertezas do projeto, pois incertezas podem potencializar outras ou gerar incertezas secundárias, assim o projeto é analisado e avaliado de acordo com cada risco independentemente (REZAIE *et al.*, 2007).

A Figura 8 representa como funciona a SMC, no qual os números aleatórios são gerados e a simulação é realizada. A sua principal característica é a numerosa quantidade de iterações, que leva a resultados próximos à realidade. Com a análise e a avaliação dos riscos, a probabilidade de ocorrência é estimada.

Figura 8 - Simulação de Monte Carlo



Fonte: Adaptado de Hojjati e Noudehi (2015), v. 07, p. 2618.

Os efeitos do tempo e dos custos de cada risco em cada atividade são determinados pela coleta de dados e assim o comportamento dos fatores de risco em períodos de tempo  $[t, t+\Delta t]$  e custo  $[\$+\Delta\$]$  simulados a partir da distribuição probabilística determinada fornece valores aleatórios. Ao final da simulação podem-se determinar os desvios de tempo e custo (HOJJATI; NOUDEHI, 2015).

O benefício da SMC de melhorar a qualidade da avaliação de risco do projeto é bem reconhecido, mas sua aplicação é frequentemente contestada pela falta de estimativas confiáveis para os parâmetros das distribuições de risco. Torna-se assim, particularmente, desafiador a sua utilização quando existem várias distribuições de probabilidade, sendo a escolha da função de distribuição, adequada aos dados de entrada, o mais crítico estágio do processo (CHANG; KO, 2017).

### 2.3.1 Distribuição de Probabilidade

Nas análises quantitativas, o impacto de um risco é definido por uma distribuição que é descrita pela sua amplitude e forma. Usualmente, existem duas principais categorias de distribuições que podem descrever o impacto de um risco, são elas as discretas e as contínuas.

As discretas mais usuais são as: Binomial, que representa um número de sucessos em uma sequência de  $n$  experimentos "sim/não" independentes, cada um dos quais atinge sucesso com uma probabilidade  $p$ ; e Bernoulli, na qual dentro de um espaço amostral  $[0,1]$  que tem o valor 1 com a probabilidade de sucesso  $p$  e o valor 0 com a probabilidade  $1-p$  de falha (CRETU; STEWART; BERENDS, 2011).

Segundo os autores Cretu, Stewart e Berends (2011) a utilização de distribuições discretas possuem utilização limitada na avaliação dos riscos de um projeto.

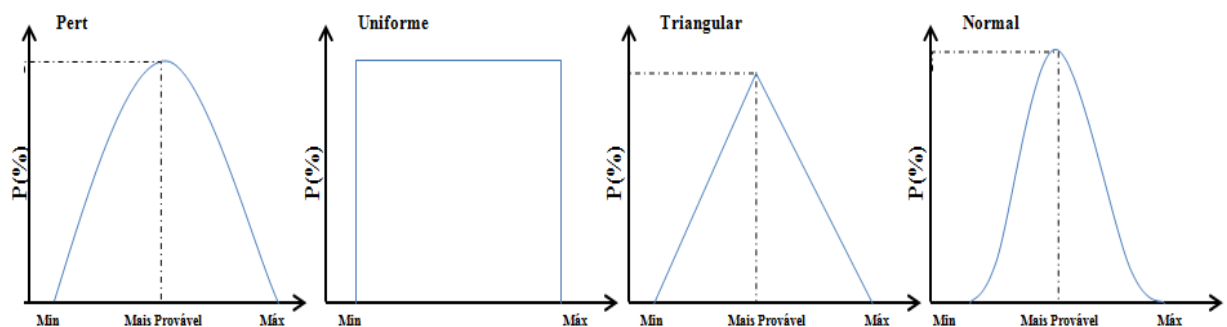
As distribuições contínuas (Figura 9) são distribuições normalmente utilizadas na análise de riscos. Neste tipo de distribuição a amplitude de um risco é dada por valores numéricos o "mais baixo" e o "mais alto", ou "menos provável" e "mais provável", e a forma da distribuição do risco é definida pela posição do "valor mais provável" para o "mínimo" e o "máximo" (CRETU; STEWART; BERENDS, 2011).

Dawood (1998) recomenda algumas distribuições para diferentes tipos de riscos em obras. Ele apresenta que os riscos provenientes de baixa produtividade da mão de obra, problemas climáticos, condição do solo, a distribuição triangular pode representar bem. O mesmo autor cita que a distribuição uniforme, a qual fornece uma igual probabilidade para os limites apresentados são bons para representar problemas relacionados à má definição, assim como, as mudanças de projeto.

Os mais populares métodos estocásticos para modelagem dos riscos das atividades de projetos relacionados a duração é o conhecido método PERT (ALBOGAMY; DAWOOD, 2015; GŁADYSZ *et al.*, 2015).

Gupta e Thakkar (2017) usam as diretrizes de Dawood (1998) em seu trabalho para definir as distribuições dos riscos identificados. A distribuição triangular foi a utilizada em todos os tipos de riscos, com exceção dos riscos decorrentes de problemas burocráticos e processos governamentais que foram tratados com uma distribuição lognormal.

Figura 9 - Tipos de distribuição probabilísticas contínuas



Fonte: O Autor.

- PERT: A distribuição PERT é definida por três pontos o mínimo, máximo e mais provável, e possui um alto grau de flexibilidade em ajustar as suas caudas, o qual a torna bem adequada para modelar a maioria das análises de risco. Na primeira o "valor mais provável" representa o valor da distribuição com maior chance de ocorrência, o qual coincide com a média e mediana da distribuição. A



distribuição simétrica é usada quando um especialista considera que os valores do impacto de um risco têm a mesma probabilidade de estar acima ou abaixo do valor mais provável. Quando o especialista acredita que o impacto de um risco tem maior densidade no lado menor ou no lado maior se utiliza a assimétrica, podendo apresentar uma maior inclinação para o lado positivo ou para o negativo.

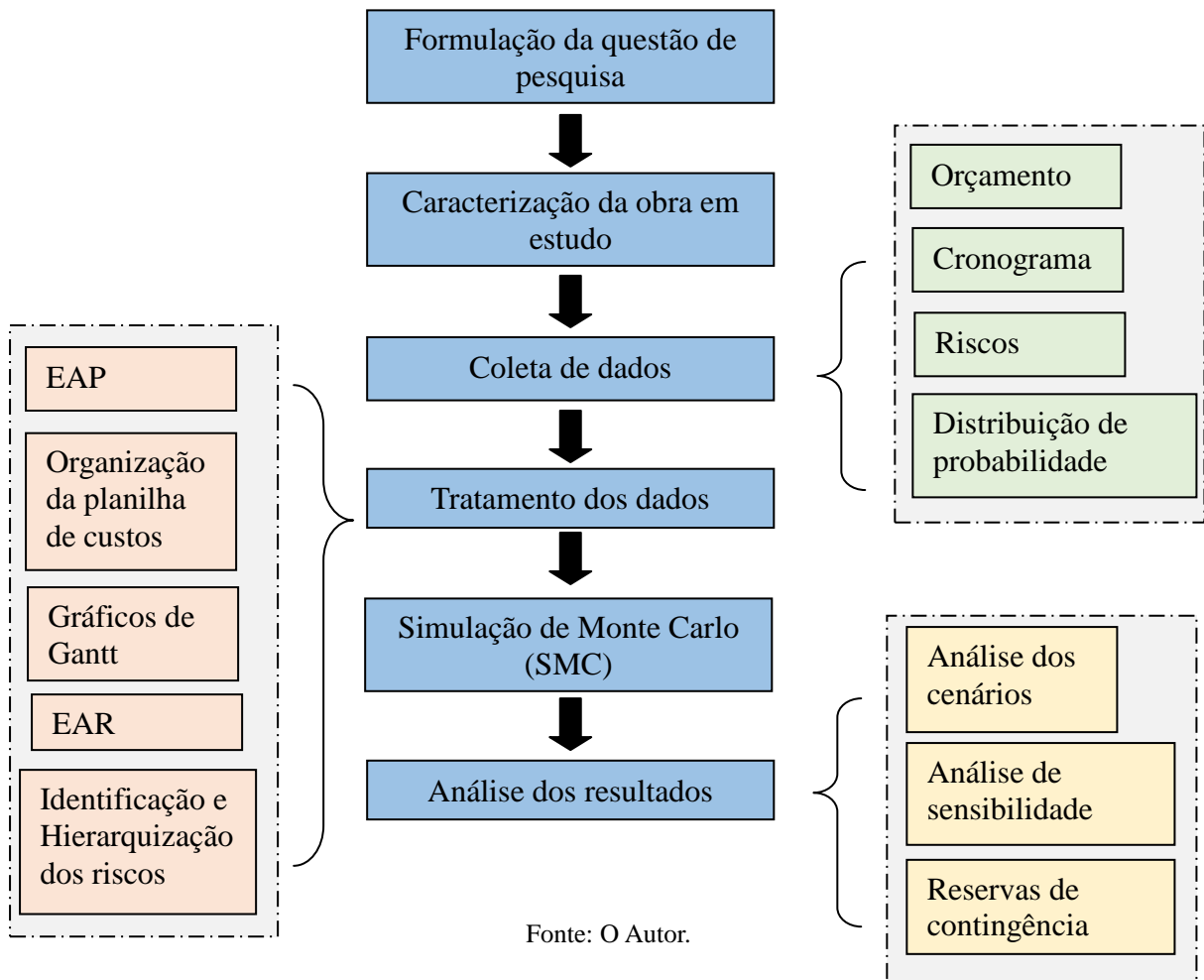
- Triangular: A distribuição triangular apresenta características similares à PERT e possui uma grande vantagem de ser bastante intuitiva, porém apresenta o defeito de apresentar tendências de superestimar os valores das caudas;
- Uniforme: é considerada esta distribuição quando não se há nenhuma pista ou conhecimento das probabilidades dos valores dentro da amplitude, selecionando qualquer valor aleatoriamente dentro da amplitude da distribuição, ou seja, não existe qualquer "preferência". Deve ser evitada em projetos reais cujos valores mínimos e máximos devem ocorrer em raras ocasiões;
- Normal: pode ser utilizada para descrever o efeito do risco. O desafio em utilizá-la está no seu elevado nível de abstração. Enquanto é relativamente fácil definir a média, existe certa dificuldade em definir o desvio padrão. Essa distribuição pode ser uma boa escolha quando os efeitos são provenientes de causas naturais (muitas variáveis).

### 3 DADOS E MÉTODOS

A figura 10 propõe a estruturação da pesquisa, na qual foram determinadas as etapas principais deste trabalho. São elas: a Formulação da questão de pesquisa, a Caracterização da obra em estudo, a Coleta de Dados, o Tratamento de Dados, a Simulação de Monte Carlo e a Análise dos Resultados. As etapas de coleta e tratamento dos dados são relacionadas ao orçamento, cronograma e os riscos de projeto. Esses dados foram utilizados em conjunto com as distribuições de probabilidade como dados de entrada na ferramenta de simulação @risk.

Para a elicitação do modelo proposto nesse trabalho, a seguir serão apresentados a metodologia de cada etapa necessária para o seu desenvolvimento. Ressalta-se nessa pesquisa a revisão bibliográfica, a qual teve como intuito verificar a importância e contribuição do tema. De forma a justificar a relevância do assunto e consolidar o conhecimento científico, além de fornecer subsídios imprescindíveis para a elaboração de um modelo quantitativo de análise de riscos em orçamentos e cronogramas de obras.

Figura 10 – Etapas para elaboração do modelo



### 3.1 Formulação da questão de pesquisa

A revisão bibliográfica foi de suma importância na delimitação da pesquisa, pois a partir dela foi constatado que as aplicações de métodos quantitativos no GR são usualmente utilizadas e apresenta melhor justificativa em obras de grande escala, principalmente de infraestrutura. Essa etapa contribuiu para a instigação do problema de pesquisa, na qual foi identificado o universo do estudo. Deve-se ressaltar que pequenos e médios empreendimentos também podem encontrar vantagens com a utilização das técnicas mencionadas.

Para a pesquisa foi utilizada uma obra de infraestrutura de grande escala do município de Fortaleza/CE caracterizada por seu elevado valor de contrato e pela sua complexidade devido ao fato de ter sido executada em um grande centro urbano, com diversas atividades comerciais e alta densidade demográfica (Figura 11). A análise desse projeto foi útil para comprovar a usabilidade do modelo elaborado e sua capacidade de fornecer informações pertinentes à tomada de decisão por parte dos gestores do contrato.

Figura 11: Obra de grande porte em Fortaleza/CE.



Fonte: Prefeitura de Fortaleza (2019).

As obras de grande escala no país possuem a característica de serem ordinariamente públicas regidas por processos licitatórios expostos por lei, mais precisamente a Lei 8.666/93 – Licitações e Contratos da Administração Pública. Em breve apresentação, obras e serviços de engenharia de grande escala são realizadas pelo Governo com verbas públicas, sendo apresentadas aos interessados por meio de edital divulgados em diário oficial, sendo a modalidade dessas obras a concorrência.

O fato das grandes obras serem públicas e de livre concorrência, levam à uma maior necessidade de planejamento e controle, nos itens que apresentam maior falha em

grandes projetos: orçamento e cronograma. Assim, é necessário gerenciar os riscos desses projetos por meio de um compreensível modelo.

O modelo de gerenciamento de riscos apresenta sua aplicação inicial na fase de planejamento do projeto, porém possui a capacidade de extrapolar esta etapa e ser útil nos processos seguintes de execução, operação, manutenção e controle. Outras informações pertinentes a serem retiradas desse estudo são os principais fatores de risco que podem causar algum efeito nos custos e na duração nos projetos de infraestrutura.

### **3.2 Caracterização da Obra**

O empreendimento escolhido para auxiliar na construção do modelo de gerenciamento de riscos proposto nessa pesquisa foi uma intervenção urbana em uma grande avenida no município de Fortaleza/CE. Tal projeto de grande magnitude é composto por vários projetos complementares desenvolvidos independentes uns dos outros, sendo eles: 7 estações de Bus Rapid Transit (BRT), uma passarela de pedestres em estrutura metálica (mista), a reurbanização da avenida e reforma de um canal localizado no eixo da avenida e a reformulação da rotatória.

A avenida se apresentava com diversas carências de mobilidade e esse projeto teve como principal objetivo o redesenho da via de maneira a otimizar a utilização desse espaço urbano com outros modais de transporte, levando à mudança de seção viária, com redimensionamento das faixas para implantação de faixas exclusivas de ônibus, melhor acesso às novas estações localizadas sobre o canal existente e maior acessibilidade para a população, principalmente pela inclusão da passarela de pedestres sobre a avenida.

A figura 12 representa a maquete eletrônica da seção típica da avenida após as interferências. Destaca-se que os passeios laterais apresentam larguras mínimas de 3,5m e superior, antes eram irregulares e estreitos, foi mitigado o problema com a impermeabilização do solo presentes no entorno com a utilização de piso drenante pré-moldado, os postes foram retirados foi retirado tornando as instalações subterrâneas, correção da inclinação do canal e recomposição do fundo e também a proposta de urbanização apresentou um desenho viário de maneira que o mínimo de desapropriações fossem feitas, levando a maiores desgastes com os moradores, comerciantes e nos custos decorrentes. Ressalta-se a importância dessa análise a nível de planejamento, todas essas informações são importantes para o gestor de riscos tomar suas considerações pertinentes para o modelo. O Quadro 4 apresenta informações técnicas importantes para serem consideradas pelos gestores.

Figura 12-Maquete eletrônica seção viária típica



Fonte: Prefeitura de Fortaleza (2019).

Quadro 4 - Informações técnicas da obra

INFORMAÇÕES TÉCNICAS DA PROPOSTA		
Área de intervenção:	93883,70m <sup>2</sup>	
Área de paisagismo:	6218,71m <sup>2</sup>	
Trecho de intervenção:	1850,00m	
Dimensões da via:	Faixas de rolagem (total):	9,90m
	Faixa exclusiva	3,50m
	Ciclovia	1,20m
	Faixa de serviço	1,00m
	Passeio	2,50m

Fonte: Prefeitura de Fortaleza (2019).

A passarela foi construída devido o problema de segurança viária decorrente da grande circulação de pedestres em grandes centros urbanos. Anteriormente à intervenção foi verificado condições insatisfatórias de segurança para a travessia de pedestres nesse local justificando a sua necessidade de construção. A passarela foi construída com materiais mistos de concreto armado e estrutura metálica.

A rotatória (Figura 13) é mais um projeto integrante do grande projeto apresentado. Segundo a Prefeitura de Fortaleza para a elaboração do projeto da rotatória foi utilizado técnicas de tráfego fundamentadas em modelagem de demanda. Para a priorização o corredor IV do BRT foi proposto um viaduto que conecta a avenida em estudo com a BR-116, com o intuito de eliminar possíveis conflitos com o tráfego da região. O viaduto contempla uma extensão de 353,39m, construído com material misto de concreto armado e terra armada, também foi utilizada estrutura metálica na infra e mesoestrutura. Por fim com o intuito de

evitar a subutilização da área, o que poderia provocar a marginalização do local, foram executadas acessibilidade para pedestres, paisagismo e a construção de uma Skate Park.

Figura 13- Maquete eletrônica rotatória



Fonte: Prefeitura de Fortaleza (2019).

Para o melhor conhecimento do projeto da rotatória o Quadro 5 apresenta informações técnicas da rotatória.

Quadro 5 - Informações técnicas da rotatória.

INFORMAÇÕES TÉCNICAS DO PROJETO DA ROTATÓRIA	
Área de intervenção:	47785,71m <sup>2</sup>
Área de urbanismo:	47785,71m <sup>2</sup>
Extensão rampa norte - viaduto corredor IV:	110,92m
Extensão rampa sul - viaduto corredor IV:	112,46m
Largura do viaduto corredor IV:	17,50m
Área de laje - viaduto corredor IV:	4383,75m <sup>2</sup>
Área de pavimentação CBUQ:	19745,75m <sup>2</sup>
Área de paisagismo:	12780,34m <sup>2</sup>

Fonte: Prefeitura de Fortaleza (2019).

### 3.3 Coleta de dados

Para a etapa inicial da coleta de dados deve-se coletar os documentos do projeto em análise, sendo necessário a busca dos dados em órgãos governamentais ou sites institucionais do edital de lançamento, do programa de necessidade, os projetos e o orçamento de referência. É importante frisar que os valores de custo unitário e quantitativos, que representam os dois principais insumos para elaboração do custo total de cada item, são coletados pela administração pública a partir de sistema de referência de custos (SEINFRA/SINAPI/SICRO) ou pesquisa de mercado.

Foi elaborado uma EAP para a melhor organização dos dados coletados. Com a padronização do projeto a partir da EAP criada, partiu-se para a escolha dos itens do orçamento com maior impacto monetário no orçamento, sendo considerado aqueles itens que somados eram responsáveis por aproximadamente 80% do orçamento total. Nessa etapa houve uma redução de 1000 itens para aproximadamente 150, isso ocorreu para que fosse possível a coleta dos valores mínimos, máximos e mais prováveis de cada custo unitário. Assim definido, para que os especialistas fizessem suas escolhas e considerações a nível de insumo ou composição.

Utilizando as mesmas diretrizes da EAP utilizadas no orçamento foram coletados os valores mínimos, mais prováveis e máximos de cada etapa da obra, assim elaborando o cronograma com auxílio do *software MSproject*.

As informações que foram necessárias para o preenchimento dos dados de entrada para a simulação do problema proposto foram coletadas por meio de planilhas eletrônicas, contemplando 3 planilhas, cada uma com um objetivo de captação de dados específicos: orçamento, cronograma e riscos. No quesito riscos o modelo foi composto pelos fatores de riscos principais identificados em obras de infraestrutura extraídos da bibliografia referente ao assunto.

Para o preenchimento das planilhas participaram 3 engenheiros civis, denominados nesse trabalho com Engenheiro 1, Engenheiro 2 e Engenheiro 3, a Tabela 2 inclui a descrição dos especialistas e suas experiências, assim como a participação distinta deles no trabalho, apenas o Engenheiro 1 participou da etapa de desenvolvimento do modelo, os outros Engenheiros responderam os seguintes questionamentos para o preenchimento das planilhas, os dados distintos dos especialistas serviu para a criação de dois cenários de planejamento de custo, tempo e riscos para o projeto:

1. Qual os valores mínimos, mais prováveis e máximos de preço unitário para os

itens escolhidos do orçamento?

2. Qual os valores mínimos, mais prováveis e máximos de tempo em meses para a execução de cada atividade do cronograma?
3. Qual a escala de probabilidade e impacto para cada fator de risco selecionado?
4. Qual o valor percentual da probabilidade dos fatores de risco com produto P×I maiores que 8?
5. Qual o valor percentual do impacto no custo e no tempo dos fatores de risco com produto P×I maiores que 8?

Todas as respostas foram coletadas em planilhas eletrônicas criadas para a coleta de dados, essas se encontram nos apêndices no final desse trabalho.

Tabela 2 – Descrição dos especialistas.

<b>Especialista</b>	<b>Profissão/Cargos</b>	<b>Experiência</b>
Engenheiro 1	Engenheiro Civil/Coordenador de Obras	35 anos de experiência em elaboração de propostas de licitação em obras municipais, estaduais e federais; planejamento e execução de obras residenciais, comerciais e de infraestrutura.
Engenheiro 2	Engenheiro Civil/Supervisor de Obras	7 anos de experiência em elaboração de orçamentos de obras públicas e particulares, planejamento e execução de obras de ferrovias, rodoviárias, pontes e túneis, adutoras, estruturas metálicas e de concreto armado e predial.
Engenheiro 3	Engenheiro Civil/Gerente de sala técnica e Diretor/Sócio proprietário de empresas	27 anos de experiência em elaboração de propostas de licitação em obras municipais, estaduais e federais; orçamento, planejamento e execução de obras diversas.

Fonte: O Autor.

O primeiro especialista participou apenas das etapas de modelagem, assim foi estabelecido, pois a sua experiência em planejamento de tempo, custos e riscos, poderia contribuir de forma positiva para as diretrizes do modelo, proporcionando um trabalho de maior eficiência. Dentre as suas colaborações destaca-se: a redução da quantidade de itens do orçamento, sendo considerados apenas aqueles que somados agregam 80% ou mais do custo do projeto; devido à dificuldade de apresentar um valor mais provável de ocorrência de um risco sendo mais coerente apresentar apenas uma faixa com valor mínimo e máximo para a ocorrência; a aplicação dos impactos monetários do risco em valores percentuais do



orçamento de custo; e a utilização apenas dos riscos de valores de produto entre probabilidade (1 a 5) e de impacto (1 a 5) acima de 8, sendo os outros desconsiderados para efeito de cálculo do modelo, segundo o Engenheiro 1 a inserção de todos os riscos identificados traria um trabalho exaustivo e não fidedigno.

Finalmente, com o modelo aprovado em sua fase de teste, foram coletados os valores de custo, tempo e riscos identificados pelos Engenheiro 2 e 3, o que serviu de insumo para as discussões dos resultados dessa dissertação.

### 3.4 Tratamento dos dados

- *Custo*

O orçamento de referência coletado no edital de lançamento apresenta estrutura convencional para orçamentos de licitações públicas no Brasil. Apresenta em sua composição colunas com a especificação do item, código do insumo, fonte, setor de reajuste, descrição, unidade, quantidade, preço unitário e preço total. A Figura 14 retrata um exemplo retirado do orçamento estudado nesse trabalho.

Figura 14-Orçamento de referência

ITEM	COD	FONTE	SETOR REAL	DESCRIÇÃO	UNID	QUANT.	P. UNIT	P. TOTAL
<b>1</b>				<b>ADMINISTRAÇÃO LOCAL DA OBRA</b>				<b>R\$ 6.650.385,44</b>
<b>1.1</b>				<b>GERÊNCIA DA OBRA</b>				
1.1.1	18583	SEINFRA	ÍNDICE NACIONAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL	ENGENHEIRO RESPONSÁVEL TÉCNICO (ENGENHEIRO PLENO)	HXMÉS	16,00	22.325,93	357.214,88
1.1.2	18597	SEINFRA	ÍNDICE NACIONAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL	GERENTE ADMINISTRATIVO FINANCEIRO	HXMÉS	16,00	6.427,16	102.834,56
1.1.3	18598	SEINFRA	ÍNDICE NACIONAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL	AUXILIAR ADMINISTRATIVO	HXMÉS	80,00	2.857,92	228.633,60
1.1.4	18600	SEINFRA	ÍNDICE NACIONAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL	ALMOXARIFE	HXMÉS	16,00	5.006,42	80.102,72
1.1.5	18617	SEINFRA	ÍNDICE NACIONAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL	VIGIA	HXMÉS	80,00	2.455,02	196.401,60
1.1.6	18610	SEINFRA	ÍNDICE NACIONAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL	COMPUTADOR	UNXMÉS	128,00	176,29	22.565,12
1.1.7	18611	SEINFRA	ÍNDICE NACIONAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL	IMPRESSORA	UNXMÉS	64,00	15,56	995,84
1.1.8	18616	SEINFRA	ÍNDICE NACIONAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL	INTERNET	UNXMÉS	16,00	134,81	2.156,96
1.1.9	18613	SEINFRA	ÍNDICE NACIONAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL	TELEFONE FIXO	UNXMÉS	48,00	264,44	12.693,12
1.1.10	18614	SEINFRA	ÍNDICE NACIONAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL	TELEFONE MÓVEL	UNXMÉS	32,00	238,51	7.632,32
1.1.11	18606	SEINFRA	ÍNDICE NACIONAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL	VEÍCULO LEVE C/ COMBUSTÍVEL E MOTORISTA	UNXMÉS	32,00	6.014,60	192.467,20
<b>1.2</b>				<b>ENGENHARIA / PRODUÇÃO</b>				
1.2.1	18584	SEINFRA	ÍNDICE NACIONAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL	ENGENHEIRO PREPOSTO (ENGENHEIRO JÚNIOR)	HXMÉS	16,00	14.884,51	238.152,16

Fonte: Prefeitura de Fortaleza (2019)

O orçamento de referência que apresentava um número superior a 1000 insumos foi reduzido para 151 insumos, o critério para escolha desses 151 insumos, foi a sua representação no custo total, sendo os seus valores somados aproximadamente 80% do orçamento total.

Com os insumos determinados partiu-se para a coleta dos valores de preço unitário, determinados pelo engenheiro. Foram coletados 3 valores de preço unitários: valor mínimo, mais provável (MP) e valor máximo, os preços unitários de referência foram expostos para os engenheiros de forma que fossem utilizados como base para o preenchimento da planilha. A Tabela 3 configura um exemplo da planilha após o preenchimento.

Tabela 3-Exemplo de planilha para preenchimento

Item	Descrição	Un	Quant.	P. Unit. Mín.	P. Unit. MP	P. Unit. Máx.
<b>1</b>	<b>Administração local da obra</b>					
<b>2</b>	<b>Serviços preliminares</b>					
2.1	Taxas e emolumentos					
2.2	Instalações provisórias					
	Tapume de chapa de madeira compensada e=6mm c/ abertura e portão	m2	4617,69	R\$ 79,46	R\$ 82,45	R\$ 99,33
	Escritório administrativo e da fiscalização	m2	1232	R\$ 585,87	R\$ 704,02	R\$ 732,34
	Tapume de estrutura de madeira c/ fechamento em chapa de aço galvanizado de 0,5mm e altura de 2m	m2	1116	R\$ 140,47	R\$ 146,37	R\$ 175,59
	Adequação de projeto de desvio de tráfego às condições locais	UT	2000	R\$ 25,46	R\$ 26,93	R\$ 31,83
	Placa de regulamentação/advertência refletiva de aço galvanizado c/ película anti-pichante	m2	400	R\$ 606,59	R\$ 663,87	R\$ 758,24
	Fabricação e aplicação de concreto betuminoso usinado quente (CBUQ), cap 50/70, exclusive transporte	T	1000	R\$ 177,10	R\$ 181,08	R\$ 221,38
	Faixa horizontal/tinta reflexiva/resina acrílica	m2	5000	R\$ 16,41	R\$ 17,30	R\$ 20,51
<b>3</b>	<b>Vias BRT</b>					
3.1	Serviços preliminares para execução da via					
	Demolição de pavimentação asfáltica com martetele pneumático	m2	50095,8	R\$ 12,98	R\$ 14,48	R\$ 16,23
	Demolição de concreto armado com martetele pneumático	m3	1182,65	R\$ 322,04	R\$ 359,37	R\$ 402,55
	Transporte de material exceto rocha em caminhão até 10km	m3	12312,55	R\$ 20,61	R\$ 23,70	R\$ 25,76
	Indenização de bota fora licenciado p/ recebimento de material	m3	688,22	R\$ 243,14	R\$ 279,59	R\$ 303,93
	Carga manual de entulho em caminhão basculante	m3	12312,55	R\$ 11,90	R\$ 12,62	R\$ 14,88

Fonte: O Autor.

Vale ressaltar que ao preencher as planilhas o especialista poderia se abster de preencher valores, quando isso ocorresse, deveria ser considerado o valor proposto pelo orçamento de referência como uma variável discreta, por exemplo o item 1 representado pela “Administração da local da obra” foi representado no modelo como uma variável discreta de valor R\$ 6.650.384,44, exatamente o valor estimado pelo órgão público.

Outra consideração importante nessa etapa, foi a necessidade de se utilizar um coeficiente de majoração dos custos do modelo. Isso ocorreu devido ao fato do modelo ter sido compostos por apenas 15% dos insumos orçamento real, que representavam 80% do valor total. Sendo assim, os valores totais encontrados para os itens “2-Serviços preliminares”, “3-Vias BRT”, “4-Passarela ” e “5-Rotatória ” foram multiplicados pelo fator  $\alpha=1,25$ .

- **Tempo**

Para a elaboração do cronograma foi analisado o escopo do projeto, que está presente na EAP explorada anteriormente, de forma a definir todas as etapas que consumiriam tempo no projeto o que levou à retirada do item “Administração da obra” por ser um item que não leva tempo na obra. Inicialmente, durante a etapa de teste com o Engenheiro 1 cada atividade das 4 etapas (Serviços preliminares, Vias BRT, Passarela e Rotatória) do projeto escolhido foram dispostas sequencialmente.

Para cada atividade deve-se definir um valor mínimo, mais provável e máximo de duração, a partir da experiência do especialista. Foi definido que os valores de tempo desse projeto seriam em meses, sendo assim o “ mês” a unidade de medida do cronograma. Além, dos prazos foi coletado uma disposição lógica de dependência entre as atividades, optou-se nesse trabalho por usar sempre as mesmas dependências definidas pelo primeiro especialista, os diagramas de Gantt estão presentes dos apêndices desse trabalho.

Com as informações coletadas, partiu-se para a exportação desses dados para um software adequado para a análise dos prazos e dependências de um projeto. Nesse caso, foi utilizada a ferramenta *MSproject*, na qual as atividades foram dispostas de forma ordenada e com dependência a dependência entre elas representadas. Para a o projeto foi utilizada a data de início de 04/01/2016, o Quadro 6 representa como as atividades foram ordenadas.

Na coluna das “Predecessoras”, o número que se apresentam solitários deve-se considerar que a relação de dependência é de término-início, ou seja, para que se inicie a atividade sucessora a atividade antecessora deve ter sido concluída por completo. Nos números seguidos das siglas II as atividades possuem relação de precedência início-início, ou seja, estas atividades são iniciadas no mesmo período.

Quadro 6- Ordenação das atividades com as durações mais prováveis e dependências.

<i>Nome da Tarefa</i>	<i>Duração</i>	<i>Início</i>	<i>Término</i>	<i>Atividade Predecessora</i>
<b>PROJETO DE INFRAESTRUTURA</b>	22,05 meses	04/01/16	11/09/17	
<b>SERVIÇOS PRELIMINARES</b>	2 meses	04/01/16	29/02/16	
<b>VIAS BRT</b>	19,25 meses	04/01/16	23/06/17	
SERVIÇOS PRELIMINARES PARA EXECUÇÃO DA VIA	6 meses	04/01/16	20/06/16	
TERRAPLENAGEM	12 meses	20/06/16	22/05/17	4
PAVIMENTAÇÃO VIA	12 meses	02/05/16	31/03/17	
SINALIZAÇÃO DO SISTEMA VIÁRIO	3 meses	03/04/17	23/06/17	6
DRENAGEM	12 meses	20/06/16	22/05/17	4
IMPLANTAÇÃO DE LAJE SOBRE CANAL EXISTENTE	4 meses	12/09/16	02/01/17	10
FUNDAÇÕES E ESTRUTURA CANAL EXISTENTE	3 meses	20/06/16	12/09/16	4
IMPERMEABILIZAÇÃO	1,5 meses	12/09/16	24/10/16	10
URBANIZAÇÃO E PAISAGISMO	1,5 meses	03/04/17	12/05/17	6
INSTALAÇÕES	7 meses	20/06/16	02/01/17	4
ESTAÇÃO BRT	7 meses	02/01/17	17/07/17	9
SERVIÇOS COMPLEMENTARES	1,5 meses	02/01/17	13/02/17	9
<b>PASSARELA</b>	17,55 meses	04/01/16	08/05/17	
SERVIÇOS PRELIMINARES	2 meses	04/01/16	29/02/16	
MOVIMENTO DE TERRA	5 meses	04/01/16	23/05/16	
FUNDAÇÕES	1,5 meses	01/02/16	14/03/16	
ESTRUTURA DE CONCRETO	2,5 meses	14/03/16	23/05/16	19
ESTRUTURA METÁLICA	4 meses	23/05/16	12/09/16	20
REVESTIMENTOS (FORRO, PAREDE E PISO)	1,5 meses	05/12/16	16/01/17	25
IMPERMEABILIZAÇÃO	1 mês	01/02/16	29/02/16	19II
DIVERSOS	4 meses	05/12/16	27/03/17	22II
COBERTA	3 meses	12/09/16	05/12/16	21
INSTALAÇÕES	5 meses	05/12/16	24/04/17	22II
LIMPEZA FINAL	0,5 meses	24/04/17	08/05/17	26
<b>ROTATÓRIA</b>	22,05 meses	04/01/16	11/09/17	
SERVIÇOS PRELIMINARES	3 meses	04/01/16	28/03/16	
TERRAPLENAGEM	4 meses	01/02/16	23/05/16	
INFRAESTRUTURA/MESOESTRUTURA	4 meses	01/02/16	23/05/16	
SUPERESTRUTURA	8 meses	23/05/16	02/01/17	31
TERRA ARMADA - PERÍMETRO GEOMÉTRICO ROTATÓRIA	3 meses	23/05/16	15/08/16	31
PAVIMENTAÇÃO	4 meses	02/01/17	24/04/17	32
SINALIZAÇÃO DO SISTEMA VIÁRIO	1,5 meses	02/01/17	13/02/17	34II
DRENAGEM	4 meses	01/02/16	23/05/16	30II
URBANIZAÇÃO E PAISAGISMO	3 meses	24/04/17	17/07/17	34
INSTALAÇÕES	6 meses	01/02/16	18/07/16	31II
SERVIÇOS COMPLEMENTARES	3 meses	02/01/17	24/03/17	
PISTA DE SKATE	5 meses	24/04/17	11/09/17	37II

Fonte: O Autor.

- **Riscos**

O procedimento inicial dessa etapa foi a prospecção de fatores de risco em trabalhos que abordassem como tema obras de infraestrutura. Os riscos escolhidos foram os que poderiam causar tanto problema de atraso nos serviços como na extrapolação do orçamento planejado. Todos os riscos de projeto escolhidos para o modelo foram provenientes dos trabalhos de Idrus, Nuruddin e Rohman (2011), Alarcón *et al* (2011) e Choudry *et al* (2014).

Para a melhor organização dos fatores de risco identificados partiu-se para a criação de uma EAR, ela foi dividida em 7 grupos de riscos, esses grupos basicamente dividem os riscos a partir da sua fonte. Inicialmente, foram identificados 28 riscos, que após uma triagem e verificação das suas capacidades de impacto no projeto em estudo, foram definidos 19 riscos, e ocorreu a exclusão dos grupos de risco “Contratual” restando 6 que integraram a EAR do projeto.

Com os riscos identificados partiu-se para a criação da planilha que integraria todos os dados pertinentes para a utilização do modelo. Foram considerados para cada risco 5 parâmetros, dois deles representavam a “Probabilidade” e o “Impacto” em legenda nominal e escala numérica, sendo assim a “Probabilidade” apresentou os níveis: “1-Rara”, “2-Baixa”, “3-Média”, “4-Alta” e “5-Muito provável”. Já o “Impacto” foi classificado em: “1-Muito Baixo”, “2-Baixo”, “3-Médio”, “4-Alto” e “5-Muito impactante”. Cada risco recebeu um valor de 1 a 5 pelo especialista para esses dois parâmetros.

Esses dois parâmetros iniciais foram utilizados para a criação de um “Fator de Potencialidade (FP)”, que é resultado da multiplicação da “Probabilidade” pelo “Impacto”. O FP foi representado em uma matriz de riscos 5x5, representada pela Figura 15 seguir:

Figura 15 - Matriz de Riscos Modelo

5-Muito Provável					
4-Alta					
3-Média					
2-Baixa					
1-Rara					
	1-Muito Baixo	2-Baixo	3-Médio	4-Alto	5-Muito impactante

Fonte: O Autor.

Os riscos que apresentarem produto maior do que 8 são considerados riscos potenciais para o projeto e devem ser incluídos na simulação dos riscos do projeto.

Os outros três parâmetros contemplam a representação da probabilidade e do impacto em valores numéricos, no primeiro caso a unidade foi o “percentil (%)” e no segundo caso foi dividido em dois tipos de parâmetro monetário (\$) e tempo (mês). Para os valores monetários foi instruído aos especialistas que utilizassem esses valores em valor percentual do orçamento de custos do projeto. Para o preenchimento desses valores deve-se usar valores mínimos e máximos para cada item.

### **3.5 Simulações de Monte Carlo (SMC)**

Para o objetivo proposto nessa pesquisa, as variáveis consideradas foram o custo dos itens do orçamento modelo, duração de cada tarefa para execução do projeto conforme o escopo definido pela EAP do projeto selecionado e os impactos traduzidos em tempo e custo dos riscos potenciais selecionados pela matriz de riscos. Esses dados foram ajustados a partir de distribuições probabilísticas, dentre elas foi usado a PERT, Triangular e Uniforme sendo feita uma análise dos resultados a partir de cada.

Foram executadas simulações distintas para cada cenário apresentado nesse trabalho. O orçamento e o cronograma foram simulados com a utilização da distribuição PERT, pois retratariam melhor o conhecimento do especialista, além de fornecer valores com menores variâncias. Já os riscos foram simulados com a distribuição triangular e uniforme.

Para transformar essa etapa viável, foi utilizado um software computacional que se apropria dos conceitos probabilísticos do método de Monte Carlo. O software utilizado foi o @RISK, fabricado pela Palisade, o qual é capaz de executar análises de risco.

Apresentando uma interface amigável e de fácil manuseio, além de estar traduzido para vários idiomas dentre eles o português, o Autor desse trabalho optou pela sua utilização, ressalta-se que o mesmo se apresenta como uma extensão de softwares de planilha eletrônica.

Tabela 04 representa como o método de Monte Carlo se aplica na análise dos riscos de um projeto. Em uma determinada situação hipotética, o modelo extrai aleatoriamente valores para os custos base de etapas de uma obra. O modelo então testa cada iteração com os riscos aplicados a cada etapa, os quais são representados pela equação  $PxI$ , sendo o impacto também inserido como variável contínua.

Para cada etapa da obra são definidos os seus valores de custo e tempo com suas amplitudes determinadas por especialistas, sendo que aquela determinada etapa possui 100%

de probabilidade de estar naquele intervalo. A utilização da probabilidade de 100% significa que durante a simulação um valor dentro da amplitude considerada sempre será extraído e usado nos cálculos.

Tabela 4-Exemplo de aplicação da Simulação de Monte Carlo

Etapa da Obra	E1	E2	E3	E1	E2	E3	Σ
Amplitude (Milhão)	0,5 - 1,5	0,2-0,4	1,5-2,5	0,1-0,3	0,2-0,4	0,15-0,25	
(%)	100%	100%	100%	P1(25%)	P2(40%)	P3(80%)	
Iteração	Custo Base			Custo do Risco em caso de ocorrência			
1	0,7	0,4	1,5	0,2	0,4	0,17	3,37
2	0,5	0,3	1,8	-	0,2	0,21	3,01
3	1,2	0,3	2,4	0,15	-	0,24	4,25
...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...
10.000	0,9	0,2	2,1	0,3	0,25	-	3,75

Fonte: O Autor.

O lado dos riscos se comporta de maneira diferente. Um risco é caracterizado pela sua probabilidade de ocorrência que ditará quando o risco ocorrerá. E com a determinação dos valores de impacto em caso de ocorrência. A Tabela 4 representa como a simulação de Monte Carlo funciona, cada linha representa um caso plausível denominado de iteração. A vantagem do método de Monte Carlo é a sua possibilidade de executar milhares de iterações em curto período de tempo (SADEGHI; FAYEK; PEDRYCZ, 2010).

A utilização do software possibilita a execução desse processo milhares de vezes, podendo extrair cenários e probabilidades a partir de um gráfico tomado como output do sistema. Para esse trabalho foram utilizadas 1.000 iterações para cada simulação feita.

O valor escolhido em cada iteração depende de um número aleatório e do tipo de distribuição. Se o exemplo apresentasse como distribuição de probabilidade escolhia a uniforme, cada número apresentaria a mesma probabilidade de ocorrência, não apresentando nenhuma preferência. Finalmente, quando todas as iterações forem completadas o modelo cria um banco de dados para análise dos valores.

Na avaliação dos riscos os valores de custo e duração foram representados, nas unidades de R\$ e Mês respectivamente, foram expostos como impactos e inseridos alguns como distribuição uniforme outros como triangular, com um valor mínimo e máximo, definido pelo especialista. Já probabilidade de ocorrência tornou-se a probabilidade  $p$  de

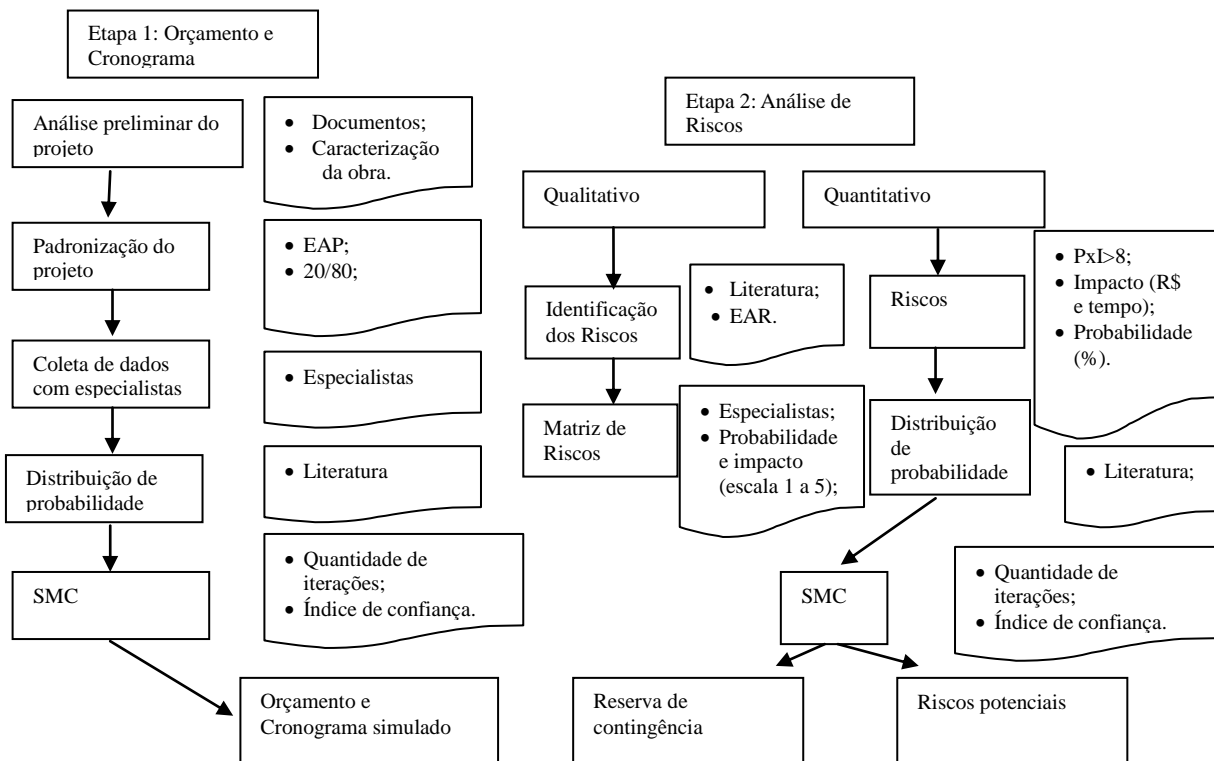
sucesso em uma distribuição de Bernoulli, sendo assim os dois parâmetros de entrada um inserido como uma distribuição contínua e o outro como uma distribuição de Bernoulli discreta foram multiplicados em 1.000 interações, formando como output a soma de todos os impactos em R\$ e em Mês.

Após a simulação executada foram retiradas do modelo os custos e durações do projeto para um intervalo de 80% de confiança, o que representa, que o projeto possui 80% de probabilidade de estar contido dentro daquele intervalo. A esses valores foram acrescentados os riscos estimados traduzidos para valor monetário e em meses. Com essa soma é possível elaborar análise mais eficaz do contingenciamento e de tomada de decisão do projeto.

Finalmente, com os dados obtidos foi realizado a sua análise o que permitiu a retirada de considerações do modelo proposto e seu potencial de atuação para a tomada de decisão para o planejador, o contratado e o contratante de um projeto de grande porte de infraestrutura.

Todos os processos supracitados estão representados pelo *framework* (Figura 16) apresentado a seguir:

Figura 16 - *Framework* do modelo.



Fonte: O Autor



### 3.6 Análise dos Resultados

- **Análise de cenários**

Os resultados foram analisados em dois cenários, com o objetivo de apresentar situações diferentes em que um projeto pode enfrentar. Nesse caso, os cenários apresentaram dois especialistas diferentes e com experiências distintas. Essa análise finda por trazer resultados comparativos, além de asseverar as discussões do trabalho.

- **Análise de sensibilidade**

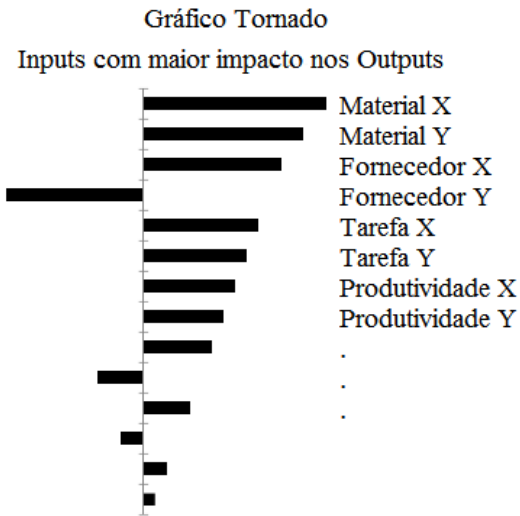
A análise de sensibilidade tem a finalidade de verificar se os resultados são confiáveis ao verificar se o modelo é sensível a possíveis mudanças das variáveis. Sendo, assim os dados serão modificados pelo autor para melhor análise e comparação com os dados simulados, a partir das informações dos especialistas. Será utilizado o gráfico de tornado para a representação dessa etapa.

Muitos gerentes de risco concordam que as análises de sensibilidade fornecem resultados de modelagem mais valiosos. A capacidade de observar como as principais variáveis de saída variam com as alterações nos parâmetros de entrada ajuda na validação do modelo e na interpretação dos resultados (ALARCÓN *et al.*, 2011).

Um tipo de gráfico eficaz na análise de sensibilidade é o “Gráfico de Tornado”, a Figura 17 representa de forma genérica essa ferramenta. O Gráfico ilustra de cima para baixo os dados de entrada que apresentam maior impacto nos resultados das variáveis de saída. Segundo Alarcón *et al* (2011) é possível ao gestor do projeto analisar as potenciais vantagens de aceitar o risco ou evita-lo. Ele também pode começar a entender melhor onde fazer os investimentos para mitigação dos riscos.

No trabalho a variável de saída a ser analisada será o “Output Média”, os gráficos apresentados no trabalho representaram os dados de entrada com maior importância na variação da média dos custos, da duração, dos atrasos e dos custos devido aos riscos.

Figura 17-gráfico tornado genérico



Fonte: Adaptado de Alarcón *et al.* (2011).

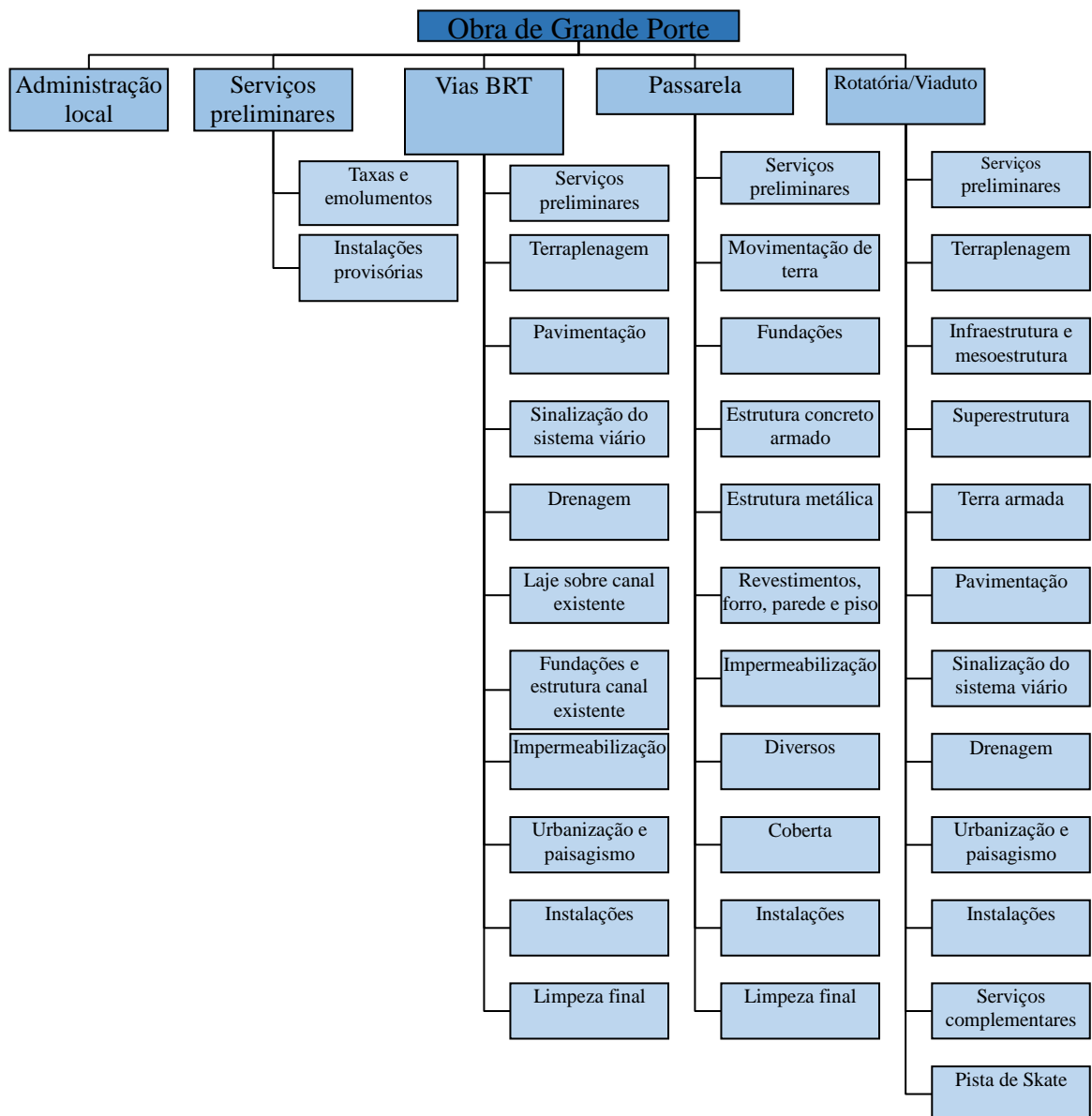
- **Reservas de contingência**

As reservas de contingências foram determinadas após a simulação e análise dos riscos identificados. São representadas pelos valores dos impactos dos riscos somados. Ressalta-se que as reservas representam um valor em reais (R\$) e em meses.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo apresenta e discute os resultados obtidos, sendo de grande importância para a obtenção das conclusões do estudo elaborado e executado, além de fomentar trabalhos posteriores na área em destaque. Dessa forma, esta etapa se inicia com a apresentação da EAP (Figura 18), que serviu de base para a elaboração e organização do orçamento e cronograma do trabalho. Em seguida, serão apresentados os resultados das simulações dos orçamentos e do cronograma em cada cenário.

Figura 18 - EAP obra de grande porte



Fonte: O Autor.

Em outra ocasião, são apresentados os riscos identificados pelos especialistas, apresentados em valores de probabilidade e impacto. Posteriormente, os impactos de custo provenientes dos riscos são acrescidos ao valor encontrado na simulação do orçamento, apresentando insumo para as discussões e gerando resultados para a tomada de decisão. O mesmo procedimento foi repetido com a análise do cronograma, fornecendo uma análise de riscos completa das estimativas de custo e tempo em um projeto de infraestrutura de grande escala.

Para o desenvolvimento dessa etapa foi definido alguns valores que serão tratados como parâmetros de comparação com os resultados obtidos pelo modelo. Primeiro, o valor de referência estipulado pelo edital de abertura da obra em estudo será denominado VR, representado pela soma do custo de referência (CR) com o BDI de 25% estimado pelo órgão responsável. Os valores são representados a seguir (Tabela 5):

Tabela 5: Parâmetros do orçamento de referência

<b>Custo de Referência (CR)</b>	<b>BDI</b>	<b>Valor de Referência (VR)</b>
R\$ 88.448.113,08	25%	R\$ 110.560.141,35

Fonte: O Autor.

O edital foi licitado e vencido pela modalidade de concorrência pela construtora A pelo valor de R\$ 94.420.569,99. Tal valor apresentou um desconto de 14,6% do VR. Outro parâmetro importante a ser mencionado é o prazo de execução (PE) que foi determinado pelo órgão responsável em 16 meses a contar da assinatura da ordem de serviço.

A obra de infraestrutura em questão foi iniciada em janeiro de 2016 e foi concluída em dezembro de 2018, com um prazo de execução de 36 meses.

#### **4.1 Simulação do custo**

- **Cenário 1**

Nessa etapa foram simulados os valores dos custos a partir das informações do especialista 1, os valores encontrados serviram de base a tomada de decisão e a discussão dos resultados desse trabalho. Tabela 6 apresenta apenas os itens macros, os quais representam todos os seus subitens (insumos e composições) que somados constituem um total de 80% do valor do item macro.

Tabela 6: Dados de custo cenário 1

<b>Orçamento de Custos</b>				
<b>Item</b>	<b>Descrição</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Valor Mais Provável</b>	<b>Valor Máximo</b>
<b>1</b>	<b>Administração da Obra (R\$)</b>	6.650.385,44 0%	6.650.385,44	6.650.385,44 0%
<b>2</b>	<b>Serviços Preliminares (R\$)</b>	2.026.601,92 (-17%)	2.433.965,72	2.610.242,77 (+7%)
<b>3</b>	<b>Vias BRT (R\$)</b>	30.871.852,28 (-10%)	34.302.058,09	36.017.160,99 (+5%)
<b>4</b>	<b>Passarela (R\$)</b>	1.472.945,20 (-10%)	1.633.846,15	1.714.296,62 (+5%)
<b>5</b>	<b>Rotatória (R\$)</b>	22.263.274,91 (-10%)	24.732.204,52	25.966.669,33 (+5%)
<b>Custo Total (R\$)</b>		<b>63.285.059,75</b>	<b>69.752.459,91</b>	<b>72.958.755,15</b>

Fonte: O Autor.

Esse cenário não apresentou variação no item 1, sendo considerado para o estudo o valor do CR. Os demais itens apresentaram variações quanto aos seus valores mínimos e máximos, sendo o item 2 (Serviços Preliminares) com maior variação negativa de 23% assim como maior variação positiva de 7%. O somatório dos valores apresentou 3 parâmetros importantes o Custo Total Mínimo de R\$ 63.285.059,75, valor 10% inferior ao Custo Mais Provável; o Custo Mais Provável apresentado na Tabela 6; e o Custo Máximo, 5% superior ao Custo Mais Provável.

Com esses dados foram determinadas as distribuições (PERT, Triangular e Uniforme) para cada item e assim gerada a Tabela 7. Os custos totais foram os outputs encontrados para um intervalo de confiança de 80%, os Gráficos (1, 2 e 3) corroboram com os valores encontrados, após uma simulação com 1000 iterações.

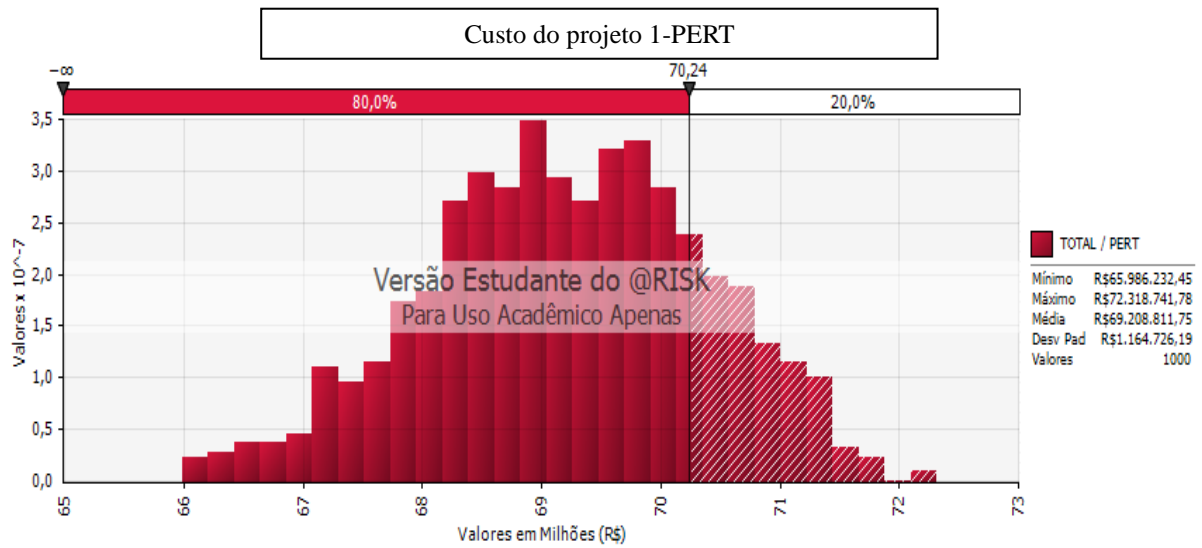
Tabela 7 -Resultados para diferentes distribuições cenário 1

<b>Item</b>	<b>Descrição</b>	<b>PERT</b>	<b>Triangular</b>	<b>Uniforme</b>
<b>1</b>	<b>Adm. da Obra (R\$)</b>	6.650.385,44	6.650.385,44	6.650.385,44
<b>2</b>	<b>Serviços Preliminares (R\$)</b>	2.395.451,26	2.356.936,80	2.318.422,35
<b>3</b>	<b>Vias BRT (R\$)</b>	34.016.207,60	33.730.357,12	33.444.506,64
<b>4</b>	<b>Passarela (R\$)</b>	1.620.437,73	1.607.029,32	1.593.620,91
<b>5</b>	<b>Rotatória (R\$)</b>	24.526.460,39	24.320.716,25	24.114.972,12
<b>C. Total (IC=80%)</b>		<b>70.238.594,50</b>	<b>69.911.065,73</b>	<b>69.883.603,11</b>

Fonte: O Autor.

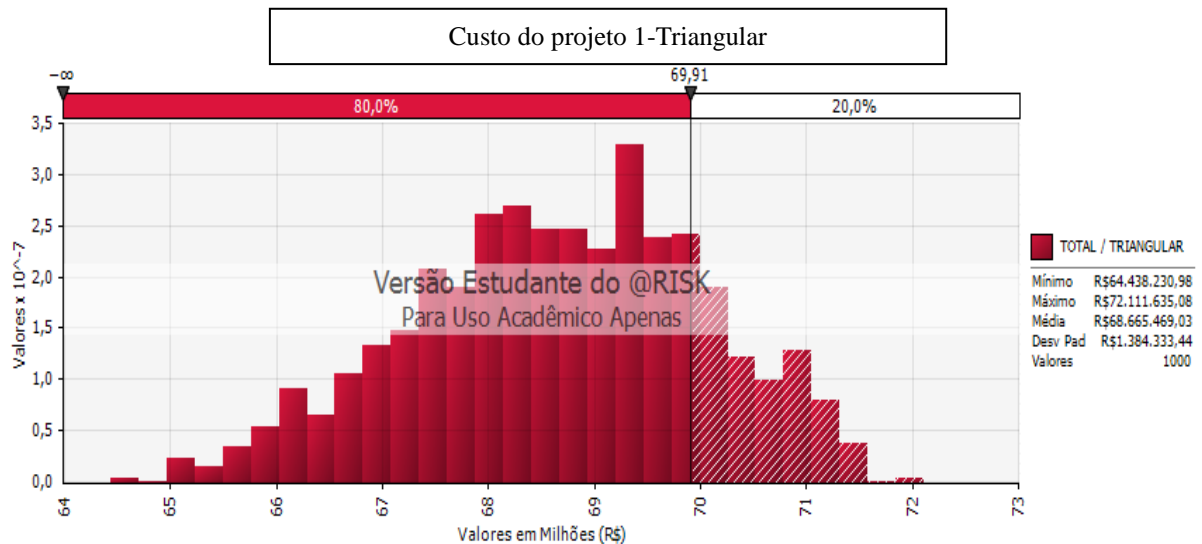
Os resultados simulados apresentaram baixas variações com o valor estimado pelo mesmo para o Valor Mais Provável, sendo as variações para PERT, Triangular e Uniforme, respectivamente: 0,70%; 0,23%; e 0,19%. Os baixos valores apresentados representam que segundo o conhecimento do especialista existe uma alta probabilidade de o orçamento estar contido dentro desses valores.

Gráfico 1- Custo total PERT 1



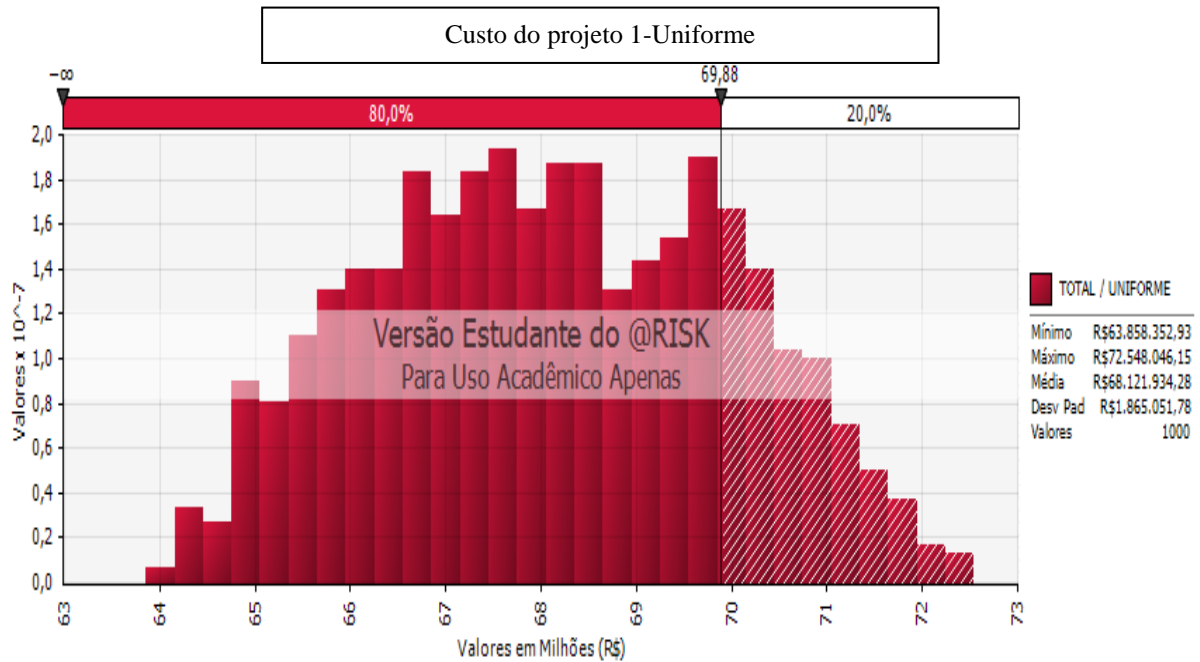
Fonte: O Autor.

Gráfico 2- Custo total triangular 1



Fonte: O Autor.

Gráfico 3- Custo total Uniforme 1



Fonte: O Autor.

- **Cenário 2**

Os itens do orçamento apresentaram variações em relação ao cenário 1 nos seus valores mínimos e máximos, sendo o item 2 com maior variação negativa de 23% e o item 5 com maior variação positiva de 18%. O somatório dos valores apresentou 3 parâmetros importantes o Custo Total Mínimo de R\$ 69.515.7875,51, valor 10% inferior ao Custo Mais Provável; o Custo Mais Provável apresentado na Tabela 8; e o Custo Máximo, 16% superior ao Custo Mais Provável.

Em seguida, estão representados os valores estimados. Os valores apresentaram uma grande diferença para os valores mínimos, mais provável e máximo, em relação cenário 1, respectivamente de: 8,96%; 9,38%; e 18,11%. Esses valores representam que o especialista se apresenta um gestor mais conservador e menos susceptível aos riscos inerentes aos erros de estimativa do orçamento.

Tabela 8 –Dados de custo cenário 2

Item	Descrição	Valor Mínimo	Valor Mais Provável (VMP)	Valor Máximo
1	Administração da Obra (R\$)	6.650.385,44 0%	6.650.385,44	6.650.385,44 0%
2	Serviços Preliminares (R\$)	1.633.305,80 (-23%)	2.128.207,21	2.473.658,60 (+16%)
3	Vias BRT(R\$)	35.341.848,67 (-9%)	38.860.591,26	45.477.123,68 (+17%)
4	Passarela (R\$)	1.560.811,77 (-12%)	1.765.608,45	2.072.803,47 (+17%)
5	Rotatória (R\$)	24.329.433,84 (-12%)	27.567.637,23	32.424.942,31 (+18%)
<b>C. Total (R\$)</b>		<b>69.515.785,51</b>	<b>76.972.429,59</b>	<b>89.098.913,50</b>

Fonte: O Autor.

Com esses dados foram determinadas as distribuições (PERT, Triangular e Uniforme) para cada item e assim gerada a Tabela 9 a seguir. Os custos totais foram os outputs encontrados após uma simulação de 1000 iterações.

Tabela 9-Resultados para diferentes distribuições cenário 2

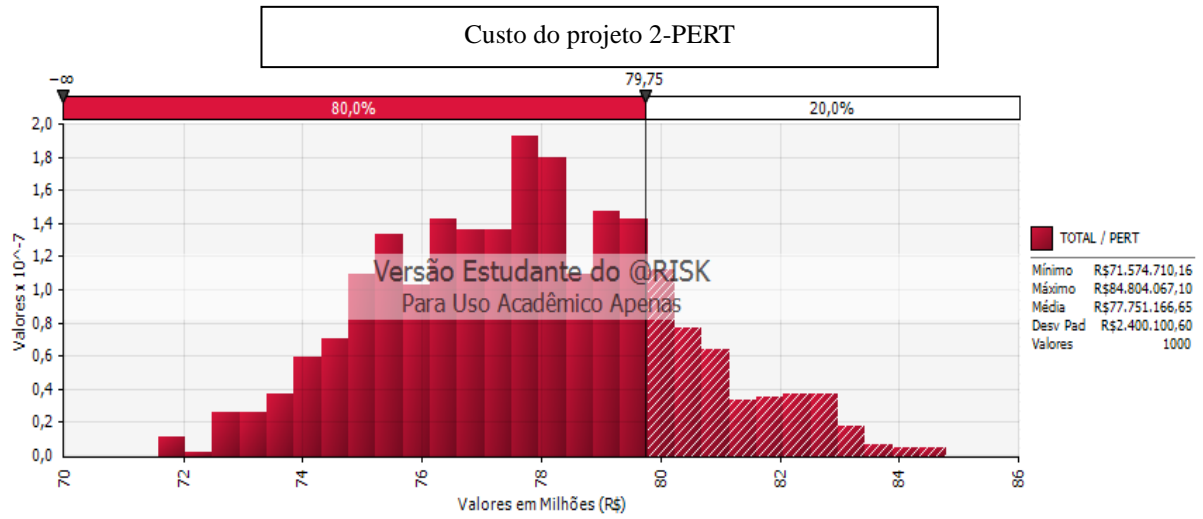
Item	Descrição	PERT	Triangular	Uniforme
1	Adm. da Obra (R\$)	6.650.385,44	6.650.385,44	6.650.385,44
2	Serviços Preliminares (R\$)	2.103.298,87	2.078.390,53	2.053.482,20
3	Vias BRT(R\$)	39.376.889,57	39.893.187,87	40.409.486,17
4	Passarela(R\$)	1.782.674,84	1.799.741,23	1.816.807,62
5	Rotatória (R\$)	27.837.487,51	28.107.337,79	28.377.188,08
<b>C. Total (R\$) (IC=80%)</b>		<b>79.750.645,62</b>	<b>80.897.497,75</b>	<b>82.647.541,76</b>

Fonte: O Autor.

Os resultados simulados apresentaram valores altos de variação em relação ao VMP, sendo as variações para PERT, Triangular e Uniforme, respectivamente: 3,61%; 5,10%; 7,37%. Isso ocorreu devido às maiores margens consideradas pelo especialista, assim como a sua menor susceptibilidade ao risco, que acaba elevando os valores das análises. Os Gráficos (4,5 e 6) representam os resultados do software @risk.

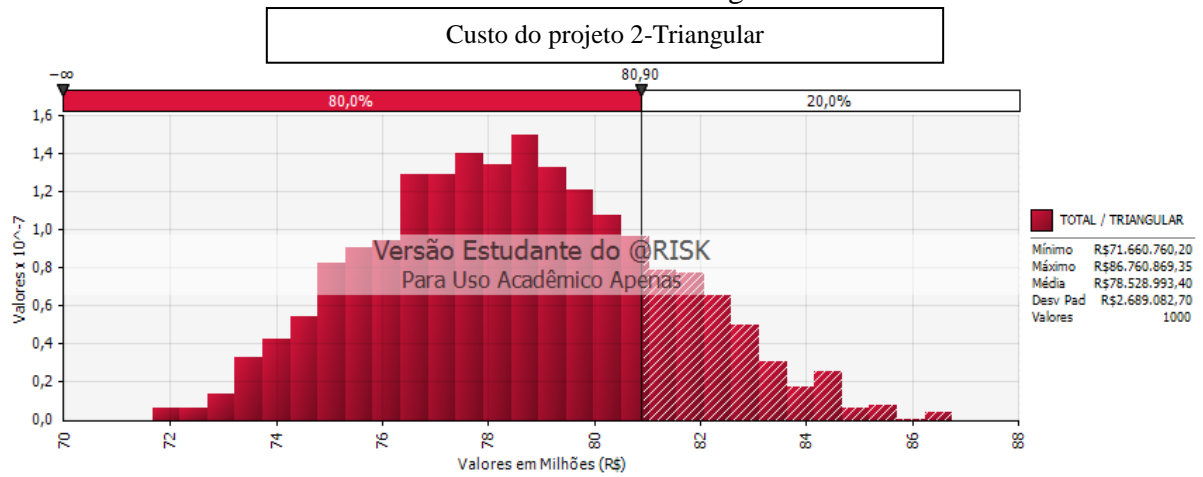


Gráfico 4- Custo total PERT 2



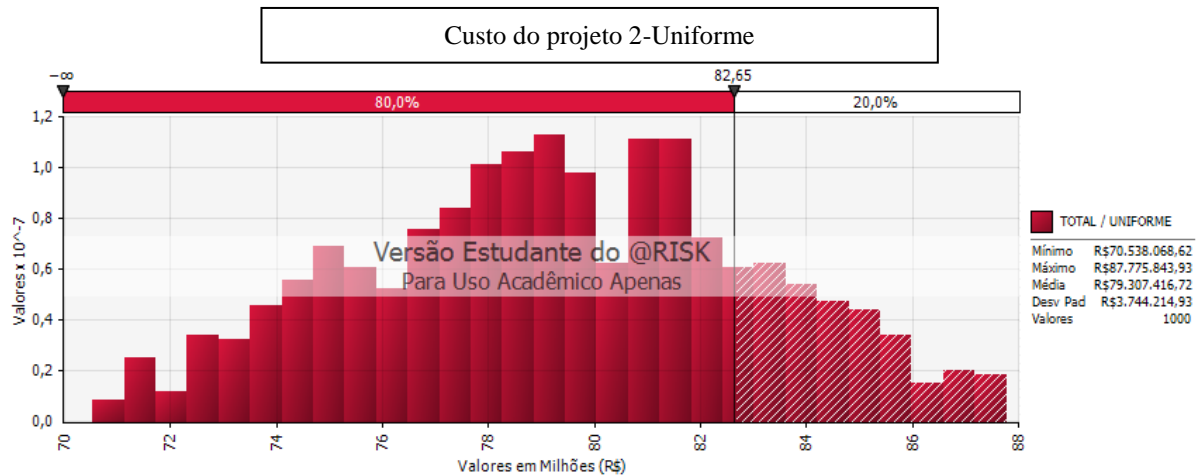
Fonte: O Autor.

Gráfico 5- Custo total triangular 2



Fonte: O Autor.

Gráfico 6- Custo total Uniforme 2



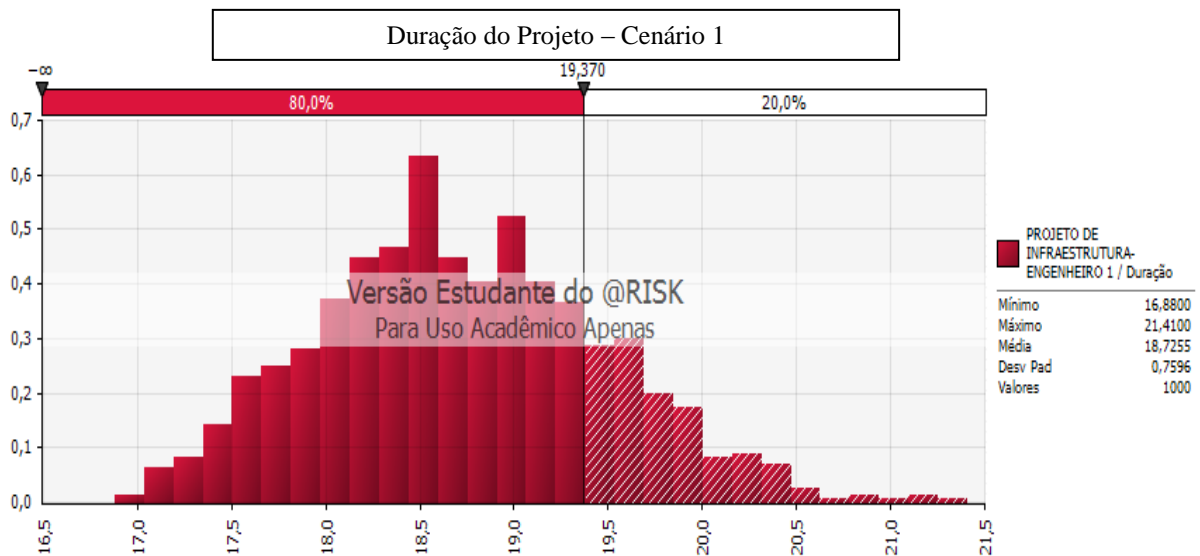
Fonte: O Autor.

## 4.2 Simulação do tempo

### • Cenário 1

Nessa etapa os valores mínimos, mais prováveis e máximos de duração do projeto, em meses, foram simulados em distribuição PERT. Sendo os resultados apresentados a seguir (Gráfico 7).

Gráfico 7– Duração do projeto 1



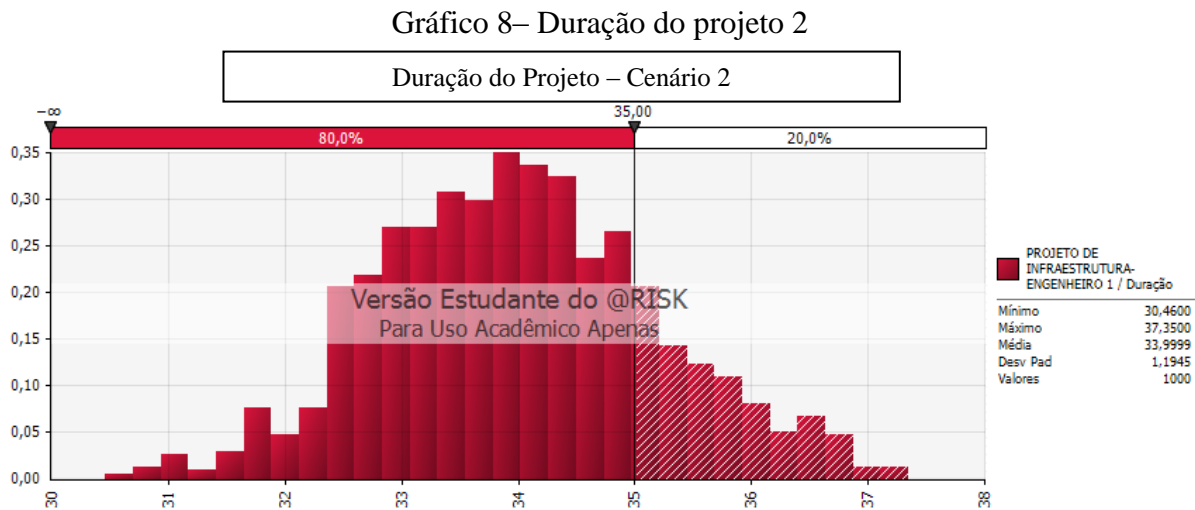
Fonte: O Autor.

A simulação evidenciou para um intervalo de confiança de 80% um prazo de 19,37 meses para a execução do projeto, com uma média de 18,73 meses e um desvio padrão observado de 0,76 meses, ou seja, inferior a 1 mês. Ressalta-se que nem o valor mínimo encontrado pela simulação de 16,9 meses é inferior aos 16 meses proposto pelo edital. Pode-se tirar como conclusão de que o edital subdimensionou o cronograma.

### • Cenário 2

Nessa segunda ocasião, os dados simulados (Gráfico 8) foram bem superiores ao cenário anterior, sendo a média equivalente a 34 meses e para um IC=80% de 35 meses, 118,75% superior ao valor de referência de 16 meses. Em obras de grande porte como a analisada nesse projeto, que incluem a construção de viadutos e passarelas, os fatores de riscos que mais influenciam no atraso do cronograma são os derivados dos problemas financeiros do responsável pelo projeto e os problemas com políticas e regulamentações (VU *et al.*, 2017).

Além disso segundo Kalady (2012) *apud* Gupta e Thakkar (2018), na indústria da construção civil de grande porte obras de ferrovias, estradas e rodovias em sua maioria falham em termos de tempo e custo, apresentando desvios da ordem de: 98% (83%), 85% (54%) e 95 (31%) respectivamente para a falha no cronograma e no orçamento para cada tipo de obra. Pode-se assim afirmar, que os altos valores encontrados no trabalho são corriqueiros.



Fonte: O Autor.

Outros valores foram o valor mínimo de 30,46 meses e máximo de 37,35 meses para a conclusão do projeto. Essa evidência demonstra que os engenheiros planejam seus cronogramas com diretrizes diferentes o que ocasiona discrepâncias e falta de padrões nessas etapas do planejamento. Para um intervalo de confiança de 80% a obra seria concluída em exatos 35 meses.

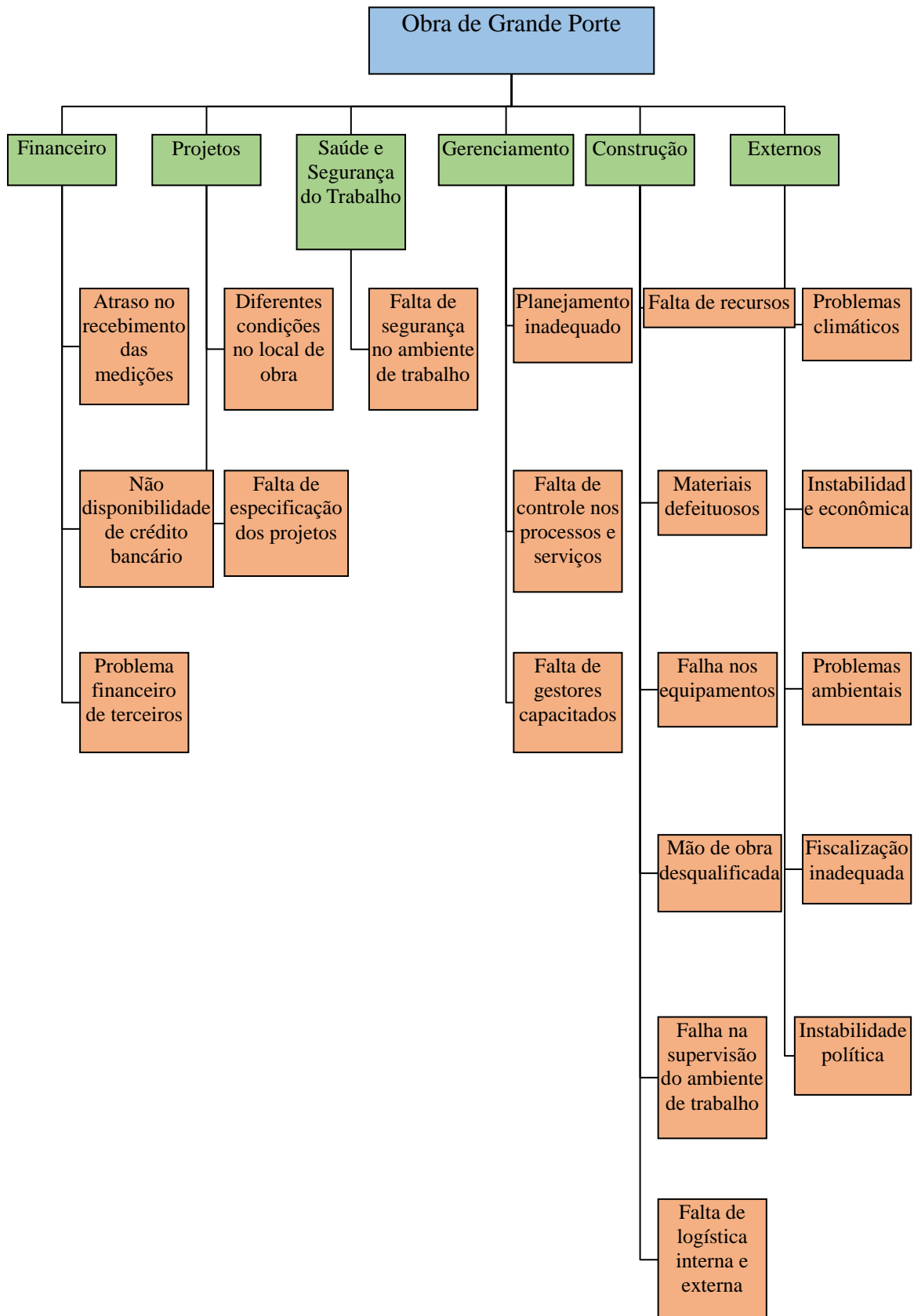
### 4.3 Análise dos riscos

O primeiro resultado do Gerenciamento de Riscos do projeto em estudo foi a EAR criada a partir dos riscos provenientes da literatura. Os Riscos comuns em obras de grande porte, foram separados em 7 categorias, totalizando 20 riscos que foram os apresentados para os especialistas para suas análises de riscos (Figura 19).

Com a melhor organização dos riscos, os riscos foram selecionados pela matriz de riscos, essa etapa foi eficiente para a definição dos riscos potenciais ao projeto. Os riscos expostos pelos especialistas foram considerados todos como ameaças, trazendo em caso de ocorrências prejuízos ao tempo e aos custos do projeto. Com essas definições foram

apresentados os cenários.

Figura 19-Estrutura Analítica de Riscos



Fonte: O Autor.

A análise dos riscos de projeto prosseguiu a partir da identificação dos riscos, categorizados em códigos de R1 a R19 conforme o Quadro 7.

Quadro 7-Codificação dos riscos identificados.

<b>CÓD.</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>RISCOS</b>
R1	Financeiro	Atraso no recebimento de medições
R2	Financeiro	Não disponibilidade de crédito
R3	Financeiro	Problemas financeiros de terceiros
R4	Projetos	Diferenças encontradas no local da obra
R5	Projetos	Falta de especificação dos projetos
R6	Segurança e Saúde	Falta de segurança no ambiente de trabalho
R7	Gerenciamento	Planejamento inadequado
R8	Gerenciamento	Falta de controle dos processos e serviços
R9	Gerenciamento	Falta de Gestores capacitados
R10	Construção	Indisponibilidade de recursos
R11	Construção	Materiais e/ou Equipamentos defeituosos
R12	Construção	Mão de obra desqualificada
R13	Construção	Falha na supervisão e gestão do ambiente de trabalho
R14	Construção	Falta de plano de logística interno e externo
R15	Externos	Problemas climáticos
R16	Externos	Problemas ambientais
R17	Externos	Instabilidade econômica
R18	Externos	Fiscalização inadequada
R19	Externos	Instabilidade política

Fonte: O Autor.

#### • **Cenário 1**

A matriz de riscos desse cenário (Figura 20) definiu 12 riscos como potenciais, com altas probabilidades de ocorrência e alto impacto ao projeto. O risco R1 foi considerado o de maior probabilidade de ocorrência, sendo considerado pelo especialista com um percentual de 95% de ocorrer em projetos com situação similar ao de estudo. Em sua análise os riscos R4, R10 e R19, apesar de apresentarem uma média e baixa probabilidade de ocorrências, os seus impactos são muito relevantes ao projeto.

Figura 20 – Matriz de riscos 1

5-Muito Provável				<b>R1</b>	
4-Alta					
3-Média		<b>R16</b>	<b>R12/R13/R15</b> <b>R18</b>	<b>R5/R7/R8</b>	<b>R4/R10</b>
2-Baixa	<b>R3</b>	<b>R2/R6</b>	<b>R11/R14</b>	<b>R9</b>	<b>R19</b>
1-Rara					<b>R17</b>
	1-Muito Baixo	2-Baixo	3-Médio	4-Alto	5-Muito impactante

Fonte: O Autor.

Com a definição dos riscos com fator (FP) superior a 8, foram determinadas o tipo de distribuição que representaria o risco e suas margens para os custos em milhões e para o tempo em meses. Os dados do projeto se encontram na Tabela 10, a seguir:

Tabela 10 – Riscos e suas distribuições de probabilidade 1

<b>CÓD. RISCO</b>	<b>DIST. DE PROB.</b>	<b>CUSTO (R\$)</b>	<b>TEMPO (MESES)</b>
R1	Triang.	(0,35;0,68;1,00)	(3;4;5;6)
R4	Unif.	(3,50;14,00)	(2;4)
R5	Unif.	(1,7;21,00)	(2;9)
R7	Triang.	(0,70;2,10;3,50)	(1;3;5;6)
R8	Triang.	(0,70;2,10;3,50)	(1;2;3)
R9	Triang.	(0,35;1,18;2,00)	(1;2;3)
R10	Triang.	(0,35;0,68;1,00)	(1;2,5;4)
R12	Triang.	(0,35;1,18;2,00)	(1;1,5;2)
R13	Triang.	(0,35;0,53;0,70)	(1;1,5;2)
R15	Triang.	(0,70;2,10;3,50)	(1;2;3)
R18	Triang.	(0,35;0,53;0,70)	(1;1,5;2)
R19	Triang.	(0,35;0,88;1,40)	(1;5;9)

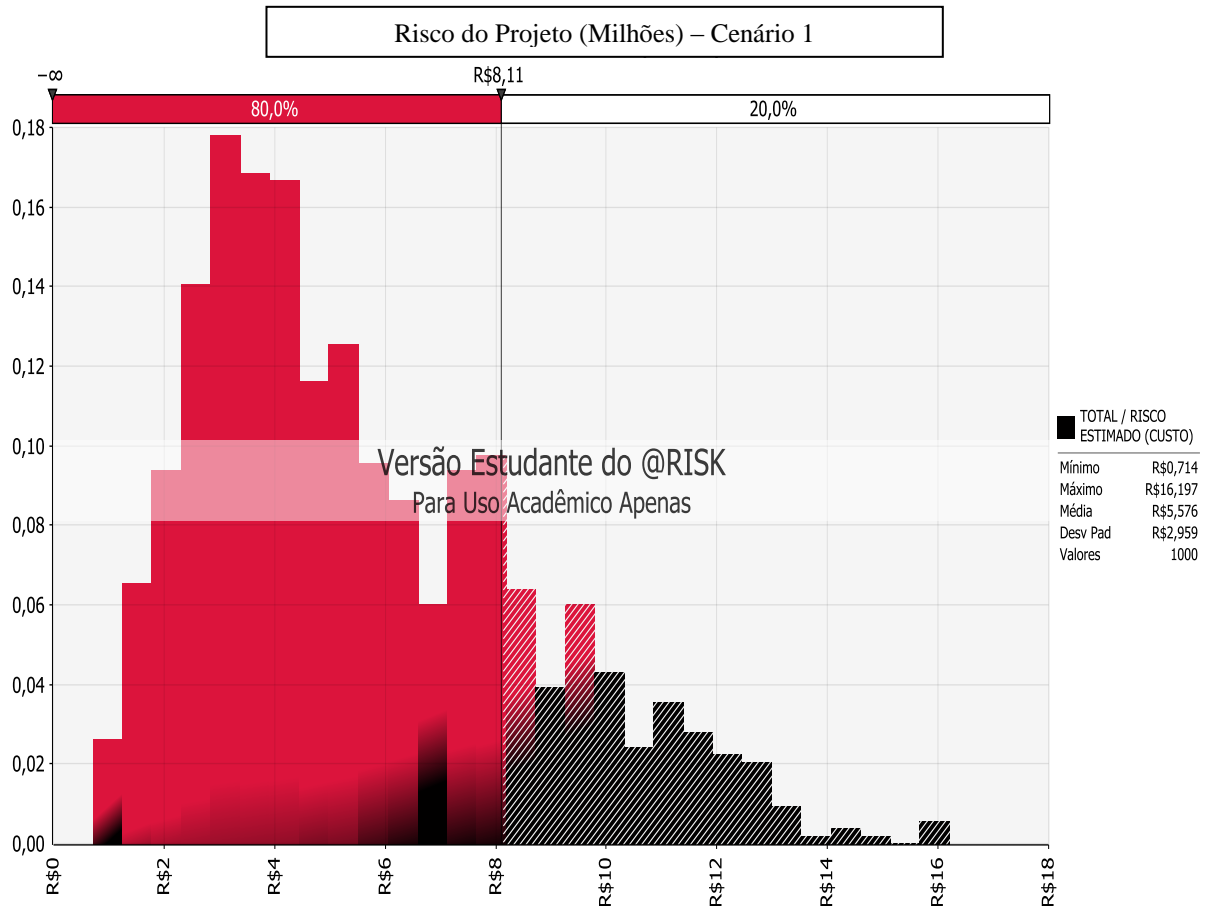
Fonte: O Autor.

Finalmente com os riscos foram simulados, os dados de entrada de probabilidade foram inseridos como uma função de Bernoulli, sendo as probabilidades representadas pelas definidas pelos especialistas. E os riscos já traduzidos para valores em reais (R\$) e meses foram representados por distribuições normais. Quando se possui uma faixa de ocorrência, porém não se tem uma certeza ou inclinação para valores mais prováveis um risco pode ser representado por uma distribuição Uniforme (CRETU; STEWART; BERENS, 2011).

O Gráfico 9 apresentou o custo dos riscos inerentes ao projeto. Com um intervalo de 80% os riscos causariam um custo excedente de 8,11 milhões de reais ao projeto,

equivalente a 11,62%, do valor base aqui considerado como o valor mais provável de 69,75 milhões e para o valor do custo (IC=80 PERT) de milhões um percentual de 11,60%. Os custos das respostas para esses riscos devem ser inferiores a esse valor, em caso negativo, deve-se assumir os riscos e preparar uma reserva de contingência adequada.

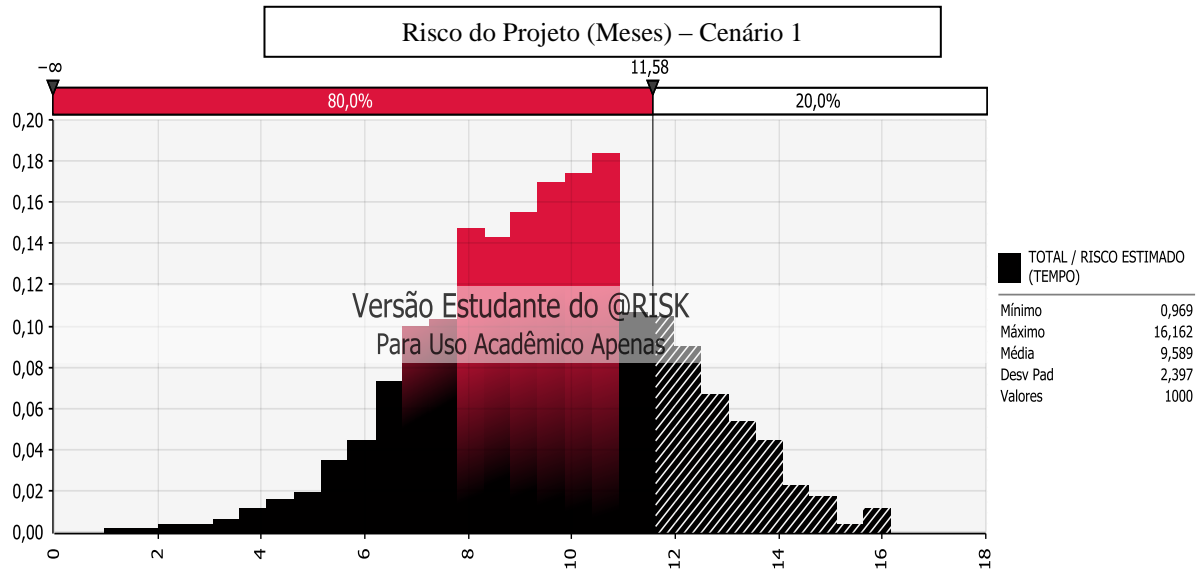
Gráfico 9 – Custo decorrente dos riscos estimados cenário 1



Fonte: O Autor.

Em relação ao atraso ocorrido devido aos riscos estimados, temos o valor de 11,60 meses com uma probabilidade de 80% de ocorrer (Gráfico 10). Esse valor representa 72,50% do prazo estabelecido pelo edital (16 meses) e 59,88% do tempo simulado em uma distribuição PERT (19,37 meses) com os dados dos especialistas e IC=80%. Os riscos apresentaram uma altíssima interferência nos prazos do projeto, sendo de grande necessidade um planejamento adequado de respostas a esses riscos.

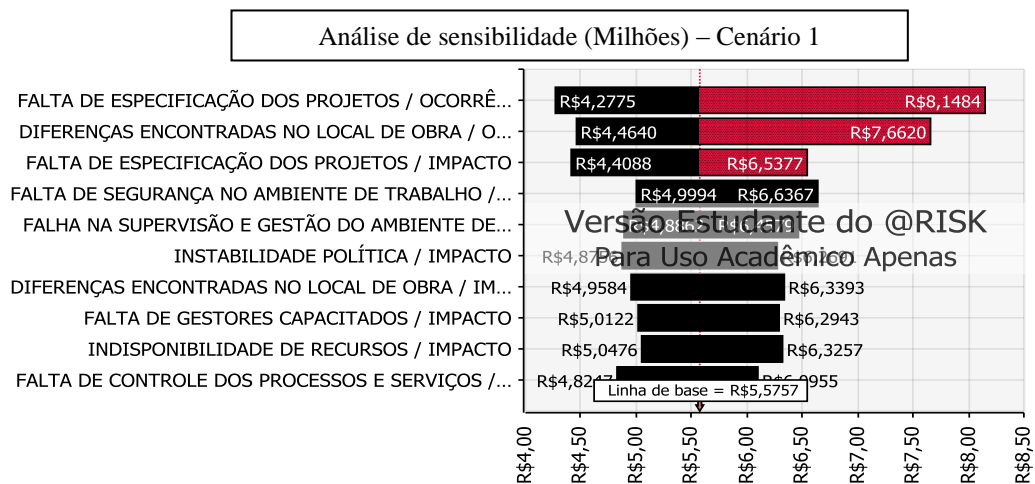
Gráfico 10 – Atraso decorrente dos riscos estimados cenário 1



Fonte: O Autor.

Pela análise de sensibilidade dos Gráficos de Tornado a seguir (Gráfico 11 e 12) é possível observar que os riscos que mais interferem na média final dos custos dos riscos são a falta de especificação do projeto e as diferenças encontradas no local de obra, o primeiro devido sua alta ocorrência e impacto o segundo devido sua alta ocorrência. Segundo Abbas e Painting (2017) os problemas de definição clara do escopo, que está muito bem relacionado com a falta de especificações do projeto, e às restrições encontradas no ambiente do trabalho, decorrente de problemas de logística, de estocagem, diferenças encontradas no local, são os principais fatores que levam aos erros de estimativa dos custos.

Gráfico 11-Análise de sensibilidade: custo do risco cenário 1

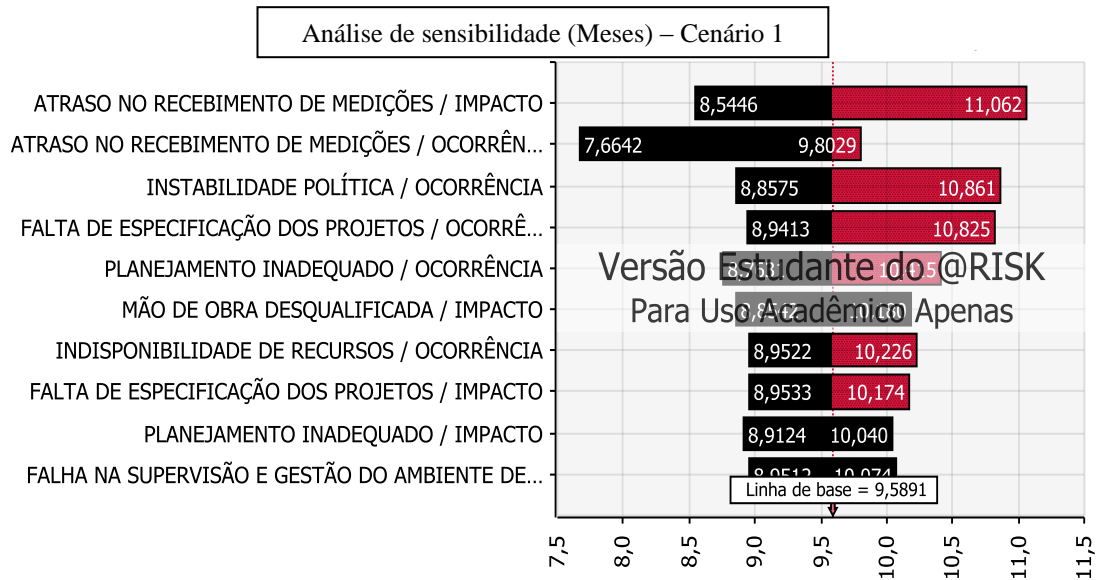


Fonte: O Autor.



Em relação aos riscos que levam ao atraso das etapas pelo Gráfico 12 o principal motivo para os atrasos das obras são os atrasos no recebimento das medições em todos os aspectos analisados.

Gráfico 12-Análise de sensibilidade: tempo do risco cenário 1



Fonte: O Autor.

• **Cenário 2**

A Figura 21 representa a matriz de um outro cenário analisado, no qual apenas 6 riscos foram considerados como potenciais. O R1 apresentou a maior probabilidade de ocorrência (50%), assim como no cenário inicial, e os riscos considerados de maior impacto foram o R7 e R13.

Figura 21 – Matriz de riscos 2

5-Muito Provável				
4-Alta			R1	
3-Média		R6/R9/R12	R7/R13	
2-Baixa	R3/R8	R11/R15/R18		
1-Rara	R4/R5/R10 R16/R19	R2/R14	R17	
	1-Muito Baixo	2-Baixo	3-Médio	4-Alto
				5-Muito impactante

Fonte: O Autor.

Em uma análise conjunta dos cenários ficou evidente que o projeto apresenta uma alta probabilidade de ocorrência de atrasos no recebimento das medições. Quanto ao impacto ao projeto 2 considerou a falta de segurança no ambiente de trabalho algo a ser observado

com maior atenção, enquanto o cenário 1 tratou tal fato com baixa probabilidade e baixo impacto para os custos e prazo da obra. Como riscos evidenciados com maior impacto ao projeto elenca-se: diferença encontradas no local da obra, indisponibilidade de recursos, a instabilidade política, planejamento inadequado e falha na gestão e supervisão do ambiente de trabalho, a ordem exposta não cria nenhuma hierarquia entre os riscos, são apenas os riscos considerados na análise conjunta.

Para a execução da simulação os parâmetros de entrada de distribuição foram preenchidos conforme a tabela 11 apresentada a seguir:

Tabela 11 – Riscos e suas distribuições de probabilidade 2

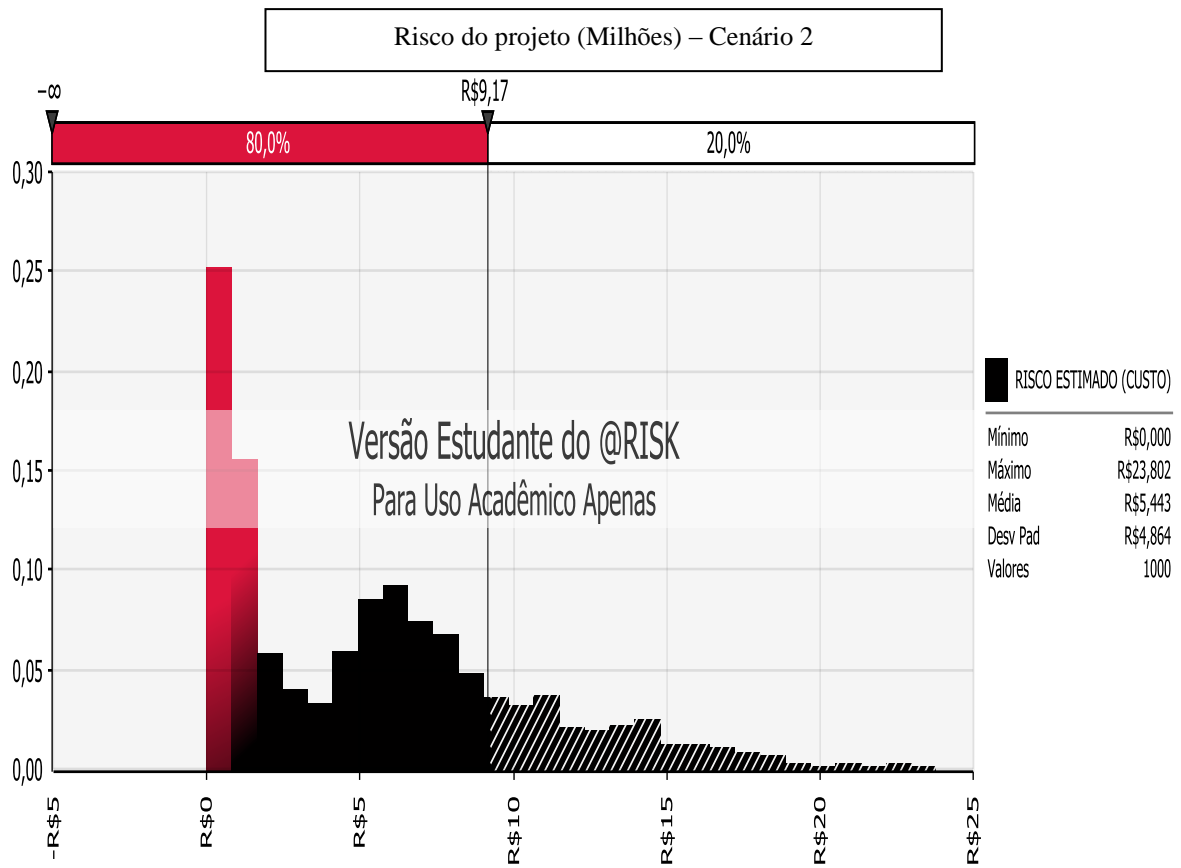
<b>CÓD. RISCO</b>	<b>DIST. DE PROB.</b>	<b>CUSTO (R\$)</b>	<b>TEMPO (MESES)</b>
R1	Triang.	(3,00;5,35;7,70)	(1;3,5;6)
R6	Triang.	(0;1,90;3,80)	(0;0,5;1)
R7	Triang.	(0;7,70;15,40)	(3;4;5)
R9	Triang.	(0;0,35;0,70)	(2;3,5;5)
R12	Triang.	(0;0,75;1,50)	(1;3,5;6)
R13	Triang.	(0;0,75;1,50)	(1;3,5;6)

Fonte: O Autor.

Agora analisando o Gráfico 13, este apresentou o custo dos riscos inerentes ao projeto. Com um intervalo de 80% os riscos causariam um custo excedente de 9,17 milhões de reais ao projeto 2, equivalente a 11,91% do valor base aqui considerado como o valor mais provável de 76,97 milhões e para o valor do custo (IC=80 PERT) de 79,75 milhões um percentual de 11,49%. Os valores dos riscos em um orçamento final de um projeto variam numa faixa de 5 a 10% (IDRUS; FADHIL NURUDDIN; ROHMAN, 2011).

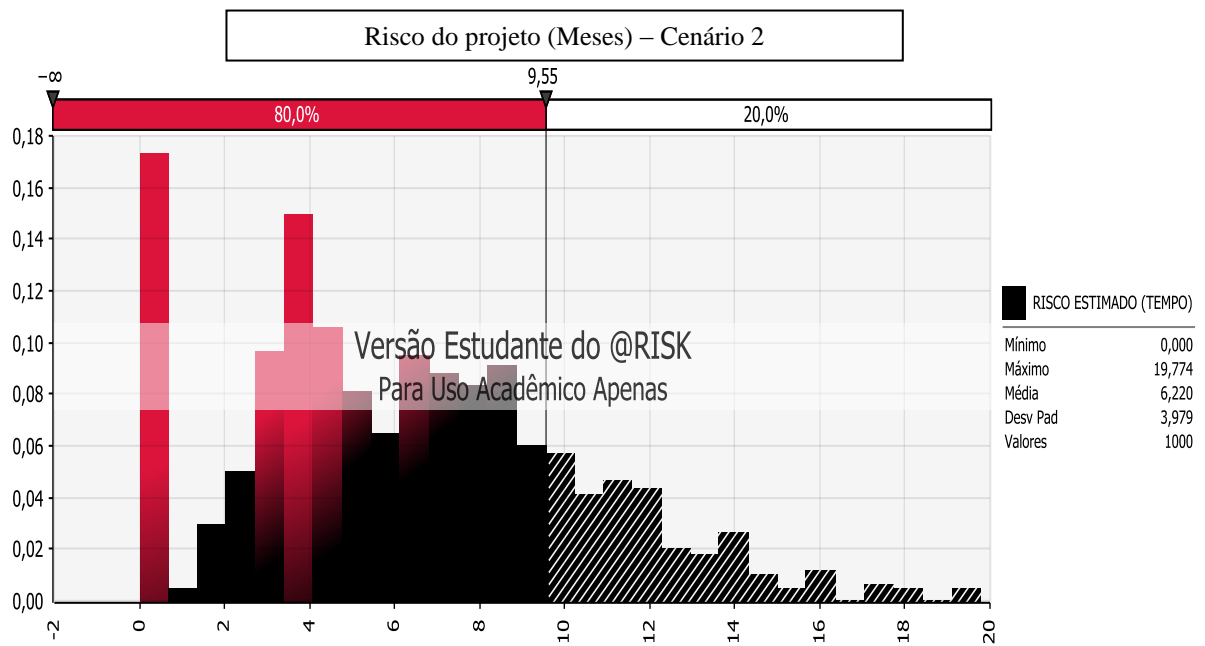
A análise para o tempo apresentou, que os riscos do projeto podem levar a um atraso de 9,55 meses com uma probabilidade de 80% de ocorrer (Gráfico 14). Esse valor representa 59,68% do prazo estabelecido pelo edital (16 meses) e 27,28% do tempo simulado em uma distribuição PERT, cujo valor encontrado foi de 35 meses com os dados dos especialistas e IC=80%. Os riscos, assim como ocorreu com o cenário 1, apresentam uma elevada interferência no prazo do projeto.

Gráfico 13 - Custo decorrente dos riscos estimados cenário 2



Fonte: O Autor.

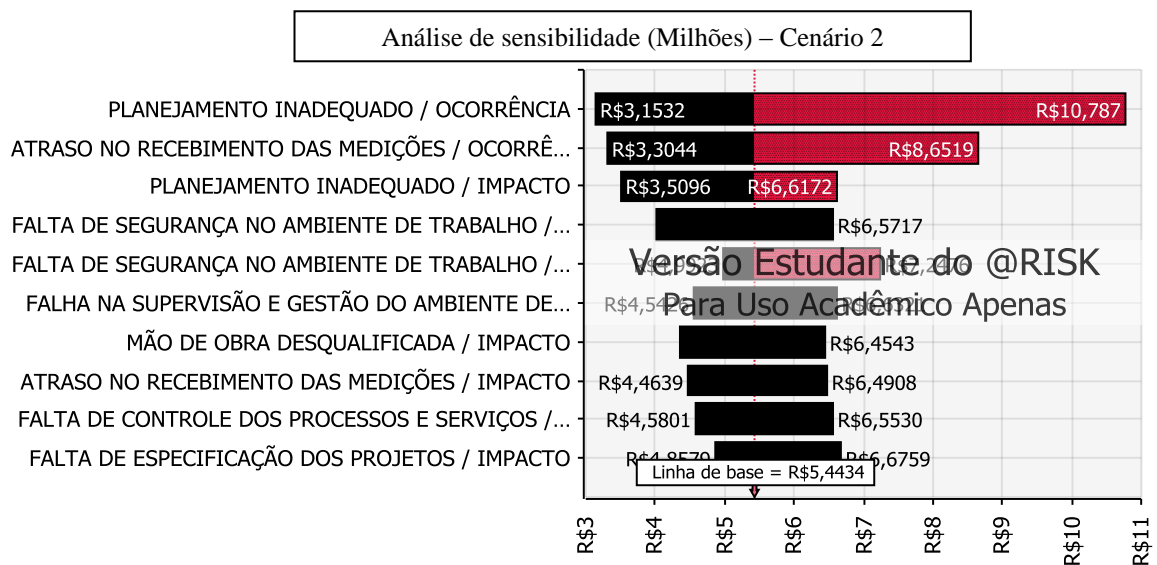
Gráfico 14 - Atraso decorrente dos riscos estimados cenário 2



Fonte: O Autor.

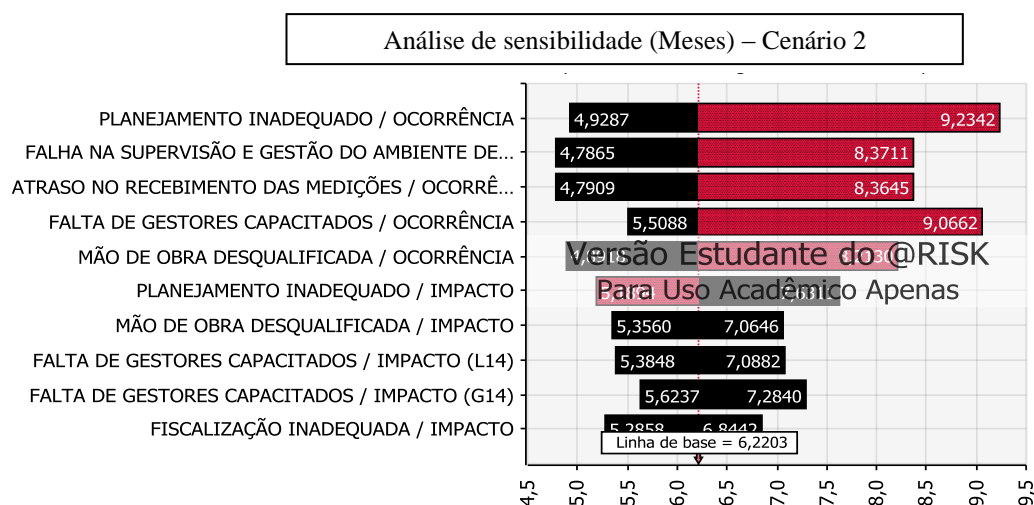
Em relação à análise de sensibilidade dos gráficos de tornado representados a seguir (Gráfico 15) é possível observar que os riscos que mais interferem na média final dos custos dos riscos são o planejamento inadequado e o atraso no recebimento das medições, ambos devido à sua alta ocorrência e o planejamento inadequado também se enquadram como um fator de risco cujo impacto é de extrema relevância no custo do projeto (ADAM; JOSEPHSON; LINDAHL, 2017; AL-HAZIM; SALEM; AHMAD, 2017).

Gráfico 15-Análise de sensibilidade: custo do risco cenário 2



Quanto à análise dos atrasos das etapas devido os riscos pelo Gráfico 16 os principais motivos para os atrasos das obras são o planejamento inadequado e os atrasos no recebimento das medições em relação às suas altas ocorrências, o mesmo ocorreu com os dados do cenário 1. Os riscos financeiros e gerenciais aparecem com uma maior prevalência nesses tipos de obras, mesmo eles podendo não ser as maiores ameaças para o alcance dos objetivos do projeto, a sua alta ocorrência é um fator de observação e atenção pelos gestores (ADAM; JOSEPHSON; LINDAHL, 2017). O planejamento inadequado e a falha na supervisão e gestão do ambiente de trabalho, fatores relacionados ao gerenciamento são também considerados muito impactantes para os atrasos de obras (GONZÁLEZ; GONZÁLEZ, 2014; ZIDANE *et al.*, 2018).

Gráfico 16-Análise de sensibilidade: tempo do risco cenário 2



Fonte: O Autor.

O software apresentou um excelente potencial de representação de dados para a tomada de decisão. Os valores encontrados entre os especialistas divergem em alguns aspectos, principalmente, pela notória diferença de apetite ao risco de cada especialista estudado, sendo o segundo bem mais conservador e por isso com menor apetite ao risco em relação ao primeiro. A Tabela 12 a seguir apresenta um resumo de todos os valores encontrados para que melhor seja elaborada as conclusões do trabalho.

Tabela 12 – Resumo dos resultados

Item	Projeto 1		Projeto 2	
	Custo (milhões R\$)	Tempo (Mês)	Custo (R\$)	Tempo (Mês)
(1) Valor Mais Provável (sem simulação)	69,75	18,24	76,97	34,30
(2) Valor com IC=80% PERT	70,23	19,37	79,75	35,00
(3) Valor do Risco IC=80%	8,11	11,60	9,17	9,55
(2) + (3)	78,34	30,97	88,92	44,55

Fonte: O Autor.

Finalmente, analisando os valores finais, a partir da Tabela 12, temos para os projetos 1 e 2, os valores em milhões respectivos de 78,34 e 88,92. Esses valores representam a soma dos custos dentro de um índice de confiança de 80% somados ao valor dos riscos que podem ser tratados como uma reserva de contingência em relação ao orçamento, a esses

valores devem ser acrescidos os valores dos impostos, lucro e outras taxas para a elaboração do preço final. Tais resultados são tomados como importantes parâmetros para a tomada de decisão da participação ou não da licitação em relação ao contratado ou relacionado à confiança e segurança da execução do projeto se analisado pela visão do contratante ou cliente.

O Projeto 1 apresentou um valor que colabora com o valor do contrato da obra, pois caso se acrescesse um valor de BDI na ordem de 20% já descontando a parcela empírica dos riscos chegaria a um valor final de proposta de 94,00 milhões, inferior ao valor do contrato de 94,42 milhões. No caso do Projeto 2 o preço final seria de 106,70 milhões, apesar de ser superior não é uma proposta inexecutável devido ao fato de ser inferior ao orçamento de referências (110,56 milhões).

Ressalta-se que aqui só estão sendo analisados os custos diretos do projeto, não sendo representado o valor final de proposta ou contrato, o qual deve ser inserido uma taxa, denominada de Benefícios e Despesas Indiretas (BDI). A respeito disso o risco aqui representado é considerado uma parcela dessa taxa, que é considerada usualmente um número estático (ALARCÓN *et al.*, 2011), o fato dele ser agora tratado e estudado pode levar a um planejamento mais eficiente.

Em relação, ao cronograma foram observadas as maiores discrepâncias principalmente ao valor base estipulado pelo edital lançado (16 meses). Os prazos de 30,97 meses e 44,55 apesar de serem bem mais alto, não são valores que podem ser desconsiderados. A análise dos fatores que levam a esses atrasos deve ser levada pelo gestor para processos posteriores, analisando e processando as respostas adequadas para cada risco potencial. Isso é corroborado pelo fato da obra utilizada como meio de estudo para esse trabalho ter sido concluída com 36 meses.

Em última análise, é importante ressaltar que o GR é um processo contínuo durante todo o ciclo de vida do projeto, a atualização do modelo de riscos deve ser periódica, pois os riscos em um projeto se apresentam de forma dinâmica no projeto. Os processos do GR também fornecem diretamente suporte aos gestores no rastreamento dos riscos, na revisão dos registros de riscos e na atualização das contingências (ALARCÓN *et al.*, 2011).

Esse tipo de análise pode trazer melhor conhecimento do projeto pelo contratante e pelo contratado, ou pelo empreiteiro e cliente. O importante é que a evolução da pesquisa produza artefatos de importante contribuição. No caso aqui apresentado, seria o fato de que se quando tem um melhor planejamento, a utilização dos recursos é otimizada e utilizada de forma eficiente, fato de extrema relevância principalmente quando tais recursos são escassos.

## 5 CONCLUSÃO

A utilização do Gerenciamento de Riscos integrado com as estimativas de custo, de tempo e nos processos de Gerenciamento de projetos possuem muitas vantagens aos gestores de grandes obras. Tendo em vista que o objetivo de propor um modelo de avaliação de riscos em obras de infraestrutura foi considerado um sucesso, principalmente pelo seu embasamento estatístico e os resultados encontrados estarem coerentes e validados, o Gerenciamento de Riscos se demonstra essencial em projetos vultuosos que envolvem grandes incertezas.

Quanto aos resultados encontrados, o orçamento dos engenheiros encontrados apresentou coerência com os valores do orçamento de referência, sendo os resultados do Projeto 1 até inferiores aos valores do contrato real do projeto, o que demonstra que o modelo pode ser utilizado como formulador de proposta em editais de licitação. Dentre os resultados do cronograma houve uma grande diferença dos prazos estimados pelos especialistas e o prazo fornecido pelo edital, com os valores bem superior ao de referência de 30,97 (93%) e 44,85 (180%), já considerando o contingenciamento necessário em caso de riscos, em contrapartida ao valor de 16 meses exposto pelo edital. Apesar dessa distante diferença, o fato das obras de infraestrutura ou de grande escala serem consideradas obras com altos índices de falhas nos cronogramas os valores não podem ser desprezados, mas sim analisados a fundo, para um melhor planejamento do cronograma.

Com a identificação e análise dos riscos foi possível observar, que os riscos provenientes de problemas financeiros, gerenciais e de projetos são aqueles que mais causam falhas aos orçamentos e cronogramas. A ferramenta de matriz de riscos mesmo sendo uma das mais simples e usuais foi uma ferramenta imprescindível e eficiente para os resultados aqui encontrados.

O modelo se demonstrou eficaz em vários aspectos, dentre eles: em identificar os riscos potenciais em obras de grande escala, sendo essas obras públicas e de infraestrutura no município de Fortaleza/CE; desenvolver uma estimativa de custo mais robusta a partir de valores contínuos, assim como a elaboração do cronograma da mesma maneira; a criação de valores de reserva de contingências para os riscos de projeto a partir da utilização de simulação, demonstrando uma abordagem muito mais realista e clara, em vez da utilização de valores empíricos usualmente utilizados como componente do BDI; o surgimento de uma ferramenta de análise estatística de tomada de decisão para contratados e contratantes a respeito das incertezas de projetos; e finalmente parâmetros para às respostas ao risco.

## REFERÊNCIAS

- 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, 2012.
- ADAM, A.; JOSEPHSON, P.-E. B.; LINDAHL, G. Aggregation of factors causing cost overruns and time delays in large public construction projects. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 24, n. 3, p. 393–406, 2017.
- AGERBERG, J. Risk management in the tendering process. **Journal of Economics and Business**, v. 2, n. 3, p. 52–59, 2012.
- AL-HAZIM, N.; SALEM, Z. A.; AHMAD, H. Delay and Cost Overrun in Infrastructure Projects in Jordan. **Procedia Engineering**, v. 182, p. 18–24, 2017.
- ALARCÓN, L. F., ASHLEY, D. B., DE HANILY, A. S., MOLENAAR, K. R., & UNGO, R. Risk Planning and Management for the Panama Canal Expansion Program. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 137, n. 10, p. 762–771, 2011.
- ALBOGAMY, A.; DAWOOD, N. Development of a client-based risk management methodology for the early design stage of construction processes. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 22, n. 5, p. 493–515, 2015.
- ARAUJO, A. M. C. **Gerenciamento de riscos em contratos de obras públicas – Estudo de caso : Serviços de reforma em imóveis funcionais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade de Brasília, Brasília. 2012.
- AVEN, T. Risk assessment and risk management : Review of recent advances on their foundation. **European Journal of Operational Research**, v. 253, n. 1, p. 1–13, 2016.
- BAJAJ, D.; OLUWOYE, J.; LENARD, D. An analysis of contractors' approaches to risk identification in New South Wales, Australia. **Construction Management and Economics**, v. 15, n. 4, p. 363–369, 1997.



BAKER, S.; PONNIAH, D.; SMITH, S. Techniques for the analysis of risks in major projects. **Journal of the Operational Research Society**, v. 49, n. 6, p. 567–572, 1998.

BANAITIENE, N.; BANAITIS, A. Risk management in construction projects. **Technological and Economic Development of Economy**, v. 21, n. 1, p. 65–78, 2015.

BANNERMAN, P. L. Risk and risk management in software projects: A reassessment. **Journal of Systems and Software**, v. 81, n. 12, p. 2118–2133, 2008.

BRASIL. **Lei 8.666, de 21 Junho de 1993. Institui normas para licitações e contratos da Administração pública e dá outras providências.** Disponível em: <  
[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l8666cons.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8666cons.htm)>. Acesso em: 19 de maio de 2019.

CHANG, C.-Y.; KO, J.-W. New Approach to Estimating the Standard Deviations of Lognormal Cost Variables in the Monte Carlo Analysis of Construction Risks. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 143, n. 1, p. 06016006, 2017.

CHOUDHRY, R. M., ASLAM, M. A., HINZE, J. W., & ARAIN, F. M. Cost and Schedule Risk Analysis of Bridge Construction in Pakistan: Establishing Risk Guidelines. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 140, n. 7, p. 04014020, 2014.

CRETU, O.; STEWART, R.; BERENDS, T. **Risk Management For Design and Construction.** Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.

DAWOOD, N.. Estimating project and activity duration: a risk management approach using network analysis. **Construction Management & Economics**, v. 16, n. 1, p. 41-48, 1998.

DE CAMPRIEU, R.; DESBIENS, J.; FEIXUE, Y. “Cultural” differences in project risk perception: An empirical comparison of China and Canada. **International Journal of Project Management**, v. 25, n. 7, p. 683–693, 2007.

DIAB, M. F.; VARMA, A.; PANTHI, K. Modeling the Construction Risk Ratings to Estimate the Contingency in Highway Projects. **Journal of Construction Engineering and**

**Management**, v. 143, n. 8, p. 1–9, 2017.

DIKMEN, I., BIRGONUL, M. T., ANAC, C., TAH, J. H. M., & AOUAD, G. Learning from risks: A tool for post-project risk assessment. **Automation in Construction**, v. 18, n. 1, p. 42–50, 2008.

DZIADOSZ, A.; REJMENT, M. Risk Analysis in Construction Project - Chosen Methods. **Procedia Engineering**, v. 122, n. Orsdce, p. 258–265, 2015.

FLANAGAN, R; NORMAN, G. **Risk management and construction**. London: Blackwell Science Oxford, 1993.

GŁADYSZ, B., SKORUPKA, D., KUCHTA, D., & DUCHACZEK, A. Project Risk time Management - A Proposed Model and a Case Study in the Construction Industry. **Procedia Computer Science**, v. 64, p. 24–31, 2015.

GONZÁLEZ, P.; GONZÁLEZ, V. Analysis of causes of delay and time performance in construction projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 140, n. 1, p. 1–9, 2014.

GREAT BRITAIN. **Managing Successful projects with PRINCE2**. UK: Office of Government Commerce, 2002.

GUPTA, V. K. THAKKAR, J. J. A quantitative risk assessment methodology for construction project. **Sādhanā**, v. 0123456789, 2018.

HANNA, A. S.; THOMAS, G.; SWANSON, J. R. Construction Risk Identification and Allocation : Cooperative Approach. **J.Cons.Engin.&Mgmt**, v. 139, n. September, p. 1098–1107, 2013.

HATAMLEH, M. T.; HIYASSAT, M. Factors affecting the accuracy of cost estimate : case of Jordan. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 25, n. 1, p. 113–131, 2018.

HILLSON, D. Research paper Using a Risk Breakdown Structure in project management. **Journal of Facilities Management**, v. 2, n. 1, p. 85–97, 2003.

HOJJATI, S. N.; NOUDEHI, N. R. The use of Monte Carlo simulation in quantitative risk assessment of IT projects. **Int. J. Advanced Networking and Applications**, v. 2621, p. 2616–2621, 2015.

HU, L.; WU, H. Exploratory study on risk management of state-owned construction enterprises in China. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 23, n. 5, p. 674–691, 2016.

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.

JAAFARI, A. Management of risks, uncertainties and opportunities on projects: Time for a fundamental shift. **International Journal of Project Management**, v. 19, n. 2, p. 89–101, 2001.

JIA, G., NI, X., CHEN, Z., HONG, B., CHEN, Y., YANG, F., LIN, C. Measuring the maturity of risk management in large-scale construction projects. **Automation in Construction**, v. 34, p. 56–66, 2013.

JIMOH, R. A., SANI, M. A., ADOZA, A. I., YAHAYA, I. MANAGING PRE-CONSTRUCTION AND CONSTRUCTION Risks on Project Sites in Abuja-Nigeria. **Civil Engineering Dimension**, v. 18, n. 1, p. 1–7, 2016.

KANG, L. S., KIM, S. K., MOON, H. S., KIM, H. S. Automation in Construction Development of a 4D object-based system for visualizing the risk information of construction projects. **Automation in Construction**, v. 31, p. 186–203, 2013.

KAPLINSKI, O. Risk management of construction works by means of the utility theory: A case study. **Procedia Engineering**, v. 57, p. 533–539, 2013.

KARIMIAZARI, A., MOUSAVI, N., MOUSAVI, S. F., & HOSSEINI, S. Risk assessment model selection in construction industry. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 8, p. 9105–9111, 2011.

KAZAZ, A.; ULUBEYLI, S.; TUNCBILEKLI, N. A. Causes of Delays in Construction Projects in Turkey. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 18, n. 3, p. 426–435, 2012.

KE, Y., WANG, S., CHAN, A. P., & CHEUNG, E. Understanding the risks in China's PPP projects: ranking of their probability and consequence. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 18, n. 5, p. 481–496, 2011.

KE, Y.; WANG, S.; CHAN, A. P. C. Risk management practice in China's Public-Private Partnership projects. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 18, n. 5, p. 675–684, 2012.

LEITCH, M. ISO 31000:2009 - The new international standard on risk management: Perspective. **Risk Analysis**, v. 30, n. 6, p. 887–892, 2010.

LI, Y.; LIAO, X. Decision support for risk analysis on dynamic alliance. **Decision Support Systems**, v. 42, n. 4, p. 2043–2059, 2007.

LIU, J.; MENG, F.; FELLOWS, R. An exploratory study of understanding project risk management from the perspective of national culture. **JPMA**, v. 33, n. 3, p. 564–575, 2015.

LUU, V. T. KIM, S. Y., VAN TUAN, N., & OGUNLANA, S. O. Quantifying schedule risk in construction projects using Bayesian belief networks. **International Journal of Project Management**, v. 27, n. 1, p. 39–50, 2009.

LYONS, T.; SKITMORE, M. Project risk management in the Queensland engineering construction industry : a survey . **International Journal of Project Management** v. 22, n. 2002, p. 51–61, 2004.

MARCELINO-SÁDABA, S. *et al.* Project risk management methodology for small firms.

**International Journal of Project Management**, v. 32, n. 2, p. 327–340, 2014.

MILLS, A. A systematic approach to risk management for construction. **Structural Survey**, v. 19, n. 5, p. 245–252, 2001.

MOHAMED, H. F. A Review of Project Risk Management. **International Journal of Scientifical & Engineering Research**, v. 7, n. 10, p. 1147–1154, 2016.

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.

MOREIRA, D. J. **Análise de riscos no planejamento de projetos de edificação com enfoque multicritério**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

MOUSAZADE, R.; MAHMOUDABADI, A. Developing a Risk Assessment Model Based on Time Value of Money and Cost-Benefit Ratio in Construction Projects. **Journal of Civil, Construction and Environmental Engineering**, v. 2, n. 2, p. 34–43, 2017.

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.

NEVES, C. E. V.; RODRIGUES, I. A.; PORTO, M. C. **Guia de Gerenciamento de Riscos de Obras Rodoviárias – Fundamentos**. Brasília: DNIT, 1ª ed. 2013.

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.

OLECHOWSKI, A., OEHMEN, J., SEERING, W., & BEN-DAYA, M. The professionalization of risk management: What role can the ISO 31000 risk management principles play? **International Journal of Project Management**, v. 34, n. 8, p. 1568–1578, 2016.

OSIPOVA, E.; ERIKSSON, P. E. Balancing control and flexibility in joint risk management: Lessons learned from two construction projects. **International Journal of Project Management**, v. 31, n. 3, p. 391–399, 2013.

PERMINOVA, O.; GUSTAFSSON, M.; WIKSTRÖM, K. Defining uncertainty in projects - a new perspective. **International Journal of Project Management**, v. 26, n. 1, p. 73–79, 2008.

PMI. **PMBOK - Um Guia do Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos**. Pennsylvania, USA: Newton Square, 2013.

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.

QAZI, A., QUIGLEY, J., DICKSON, A., & KIRYTOPOULOS, K. Project Complexity and Risk Management ( ProCRiM ): Towards modelling project complexity driven risk paths in construction projects. **JPMA**, v. 34, n. 7, p. 1183–1198, 2016.

RABECHINI JUNIOR, R.; CARVALHO, M. M. DE. Relacionamento entre gerenciamento de risco e sucesso de projetos. **Production**, v. 23, n. 3, p. 570–581, 2013.

RADU, L. Qualitative, semi-quantitative and, quantitative methods for risk assessment: case of the financial audit. **Analele Stiintifice ale Universitatii" Alexandru Ioan Cuza" din Iasi-Stiinte Economice**, v. 56, p. 16, 2009.

REZAIIE, K., AMALNIK, M. S., GEREIE, A., OSTADI, B., & SHAKHSENIAEE, M. Using extended Monte Carlo simulation method for the improvement of risk management: Consideration of relationships between uncertainties. **Applied Mathematics and Computation**, v. 190, n. 2, p. 1492–1501, 2007.

SADEGHI, N.; FAYEK, A. R.; PEDRYCZ, W. Fuzzy Monte Carlo simulation and risk assessment in construction. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, v. 25, n. 4, p. 238–252, 2010.

SAUSER, B. J.; REILLY, R. R.; SHENHAR, A. J. Why projects fail? How contingency theory can provide new insights - A comparative analysis of NASA's Mars Climate Orbiter loss. **International Journal of Project Management**, v. 27, n. 7, p. 665–679, 2009.

SERPELLA, A. F., FERRADA, X., HOWARD, R., & RUBIO, L. Risk Management in Construction Projects: A Knowledge-based Approach. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 119, p. 653–662, 2014.

SIMISTER, T. Risk Management: Need To Set Standards. **Balance Sheet**, v. 8, n. 4, p. 9–10, 2012.

TAILLANDIER, F., TAILLANDIER, P., TEPELI, E., BREYSSE, D., MEHDIZADEH, R., & KHARTABIL, F. A multi-agent model to manage risks in construction project (SMACC). **Automation in Construction**, v. 58, p. 1–18, 2015.

TANG, W., QIANG, M., DUFFIELD, C. F., YOUNG, D. M., LU, Y. Risk Management in the Chinese Construction Industry. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 133, n. 12, p. 944–956, 2007.

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.

TAYLAN, O., BAFAIL, A. O., ABDULAAL, R. M., & KABLI, M. R. Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies. **Applied Soft Computing Journal**, v. 17, p. 105–116, 2014.

THOMAS, A. V.; KALIDINDI, S. N.; GANESH, L. S. Modelling and assessment of critical risks in BOT road projects. **Construction Management and Economics**, v. 24, n. 4, p. 407–424, 2006.

TURSKIS, Z.; GAJZLER, M.; DZIADOSZ, A. Reliability, Risk Management, and Contingency of Construction Processes and Projects. **Journal of Civil Engineering and**

**Management**, v. 18, n. 2, p. 290–298, 2012.

VU, H. A., CU, V. H., MIN, L. X., & WANG, J. Q. Risk analysis of schedule delays in international highway projects in Vietnam using a structural equation model. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 24, n. 6, p. 1018–1039, 2017.

WANG, T., WANG, S., ZHANG, L., HUANG, Z., & LI, Y. A major infrastructure risk-assessment framework: Application to a cross-sea route project in China. **International Journal of Project Management**, v. 34, n. 7, p. 1403–1415, 2016.

WARD, S.; CHAPMAN, C. Transforming project risk management into project uncertainty management. **International Journal of Project Management**, v. 21, n. 2, p. 97–105, 2003.

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.

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**, v. 25, n. 6, p. 589–600, 2007.

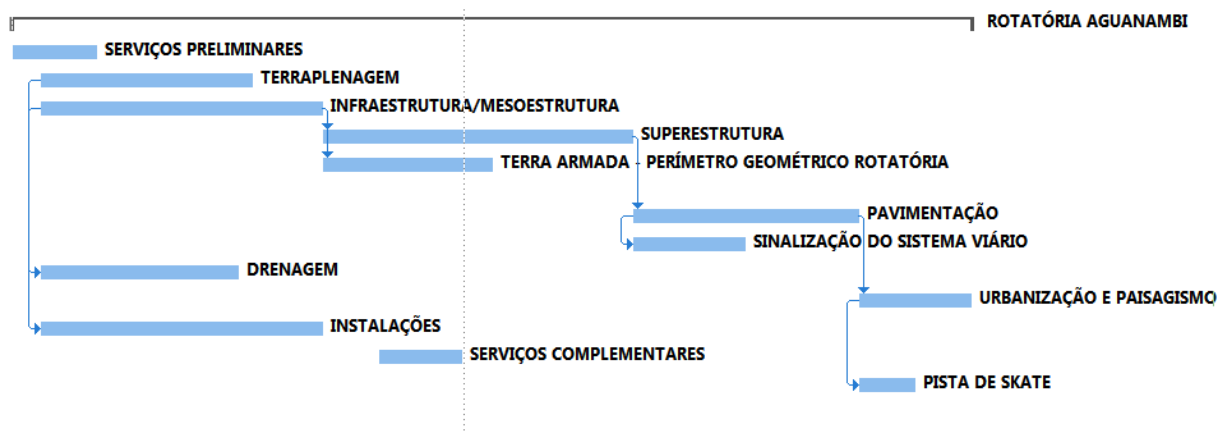
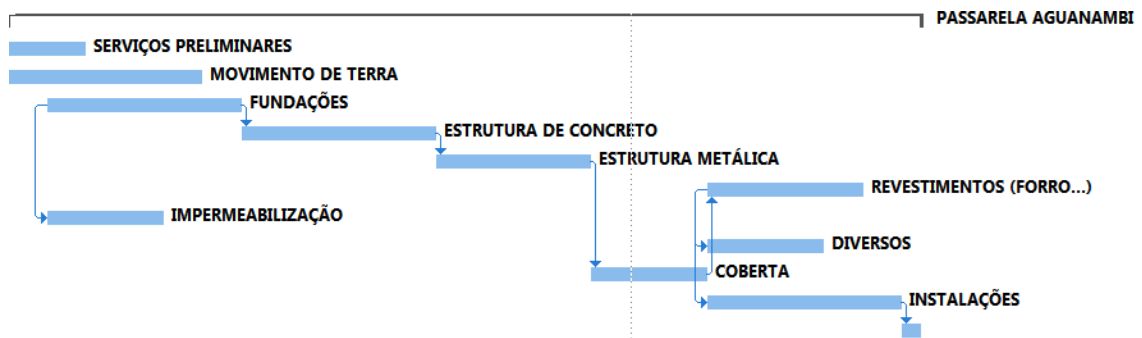
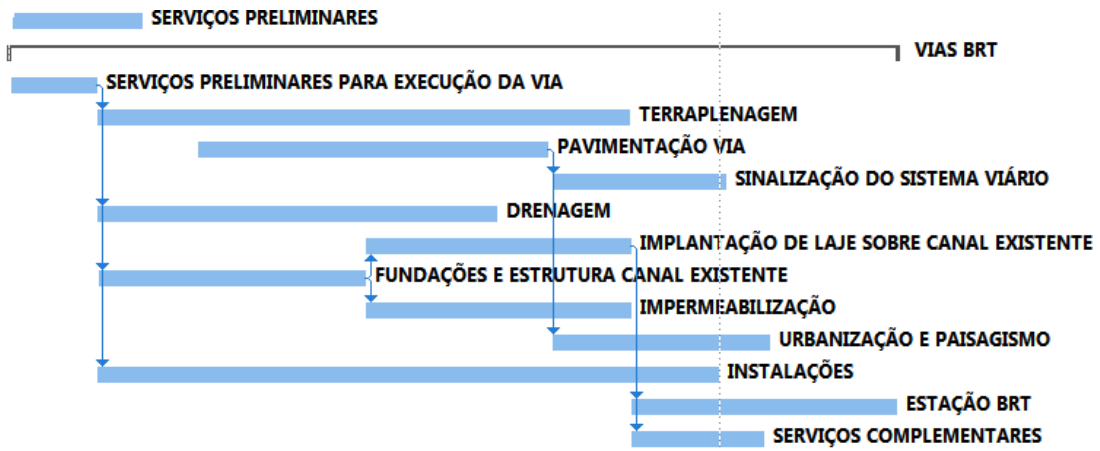
ZHAO, X.; HWANG, B. G.; PHNG, W. Construction project risk management in Singapore: Resources, effectiveness, impact, and understanding. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 18, n. 1, p. 27–36, 2014.

ZIDANE, Y.; ANDERSEN, B. The top 10 universal delay factors in construction projects, **International Journal of Managing Projects in Business**, v. 11 n. 3, p. 650-672, 2018.

ZOU, P. X. W.; CHEN, Y.; CHAN, T. Understanding and Improving Your Risk Management Capability : Assessment Model for Construction Organizations. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 136, n. August, p. 854–863, 2010.



## APÊNDICE A – CRONOGRAMA: GRÁFICOS DE GANTT



Fonte: O Autor.