



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Fabrício César Reis Fonseca

**Proposta de um método probabilístico de estimativa de custos de
construção**

Rio de Janeiro

2013

Fabrizio César Reis Fonseca

**Proposta de um método probabilístico de estimativa de custos de
construção**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Estruturas.

Orientador: Prof. Dr. Cyro Alves Borges Júnior

Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Miyashita

Rio de Janeiro

2013

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

F129 Fonseca, Fabrício César Reis Fonseca.
Proposta de um método probabilístico de estimativa de
custos de construção / Fabrício César Reis Fonseca. -
2013.
106 f.

Orientador: Cyro Alves Borges Júnior
Coorientador: Ricardo Miyashita
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do
Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Civil. 2. Construção civil - Projetos –
Dissertações. I. Borges Jr., Cyro Alves. II. Universidade do
Estado do Rio de Janeiro. III. Título.

CDU 624(083.94)

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou
parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Fabrizio César Reis Fonseca

Proposta de um método probabilístico de estimativa de custos de construção

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Estruturas.

Aprovado em: 19 de dezembro de 2013.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ricardo Miyashita (Orientador)
Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

Prof. Dr. Cyro Alves Borges Júnior (Coorientador)
Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

Prof. Dr. Antonio Marcos Duarte Júnior
Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

Prof. Dr. Helder Gomes Costa
Universidade Federal Fluminense - UFF

Rio de Janeiro

2013

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela sua presença constante na minha vida, sem que eu precise pedir.

Ao meu orientador, Ricardo Miyashita, pela confiança, paciência, apoio, incentivo e suporte durante todo o curso de mestrado.

Ao professor Cyro Borges pelo grande incentivo e receptividade principalmente durante os primeiros períodos do mestrado.

Aos professores Francisco Soeiro, Maria Elizabeth da Nóbrega Tavares e Regina Helena Ferreira de Souza que também contribuíram imensamente para minha formação durante suas disciplinas.

As pessoas que tive a oportunidade de conhecer e estudar junto como: Vinicius Moraes, Diego César e Joesley, como também a Helena Alves secretária do PGEIV.

Agradeço também a Fernanda Morgado Pereira pelo incentivo a começar, como também, a concluir o mestrado.

A minha família, especialmente a minha mãe Wilma Cléa Mandolesi Reis Fonseca e ao meu pai José Renato Locatelli Fonseca que sempre me apoiaram e me incentivaram para os estudos.

RESUMO

FONSECA, Fabrício César Reis. **Proposta de um método probabilístico de estimativa de custos de construção**. 2013. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

Projetos de construção são caracterizados pela escala, complexidade e seus riscos. Não é incomum encontrar planejamento e definição de escopo incompletos o que leva a aumento de custos e prazos. O objetivo desse trabalho é descrever um método de avaliação de riscos de forma a aumentar a previsibilidade da estimativa de custos do empreendimento. Para isso foram utilizados conceitos de gerenciamento de projetos, de simulação e de análise de riscos descritos na literatura para a constituição de um método de análise de riscos em estimativa de custos. A aplicação do método proposto em comparação com o método tradicional traz vantagens no que diz respeito à abrangência da análise. Enquanto pelo método tradicional a análise do empreendimento se faz por meio de suas tarefas, o método proposto analisa de forma distinta o planejamento do empreendimento nas suas três dimensões fundamentais: escopo, prazo e custo.

Palavras-chave: Estimativa de custos; Análise de riscos; Gerenciamento de projetos; Projeto; Simulação.

ABSTRACT

FONSECA, Fabrício César Reis. **Purpose of a probabilistic method of construction cost estimate.** 2013. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

Construction projects are characterized by their scale, complexity, and their common risks. It's not uncommon to find incomplete project planning and scope definition which often leads to cost and schedule overruns. The objective of this work is to describe a method of risk assessment in order to increase the accuracy of the project cost estimate. To meet this objective, it's been utilized project management, simulation and risk analysis concepts to build a cost estimate risk analysis method. The method proposed in this work has advantages in terms of the analysis broadness in comparison with the traditional method. By using the traditional method, the project analysis is oriented by work on the other hand by using the proposed method, the project is analyzed distinctively in its three fundamental dimensions: scope, cost and schedule.

Keywords: Cost estimate; Risk analysis; Project management; Design; Simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tríplice Restrição	13
Figura 2 – Fases do Projeto	23
Figura 3 – Cone da Incerteza	24
Figura 4 – Distribuição Triangular	32
Figura 5 – Paradoxo de Monty Hall	34
Figura 6 – Distribuição Triangular e BetaPERT	38
Figura 7 – Distribuição Normal	40
Figura 8 – Resultado da análise de riscos	43
Figura 9 – Resultado da análise de riscos (curva acumulada)	44
Figura 10 – Resultados do gráfico tornado	45
Figura 11 – Comparação gráfica entre as correlações	48
Figura 12 – Resumo do método proposto	57
Figura 13 – As dimensões da estimativa de custos	61
Figura 14 – Procedimento do método proposto	68
Figura 15 – Comparação entre método proposto e tradicional	69
Figura 16 – Desenho representativo do tanque	74
Figura 17 – Interface do tanque	74
Figura 18 – Arranjo do tanque	75
Figura 19 – Curva densidade probabilidade do método tradicional	89
Figura 20 – Curva densidade acumulada do método tradicional	89
Figura 21 – Curva densidade probabilidade do método proposto	91
Figura 22 – Curva densidade acumulada do método proposto	91
Figura 23 – Comparação de curva densidade probabilidade	92
Figura 24 – Comparação – curva densidade acumulada	93
Figura 25 – Comparação de valores entre os métodos	94
Figura 26 – Comparação de diagrama de caixa	96

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de Distribuição	36
Quadro 2 – Escolha randômica de valores	42
Quadro 3 – Correlação A (100% entre os itens)	46
Quadro 4 – Correlação B (50% entre os itens)	47
Quadro 5 – Correlação C (0% entre os itens)	47
Quadro 6 – Exemplo de correlações de itens	49
Quadro 7 – Descrição de probabilidade	65
Quadro 8 – Descrição do impacto	66
Quadro 9 – Correlação no método proposto	72
Quadro 10 – Cronograma	77
Quadro 11 – Comparação de itens de risco entre os métodos	78
Quadro 12 – Detalhamento de itens de custo (1)	81
Quadro 13 – Detalhamento de itens de custo (2)	82
Quadro 14 – Detalhamento de itens de custo (3)	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de estimativa de custos	21
Tabela 2 – Estimativa de custos	26
Tabela 3 – Exemplo de estimativa de custos	35
Tabela 4 – Estimativa de custos com variações definidas	39
Tabela 5 – Estimativa de custos com distribuições triangular e BetaPERT	40
Tabela 6 – Resultados estatísticos da simulação	44
Tabela 7 – Estimativa de custo com distribuição BetaPERT	46
Tabela 8 – Comparação entre as correlações	47
Tabela 9 – Exemplo de correlação de itens	50
Tabela 10 – Variação de custos em projetos internacionais	51
Tabela 11 – Variação de custos em projetos nacionais	51
Tabela 12 – Probabilidade x Impacto	66
Tabela 13 – Variância no método tradicional	70
Tabela 14 – Variância no método proposto	71
Tabela 15 – Comparação de variâncias	71
Tabela 16 – Valores considerando método tradicional	79
Tabela 17 – Exemplo de matriz de correlação	85
Tabela 18 – Resultados de estatística do método tradicional	88
Tabela 19 – Resultados de estatística do método proposto	90
Tabela 20 – Comparação de valor médio entre os métodos	95
Tabela 21 – Comparação de percentil entre os métodos	95
Tabela 22 – Resultados de estatística do método proposto e tradicional	96
Tabela 23 – Comparação de P-90 entre os métodos	97

LISTA DE ABREVIATURAS E DE SIGLAS

UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
PGECIV	Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil
CTC	Centro de Tecnologia e Ciências
FEN	Faculdade de Engenharia
EVTE	Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica
EAP	Estrutura Analítica do Projeto
HH	Homem-hora
PMI	Project Management Institute

Sumário

INTRODUÇÃO	12
• CONTEXTO DA PESQUISA	12
• OBJETIVOS	15
• RELEVÂNCIA.....	15
• LIMITAÇÕES DA PESQUISA	17
• ESTRUTURA DO TRABALHO	18
 1. REVISÃO DA LITERATURA.....	19
1.1 RISCO E ANÁLISE DE RISCOS	19
1.2 ANÁLISE DE RISCO E ESTIMATIVA DE CUSTOS	20
1.3 PROBABILIDADE	28
1.4 ANÁLISE DE RISCOS EM ESTIMATIVA DE CUSTOS	30
1.4.1 DESCRIÇÃO DA ANÁLISE DE RISCOS	35
1.4.1.1 RISCOS COMUNS.....	35
1.5 DIFERENÇAS ENTRE O CUSTO ESTIMADO E O REAL AO FIM DO EMPREENHIMENTO	50
1.6 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO	53
 2. PROPOSIÇÃO DO MÉTODO	55
2.1 MÉTODO TRADICIONAL	55
2.2 MÉTODO PROPOSTO	56
2.2.1 INCERTEZAS EM PREÇO DE MATERIAIS, SERVIÇOS E SALÁRIOS....	62
2.2.2 INCERTEZAS NO LEVANTAMENTO DE QUANTITATIVO E EQUIPAMENTOS	62
2.2.3 INCERTEZAS NO PLANEJAMENTO DA FASE DE EXECUÇÃO (HISTOGRAMA)	63
2.2.3.1 ANÁLISE DE RISCOS QUALITATIVA DE PLANEJAMENTO DE RECURSOS.....	64
2.2.3.2 ANÁLISE DE RISCOS QUANTITATIVA DE PLANEJAMENTO DE RECURSOS.....	66
2.3 COMPARATIVO ENTRE MÉTODO TRADICIONAL E A MÉTODO PROPOSTO	66
 3. APLICAÇÃO E RESULTADOS	73
3.1 DESCRIÇÃO DO PROJETO	73
3.2 CRONOGRAMA E PLANEJAMENTO.....	76
3.3 PROCEDIMENTO DE ANÁLISE DE RISCO	77
3.3.1 ABORDAGEM TRADICIONAL.....	78
3.3.2 ABORDAGEM PROPOSTA	80
3.4 RESULTADOS.....	87
3.4.1 RESULTADOS SEGUNDO A ABORDAGEM TRADICIONAL.....	88
3.4.2 RESULTADOS SEGUNDO A ABORDAGEM PROPOSTA	90
3.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO	92

CONCLUSÃO98

REFERÊNCIAS103

Introdução

- **Contexto da Pesquisa**

O aumento de custos de investimentos observado nas obras de construção civil e de montagem eletromecânica influencia negativamente todas as partes interessadas do projeto, desde os responsáveis pelo negócio, a equipe de projeto de engenharia, as empresas de implantação do empreendimento e, em se tratando de obra pública ou de abrangência pública, as várias esferas da sociedade.

Bruzelius *et al.* (2002) afirma que é comum observar aumento de custos de 50% a 100% em grandes empreendimentos e que aumentos maiores que 100% não é incomum.

Segundo Flyvbjerg, Bent (2006), cada vez mais as informações que os gerentes de projeto utilizam para tomada de decisão estão ficando imprecisas, levando a um aumento do risco do investimento. Uma das principais causas é a visão atual do mercado de que o valor da estimativa de custo realizada para o empreendimento representa, considerando uma variação, todo o montante que irá ser gasto. Porém, o valor estimado, muitas das vezes, não conta ainda com incertezas que podem acontecer em eventos futuros.

Na indústria de construção a prática de se realizar análise da estimativa de custos antes da aprovação do projeto para o início de construção ainda é incipiente, principalmente no Brasil. Em alguns projetos se observa a realização de análise de riscos na estimativa de custos, mas com resultados insatisfatórios, ou seja, que não passa por toda a abrangência do empreendimento.

Na maioria das estimativas de custos apenas um percentual definido de forma arbitrária é aplicado ao valor global da estimativa de custos. Esse percentual, que é denominado contingência, por definição deveria levar em consideração todas as incertezas específicas ligadas ao empreendimento.

A análise de risco deve considerar toda a dimensão do projeto, passando pelo projeto de engenharia, planejamento da construção e precificação dos quantitativos de materiais e equipamentos e mão de obra.

A linha de pesquisa tem como um de seus principais objetivos o planejamento de ações gerenciais para a obra “lean”, utilizando a técnica desenvolvida pelo PMI (*Project Management Institute*).

O PMI é uma instituição internacional sem fins lucrativos que tem como objetivo principal desenvolver técnicas de gerenciamento de empreendimento, esse instituto tem profissionais de gestão de projetos associados de diversos países.

Um dos modelos tradicionais de gerenciamento de empreendimento é a “tríplice restrição”, também conhecido como “triângulo de gerenciamento de projeto” ou “triângulo das restrições”.

Segundo o modelo da tríplice restrição o gerenciamento do empreendimento controla três variáveis:

- o Custo;
- o Prazo;
- o Escopo.

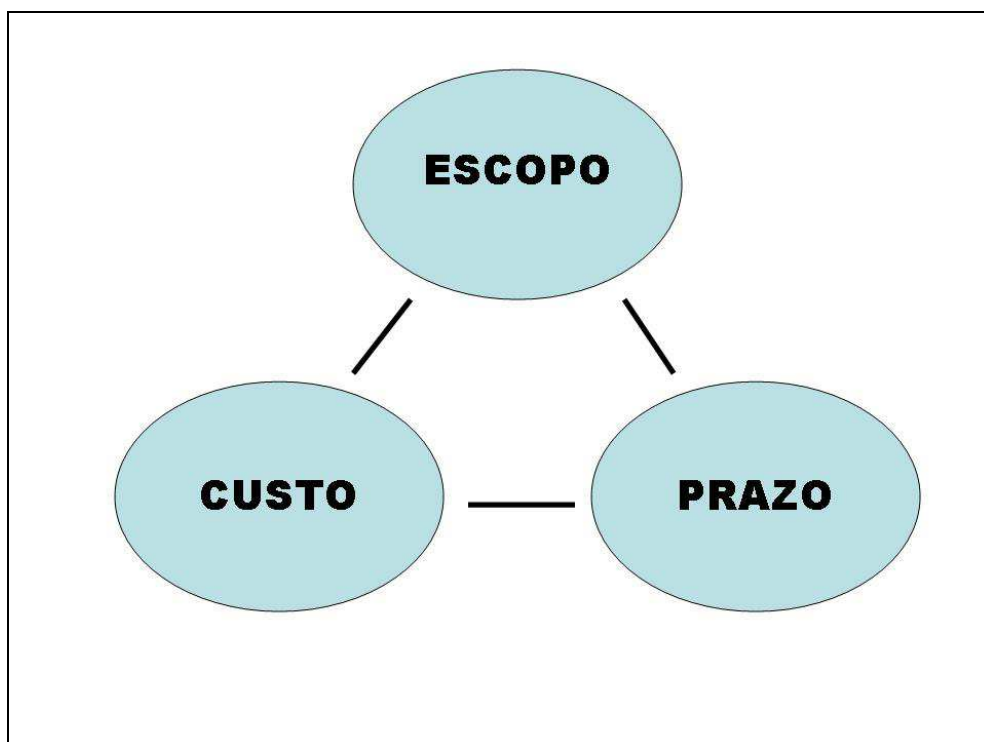


Figura 1: Tríplice Restrição

Atualmente, o PMI utiliza um modelo de gerenciamento mais abrangente, e considera as seguintes áreas do conhecimento: Integração, Escopo, Prazo, Custos,

Qualidade, Recursos Humanos, Comunicação, Aquisição, Partes Interessadas e Riscos.

A área de conhecimento de riscos considera as seguintes atividades:

- o Planejar o gerenciamento dos riscos;
- o Identificar os riscos;
- o Realizar a análise qualitativa dos riscos;
- o Realizar a análise quantitativa dos riscos;
- o Planejar as respostas aos riscos.

Se a análise de risco for realizada de forma completa na estimativa de custos, será possível obter informações mais confiáveis de quanto o empreendimento irá custar ao fim da implantação.

A indústria da construção, historicamente, tem sido lenta em aplicar melhorias nas técnicas de gerenciamento. Muitas vezes pressionados por apresentar valor baixo, os engenheiros de custos não realizam análise de forma detalhada, ou até mesmo qualquer análise das estimativas de custos por receio de apresentar um valor maior, porém mais realista, do empreendimento.

Hulett (2011) enfatiza a influência da análise de risco na estimativa de custos, um dos resultados da análise é a antecipação do conhecimento de eventos de riscos, transformando algumas incertezas em valores quantificáveis e facilitando o gerenciamento.

Dessa forma, a realização criteriosa de análise de riscos na estimativa de custos leva a um valor global final com margens de precisão mais realistas e, como consequência, pode apresentar valor estimado maior, pois mais itens de custos podem emergir da análise.

O valor final muito elevado pode levar à revisão do projeto ou até mesmo ao cancelamento do empreendimento. Apesar de o eventual cancelamento frustrar as expectativas de todos os envolvidos com empreendimento (desde os acionistas, equipe de projeto até ao responsável pelo negócio), ele evitará empreendimentos de retornos negativos para a empresa.

Segundo Javas (2010), a análise de riscos ajuda a organizar a informação e trazer novos elementos para a tomada de decisão, a antecipação dessa informação

traz vantagens competitivas, uma vez que a equipe responsável pela implantação do projeto pode gerenciar melhor os riscos evitando perdas.

Esta dissertação procura adicionar um método de análise de risco quantitativa em estimativa de custos à literatura de forma a aprimorar o gerenciamento de risco das atividades no processo construtivo, tendo como base a simulação de Monte Carlo.

O Método de Monte Carlo é uma classe abrangente de algoritmos computacionais que calculam amostras randômicas repetitivamente para obtenção de resultados numéricos, por exemplo, executando simulações diversas vezes.

Ele parte de curvas de probabilidade que explicam as incertezas dos itens. Então é escolhido, baseado na curva de probabilidade, o valor de cada item que irá compor um valor final, concluindo então a interação.

Cada o valor final de cada interação é guardado e ao final do processo será definida uma curva de probabilidade empírica.

- **Objetivos**

Esta dissertação se propõe os seguintes objetivos:

Objetivo 1) Identificar e definir os dados que serão utilizados para a análise de riscos;

Objetivo 2) Identificar os profissionais a serem consultados para as entrevistas;

Objetivo 3) Utilizar método de simulação apropriado para a análise;

Objetivo 4) Analisar quais distribuições de probabilidade descrevem melhor os eventos de risco;

Objetivo 5) Definir como a contingência pode ser considerada a partir da análise de risco;

- **Relevância**

Hulett (2011) ressalta que em face às incertezas na estimativa de custos de um empreendimento, é necessário uma forma mais aprimorada de se estimar os custos. E o Método de Monte Carlo é mais apropriado para a análise de risco, pois

consegue representar os elementos de custos de um empreendimento com valores mais otimistas e mais pessimistas.

A simulação é uma ferramenta muito útil para análise de comportamento de prazo e custo na construção civil. Porém seu uso requer técnica e treinamento para dar resultados dos quais podem ser feitas análises e planos de gerenciamento.

A estimativa de custos de um empreendimento é de fundamental importância para apoio à decisão, pois pode resultar em autorização para a construção, revisão do projeto de engenharia ou até, em casos extremos, cancelamento do projeto.

É comum se observar no Brasil empreendimentos cujos orçamentos foram ultrapassados. Esse problema se dá por diversos motivos, mas observa-se com frequência que na apresentação das estimativas de custos não há análise apropriada dos riscos e incertezas.

Não é incomum na indústria de construção se colocar percentual de acréscimo de custos em itens que apresentam incertezas maiores. Nesses casos é comum ouvir o termo “gordura” para se referenciar a esta “contingência específica”. Esse tratamento, apesar de levar em consideração incertezas em itens de custos, não é o mais apropriado, pois o percentual, muitas vezes, é colocado sem critério definido e a opinião de especialistas não é levada em consideração.

Por meio de consulta a especialistas que ajudam a definir qualitativamente e quantitativamente os valores, com os recursos computacionais e técnicas bem aplicadas, é possível realizar melhor previsão e controle dos custos referenciados ao empreendimento.

Pretende-se apresentar um método de análise de riscos na estimativa de custos que percorra todos os itens que geram custos do empreendimento de forma a capturar todas as incertezas, resultando assim na avaliação completa dos riscos e seus impactos nos custos do empreendimento. Com os riscos identificados e mapeados torna-se possível em uma segunda etapa o gerenciamento deles de forma a minimizar, ou até mesmo, cancelar os impactos dos riscos na implantação do empreendimento.

- **Limitações da Pesquisa**

A proposta principal deste trabalho é apresentar um método de análise de risco de estimativa de custo para projetos de construção. O método é aplicado utilizando softwares comerciais como, por exemplo, a planilha eletrônica Microsoft Excel e Palisade @Risk, nenhuma ferramenta de gerenciamento de cronograma ou análise de cronograma foi utilizada e, portanto impactos em relação ao prazo planejado do empreendimento não foram levados em consideração. O foco do trabalho é em análise de custos estimados para o empreendimento.

Custos de operação ou de manutenção que ocorrem durante a vida útil do empreendimento também não foram abordados neste trabalho. Estes custos, denominados de custos operacionais, são insumos juntos com o os custos de investimentos (abordados nesta dissertação) para o cálculo do EVTE (Estudos de Viabilidade Técnica Econômica).

O método limita-se aos custos de investimentos do empreendimento que são compostos de: custos unitários de material e serviços, quantitativo de material e planejamento de mão de obra.

O escopo desse trabalho não envolve também a análise do escopo do projeto com relação ao objetivo do negócio, ou seja, nenhuma consideração se o projeto atende aos seus objetivos finais pode ser avaliada segundo o método. Outro item que o método não aborda é se a especificação dos materiais atende ao empreendimento em termos qualitativos e quantitativos, a análise técnica do projeto de engenharia não é abordada neste trabalho.

Outra limitação do trabalho é que a aplicação do método e comparativo foi feita apenas em um caso real. A limitação existe, principalmente, pela falta de disponibilidade de tempo de profissionais para serem consultados. Outro fator é a limitação da quantidade de dados reais, confiáveis e detalhados de empreendimentos.

O objetivo de se utilizar o caso real foi de comparar os resultados obtidos utilizando-se o método tradicional e o método proposto por este trabalho aplicado a um mesmo projeto.

Apesar do resultado da aplicação do método ser importante, é interessante analisar outros casos, mas isso não foi possível devido ao horizonte de tempo da pesquisa.

- **Estrutura do Trabalho**

Esta dissertação foi organizada em 4 capítulos incluindo este primeiro capítulo de Introdução onde abordamos suas principais características.

O capítulo 1 apresenta uma Revisão da Literatura, onde a primeira e a segunda parte são direcionadas para os conceitos de estimativa de custos e análise de riscos. Nessas primeiras partes é feita uma descrição baseada na literatura sobre os princípios da estimativa de custos e da análise de riscos.

A terceira parte apresenta conceitos de probabilidade clássica.

A quarta parte contempla a aplicação da análise de risco na estimativa de custos e visa embasar teoricamente os conceitos do método a ser apresentado nos capítulos seguintes.

O capítulo 2 apresenta método proposto e descreve o método tradicional da análise aplicada a estimativa de custos. Mostra também as vantagens do método proposto com relação ao método tradicional.

No capítulo 3 é feito resumo do projeto a ser analisado e são feitas simulações das estimativas de custos aplicando o método proposto e o método tradicional, ao final do capítulo são apresentados os resultados das simulações realizadas e a comparação entre elas.

O capítulo 4 é destinado às conclusões, onde serão feitas considerações sobre a adequação do método e sobre os objetivos propostos. Serão feitas também as recomendações para trabalhos futuros.

1. Revisão da Literatura

A revisão da literatura apresenta breve descritivo dos assuntos abordados e mostra abordagens correntes da análise de risco em estimativa de custos. As referências utilizadas vieram de artigos especializados e literatura disponível para os assuntos.

1.1 Risco e Análise de Riscos

Segundo Javas (2010), risco pode ser definido como qualquer situação em que alguns eventos não podem ser conhecidos com precisão. Ele está presente em eventos comuns do cotidiano como também em eventos raros e particulares. Dado o número longo de situações que podem ter um efeito adverso ou inesperado e pela dificuldade de ser conhecido questiona-se a possibilidade do risco ser medido.

É importante salientar que o significado dos termos “risco” e “incerteza” não são consenso na literatura. Eles podem ser considerados termos equivalentes ou termos distintos, neste caso risco está associado a eventos dos quais é possível ser calcular a probabilidade e incerteza correspondem a eventos dos quais podem sair inúmeros resultados e, portanto, o cálculo da probabilidade de cada evento se torna trabalhoso.

O termo risco geralmente lembra resultados desastrosos, mas o risco pode ser também associado a consequências positivas ou a evitar consequências negativas.

Os riscos existem devido à impossibilidade de controlar precisamente todas as causas de um acontecimento, levando assim, ao efeito caótico (em que qualquer mudança nas condições iniciais de um evento pode levar a encadeamentos completamente divergentes); a limitada habilidade de processar informações para tomar a decisão correta (essa limitação é conhecida como racionalidade limitada) e ao custo da informação que pode estar relacionada ao preço propriamente dito ou ao tempo de se conseguir a informação.

O tempo tem importância fundamental na análise de risco, pois as incertezas do tempo presente não mais serão incertezas após a ocorrência do evento. Para este trabalho os significados dos termos “risco” e “incerteza” são equivalentes.

1.2 Análise de Risco e Estimativa de Custos

Engenharias de todas as disciplinas trabalham com variáveis. As engenharias das disciplinas técnicas envolvem variáveis específicas que podem, ou não, envolver outras disciplinas. O engenheiro civil trabalha com carga, o engenheiro mecânico lida com variáveis que envolvem a dinâmica e o engenheiro eletricitista trabalha com potência.

Westney (1997) afirma que o engenheiro de custos, por outro lado, trabalha com uma variável que passa por todas as outras disciplinas e que se não for feita e analisada de forma correta pode levar a prejuízo para a empresa.

O custo planejado de investimento de um empreendimento é um dos valores principais que determina se o projeto será aprovado e irá entrar em fase de fabricação, construção e montagem.

O valor do custo planejado e das incertezas do empreendimento é processado e informado por meio da estimativa de custos.

A estimativa de custos de um empreendimento é uma previsão de valor em que existem incertezas oriundas de mudanças em tecnologia, quantidades, ambiente econômico e outros fatores. A estimativa engloba:

- custo direto: todos os insumos de mão de obra, materiais e equipamentos;
- custo indireto: toda a infraestrutura e os serviços auxiliares necessários para a produção, tais como: canteiros de obras, administração local, mobilização, desmobilização e outras despesas da obra.

A estimativa de custos tem diversas finalidades, dentre elas podem-se destacar:

- providenciar avaliação do capital para um trabalho específico;

- servir de insumo para o planejamento e controle do empreendimento;
- ser um item de base para cálculo do fluxo de caixa;
- alimentar a análise de risco quantitativa do empreendimento.

Dependendo do seu cliente final a estimativa de custos pode ser realizada de forma resumida ou detalhada. É recomendável que seja apresentada por meio de documento com revisão controlada e rastreabilidade.

Com relação ao nível de detalhamento as estimativas de custos podem ser elaboradas para atender a várias etapas do desenvolvimento de um empreendimento. O nível de detalhamento das estimativas de custo é função das informações técnicas disponíveis ou da finalidade da estimativa, podendo ser adotado o seguinte critério:

- Ordem de Grandeza - Dados Conceituais (Planejamento do Negócio)
- Fatoração - Início do Projeto Básico (Desenvolvimento do escopo)
- Detalhado - Pré-detalhamento do Projeto Básico (Aprovação / Contratação)

A tabela a seguir mostra o tipo de estimativa de custos por grau de definição do projeto.

Nome	Objetivo	Nível de definição do projeto
Ordem de magnitude	Estudo de viabilidade	0% a 10%
Fatoração	Controle	10% a 40%
Pré-detalhado	Aprovação	40% a 90%
Detalhado	Aprovação	90% a 100%

Tabela 1: Classificação de estimativa de custos. Fonte: Adaptado de Christensen et al. (2011)

Pela própria natureza do projeto industrial que muitas vezes lida com dados inesperados como licenças governamentais, mercado e inflação, por exemplo, não existe na prática uma definição precisa de início e fim de cada etapa do projeto, entretanto a maioria das corporações tende a seguir as seguintes fases de projeto:

- Estudos iniciais de avaliação econômica

Geralmente os estudos iniciais são feitos por especialistas com grande experiência no projeto. Desses estudos avalia-se a possibilidade de se realizar o projeto e a taxa de retorno do investimento. Percentual de definição do projeto: 0% a 10%.

- Projeto conceitual

Nessa fase o projeto já está um pouco mais maduro e os principais equipamentos podem ser definidos com maior precisão. A estimativa de custo global do projeto feita nesta fase apresenta um range de erro um pouco menor que na etapa anterior. Percentual de definição do projeto: 5% a 40%.

- Projeto Básico e pré-detalhamento

No projeto básico o empreendimento industrial começa a ter corpo com consolidação das características dos principais equipamentos e maior detalhamento de outras disciplinas do projeto como: arranjo, processo, elétrica, mecânica, instrumentação, segurança e etc. No pré-detalhamento é feita uma lista detalhada de materiais e equipamentos secundários. Percentual de definição do projeto: 15% a 70%.

- Detalhamento

A fase de detalhamento geralmente ocorre junto com a construção. Percentual de definição do projeto: 50% a 100%.

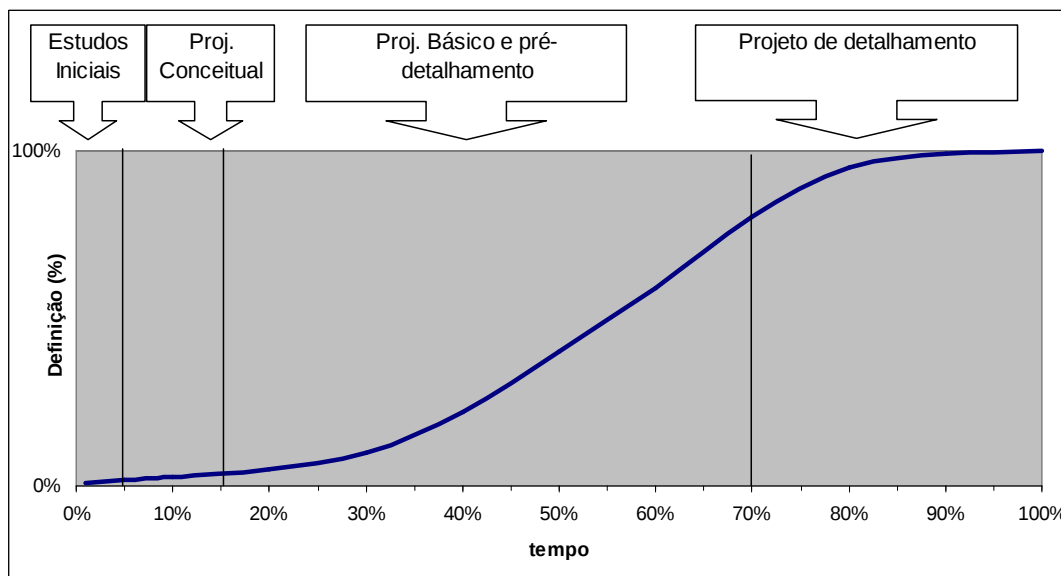


Figura 2: Fases do Projeto

À medida que o projeto vai sendo detalhado, ou seja, passando da fase de estudo de viabilidade para o projeto de detalhamento é de se esperar que as incertezas relacionadas ao custo diminuam, e ao mesmo tempo, a estimativa de custo base do empreendimento aumente.

O nível de precisão da estimativa de custos é diretamente proporcional ao nível de detalhamento das informações que serviram de origem. Outro fator que influencia o nível de precisão é a qualidade dos dados, não é incomum se deparar com valores que foram estimados tomando como base custos estimados de projetos antigos. O prazo de se desenvolver a estimativa de custos afeta o seu resultado, como as informações de projeto carregam já algum nível de incerteza e muitos questionamentos surgem durante a elaboração da estimativa de custos, quanto menor o prazo maior a incerteza.

Graficamente essa variação pode ser representada pelo cone da incerteza. A figura a seguir mostra como o custo base, representado pela linha central da figura, sofre variação positiva enquanto as incertezas diminuem, representadas pelas linhas superior e inferior.

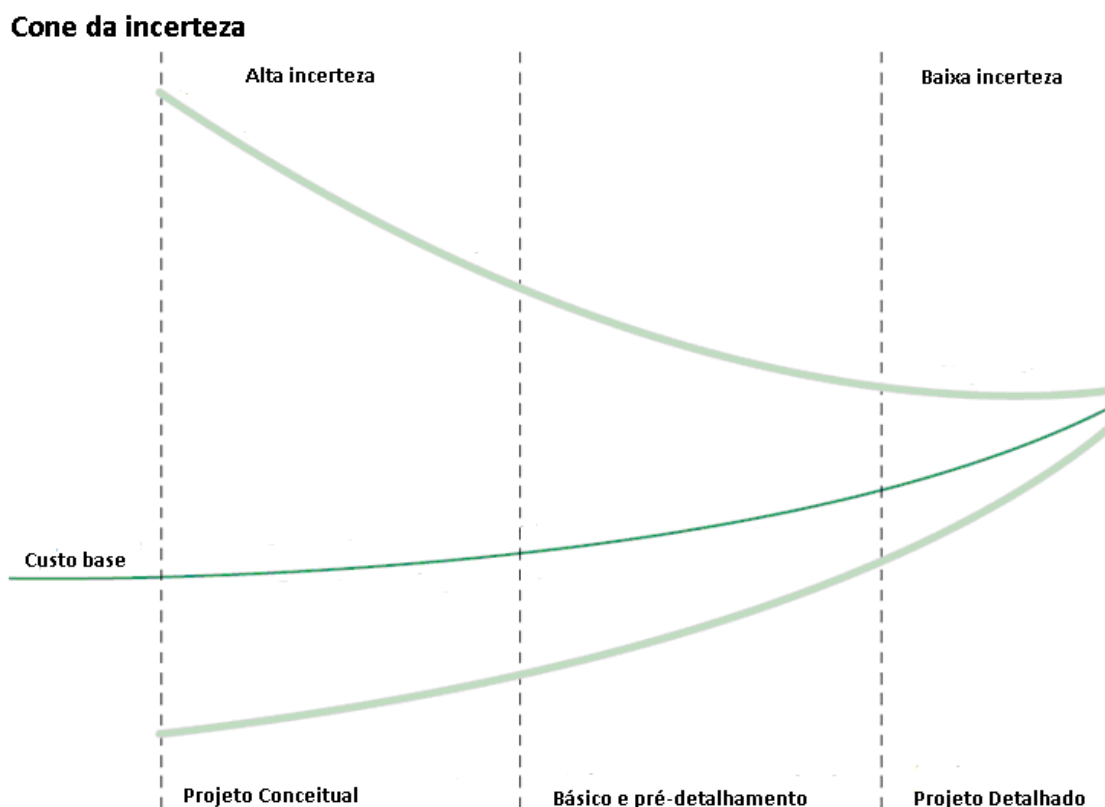


Figura 3: Cone da incerteza . Fonte: Adaptado de GAO (2009)

As informações para estimativa de custos partem dos documentos do projeto. Todo projeto deve ser definido e suas características devem estar documentadas, as informações devem ser emitidas de maneira formal. Os documentos gerais que definem o projeto são: a Declaração de Escopo e a Estrutura Analítica do Projeto (EAP).

O documento de Declaração de Escopo segundo “Project Management Institute” (PMI) é uma confirmação escrita dos resultados e objetivos do empreendimento. Ele contém as justificativas do projeto, os objetivos, a descrição dos produtos (no caso de uma unidade química, por exemplo), as restrições (orçamentárias e técnicas) e as premissas. A Declaração de Escopo é de forma geral um acordo firmado entre a equipe de projeto e a alta direção da companhia. Conforme o projeto vai sendo detalhado é comum revisar a Declaração de Escopo de forma a garantir os principais objetivos do empreendimento.

A EAP é um documento que divide o projeto em partes e subpartes e tem como objetivo garantir que todo o escopo do projeto está sendo planejado. A divisão

do projeto em detalhes é fundamental para determinar as etapas e tarefas para a conclusão do empreendimento. O nível da EAP deve ir até aos entregáveis, ou seja, até o nível de detalhamento das disciplinas.

A estimativa de custo detalhada é preparada com base no projeto básico, no pré-detalhamento (quantitativos) e em um planejamento de engenharia de construção bem detalhado, incluindo os seguintes documentos de engenharia:

- localização;
- descrição;
- histogramas;
- arranjos e número de equipamentos;
- planta de arquitetura;
- dados de topografia;
- avaliação de Hh (Homem-hora) para serviços ;
- listas de equipamentos de processo e de utilidades com dimensionamento e especificação de materiais;
- diagrama unifilar elétrico;
- estrutura analítica do projeto.

Normalmente a estimativa de custos é informada por meio de um documento que abrange todo o empreendimento. O documento resume o escopo do projeto e cita as referências utilizadas para a construção do custo planejado do empreendimento.

A tabela a seguir é um exemplo ilustrativo de apresentação resumida de uma estimativa de custo de projeto pré-detalhado.

CUSTO						
nível	DESCRIÇÃO	Realizados (R\$)	Serviços	Bens (R\$)	Total s/ contingência	Total com contingência
1	Fase II	652.997,45			652.997,45	652.997,45
2	GERENCIAMENTO DE FASE II	611.248,15			611.248,15	611.248,15
2	PROJETO CONCEITUAL	41.749,30			41.749,30	41.749,30
1	Fase III	6.686.491,39	318.181,82		7.004.673,21	7.134.391,39
2	GERENCIAMENTO DE FASE III	2.882.273,62	318.181,82		3.200.455,44	3.232.273,62
2	PROJETO BÁSICO	3.331.935,88			3.331.935,88	3.331.935,88
2	FATORES DE LOCAL	472.281,89	89.000,00		561.281,89	570.181,89
3	Execução da Sondagem		89.000,00		89.000,00	97.900,00
1	Fase IV		172.184.780,31	80.531.747,81	252.716.528,12	280.533.707,77
2	GERENCIAMENTO		18.144.574,10		18.144.574,10	19.959.031,51
2	TERMINAL DE CUBATÃO		154.040.206,21	80.531.747,81	234.571.954,01	260.574.676,25
3	Outros Custos de C&M		1.643.135,00		1.643.135,00	1.807.448,50
4	MEIO AMBIENTE		1.643.135,00		1.643.135,00	1.807.448,50
5	Licenciamentos		245.000,00		245.000,00	269.500,00
5	TCCA (Termo de Compromisso de Compensação Ambiental - LEI SHUC)		1.398.135,00		1.398.135,00	1.537.948,50
3	Subestação Principal		37.739.804,66	16.490.994,14	54.230.598,80	59.798.381,33
4	Projeto Executivo		1.560.808,40		1.560.808,40	1.716.889,24
4	Construção Civil		12.818.174,25		12.818.174,25	14.099.991,68
4	Suprimentos			16.490.994,14	16.490.994,14	18.284.816,21
5	Suprimentos Petrobras			2.894.453,01	2.894.453,01	3.328.620,87
5	Suprimentos EPCista			13.596.541,13	13.596.541,13	14.956.195,24
4	Montagem Eletromecânica e Testes		21.491.780,53		21.491.780,53	23.640.958,58
4	Comissionamento		1.868.841,47		1.868.841,47	2.055.725,62
3	Pátio de Bombas		18.720.457,79	52.376.158,88	71.096.616,67	80.607.082,52
4	Projeto Executivo		422.718,94		422.718,94	464.990,84
4	Construção Civil		2.971.588,86		2.971.588,86	3.268.747,75
4	Suprimentos			52.376.158,88	52.376.158,88	60.014.578,96
5	Suprimentos Petrobras			48.016.083,79	48.016.083,79	55.218.496,36
5	Suprimentos EPCista			4.360.075,09	4.360.075,09	4.796.082,60
4	Montagem Eletromecânica e Testes		14.820.005,42		14.820.005,42	16.302.005,96
4	Comissionamento		506.144,57		506.144,57	556.759,02
3	Sistema Auxiliar e de Alívio de Claros		12.054.224,62	5.815.416,06	17.869.640,68	19.656.604,75
3	Tubovias e Interligações		55.953.845,71	1.022.962,61	56.976.808,32	62.674.489,15
3	Ampliação e adequações - subestação secundária e instalações existentes		12.649.891,40	4.494.019,12	17.143.910,52	18.858.301,58
3	Linha de Transmissão		2.989.772,96	332.197,00	3.321.969,95	3.654.166,95
3	Desativações e Demolições		12.289.274,07	-	12.289.274,07	13.518.201,48
1	Fase V		210.000,00	-	210.000,00	231.000,00
2	GERENCIAMENTO		210.000,00	-	210.000,00	231.000,00
1	TOTAL		172.712.962,13	80.531.747,81	260.584.198,78	288.552.096,61

Tabela 2: Estimativa de custos

A forma como a estimativa de custo é vista depende muito de seu cliente final, que pode ser o responsável pelo negócio (proprietário) ou a empresa de fabricação, construção e montagem (empreiteiro).

O responsável pelo negócio tende a ser criterioso na fase de planejamento do empreendimento, ou seja, na fase de projeto conceitual e básico. Nessa fase são feitos estudos considerando diferentes tecnologias, análises riscos de implantação do empreendimento, estratégias de contratação, plano de captação de recursos, estudos de localização da planta, logística de transporte e operações.

Por outro lado, a empresa contratada para implantação é mais detalhista com a estimativa de custos e estratégia de implantação do empreendimento. Isso pode ser explicado, pois a empresa, ao informar o seu preço em uma concorrência, ele deve ser baixo o suficiente para ganhar dos competidores e alto o suficiente para garantir boa margem de lucro.

Uma característica fundamental da estimativa de custos é a consideração de uma database fixa, ou seja, o valor representa um montante fixo no tempo. Considerações sobre previsão de inflação ou variação do câmbio são feitas

normalmente em ocasiões especiais e em estudos de viabilidade técnica e econômica.

A precisão do valor da estimativa de custos é maior quanto mais definido estiver o projeto, ou seja, quanto mais informações, mais preciso é o valor. De uma forma geral as informações necessárias para a realização da estimativa de custo são:

- Dados técnicos (desenhos de engenharia, levantamento de quantitativos, estudos de geologia, e etc.).
- Informações de mercado (banco de dados de salários por função, preços de materiais de compras anteriores, cotações de materiais e de aluguel de equipamentos de construção e etc.).
- Informações do planejamento da obra (cronograma, histograma de mão de obra direta e indireta).

Portanto toda estimativa de custos é uma previsão de custos em um cenário onde incertezas estão envolvidas. Para cobrir as incertezas que ocorrerão durante a fase de execução do empreendimento o valor de contingência é adicionado ao valor determinístico da estimativa de custos.

A contingência em estimativa de custos pode ser definida como um item de custo adicionado à estimativa para suprir as incertezas de um empreendimento.

A contingência é o valor adicionado à estimativa de custos para itens, condições ou eventos para os quais o estado, ocorrência ou efeito é incerto e que a experiência mostra que isso irá influenciar nos custos. A contingência pode ser calculada usando análise estatística, mas a prática comum é obter este montante por meio de experiências de projetos anteriores.

Contingência geralmente exclui:

- mudanças de escopo representativas tais como alteração de capacidade, tamanho das instalações e localização dos ativos;
- eventos extraordinários tais como grandes greves e desastres naturais
- reservas gerenciais;
- alta inflação específica de itens ou alteração significativa de câmbio.

Itens de contingência podem incluir, mas não é limitada a erros e omissões da estimativa e planejamento, pequenas flutuações de preços, detalhamento do projeto, mudanças dentro do escopo e variações de mercado.

Todo projeto tem características e interesses específicos, o que leva a incertezas particulares. Dessa forma a contingência deve ser calculada e analisada para cada projeto separadamente.

Há pouca informação na literatura sobre como fazer análise de risco em estimativa de custos, a maioria recomenda entrevistar especialistas para obter o valor máximo, mínimo e o mais provável de um evento e alocar em uma distribuição triangular.

Ainda que a equipe de projeto tenha feito análise de risco quantitativa para a definição do valor de contingência, o resultado final pode não cobrir todas as incertezas envolvidas.

O resultado de uma análise de risco que não passa por todo o projeto é deficiente, pois não cobrem os eventos de riscos que levam ao aumento de custo do empreendimento. Ou seja, o valor de contingência será inferior ao necessário para cobrir todos os eventos de riscos.

1.3 Probabilidade

A estrutura formal para descrever eventos que representam riscos é a teoria da probabilidade. A definição básica da Teoria da Probabilidade se baseia na chance de ocorrência de certo evento a partir de processos randômicos.

Qualquer evento A tem a probabilidade de ocorrência $\Pr(A)$ tal que:

$$0 \leq \Pr(A) \leq 1. \quad \text{Eq. (01)}$$

Portanto quando há certeza de ocorrência (ou não) do evento, a probabilidade de ocorrência assume os valores, $\Pr = 0$ ou $\Pr = 1$.

O conjunto de todos os possíveis resultados (A_i) pode ser denominado de “Espaço Amostral” (S). Para um dado espaço S a distribuição de probabilidade ($\Pr$) satisfaz as seguintes propriedades:

$\Pr(A_i) \geq 0$ para todos eventos A_i em S .

$\Pr(S) = 1.$ Eq. (02)

Se A_1, A_2 e A_3 são independentes então $\Pr(A_1 \cup A_2 \cup A_3) = \sum_i \Pr(A_i).$

Em situações de incerteza em que seja necessário representar uma medida física é conveniente se usar variável aleatória que é uma função que associa elementos do espaço amostral a valores numéricos.

$$X : \Omega \rightarrow \Re$$

A Probabilidade Clássica é associada a eventos que se repetem com certa frequência, porém nem todos os eventos de riscos se reproduzem em frequência. Daí a dificuldade em avaliar a probabilidade desses eventos.

A Lei dos Grandes números foi descrita primeiro por Jakob Bernoulli que é "o primeiro teorema fundamental de probabilidade" é descrita da seguinte forma: "Se um evento de probabilidade p é observado repetidamente em ocasiões independentes, a proporção da frequência observada deste evento em relação ao total número de repetições converge em direção a p à medida que o número de repetições se torna arbitrariamente grande".

Mas para eventos em que não há possibilidade de ser repetido, por exemplo, uma atividade em um empreendimento, não se pode aplicar o conceito de frequência ou a Lei dos Grandes Números. Para esses tipos de eventos pode se usar a probabilidade subjetiva.

A Distribuição de Probabilidade Subjetiva é uma área de pesquisa que compreende estatística, psicologia e análise de riscos.

O comportamento humano é sujeito a uma série de itens que distorcem o julgamento das incertezas. Os exemplos desses itens são:

- Disponibilidade da informação.
- Representatividade. Julgar a probabilidade de eventos enfatizando em características (possivelmente irrelevantes) parecidas com outros eventos.

- Ajustes. A tendência em ajustar (devido a novas informações) os valores iniciais de probabilidade de um evento com fatores, ao invés de reavaliar esse mesmo evento.
- Excesso de confiança: A tendência subestimar uma incerteza.

Segundo Coleman (2011), o problema do excesso de confiança é crítico em gerenciamento de riscos, pois confiança é necessária para o sucesso de um empreendimento enquanto o seu excesso pode levar a um desastre. Isso faz parte da psicologia humana oriunda da tendência à busca da sobrevivência que força o cérebro a desconsiderar e esquecer um passado desastroso.

O mundo real não é um jogo que pode ser repetido e como eventos não esperados não acontecem frequentemente eles não são lembrados em análises de risco.

Isso dificulta a medição e controle desses eventos bem como a criação de um banco de dados dessas informações. Por isso é necessário confiar no julgamento subjetivo das probabilidades.

Segundo Bedford T. *et al* (2001), a escolha dos especialistas a serem consultados para a análise de risco é de fundamental importância, pois o julgamento desses profissionais podem, entre outras coisas, ser usado para refinar os dados que são oriundos de eventos reais.

Para evitar interpretações errôneas e erros de julgamento é recomendável utilizar um número suficientemente grande de especialistas para as entrevistas, e quanto mais conhecimento o especialista tiver do assunto mais precisa é a análise.

Portanto para melhor resultado da análise de riscos os assuntos devem ser de conhecimentos específicos a um número representativo de especialistas, perguntas sobre assuntos amplos devem ser evitadas.

1.4 Análise de Riscos em Estimativa de Custos

Molak (1997) define a Análise de Risco como um conjunto de conhecimento que calcula e avalia a probabilidade de um efeito inesperado de um agente, de um processo industrial, de uma nova tecnologia empregada ou de um processo natural,

mas a definição de efeito inesperado é um julgamento de valor e não pode ser precisamente definido.

A forma tradicional e determinística de se estimar custos é calcular valores específicos para cada um dos elementos da estimativa e a somatória desses itens forma a estimativa de custos global. Depois um valor de reserva ou um percentual de contingência é somada à estimativa sem utilizar método criterioso.

A prática comum da indústria é utilizar um valor entre 10% e 20% do valor global da estimativa de custo para ser considerado como contingência. Esse percentual varia de acordo com o grau de detalhamento do projeto e qualidade das informações enviadas para o cálculo da estimativa de custos. A contingência colocada de forma percentual e sem critério pode invalidar toda a estimativa de custo, pois o valor final não vai representar todos os riscos inerentes do empreendimento.

Kujawaski, E. *et al* (2004) citam os principais motivos pelos quais os custos estimados ficam abaixo dos custos reais, dentre eles, vale a pena destacar:

- excesso de confiança ao se realizar análise de risco;
- falta de consideração das correlações entre os itens de custos;
- pressão da alta gerência para a estimativa de custos apresentar um valor baixo;
- definição de escopo pobre;
- falta de análise de risco ou análise de risco feita de forma inadequada.

A análise de riscos na estimativa de custos pode se transformar em uma armadilha se for executada de forma incorreta. O uso de distribuições inapropriadas dos itens falta de análise de impacto entre os itens de riscos, omissão de itens importantes no escopo do projeto e falta de conhecimento sobre a análise de riscos por parte dos técnicos e especialistas são algumas das causas da execução equivocada da análise de riscos.

Segundo Hulett (2011), a análise de risco na estimativa de custo pode ser vista como a etapa conclusiva da estimativa de custos, a noção de que a estimativa de custos determinística reflete o valor final é errada. A estimativa de custos com valores determinísticos é apenas o começo do processo.

Na abordagem tradicional de análise de risco na estimativa de custos, os itens mais representativos da estimativa de custos devem ser preenchidos não com um valor determinístico, mas como uma distribuição de probabilidade representando valores mais prováveis, limite inferior e limite superior.

Como recomendação de melhores práticas, para se realizar análise de riscos em estimativa de custos de forma mais eficiente é necessário:

- Entrevistar múltiplos especialistas, inclusive consultores externos.
- Selecionar os itens de maior importância e construir uma distribuição para cada um desses itens. Cada especialista deve apontar o range da distribuição e os motivos. O valor mais provável deve ser o último valor a ser escolhido para evitar tendências.
- Fazer estimativa de cada item selecionado como distribuição probabilística, ou seja, com o valor mais provável, valores inferiores e superiores. A distribuição possui 100% de probabilidade entre os extremos. O valor mais provável não necessariamente é o valor equidistante entre os extremos.

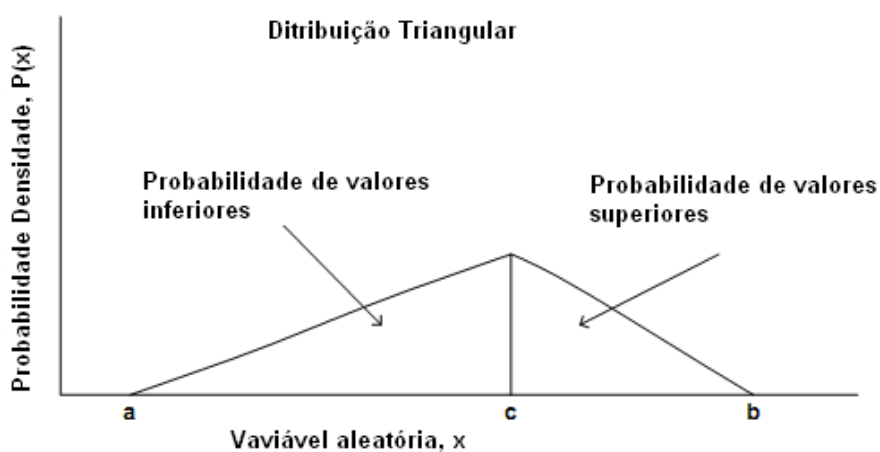


Figura 4: Distribuição Triangular

- Entrar em consenso com os especialistas sobre os resultados obtidos para os intervalos de cada item.

Segundo Arroyo (2012), é importante distinguir dois tipos de riscos: específicos (ou idiossincráticos) e sistêmico. Os riscos idiossincráticos se encerram dentro da companhia, ou seja, está sob o controle da empresa. Os riscos sistêmicos

atingem toda a indústria e geralmente é resultado de intervenções do governo, políticas econômicas inapropriadas ou eventos extremos como, por exemplo, desastres naturais.

O risco é representado pela função densidade ou função distribuição e não pode ser definido como um simples número apenas.

O mundo real é repleto de eventos aleatórios e a intuição humana não é muito boa em trabalhar com eventos aleatórios.

Um clássico problema que mostra que a intuição humana não faz julgamentos probabilísticos corretos é o Paradoxo de Monty Hall.

O problema se baseia em um jogo de um programa televisivo dos Estados Unidos em que ao participante são apresentadas três portas, sendo que em uma delas está o prêmio. Na primeira etapa o participante escolhe uma porta, que não é aberta. Em seguida o apresentador abre uma das duas portas não previamente escolhidas que não contem o prêmio. Então, na segunda etapa o participante tem que decidir se permanece com a porta escolhida ou faz a opção de trocar de porta.

A resposta intuitiva ao problema é que após o apresentador ter aberto a porta que não continha o prêmio ele cria um “novo jogo”. Enquanto antes cada uma das três portas tinha $1/3$ de probabilidade de conter o prêmio, após a abertura da porta pelo apresentador cada uma das portas restantes tem apenas 50% de chances de conter o prêmio e seria indiferente optar pela troca.

No entanto, esta forma de pensar está errada, pois a porta que o apresentador abre depende da porta que o participante escolher, na verdade não está sendo criado um jogo novo, mas sim informações novas estão sendo acrescentadas ao jogo.

Na escolha inicial o participante tem $2/3$ de chances de escolher a porta errada e após a abertura de uma das portas restantes que não contém o prêmio, a opção pela troca da porta resulta em sucesso em $2/3$ das vezes.

A próxima figura mostra que é vantajoso optar pela troca.

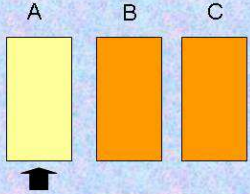
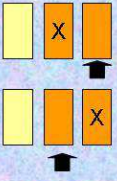
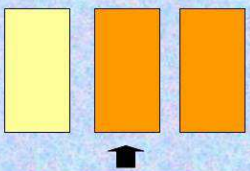
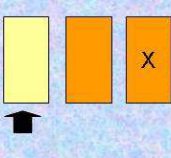
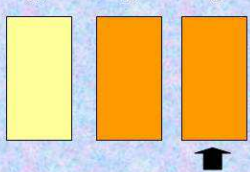
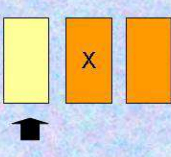
ESCOLHA INICIAL	ABERTURA	OPÇÃO PELA TROCA	RESULTADO E PROBABILIDADE
	PORTA B PORTA C		PERDE 1/3
	PORTA C		GANHA 1/3
	PORTA B		GANHA 1/3

Figura 5: Paradoxo de Monty Hall

Olhando para a história, o passado é fácil de explicar até mesmo em termos de causas e consequências, mas um dos problemas relacionados à avaliação de risco é que isso cria a ilusão de que o futuro pode ser explicado com a mesma facilidade.

Segundo Coleman (2011), o gerenciamento de riscos é a arte de usar as lições do passado para mitigar erros e explorar futuras oportunidades. As ferramentas de gerenciamento de riscos ajudam a entender acontecimentos do passado e presente, mas não é o suficiente para evitar que os eventos de risco ocorram.

Não devemos nos prender à ideia de que há certeza em tudo, mas sim encarar o futuro como uma constante mudança. O futuro raramente repete o passado, principalmente em eventos específicos e mais raros.

Há uma diferença entre medir e gerenciar o risco. Medir o risco tem três objetivos: colocar à tona os riscos conhecidos, facilitar o entendimento e a visão dos riscos e tentar entender e descobrir os riscos desconhecidos e não-antecipados.

1.4.1 Descrição da Análise de Riscos

Os riscos sistêmicos devem ser identificados logo no início do projeto e são de responsabilidade do gerente do projeto e não fazem parte do escopo do projeto. Esses riscos estão ligados à indústria.

Os riscos específicos estão ligados ao escopo do projeto e são de responsabilidade do gerente do projeto e da empresa contratada. Esses riscos podem ser divididos em dois tipos de riscos:

Riscos comuns – são ligados às incertezas nas fases de planejamento, projeto conceitual e projeto básico. Alguns exemplos dessas incertezas são: variação na especificação técnica de equipamentos, variação no levantamento de materiais (ex: volume de concreto, peso da estrutura metálica), variação na produtividade de mão-de-obra direta e indireta.

Riscos especiais – são variações atípicas no processo que é de difícil medição, por exemplo, problemas de licenciamento ambiental, desastres naturais, aumento súbito de custo de materiais (concreto, aço) e greves.

1.4.1.1 Riscos Comuns

A análise da incerteza começa com estimativa de custos e recursos pré-detalhada.

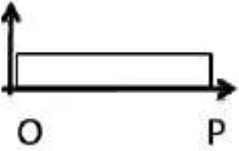
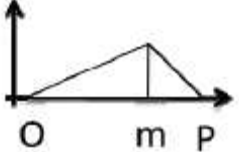
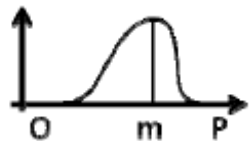
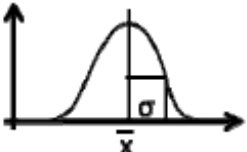
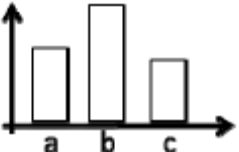
	Valor mais provável
Engenharia Básica	\$40
Engenharia de Detalhamento	\$75
Equipamentos	\$130
Estrutura Metálica	\$100
Concretagem	\$160
Materiais	\$120
Construção & Montagem	\$380
Comissionamento	\$120
Total	\$1.125

Tabela 3: Exemplo de estimativa de custos

Um grupo de especialista é então consultado e de acordo com sua experiência, e levando em consideração a natureza do projeto e o tipo de contrato, incertezas nos custos e recursos são alocadas a cada item. Esta parte é fundamental e influência diretamente a análise de risco na estimativa de custos.

Os resultados na análise de riscos dependem da qualidade dos dados de riscos utilizados.

A função distribuição é então determinada baseada em informações históricas dos dados ou então selecionada. As distribuições mais utilizadas são as seguintes:

Tipo	Função Distribuição	Descrição
Uniforme		Todos os eventos têm a mesma probabilidade de ocorrer. Não há predominância.
Triangular		Os valores extremos e o mais provável (m) são conhecidos.
Beta-Pert		Os valores extremos e o mais provável (m) são conhecidos.
Normal		A média e o desvio padrão são conhecidos.
Discreta		Usada para itens que só podem assumir valores específicos e a probabilidade de cada um deles pode ser definida.

Quadro 1: Tipos de Distribuição

A distribuição mais usada quando não há dados históricos suficientes para se determinar a distribuição é a triangular. Esse tipo de distribuição é definida por três pontos e, portanto permite com maior facilidade traduzir os valores de mais provável,

mais pessimista e mais otimista dos especialistas. Porém esse tipo de distribuição não é encontrada na natureza.

A Distribuição triangular tem as seguintes características:

Função Densidade:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{para } x < a, \\ \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)} & \text{para } a \leq x \leq c, \\ \frac{2(b-x)}{(b-a)(b-c)} & \text{para } c < x \leq b, \\ 0 & \text{para } b < x. \end{cases} \quad \text{Eq. (03)}$$

Média:

$$\mu = \frac{(a+b+c)}{(3)} \quad \text{Eq. (04)}$$

Variância:

$$\sigma^2 = \frac{(a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc)}{(18)}. \quad \text{Eq. (05)}$$

Como alternativa a distribuição Beta também é usada. Ela não é definida por três pontos, normalmente é definida com os seguintes valores: mínimo, máximo, e dois parâmetros de forma.

Como é mais difícil traduzir as informações dos especialistas para a distribuição Beta, usa-se a BetaPERT, que nada mais é que a distribuição Beta que pode ser descrita com “3 pontos” assim como a distribuição triangular. Portanto o formato da distribuição é mais suave e coloca mais ênfase em valores no entorno do valor mais provável.

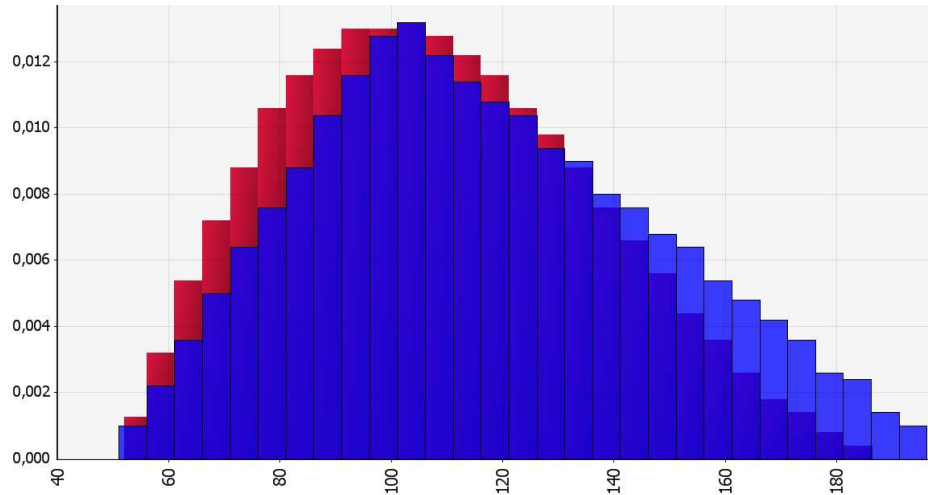


Figura 6: Distribuição Triangular e BetaPERT

A figura anterior representa a diferença entre a Distribuição Triangular (em azul) e BetaPERT (em vermelho) para 3 pontos (50,100,200).

A distribuição BETA é caracterizada pela seguinte função densidade:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{x^{v-1}(1-x)^{w-1}}{B(v,w)} & 0 \leq x \leq 1 \\ 0 & \text{outros} \end{cases} \quad \text{Eq. (06)}$$

Onde $B(v,w)$ é a função Beta,

$$B(v,w) \equiv \int_0^1 t^{v-1}(1-t)^{w-1} dt. \quad \text{Eq. (07)}$$

E a função distribuição é:

$$F(x) = \begin{cases} \frac{B_x(v,w)}{B(v,w)} & 0 \leq x \leq 1 \\ 0 & \text{outros} \end{cases} \quad \text{Eq. (08)}$$

Onde $B_x(v,w)$ é a função Beta incompleta,

$$B_x(v,w) \equiv \int_0^x t^{v-1}(1-t)^{w-1} dt. \quad \text{Eq. (09)}$$

Na distribuição BetaPERT os parâmetros de forma v e w são gerados pela moda ou valor mais provável.

Um parâmetro adicional λ influencia na altura da distribuição, o valor típico para este parâmetro é 4.

A média é calculada da seguinte forma:

$$\mu = \frac{(x_{\min} + x_{\max} + \lambda x_{\text{mod } a})}{(\lambda + 2)} . \quad \text{Eq. (10)}$$

$$v = \frac{(\mu - x_{\min})(2x_{\text{mod } a} - x_{\min} - x_{\max})}{(x_{\text{mod } a} - \mu)(x_{\max} - x_{\min})} . \quad \text{Eq. (11)}$$

$$w = \frac{v(x_{\max} - \mu)}{(\mu - x_{\min})} . \quad \text{Eq. (12)}$$

Quando não há informação o suficiente, até mesmo a distribuição uniforme pode ser usada indicando que há mesma probabilidade de qualquer valor entre o mínimo até o máximo de ocorrer.

Depois de definidos os itens, as distribuições e as correlações é apresentada então a variação quantitativa dos riscos de acordo com a próxima tabela:

	Limite Inferior	Valor mais provável	Limite Superior
Engenharia Básica	\$25	\$40	\$90
Engenharia de Detalhamento	\$50	\$75	\$100
Equipamentos	\$100	\$130	\$180
Estrutura Metálica	\$80	\$100	\$140
Concretagem	\$120	\$160	\$220
Materiais	\$80	\$120	\$160
Construção & Montagem	\$300	\$380	\$450
Comissionamento	\$100	\$120	\$150
Total	\$855	\$1.125	\$1.490

Tabela 4: Estimativa de custos com variações definidas

A forma analítica utilizada para combinar e somar as distribuições de probabilidade de cada item é o Método dos Momentos. A simulação mais comumente usada e que também é a mais flexível é a simulação de Monte Carlo.

O Método dos Momentos é aplicável somente a modelos em que as únicas operações são a adição e a subtração, ou seja, em que a estimativa de custos é representada por uma tabela de soma de itens. Ele estima momentos populacionais por meio de seus equivalentes amostrais. Ele usa as médias e as variâncias de cada item para calcular a média e o desvio padrão dos custos totais do empreendimento.

Tomando como exemplo uma estimativa de custos, com os itens discriminados. Supondo duas distribuições diferentes, Triangular e BetaPERT, a tabela 3 mostra que a média pode divergir da somatória do valor mais provável de cada item.

				Triangular		BetaPERT	
	Limite Inferior	Valor mais provável	Limite Superior	Média	Variância	Média	Variância
Engenharia Básica	\$25	\$40	\$90	\$52	\$193	\$46	\$117
Engenharia de Detalhamento	\$50	\$75	\$100	\$75	\$104	\$75	\$69
Equipamentos	\$100	\$130	\$180	\$137	\$272	\$133	\$178
Estrutura Metálica	\$80	\$100	\$140	\$107	\$156	\$103	\$100
Concretagem	\$120	\$160	\$220	\$167	\$422	\$163	\$278
Materiais	\$80	\$120	\$160	\$120	\$267	\$120	\$178
Construção & Montagem	\$300	\$380	\$450	\$377	\$939	\$378	\$625
Comissionamento	\$100	\$120	\$150	\$123	\$106	\$122	\$69
Total		\$1.125		\$1.157	\$2.458	\$1.141	\$1.615

Tabela 5: Estimativa de custos com distribuições triangular e BetaPERT

O método dos momentos baseado no Teorema de Limite Central assume que há suficiente quantidade de itens de incerteza a forma da distribuição resultante é próxima de uma normal ou Gaussiana

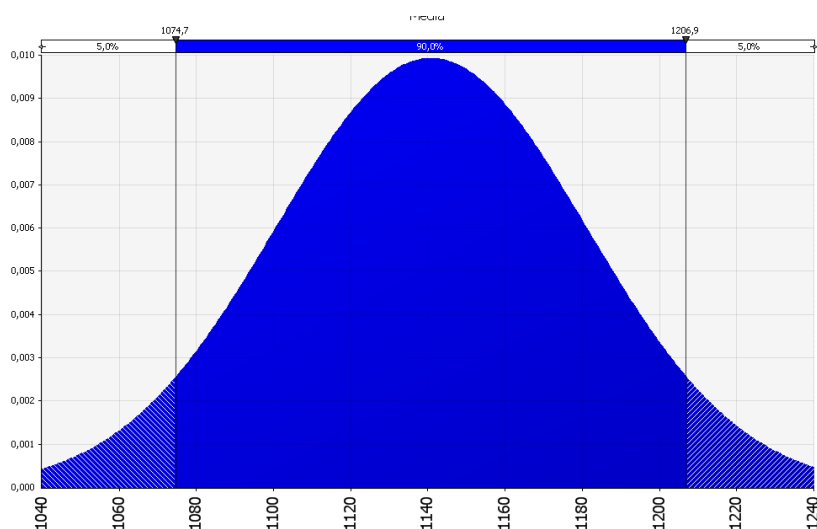


Figura 7: Distribuição Normal

A simulação de Monte Carlo é uma técnica que cria populações virtuais de estimativa de custos globais de projetos similares para suprir a falta de dados reais para se realizar um tratamento probabilístico adequado.

O principal objetivo do Método de Monte Carlo é calcular a distribuição de probabilidade do custo total do empreendimento baseada nas distribuições dos itens individuais.

A simulação inicia com os dados da estimativa com o valor mais provável, o limite inferior, o limite superior e a distribuição definida. São simulados, então, vários custos de projetos com as interações. Cada simulação de custo global sai de uma interação.

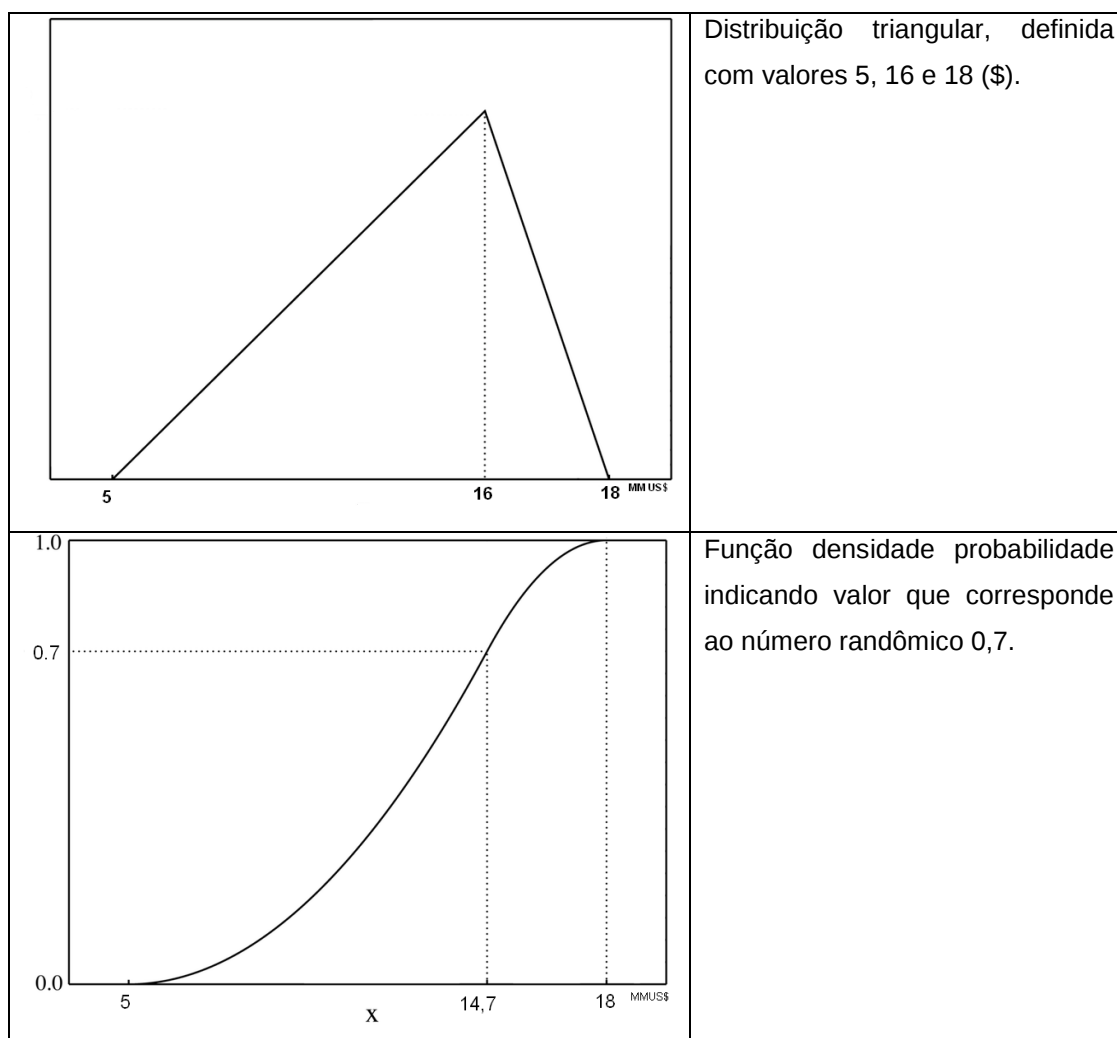
Em cada interação o simulador escolhe randomicamente os valores de cada item da estimativa levando em consideração a distribuição de probabilidade definida. Então a somatória dos valores resulta em uma simulação da estimativa de custo global.

A cada interação o método escolhe um número de 0 a 1 de forma randômica no eixo Y da função de probabilidade acumulada. Esse valor está ligado a um valor na distribuição.

Por exemplo, em uma distribuição triangular onde os valores são:

Mínimo	\$ 05
Mais Provável	\$ 16
Máximo	\$ 18

Suponha que o número randômico seja 0,7. Esse valor corresponde a US\$ 14,7 MM segundo próximo quadro.



Quadro 2: Escolha randômica de valores

A análise desses dados utilizando a simulação de Monte Carlo resulta na estimativa de custos probabilística. Normalmente um programa comercial é utilizado com aproximadamente 1000 interações.

Seguem a seguir as apresentações gráficas dos resultados da análise de riscos considerando os valores da tabela 5 com distribuição triangular:

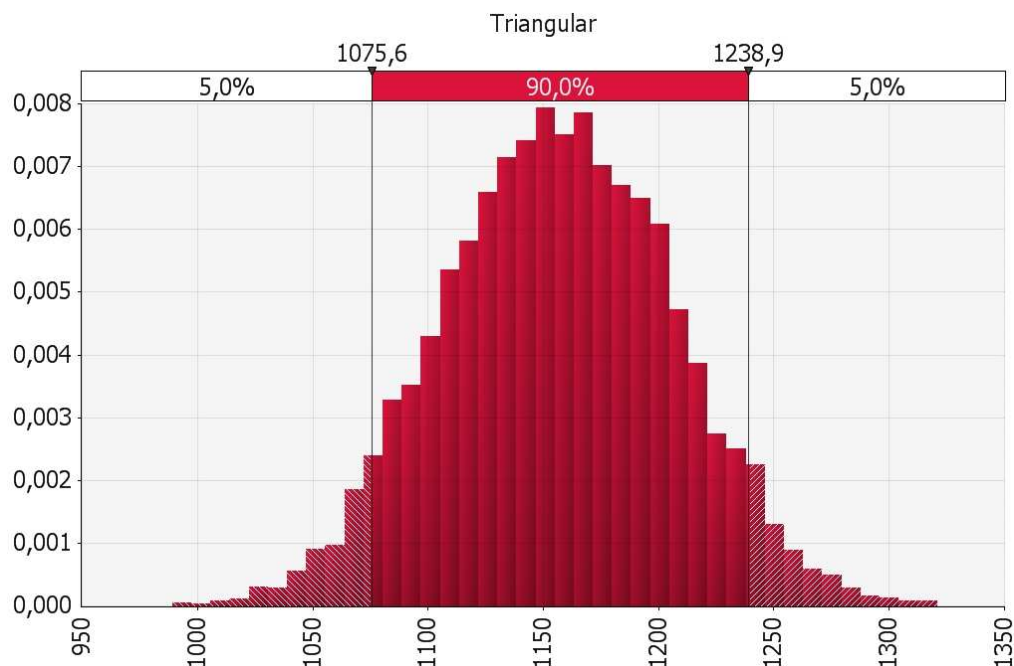


Figura 8: Resultado da análise de riscos

Uma dessas interações representa o custo real do empreendimento que está em estudo. O custo mais provável do empreendimento segundo a figura acima é em torno de \$1150.

Outra interpretação é que, segundo a distribuição acima, há 90% de chances do custo global do empreendimento ficar entre aproximadamente \$1075,6 e \$1238,9.

Outra forma de representar é a distribuição acumulada, que mostra os valores no eixo x, iniciando do limite inferior indo até o limite superior. O eixo y mostra a probabilidade.

A figura a seguir apresenta o resultado da mesma análise, mas com valores acumulados.

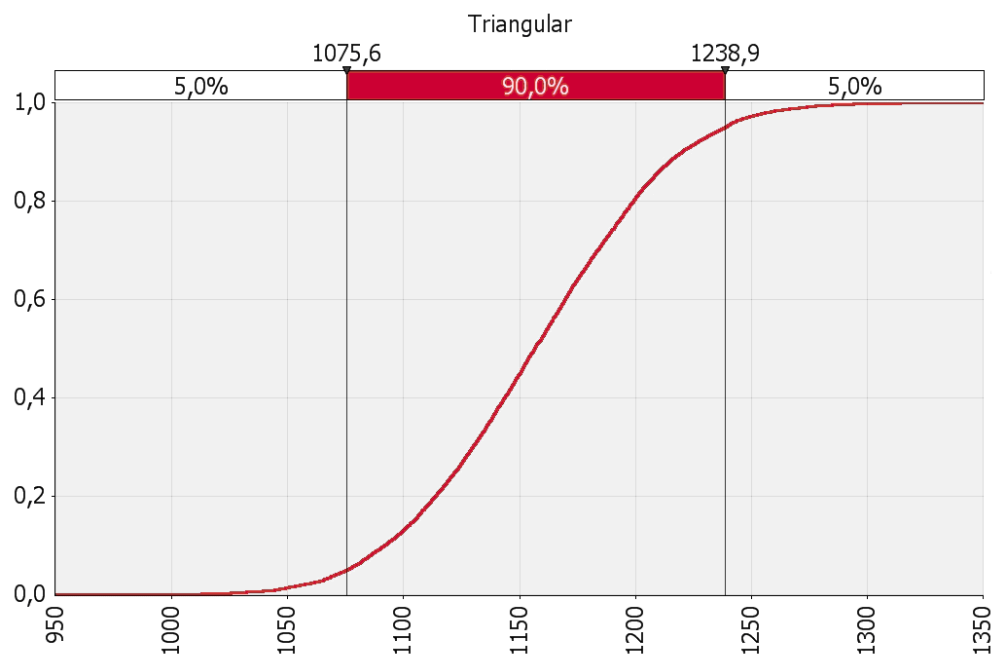


Figura 9: Resultado da análise de riscos (curva acumulada)

Pode ser feita também uma tabela com a variação do percentil de 0% a 100%. Essa forma permite avaliações para definição do valor de contingência da estimativa de custos.

Mínimo	\$989	35% Percentil	\$1.137
Máximo	\$1.321	40% Percentil	\$1.144
Média	\$1.157	45% Percentil	\$1.150
Desvio Padrão	\$50	50% Percentil	\$1.156
Variância	2457,712	55% Percentil	\$1.163
Assimetria	0,01009564	60% Percentil	\$1.170
Curtose	2,821083	65% Percentil	\$1.176
Moda	\$1.152	70% Percentil	\$1.184
5% Percetil	\$1.076	75% Percentil	\$1.191
10% Percentil	\$1.092	80% Percentil	\$1.199
15% Percentil	\$1.104	85% Percentil	\$1.208
20% Percentil	\$1.114	90% Percentil	\$1.220
25% Percentil	\$1.123	95% Percentil	\$1.239
30% Percentil	\$1.130		

Tabela 6: Resultados estatísticos da simulação

O Gráfico de Tornado (ou de sensibilidade) evidencia os itens mais relevantes em termos de risco de custos e ajuda a definir os itens mais importantes que influenciam nos custos do empreendimento.

O gráfico a seguir apresenta o item “Construção e Montagem” como mais relevante na análise de riscos.

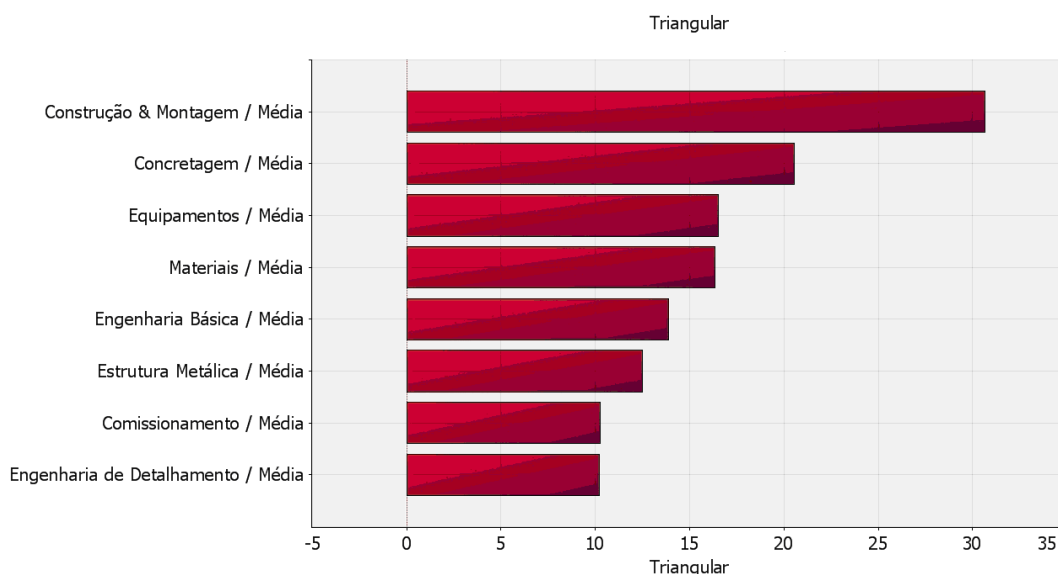


Figura 10: Resultados do gráfico tornado

Um item que influencia a variância da distribuição do custo global do empreendimento é alocação de correlação entre itens. A correlação mede como o custo de um item varia em relação a outro item. Se a correlação entre dois itens for positiva, significa que quando um item aumenta de valor o outro aumenta também. Se a correlação entre dois itens for negativa, significa que quando um item aumenta de valor o outro diminui de valor. Se for negativa eles vão em direção oposta, ou seja, enquanto um varia para cima o outro item varia para baixo.

Se todas as variáveis de uma análise de risco são consideradas como independentes entre si, alguns itens irão assumir um valor alto e outros um valor baixo, resultando na somatória dos itens em um “cancelamento” na variação. Isso faz com que a distribuição resultante tenha desvio padrão menor.

A variância do custo total $Var(C_T)$ depende das variâncias dos itens de custos e da correlação entre eles:

$$Var(C_T) = \sum_{m,j} Var(C_{m,j}) + \sum_{m,j} \sum_{n,l} Corr(C_{m,j}, C_{n,l}) * [Var(C_{m,j}) * Var(C_{n,l})]^{1/2}. \quad \text{Eq. (13)}$$

Como o coeficiente de correlação varia com os valores entre -1 e +1 e considerando o caso com n elementos $C_{m,j}$ correlacionados, e σ_M^2 a maior $Var(C_{m,j})$. A $Var(C_T)$ satisfaz a seguinte equação:

$$Var(C_T) \leq n * \sigma_M^2 + n * (n-1) * \sigma_M^2. \quad \text{Eq. (14)}$$

O segundo termo da inequação passa a dominar quando o número de itens correlacionados aumenta muito, ou seja, a variância aumenta.

Tomamos como exemplo a seguinte estimativa de custos com valor inferior e superior considerando distribuição BetaPERT.

	Limite Inferior	Mais Provável	Limite Superior	Distribuição
Engenharia Básica	\$25,00	\$40,00	\$90,00	BetaPERT
Engenharia de Detalhamento	\$50,00	\$75,00	\$100,00	BetaPERT
Equipamentos	\$100,00	\$130,00	\$180,00	BetaPERT
Estrutura Metálica	\$80,00	\$100,00	\$140,00	BetaPERT
Concretagem	\$120,00	\$160,00	\$220,00	BetaPERT
Materiais	\$80,00	\$120,00	\$160,00	BetaPERT
Construção e Montagem	\$300,00	\$380,00	\$450,00	BetaPERT
Comissionamento	\$100,00	\$120,00	\$150,00	BetaPERT

Tabela 7: Estimativa de custo com distribuição BetaPERT

Foram tomadas as seguintes correlações entre os itens:

Correlação	Engenharia Básica	Engenharia de Detalhamento	
Engenharia Básica	1		
Engenharia de Detalhamento	1	1	
Correlação	Equipamentos	Estrutura Metálica	Materiais
Equipamentos	1		
Estrutura Metálica	1	1	
Materiais	1	1	1
Correlação	Concretagem	Construção Montagem	Comissionamento
Concretagem	1		
Construção e Montagem	1	1	
Comissionamento	1	1	1

Quadro 3: Correlação A (100% entre os itens)

Correlação	Engenharia Básica	Engenharia de Detalhamento	
Engenharia Básica	1		
Engenharia de Detalhamento	0,5	1	
Correlação	Equipamentos	Estrutura Metálica	Materiais
Equipamentos	1		
Estrutura Metálica	0,5	1	
Materiais	0,5	0,5	1
Correlação	Concretagem	Construção Montagem	Comissionamento
Concretagem	1		
Construção e Montagem	0,5	1	
Comissionamento	0,5	0,5	1

Quadro 4: Correlação B (50% entre os itens)

Correlação	Engenharia Básica	Engenharia de Detalhamento	
Engenharia Básica	1		
Engenharia de Detalhamento	0	1	
Correlação	Equipamentos	Estrutura Metálica	Materiais
Equipamentos	1		
Estrutura Metálica	0	1	
Materiais	0	0	1
Correlação	Concretagem	Construção Montagem	Comissionamento
Concretagem	1		
Construção e Montagem	0	1	
Comissionamento	0	0	1

Quadro 5: Correlação C (0% entre os itens)

Após simular com 10.000 interações foram apresentados os seguintes resultados:

Estatística	Correlação A (100%)	Correlação B (50%)	Correlação A (0%)
Mínimo	920,17	954,71	977,73
Máximo	1.383,55	1.351,24	1.302,75
Média	1.140,83	1.140,83	1.140,83
Desvio Padrão	72,79	60,03	44,98

Tabela 8: Comparação entre as correlações

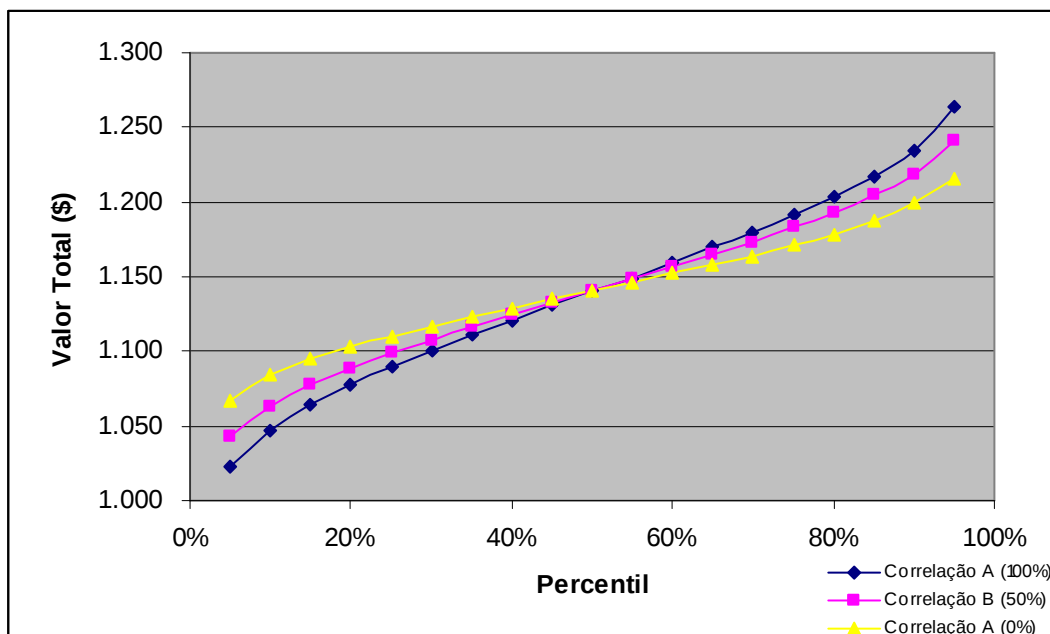
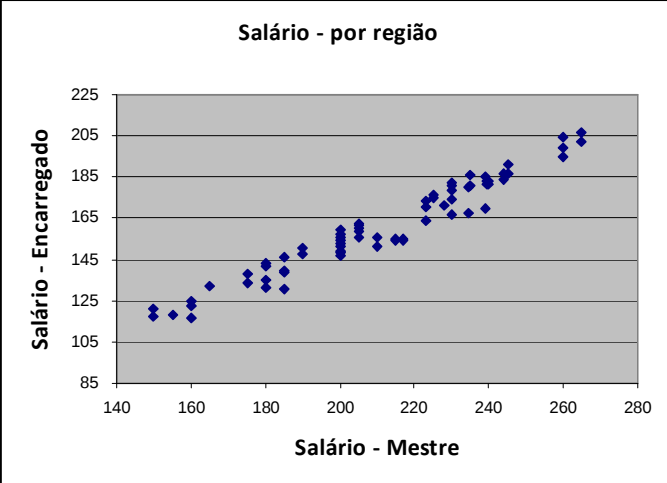
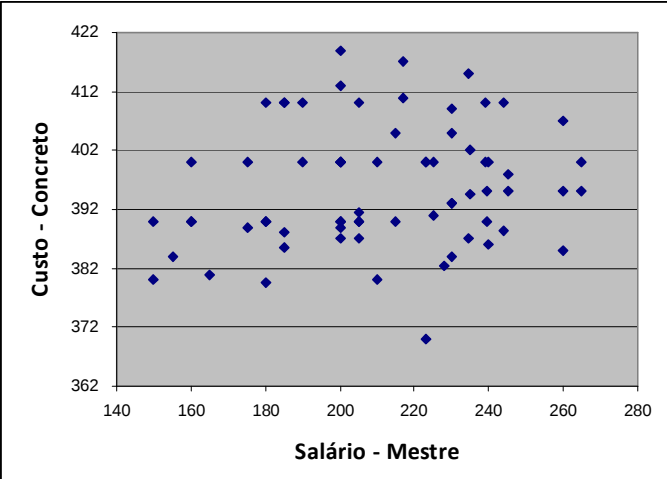
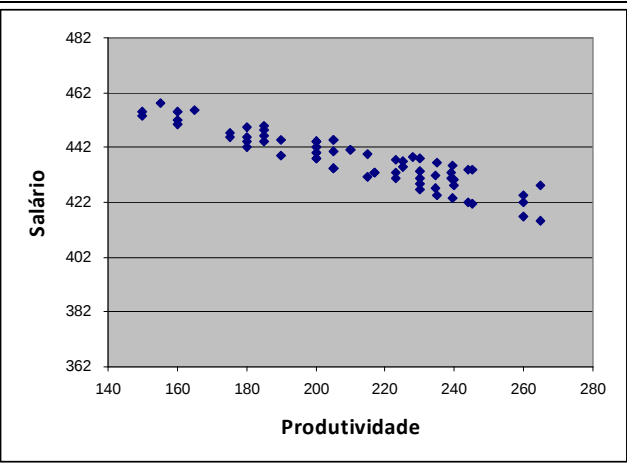


Figura 11: Comparação gráfica entre as correlações

Quando as correlações entre itens são negligenciadas, os riscos são reduzidos artificialmente e a distribuição final se apresenta de forma menor.

Alguns itens têm certa dependência e semelhança e podem ser correlacionados, por exemplo, salário do encarregado e do mestre de obras.

	O salário do encarregado e o salário do mestre por região apresenta correlação positiva, isto é, quanto maior o salário do encarregado, maior o salário do mestre.
	O gráfico ao lado mostra que não há correlação entre o custo do concreto e o salário do mestre de obras.
	Neste exemplo há correlação negativa entre o salário da mão de obra direta e a produtividade.

Quadro 6: Exemplo de correlações de itens

O método tradicional para análise de riscos comuns na estimativa de custos normalmente não separa a forma de levantamento de informações de riscos de bens e serviços, ou seja, considera a mesma forma de aquisição de dados para itens de

naturezas distintas. Dessa forma torna-se muito difícil, ou até mesmo impossível, correlacionar itens por semelhança.

Para se correlacionar itens semelhantes é necessário que a estimativa de custos seja detalhada e que os dados sejam separados segundo os valores primários, por exemplo, uma tarefa deve ser detalhada de forma que se consiga obter os seus componentes.

Por exemplo, na tabela seguinte é possível fazer correlação por semelhança, pois houve distinção na análise dos itens.

BENS	Un	Qdade	R\$/Un
Concreto Magro	m ³	494	46
Concreto para Fundações	m ³	74	160
Concreto para Estruturas, até altura de 2m	m ³	7	40
Concreto para Estruturas, altura acima de 2m	m ³	25	31
SERVIÇOS	Un	Qdade	R\$/Un
Carpinteiro	mês	7	1360
Armador	mês	7	1200
Pedreiro	mês	8	1200

Tabela 9: Exemplo de correlação de itens

É possível correlacionar os custos dos diversos tipos de concreto e também o custo dos serviços.

1.5 Diferenças entre o custo estimado e o real ao fim do empreendimento

Os eventos que estão ainda para acontecer têm muita incerteza, portanto é recomendável investigar os eventos e condições que fazem com os projetos custem mais ou menos que os custos estimados.

A análise de risco da estimativa de custos é a forma de determinar a probabilidade de terminar o empreendimento no orçamento reservado e também como requisito para o cálculo de reservas de contingência. A análise também é útil para servir de base para o plano de mitigação de riscos.

A experiência mostra que as estimativas oficiais de um empreendimento raramente são corretas. Um estudo realizado por Hollman (2012), mediu a relação entre o custo real ao final da execução da obra e seu custo estimado no início do empreendimento nos Estados Unidos e chegou aos seguintes resultados:

Indústria	Observações	Desvio médio entre o custo real e planejado
Metalurgia	64	+16%
Mineração	100	0%
Logística	258	+ 15%
Planta de Processo	22	+10%
Rodovias/Ferrovias	167	+15%
Mega Plantas de Processo	47	+88%
Novas Tecnologias	30	+28%
Hidroelétricas	56	+24%
Dutos	188	0%
Unidades de Refinaria	36	+23%

Tabela 10: Variação de custos em projetos internacionais

No Brasil, empreendimentos que têm interesse público como viadutos, estádios de esportes, grandes obras de empresas estatais ou de economia mista e etc., têm cobertura da mídia e por isso apresentam em sua maioria valores de custos subestimados.

A tabela abaixo apresenta o desvio médio entre o custo real e o custo planejado de plantas de processo.

Indústria	Observações	Desvio médio entre o custo real e planejado
Plantas de Processo	18	+83,6%

Tabela 11: Variação de custos em projetos nacionais

As principais causas das diferenças entre os custos planejados e realizados são:

- Estimativa de Custos otimistas, geralmente influenciadas pela alta gerência;
- Falta de atenção dada aos potenciais riscos do projeto.

É errado supor que as estimativas de custos e prazos sejam altamente imparciais. Em uma licitação há pressão para que os custos de um empreendimento sejam subestimados tanto do lado do licitante (para que o projeto proporcione retorno maior) como do lado do licitado ou proponente (para que ele ganhe a concorrência).

Holmman (2012) enfatiza que mesmo após a análise de risco na estimativa de custos o P90 resultante raramente ultrapassa em mais de 30% o valor base da estimativa sem a contingência (normalmente o valor base sem a contingência é o P50).

Enshassi A, *et al.* (2009) publicaram uma pesquisa com objetivo de estudar os fatores que levam à diferença positiva entre os custos realizados e custos estimados em empreendimentos na Faixa de Gaza.

Entre as principais causas apontadas pelas empresas responsáveis pela construção e as empresas contratantes são: greves dos trabalhadores, falta de materiais de construção e falha no gerenciamento da construção (má administração no fluxo de caixa gerando atraso de pagamentos).

A falta de materiais é um problema particular da Faixa de Gaza, pois a maioria dos materiais é importada de Israel e Egito. Somado a esse problema, o fechamento das fronteiras também é um fator que contribui para a dificuldade em ter disponibilidade de materiais.

Chan, Daniel W.M *et al.* (2011) identificaram os fatores de riscos principais associados à empreendimentos. Eles analisaram empreendimentos em que o contratante e o contratado chegaram a um acordo sobre o valor alvo do projeto (contratos dos tipos: *target cost contract* ou *guaranteed maximum price*).

Eles observaram que nem sempre essa estratégia traz resultados satisfatórios, por esse tipo de estratégia permitir que o contrato seja feito sem que o projeto esteja bem definido, ou seja, com baixo nível de maturidade, há diversos riscos envolvidos neste tipo de contratação.

Dessa forma tanto o contratante quanto o contratado ficam vulneráveis em relação às mudanças do projeto. Os principais fatores de riscos encontrados na pesquisa são: mudança de escopo do projeto, imaturidade do projeto básico para contratação e impossibilidade de se prever riscos devido à falta de maturidade do projeto.

Um estudo conduzido por Doloi (2011) investigou a estimativa de custos em gerenciamento de projetos sob o ponto de vista dos principais interessados. Ele percebeu que há fortes interesses que influenciam nos resultados das estimativas de custos, muitas vezes fazendo com que o valor da estimativa de custos seja revisto para baixo sem mudança de projeto.

Em uma entrevista estruturada conduzida com pessoas com experiências em empreendimentos de grande e médio porte, o autor revela que os motivos das diferenças de custos em relação ao valor estimado estão ligados a: falta de detalhamento do projeto, falta de conhecimento do local da obra (o que pode levar a custos extras de sondagem, estaqueamento e de requisitos ambientais, por exemplo), falta de conhecimento do mercado (falta de materiais de construção e alteração no preço de bens e serviços) e competência da equipe de projeto básico.

1.6 Justificativa do estudo

Na literatura encontram-se vários estudos que buscam entender as causas da variação entre o valor final e real do empreendimento e seu valor estimado antes da autorização para a construção.

Os artigos analisados para este trabalho apontam, em sua maioria, incertezas no escopo do empreendimento, planejamento e preços dos bens e serviços como as principais causas dos custos do empreendimento ter ficado alto com relação ao valor aprovado para o início do empreendimento.

Ainda na literatura muitos estudos e livros são voltados para o desenvolvimento de técnicas para aplicação da análise de riscos em projetos de construção.

Verifica-se que existe um campo na literatura que faz a conexão entre as principais incertezas que resultam em elevação de custo do empreendimento e o

desenvolvimento da técnica de análise de risco aplicada a estimativa de custo de investimento, que deve ser preenchido.

A análise de risco na estimativa de custos do investimento deve ser ao mesmo tempo abrangente e detalhista, ou seja, percorrer o empreendimento como todo e capturar todos os eventos de risco.

Para tal, pretende-se como principal contribuição da dissertação propor método de análise de risco que passe pelas principais causas de elevação dos custos do empreendimento.

- Escopo;
- Prazo;
- Preço (Custo).

2. Proposição do método

Este capítulo tem foco em apresentar novo aspecto no método tradicional da análise de riscos quantitativa na estimativa de custos. Essa nova abordagem passa a tratar de forma distinta os itens que compõem a estimativa de custos.

2.1 Método tradicional

O método tradicional de análise de riscos em estimativa de custos tende a tratar os custos das tarefas de execução de forma homogênea e coloca muita ênfase na entrevista com os especialistas, dessa forma aumenta a dependência do fator humano para interpretação dos dados. Apesar da fase de entrevista com os especialistas ser importante na aquisição de dados, ela pode diminuir a qualidade dos resultados da análise de riscos, pois aumentará a influência na análise de riscos do fator subjetivo.

Segundo Fyvbjerg (2006) a intuição humana não é apropriada para lidar com probabilidade. O ser humano tem predisposição cognitiva de julgar eventos ainda não ocorridos de forma mais positiva do que mostra a experiência. Isso leva à grande imprecisão na análise dos empreendimentos. Ele também afirma que há diversos pré-conceitos que induzem o ser humano a uma abordagem mais otimista no gerenciamento do empreendimento:

- Tendência de dar o crédito do sucesso a fatores humanos.
- Tendência de colocar a culpa do fracasso a fatores externos.
- Percepção errônea que o ser humano tem em pensar que todas as pessoas têm as mesmas opiniões e valores que ele mesmo.
- Ilusão em pensar que a todos os eventos podem ser controlados.
- Tendência em pensar que eventos ocorridos no passado, sejam positivos ou negativos, têm probabilidade exageradamente alta em ocorrer novamente.
- Visão de que o grupo de que o ser humano faz parte é mais capacitado e não cometerá os mesmos erros de outros grupos dos quais ele não faz parte.

Outra fonte de erro na análise é a tendência em se tratar o custo de cada atividade de um empreendimento como se fosse um valor com apenas uma origem numérica, ignorando o fato que o custo das atividades de um empreendimento é composto de vários itens de naturezas distintas.

Por exemplo, o custo de uma atividade que envolve custo de serviços de fabricação e montagem e custos de matérias é considerada, na abordagem tradicional, como uma única rubrica na análise de riscos na estimativa de custos.

2.2 Método proposto

A proposta do método tem como principal objetivo contextualizar o efeito da “intuição humana” na análise de risco da estimativa de custos de forma a tirar efeitos que podem levar a resultados não confiáveis.

O método separa as informações da análise de riscos em três grupos principais, neste trabalho também denominado como “dimensões”. Após isso, essas informações são correlacionadas por semelhança, ou seja, itens semelhantes irão ser tratados da mesma forma na simulação da análise de riscos. Então, as informações são analisadas por especialistas de cada um desses grupos (ou dimensões), contribuindo assim para resultado mais preciso.

Após essa etapa é realizada a simulação de Monte Carlo, onde a cada interação é gerado um valor de estimativa de custos global e após várias interações os resultados finais são representados de diversas formas para tomada de decisão. De forma resumida a figura a seguir resume o método proposto.

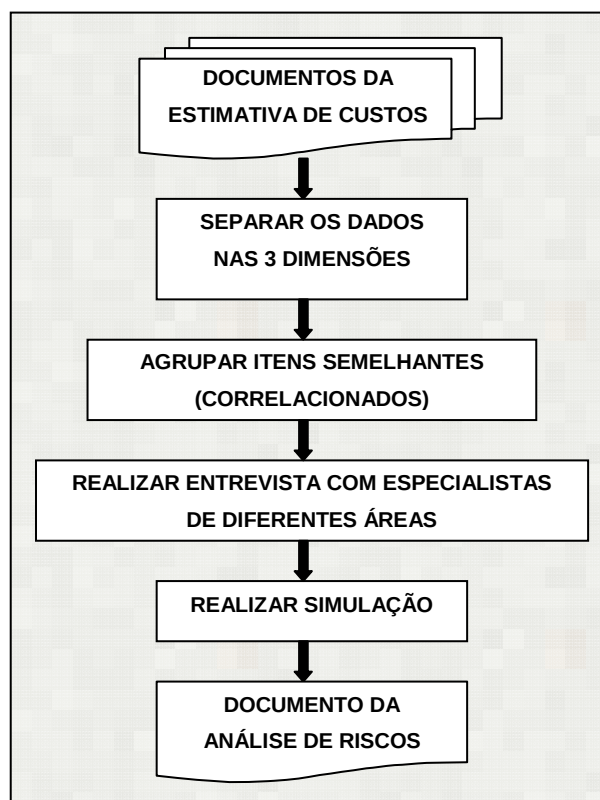


Figura 12: Resumo do método proposto

A equipe de projeto geralmente tem foco no empreendimento e no planejamento, e por isso, a visão da equipe fica restrita em termos de rentabilidade do projeto. Isso traz uma tendência em tratar o empreendimento em questão de forma otimista e fora da realidade, levando a erros na estimativa de custos. Parte dos erros e da imprecisão pode ser diminuída se houver informações de empreendimentos similares já concluídos.

As informações de empreendimentos similares devem ser de ordem qualitativa e, principalmente, quantitativa.

Os dados quantitativos de projetos já concluídos servem de fonte de estudos probabilísticos que ajudam a equipe de projeto a planejar o empreendimento. Por exemplo, diferenças encontradas entre as quantidades de material gastas na execução do empreendimento e as quantidades calculadas na fase de planejamento ou lista de eventos inesperados que levaram aos desvios nos prazos planejados.

Se número de observações desses dados for cerca de 15 ou mais, pode-se utilizar a abordagem paramétrica. Se o número de observações for pequena recomenda-se o uso de entrevistas com especialistas.

Na abordagem paramétrica assume-se que a distribuição seja normal com variância homogênea.

Pode ser necessário testar se a amostra tem distribuição normal. Para se testar a normalidade da amostra pode ser utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov.

Dada a premissa de que a distribuição é normal, considera-se então a média $\bar{x}$ e o desvio padrão s da amostra.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} . \quad \text{Eq. (15)}$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} . \quad \text{Eq. (16)}$$

Onde n é o número de observações.

A entrevista com especialistas ocorre quando o número de informações não for significativo. A coleta, manutenção e correto tratamento de um banco de dados é uma tarefa complexa, e é mais comum que não haja dados suficientes de cada item da estimativa para permitir abordagem paramétrica.

O julgamento de especialistas é útil para quantificar os modelos em que não seja possível a obtenção de quantidade representativa de dados e também para refinar e definir modelo de distribuição obtido a partir de dados reais.

A escolha de especialistas pode ser uma tarefa difícil, porém no método proposto o item a ser avaliado é específico e, portanto devem ser escolhidos especialistas daquele item em questão.

Tomando como exemplo o custo do concreto, compradores e especialistas em concreto devem ser consultados. Uma das vantagens do método é separar, classificar de forma a tratar riscos de forma específica.

Ainda que individualizadas as entrevistas com os especialistas, os seguintes erros da simplificação devem ser evitados:

- **Disponibilidade de informação:** a precisão da estimativa dos limites está diretamente relacionada à experiência dos especialistas. Outro erro que pode

afetar a análise é a forma como um evento os impactou. Se o evento, ainda que raro, trouxe uma consequência desastrosa para uma pessoa ela tende a considerar a probabilidade de ocorrência desse evento muito maior que a realidade.

- **Representatividade:** a tendência em considerar uma amostra pequena representativa de um evento de natureza de larga escala.
- **Ajuste e tendência:** a tendência em uma análise de risco de considerar um único valor disponível para o evento como valor mais provável e considerar a partir desse valor os limites inferior e superior. Para evitar o erro de tendência, recomenda-se começar pelo valor mais pessimista primeiro, depois pelo valor mais otimista e finalmente pelo valor mais provável.
- **Especialistas tendenciosos:** dependendo do interesse do especialista, ele pode ser tendencioso ao quantificar os riscos. Por exemplo, se o profissional estiver ligado ao empreendimento, ele poderá ser otimista nas previsões. Ou até mesmo a organização pode “forçar” que o resultado da Análise de Riscos seja um valor próximo ao custo desejado. Outro erro que pode ocorrer é a dificuldade de uma pessoa em visualizar uma situação que leve ao caso extremo, ou seja, o especialista terá dificuldade em passar o maior valor possível do preço do concreto por exemplo.
- **Premissas incorretas:** a tendência em tomar como verdade algum aspecto sem testar a validade. Algumas “verdades” repetidas numa organização podem influenciar consideravelmente a análise.

A Análise de Riscos deve ser conduzida por pessoas isentas de interesses com relação ao empreendimento, e essas pessoas devem ser experientes o suficiente para evitar que os erros mencionados influenciem na análise.

A qualidade na forma de coleta de informação melhora a análise. Portanto os especialistas consultados devem trazer todos os documentos que julgar necessários para responder às perguntas.

Considera-se como premissa uma distribuição conhecida e definida. Qualquer distribuição pode ser considerada para explicar os dados, mas recomendam-se distribuições com as quais seja mais fácil trabalhar.

Com a posse das informações de preços e consulta aos especialistas define-se o limite inferior, limite superior e valor mais provável para os itens.

A vantagem da distribuição BetaPERT está nos seguintes pontos:

- A distribuição Beta aparece na natureza ao contrário da distribuição triangular;
- É descrita por três pontos (limite inferior, ponto mais provável e limite superior);

Segundo Kamburowski (1997), a distribuição BetaPERT pode ser descrita da seguinte forma:

Sendo:

$x_{\min}$, o valor mínimo.

$x_{\max}$, o valor máximo.

x_{mod} , a moda.

Valor esperado ou média,

$$E(T) \approx \frac{(x_{\min} + 4x_{\text{mod}} + x_{\max})}{6}. \quad \text{Eq. (17)}$$

Variância,

$$D^2(T) \approx \frac{(x_{\max} - x_{\min})^2}{36}. \quad \text{Eq. (18)}$$

Esses valores foram propostos sob a premissa de que a distribuição T do tipo Beta é descrita da seguinte forma:

$$f_T(t) = 1/[(x_{\max} - x_{\min})^{\alpha+\beta-1} B(\alpha, \beta)](t-a)^{\alpha-1} (b-t)^{\beta-1} a < t < b, \alpha, \beta > 0. \quad \text{Eq. (19)}$$

A estimativa de custos de um empreendimento pode ser tratada em três dimensões distintas segundo a fonte de informações e especialidade de profissionais:

- **Preço dos materiais, serviços e salários:** as fontes de informações sobre os preços podem ser de banco de dados internos à companhia, banco de dados comercial ou cotações de mercado. Os profissionais envolvidos com esse tipo de informação são, por exemplo, compradores, profissionais de contratação de mão de obra e de Recursos Humanos.
- **Levantamento de quantitativos e equipamentos(escopo):** as quantidades e especificações dos materiais e equipamentos de um empreendimento são feitas, geralmente, na fase de pré-detalhamento do projeto. Os profissionais responsáveis por levantar essas informações são, principalmente, engenheiros e técnicos projetistas.
- **Planejamento da execução do empreendimento (histograma):** o planejamento prévio do empreendimento tem como objetivo levantar histogramas de mão-de-obra direta e indireta e determinar o prazo da execução do empreendimento. Existem também casos em que os histogramas são calculados a partir de um prazo definido. Geralmente planejadores e gerentes de empreendimento experientes são responsáveis por estimar os quantitativos de homem-hora e prazo de execução do empreendimento.

A figura a seguir apresenta as três dimensões da estimativa de custos que são analisadas de forma separada pelos especialistas.

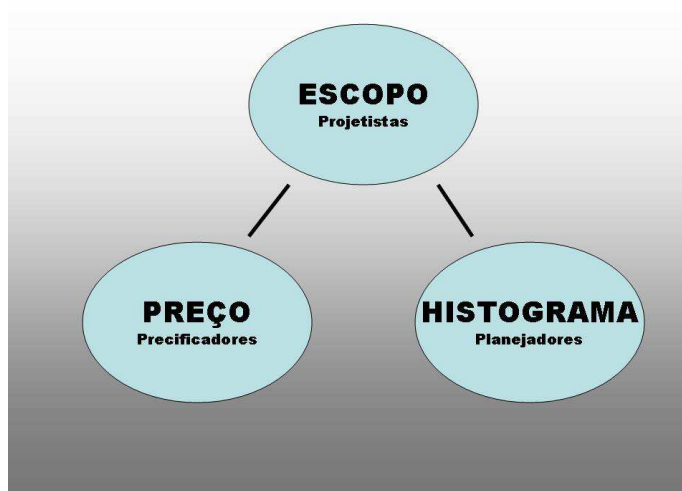


Figura 13: As dimensões da estimativa de custos

2.2.1 Incertezas em preço de materiais, serviços e salários

Os preços de materiais como chapas de aço, argamassa, armadura, tubulação e etc. normalmente são obtidos de várias cotações de mercado ou de banco de dados próprio. Portanto uma mesma fonte de incerteza, por exemplo, custo por volume de concreto pode ser tratada como um evento de risco similar.

Essa amostra de informações pode ser usada para se aferir a distribuição de probabilidade. Uma vez que a estimativa de custos tem database definida, os efeitos de previsão de inflação não devem entrar na amostra.

Para esses custos podem-se fazer dois tipos de abordagem, dependendo do número de observações para o item. Se houver observações o suficiente (15 ou mais) pode ser utilizada a abordagem paramétrica, se não, são feitas entrevistas com especialistas.

2.2.2 Incertezas no levantamento de quantitativo e equipamentos

O projeto básico define os principais equipamentos e as bases do projeto a serem detalhadas. É nessa fase que são determinadas as principais especificações dos equipamentos. Mas o projeto pode ainda carregar algumas incertezas com relação às especificações que podem levar a uma variação de custo.

O projeto de pré-detalhamento tem como objetivo dar maior definição ao projeto. Esta etapa envolve diversas disciplinas de engenharia e baseando-se no projeto básico emitem-se as listas de materiais, especificações e quantitativos. Por exemplo, a lista de quantitativos contém informações como chapas de aço, volume de concreto, peso de armadura e etc.

O pré-detalhamento, apesar de diminuir as incertezas, não as elimina completamente levando a diferenças com os quantitativos necessários para a execução da obra.

As incertezas dos quantitativos devem ser consideradas na análise de risco. Um banco de dados de dados com informações de projetos similares já concluídos é importante nessa fase. Deve ser feita uma análise das diferenças dos quantitativos gerados no pré-detalhamento e no projeto concluído (*as built*).

Da mesma forma que descrito no item anterior pode-se usar duas abordagens.

Se houver informações suficientes, cerca de 15 dados ou mais, de projetos anteriores das diferenças dos quantitativos levantados e utilizados para um item da estimativa de custos recomenda-se a abordagem paramétrica.

Se não houver informações suficientes recomenda-se a entrevista com especialistas considerando como mais provável o valor levantado no pré-detalhamento e utilizando como valor máximo e mínimo o resultado das entrevistas.

2.2.3 Incertezas no planejamento da fase de execução (histograma)

O planejamento da fase de execução do empreendimento abrange um conjunto de atividades multidisciplinares e rotineiras de um cronograma sequencial. Ele serve como fonte de informações das funções disciplinares, equipes, homens-hora de mão de obra direta e indireta necessários para a execução.

De certa forma o levantamento de riscos da fase de execução não é diferente de se realizar o planejamento da execução em si, pois requer o mesmo procedimento, ou seja, que os planejadores quantifiquem julgamentos.

Para se realizar o planejamento é necessário ter em mão os índices de produtividade de mão de obra direta, que são calculados baseados em experiências de obras. Com esses índices de produtividade de mão de obra direta são gerados valores de homens-hora necessários para a execução de cada atividade. A partir dessa quantidade são definidas equipes e funções de mão de obra direta. Com o cronograma de execução são gerados os histogramas de mão de obra direta e indireta e o planejamento de equipamentos de montagem.

A partir dos histogramas e do planejamento de equipamentos de montagem há todos os recursos planejados para a execução do empreendimento. Porém, muitos fatores podem influenciar no prazo e fazer com que a execução seja mais longa (ou até mais curta) que o planejado resultando em variações nos custos.

O método limita-se a apenas analisar os riscos das quantidades de recursos necessários para a execução do empreendimento (por exemplo, quantidade de homens-hora de mão de obra direta, quantidade de meses de aluguel de guindaste e etc.). Análise de risco de cronograma não faz parte do objetivo do método.

Com o histograma e o planejamento deve-se, então realizar a análise qualitativa e quantitativa de riscos planejamento em recursos.

2.2.3.1 Análise de Riscos Qualitativa de planejamento de recursos

O processo tem como objetivos a identificação e determinação dos riscos mais prováveis de afetar o empreendimento positivamente e/ou negativamente e de documentação desses riscos.

A identificação desses riscos não é um evento pontual, ele deve ser feito durante a fase de planejamento do empreendimento e também durante a fase de execução. A análise descrita neste item é a última análise realizada na fase de definição de projeto, ou seja, na fase de planejamento antes do início da fase de execução.

Na sua forma literal, risco envolve somente a possibilidade de uma perda ou dano. Entretanto, no contexto do projeto, a identificação dos riscos diz respeito também às oportunidades (resultados positivos) assim como as ameaças (resultados negativos).

O processo inicia com a lista e descrição das atividades de execução do empreendimento e com informações históricas de projetos anteriores.

A informação histórica é útil na identificação dos riscos potenciais. Essas informações normalmente estão disponíveis da seguinte forma:

- Banco de dados da empresa – as organizações envolvidas no projeto podem manter registros dos resultados de projetos anteriores em detalhamento suficiente para propiciar uma identificação de riscos. Em algumas áreas de aplicação, os próprios membros da equipe podem manter, individualmente, tais registros.
- Bases de dados comerciais – informações históricas estão disponíveis, comercialmente, em muitas áreas de aplicação.
- Conhecimento da equipe do empreendimento – os membros da equipe do projeto podem recordar ocorrências ou premissas anteriores. Embora tais “lembranças” sejam úteis, elas geralmente são menos confiáveis do que resultados documentados.

Em seguida são realizadas entrevistas orientadas a riscos, com a participação dos membros envolvidos. Essas entrevistas podem auxiliar na identificação dos riscos que não foram percebidos durante as atividades normais de planejamento.

É vantajoso usar um grupo de especialistas vasto o suficiente para percorrer todas as partes da execução do empreendimento.

A técnica usada para identificação e priorização dos riscos inerentes ao empreendimento é baseada em entrevistas que envolve a equipe com outras partes interessadas. O evento realizado é dividido nas seguintes etapas:

a) identificação e registro dos riscos a partir de “brainstorming” com os participantes do evento;

b) após a identificação do risco, esse é classificado como sendo um risco que traz impactos positivos ao empreendimento (oportunidade, “O”) ou negativos (ameaça, “A”);

c) atribuição, através do consenso obtido dos participantes, dos níveis “muito alto” (5), “alto” (4), “médio” (3), “baixo (2)” ou “muito baixo (1)” para probabilidade de materialização e impacto resultante nos objetivos do empreendimento para cada risco;

d) cálculo da relevância de cada risco através do produto probabilidade X impacto e ordenamento da planilha de registro de riscos em ordem decrescente do risco de maior para o de menor relevância;

e) identificação, por consenso da equipe, das causas, consequências, respostas, responsáveis e respectivos prazos de aplicação para os riscos

A probabilidade de ocorrência dos eventos de riscos é classificada da seguinte forma:

DESCRIÇÃO DA PROBABILIDADE	
Qualificação	PROBABILIDADE
Muito Alta	Quase certo que acontecerá
Alta	Provavelmente acontecerá
Média	Eventualmente pode acontecer
Baixa	Qualificação
Muito Baixa	Pouco provável que aconteça

Quadro 7: Descrição de probabilidade

Os impactos no custo são classificados da seguinte forma:

DESCRIÇÃO DE IMPACTO EM CUSTO	
Qualificação	CUSTO
Muito Alta	Variação de custo acima de 50% do valor do empreendimento
Alta	Variação de custo entre de 30% e 50% do valor do empreendimento
Média	Variação de custo entre de 15% e 30% do valor do empreendimento
Baixa	Variação de custo entre de 5% e 15% do valor do empreendimento
Muito Baixa	Variação de custo de até 5% do valor do empreendimento

Quadro 8: Descrição do impacto

Com isso, definem-se os critérios de acordo com a seguinte matriz:

Matriz Probabilidade x Impacto						
		Impacto				
		Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
Probabilidade		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Muito Alta	0,50	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
Alta	0,40	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20
Média	0,30	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15
Baixa	0,20	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10
Muito Baixa	0,10	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05

Tabela 12: Probabilidade x Impacto

Por fim é feita a Análise Qualitativa de Riscos com classificação dos riscos e recomendações.

2.2.3.2 Análise de Riscos Quantitativa de planejamento de recursos

Após a Análise de Riscos Qualitativa é feita a Análise Quantitativa de Riscos. O objetivo da Análise Quantitativa de Riscos é apresentar de forma quantitativa os riscos identificados.

Com a planilha de riscos identificados faz-se a entrevista com os especialistas para colocar em termos de probabilidade os itens de riscos identificados.

2.3 Comparativo entre método tradicional e a método proposto

Comparando a método tradicional com o método proposto, as variâncias resultantes da análise de riscos são diferentes.

O método proposto trata os itens que compõem o custo de uma tarefa de forma individual.

As informações que são geradas ou processadas na etapa de estimativa de custos são a lista de materiais e equipamentos, histograma de mão de obra de execução da obra e a precificação.

A partir dessas informações, os dados são separados nas dimensões correspondentes (quantitativo, precificação e histograma). Então os dados são correlacionados por semelhança, por exemplo, o preço do aço que se repete de várias formas na estimativa vai sofrer o mesmo tratamento a cada interação.

São formados 3 grupos de especialistas (projetistas, precificadores e planejadores), correspondendo a cada dimensão das informações e cada grupo faz a análise de risco qualitativa e quantitativa de sua especialidade.

Das respostas da análise é feita, finalmente, a simulação de Monte Carlo onde são simuladas repetidas vezes a estimativa de custos considerando distribuições para as incertezas.

O resultado da simulação é documentado para posterior análise e tomada de decisão.

O procedimento a seguir apresenta o processo da execução da análise de riscos em estimativa de custos pelo método proposto.



Figura 14: Procedimento do método proposto

No método tradicional as atividades são avaliadas de forma geral e apenas ao resultado final da composição dos custos é atribuída uma distribuição, por exemplo, no item custos de fundação apenas o custo total do item (que é composto por quantidade de material, quantidade de homem-hora, preços dos materiais e salário) é avaliado. Enquanto que no método proposto os itens que compõem os custos são avaliados individualmente, ou seja, para cada item haverá uma distribuição que representa as incertezas. A figura a seguir ilustra a diferença conceitual entre os métodos.

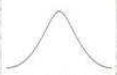
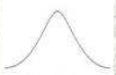
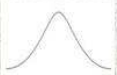
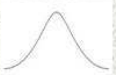
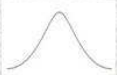
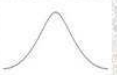
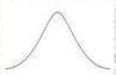
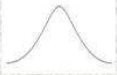
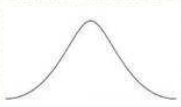
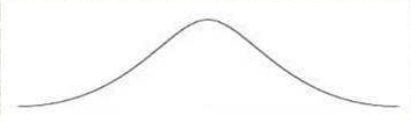
	Método tradicional	Método proposto			
	Total do item	Quantidade de material	Preço do material	Homens-hora	Salário
Fundação					
	+	x	+	x	+
Base					
	+	x	+	x	+
Estrutura					
	+	x	+	x	+
....					
	+	x	+	x	+
TOTAL					

Figura 15: Comparação entre método proposto e tradicional

No método proposto, os itens que compõem cada item da análise de risco são avaliados de forma individual. A decomposição do item em sub-itens permite chegar ao resultado mais próximo da realidade.

Tomemos como exemplo um item que é composto de dois sub-itens de custos, quantidade de material (Q_m) e valor unitário do material (V_u).

Na abordagem tradicional esses dois sub-itens seriam agrupados em um único item chamado custo total dos materiais (C_t), onde:

$$C_t = Q_m \times V_u.$$

Eq. (20)

A análise de risco seria feita para esse item (C_t) apenas. Considerando que foi estabelecido para esse item na análise quantitativa de riscos na estimativa de custo uma distribuição triangular, com os valores variando entre 80% (para o limite inferior) do valor mais provável e 130% (para o limite superior).

	Limite Inferior (80%)		Limite Superior (130%)
Q_m (t)		100	
V_u (\$)		12	
C_t (\$)	960	1200	1560

Tabela 13: Variância no método tradicional

Considerando a distribuição triangular, temos:

a – Limite inferior

b – Limite superior

c – Valor mais provável

$$\text{Variância: } \frac{a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc}{18}$$

Eq. (21)

Variância calculada segundo abordagem tradicional é de 15.200 (\$²).

No comparativo proposto o item custo total dos materiais é dividido em 2 diferentes dimensões, a seguir:

- Preço dos materiais.
- Quantitativos.

O custo total dos materiais no método é composto por quantidade de material (Q_m) e valor unitário do material (V_u) segundo a variação abaixo:

	Limite Inferior (80%)		Limite Superior (130%)
Q_m (t)	80	100	130
V_u (\$)	9,6	12	15,6
C_t (\$)		1200	

Tabela 14: Variância no método proposto

Considerando fixos o limite inferior e superior e distribuição triangular temos como resultado para variância, 32.620,89 (\$²).

Segundo Israel (2013), a variância da multiplicação dos termos, assumindo que as variáveis Q_m e V_u sejam independentes, pode ser calculada da seguinte forma:

$$Var(Q_m C_t) = E[(Q_m C_t)^2] - E[Q_m C_t]^2 \quad \text{Eq. (22)}$$

$$= Var(Q_m C_t) = E[Q_m^2] E[C_t^2] - E[Q_m]^2 E[C_t]^2 \quad \text{Eq. (23)}$$

$$= Var(Q_m C_t) = E[Q_m^2] E[C_t^2] - E[Q_m]^2 E[C_t]^2 + E[Q_m]^2 E[C_t^2] - E[Q_m]^2 E[C_t]^2 \quad \text{Eq. (24)}$$

$$= Var(Q_m C_t) = Var(Q_m) E[C_t^2] + E[Q_m]^2 Var(C_t) \quad \text{Eq. (25)}$$

$$= Var(Q_m C_t) = Var(Q_m) Var(C_t) + Var(Q_m) E[C_t]^2 + E[Q_m]^2 Var(C_t) \quad \text{Eq. (26)}$$

Portanto o valor será sempre diferente da variância de apenas um termo.

A tabela a seguir resume o comparativo das variâncias:

		Limite Inferior		Limite Superior	Variância
MÉTODO TRADICIONAL	Q_m (t)		100,00		
	V_u (\$)		12,00		
	C_t (\$)	960,00	1.200,00	1.560,00	15.200,00
		Limite Inferior		Limite Superior	Variância
MÉTODO PROPOSTO	Q_m (t)	80,00	100,00	130,00	105,56
	V_u (\$)	9,60	12,00	15,60	1,52
	C_t (\$)		1.200,00		32.620,89

Tabela 15: Comparação de variâncias

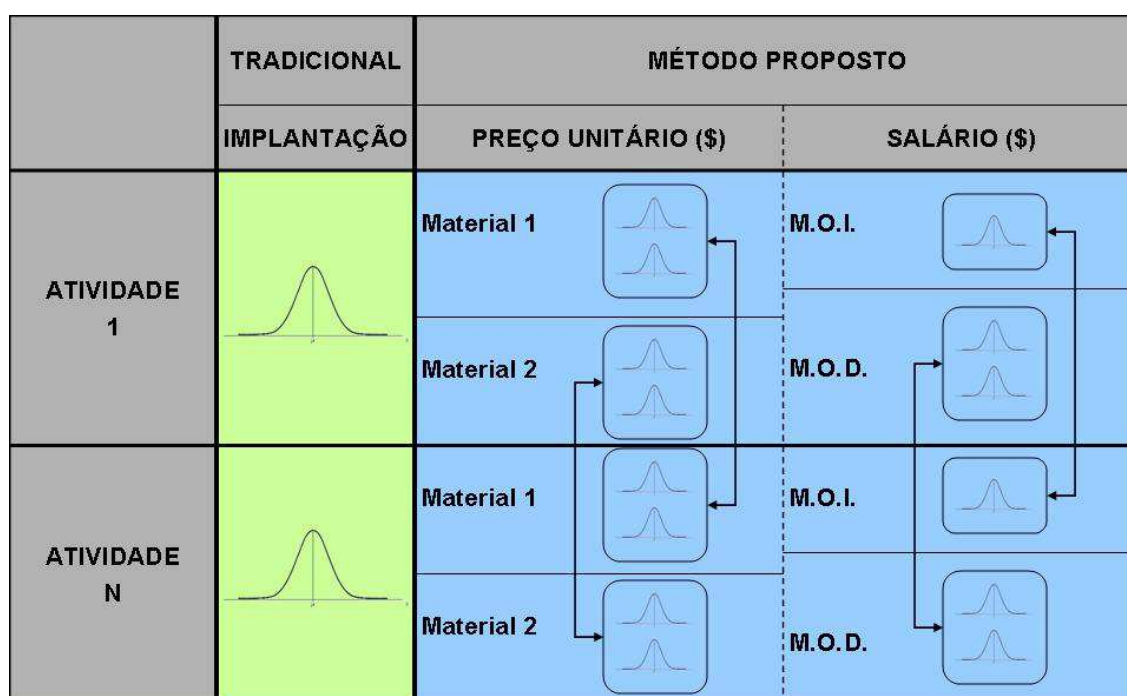
No método tradicional os elementos que compõem o custo de uma atividade são agrupados para formar uma atividade ou tarefa cujos riscos são analisados, definidos e gerenciados com o suporte de especialistas.

No método proposto, a atividade (ou tarefa) é desmembrada em dimensões distintas, permitindo que a análise de riscos seja feita considerando as origens das incertezas de forma diferente. Ou seja, cada dimensão é analisada de forma separada, dessa forma cada evento de risco vai ter sua curva de distribuição distinta.

Outra vantagem do método é permitir que os itens de correlação sejam mais bem identificados. Ou seja, itens que possuem correlações (positivas ou negativas) são de fácil ligação no modelo proposto.

No exemplo abaixo são mostradas as atividades compostas de preços unitários de materiais e salários.

Os conectores mostram correlação no preço de materiais similares e no salário de mão de obra sobre passando as atividades, ou seja, com o método proposto as correlações de atividades por semelhança são mais facilmente identificadas e realizadas. A figura a seguir ilustra como são feitas as correlações por similaridade no modelo proposto.



Quadro 9: Correlação no método proposto

3. Aplicação e resultados

O método proposto foi aplicado em um projeto de construção civil e montagem mecânica.

3.1 Descrição do Projeto

O projeto consiste na instalação de um tanque de produto químico com capacidade útil de 15.000 m³, dimensões de 39,9m de diâmetro por 14,63m de altura, com teto fixo tipo cônico e flutuante.

A empresa de construção e montagem é responsável por:

- Planejamento dos Serviços;
- Mobilização de campo;
- Projeto Executivo de Detalhamento;
- Fundação;
- Base;
- Fornecimento de todos os materiais necessários à execução das instalações previstas.
- Serviços de Construção Civil incluindo, mas não se limitando, ao fornecimento de toda a mão de obra necessária, materiais de consumo e de aplicação, ferramentas e equipamentos necessários à perfeita execução dos serviços previstos no Projeto;
- Serviços de pintura do tanque, incluindo o fornecimento de todo o material e mão de obra necessária;
- Inspeção e Testes;
- Qualquer atividade, serviço ou fornecimento complementar, necessário à execução das instalações previstas;
- Revisão de toda a documentação de projeto 'Conforme Construído'.

A figura a seguir é o desenho representativo do tanque em questão.

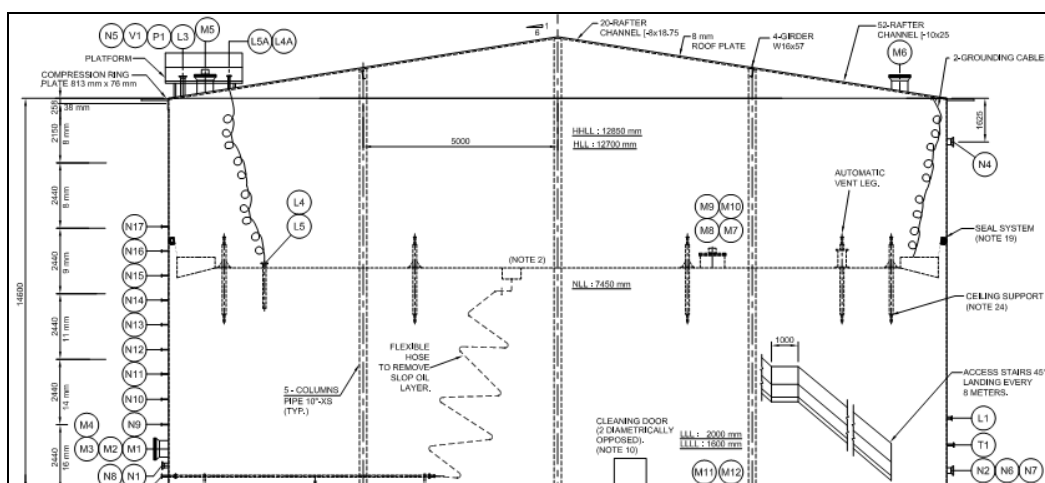


Figura 16: Desenho representativo de tanque

A figura a seguir mostra a interface do tanque com outros sistemas.

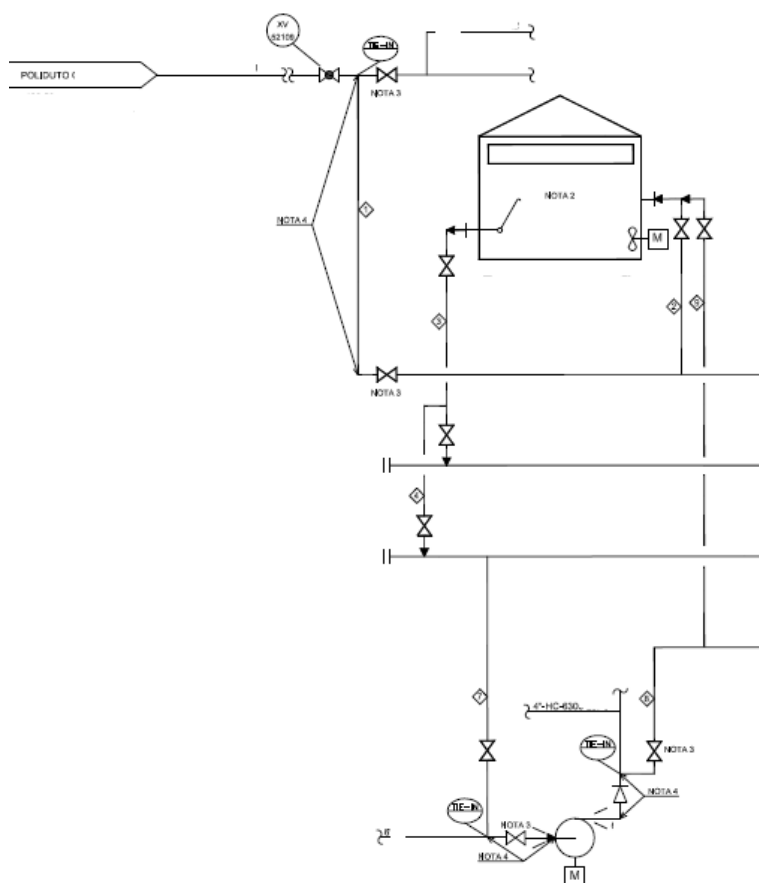


Figura 17: Interface do tanque

A seguir está representado o arranjo representativo do tanque.

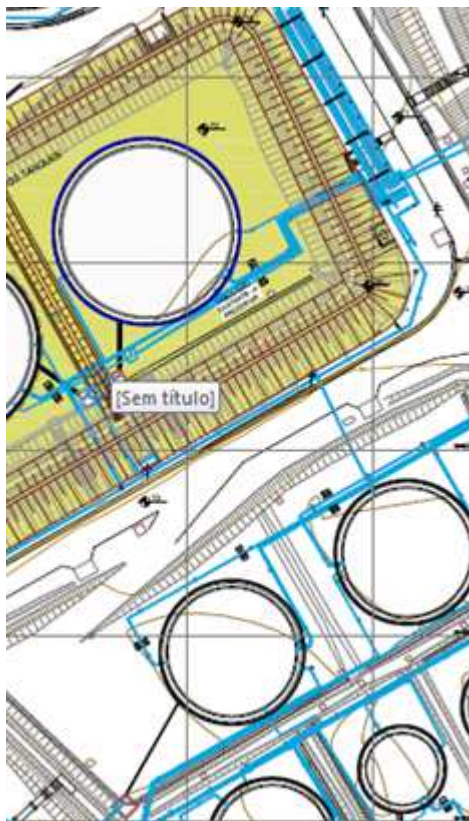


Figura 18: Arranjo do tanque

O projeto em questão passou por todas as fases de engenharia, passando do projeto conceitual, básico e pré-detalhamento.

A equipe de projeto básico e pré-detalhamento do tanque era composta das seguintes disciplinas:

- Civil;
- Processo;
- Mecânica;
- Elétrica e Instrumentação.

Com o projeto pré-detalhado definido, a equipe de planejamento da construção pode utilizar as informações para definir o cronograma, histograma e recursos necessários para a implantação do projeto.

3.2 Cronograma e planejamento

Em resumo o planejamento de construção civil e de montagem mecânica pode ser resumido nas seguintes tarefas:

- Mobilização/Desmobilização;
- Terraplenagem;
- Civil/Fundações e Base;
- Pré-Fabricação das chapas (calandragem);
- Montagem do Fundo do Tanque;
- Preparação das chapas do costado;
- Soldagem e Montagem do costado;
- Acabamento dos Bocais e Bocas de visita;
- Fabricação e montagem das plataformas e escadas;
- Pintura;
- Pré-Operação / Partida;

A obra, com o escopo apresentado, está prevista para acontecer em torno de 21 meses, sendo que os itens que irão consumir mais recursos são Civil, Fundações e Fabricação e Montagem do Tanque.

O planejamento foi feito tendo como base o projeto pré-detalhado que contém informações de equipamentos e materiais (escopo).

O item de construção civil se divide em: drenagem, arruamento e pavimentação, estaqueamento, fundações e estruturas, rede elétrica subterrânea, cercas e portões, itens industriais e diversos.

PROJETO																									
CRONOGRAMA																									
	Descrição	Hh	%	Meses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	Mob/Desmob	1.360	0,7%	7,0	X	X	X	X															X	X	X
2	Terraplenagem	3.047	1,5%	3,0			X	X	X																
3	Civil/Fundações e Base	65.176	32,9%	7,0					X	X	X	X	X	X	X										
4	Pré-Fabricação das chapas (calandragem)	43.200	21,8%	4,0		X	X	X	X																
5	Montagem do Fundo do Tanque	8.000	4,0%	4,0									X	X	X	X									
6	Preparação das chapas do costado	14.300	7,2%	4,0									X	X	X	X									
7	Soldagem e Montagem do Costado	28.600	14,5%	6,0												X	X	X	X	X	X				
8	Acabamento dos Bocais e Bocas de visita	11.500	5,8%	2,0																	X	X			
9	Fabricação e montagem das plataformas e escadas	19.000	9,6%	3,0																	X	X	X		
10	Pintura	2.144	1,1%	2,0																				X	
11	Pré-Operação / Partida	1.500	0,8%	2,0																				X	X
	TOTAL	197.827																							

Quadro 10: Cronograma

3.3 Procedimento de análise de risco

Para o mesmo projeto foram realizadas as análises de riscos usando duas abordagens diferentes. A abordagem tradicional, em que cada atividade geradora de custos é um evento de risco e a abordagem proposta em que cada dimensão da estimativa é analisada individualmente e depois agrupada por itens semelhantes.

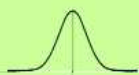
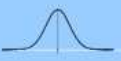
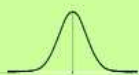
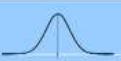
Para cada uma das duas abordagens foi considerado um item de custo denominado BDI (Benefícios e despesas indiretas). O BDI é um item de estimativa de custos definido e padronizado que cobre: administração central, custos financeiros, margem de incerteza, carga tributária e lucro, ou seja, o custo indireto.

A principal diferença entre a abordagem tradicional e abordagem proposta é o direcionador que define os eventos de riscos. Na abordagem tradicional a análise de risco é feita para as atividades de implantação do projeto enquanto que o método proposto avalia o empreendimento desde a sua concepção.

No método proposto por este trabalho a análise de risco “quebra” cada atividade em seus constituintes menores, ou seja, quantitativo de materiais e equipamentos (escopo), planejamento (prazo) e precificação dos itens.

Enquanto que a abordagem tradicional menos itens de maior proporção são analisados, no método proposto são analisados maior quantidade de itens menores.

O quadro a seguir resume as diferenças entre as abordagens.

	TRADICIONAL	MÉTODO PROPOSTO	
	IMPLANTAÇÃO	PROJETO	PLANEJAMENTO
ATIVIDADE 1		Material 1	M.O.I. 
			M.O.D. 
		Material 2	
			
ATIVIDADE 2		Material 1	M.O.I. 
			M.O.D. 
		Material 2	
			
ATIVIDADE N		Material 1	M.O.I. 
			M.O.D. 
		Material 2	
			

Quadro 11: Comparação de itens de risco entre os métodos

3.3.1 Abordagem tradicional

Na abordagem tradicional o projeto foi dividido nas suas atividades principais e um grupo de especialistas analisou separadamente os riscos ligados a cada atividade.

Depois de definidos os limites inferiores e superiores de cada atividade foi atribuída a distribuição BetaPERT segundo tabela abaixo:

Itens	Limite Superior (R\$)	Valor (R\$)	Limite Inferior (R\$)
Terraplenagem	535.157,32	575.437,98	690.525,58
Civil/Fundações e Base			
Drenagem	154.168,12	162.282,23	189.870,21
Arruamento e Pavimentação	140.850,03	151.451,65	171.140,36
Estaqueamento	477.901,36	519.458,00	607.765,86
Fundações e Estrutura	269.048,26	292.443,76	345.083,64
Rede Elétrica Subterrânea	188.682,12	214.411,50	244.429,11
Cercas e Portões	99.860,48	108.544,00	126.996,48
Diversos	229.362,42	257.710,59	306.675,60
Civil Industrial	946.862,78	986.315,40	1.144.125,86
Pré-Fabricação das chapas (calandragem)	1.337.164,20	1.510.920,00	2.795.202,00
Montagem do Fundo do Tanque	126.392,16	142.816,00	264.209,60
Preparação das chapas do costado	229.427,40	259.240,00	479.594,00
Soldagem e Montagem do costado	465.729,48	526.248,00	973.558,80
Acabamento dos Bocais e Bocas de visita	201.370,56	214.224,00	242.073,12
Fabricação e montagem das plataformas e escadas	332.699,37	353.935,50	399.947,12
Pintura	55.216,13	59.372,18	69.465,45
Pré-Operação / Partida	27.376,56	29.124,00	32.910,12
Mão de obra indireta de Construção & Montagem	2.387.264,00	2.712.800,00	3.173.976,00
Mão de obra de Projeto de Engenharia	1.710.720,00	1.944.000,00	2.274.480,00
BDI	2.635.000,00	3.100.000,00	3.720.000,00

Tabela 16: Valores considerando método tradicional

Os valores provenientes da tabela acima foram coletados por meio de entrevista estruturada com especialistas. As pessoas consultadas na ocasião foram gerentes e coordenadores de projetos não diretamente envolvidos com o projeto em questão.

As atividades utilizadas para a análise de risco não apresentavam correlação de custos entre elas, ou seja, não foi mostrado claramente que havia similaridade de variação de custos clara entre as atividades.

3.3.2 Abordagem proposta

Na abordagem proposta, a análise de risco tem como direcionador não apenas a fase de implantação, mas também a fase de projeto e planejamento. As incertezas são analisadas desde a fase de definição de projeto até a implantação.

A análise começa com a preparação dos insumos para alocação dos riscos, probabilidades e distribuições. Todo o planejamento de insumos do projeto foi tabelado e foram separados em bens e serviços.

Os bens foram listados de forma detalhada por atividade do cronograma, assim como os serviços. Quando a atividade é mostrada de forma aberta, ou seja, chegando até o nível de itens unitários, podem-se observar itens similares. Por exemplo, pode-se atribuir correlação positiva com relação ao preço do concreto por metro cúbico atribuído a cada atividade.

A forma de apresentação da tabela com itens detalhados torna possível a identificação de correlação de itens similares, sejam eles preço unitário ou produtividade de mão de obra.

O planejamento é dividido em 11 grandes atividades, que consomem recursos de bens e serviços. A atividade “civil, fundações e base”, é subdividida em 8 atividades.

Os quadros a seguir mostram o detalhamento dos itens de bens e serviços que dão origem às incertezas para o método proposto.

BENS	SERVIÇOS
2 - TERRAPLENAGEM	
	Motoniveladora
	Trator agrícola
	Rolo Compactador
	Grade de Discos
	Caminhão Tanque
	Motoniveladora
	Escavadeira Hidráulica
	Caminhão Basculante
	Trator de Esteira
	Encarregado de Turma (terraplenagem)
	Operador de Equip. Pesados (trator, guindaste)
	Operador de Equip. Leves (trator pneus, munck)
	Operador de Rolo Compactador
	Ajudante
3 - CIVIL, FUNDAÇÃO E BASE	
3.1 - DRENAGEM	
Brita	Encarregado de Turma (drenagem)
Concreto armado para canaletas	Carpinteiro
Tubo em PVC reforçado Ø 100 mm	Armador
Tubo em PVC reforçado Ø 150 mm	Pedreiro
Tubo em PVC reforçado Ø 200 mm	Bombeiro Hidráulico
Tubo em PVC reforçado Ø 250 mm	Ajudante
Tubo em concreto armado Ø 300 mm	
Tubo em concreto armado Ø 400 mm	
Tubo em concreto armado Ø 500 mm	
Joelho 45° de ff, junta elástica Ø 100 mm (4")	
Tubo em ff dúctil tipo ponta bolsa Ø 100 mm	
Joelho 90° de ff Ø 100 mm (4")	
3.2 - ARRUAMENTO E PAVIMENTAÇÃO	
Macadame e=15cm	Encarregado de Turma (arruamento e pavimento)
Brita graduada e=15cm	Operador de Equip. Pesados
Concreto asfáltico - CBUQ e=5cm	Operador de Equip. Leves
Calçadas - fck=30MPa	Carpinteiro
Gramados	Armador
	Pedreiro
	Ajudante
3.3 - ESTAQUEAMENTO	
Estacas - 30 cm , taxa aço 120 kg/m³	Encarregado de Turma (estaqueamento)
Estacas - 40 cm , taxa aço 120 kg/m³	Armador
	Ajudante
3.4 - FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS	
Concreto Magro - fck = 10MPa	Encarregado de Turma (estruturas)
Concreto para Fundações - fck = 40MPa	Carpinteiro
Concreto para Estruturas, fck = 40MPa	Armador
Concreto para Est > 2m - fck = 40MPa	Pedreiro
Forma para Fundações - madeira	Ajudante
Forma para Estruturas < 3m - madeira	
Forma para Estruturas > 3m - madeira	
Aço para Fundações - CA 50	
Aço para Estruturas - CA 50	
Estruturas pré-moldadas < 7 t tx aço 120kg/m³	
Chumbadores - ASTM A-36	
Grout	
3.5 - REDE ELÉTRICA SUBTERRÂNEA	
Concreto para envelopamento	Encarregado de Turma (redes subterrâneas)
	Eletricista
	Carpinteiro
	Armador
	Pedreiro
	Ajudante
3.6 - CERCAS E PORTÕES	
Cerca de alambrado	Encarregado de Turma
Portão	Montador
3.7 - DIVERSOS	
Barra bitola Ø 12,5 mm - CA 25	Encarregado de Turma
Barra bitola Ø 16 mm - CA 25	Pedreiro de Acabamento
Chapa aço #10 mm - larg 10 cm comp. Var	Carpinteiro
Chapa xadrez #14" - 221 m²	Pintor
Guarda corpo (N-279) - 18,20 metros	Pedreiro
Tinta N-1661	Gesseiro
Tela soldada Q-75 - CA-60	Marceneiro
Boca-de-lobo de alven conc fck=20 Mpa	Ajudante
Tubo em ferro fundido, dúctil, Ø 150 mm	
CAO - Ø 600mm(vol. útil = 7,00m³)	
Tubo de aço galvanizado., Ø 32mm (1 1/4")	
Tubo em conc arm CL. PA2, Ø 400 mm	
Tubo em conc arm CL. PA2, Ø 500 mm	

Quadro 12: Detalhamento de itens de custo (1)

BENS	SERVIÇOS
3.8 - CIVIL INDUSTRIAL	
ARMADURA pilares, CA-50	Encarregado de Turma
ARMADURA vigas, CA-50, corte e dobra na obra	Pedreiro de Acabamento
ARMADURA de aço para lajes, CA-50	Carpinteiro
CONCRETO estrutural, fck 10 MPa	Pintor
CONCRETO estrutural, fck 40 MPa	Pedreiro
COTOVELO 90° Ø 32 mm (1 1/4")	Gesseiro
LUVA Ø 32 mm (1 1/4")	Marceneiro
TÊ 90° Ø 32 mm (1 1/4")	Ajudante
TUBO de aço galvanizado Ø 32 mm (1 1/4")	
JUNÇÃO 45° de PVC Ø 50 x 50 mm	
TUBO de PVC pta e bolsa soldável, Ø 40 mm	
TUBO ponta bolsa e virola, Ø 50 mm	
TUBO ponta bolsa e virola, Ø 100 mm	
CAIXA sifonada de PVC 100 x 100 x 50 mm	
CAIXA sifonada de PVC 150 x 150 x 50 mm	
ESTACAS raiz Ø 30	
ESTACAS raiz Ø 40	
ESTACAS raiz Ø 50	
FÔRMA para escadas, com tábuas e sarrafos	
ARMADURA de aço para fundações, CA-50	
ARMADURA de aço para escadas, CA-50	
PERFIL METÁLICO Aço ASTM A-36	
Pintura com tinta látex acrílica	
Piso monolítico tipo "P600 A" da Polipiso ou similar	
Telha metálica em Al com núcleo em poliuretano	
Guarda-corpo em perfil "L"	
Porta em AC "USG 18" dim. 60x210	
Janela al. esp 1,6mm da alcoa ou similar	
Tela em aço inoxidável com malha de 10 mm	
Válvulatipo esfera, metálica, Ø 32 mm (1 1/4")	
Conjunto de chuveiro de emergência.	
3.9 - PRÉ-FABRICAÇÃO DAS CHAPAS	
Material (AÇO)	Encarregado de Turma (mestre)
	Montador
	Caldeireiro
	Soldador Qualificado "API" (6G) - TIG / MIG
	Soldador de Chaparia
	Maçariqueiro
	Lixador
Ajudante	
5 - MONTAGEM DO FUNDO DO TANQUE	
	Encarregado de Turma (mestre)
	Montador
	Caldeireiro
	Soldador Qualificado "API" (6G) - TIG / MIG
	Soldador de Chaparia
	Maçariqueiro
Lixador	
Ajudante	
6 - PREPARAÇÃO E CALANDRAGEM DAS CHAPAS DO COSTADO	
	Encarregado de Turma (mestre)
	Montador
	Caldeireiro
	Soldador Qualificado "API" (6G) - TIG / MIG
	Soldador de Chaparia
	Maçariqueiro
Lixador	
Ajudante	
7 - SOLDAGEM E MONTAGEM DO COSTADO	
	Encarregado de Turma (mestre)
	Montador
	Caldeireiro
	Soldador Qualificado "API" (6G) - TIG / MIG
	Soldador de Chaparia
	Maçariqueiro
Lixador	
Ajudante	
8 - ACABAMENTO DOS BOCAIS E BOCAS DE VISITA	
	Encarregado de Turma (mestre)
	Montador
	Caldeireiro
	Soldador Qualificado "API" (6G) - TIG / MIG
	Soldador de Chaparia
	Maçariqueiro
Lixador	
Ajudante	

Quadro 13: Detalhamento de itens de custo (2)

BENS	SERVIÇOS
9 - FABRICAÇÃO E MONTAGEM DE ESCADAS E PLATAFORMAS	
Material (AÇO)	Encarregado de Turma (mestre)
	Montador
	Caldeireiro
	Soldador Qualificado "API" (6G) - TIG / MIG
	Soldador de Chaparia
	Maçariqueiro
	Lixador
	Ajudante
10 - PINTURA	
N-1205	Encarregado
N-1201	Pintor
N-1550	Ajudante
11- PRÉ OPERAÇÃO	
	Encarregado
	Montador
	Ajudante
MOI GERENC. C&M	
	Gerente de Contrato
	Gerente de Obra
	Coordenador de Construção e Montagem
	Auxiliar de Administração/Escritório
	Secretária
	Assistente Social
	Chefe Administrativo
	Assistente Administrativo
	Auxiliar de Serviços Gerais
	Chefe de Departamento Pessoal
	Auxiliar de Administração/Escritório
	Copeiro
	Engenheiro de Planejamento
	Técnico de Planejamento
	Técnico em Caldeiraria
	Técnico Mecânico
	Auxiliar Técnico em Planejamento
	Apontador
	Administrador de Redes
	Técnico em Materiais
	Comprador Sr
	Auxiliar de Administração/Escritório
MOI - MOD Proj&Eng.	
	Coordenador de Projetos
	Consultor
	Engenheiro de Projetos pl
	Engenheiro de Projetos sr
	Projetista pl
	Projetista sr
	Desenhista jr
	Arquivista Técnico
	Auxiliar de Administração/Escritório
	Projetista sr
	Desenhista jr

Quadro 14: Detalhamento de itens de custo (3)

Na coluna de bens estão listadas as quantidades de cada item que são definidas no projeto básico, foram alocadas as incertezas nos quantitativos. Para isso, o grupo de especialistas selecionados para as entrevista foi composto de:

- Engenheiros e técnicos projetistas do próprio projeto;
- Engenheiros e técnicos projetistas de projetos similares concluídos;
- Coordenador do projeto básico;
- Profissionais de compra de materiais.

Na coluna de serviços está listado todo homem-hora necessário para a execução dos serviços. Essa quantidade foi calculada tendo como base o escopo do

projeto, a produtividade de mão de obra, os fatores locais do empreendimento e as equipes definidas para cada tarefa. A quantidade de homem-hora está intimamente ligada ao prazo de execução do empreendimento. Para a determinação dessas incertezas foram entrevistados os seguintes profissionais:

- Planejadores e estimadores de custos da execução do empreendimento em questão;
- Planejadores envolvidos em outras obras;
- Gerente do empreendimento.

Da mesma forma que na mesma coluna de bens estão listados os preços unitários de cada item, na coluna de serviços estão o valor da mão de obra e outros recursos necessários para a obra. Os profissionais envolvidos na análise de incerteza dos valores dos bens e serviços foram:

- Precificadores e estimadores de custos do projeto em questão;
- Precificadores e estimadores de custos que não estavam envolvidos na estimativa de custo do projeto;
- Profissionais de compra de materiais.

Após a alocação das incertezas para cada um dos itens é feita a matriz de correlação. Para a construção da matriz de correlação são identificados itens que possuem características similares e faz-se a correlação.

A correlação define a variação de um parâmetro com relação a outro parâmetro. Vários itens da estimativa de custos foram correlacionados de forma positiva, ou seja, a cada interação quando um item aumenta de valor o outro aumenta também.

A tabela a seguir mostra um exemplo da correlação de custo unitário de itens com similaridades. Esses itens similares estão alocados de diversas especificações diferentes em uma ou várias atividades.

Correlação	Tubo em PVC reforçado Ø 100 mm / R\$/un	Tubo em PVC reforçado Ø 150 mm / R\$/un	Tubo em PVC reforçado Ø 200 mm / R\$/un	Tubo em PVC reforçado Ø 250 mm / R\$/un	TUBO de PVC pta e bolsa soldável, Ø 40 mm / R\$/un	TUBO ponta bolsa e virola, Ø 50 mm / R\$/un	TUBO ponta bolsa e virola, Ø 100 mm / R\$/un	CAIXA sifonada de PVC 100 x 100 x 50 mm / R\$/un	CAIXA sifonada de PVC 150 x 150 x 50 mm / R\$/un
Tubo em PVC reforçado Ø 100 mm / R\$/un	1								
Tubo em PVC reforçado Ø 150 mm / R\$/un	1	1							
Tubo em PVC reforçado Ø 200 mm / R\$/un	1	1	1						
Tubo em PVC reforçado Ø 250 mm / R\$/un	1	1	1	1					
TUBO de PVC pta e bolsa soldável, Ø 40 mm	1	1	1	1	1				
TUBO ponta bolsa e virola, Ø 50 mm / R\$/un	1	1	1	1	1	1			
TUBO ponta bolsa e virola, Ø 100 mm / R\$/un	1	1	1	1	1	1	1		
CAIXA sifonada de PVC 100 x 100 x 50 mm / R\$/un	1	1	1	1	1	1	1	1	
CAIXA sifonada de PVC 150 x 150 x 50 mm / R\$/un	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabela 17: Exemplo de matriz de correlação

O item de custo unitário dos materiais em PVC foi correlacionado nas diversas especificações (tubos de 100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm e caixas sifonadas 100x100 e 150x150). Esses itens aparecem alocados em atividades diferentes (Drenagem e Civil).

A correlação por similaridade considerada para o caso evita que os riscos sejam artificialmente menores, pois a correlação impede que alguns itens similares assumam valores altos e outros itens valores baixos, resultando na somatória final em um “cancelamento” na variação.

Não só itens de custos foram considerados na correlação, também foram correlacionados itens de quantitativos cujos levantamentos foram realizados pela mesma equipe de engenharia, ou seja, foi considerado que o desvio de erro de quantidade é homogêneo segundo a equipe que fez o levantamento. Os itens de planejamento também foram correlacionados por atividade.

A correlação dos itens pode ser dividida também nas três dimensões da análise de riscos:

- Escopo;
- Prazo;
- Preço (Custo).

Segue lista com os itens que foram considerados como alguma correlação positiva.

- Quantitativo de drenagem;
- Quantitativo de estaqueamento;
- Quantitativo de cercas e portões;
- Quantitativo de fundações e estruturas;
- Quantitativo de civil industrial e itens diversos;
- Custo de Brita;
- Custo de Concreto;
- Custo de Materiais de PVC;
- Custo de Materiais de ferro fundido;
- Custo de estacas;
- Custo de ferro de armação;
- Custo de material de forma;
- Custo de tinta;
- Custo de aço;
- Custo de aluguel de equipamentos;
- Custo de mão de obra direta;
- Custo de mão de obra indireta;
- Planejamento de Terraplenagem;
- Planejamento de Civil/Fundações e Base;
- Planejamento de Pré-Fabricação das chapas (calandragem);
- Planejamento de Montagem do Fundo do Tanque;
- Planejamento de Preparação das chapas do costado;
- Planejamento de Soldagem e Montagem do costado;
- Planejamento de Acabamento dos Bocais e Bocas de visita;
- Planejamento de Fabricação e montagem das plataformas e escadas;
- Planejamento de Pintura;
- Planejamento de Pré-Operação / Partida.

O modelo proposto permite fácil identificação de itens que podem ser correlacionados.

3.4 Resultados

O processo de simulação de Método de Monte foi feito utilizando-se software comercial com 1000 interações.

O método de simulação de Monte Carlo é um método de simulação utilizado que tem por princípio a geração de números aleatórios de acordo com valores definidos para as variáveis do modelo a ser utilizado.

A cada geração de valores, o método calcula um resultado que é armazenado e, ao final de todas as interações, todos os resultados gerados são transformados em uma distribuição de probabilidades, permitindo avaliação mais precisa.

A simulação pelo método consiste em realizar uma simulação matemática. A vantagem é que, em simulação, ao contrário de dados coletados em eventos reais, as variáveis podem ser mudadas e, ainda assim, resultados realistas serem obtidos.

Além do mais, a flexibilidade e a variedade de opções de simulação permitem que sejam considerados diferentes dados de entrada e quantificar suas influências no fenômeno observado.

Esses recursos fazem com que o método seja útil em análises de empreendimentos de construção, algo que seria impossível num experimento real.

3.4.1 Resultados segundo a abordagem tradicional

A abordagem tradicional apresentou os seguintes resultados:

A tabela a seguir apresenta resultados estatísticos.

Estatística - Resultados Método Tradicional	
Estatística	
Mínimo	13.594.374,39
Máximo	15.116.840,68
Média	14.337.274,09
Desvio Padrão	262.662,95
Variância	68.991.824.294,55
Assimetria	0,04
Curtose	2,74
Mediana	14.331.997,39
Moda	14.111.184,00
Percentil	
5%	13.904.148,44
10%	13.991.244,94
15%	14.062.353,69
20%	14.108.594,79
25%	14.145.330,47
30%	14.195.527,65
35%	14.237.181,90
40%	14.272.902,53
45%	14.305.900,89
50%	14.331.997,39
55%	14.373.481,60
60%	14.402.188,88
65%	14.436.281,10
70%	14.472.209,78
75%	14.520.046,59
80%	14.556.967,31
85%	14.607.064,99
90%	14.690.774,30
95%	14.765.839,43

Tabela 18: Resultados de estatística do método tradicional

O gráfico a seguir é a curva densidade probabilidade resultante do método tradicional.

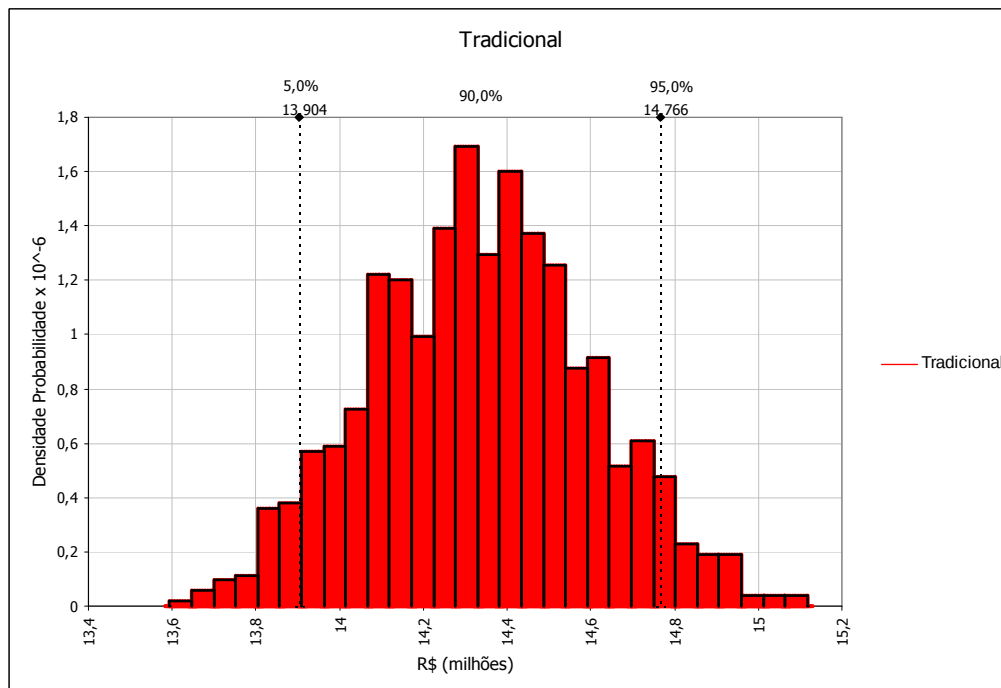


Figura 19: Curva densidade probabilidade do método tradicional

O gráfico a seguir é a curva densidade acumulada resultante do método tradicional.

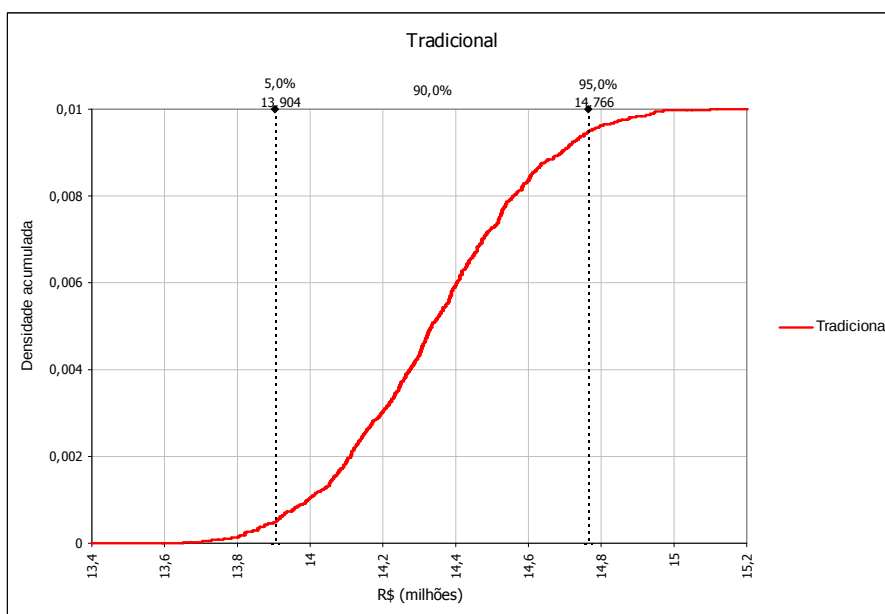


Figura 20: Curva densidade acumulada do método tradicional

3.4.2 resultados segundo a abordagem proposta

A abordagem proposta apresentou os seguintes resultados:

A tabela a seguir apresenta resultados estatísticos.

Estatística - Resultados Método Proposto	
Estatística	
Mínimo	12.909.290,91
Máximo	16.462.321,29
Média	14.694.251,92
Desvio Padrão	536.628,29
Variância	287.969.917.735,26
Assimetria	0,06
Curtose	2,84
Mediana	14.676.924,03
Moda	14.213.544,48
Percentil	
5%	13.800.741
10%	14.017.714
15%	14.162.833
20%	14.235.898
25%	14.308.560
30%	14.387.611
35%	14.475.899
40%	14.551.605
45%	14.614.337
50%	14.676.924
55%	14.741.322
60%	14.810.351
65%	14.888.555
70%	14.970.962
75%	15.080.110
80%	15.174.715
85%	15.273.143
90%	15.391.439
95%	15.573.607

Tabela 19: Resultados de estatística do método proposto

O gráfico a seguir é a curva densidade probabilidade resultante do método proposto.

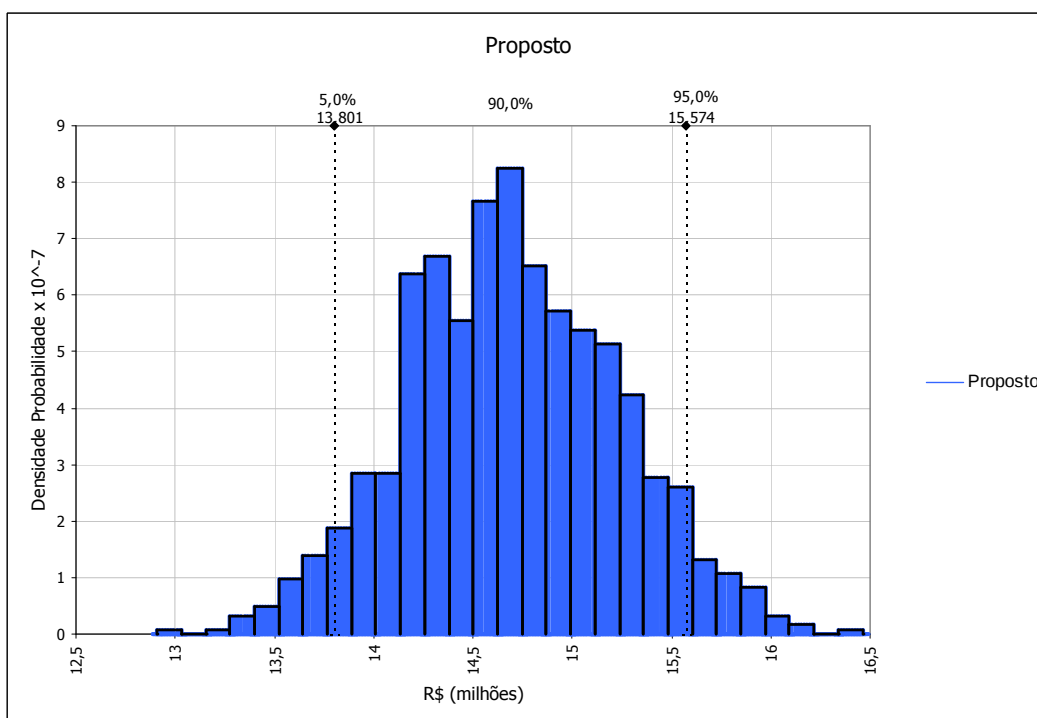


Figura 21: Curva densidade probabilidade do método proposto

O gráfico a seguir é a curva densidade acumulada resultante do método proposto.

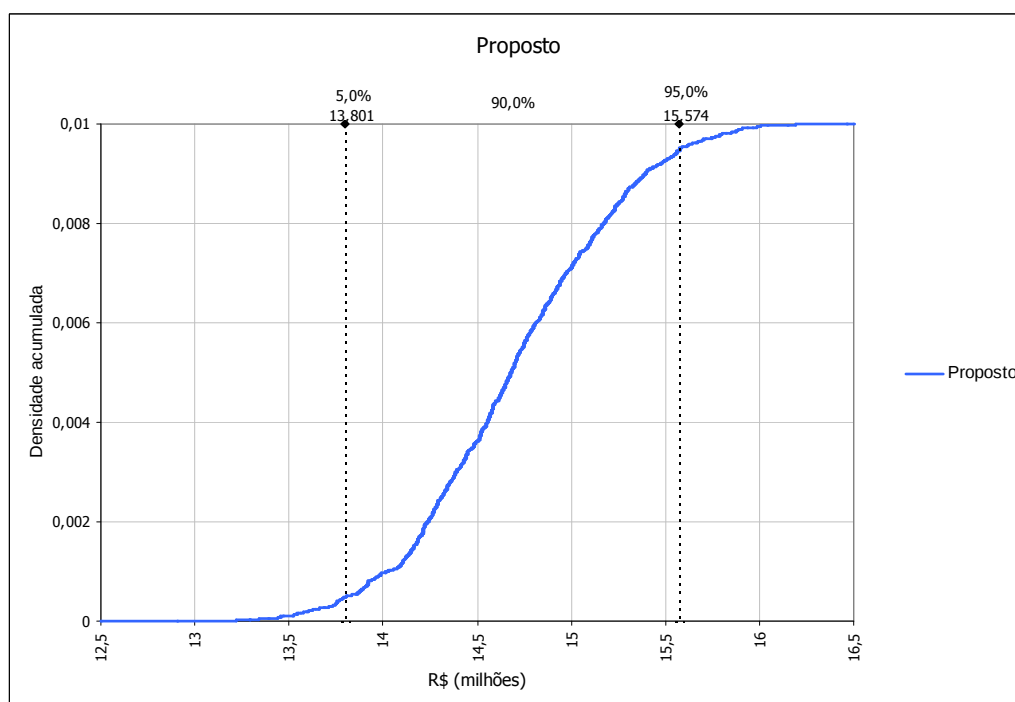


Figura 22: Curva densidade acumulada do método proposto

3.5 Análise dos Resultados da Simulação

Os resultados da simulação pelos dois métodos foram distintos. O método tradicional induz a uma limitada abordagem do projeto, pois por não tratar os eventos de risco de forma específica, os dados detalhados do projeto não ficam disponíveis para que os especialistas entrevistados façam uma correta avaliação de risco.

Essa visão limitada dos dados faz com que os especialistas já influenciados pelo valor de custo total estimado da atividade não façam análise mais profunda dos fatores que possam fazer com que varie o custo daquela atividade.

De maneira geral o resultado pelo método proposto apresentou distância maior entre os extremos, ou seja o valor mínimo e máximo, variância e assimetria maiores.

O gráfico a seguir apresenta comparação entre as curvas densidade probabilidade resultante dos métodos.

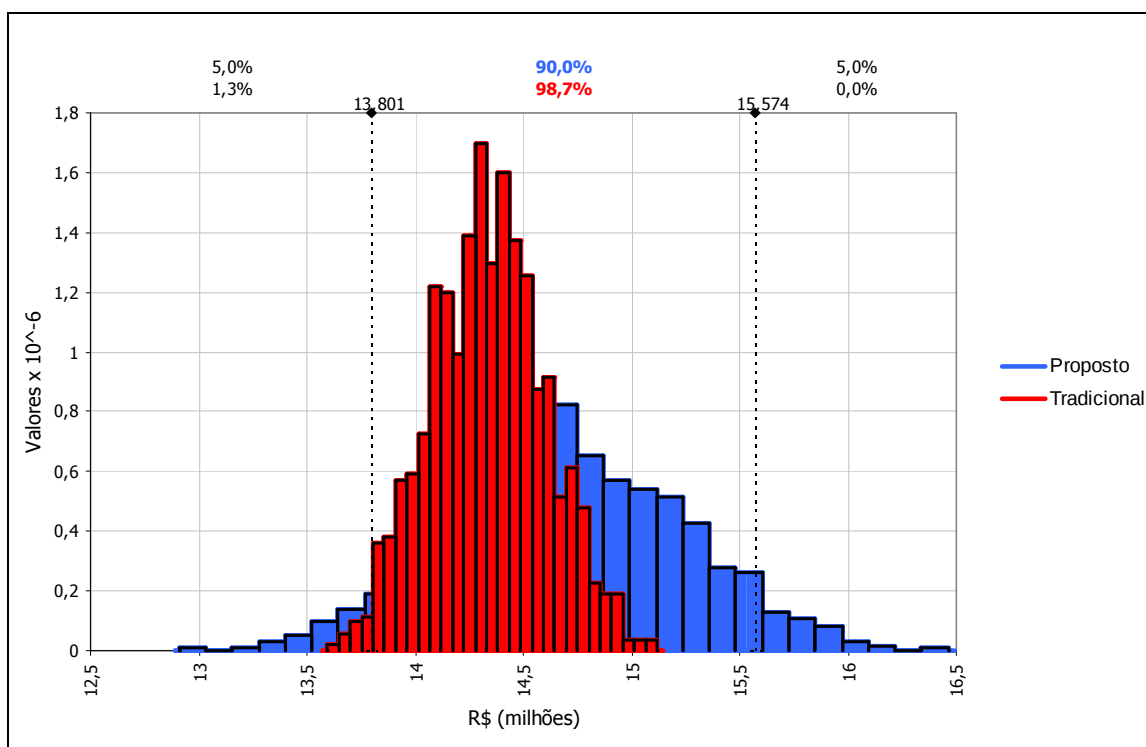


Figura 23: Comparação de curva densidade probabilidade

A figura apresenta a comparação entre os dois métodos, o valor máximo do método proposto pode atingir valores próximos a 16,43 milhões de Reais, pelo

método tradicional o valor máximo a ser atingido é cerca de 15,2 milhões de Reais. Ou seja, o valor máximo do método proposto é cerca de 8,9% maior que o valor máximo do método tradicional.

Com relação ao valor mínimo, o método tradicional é cerca de 5,3% maior que o método propostos.

O método proposto apresenta maior variação entre o valor máximo e mínimo.

A figura a seguir apresenta a comparação da curva densidade acumulada entre o método proposto e tradicional.

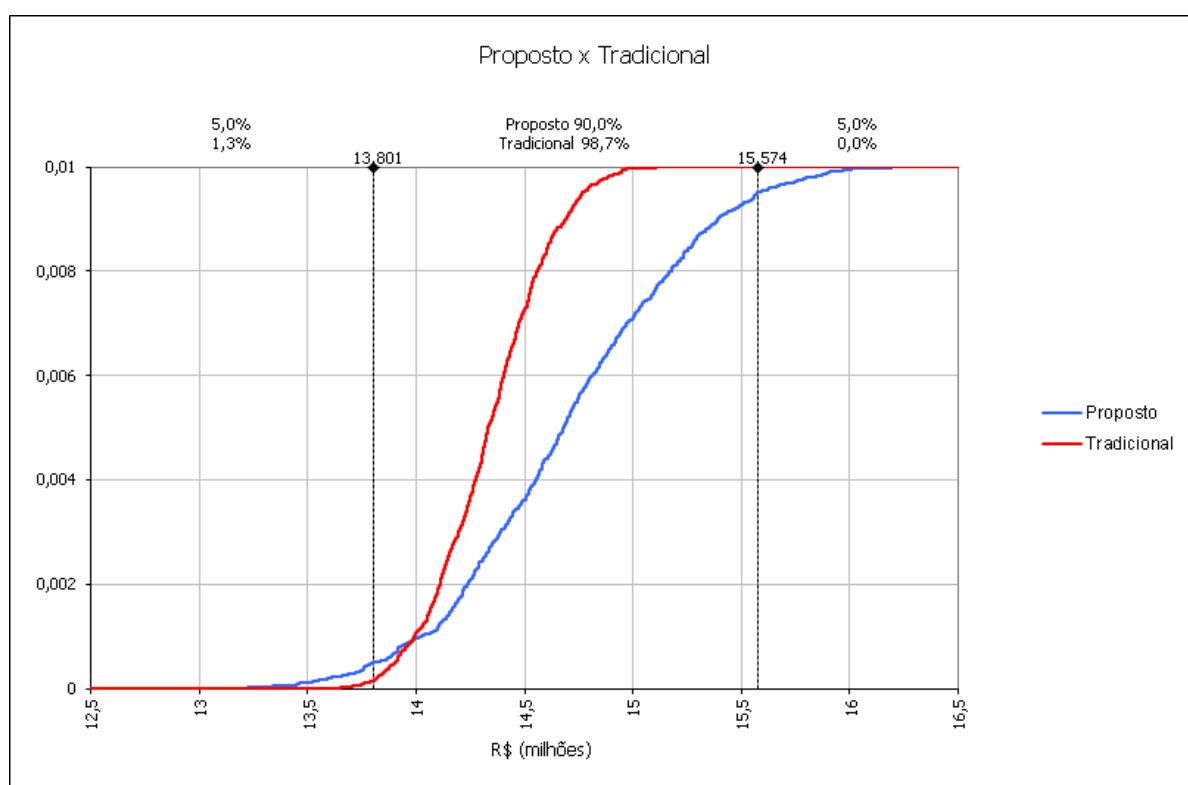


Figura 24: Comparação – curva densidade acumulada

Na figura pode-se observar que, enquanto 98,7% dos valores gerados pela simulação do método tradicional está entre o intervalo de custo de R\$ 13,801 milhões e R\$ 15,574 milhões, no método proposto este intervalo está apenas 90% dos valores simulados.

Observa-se que o valor máximo do intervalo de 0% a 80% dos valores gerados pelo método tradicional é cerca de R\$ 14,6 milhões enquanto que no método proposto é cerca de R\$ 15,3 milhões. Isso significa que o método proposto

apresenta maior probabilidade do valor do empreendimento apresentar maiores custos.

Comparando os parâmetros entre os dois métodos, com relação ao valor médio e aos valores extremos, o que apresentou maior variação percentual entre os dois foi o valor máximo (8,9%). O valor mínimo apresentou variação de cerca de 5% enquanto a média apresentou o menor desvio, cerca de 2,5%.

O gráfico a seguir mostra a variação dos valores máximo e mínimo, média e 1 desvio padrão dos resultados obtidos.

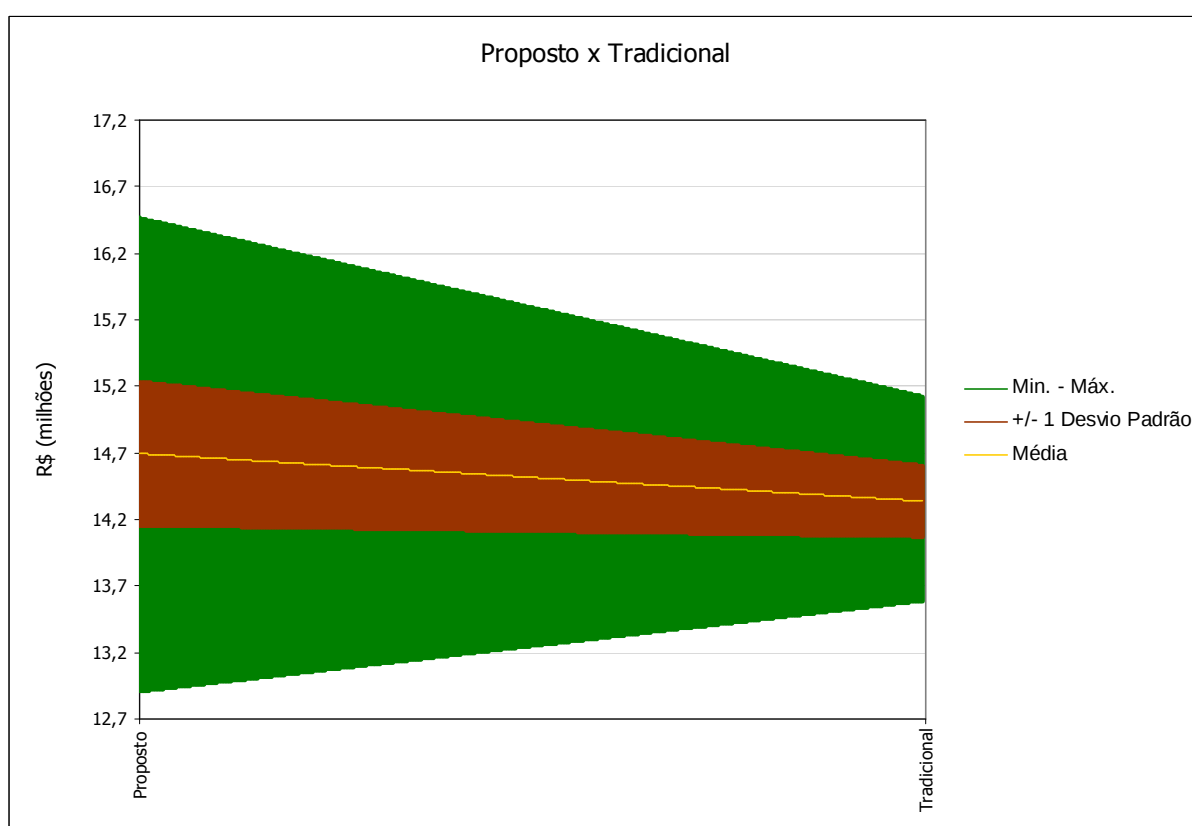


Figura 25: Comparação de valores entre os métodos

O valor médio das análises de riscos do método tradicional e proposto apresentou variação de 1,53% e 4,06% respectivamente com relação ao valor da estimativa antes das análises de riscos. Ou seja, pelo método tradicional houve tendência de que o valor médio da estimativa ficasse com desvio maior com relação ao valor de custo originalmente estimado.

A tabela a seguir mostra as variações.

VALOR DA ESTIMATIVA DE CUSTOS ANTES DA ANÁLISE DE RISCOS (R\$)	14.120.734,79
VALOR MÉDIO DO MÉTODO TRADICIONAL (R\$)	14.337.274,09
VARIAÇÃO (%)	1,53%
VALOR MÉDIO DO MÉTODO PROPOSTO (R\$)	14.694.251,92
VARIAÇÃO (%)	4,06%

Tabela 20: Comparação de valor médio entre os métodos

Com relação ao percentil, a variação entre os valores obtidos pelos métodos aumenta do valor menor ao valor maior conforme a tabela abaixo.

PERCENTIL	MÉTODO PROPOSTO (R\$)	MÉTODO TRADICIONAL (R\$)	VARIAÇÃO (%)
5%	13.800.741	13.904.148,44	-0,74%
25%	14.308.560	14.145.330,47	1,15%
50%	14.676.924	14.331.997,39	2,41%
75%	15.080.110	14.520.046,59	3,86%
95%	15.573.607	14.765.839,43	5,47%

Tabela 21: Comparação de percentil entre os métodos

O aumento na variação se dá pela tendência dos especialistas em atribuir valores de variação maior ao analisar o projeto de forma específica, ou seja, cada grupo de especialista colocou imprecisão maior para cada dimensão do projeto. Observa-se que os especialistas definiram probabilidade de ocorrer variação positiva maior que variação negativa nos eventos de riscos.

Esse efeito em variações maiores quanto maior for percentil. O gráfico a seguir mostra a diferença dos métodos com relação ao percentil.

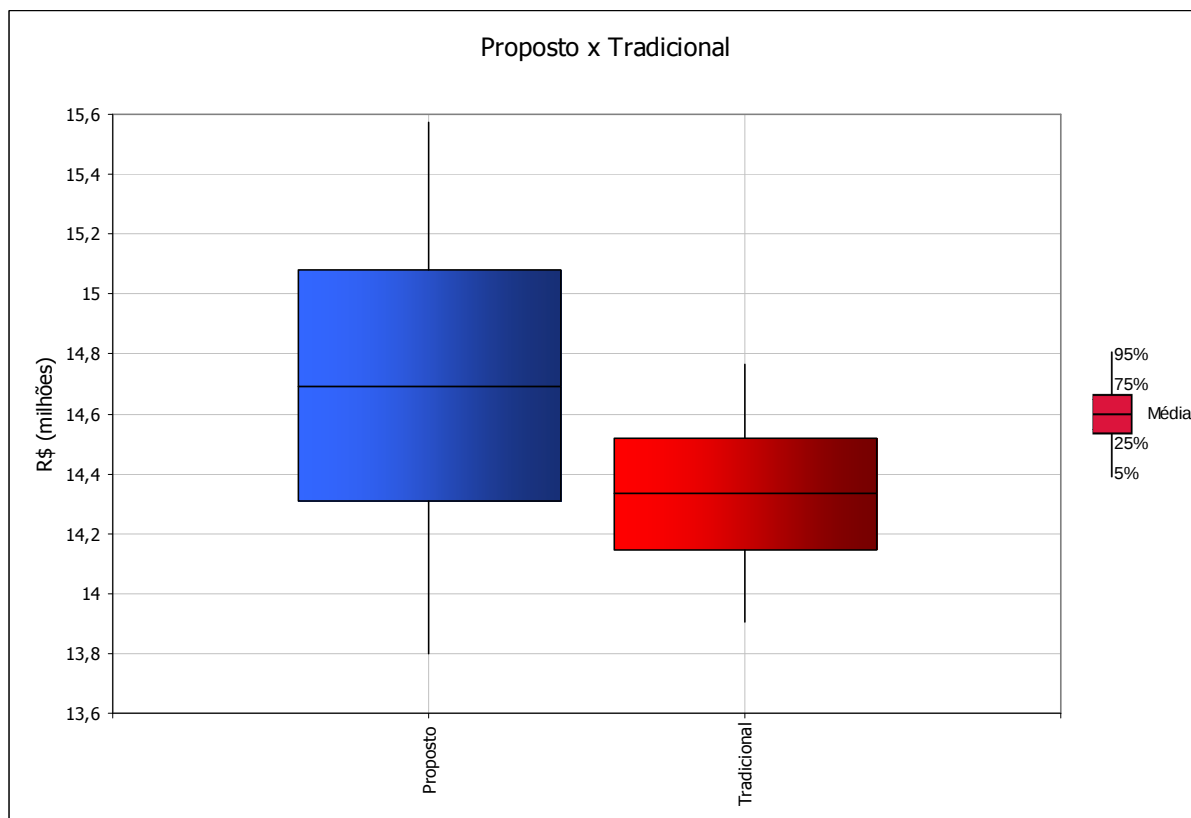


Figura 26: Comparação de diagrama de caixa

A principal variação se observa no valor do desvio padrão e na variância. Além da abordagem diferente dos especialistas nos métodos que levou à variância da multiplicação de diferentes termos, outro fator que contribuiu para essa diferença foi a correlação de itens por semelhança.

A tabela a seguir apresenta a variação dos métodos nos principais itens de estatística.

	TRADICIONAL	PROPOSTO	VARIAÇÃO (%)
Mínimo	13.594.374,39	12.909.290,91	-5,0%
Máximo	15.116.840,68	16.462.321,29	8,9%
Média	14.337.274,09	14.694.251,92	2,5%
Desvio Padrão	262.662,95	536.628,29	104,3%
Variância	68.991.824.294,55	287.969.917.735,26	317,4%
Assimetria	0,04	0,06	50,0%
Curtose	2,74	2,84	3,6%
Mediana	14.331.997,39	14.676.924,03	2,4%
Moda	14.111.184,00	14.213.544,48	0,7%

Tabela 22: Resultados de estatística do método proposto e tradicional

Após as análises pode-se definir o valor da estimativa de custo com a contingência, no caso estudado e devido às grandes variações encontradas na análise de riscos vamos considerar o valor de P90. Resulta que no método proposto o valor da estimativa de custos considerando a contingência é 4,77% maior que o valor segundo o método tradicional.

Isso resulta em maior segurança para o gerente de projeto e para o principal controlador em empenhar reserva financeira para o empreendimento.

PERCENTIL	MÉTODO PROPOSTO (R\$)	MÉTODO TRADICIONAL (R\$)	VARIAÇÃO (%)
90%	15.391.439	14.690.774,30	4,77%

Tabela 23: Comparação de P-90 entre os métodos

Conclusão

Neste capítulo apresentaremos a conclusão da pesquisa. Inicialmente recordaremos quais objetivos tinham sido propostos no início do trabalho e apresentamos o modo como os objetivos foram atingidos.

A seguir fazemos considerações finais e proposições de trabalhos futuros que poderiam dar continuidade a construção do método:

Atendimento dos objetivos da Pesquisa

No capítulo de introdução foram descritos os objetivos da pesquisa:

Objetivo 1) Identificar e definir os dados que serão utilizados para a análise de riscos;

Objetivo 2) Identificar os profissionais a serem consultados para as entrevistas;

Objetivo 3) Utilizar método de simulação apropriado para a análise;

Objetivo 4) Analisar quais distribuições de probabilidade descrevem melhor os eventos de risco;

Objetivo 5) Definir como a contingência pode ser considerada a partir da análise de risco;

Segue a seguir descrição de como cada objetivo foi atingido

Objetivo 1) Identificar e definir os dados que serão utilizados para a análise de riscos;

Para a realização da análise de riscos os dados devem estar categorizados e disponíveis. Os dados que deram origem a estimativa de custos são separados de acordo com a sua natureza para que as incertezas sejam estudadas de forma específica. Como pode ser visto no item 3.3.2, os dados são divididos em três dimensões:

- **Preço dos materiais, serviços e salários;**
- **Levantamento de quantitativos (escopo);**
- **Planejamento da execução do empreendimento (histograma).**

No item 3.4 o método é aplicado com os dados definidos e identificados.

Objetivo 2) Identificar os profissionais a serem consultados para as entrevistas;

Como pode ser visto no item 3.3.2 os profissionais são definidos de acordo com a área de atuação. Os profissionais têm a forma de atuação e especialização definida em cada uma das três dimensões que compõem a estimativa de custo.

O método prevê que cada profissional atue apenas na área em que for especialista ou tiver experiência, evitando assim, possíveis distorções no resultado da análise de risco.

Objetivo 3) Utilizar método de simulação apropriado para a análise;

Foi utilizada uma planilha eletrônica onde, ao longo deste trabalho foi mostrada, através de exemplos, a lógica de funcionamento do método.

O método de simulação deve ser capaz de incorporar na análise de riscos o cálculo da variância da multiplicação e soma de termos e correlação por semelhança de termos, descritos nos itens 2.3 e 3.3.

Essas duas técnicas influenciam no cálculo da variância da curva de distribuição resultante e se não forem incorporadas invalidam o método.

Objetivo 4) Analisar quais distribuições de probabilidade descrevem melhor os eventos de risco;

No item 1.4 foi feita breve descrição de vários tipos de distribuições e um comparativo entra a distribuição triangular e BetaPERT, sendo que a distribuição mais fácil de trabalhar e que melhor descreve o comportamento natural de incertezas é a BetaPERT.

Objetivo 5) Definir como a contingência pode ser considerada a partir da análise de risco;

Apesar de não poder ser definido qual valor de contingência deve ser considerado após a análise de riscos, ela deve corresponder a todas as incertezas específicas do empreendimento. A prática comum de mercado é considerar valor

que oscila entre o P80 e o P90 como valor de contingência, sendo o critério definido pela equipe de projeto.

A equipe deve ser bem criteriosa para definir o valor que vai ser considerado para o projeto, pois o valor final deverá cobrir todos os gastos oriundos de riscos durante a fase de implantação do empreendimento.

Considerações Finais

Este método ressalta a necessidade de se ter estimativa de custos confiáveis e analisadas para que os responsáveis pelo empreendimento disponham em mão informações suficiente para tomada de decisão. Além disso, a análise de risco da estimativa de custo serve como insumo para a elaboração do plano de mitigação dos riscos do empreendimento.

O método tradicional e comumente utilizado na análise de risco da estimativa de custo não exige com que os dados sejam categorizados e analisados de forma específica, deixando assim, lacunas no resultado final da análise de riscos que podem levar a uma tomada de decisão errada. Pelo tratamento geral que dá ao empreendimento, o método tradicional tem grande tendência de resultar em variância menor, como foi observado no comparativo.

As tarefas olhando de forma agrupada e sendo representadas apenas por um valor faz com que o profissional consultado tenha pouca noção de como ele irá lidar com as incertezas, ainda que seja feita análise de riscos qualitativa previamente.

Outra característica negativa do método tradicional é a dificuldade, ou até mesmo impossibilidade, de se realizar correlações de itens semelhantes. Quando não é feita a correlação, a medida que o método simula os casos, os valores tendem a se anular e a variância da curva de distribuição resultante diminui.

Considerando a pouca utilização da análise de risco em estimativa de custos na prática dos empreendimentos, e que este tema começa a ser estudado e desenvolvido no meio acadêmico, o método proposto é uma ferramenta que tem campo vasto para ser aplicada e desenvolvida nos projetos e dentre outras vantagens, ele oferece respaldo científico para tomada de decisão.

O método apresentado neste trabalho mostrou-se uma excelente alternativa para auxiliar os profissionais sobre a condução do empreendimento ainda nas fases

iniciais, ou seja, no projeto básico. Além disso, o método oferece a possibilidade de testar e comparar cenários diferentes.

O método mostra-se de grande ajuda na realização da análise de risco e de estudo dos resultados. Abaixo são listadas as principais vantagens de se utilizar o método descrito neste trabalho:

- Possibilita analisar o empreendimento com mais profundidade, trazendo à tona incertezas que estavam ocultas;
- Possibilita estudo de diferentes cenários;
- Oferece as probabilidades de o empreendimento atingir certo valor durante a fase de implantação;
- Permite o responsável pelo negócio conhecer a probabilidade de um projeto custar certo valor;
- Permite análise de itens específicos que compõem o custo do projeto, permitindo assim ações mais definidas;
- Permite análises complementares por parte da equipe do projeto;
- Mostra com clareza quais incertezas podem influenciar mais o custo do empreendimento;
- Oferece mais segurança ao responsável pelo negócio ao empenhar montante de dinheiro no empreendimento;
- Auxilia na construção de plano de mitigação de riscos por parte da equipe de projeto.

Dentre outras vantagens vale a pena destacar que o custo de executar a análise de risco em estimativa de custo é muito baixo com relação ao custo do empreendimento, pois o analista pode usar ferramentas comerciais difundidas e conhecidas no mercado e também pode recorrer a profissionais do próprio quadro de empregado da empresa para auxiliar nas definições de valores máximo e mínimo de cada item da análise,

Sugestões de trabalhos futuros

Alguns trabalhos podem ser desenvolvidos futuramente a partir dos conhecimentos desenvolvidos nesta dissertação.

Recomenda-se que o método apresentado pode ser desenvolvido incrementando elementos de análise de risco em estimativa de prazo, resultando dessa forma numa ferramenta que ao mesmo tempo faça análise de custo e prazos.

Uma das dimensões destacadas no método, o planejamento ou histograma de mão de obra tem estreita relação com a definição do prazo do empreendimento, além dessa dimensão o quantitativo de materiais e equipamentos também influencia na estimativa de prazo.

Por outro lado a estimativa de prazo influencia o custo de mão de obra direta e indireta. A influência mútua de prazo e custo resulta que seus valores são correlacionados negativamente, ou seja, quanto maior um menor o outro.

O que se busca sempre é que cada empreendimento gere valor aos responsáveis pelo negócio de forma que se busca o ponto ótimo entre custo e prazo.

REFERÊNCIAS

Abu Hammad, A. **Simulation Modeling of Manufacturing Housing Process**. Dissertação de Mestrado, University of Cincinnati, 2002.

Arroyo, Luis M. An Integrated, Pragmatic Approach To Effectively Manage Project Risk. **AACE International Transactions**, EUA, 2012.

Bedford, T. Cooke, R. **Probabilistic Risk Analysis: Foundations and Methods**. Cambridge University Press, Reino Unido 2001.

Bertelsen, S. Koskela, L. Managing the Three Aspects of Production in Construction. **Proceedings IGLC-10**, Aug, Brazil, Gramado, 2002.

Bertelsen, S. Koskela, L. Henrich G. Rooke, J. Construction Physics. **Proceedings IGLC-15**, USA, Michigan, July, 2007

Bertelsen, S., Sacks, R. **Towards a New Understanding of the Construction Industry and the Nature of its Production**. Proceedings IGLC-15, USA, Michigan, July, 2007.

Bruzeliuss, N. *et al.* Big Decisions, big risks, Improving accountability in mega projects. **Transport Policy** nº 9 143-154, 2002.

Chan, Daniel W.M. *et al.* **Risk ranking and analysis cost contracts: Empirical evidence from the construction industry**. **International Journal of Project Management**, Volume 29, Issue 6, 2011.

Christensen, P. *et al.* **Cost Estimate Classification System**, AACE International Recommended Practice No. 17R-97, EUA Novembro 2011.

Coleman, Thomas S. **A Practical Guide to Risk Management**. Research Foundation of CFA Institute, EUA 2011.

Di Bello, B.C. **Uma Metodologia de Planejamento Aplicada à Cadeia de Suprimentos de Construções Prediais**. Dissertação de Mestrado. UERJ, Rio de Janeiro, 2007.

Doloi, Hemanta Kumar Understanding stakeholders' perspective of cost estimation in project management. **International Journal of Project Management**, v. 29, n. 5, p. 622-636, 2011.

Enshassi, Adnan *et al.* Delays and cost overruns in the construction projects in the Gaza Strip. **Journal of Financial Management of Property and Construction**, vol. 14, n° 2, 2009.

Farrar, J.M. AbouRizk, S. M., Mao, X. Generic Implementation of Lean Concepts in Simulations Models. **Lean Construction Journal**, Vol 1, n 1, October, 2004.

Flyvbjerg, Bent. Getting Risks Right. **Project Management Journal**, vol. 37, n° 3, Agosto, 2006.

GAO, **Cost Estimating and assessment guide: Best Practices for Developing and Managing Capital Program Costs**, United States Government Accountability Office Março 2009, EUA.

Galway, Lionel A. **Subjective Probability Distribution Elicitation in Cost Risk Analysis – a review**, RAND PROJECT AIR FORCE, EUA, 2007.

Guimarães, R. C., CABRAL, J.A.S. **Estatística**. Lisboa: McGraw-Hill, 1997.

Hillier, F.S, Lieberman, G.J **Introdução à Pesquisa Operacional**. São Paulo; EDUSP, 1988.

Hollmann, John K. Estimate Accuracy: Dealing with Reality. **AACE International Transactions**, 2012, EUA.

Hulett, David **Integrated Cost-Schedule Risk Analysis**. Gower Publishing Limited, England, 2011.

Israel, R. The Math Fórum @ Drexel: People Learning Math Together
Disponível em <<http://mathforum.org/kb/message.jspa?messageID=3435047>>. Data de acesso: 05 de maio de 2013.

Javaš, Jean-Paul **Risk Analysis In Theory And Practice**. Elsevier Academic Press, California, EUA, Julho, 2010.

Kamburowski, J. New validations of PERT times. **Omega, The International Journal of Management Science**, 25(3), 323–328, 1997.

Koskela, L. **Application of the New Production Philosophy to Construction**. Tech. Report No. 72, CIFE, Stanford Univ., CA, 1992.

Kujawaski, Edouard *et al.* **Incorporating Psychological Influences in Probabilistic Cost Analysis**. Wiley InterScience, EUA 2004.

Kwak, Y.H. Ingall, L. Exploring Monte Carlo Simulation Applications for Project Management. **Risk Management**, vol 9, 44-57, 2007.

Malcom, D. G., Rosenbloom, J.H., Clark, C. E. Fazar, W. Application of a Technique for Research and Development Program Evaluation. **Journal of Operational Research**, Vol. 7, No. 5, pp. 646-669, 1959.

Molak, Vlasta **Fundamentals of Risk Analysis and Risk Management**. Lewis Publishers, Florida, EUA, 1997.

Project Management Institute, **A Guide to the Project Management Body of Knowledge**, 4ª edição Project Management Institute, Inc. Four Campus Boulevard, 2009, EUA.

Raychaudhuri, S. Introduction to Monte Carlo Simulation. **Winter Simulation Conference**, 2008.

Rocha, M.Q. **Elaboração de indicadores e Uso de Ferramentas de Controle da Qualidade na Execução de Obras Prediais**. Dissertação de Mestrado. UERJ, Rio de Janeiro, 2007.

Slack, N. *et al.* **Administração da Produção**. Edição compacta. Editora Atlas, São Paulo, 1999.

Srisuwanrat, C., Ioannou, P. G. The Investigation of Lead-Time Buffering Under Uncertainty Using Simulation and Cost Optimization. **Proceedings IGLC-15**, USA, Michigan, July, 2007.

Tommelein, I. D. Pull-Driven Scheduling for Pipe-spool Installation: Simulation of a Lean Construction Technique. **ASCE Journal of Construction Engineering and Management**, July/August, 1998.

Van Dorp, J.R., Kotz, S. Generalizations of Two-sized Power Distributions and their Convolution. **Communications in Statistics: Theory and Methods**, vol 32, n-9, 1703-1723, 2003.

Velard, G.J., Saloni, D.E., van Dyk, H., Giunta, M. Process flow improvement proposal using lean manufacturing philosophy and simulation techniques on a modular home manufacturer. **Lean Construction Journal**, p77-93, 2009.

Westney, Richard E. **The Engineer's Cost Handbook: tools for managing project costs**. MARCEL DECKER, INC, EUA, 1997.

Womack, J., Jones, D. **Lean Thinking**. New York, Ed. Simon & Schuster, 1996.

Womack, J., Jones, D., Roos, D. **A máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro, Ed. Campus, 1997.