

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO**

**PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**AGATHA MARTINS MONTEIRO**

**ESTUDO DA VARIABILIDADE DE CUSTOS EM ORÇAMENTOS DE OBRAS  
RESIDENCIAIS UTILIZANDO O MÉTODO DE MONTE CARLO**

**São Paulo**

**2020**

**AGATHA MARTINS MONTEIRO**

**ESTUDO DA VARIABILIDADE DE CUSTOS EM ORÇAMENTOS DE OBRAS  
RESIDENCIAIS UTILIZANDO O MÉTODO DE MONTE CARLO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho -UNINOVE, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rosângela Maria Vanalle

**São Paulo**

**2020**

Monteiro, Agatha Martins.

Estudo da variabilidade de custos em orçamentos de obras residenciais utilizando o método de Monte Carlo. / Agatha Martins Monteiro. 2020.

89 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2020.

Orientador (a): Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rosângela Maria Vanalle.

1. Variabilidade de custo. 2. Engenharia civil. 3. Monte Carlo. 4. Edifícios residenciais.  
5. Obras em São Paulo.

I. Vanalle, Rosângela Maria.

II. Título.

CDU 658.5

**PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**  
**DE**

Agatha Martins Monteiro

Título da Dissertação: "Estudo da Variabilidade de Custos em Orçamentos de Obras Residenciais Utilizando o Método de Monte Carlo".

A Comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, considera o(a) candidato(a) Agatha Martins Monteiro Aprovada

São Paulo, 10 de março de 2020.

Prof(a). Dr(a) Rosângela Maria Vassile (UNINOVE / PPGEP) - Orientadora

Rosângela Maria Vassile

Prof(a). Dr(a) Milton Vieira Junior (UNIMEP / PPGEP) - Membro Externo- Membro Externo

Milton Vieira Junior

Prof(a). Dr(a) Geraldo Cardoso da Oliveira Neto (UNINOVE / PPGEP) - Membro Interno

Geraldo Cardoso da Oliveira Neto

**“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.**

**“Martin Luther King”**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que me ajudaram nessa jornada e me incentivaram, mas principalmente meu marido Marcelo, meus familiares, em especial a minha mãe Magda.

A todos os professores do programa de mestrado em Engenharia de Produção da Uninove,

em especial a minha orientadora Prof. Dra. Rosangela Maria Vanalle.

Em reconhecimento aos ensinamentos nesse curso, não posso esquecer de agradecer o Prof. Dr. Wagner Cezar Lucato, Prof. Dr. Milton Vieira Junior, Prof. Dr. Fabio Henrique Pereira, Prof. Dr. Fernando Tobal Berssaneti e Prof. Dr. José Carlos Curvelo Santana.

Agradeço aos meus colegas Fabio Arantes, Marcos Gomes, Alberto Almeida, Caio Cruz, Anderson Almeida e Silvestre Junior pelo companheirismo, apoio e muitos momentos de conversas e descontração nestes dois anos.

## RESUMO

No meio das transformações da indústria mundial, com avanços em tecnologias da informação, softwares de cálculos e projetos, melhorias no controle da qualidade de materiais etc., vemos que a indústria brasileira da construção civil ainda executa processos do século passado. No planejamento de custos e orçamento de obras, também não ocorreram grandes mudanças. Analistas usam editores de planilhas para montar suas composições, elaboram seus levantamentos, cotações, montam composições de preços unitários sem se preocupar muito com a qualidade daquela informação. Na construção civil não é comum o retorno do trabalho para equipe de orçamento e planejamento, se o que está sendo orçado está ou não atendendo a obra. Este trabalho tem como objetivo entender e atualizar os conhecimentos sobre cálculo da variabilidade de custos em orçamentos por meio de gráficos da simulação de Monte Carlo em custos de obras residenciais de padrão econômico na Grande São Paulo, através da metodologia de um estudo de caso uma obra em uma construtora. Apresentando nos resultados, análise das planilhas comparando os resultados das simulações x valores realizados reais da obra podendo assim verificar a variabilidade de custos e a validação do método de Monte Carlo como uma ferramenta de análise de riscos e incertezas para tomada de decisão com relação aos custos de uma obra.

Palavras-chave: variabilidade de custo, engenharia civil, Monte Carlo, edifícios residenciais, obras em São Paulo.

## ABSTRACT

In the middle of the transformations of the world industry, with advances in information technologies, software for calculations and projects, improvements in the quality control of materials, etc., we see that the Brazilian construction industry still executes processes of the last century. In the planning of costs and budget of works, there were also no changes. Analysts use spreadsheet editors to assemble their compositions, prepare their surveys, quotations, assemble unit price compositions without worrying too much about the quality of that information. In civil construction, it is not common to return work to the budget and planning team, whether or not what is being budgeted is meeting the work. This work aims to understand and update the knowledge on calculating the variability of costs in budgets by means of graphs of Monte Carlo simulation in costs of residential works of economic standard in Greater São Paulo, through the methodology of a case study a work in a construction company. Presenting in the results, analysis of the spreadsheets comparing the results of the simulations x actual realized values of the work, thus being able to verify the variability of costs and the validation of the Monte Carlo method as a tool for analyzing risks and uncertainties for decision making regarding of construction costs.

**Keywords:** cost variability, civil engineering, Monte Carlo, residential buildings, works in São Paulo.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Precisão x número de informações.....	24
FIGURA 2 – Prod. variável de mão de obra numa composição de alvenaria .....	32
FIGURA 3 – Prod. variável de argamassa numa composição de alvenaria .....	32
FIGURA 4 – Consumo variável de blocos numa composição de alvenaria .....	33
FIGURA 5 – Terminologia do CUB .....	34
FIGURA 6 – Estrutura de um estudo de caso .....	51

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 –Classificação dos orçamentos .....	25
QUADRO 2 – Definição da composição dos preços unitários .....	29
QUADRO 3 –Diferenças entre CUB e Índice CUB .....	35
QUADRO 4 –Diferenças de períodos de coleta para cada versão do IGP .....	37
QUADRO 5 – Diferentes distribuições de gráficos .....	42
QUADRO 6 – Perguntas específicas – Revisão Sistemática.....	43
QUADRO 7 – Palavras-chave .....	44
QUADRO 8 – Endereço eletrônico dos sites das bases de dados. ....	44
QUADRO 9 – Quantidade de artigos analisados.....	45
QUADRO 10 – Publicações por periódicos. ....	45
QUADRO 11 – Características das obras. ....	55

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Composição dos Preços Unitários .....	27
TABELA 2 – CUB Padrões Residenciais – R\$/m <sup>2</sup> .....	35
TABELA 3 – Série histórica Índice CUB 2019 .....	36
TABELA 4 – Resumo Custo Total Obra 01 .....	57
TABELA 5 – Resumo Custo Direto Obra 01 .....	58
TABELA 6 – Dados de entradas das informações para simulação custo total .....	58
TABELA 7– Dados de saída da simulação custo total.....	58
TABELA 8 – Resumo custo por atividades.....	60
TABELA 9 – Diferenças reais entre atividades críticas.....	61
TABELA 10 – Dados de entradas das informações para simulação atividades.....	62
TABELA 11– Dados de saída após simulação atividades .....	63
TABELA 12 – Resumo custo/m <sup>2</sup> .....	64
TABELA 13 – Dados de entradas das informações para simulação custo/m <sup>2</sup> .....	65
TABELA 14– Dados de saída após simulação custo/m <sup>2</sup> .....	65
TABELA 15 – Resumo custo/unidade .....	67
TABELA 16 – Dados de entradas das informações para simulação custo/unidade	67
TABELA 17 – Dados de saída após simulação custo/unidade .....	67
TABELA 18 – Comparação Simulação x Realizado Custo Total .....	69
TABELA 19 – Comparação Simulação x Realizado - Atividades.....	71
TABELA 20 – Comparação Simulação x Realizado – R\$/m <sup>2</sup> .....	72
TABELA 21 – Comparação Simulação x Realizado – R\$/unid .....	72

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Gráfico Frequência – Custo Total.....	59
GRÁFICO 2 – Gráfico Probabilidade Acumulada – Custo Total .....	59
GRÁFICO 3 – Gráfico Frequência – Atividades .....	63
GRÁFICO 4 – Gráfico Probabilidade Acumulada – Atividades .....	64
GRÁFICO 5 – Gráfico Frequência – Custo R\$/m <sup>2</sup> .....	66
GRÁFICO 6 – Gráfico Probabilidade Acumulada Custo R\$/m <sup>2</sup> .....	66
GRÁFICO 7 – Gráfico Frequência – Custo R\$/unid .....	68
GRÁFICO 8 – Gráfico Probabilidade Acumulada Custo R\$/unid.....	68

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA.....	17
1.2 OBJETIVO PRINCIPAL .....	18
1.3 JUSTIFICATIVA .....	18
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA</b> .....	<b>20</b>
2.1 TIPOS DE ORÇAMENTOS .....	21
2.1.1 Estimativa de custo .....	22
2.1.2 Orçamento Executivo .....	23
2.2 CUSTOS DIRETOS E INDIRETOS.....	24
2.3 COMPOSIÇÃO DE PREÇOS UNITÁRIOS (CPU) .....	25
2.3.1 Critérios de consumo e produtividade .....	27
2.4 ÍNDICES CUB E INCC .....	30
2.5 RISCOS E VARIABILIDADE DE CUSTOS.....	34
2.6 SIMULAÇÃO MONTE CARLO .....	36
2.7 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E SISTEMÁTICA SOBRE ESTUDO DA VARIABILIDADE DE CUSTOS EM OBRAS RESIDENCIAIS ATRAVÉS DO MÉTODO DE MONTE CARLO. ....	40
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>48</b>
3.1 METODO UTILIZADO .....	48
3.1.1 Definição da pesquisa .....	49
3.1.2 Delimitação do estudo.....	49
3.1.3 Coleta de dados .....	49
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>52</b>
4.1 SIMULAÇÕES DOS CUSTOS DA OBRA 01 .....	54
4.1.1 Simulação de Monte Carlo – Custo Direto Total .....	55
4.1.2 Simulação de Monte Carlo – Custo Atividades .....	57
4.1.3 Simulação de Monte Carlo – R\$/m <sup>2</sup> .....	61
4.1.4 Simulação de Monte Carlo – R\$/unid. ....	63

4.2 COMPARAÇÃO SIMULADO X REALIZADO .....	66
4.2.1 Comparação - Custo Direto Total.....	66
4.2.2 Comparação - Atividades.....	67
4.2.3 Comparação – R\$/m <sup>2</sup> .....	69
4.2.4 Comparação – R\$/unid. ....	69
<b>5. DISCUSSÕES .....</b>	<b>71</b>
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>74</b>
<b>7. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>75</b>
<b>ANEXO A .....</b>	<b>14</b>
<b>ANEXO B .....</b>	<b>18</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Um estudo realizado em um grupo de construtoras de São Paulo concluiu que o desvio médio entre o orçamento previsto versus realizado é de 21,7%, sendo que o ideal para um orçamento executivo varia de 3% a 5% (NAKAMURA, 2014).

Um orçamento eficiente é primordial para um resultado de sucesso tanto técnico quanto financeiro para uma empresa da construção civil. Um orçamento malfeito, quase sempre é fadado de possíveis frustrações de custo e prazo. O cenário mais provável é sempre o valor ultrapassar o valor orçado ou estimado (MATTOS, 2019).

Os parâmetros orçamentários orientam as empresas na análise do custo de uma obra e direcionam as ações que devem ser tomadas para validação do investimento do futuro empreendimento, mesmo antes dos projetos detalhados (LOSSO, 1995).

Em um processo de construção, alguns fatores específicos de incerteza são inevitáveis, estabelecendo um limite de confiança das informações que são consideradas na idealização do projeto. Desta forma, a incerteza é intrínseca ao processo de construção e como consequência há um limite para a precisão que será alcançada dentro de uma estimativa de custos (BENNET e BARNES, 1979).

Entre um canteiro de obras e outro, existem uma série de características únicas, que os diferenciam dos demais, mesmo que seja de uma mesma construtora. As diferenças podem ser atribuídas, por exemplo, à localização geográfica, estando cada obra presente em um local diferente; apresentam-se equipes temporárias formadas para cada obra individualmente; possuem diferenças climáticas; preço praticado na região; prazo; investidores entre outros. (JONSSON, 1996).

Para reduzir o impacto de desvios no orçamento do empreendimento, reduzindo o lucro, as vezes de maneira significativa a ponto de inviabilizar o projeto, é necessária uma investigação criteriosa dos custos na fase de projeto. (TAS, 2005).

Na fase inicial de concepção do projeto de uma obra, as atividades que compõem o custo não estão no nível ideal de detalhamento para análise dos riscos tornando-se difícil a elaboração de uma estimativa minuciosa do custo da obra (LOPES, 2003).

Contudo, é no início de um projeto que se justifica a utilização de estimativas

paramétricas de custos, porque não está em busca um custo determinístico preciso e sim um custo aproximado (LOSSO, 1995).

Segundo Otero (1998), atendendo a essa investigação, no Brasil existem três métodos mais utilizados para elaboração da estimativa de custos de uma obra:

- CUB (Custo Unitário Básico);
- Modelo Paramétrico de Custo;
- Orçamento Detalhado.

Sendo que o CUB e o Modelo Paramétrico de Custo são destinados às etapas iniciais do estudo projeto, uma fase pré-projeto, os quais chamamos de estudo de viabilidade e planejamento inicial, e o Orçamento Detalhado (chamado também de Executivo ou Analítico) é destinado já na etapa de desenvolvimento do projeto, quando informações sobre quantitativos já podem ser levantadas.

O modelo paramétrico usa o método das características geométricas que é a comparação de uma ou mais dimensões características do projeto cujo custo se quer determinar com as mesmas dimensões de um ou mais dos projetos de referência. Nesse método não há uma relação entre o nível de detalhamento do projeto e o grau de erros e incertezas da estimativa de custos. Aqui, basta que as dimensões características comparadas já sejam conhecidas, independentemente do nível de detalhamento do projeto como um todo. A aplicação do método por características geométricas depende de dados de históricos de orçamentos para alimentar o modelo de estimativa de custos. (LIMA, 2013)

Em todos esses métodos utiliza-se contingenciamento, aplicando uma porcentagem sobre o custo unitário ou total. Embora indústria da construção tenha se animado pela iniciativa da prática da incerteza orçamentária com o uso da contingência, há evidências que sugerem que os principais clientes estão exigindo mais segurança de custos (McCAFFER et al., 2005).

Davey (2000) defende que os excedentes de custo geralmente representam sintomas de planejamento e orçamento inadequados para os projetos, o que, por sua vez, é uma consequência da precisão dos dados de custo empregados para estimar os orçamentos do projeto.

Como alternativa, o Método de Monte Carlo, pode ser utilizado para avaliação de projetos, onde os riscos envolvidos podem ser expressos de forma simples, prática e de fácil leitura, e as simulações auxiliam a decisão (MOORE et al., 2005).

O método de Monte Carlo consiste na simulação do valor futuro dos ativos, sendo indicado quando as abordagens histórica e paramétrica não são apropriadas. Esse método vem sendo cada vez mais utilizado, não somente no gerenciamento de risco, mas também em diversas áreas financeiras (MALETTA, 2005).

## 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Culturalmente, a indústria da construção civil no Brasil não é habituada a preocupações com o planejamento, e, em muitos casos, apenas em construir com imediatismo e empirismo, causando discutíveis execuções e obras com baixa qualidade (MATTOS, 2019).

Para a maioria das empresas do setor da construção civil a maior dificuldade na realização do orçamento de uma obra é ter assertividade com pouca variabilidade entre o previsto x realizado, tendo em vista a escassez de bancos de dados consistentes na maioria destas organizações, sobre o histórico de gerenciamento de riscos em projetos similares (ALMEIDA et al., 2008).

Em relação ao método de estimativa de custos por características geométricas, um trabalho desenvolvido nos EUA denominado Parametric Cost Estimating Handbook, citado por Otero (2000), argumenta que para uma estimativa de custos, há dois tipos de incertezas que podem ocorrer, de forma a prejudicar a precisão: uma relacionada a problemas presentes no método utilizado, resultante da omissão de variáveis custo, má especificação de coeficiente e relações matemáticas, além da falta ou inconsistência de dados históricos utilizados; outro seria advindo da dificuldade em obter-se o desempenho a ser alcançado dentro da rotina de produção, em virtude de acontecimentos imprevistos ligados aos recursos e programação do processo de produção.

Tanto para o cálculo de variabilidade de custos de material e mão de obra é necessário a obtenção de dados históricos e aplicação do modelo estatístico pelo Desvio Padrão calculando o coeficiente de variação, determinação e regressão. O grau de assertividade desse cálculo depende do tamanho da amostra, isto é, do histórico de obras com mesmas características geométricas (andar tipo, quantidade de andares, garagem, tipo de estrutura, etc.) (Parisotto, 2003).

A experiência prática no setor da construção civil mostra que a aplicação deste método ao utilizar o histórico de orçamentos podem considerar dados de obras com particularidades que causaram impacto financeiro inesperado (variabilidade dos custos maior que o projetado) e essas particularidades não são recorrentes em outras obras, camuflando os dados.

Neste contexto, o seguinte problema de pesquisa é apresentado: como calcular a variabilidade de custos das obras considerando um modelo matemático diferente do convencional cálculo do desvio padrão que pudesse trazer um cenário de análise mais completo?

## **1.2 OBJETIVO PRINCIPAL**

O objetivo principal desse trabalho é analisar a variabilidade dos custos iniciais no planejamento financeiro de obras residenciais utilizando a simulação de Monte Carlo.

Objetivos específicos:

- Contribuir para a aplicação prática dos modelos baseados em probabilidade, como a simulação Monte Carlo, para avaliação da variabilidade do custo previsto versus realizado. As conclusões do estudo são úteis para usuários de estudos de viabilidade ajudando na sua análise quando realizá-las.

## **1.3 JUSTIFICATIVA**

Alguns estudos chegaram à conclusão de que o nível de precisão dos orçamentos na fase de estimativa geralmente tinha uma porcentagem de variação em torno de 15 a 20%, podendo chegar a de 13% a 18% orçamentos estimativos levantados em cima de projetos existentes (OLIVEIRA, 1990). A definição no início do projeto de informações sobre a tipologia, forma, qualidade dos acabamentos etc., tem maior peso na determinação o nível de assertividade do custo do que as subsequentes informações decididas do projeto (ASHWORTH e SKITMORE, 1983).

Como foram apontados na introdução e no problema de pesquisa, ainda hoje as construtoras tem pouca acertividade seus custos em orçamentos estimativos. Ainda há dificuldade na realização nesses orçamentos.

O trabalho apresentado aborda construtoras de edificios residenciais verticais de padrão economico pela quantidade significativa de obras realizadas, justificando a delimitação de estudo apresentada.

O método de Monte Carlo para análise de risco em projetos na área da engenharia civil já é aplicado com frequência, como os exemplos de artigos citados acima.

Com conhecimento desta dificuldade de cálculo, esse estudo visa contribuir não só com a comunidade acadêmica de futuros engenheiros a buscarem uma alternativa por meio da utilização da simulação de Monte Carlo para análises das variações de custos em obras residenciais de padrão economico em São Paulo. Este método é aplicado atualmente, por exemplo para avaliação de riscos em projetos de energia renovável (Gomez, 2019), cálculos estruturais em pontes (Naderpour,2019) e para tomadas de decisões montagem de linhas de montagem de uma fábrica (VANALLE,2012).

Diante do exposto, torna-se relevante um estudo referente ao viabilidade de custos, relacionando-o com simulação através de um modelo matemático, neste caso o método de Monte Carlo, para controle das atividades/serviços do empreendimento e identificação dos riscos inerentes a essa etapa.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

O conceito de orçamento é definido pela somatória de insumos diretos e indiretos. Diretos: mão de obra, material, transporte, equipamentos; Indiretos: taxas, construção do canteiro de obras e sua manutenção, equipes técnicas como engenheiros e técnicos e apoio etc. Dependendo da modalidade do orçamento o lucro e os impostos são adicionados nos valores unitários ou no final no total da planilha, chegando assim ao preço de venda (MATTOS, 2019).

O processo orçamentário é uma etapa da obra que envolve a parte administrativa da empresa e tem como objetivo principal prever custos iniciais e calcular possíveis agentes de risco tanto financeiro quanto de execução (TRAJANO, 2010). Pois além de levantamento, quantificação e cotação de material e mão de obra, durante a etapa orçamentária é possível mitigar alguns problemas de compatibilidade de projetos. Conforme Duarte et al. (2012), o controle do projeto é realizado por um conjunto de processos reativos e proativos com a função de fazer a gestão das funções críticas e reduzir os riscos do projeto.

De acordo Hirota (1986), o extenso tempo de amadurecimento de um projeto para um lançamento de um empreendimento, as oscilações da indústria da construção civil dentro do cenário político-econômico no país, e a própria variação oriunda do processo de produção da construção de uma obra, são alguns dos fatores que fazem com que a precisão, ou seja, o saldo dessa diferença do valor realizado versus estimativa de custo feita no início varie em torno de 20 e 30%.

Mesmo que um orçamento estimativo seja preciso e esteja diretamente relacionado disponibilidade da quantidade de informações sobre um projeto, observa-se que tipos diferentes de informações não afetam de maneira igual, alguns dados genéricos são considerados mais relevantes, e assim as informações gerais concentram um conhecimento suficientes na tomada de decisão (OTERO, 2000).

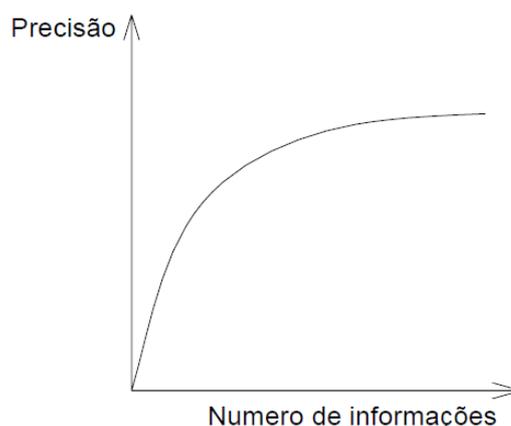


Figura 1 – Precisão x número de informações (Fonte: Graça e Gonçalves, 1978).

Segundo Graça e Gonçalves (1978), analisando o gráfico acima, percebemos que o nível de precisão aumenta conforme aumenta também o número de informações num orçamento, mas há um limite de quantidade de informações, determinadas pelo a serem analisadas, tipo de orçamento estimativo, nunca alcançando 100% de precisão, conforme está apresentado na figura 1.

## 2.1 TIPOS DE ORÇAMENTOS

No planejamento de uma obra, o item de orçamentos corresponde a uma das informações iniciais que o empreendedor deve saber ao analisar a viabilidade de um projeto. Os custos referentes à construção de um empreendimento devem ser determinados logo no início para decisão de prosseguir ou não com a obra (GOLDMAN, 2004).

A elaboração de um orçamento, seguido de um cronograma bem executados trazem algumas vantagens como: evita atrasos e desperdícios de tempo e materiais; e facilita o acompanhamento da obra criando diretrizes e sistemática de trabalho.

Segundo Araújo (2003) a classificação dos orçamentos podem ser:

Quadro 1 – Classificação dos orçamentos.

<b>Convencional:</b> É feito a partir de composições de custo, dividindo os serviços em partes e orçando por unidade de serviço.
<b>Operacional ou executivo:</b> Preocupa-se com todos os detalhes de como a obra será executada, modelando os custos de acordo com a forma que eles ocorrem na obra ao longo do tempo.
<b>Paramétrico:</b> é um orçamento aproximado, utilizado em estudos de viabilidade ou consulta rápidas de clientes;
<b>Método pelas características geométricas:</b> baseia-se na análise de custos por elementos de construção de edifícios do mesmo tipo e com alguma semelhança relativa do elemento analisado no edifício de estudo
<b>Processo de correlação:</b> o custo é correlacionado com uma ou mais variáveis de mensuração, podendo ser uma correlação simples – produtos semelhantes – ou uma correlação múltipla – o projeto é decomposto em partes ou itens;
<b>Processo de quantificação:</b> o custo é estimado através do levantamento das quantidades dos insumos para a execução da obra.

Fonte: Araújo (2003).

### 2.1.1 Estimativa de custo

Neste grupo de orçamentos, podemos incluir os tipos paramétricos, método geométrico e processo de correlação destina-se a levantar áreas, volumes e quantidades em um projeto arquitetônico sem detalhamentos, com uma única finalidade de estudo de viabilidade técnica e financeira de determinada obra (STABILE, 2006)

Ainda sobre a definição sobre estimativa de custos, segundo Mattos (2019), a estimativa de custo é uma avaliação expedita feita com base em custos históricos e comparação com projetos similares.

Ao estudar a revisão bibliográfica de orçamento estimativo, nos deparamos com a apresentação de vários métodos com diferentes tipos de abordagem e aplicação das informações. Conforme Formoso et al. (1986) a seguir serão descritos os métodos mais utilizados:

- Área Construída: o método consiste em pegar áreas dos empreendimentos e equiparar com os empreendimentos equivalentes anteriores e multiplicar o custo do m<sup>2</sup>. Algumas construtoras adotam pelo volume construído que usa a mesma linha de raciocínio.

- Por unidade: este método é bastante utilizado por construtoras que usam praticamente a mesma tipologia de unidade familiar. Ex.: apartamento 50m<sup>2</sup> 02

dormitórios, 01 banheiro, cozinha e área de serviço. O ideal é também tipografar a área comum que costuma influenciar no custo da unidade como número de elevadores, garagem no subsolo, áreas comuns equipadas com piscina etc. isso tudo gera um custo a ser agregado no valor da unidade.

- Percentual das etapas de obra: Outro método utilizado é pegar valores de obras anteriores e dividir o total do item pelo total final, obtendo um número de porcentagem do valor do projeto daquele item no orçamento.

- Custo Unitário Básico (CUB): para isso é necessário saber a curva ABC dos seus insumos tanto materiais quanto mão de obra, a curva ABC consiste na relação de itens do maior ao menor valor de maior impacto no orçamento da obra. Com essa informação em mãos, é possível associar o preço para cada tipologia de edificação.

### 2.1.2 Orçamento Executivo

O orçamento analítico ou executivo, é retrato fiel da obra listando todas as atividades pertinentes a ela e em cada atividade ou serviço há uma composição de custos unitários, considerando as quantidades de material, mão de obra e equipamento que são gastos em sua execução. Essa relação de custos com material, mão de obra e equipamentos chamamos de custo direto. Além do custo direto são computados também outros custos que podem ser manutenção do canteiro de obras, administração e equipes técnica, de suporte da obra, taxas e emolumentos etc., a somatória desses custos chamamos de custo indireto. O levantamento preciso e coerente do custo direto e indireto é denominado orçamento executivo (MATTOS, 2019).

O orçamento executivo ou detalhado é elaborado com base no projeto arquitetônico executivo, no memorial completo de especificações técnicas, de acabamentos e de equipamentos, além dos projetos completos de cálculo estrutural, instalações prediais e demais projetos (NAKAMURA, 2014)

Os cálculos posteriores à conclusão da obra são realizados com objetivo de comparar com o custo do orçamento inicial do projeto, sob pretexto de uma análise do desempenho financeiro alcançado. A partir desses cálculos pós conclusão do empreendimento, serão apropriados novos índices que podem ser aplicados em futuros projetos ou em estimativas de custo semelhantes, a junção de vários cálculos posteriores dos projetos vai fazer com que a empresa tenha um histórico de dados

que irá ajudar na tomada de decisões no ponto de vista de análise de riscos num orçamento. (GEHBAUER, 2002).

## **2.2 CUSTOS DIRETOS E INDIRETOS**

Dentro do estudo de orçamento não podemos deixar de citar os custos diretos e indiretos, que são os custos que vão compor os preços unitários para uma base de dados orçamentária (STABILE, 2006).

**Custos Diretos:** Numa forma direta de definição, custo direto é aquele aplicado e incorporado no produto (edificação) concreto, aço, areia, argamassa, bloco de alvenaria, etc. geralmente são itens de custo facilmente mensuráveis na unidade de medição e pagamento de cada um (DIAS, 2000). Custos diretos são aqueles associados diretamente aos serviços de campo, representam o que de fato foi levantado em projeto (MATTOS, 2019)

Um completo caderno de composições de custos elaborado pela empresa ou profissional, retrata todos os eventos existentes hoje em obras civis, assim como os trabalhos (STABILE, 2006).

**Custos indiretos:** Seguindo a lógica da descrição dos custos diretos, custos indiretos são aqueles representados pelos serviços de apoio, assim como complementos necessários ao desenvolvimento racionalizado de todos os serviços de obras (STABILE, 2006)

Ao levantar todas as necessidades da obra temos o conhecimento do trabalho a serem executados no canteiro, podendo assim avaliar a quantidade de insumos humanos (operários, técnicos) além de insumos mecânicos (equipamentos, grua, elevadores) que serão complementares ao custo para execução do projeto (STABILE, 2006).

Além de custos indiretamente associados ao canteiro de obras, temos toda a parte de administração do escritório que porventura dá apoio a obra como departamento pessoal, suprimentos, planejamento, projetos, etc. (TISAKA, 2006)

### 2.3 COMPOSIÇÃO DE PREÇOS UNITÁRIOS (CPU)

A Composição Preços Unitários (CPU) são os custos incorridos no processo para realização de um serviço ou atividade. Dentro da composição temos os insumos. A composição relaciona em uma tabela todos os insumos que são necessários para execução do serviço, seguido das suas respectivas unidades, quantidades, valores unitários e totais (MATTOS, 2019).

Em uma composição de custos podem existir 03 categorias que são necessárias para execução de um serviço, são elas: material, mão de obra e equipamentos (MATTOS, 2019) e dentro dessas categorias subdividimos entre INSUMOS, UNIDADE, ÍNDICE, CUSTO UNITÁRIO e CUSTO TOTAL, conforme demonstrado na tabela abaixo:

Tabela 1 – Composição dos Preços Unitários.

Serviço: preparo, transporte, lançamento e adensamento de concreto estrutural fck <sup>1</sup> = 200 kgf/cm <sup>2</sup> Unidade: 1m <sup>3</sup>					
Insumo	Unidade	Índice	Custo Unitário	Custo Total	
material	Cimento	kg	306	R\$ 0,36	R\$ 110,16
	Areia	m <sup>3</sup>	0,901	R\$ 35,00	R\$ 31,54
	Brita 1	m <sup>3</sup>	0,209	R\$ 52,00	R\$ 10,87
	Brita2	m <sup>3</sup>	0,627	R\$ 52,00	R\$ 32,60
mão de obra	Pedreiro	h	1	R\$ 6,90	R\$ 6,90
	Servente	h	8	R\$ 4,20	R\$ 33,60
equipamento	Betoneira	h	0,35	R\$ 2,00	R\$ 0,70
<b>Total</b>				<b>R\$ 226,37</b>	

Fonte: Mattos (2019).

Analisando a tabela podemos concluir que para fazer 1m<sup>3</sup> de concreto estrutural com resistência fck 200kgf/cm<sup>2</sup> gasta-se, nos valores apresentados, R\$ 226,37.

Por definição acadêmica, segundo Mattos (2019) temos:

<sup>1</sup>Fck – unidade de resistência do concreto (do inglês, FeatureCompression Know) foi traduzida para o português como Resistência Característica do Concreto à Compressão

Quadro 2 – Definição da composição dos preços unitários.

Consumo	são cada um dos itens de material, mão de obra e equipamento que entram na execução direta do serviço;
Unidade:	é a unidade de medida do insumo. Quando se trata de material, pode ser kg, m <sup>2</sup> , m <sup>3</sup> , m, um, ente outras unidades; para mão de obra a unidade é sempre hora (mais precisamente, homem-hora)
Índice	é a incidência de cada insumo na execução de uma unidade de serviço
Custo unitário	é o custo de aquisição ou emprego de uma unidade de insumo;
Custo total	é o custo total do insumo na composição de custos unitários. É obtido pela multiplicação do índice pelo custo unitário. A somatória dessa coluna é o custo total unitário. Do serviço

Fonte: Mattos (2019).

Para levantar os custos unitários devemos analisar as atividades do orçamento. Uma composição de custos de um orçamento detalhado não pode ser rotulada como uma fria seleção de números que foi retirada de um manual ou livro. Mesmo seguindo padrões estatísticos, tem que ser capaz de reproduzir a realidade do projeto (MATTOS, 2019).

Segundo Mattos (2019), os principais atributos do orçamento são aproximação, especificidade e temporalidade, conforme definições a seguir:

- Aproximação: Todo orçamento é aproximado por basear-se em previsões. O orçamento tem que ser preciso e não exato. Quanto mais critérios forem analisados e mais os dados forem apurados, menor será a margem de erro entre o previsto x realizado;

- Especificidade: Apesar dos parâmetros orçamentários cada obra tem sua particularidade mesmo que se use mesma tipologia. Condições locais como relevo, tipo de solo, localização na cidade etc. interferem na orçamentação. Empresa: o orçamento reflete a política de qualidade, padrão de acabamento e equipe (engenheiro, metre de obras etc.);

- Temporalidade: Variação dos custos dos insumos de mão de obra, Alteração ou surgimento de novos impostos e encargos, Surgimento de novos métodos construtivos (surgimento de técnicas, materiais e equipamentos mais adequados) e cenários econômicos e financeiros de acordo com a época da obra;

Segundo ainda o autor, tendo conhecimento dos principais atributos, é importante saber que eles estão intrínsecos em diversos itens de um orçamento conforme descrição abaixo:

a) *Mão de obra*: Produtividade de equipe (ex. tempo gasto para assentamento de 1m<sup>2</sup> de piso) e Encargos trabalhistas. Estes dos parâmetros influenciam na composição de custos de um orçamento.

b) *Material*: Preço dos insumos (aqui não incluir a porcentagem de perda), e deve ser utilizado preços atuais praticados no mercado e mesmo assim não é garantia de que o mesmo valor será utilizado no momento de compra pela obra. Impostos podem variar de cidade/ estado conforme localização de compra do material e realização da obra. Perda, a porcentagem de perda deve ser incluída no quantitativo do material para não haver distorções na composição, pois a particularidade de cada obra pode variar a perda como tipo de transporte e descarga do material. E por fim reaproveitamento do material consiste em quantas vezes conseguimos reaproveitar os insumos, como por exemplo as formas de estrutura.

c) *Equipamento*: Custo hora do equipamento (totaliza o valor da locação dividido pelas horas trabalhadas efetivamente) e Produtividade do equipamento (deve incluir as horas paradas de manutenção, mobilização dentro do canteiro).

d) *Custos Indiretos*: Pessoal (salários, encargos sociais, equipes administrativas e de apoio etc.). Incluindo nesse item:

- Despesas gerais – conta de luz, água, telefone, locação dos equipamentos necessários para realização dos serviços (andaimes, guindastes, guas), carretos, fretes, seguros etc.

- Imprevistos ou Contingenciamento – os responsáveis pelo orçamento às vezes precisam incluir alguma verba extra para pagar possíveis gastos não previstos em orçamento ou por falta de informação ou retrabalho de qualquer natureza que possa eventualmente acontecer, seja causado por razões meteorológicas, terceiros etc.

### 2.3.1 Critérios de consumo e produtividade

Segundo Goldman (2004) a obtenção do consumo de materiais no levantamento do projeto são os consumos efetivamente gastos e perdas obtidas, através de apropriação do serviço e controle das saídas de materiais pelo estoque.

E a obtenção dos índices de produtividade da mão-de-obra, através das apropriações das horas gastas por profissional para a execução da armação e a produção efetiva.

Geralmente as composições de custo contêm coeficientes médios de produtividade e consumo.

Entretanto, o TCPO<sup>2</sup> (2008) trouxe o conceito de produtividade variável, aplicável a materiais e mão de obra, baseado em pesquisas realizadas e/ou coordenadas por professores do Departamento de Engenharia e Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, junto a outras universidades, órgãos e entidades de classe, identificou-se que os custos dos serviços, e conseqüentemente os respectivos coeficientes de produtividade, podem variar em função de uma série de condições que vão desde a tipologia da obra, tecnologia utilizada na execução e maneiras de organização e gestão dos serviços na obra.

Ao entender o conceito de produtividade e consumo, é possível calcular ou prever a variabilidade daquele custo, em um serviço ou atividade específicos ou no orçamento como todo. A execução das atividades e o dimensionamento material, mão de obra e equipamentos influencia no tempo e como conseqüência impactam no custo e sua variabilidade (ASSUMPÇÃO, 1996)

As variações de índice e condicionantes para análise na composição de alvenaria são demonstradas nas figuras a seguir:

---

<sup>2</sup> TCPO (Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos), da Editora PINI, publicação mais completa e difundida no mercado da construção civil lançada periodicamente atualizando informação como composição de serviços, produtividade etc.



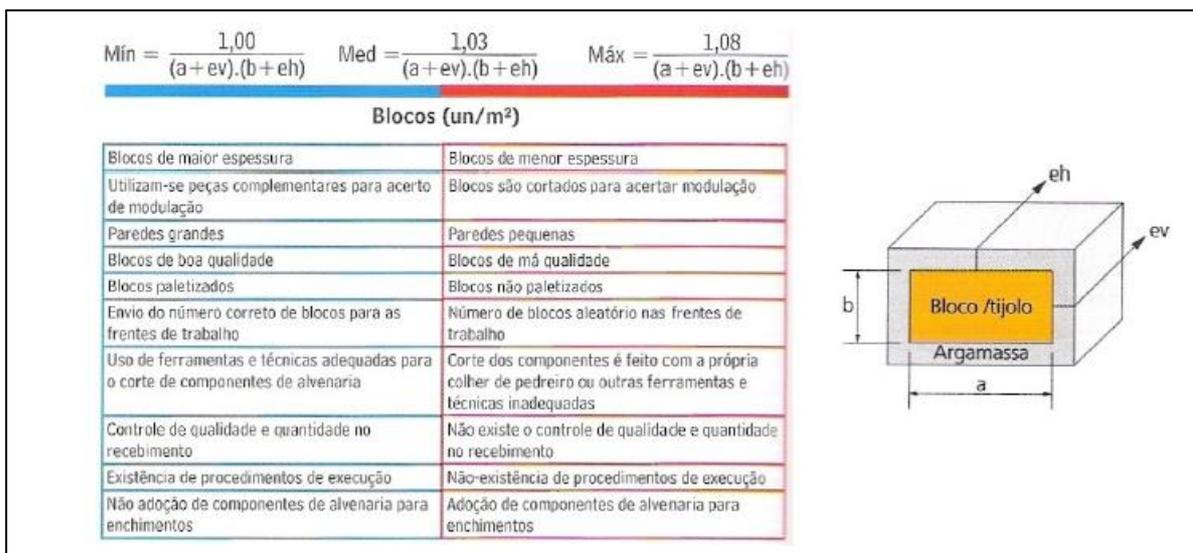


Figura 04– Consumo variável de blocos numa composição de alvenaria. (Fonte: TCPO, 2008).

## 2.4 ÍNDICES CUB E INCC

O CUB (Custo Unitário Básico) foi o primeiro instrumento técnico a considerar a caracterização de edificações como variável de custos em uma obra. Foi criado junto com a NB-140 – Norma Brasileira de Avaliação de Custos Unitários e Preparo de Orçamento de Obras para Incorporação de Edifícios em Condomínios em 1995 pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), com objetivo de definir de maneira clara a tipologia do imóvel e determinar regras para estimativas do custo de construção, e também indicar as características da edificação quanto ao seu tamanho, padrão de acabamento e localização (HIROTA, 1987).

A criação do CUB foi a partir da análise de 24 projetos-padrão, representando apenas uma parte do custo por m<sup>2</sup> construído, já que elementos como elevadores, fundação, equipe do escritório de arquitetura, projetos, remuneração do construtor ou incorporador, e demais custos indiretos não entram nesse cálculo. A norma ainda separa os projetos-padrão pela tipologia, quantidade de dormitórios, número de pavimentos e nível de acabamento.

Em 1992 essa norma foi revisada e reeditada na nova nomenclatura NBR 12721 – Norma Brasileira de Avaliação de Custos Unitários e Preparo de Orçamento

de Construção e Incorporação, com modificações importantes, como definição de lotes básicos e insumos e sobre o padrão de acabamentos (piso, revestimento, louças e metais) nos orçamentos dos projetos-padrão. (SOLANO, 1995).

Custo Unitário Básico ou CUB como é conhecido, é o resultado da mediana de cada insumo representativo obtido através de uma pesquisa junto às construtoras, multiplicada pelo peso que lhe é atribuído de acordo com o padrão calculado. Conforme a tabela, os custos estão divididos de acordo com a unidade autônoma (tipo de construção, números de andares, número de quartos etc.), número de pavimentos e padrão de acabamento (MATTOS, 2019). Conforme terminologia empregada abaixo:

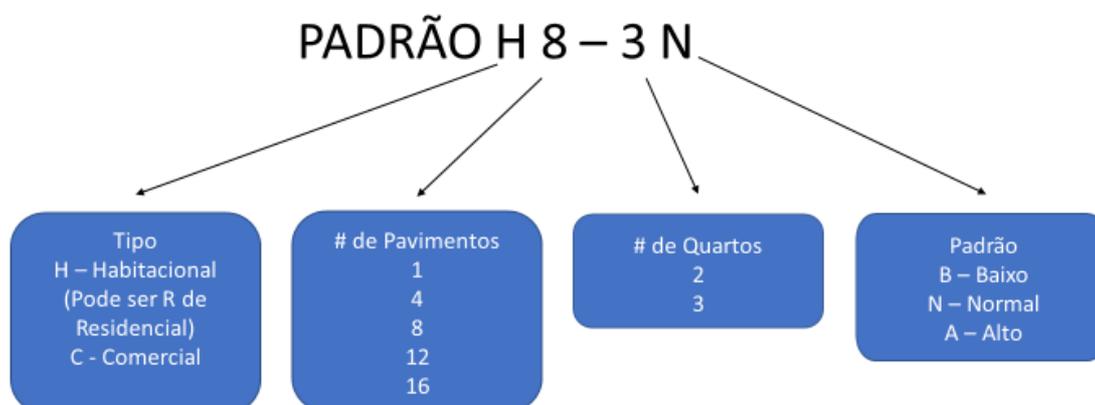


Figura 5 - Terminologia do CUB (Fonte: MATTOS, 2019).

O cálculo do CUB é feito todo mês a partir de um lote específico de insumos para cada projeto-padrão, que é definido pelo SINDUSCON (Sindicato da Indústria da Construção Civil) de cada estado. Este cálculo é adotado então como referência para custo por área construída (R\$/m<sup>2</sup>) de cada tipologia (SOLANO, 1995).

Tabela 2 –CUB Padrões Residenciais – R\$/m<sup>2</sup>

	<b>Padrão Baixo</b>	<b>Padrão Normal</b>	<b>Padrão Alto</b>
<b>R-1</b>	1.357,34	1.682,33	2.014,85
<b>PP-4</b>	1.235,25	1.580,32	–
<b>R-8</b>	1.177,13	1.379,97	1.615,45
<b>PIS</b>	919,19	–	–
<b>R-16</b>	–	1.337,25	1.736,02

Fonte: SINDUSCON-SP (Jan/19).

O CUB é um valor monetário. Ele traduz o valor, por m<sup>2</sup>, de uma construção de habitação de acordo com os padrões estabelecidos pela NBR 12.721. Com o CUB é possível criar uma série histórica da evolução dos valores a partir das suas variações mensais, já que é calculado mensalmente (MATTOS, 2019).

Quadro 3 – Diferenças entre CUB e Índice CUB

<b>CUB</b>	É o custo médio do metro quadrado construído. Unidade em moeda R\$.
<b>ÍNDICE CUB</b>	Indica a variação entre o CUB de dois meses consecutivos. Unidade porcentagem %.

Fonte: Mattos (2019).

O Índice CUB é um índice de variação acumulado do valor do CUB atual e do mês anterior. Seu valor é dado em porcentagem e representa quanto o custo de construção variou de um mês para o outro. É um parâmetro importante para comparação entre a alta dos preços da construção civil e outros índices mais genéricos divulgados na imprensa - IGP-M, INPC, INCC, ICC, FIPE, etc. (MATTOS, 2019).

Tabela 3 – Série histórica Índice CUB 2019

Custo da construção no Estado de São Paulo - 2019 - padrão R8-N												
Mês	R\$/m²				Índice - Base Fev/07=100				Variação %			
	Global	Mão-de-obra	Material	Adm	Global	Mão-de-obra	Material	Adm	Global	Mão-de-obra	Material	Adm
Jan	1.379,97	838,13	498,51	43,33	198,55	239,58	152,57	234,98	0,54%	0,68%	0,36%	0,00%
Fev	1.383,90	838,13	502,44	43,33	199,12	239,58	153,77	234,98	0,28%	0,00%	0,79%	0,00%
Mar	1.386,15	838,13	504,69	43,33	199,44	239,58	154,46	234,98	0,16%	0,00%	0,45%	0,00%
Abr	1.389,16	838,13	507,70	43,33	199,87	239,58	155,38	234,98	0,22%	0,00%	0,60%	0,00%
Mai	1.390,03	838,13	508,57	43,33	200,00	239,58	155,65	234,98	0,06%	0,00%	0,17%	0,00%
Jun	1.415,15	861,76	508,96	44,43	203,61	246,33	155,77	240,94	1,81%	2,82%	0,08%	2,54%
Jul	1.427,52	870,82	512,12	44,58	205,39	248,92	156,73	241,76	0,87%	1,05%	0,62%	0,34%
Ago	1.428,49	870,82	513,09	44,58	205,53	248,92	157,03	241,76	0,07%	0,00%	0,19%	0,00%
Set	1.430,04	870,82	514,64	44,58	205,75	248,92	157,50	241,76	0,11%	0,00%	0,30%	0,00%
Out	1.431,53	870,82	516,13	44,58	205,97	248,92	157,96	241,76	0,10%	0,00%	0,29%	0,00%
Nov	1.432,92	871,71	516,63	44,58	206,17	249,18	158,11	241,76	0,10%	0,10%	0,10%	0,00%
Dez	1.433,00	871,71	516,71	44,58	206,18	249,18	158,14	241,76	0,01%	0,00%	0,02%	0,00%

Fonte: SindusCon-SP; FGV/projetos (2019).

Já o INCC (Índice Nacional da Construção Civil) é amplamente utilizado para parametrizar obras para futuras consultas financeiras da empresa, utilizando o histórico de obras já concluídas. (FGV, 2019).

Idealizado com o intuito de medir a evolução dos custos das construções habitacionais, despontou como o primeiro índice oficial dos custos da construção civil no Brasil. Sua divulgação inicial se deu em 1950, mas sua série histórica vem desde janeiro de 1944. Inicialmente, o índice sob sigla de ICC (Índice de Custos de Construção), cobria apenas a cidade do Rio de Janeiro, que na época era a capital federal. (FGV, 2019).

Após a descentralização da capital do Rio de Janeiro nas décadas posteriores, o IBRE (Instituto Brasileiro de Economia) passou a acompanhar também os custos em outras cidades. Além disso, em vista das novas tecnologias e técnicas de construção, o ICC teve que incorporar novos materiais e tipos de mão-de-obra (FGV, 2019).

O INCC substituiu o ICC para efeito de cálculo do IGP (Índice Geral de Preços) em fevereiro de 1985. Hoje em dia, a coleta é obtida em 7 capitais, São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Salvador, Porto Alegre, Recife e Brasília. O índice é divulgado nas 10, M e DI (FGV, 2019).

Quadro 4 – Diferenças de períodos de coleta para cada versão do IGP.

<i>SIGLA</i>	<i>NOME</i>	<i>INÍCIO</i>	<i>PERÍODO DE COLETA</i>
<i>IGP-10</i>	<i>10</i>	<i>1993</i>	<i>11 do mês anterior a 10 do mês de referência</i>
<i>IGP-M</i>	<i>Mercado</i>	<i>1989</i>	<i>21 do mês anterior a 20 do mês de referência</i>
<i>IGP-DI</i>	<i>Disponibilidade Interna</i>	<i>1944</i>	<i>1º a 30 do mês de referência</i>

Fonte: FGV IBRE, 2019.

## 2.5 RISCOS E VARIABILIDADE DE CUSTOS

A natureza única dos projetos de construção pode significar que as atividades de construção sofrem frequentemente variabilidade custo, porque essa variabilidade não é planejada, e pode apresentar um problema ao tentar concluir um projeto dentro do orçamento. Vários fatores que causam essa variabilidade foram identificados na literatura, mas predominantemente referem-se à natureza e / ou o contexto de todo o projeto, em vez de atividades específicas (BALLESTEROS-PEREZ, 2019).

Esses fatores, que incluem localização do projeto, clientes, tipo do trabalho, equipamento, tecnologia, subcontratados, a experiência, as partes interessadas, e até mesmo a equipe do projeto, são susceptíveis de mudança, pelo menos parcialmente, entre projetos (CHUDLEY; GREENO, 2016).

A literatura normativa retrata a conclusão do projeto dentro do orçamento pré-contrato como um indicador de sucesso (ANSAR et al., 2014). No entanto, a indústria da construção tem históricos de não concluir projetos dentro do orçamento. Ahiaga-Dagbui et al. (2015), descrevem este como um problema recorrente que os investigadores se esforçaram para solucionar apropriadamente. Os autores argumentam que há falta de conhecimento sobre o porquê das estimativas do projeto podem variar dos custos reais.

Como qualquer investimento financeiro, o investimento que envolve uma construção é arriscado. Quanto maior a quantidade de partes contratantes, como proprietários, arquitetos, empreiteiros, subempreiteiros e fornecedores, maior o risco

inerente. Assim, os riscos do projeto podem ser definidos como um evento ou condição com incerteza que podem ter um efeito negativo em ao menos um dos alvos do projeto, tais como custo, prazo, escopo ou qualidade (HALAWA et al., 2013).

O risco corresponde a uma constante existente ao longo de uma obra, que pode ocasionar uma perda potencial, resultante de um incidente futuro (LIMMER,1997).

O processo de gerenciamento de riscos se baseia na resposta das seguintes perguntas: O que pode dar errado? Qual a probabilidade de algo dar errado? Quais as consequências? O que pode ser feito e quais as opções estão disponíveis? Quais as respostas em termos de todos os custos, benefícios e riscos? Quais impactos das decisões do gerenciamento atual no futuro? (HAIMES, 1999).

Além de identificar os riscos, o gerenciamento, deve incluir também um compromisso formal de planejamento de atividade e análise para estimar a probabilidade e o impacto sobre o projeto de riscos identificados (KERZNER, 2009).

Um dos riscos de variabilidade de custos são os materiais, De acordo com Omenge e Udegbe (2000), materiais de construção são responsáveis por até 60% dos custos do projeto. Elinwa e Buba (1993) concluíram que as flutuações nos custos de material são uma das principais causas de aumento dos custos da obra no mundo. O desafio de prever os custos neste processo é que os materiais utilizados para a construção são diversos. Quando os preços do material de mudança de forma irregular, a sua influência sobre os custos final acontece como consequência (OLATUNJI, 2018).

Falando de risco e incerteza em uma obra, há uma infinidade de definições para o risco e incerteza. Estas variam de acordo com o cenário em que são examinados. Sloman (1995) define risco e incerteza da seguinte forma:

- . Risco - quando um resultado pode ou não ocorrer, mas a sua probabilidade de ocorrência é conhecida;
- . Incerteza - quando um resultado pode ou não ocorrer e a sua probabilidade de ocorrência é não conhecido.

As principais fontes de incerteza no desenvolvimento são: terreno, custos financeiros, design, aquisição, custos de construção, preço / taxa de venda / aluguel e cronograma. Sob esses títulos amplos, existem muitas outras fontes em vários subprocessos e funções (LOIZOU,2012).

É importante examinar as diferentes fontes de incerteza individualmente para entender sua volatilidade e impacto na rentabilidade do projeto. Deve-se enfatizar que estes tendem a se correlacionar em graus variados e que esses vínculos inter-relações também devem ser contabilizados no modelo estocástico e subsequente simulação (LOIZOU,2012).

Segundo ainda Loizou (2012), algumas fontes de risco e incerteza são:

- Custo direto da obra: Esse é o gasto mais alto feito pelo investidor ao fazer qualquer forma de desenvolvimento;
- Cronograma ou tempo de obra. Atrasos a qualquer estágio do processo de desenvolvimento pode levar a custos financeiros mais altos, atritos entre as várias partes contratuais e complicações legais;
- Socioeconômico. Mudanças no ambiente socioeconômico. Variações na confiança política e / ou mudanças na economia regional / nacional / global podem ter efeitos futuros nos custos.

## **2.6 SIMULAÇÃO MONTE CARLO**

O método de simulação de risco Monte Carlo foi criado em 1940 por pesquisadores, Von Neumann e Ulam, para solucionar problemas de blindagem em reatores nucleares (CORRAR, 1993). A técnica que envolve números obtidos aleatoriamente e encontrar probabilidades para solução de problemas, foi dado em homenagem a atividade mais popular da cidade de Monte Carlo, no principado de Monaco, os jogos nos cassinos (GUJARATI, 2002).

A simulação de Monte Carlo é um método de teste interativo de um modelo determinístico, usando números aleatórios como entradas. Ele é mais solicitado quando o modelo é não-linear, ou complexo, ou quando envolve um número razoável de parâmetros de incerteza. Uma simulação pode conter mais de dez mil avaliações do modelo estudado, uma tarefa só possível hoje graças aos supercomputadores. Segundo Moore & Weatherford (2006), a simulação de Monte Carlo é um dos muitos métodos para análise da propagação da incerteza, e sua grande vantagem é determinar como uma sequência de números aleatórios conhecidos prejudicam ou ajudam o sistema que está sendo modelado.

De modo geral, a simulação é usada para resolver problemas muito complexos de opções reais que envolvem fontes de incertezas múltiplas e interativas (TITMAN et al., 2010).

Os métodos de simulação são ferramentas dispostas para a tomada de decisão na solução de problemas de várias naturezas, especialmente úteis em casos que envolvem análise de riscos para prognosticar o resultado de uma decisão que envolve incerteza. A aplicação da simulação em problemas gerenciais requer a modelagem em termos matemáticos do sistema que se pretende investigar, permitindo simular as respostas do sistema a diferentes escolhas da tomada de decisão (AGUIAR et al., 2010).

Existem dois tipos de modelos para simulação: os determinísticos e os probabilísticos, sendo que a simulação Monte Carlo se insere no segundo tipo. Nesse caso os dados não são nem conhecidos, nem de valores fixos, sendo as suas variáveis de entrada arbitradas conforme com a distribuição probabilística contínua que melhor represente o seu comportamento. Este modelo é apenas descritivo, não fornece a solução ótima, e sim apenas informação com base nos pressupostos arbitrados, que permitem compreender como as atividades se relacionam (EVANS et al., 2002).

O Método de Monte Carlo utiliza randomização de números aleatoriamente para conferir valores às variáveis do sistema que objeto de investigação. E pode ser aplicado em tomadas de decisões a qual envolva risco e incerteza (LUSTOSA et al., 2004).

Através de um processo aleatório diretamente do computador, através de funções específicas, ou por tabelas, são obtidos esses números aleatórios utilizados na simulação. O processo de simulação é replicado até que tenhamos segurança sobre o comportamento característico da variável sobre a qual recairá a decisão. Esse método é aplicado quando é comum aparecer problemas de análise de riscos em empresas, procedimento de estoque, fluxo de produção, e em rotinas de manutenção de máquinas. (AGUIAR et al., 2010).

Desta forma, o Método de Monte Carlo é uma técnica utilizada para simular fenômenos probabilísticos por meio da geração de números randômicos atribuídos as variáveis independentes simulando cenários e possíveis resultados, também aleatórios, das variáveis dependentes e posterior cálculo da probabilidade de determinado valor esperado. Atualmente, devido aos recursos de softwares, os

métodos de simulação são geralmente usados em diversas áreas, tanto para simulações em ambientes físicos como em problemas matemáticos (RODRIGUES et al. 2010).

Na literatura, a simulação de riscos pelo método de Monte Carlo vem sendo aplicada para gerenciamento de projetos na construção civil.

Serrano-Gomez (2019) aplica a simulação de Monte Carlo para análise de risco de construção de instalações de energia renovável, baseada em análise 'opinião de especialistas. Ele conclui também que, diferentemente da metodologia clássica de conjuntos difusos que trabalha com números triangulares que são eventualmente simplificados, a utilização de funções probabilísticas inteiras e simulação de Monte Carlo obtém resultados mais completos para o mesmo banco de dados, permitindo assim uma melhor análise.

Naderpour (2019) utiliza a simulação de Monte Carlo para avaliação dos riscos na indústria de construção de uma ponte no Irã. Os riscos foram identificados durante várias visitas e entrevistas e através de questionários, os fatores de risco foram priorizados de acordo com os resultados dos testes estatísticos e análise quantitativa de riscos por meio de simulação Monte Carlo foi implementado em um projeto real e suas implicações no tempo de projeto e os custos foram determinados.

Quando falamos de modelagem de riscos através da simulação de Monte Carlo, temos os engenheiros ou arquitetos especialistas em desenvolvimento imobiliário. Esses profissionais citados poderiam determinar, por exemplo, o valor do terreno hoje com base em contribuições (LOIZOU, 2012).

Segundo Correa Neto et al. (2002), através da simulação do método de Monte Carlo, obtemos, além dos resultados, as suas probabilidades de ocorrerem, logo a aplicação desse método também considera aspectos relevantes do risco atrelado, diminuindo sua subjetiva influência para tomada de decisão do analista, dando grande vantagem ao método probabilístico com relação ao método determinístico.

Diante do mencionado, é possível atribuir algumas das vantagens ao uso de simulação, são elas: a mesma permite estimar o desempenho de um sistema atual sob condições operacionais diferentes, possibilita comparar propostas alternativas de sistemas ou políticas operacionais para verificar o que melhor se adapta aos requisitos, permite manter um controle melhor sobre condições experimentais antes mesmo de implementá-las, e ainda possibilita estudar um sistema por um longo período de tempo em um tempo relativamente curto (LAW, 2007).

Segundo (WINSTON, 2000), as distribuições de probabilidade comuns incluem diferentes apresentações em gráficos, algumas delas estão listadas no quadro abaixo:

Quadro 5 – Diferentes distribuições de gráficos

Normal	Ou "curva do sino". O usuário simplesmente define a média ou valor esperado e um desvio padrão para descrever a variação ao longo da média. Valores no meio próximo da média têm maior probabilidade de ocorrer. É simétrica e descreve muitos fenômenos naturais como a altura das pessoas. Exemplos de variáveis descritas por distribuições normais incluem taxas de inflação e preços de energia.
Logo normal	Valores são assimétricos positivos, não simétricos como na distribuição normal. É usada para representar valores que não se tornam negativos, mas possuem potencial positivo ilimitado. Exemplos de variáveis descritas por distribuições logo normais incluem valores de propriedades imobiliárias, preços de ações e reservas de óleo
Uniforme	Todos os valores têm a mesma probabilidade de ocorrerem, e o usuário simplesmente define o mínimo e o máximo. Exemplos de variáveis que podem ser uniformemente distribuídas incluem custos de manufatura ou receitas de vendas futuras de um novo produto.
Triangular	O usuário define os valores mínimo, mais provável e máximo. Valores ao redor do mais provável têm maior probabilidade de ocorrer. Variáveis que podem ser descritas por uma distribuição triangular incluem histórico de vendas passadas por unidade de tempo e níveis de estoque.
PERT	O usuário define os valores mínimo, mais provável e máximo, assim como na triangular. Valores ao redor do mais provável têm maior probabilidade de ocorrência. Entretanto, valores entre o mais provável e os extremos têm maior probabilidade de ocorrência do que na triangular, ou seja, os extremos não são tão enfatizados. Um exemplo do uso de uma distribuição PERT é para descrever a duração de uma tarefa em um modelo de gerenciamento de projetos.
Discreta	O usuário define valores específicos que podem ocorrer e a probabilidade de cada. Um exemplo pode ser os resultados de um processo: 20% de probabilidade de veredicto favorável, 30% de veredicto negativo, 40% de acordo e 10% de anulação.

Fonte: Winston, 2000.

Na simulação de cenário através do método de Monte Carlo, os valores são exibidos de forma estocástica a partir das distribuições das probabilidades das entradas. Cada interação contém um conjunto de amostras e o resultado disso é o registro. A simulação faz esse procedimento uma centena de milhares de vezes, e o

resultado é uma distribuição de possíveis resultados. Assim, a simulação de Monte Carlo apresenta um panorâmica mais completa não só do que pode acontecer como a probabilidade de sua ocorrência. (WINSTON, 2000).

## **2.7 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E SISTEMÁTICA SOBRE ESTUDO DA VARIABILIDADE DE CUSTOS EM OBRAS RESIDENCIAIS ATRAVÉS DO MÉTODO DE MONTE CARLO.**

Com objetivo de encontrar a lacuna de pesquisa são realizadas as revisões bibliométricas e sistemáticas com o objetivo de identificar a contribuição acadêmica do estudo.

A Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) é uma metodologia de pesquisa para atender as questões teóricas buscando o conhecimento acumulado acadêmico e responde a questão de pesquisa do estudo em questão (CONFORTO et al. 2011). Com propósito de investigar e incorporar evidências na literatura sobre sobre o problema de pesquisa do tema de estudo.

Segundo o modelo adaptado a parte de entradas foi desenvolvida para a elaboração da RBS e para ajudar a autora a identificar artigos que possuem relevancia, foram feitas algumas perguntas de pesquisa complementares listadas no quadro 6 a seguir:

Quadro 6 - Perguntas Específicas da Revisão Sistemática

Item	Pergunta Específica
1	Este artigo apresenta resultado de orçamentos na construção civil?
2	Este artigo menciona variabilidade de custos?
3	A pesquisa menciona sobre método de Monte Carlo?
4	O artigo avaliado menciona edifícios residenciais verticais?
5	O artigo avaliado mostra resultado obras em São Paulo?

Fonte: Autora

Em seguida, definiram-se as palavras-chave, juntamente com o orientador da autora, para busca nas bases de dados. As palavras-chave empregadas estão apresentadas no quadro 7, abaixo:

Quadro 7 – Palavras chave

Palavras-Chave	
<b><u>Análise da Variabilidade em Custos através do método de Monte Carlo em Obras residenciais em São Paulo</u></b>	"estimated cost""civil engineering"
	"estimated cost""Monte Carlo"
	"estimated cost""cost variation"
	"estimated cost""cost variability"
	"estimated cost""residential buildings"
	"estimated cost""buildings in São Paulo"

Fonte: Autora

Para pesquisa das palavras chaves, foram utilizadas as seguintes bases de dados para encontrar os artigos publicados referentes ao tema da pesquisa conforme o quadro 8:

Quadro 8 – Endereço eletrônico dos sites das bases de dados

Endereços Eletrônicos dos Sites das bases de Dados	
ASCE	<a href="https://ascelibrary.org/">https://ascelibrary.org/</a>
Capes	<a href="http://www.periodicos.capes.gov.br">http://www.periodicos.capes.gov.br</a>
Emerald Insight	<a href="http://www.emeraldinsight.com">http://www.emeraldinsight.com</a>
Scielo	<a href="http://search.scielo.org/">http://search.scielo.org/</a>
Science Direct	<a href="http://www.sciencedirect.com">http://www.sciencedirect.com</a>
Wiley On line Library	<a href="http://onlinelibrary.wiley.com">http://onlinelibrary.wiley.com</a>
Taylor & Francis Group	<a href="http://www.taylorandfrancis.com">http://www.taylorandfrancis.com</a>

Fonte: Autora

As premissas de busca possuíram o objetivo de escolher os artigos que serão usados para a fase de saída, conforme podemos ver abaixo:

Busca pelas *Keywords*, refinando a busca:

- Somente Artigos;
- Artigos em inglês e português;
- Artigos a partir do ano de 2010;
- Classificação da busca pelo mais relevante.

O histórico bibliográfico de estudos selecionados das bases de pesquisas alcançou um total de 1081 artigos, apenas 32 artigos selecionados que abordavam as perguntas de pesquisa, conforme demonstrado no quadro 9 abaixo.

Quadro 9 – Quantidade de artigos analisados

Artigos Analisados	Quantidade	Porcentagem
Artigos Descartados	1070	98,62%
Artigos Selecionados	32	1,38%
Total	1085	100,00%

Fonte: Autora

O resultado da pesquisa é demonstrado no quadro 10 a seguir e apresenta as quantidades de artigos encontrados por base pesquisada:

Quadro 10 – Publicações por periódicos

Palavras-Chave	Asce	Capes	Emerald	Scielo	Science	Wiley	Taylor	
<b>Análise da Variabilidade em Custos através do método de Monte Carlo em Obras residenciais em São Paulo</b>	"estimated cost" "civil engineering"	22	89	103	1	85	13	6
	"estimated cost" "Monte Carlo"	17	6	42	2	7	40	20
	"estimated cost" "cost variation"	8	61	346	8	12	2	2
	"estimated cost" "cost variability"	20	44	5	8	6	2	1
	"estimated cost" "residential buildings"	20	30	52	8	38	7	2
	"estimated cost" "buildings in São Paulo"	0	0	31	0	0	0	0
Aproveitados:	18	9	2	1	2			

Fonte: Autora

A artigos descartados, apesar de terem alguma das palavras-chaves, não tinham nenhuma relação com o assunto, como por exemplo, artigos relacionados a área da saúde, indústria automotiva, indústria de eletroeletrônicos, agricultura etc.

Na análise dos artigos salvos e verificados, classificou-se então as informações reunidas nos artigos selecionados sobre o tema de interesse para uma revisão sistemática com objetivo de encontrar a lacuna de pesquisa. Diante dessa análise dos artigos, investigou-se responder determinadas perguntas para auxiliar na identificação de artigos, de acordo com as mesmas questões abordadas na revisão bibliométrica já mencionadas acima.

O Anexo A apresenta tabela dos artigos e suas contribuições.

Após a realização dessa etapa foi possível verificar que o estudo específico da aplicação do método de Monte Carlo para estudo da variabilidade de custos em obras residenciais não foi ainda amplamente abordado pela sociedade acadêmica.

Esse o assunto é mais abordado para avaliação de prazos e como consequência o impacto nos custos e em riscos de projetos de grande complexidade tecnológica como em caso de rodovias, obras de arte e energia.

A partir dos artigos selecionados na pesquisa de referência, temos a seguir alguns destaques que tem maior relevância com o estudo, aqui apresentado.

O artigo de Ballesteros-Perez, (2019) aborda o assunto sobre a natureza única dos projetos de construção, onde as atividades de construção geralmente sofrem com a variabilidade da duração (prazos) e dos custos. Como essa variabilidade não é planejada, ela pode apresentar um problema ao tentar concluir um projeto dentro do prazo e do orçamento.

A simulação estocástica integrando riscos e incertezas em estimativas de custos e prazos é aplicada no artigo de Shahtaheri et al. (2016) em megaprojeto de uma usina nuclear do Canadá. Neste artigo, o autor discute que durante a fase de estimativa dos megaprojetos, muitas características devem ser tratadas e levadas em consideração para obter resultados realistas.

Objetivos, fatores influentes e suas interdependências devem ser identificados e medidos com precisão, e como parte desse processo, é crucial determinar a incerteza em torno dos objetivos do projeto, bem como os eventos de risco que podem impactar o projeto em vários níveis. O artigo propõe um método para definir e incorporar os eventos de incerteza e risco em torno dos dois objetivos principais de qualquer megaprojeto, ou seja, custo e cronograma.

Para atender a esse objetivo, foi desenvolvido um modelo de simulação estocástica de eventos que opera com base na simulação de Monte Carlo e usa o Microsoft Project e o @Risk for Microsoft Excel como uma plataforma de simulação integrada. O objetivo do modelo proposto é incorporar incerteza e risco no cronograma do projeto e avaliar as variações da produção do modelo com relação à estimativa determinística de custo e cronograma (SHAHTAHERI et al., 2016).

Temos ainda a abordagem de Bhargava et al. (2017) que no artigo sobre os desvios em custos de obras de infraestrutura utilizando método de Monte Carlo discute que na última década, a legislação relacionada à infraestrutura nos Estados Unidos enfatizou consistentemente a necessidade de medir a variação associada às estimativas de custo do projeto de infraestrutura.

Essa variabilidade de custos é mais visualizada nas fases de desenvolvimento do projeto já que a estimativa de custos do projeto muda à medida que evolui nessas

fases. O artigo identifica algumas lacunas na literatura de custo excedente e introduz uma metodologia que usa modelos multinominais baseados em risco e simulação de Monte Carlo envolvendo sorteios aleatórios para prever a probabilidade de um projeto seguir um caminho de escalada de custo específico em suas fases de desenvolvimento, isto é, incorrerá em um determinado nível de gravidade do desvio de custo. O artigo usa dados históricos para demonstrar como as agências de infraestrutura podem aplicar a metodologia proposta.

Nos resultados do estudo de caso de Bhargava et al. (2017), também confirmaram as conclusões de alguns estudos anteriores de que as probabilidades de vias de escalada de custos e excedentes de custos diferem significativamente entre os distritos de rodovias, e atribuíram isso a diferenças na cultura administrativa e práticas de trabalho nos distritos. Os gerentes de infraestrutura podem usar a metodologia desenvolvida para identificar quais projetos provavelmente experimentarão um caminho específico de escalada de custos, a direção e a gravidade do desvio de custos e para desenvolver estimativas de contingência de projetos mais realistas.

Ameyaw (2015) destaca o Modelo Fuzzy (outro modelo matemático para análise de probabilidades) para avaliar os impactos dos riscos na variabilidade entre a soma do contrato e a conta final em projetos de construção financiados pelo governo. O autor baseia seu estudo a partir da constatação que os projetos de construção são caracterizados por fatores de risco que impactam significativamente a variabilidade entre a soma do contrato e a conta final. Focado mais em contratos de obras públicas o objetivo do artigo é identificar e avaliar os fatores de risco percebidos que influenciam a variabilidade entre a soma do contrato e a contagem final e desenvolver um modelo de avaliação de risco difuso para avaliar o impacto geral dos fatores de risco críticos estabelecidos que afetam a variabilidade entre o valor total do contrato e orçamento após conclusão da obra.

Na avaliação de Ameyaw (2015), os fatores de riscos que mais impactam na variabilidade do custo final para este tipo de obras, são: problemas de financiamento do projeto, subestimação de quantidades, variações por cliente, mudança no escopo das obras, especificação inadequada, mudança do projeto pelo cliente, falhas no projeto e condições inesperadas do local (solo).

Já Moret (2016) utiliza o estudo de caso de uma obra da linha férrea para fazer uma análise de correlação entre o impacto do fator prazo (tempo) no custo do projeto.

Conclui que os projetos de construção de transporte geralmente são afetados por excedentes de custos e atrasos.

Neste artigo de Moret (2016), em um ambiente de simulação de Monte Carlo, as incertezas de projeto são propagadas para o custo e duração totais da construção através da combinação dos custos e durações da atividade individual. O estudo foi aplicado no projeto ferroviário português de alta velocidade, no qual dados históricos e estimativas de especialistas foram usados para modelar a incerteza de custo e duração. Essa aplicação permitiu a validação do modelo e, em seguida, ilustra vários efeitos: as três fontes de incerteza produzem diferentes impactos de custo e duração, dependendo do tipo de estrutura, sugerindo medidas de mitigação específicas da estrutura. Mais importante ainda, seu impacto cumulativo causa aumentos significativos no custo e na duração da construção da linha ferroviária modelada em comparação com as estimativas determinísticas: especificamente, 58% no custo de construção dos túneis e 94% na duração da construção de cortes e aterros. Pela primeira vez, a variabilidade, as correlações e os eventos perturbadores são modelados quantitativamente em um ambiente de simulação, e o impacto dessas fontes de incerteza pode ser avaliado em conjunto e comparado. Os modelos propostos também contribuem significativamente para a prática, segundo o autor, fornecendo às agências de transporte uma ferramenta de modelagem para combater a incerteza de custo e duração na construção de linhas ferroviárias e outros projetos de infraestrutura linear ou em rede.

Em um outro artigo, Sutrisna (2019), investigou o custo das moradias na Austrália Ocidental com a finalidade de apresentar novas perspectivas de estudo de custos para construções externas tratando somente dos dados de construção.

Num artigo sobre sincronicidade dos índices globais de custos na construção, Zhang et al. (2019), examinou as características e tendências desses índices de custo no cenário da construção civil no mundo coletando dados de 22 países/regiões e posteriormente analisados usando a formulação de máxima variação e o coeficiente de correlação de classificação de Kendall. Esse estudo verificou que esses índices globais de custo de construção (CCIs) mantêm um aumento constante por décadas e os CCIs sincronizam-se entre si. A sincronicidade geral e a sincronicidade dos diferentes pares de países aumentaram significativamente com o tempo porém a principal dificuldade/limitação do estudo foi a equalização dos

métodos estatísticos que são diferentes entre os países e regiões estudados (ZHANG et al., 2019).

Os resultados da pesquisa de Zhang et al. (2019), forneceram uma referência útil para os países que não estabeleceram bancos de dados de índices de custos de construção para prever a tendência das indústrias de construção doméstica contribuindo com a medição das mudanças da sincronicidade dos índices globais de custo de construção com o tempo e em pares de diferentes países.

No artigo de Dakhli (2017), aborda-se o impacto financeiro com uma nova metodologia da construção; a aplicação do *lean construction* ou construção enxuta, à fase de licitação na construção civil. A pesquisa aplicou o pensamento Lean (por meio de um evento Kaizen - O Kaizen é uma palavra de origem japonesa que significa “melhoria contínua” e “mudanças incrementais”.) à fase de licitação de uma empresa de construção civil para melhorar seus resultados de licitação.

O método usado neste estudo é "Pesquisa-Ação". Foi necessária uma fase de preparação de dois meses para se preparar para o evento kaizen. Os resultados foram baseados em uma avaliação realizada após 6 meses do evento kaizen. O desempenho foi medido seguindo os indicadores selecionados relacionados a 'Tempo', "Impacto econômico", "Qualidade" e "Sustentabilidade". A implementação do Lean também teve efeitos colaterais positivos na organização e na estratégia da empresa (DAKHILI, 2017).

Hulett (2017), aplicou a simulação de Monte Carlo para análise de risco integrada de cronograma de custos. Com objetivo de ilustrar as ferramentas e metodologias mais recentes disponíveis na atualidade na aplicação das técnicas de simulação de Monte Carlo para quantificar possíveis excedentes de custo e cronograma e entender as fontes desses excedentes para facilitar as ações de mitigação de riscos.

Validando sua pesquisa fazendo referência a estudos anteriores com projetos de infraestrutura de transporte público, onde constatou que 9 em cada 10 projetos ultrapassaram suas estimativas iniciais e que ultrapassagens de 50 a 100% eram comuns.

Flyvbjerg et al. (2002), conclui que em um projeto a probabilidade de os custos reais serem maiores que os custos estimados é de 86%. A probabilidade de os custos reais serem menores ou iguais aos custos estimados é de 14%.

Flyvbjerg (2002) também cita que a precisão da estimativa de custos foi em média de 44,7% para o transporte ferroviário, 33,8% para pontes e túneis e 20,4% para estradas. A razão que essa informação é citada foi o otimismo relacionado à "deturpação estratégica" dos custos por parte do proprietário e contratado, presumivelmente para a aprovação do projeto.

O Anexo A apresenta tabela dos artigos e suas contribuições.

### 3. METODOLOGIA

Neste capítulo é abordado o método praticado em campo a fim de produzir o conhecimento e análise do estudo. Neste trabalho específico foi escolhido o estudo de caso, que é um método de pesquisa que usa, geralmente, dados qualitativos obtidos de eventos reais com objetivo de validar ou descrever aplicação de uma técnica num cenário específico visando o preenchimento da lacuna do problema de pesquisa do tema apresentado (YIN, 2015).

#### 3.1 METODO UTILIZADO

O método de pesquisa utilizado na realização deste trabalho, de modo que seja possível identificar claramente o caminho seguido e de que forma a pesquisa foi conduzida. Foram adotadas as seguintes etapas para o desenvolvimento do trabalho: definição da pesquisa, delimitação do estudo, coleta de dados, tratamento de dados e apresentação do resultado. A figura 3 a seguir apresenta a estrutura lógica dessas etapas (YIN, 2015).

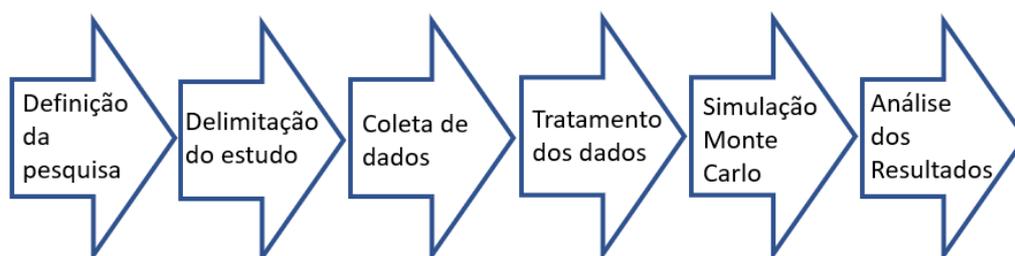


Figura 6: Estrutura de um estudo de caso (Fonte: YIN, 2015).

A pesquisa é exploratória, aplicada e desenvolvida sob a forma de um estudo de caso de empreendimentos imobiliários com características semelhantes.

### 3.1.1 Definição da pesquisa

A necessidade da análise de riscos em orçamentos surgiu a partir da verificação da ocorrência natural que os construtores, de um modo geral, frequentam em relação à dificuldade de executar obras com orçamentos estimativos sem que haja necessidade de reajustes e extrapolação de valores, ou seja, apresentando poucas ou nenhuma variação. A partir dessa questão verifica-se a relevância do tema, e utiliza-se o método de simulação Monte Carlo para auxiliar na compreensão acerca da ocorrência dessas variações.

Após a realização da revisão sistemática bibliográfica, constatou-se que não há muitos estudos que abordem a variabilidade de custos na construção civil, precisamente em edifícios residenciais, e ainda que utilizem o método de Monte Carlo.

### 3.1.2 Delimitação do estudo

Após a definição do tema objeto desse estudo, foi determinado qual tipo de empreendimento e localidade seriam coletados os dados.

Obras de grande complexidade como viadutos, pontes, assim como shoppings, hospitais, etc. não são tão frequentes e a quantidade de empresas que realizam essas obras são em menor número comparando com construtoras residenciais.

Devido a maior facilidade da autora ao acesso aos dados, foi delimitado o estudo a edificações verticais residenciais em São Paulo – SP.

Construtoras de edifícios residenciais tem uma maior abertura com relação a divulgação de dados comerciais mas mesmo assim após contato telefônico com seis empresas conhecidas pela autora e que tem algum contato interno, apenas uma aceitou participar do estudo

### 3.1.3 Coleta de dados

No primeiro momento, realizou-se contato via telefone com os coordenadores da área de orçamentos e planejamento de obras de empresas pré-selecionadas pela autora devido seu vínculo profissional.

Apenas uma empresa concordou em enviar os dados. Essa empresa, será chamada de empresa A, para manter o sigilo das informações.

A empresa A é uma construtora de médio porte com sede na cidade de São Paulo, está no mercado de construções residenciais desde 2001 com foco nas classes B, C e D. Já entregou 15.012 unidades, está construindo outras 4.553, tem em lançamento mais 2.238 e 9.553 em desenvolvimento.

Após aceitação na participação da pesquisa, foi enviado e-mail formalizando a solicitação das informações – planilhas de obras com valores previsto e realizado, e 01 questionário para identificar o que seria considerado para empresa riscos financeiros inerentes aqueles empreendimentos e que poderiam causar uma variabilidade de custos além do previsto no planejamento da obra.

O questionário com as perguntas respondidas pela construtora, encontra-se no Anexo B.

#### 3.1.4 Tratamento de dados

Com o questionário respondido e as planilhas com os custos previstos e realizados, os dados foram analisados.

A planilha entregue foi agrupada para o nível de atividades, contendo as valores previstos (orçamento executivo) e realizado. Desconsideraram-se os itens de Contingencia, Manutenção e Administração, pois são valores percentuais sobre o custo total da obra, sendo assim eles podem ser reaplicados a qualquer momento após a definição do total do orçamento.

As informações relacionadas ao custo direto da obra, previamente selecionadas, foram inseridas na planilha para simulação no programa @Risk<sup>3</sup>, nos campos indicados, sendo o valor orçado fornecido pela construtora como valor mais provável, portanto 100%, e valores de mínimo e máximo, também em porcentagem, atendendo a variabilidade a ser estudada.

Para todas as simulações aqui apresentadas, foi considerada uma margem de variabilidade de 5% para mais e para menos, salvo nas atividades indicadas pela construtora com maior variabilidade (instalações elétricas e hidráulicas), e selecionado no software 100.000 interações para maior precisão dos resultados.

---

<sup>3</sup> Software @Risk versão 7.6 com interface ao software editor de planilhas Excel da Microsoft

Foram obtidos gráficos de frequência e probabilidade acumulada, e relatório com os resultados de valores máximos e mínimos, desvio padrão, valores da probabilidade acumulada e o índice de confiança.

Para análise da variabilidade de custos estimados por metro quadrado, o valor total orçado, realizado e simulado, foram divididos individualmente pela área total construída, obtendo três valores de custo/m<sup>2</sup> - previsto/realizado/simulado, e seus resultados apresentados no item 4.1.3 e 4.2.3 neste trabalho.

Por fim, para análise da variabilidade de custos estimados por unidade (apartamento), os valores de custo orçado, realizado e simulado, foram divididos individualmente pelo total de unidades, obtendo três valores de custo/unid - previsto/realizado/simulado, e seus resultados também apresentados no item 4.1.4 e 4.2.4 neste trabalho.

### 3.1.5 Análise dos resultados

A primeira fase vai apresentar o custo orçado após simulação e listar em uma tabela os dados obtidos desta simulação e os gráficos de frequência e probabilidade acumulada.

Após isso serão comparados os dados da simulação de valores mínimos e máximos com o custo realizado da obra, e comparar se esse valor se encontra dentro desta variabilidade no gráfico de frequência e qual a porcentagem de probabilidade está o valor de custo realizado.

E o mesmo será feito para planilha de custo somente de atividades, custo por metro quadrado e custo por unidade. Sempre comparando os valores obtidos na simulação com o valor de custo realizado está dentro dos valores obtidos pela simulação.

Após todas as simulações pelo Método de Monte Carlo, os resultados gerados em cima dos valores de custos previstos, e as comparações com os valores fornecidos pela contratada e será validado ou não se a aplicação do método de Monte Carlo é uma ferramenta útil para esse tipo de análise de variabilidade dos custos tanto em orçamentos completos quanto em estimativas em cima de R\$/m<sup>2</sup> e R\$/unid de apartamento.

#### 4. RESULTADOS

Conforme relatado no capítulo de metodologia, foi solicitado a empresa que aceitou participar do estudo, dados de obras já concluídas e com características semelhantes.

No quadro 8 temos as informações das obras enviadas pela empresa:

Quadro 11 - Características das obras.

	Obra 01	Obra 02	Obra 03
<b>Local</b>	Zona Sul-SP	Zona Leste-SP	Zona Norte-SP
<b>Terreno</b>	8.374,47m <sup>2</sup>	6.357,51m <sup>2</sup>	2.843m <sup>2</sup>
<b>Área Construída</b>	34.446m <sup>2</sup>	27.809,85m <sup>2</sup>	19.131,68m <sup>2</sup>
<b>Torres</b>	2 torres	2 torres	1 torre
<b>Tipologia</b>	2dorms 44 à 46m <sup>2</sup> (sem suíte) 2 dorms 40 à 41m <sup>2</sup> (sem suíte)	2 dorms 43,73 a 43,65m <sup>2</sup> (sem suíte)	2 dorms 53m <sup>2</sup> (com suíte) 3 dorms 63m <sup>2</sup> (com suíte)
<b>Unidades</b>	312 unidades	263 unidades	119 apartamentos
<b>Garagem</b>	Edifício Garagem	Vagas térreo e subsolo	Subsolo
<b>Itens de Lazer:</b>	Churrasqueira Salão de Jogos Mini Quadra Gramada Salão de Festas Fitness Playground Deck Molhado Piscina Adulto Piscina Infantil Solarium	Churrasqueira Playground Baby Play Quadra Piscina Adulto Piscina Infantil Fitness Externo Salão de Festas Salão de Jogos Brinquedoteca Fitness Espaço Lutas	Salão de Jogos Sala de estudos Brinquedoteca Salão de festas Espaço gastronômico Churrasqueira Quadra poliesportiva Playground Fitness Piscina adulto com deck molhado Piscina infantil

Fonte: Construtora – Empresa A.

Para análise desse estudo foi escolhida a Obra 01 por ser maior em área construída e número de apartamentos.

O estudo da variabilidade da Obra 01 foi dividido na análise comparativa entre valor previsto simulado pelo método de Monte Carlo com as considerações ponderadas na metodologia previamente. Posteriormente, comparados com os valores realizados também fornecidos pela construtora analisando a variabilidade de custos prevista pelo sistema. O método de Monte Carlo como toda a análise de risco, se baseia na checagem das variáveis dos dados calculados por estimativas e os dados reais levantados nos projetos, verificando a possibilidade da elaboração de um modelo para estimativas com base na simulação de Monte Carlo. Portanto quanto maior informação sobre o projeto que pode ser aplicada durante a simulação maior assertividade na margem.

Foram utilizadas as variáveis de área total da obra e unidade de apartamento para a caracterização física da obra, já que essas variáveis, conforme visto na revisão bibliográfica, são algumas das formas que melhor caracterizam a obra para estimativas de custos. Além do mais, esses dados (metro quadro construído e unidades) são de conhecimento logo nas etapas iniciais do estudo de viabilidade e planejamento de um empreendimento. Há ainda outras variáveis, como tipologia, localização, quantidade de apartamentos por andar, padrão de acabamento e número de pavimentos, que são importantes para incorporação imobiliária. Contudo, segundo revisão bibliográfica apresentada ao longo dessa pesquisa e tomados como referência para o desenvolvimento desse projeto, não possuem caráter determinístico, uma vez que tais características estão ligadas a decisões da empresa, seja ela construtora ou incorporadora, e futuramente podem assumir o papel de variável dependente para tomada de decisão dos riscos financeiros pertinentes.

Nessa parte do trabalho será demonstrada a formulação da análise da variabilidade dos custos do orçamento. Assim como, serão apresentados os resultados que essa análise proporcionou. A análise foi dividida em duas partes:

1. Orçamento Custo Direto Total;
2. Orçamento Custo Direto nível Atividades do item “Custo Obra”;
3. Custo por metro quadrado construído;
4. Custo por unidade habitacional.

Essa diagramação possibilita ainda, para cada valor de entrada das variáveis, uma distribuição de probabilidades que os valores serão assumidos pela variável dependente. Para isto, fez-se uso do método Monte Carlo, que por sua vez, aceita,

basicamente, simular o comportamento de processos que dependem de fatores estocásticos.

#### 4.1 SIMULAÇÕES DOS CUSTOS DA OBRA 01

Conforme vimos no capítulo de metodologia a Obra 01 está localizada na Zona Sul, tem 02 torres, edifício garagem, estrutura em alvenaria estrutural, área de lazer completo e suas unidades habitacionais são classificadas como padrão econômico (2 dormitórios, 01 banheiro, sem suíte). Planilha apresentada pela construtora sobre a obra 01:

Tabela 4 – Resumo Custo Total Obra 1

OBRA 01 - ZONA SUL			
Atividades	Previsto	Realizado	Saldo
01 CUSTO OBRA	R\$ 29.412.121,37	R\$ 29.618.514,72	-R\$ 206.393,35
02 CONTINGÊNCIA 1%	R\$ 294.121,21	R\$ 104.681,85	R\$ 189.439,36
03 INFRA ESTRUTURA EXTERNA	R\$ 157.451,00	R\$ 268.596,80	-R\$ 111.145,80
04 MANUTENÇÃO DA OBRA 1%	R\$ 294.121,21	R\$ -	R\$ 294.121,21
05 TAXA DE ADMINISTRAÇÃO 9%	R\$ 2.647.090,92	R\$ -	R\$ 2.647.090,92
06 HABITE-SE	R\$ 100.000,00	R\$ -	R\$ -
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 32.904.905,71</b>	<b>R\$ 29.991.793,37</b>	<b>R\$ 2.813.112,34</b>

Fonte: Construtora – Empresa A.

Para a aplicação da simulação do método de Monte Carlo, de acordo com que foi relatado no item de tratamento dos dados, vamos considerar apenas os itens 01 CUSTO DE OBRA e 03 INFRA ESTRUTURA EXTERNA, pois são custos relacionados diretamente a obra, logo:

Tabela 5 – Resumo Custo Total Obra 01

OBRA 01 - ZONA SUL					
Atividades	Previsto		Realizado		Saldo
01 CUSTO OBRA	R\$	29.412.121,37	R\$	29.618.514,72	-R\$ 206.393,35
03 INFRA ESTRUTURA EXTERNA	R\$	157.451,00	R\$	268.596,80	-R\$ 111.145,80
<b>TOTAL</b>	R\$	29.569.572,37	R\$	29.887.111,52	-R\$ 317.539,15

Fonte: Construtora – Empresa A.

#### 4.1.1 Simulação de Monte Carlo – Custo Direto Total

Na planilha abaixo as células pintadas de amarelo são as entradas com as informações fornecidas pela construtora, para essa simulação, os valores de máximo, mínimo e mais provável é a margem de acordo com estudo das incertezas e riscos estipulados para essa obra, conforme informado pela construtora no questionário, que é de 5% para mais ou para menos. O valor mais provável, que é o que se espera que seja atingido, ou seja, é 100% do valor base (custo previsto):

Tabela 6 – Dados de entradas das informações para simulação – Custo Total

Elementos de custo	Caso base	Mínimo	Mais provável	Máximo	Mínimo	Mais provável	Máximo	Amostrado
Custo Direto da Obra	29.412.121	95%	100%	105%	27.941.515	29.412.121	30.882.727	29.412.121
Infra Estrutura Externa	157.451	95%	100%	105%	149.578	157.451	165.324	157.451
<b>Output</b>								
Totais	29.569.572							

Fonte: Construtora – Empresa A.

Valores apresentados após simulação:

Tabela 7 – Dados de saída da simulação – Custo Total

Resumo estatístico			
Probabilidade de alcançar o valor do caso base		50,01%	
Orçamento total necessário para 95% de confiança		30.483.986	
Reserva (contingência) necessária para 95% de confiança		914.414	
Custo total do projeto		Probabilidade Acumulada %	
Célula	Obra 01!J7	1%	28.409.604,49
Mínimo		5%	28.655.718,00
Máximo		10%	28.824.436,60

Média	29.569.572,43	15%	28.951.784,93
90% IC	± 2.891,15	20%	29.059.777,81
Moda	29.577.456,54	25%	29.156.045,32
Mediana	29.569.705,28	30%	29.245.663,38
Desv Pad	555.827,46	35%	29.330.298,15
Assimetria	0	40%	29.411.293,55
Curtose	2,3333	45%	29.491.275,26
Valores	100000	50%	29.569.705,28
Erros	0	55%	29.648.176,00
Filtrado	0	60%	29.727.744,75
X esquerdo	28.655.718,00	65%	29.808.977,36
P esquerdo	5,00%	70%	29.893.487,23
X direito	30.483.595,63	75%	29.982.868,34
P direito	95,00%	80%	30.079.674,58
Dif. X	1.827.877,62	85%	30.187.302,35
Dif. P	90,00%	90%	30.314.711,56
		95%	30.483.595,63
		99%	30.729.258,32

Fonte: Autora.

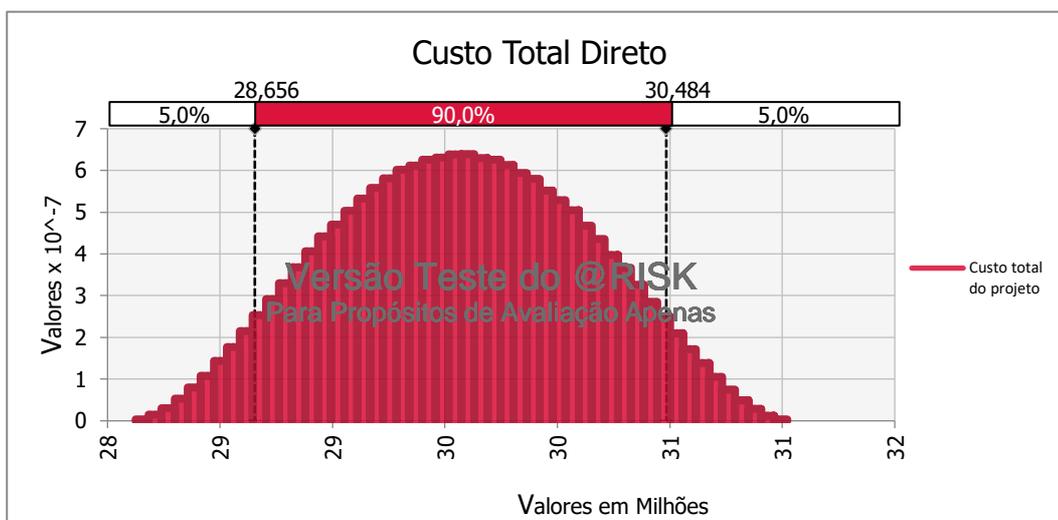
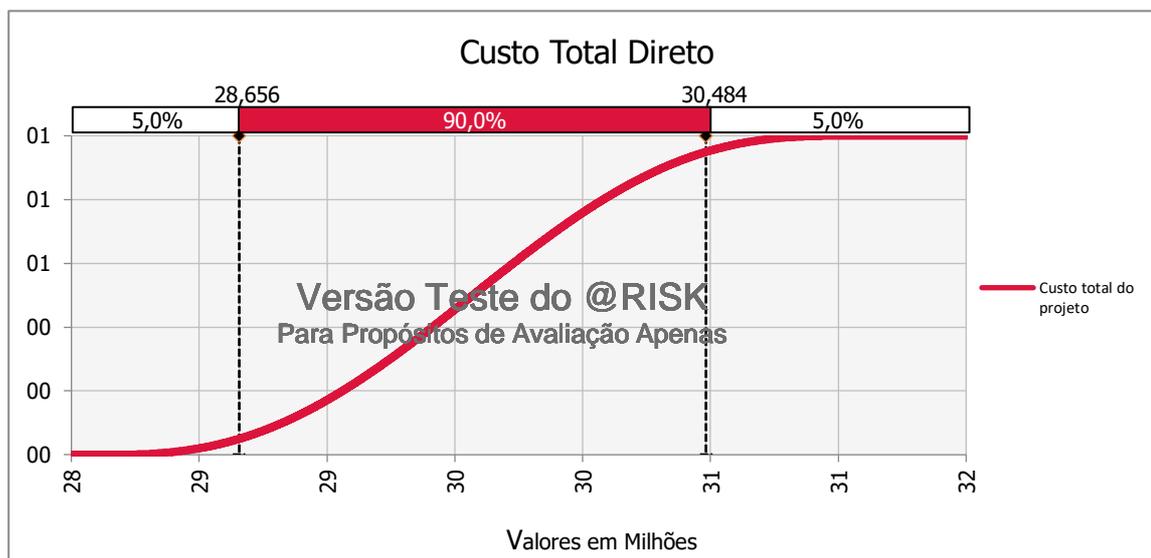


Gráfico 1 – Gráfico Frequencia – Custo Total Direto (Fonte: Autora)



## Gráfico 2 – Gráfico Probabilidade Acumulada – Custo Direto (Fonte: Autora)

## 4.1.2 Simulação de Monte Carlo – Custo Atividades

Para essa simulação vamos considerar nos dados de entrada as atividades, que são os subitens do item 01 CUSTO OBRA.

Assim sendo temos os seguintes dados da Obra 1:

Tabela 8 – Resumo custo por atividades - Obra 01

OBRA 01 - ZONA SUL				
Atividades	Previsto	Realizado	Saldo	
01.01 CUSTOS INICIAIS	R\$ 157.217,68	R\$ 160.253,69	-R\$	3.036,01
01.02 CANTEIRO DE OBRAS	R\$ 1.285.934,83	R\$ 1.301.956,70	-R\$	16.021,87
01.03 ADMINISTRAÇÃO DA OBRA	R\$ 2.356.334,29	R\$ 2.175.551,52	R\$	180.782,77
01.04 EQUIPAMENTOS, PROTEÇÕES, CONTROLE TECNOLÓGICO E SEGUROS	R\$ 1.457.053,64	R\$ 1.280.743,76	R\$	176.309,88
01.05 SERVIÇOS PRELIMINARES	R\$ 48.847,88	R\$ 49.049,73	-R\$	201,85
01.06 TERRAPLENAGEM E TRANSPORTES	R\$ 296.869,95	R\$ 302.719,95	-R\$	5.850,00
01.07 CONTENÇÃO	R\$ 145.547,36	R\$ 138.394,25	R\$	7.153,11
01.08 FUNDAÇÃO	R\$ 2.119.723,21	R\$ 2.177.481,35	-R\$	57.758,14
01.09 ESTRUTURA	R\$ 5.988.059,15	R\$ 5.742.156,09	R\$	245.903,06
01.10 ALVENARIA E DIVISÓRIAS	R\$ 735.643,15	R\$ 711.299,35	R\$	24.343,80
01.11 IMPERMEABILIZAÇÕES E ISOLAMENTOS	R\$ 560.375,52	R\$ 541.520,09	R\$	18.855,43
01.12 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS E SISTEMA	R\$ 2.376.459,14	R\$ 3.116.661,72	-R\$	740.202,58
01.13 INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS	R\$ 2.875.843,09	R\$ 3.342.095,62	-R\$	466.252,53
01.14 INSTALAÇÕES MECÂNICAS	R\$ 176.688,55	R\$ 172.009,99	R\$	4.678,56
01.15 INSTALAÇÕES ESPECIAIS	R\$ 19.795,10	R\$ 7.400,00	R\$	12.395,10
01.16 REVESTIMENTOS INTERNOS	R\$ 1.492.841,40	R\$ 1.470.193,41	R\$	22.647,99
01.17 PISOS	R\$ 1.238.639,00	R\$ 1.253.509,56	-R\$	14.870,56
01.18 BANCADAS, CAPAS E SOLEIRAS DE MÁRMORE E/OU GRANITO	R\$ 171.054,51	R\$ 124.818,99	R\$	46.235,52
01.19 ESQUADRIAS DE MADEIRA	R\$ 385.531,88	R\$ 395.696,52	-R\$	10.164,64
01.20 ESQUADRIA DE ALUMÍNIO	R\$ 1.223.020,70	R\$ 1.064.913,06	R\$	158.107,64
01.21 ESQUADRIA DE FERRO	R\$ 440.442,09	R\$ 398.114,52	R\$	42.327,57
01.22 REVESTIMENTOS EXTERNOS	R\$ 1.185.022,86	R\$ 1.055.684,39	R\$	129.338,47

01.23	COBERTURA	R\$ 196.168,72	R\$ 173.181,59	R\$ 22.987,13
01.24	VIDROS ESPECIAIS	R\$ -	R\$ -	R\$ -
01.25	ELEVADORES	R\$ 1.043.178,65	R\$ 1.065.444,89	-R\$ 22.266,24
01.26	PINTURAS	R\$ 824.559,70	R\$ 886.632,83	-R\$ 62.073,13
01.27	LIMPEZA	R\$ 410.016,55	R\$ 290.390,06	R\$ 119.626,49
01.28	GUIAS / PAVIMENTAÇÕES/CALÇADAS	R\$ 17.776,50	R\$ 13.184,14	R\$ 4.592,36
01.29	AREA EXTERNA	R\$ 183.476,27	R\$ 207.456,95	-R\$ 23.980,68
02	INFRA ESTRUTURA EXTERNA	R\$ 157.451,00	R\$ 268.596,80	-R\$ 111.145,80
	TOTAL	R\$ 29.569.572,37	R\$ 29.887.111,52	-R\$ 317.539,15

Fonte: Construtora – Empresa A.

Para a simulação no software @Risk estamos adotando na entrada os valores de custo previsto como 100% e os valores mínimos 95% e máximos 105% que é uma margem de variabilidade discutida como ideal na referência bibliográfica deste trabalho e fornecida como informação pela construtora no questionário.

Porém, conforme apresentado na questão d:

*d) Qual disciplina de projeto tem maior variação de preço? E por quê? (Ex de disciplina: estrutura de concreto, fundações, alvenaria etc.)*

**Resposta: “Fundações e Contenções e Instalações Elétricas e Hidráulicas”**

Podemos perceber que ao analisar a % da diferença real entre o previsto x realizados constatamos que fundação e contenção ficam dentro da margem adotada para a simulação, porém as atividades de Instalações Elétricas e Hidráulicas seguem essa tendência de maior variabilidade:

Tabela 9 – Diferenças reais entre atividades críticas

01.07	CONTENÇÃO	-5%
01.08	FUNDAÇÃO	3%
01.12	INSTALAÇÕES ELÉTRICAS E SISTEMA	24%
01.13	INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS	14%

Fonte: Construtora – Empresa A.

Mesmo sendo questionada dos motivos dessa tendência, a construtora não respondeu a essa parte da pergunta e não informou a porcentagem dessa variação.

Portanto para essa simulação entendemos que há incertezas nessas duas atividades de Instalações Elétricas e Hidráulicas e assim considerar que elas apresentam maior risco. Foi então considerado essa margem de 24% e 14% respectivamente na entrada dos valores máximos desses custos na simulação:

Tabela 10 – Dados de entradas das informações para simulação atividades

Elementos de custo	Caso base	Mínimo	Mais provável	Máximo	Mínimo	Mais provável	Máximo	Amostrado	
01.01 CUSTOS INICIAIS	157.218	95%	100%	105%	149.357	157.218	165.079	157.218	
01.02 CANTEIRO DE OBRAS	1.285.935	95%	100%	105%	1.221.638	1.285.935	1.350.232	1.285.935	
01.03 ADMINISTRAÇÃO DA OBRA	2.356.334	95%	100%	105%	2.238.518	2.356.334	2.474.151	2.356.334	
01.04 EQUIPAMENTOS, PROTEÇÕES, CONTROLE TECNOLÓGICO E SEGUROS	1.457.054	95%	100%	105%	1.384.201	1.457.054	1.529.906	1.457.054	
01.05 SERVIÇOS PRELIMINARES	48.848	95%	100%	105%	46.405	48.848	51.290	48.848	
01.06 TERRAPLENAGEM E TRANSPORTES	296.870	95%	100%	105%	282.026	296.870	311.713	296.870	
01.07 CONTENÇÃO	145.547	95%	100%	105%	138.270	145.547	152.825	145.547	
01.08 FUNDAÇÃO	2.119.723	95%	100%	105%	2.013.737	2.119.723	2.225.709	2.119.723	
01.09 ESTRUTURA	5.988.059	95%	100%	105%	5.688.656	5.988.059	6.287.462	5.988.059	
01.10 ALVENARIA E DIVISÓRIAS	735.643	95%	100%	105%	698.861	735.643	772.425	735.643	
01.11 IMPERMEABILIZAÇÕES E ISOLAMENTOS	560.376	95%	100%	105%	532.357	560.376	588.394	560.376	
01.12 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS E SISTEMA	2.376.459	95%	100%	124%	2.257.636	2.376.459	2.946.809	2.451.714	
01.13 INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS	2.875.843	95%	100%	114%	2.732.051	2.875.843	3.278.461	2.918.981	
01.14 INSTALAÇÕES MECÂNICAS	176.689	95%	100%	105%	167.854	176.689	185.523	176.689	
01.15 INSTALAÇÕES ESPECIAIS	19.795	95%	100%	105%	18.805	19.795	20.785	19.795	
01.16 REVESTIMENTOS INTERNOS	1.492.841	95%	100%	105%	1.418.199	1.492.841	1.567.483	1.492.841	
01.17 PISOS	1.238.639	95%	100%	105%	1.176.707	1.238.639	1.300.571	1.238.639	
01.18 BANCADAS, CAPAS E SOLEIRAS DE MÁRMORE E/OU GRANITO	171.055	95%	100%	105%	162.502	171.055	179.607	171.055	
01.19 ESQUADRIAS DE MADEIRA	385.532	95%	100%	105%	366.255	385.532	404.808	385.532	
01.20 ESQUADRIA DE ALUMÍNIO	1.223.021	95%	100%	105%	1.161.870	1.223.021	1.284.172	1.223.021	
01.21 ESQUADRIA DE FERRO	440.442	95%	100%	105%	418.420	440.442	462.464	440.442	
01.22 REVESTIMENTOS EXTERNOS	1.185.023	95%	100%	105%	1.125.772	1.185.023	1.244.274	1.185.023	
01.23 COBERTURA	196.169	95%	100%	105%	186.360	196.169	205.977	196.169	
01.25 ELEVADORES	1.043.179	95%	100%	105%	991.020	1.043.179	1.095.338	1.043.179	
01.26 PINTURAS	824.560	95%	100%	105%	783.332	824.560	865.788	824.560	
01.27 LIMPEZA	410.017	95%	100%	105%	389.516	410.017	430.517	410.017	
01.28 GUIAS / PAVIMENTAÇÕES/CALÇADAS	17.777	95%	100%	105%	16.888	17.777	18.665	17.777	
01.29 AREA EXTERNA	183.476	95%	100%	105%	174.302	183.476	192.650	183.476	
02 INFRA EST. EXTERNA	157.451	95%	100%	105%	149.578	157.451	165.324	157.451	
<b>Output</b>		Total considerando margem especial para as atividades 14 e 15							<b>29.687.965</b>
Totais	29.569.572								

Fonte: Autora.

Tabela 11 – Dados de saída após simulação atividades

Resumo estatístico			
Probabilidade de alcançar o valor do caso base		29,65%	
Orçamento total necessário para 95% de confiança		30.046.867	
Reserva (contingência) necessária para 95% de confiança		477.295	
Custo total do projeto		Probabilidade Acumulada %	
Célula	Obra 1!J35	1%	29.226.500,59
Mínimo	28.917.426,83	2,50%	29.291.350,22
Máximo	30.587.552,87	5%	29.348.419,00
Média	29.687.964,52	10%	29.417.792,16
90% IC	± 1.101,42	20%	29.506.670,09
Moda	29.690.857,82	25%	29.540.135,16
Mediana	29.682.961,87	30%	29.571.681,59
Desv Pad	211.749,70	35%	29.600.669,20
Assimetria	0,1534	40%	29.628.739,92
Curtose	2,9191	45%	29.655.988,51
Valores	100000	50%	29.682.961,87
Erros	0	55%	29.709.793,98
Filtrado	0	60%	29.736.786,68
X esquerdo	29.348.419,00	65%	29.766.151,53
P esquerdo	5,00%	70%	29.795.782,91
X direito	30.046.867,35	75%	29.828.374,43
P direito	95,00%	80%	29.864.890,76
Dif. X	698.448,34	90%	29.964.821,60
Dif. P	90,00%	95%	30.046.867,35
		97,50%	30.118.628,08
		99%	30.199.741,19

Fonte: Autora.



Gráfico 3 – Gráfico Frequência – Atividades (Fonte: Autora)



Gráfico 4 – Gráfico Probabilidade Acumulada – Atividades (Fonte: Autora)

#### 4.1.3 Simulação de Monte Carlo – R\$/m<sup>2</sup>

Conforme visto neste estudo uma das análises para viabilidade é o custo estimativo de um projeto, porém nem sempre temos todas as informações para a elaboração de um orçamento. Para isso podemos parametrizar obras pelo seu custo por metro quadrado construído. A Obra 01, quem tem, como já informado, 34.446m<sup>2</sup> de área construída. Para essa simulação foi somado os custos da atividade 01 Custo da Obra e 04 Infra estrutura externa, reforçando que esses valores são relativos diretamente a obra, assim temos:

Tabela 12 – Resumo custo/m<sup>2</sup>

OBRA 01 - ZONA SUL		AC: 34.446,00m <sup>2</sup>	
Atividades	R\$/m <sup>2</sup> previsto	R\$/m <sup>2</sup> realizado	
01 CUSTO OBRA	R\$ 853,86	R\$	859,85
03 INFRA ESTRUTURA EXTERNA	R\$ 4,57	R\$	7,80
TOTAL	R\$ 858,43	R\$	867,65

Fonte: Autora.

Tabela 13 – Dados de entradas das informações para simulação custo/m<sup>2</sup>

<b>Custo R\$/m<sup>2</sup></b>	Caso base	Mínimo	Mais provável	Máximo	Mínimo	Mais provável	Máximo	Amostrado
Custo Direto da Obra	853,86	95%	100%	105%	811,17	853,86	896,55	853,86
Infra Estrutura Externa	4,57	95%	100%	105%	4,34	4,57	4,80	4,57
<b>Output</b>								
Totais	858,43							

Fonte: Autora.

Tabela 14 – Dados de saída após simulação custo/m<sup>2</sup>

<b>Resumo estatístico</b>			
Probabilidade de alcançar o valor do caso base			49,99%
Orçamento total necessário para 95% de confiança			884,96
Reserva (contingência) necessária para 95% de confiança			26,53
Custo total do projeto		Probabilidade Acumulada %	
Célula	Obra 01!J7	1%	824,76
Mínimo		5%	831,913
Máximo		10%	836,81
Média		15%	840,495
90% IC	± 0,0839	20%	843,626
Moda		25%	846,434
Mediana		30%	849,013
Desv Pad		35%	851,48
Assimetria		40%	853,843
Curtose		45%	856,147
Valores		50%	858,435
Erros		55%	860,71
Filtrado		60%	863,034
X esquerdo		65%	865,388
P esquerdo		70%	867,843
X direito		75%	870,422
P direito		80%	873,239
Dif. X		85%	876,376
Dif. P		90%	880,068
		95%	884,965
		99%	892,103

Fonte: Autora.

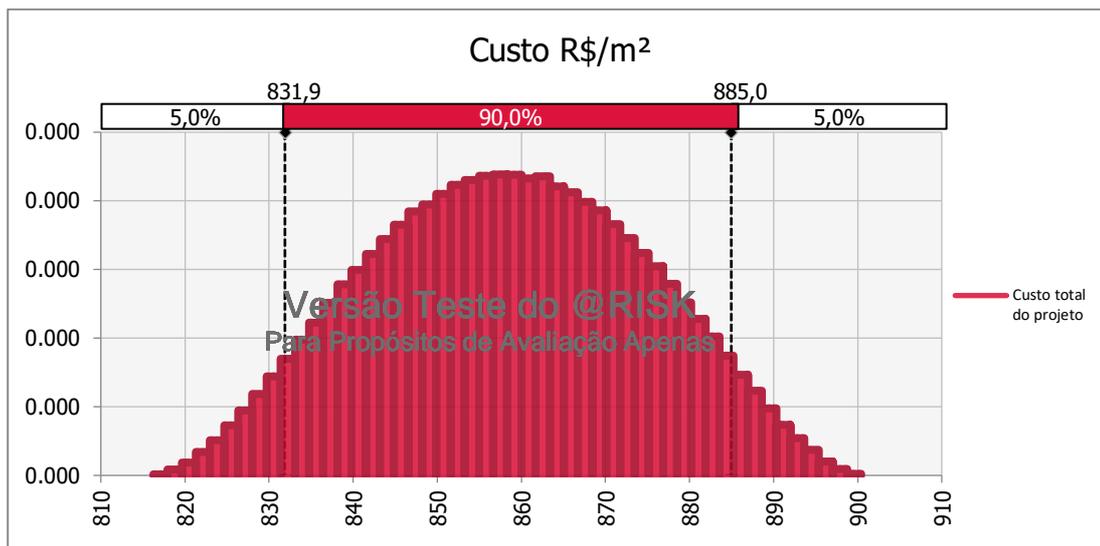


Gráfico 5 – Gráfico Frequencia – Custo R\$/m<sup>2</sup> (Fonte: Autora)

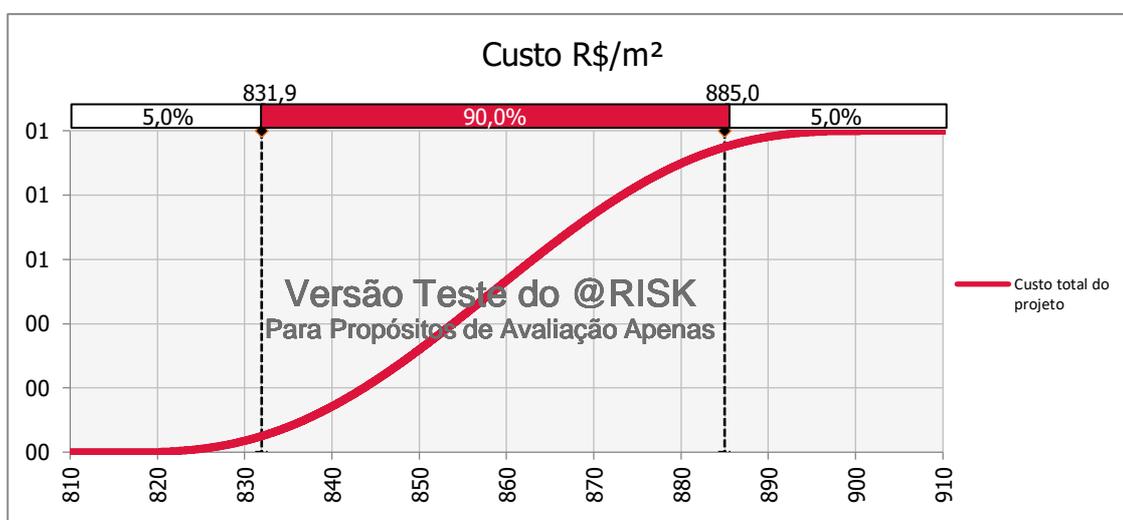


Gráfico 6 – Gráfico Probabilidade Acumulada Custo R\$/m<sup>2</sup> (Fonte: Autora)

#### 4.1.4 Simulação de Monte Carlo – R\$/unid.

Como na simulação anterior, este tipo de informação é válido para quando se quer saber qual o valor de venda do seu produto. Neste caso é preciso considerar as informações de tipologia do apartamento para poder aplicar esse custo por unidade em futuros projetos similares. Recomenda-se então, considerar tipologia do apartamento (2 ou 3 dormitórios, número de banheiros etc.) tipo de estrutura, acabamento, se tem ou não subsolo, área de lazer, quantidade de elevadores etc.

Analisando a somatória, dos mesmos valores já simulados de Custo de Obra e Infraestrutura externa, dividida pelo número de unidades da Obra 01, já apresentado anteriormente, de 312 unidades com metragem entre 40 e 41m<sup>2</sup>, temos as seguintes informações:

Tabela 15 – Resumo custo/unidade

OBRA 01 - ZONA SUL	unidades		312
Atividades	R\$/unid. previsto	R\$/unid. realizado	
01 CUSTO OBRA	R\$ 94.269,62	R\$ 94.931,14	
03 INFRA ESTRUTURA EXTERNA	R\$ 504,65	R\$ 860,89	
TOTAL	R\$ 94.774,27	R\$ 95.792,02	

Fonte: Construtora – Empresa A.

Tabela 16 – Dados de entradas das informações para simulação custo/unidade

Custo R\$/unid.	Caso base	Mínimo	Mais provável	Máximo	Mínimo	Mais provável	Máximo	Amostrado
Custo Direto da Obra	94.269,62	95%	100%	105%	89.556,14	94.269,62	98.983,10	94.269,62
Infra Estrutura Externa	504,65	95%	100%	105%	479,42	504,65	529,88	504,65
<b>Output</b>								
Totais	94.774,27							

Fonte : Autora.

Tabela 17 – Dados de saída após simulação custo/unidade

Resumo estatístico			
Probabilidade de alcançar o valor do caso base			50,01%
Orçamento total necessário para 95% de confiança			97.702,66
Reserva (contingência) necessária para 95% de confiança			2.928,39
Custo total do projeto		Probabilidade Acumulada %	
Célula	Obra 01!J7	1%	91.056,43
Mínimo	90.099,08	5%	91.843,50
Máximo	99.448,54	10%	92.385,60
Média	94.774,27	15%	92.794,34
90% IC	± 9,27	20%	93.139,03
Moda	94.597,56	25%	93.448,85
Mediana	94.774,42	30%	93.735,64
Desv Pad	1.781,58	35%	94.006,68
Assimetria	0,00	40%	94.267,20
Curtose	2,33	45%	94.522,32
Valores	100.000,00	50%	94.774,42
Erros	0,00	55%	95.025,28
Filtrado	0,00	60%	95.281,59
X esquerdo	91.844,00	65%	95.541,93
P esquerdo	0,05	70%	95.813,54
X direito	97.704,00	75%	96.099,93
P direito	0,95	80%	96.408,13
Dif. X	5.860,26	85%	96.754,32

Dif. P	0,90	90%	97.162,67
		95%	97.703,77
		99%	98.491,80

Fonte: Autora.

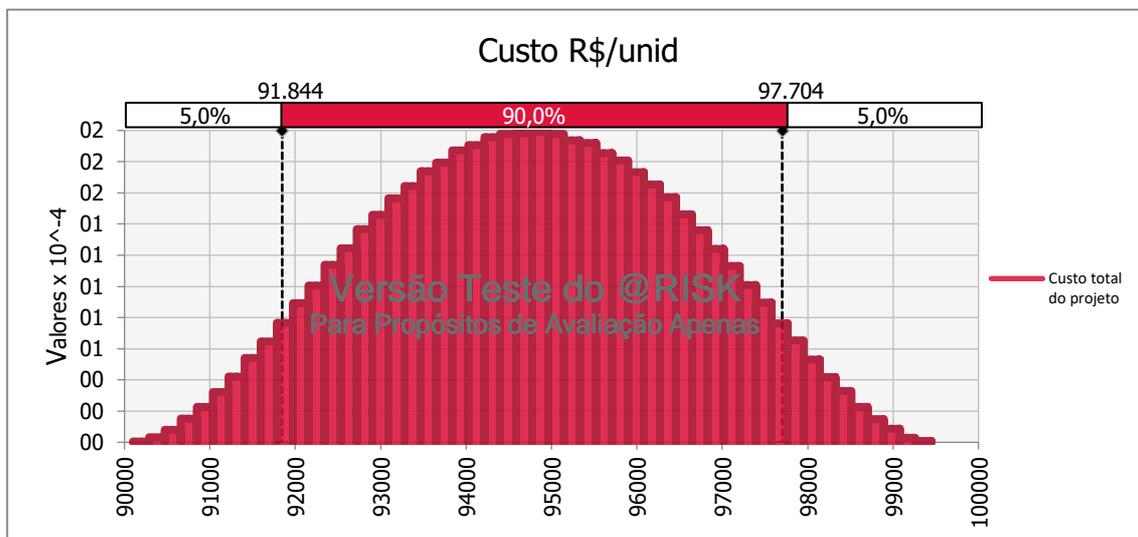


Gráfico 7 – Gráfico Frequencia – Custo R\$/unid (Fonte: Autora)

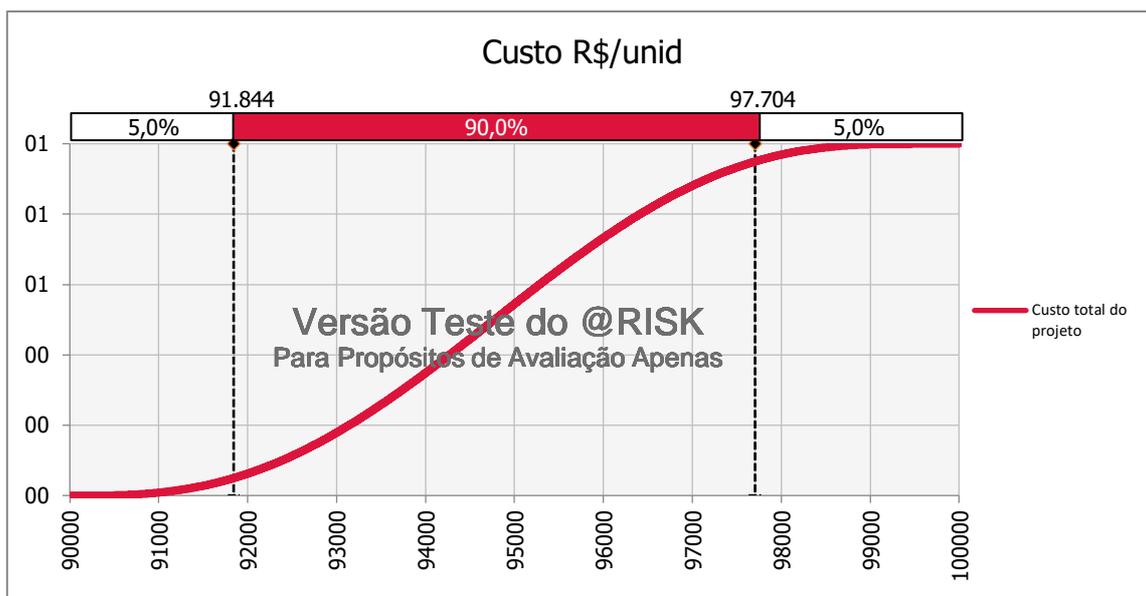


Gráfico 8 – Gráfico Probabilidade Acumulada Custo R\$/unid (Fonte: Autora)

## 4.2 COMPARAÇÃO SIMULADO X REALIZADO

Neste item será comparado os valores resultados das simulações versus os valores fornecidos referentes ao custo realizado da Obra 01, para validação ou não do estudo da aplicação da simulação de Monte Carlo para análise da variabilidade em custos de obras residenciais, a ser discutido nas conclusões.

Apesar das entradas dos dados serem separadas, na etapa de comparação vamos analisar o custo total. Caso seja necessária uma avaliação mais criteriosa, podemos analisar atividade por atividade inserindo como entradas os serviços ou insumos.

### 4.2.1 Comparação - Custo Direto Total

Tabela 18 – Comparação Simulação x Realizado

OBRA 01 - ZONA SUL			
Atividades	Simulado		Realizado
01 CUSTO OBRA	R\$	29.412.121,37	R\$ 29.618.514,72
03 INFRA ESTRUTURA EXTERNA	R\$	157.451,00	R\$ 268.596,80
<b>TOTAL</b>	R\$	29.569.572,37	R\$ 29.887.111,52
<b>Valores dentro da curva de probabilidades 90%</b>	Mínimo	Máximo	95% Prob.Acum.
<b>TOTAL</b>	R\$ 28.124.955,44	R\$ 31.021.848,99	R\$ 30.483.986

Fonte: Autora.

O valor mais otimista, neste caso o mínimo é de R\$ 28.124.955,44 e o mais pessimista, neste caso o valor máximo, é de R\$ 31.021.848,99.

O valor de projeto, isto é o valor orçado, tem 50,01% de probabilidade de ocorrer. E a simulação nos mostra também que o valor com 95% de probabilidade acumulada é de R\$ 30.483.986. E o Índice de Confiança (IC) para essa simulação é de 90%.

Ao analisar a coluna das probabilidades, constatamos que o valor realizado (R\$ 29.887.111,52) ficou na faixa de 65% a 70% de probabilidade.

#### 4.2.2 Comparação - Atividades

Neste item apesar de serem muitas entradas, o valor comparado é o valor da somatória do simulado, porque ao assumir uma margem maior para certa atividade devido a sua incerteza ou risco, a simulação leva em conta essa informação, e o custo total acaba sendo impactado.

Tabela 19 – Comparação Simulação xRealizado - Atividades

OBRA 01 - ZONA SUL			
Atividades	Previsto		Realizado
01.01 CUSTOS INICIAIS	R\$	157.217,68	R\$ 160.253,69
01.02 CANTEIRO DE OBRAS	R\$	1.285.934,83	R\$ 1.301.956,70
01.03 ADMINISTRAÇÃO DA OBRA	R\$	2.356.334,29	R\$ 2.175.551,52
01.04 EQUIPAMENTOS, PROTEÇÕES, CONTROLE TECNOLÓGICO E SEGUROS	R\$	1.457.053,64	R\$ 1.280.743,76
01.05 SERVIÇOS PRELIMINARES	R\$	48.847,88	R\$ 49.049,73
01.06 TERRAPLENAGEM E TRANSPORTES	R\$	296.869,95	R\$ 302.719,95
01.07 CONTENÇÃO	R\$	145.547,36	R\$ 138.394,25
01.08 FUNDAÇÃO	R\$	2.119.723,21	R\$ 2.177.481,35
01.09 ESTRUTURA	R\$	5.988.059,15	R\$ 5.742.156,09
01.10 ALVENARIA E DIVISÓRIAS	R\$	735.643,15	R\$ 711.299,35
01.11 IMPERMEABILIZAÇÕES E ISOLAMENTOS	R\$	560.375,52	R\$ 541.520,09
01.12 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS E SISTEMA	R\$	2.376.459,14	R\$ 3.116.661,72
01.13 INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS	R\$	2.875.843,09	R\$ 3.342.095,62
01.14 INSTALAÇÕES MECÂNICAS	R\$	176.688,55	R\$ 172.009,99
01.15 INSTALAÇÕES ESPECIAIS	R\$	19.795,10	R\$ 7.400,00
01.16 REVESTIMENTOS INTERNOS	R\$	1.492.841,40	R\$ 1.470.193,41
01.17 PISOS	R\$	1.238.639,00	R\$ 1.253.509,56
01.18 BANCADAS, CAPAS E SOLEIRAS DE MÁRMORE E/OU GRANITO	R\$	171.054,51	R\$ 124.818,99
01.19 ESQUADRIAS DE MADEIRA	R\$	385.531,88	R\$ 395.696,52
01.20 ESQUADRIA DE ALUMÍNIO	R\$	1.223.020,70	R\$ 1.064.913,06
01.21 ESQUADRIA DE FERRO	R\$	440.442,09	R\$ 398.114,52
01.22 REVESTIMENTOS EXTERNOS	R\$	1.185.022,86	R\$ 1.055.684,39

01.23	COBERTURA	R\$	196.168,72	R\$	173.181,59
01.24	VIDROS ESPECIAIS	R\$	-	R\$	-
01.25	ELEVADORES	R\$	1.043.178,65	R\$	1.065.444,89
01.26	PINTURAS	R\$	824.559,70	R\$	886.632,83
01.27	LIMPEZA	R\$	410.016,55	R\$	290.390,06
01.28	GUIAS / PAVIMENTAÇÕES/CALÇADAS	R\$	17.776,50	R\$	13.184,14
01.29	AREA EXTERNA	R\$	183.476,27	R\$	207.456,95
02	INFRA ESTRUTURA EXTERNA	R\$	157.451,00	R\$	268.596,80
TOTAL		R\$	29.569.572,37	R\$	29.887.111,52
<b>Valores simulação IC 90%</b>		Mínimo	Máximo	95% Prob.Acum.	
<b>TOTAL</b>		R\$28.917.426,83	R\$30.587.552,87	R\$ 30.046.867,35	

Fonte: Autora.

Para a simulação do custo considerado todas as atividades, temos o mínimo de 28.917.426,83 e o valor máximo, é de R\$ 30.587.552,87.

O valor de projeto, isto é o valor orçado (R\$ 29.569.572,37), tem frequência de 29,65% de probabilidade de ocorrer. Esse valor foi mais baixo que o resultado anterior, porque na entrada dos valores das atividades consideramos que as atividades 14 e 15 de Instalações Elétricas e Hidráulicas apresentam uma variabilidade maior para cima, onerando o custo total.

E a simulação nos mostra também que o valor com 95% de probabilidade acumulada é de R\$ 30.046.867,35. E o Índice de Confiança (IC) para essa simulação é de 90%.

Ao analisar a coluna das probabilidades, constatamos que o valor realizado (R\$ 29.887.111,52) ficou dentro da faixa de probabilidade de 80% a 90% de ocorrer, porém, ainda dentro da margem de confiança, mas perto do cenário mais pessimista.

4.2.3 Comparação – R\$/m<sup>2</sup>Tabela 20 – Comparação Simulação xRealizado – R\$/m<sup>2</sup>

OBRA 01 - ZONA SUL		AC: 34.446,00m <sup>2</sup>	
Atividades	R\$/m <sup>2</sup> simulado		R\$/m <sup>2</sup> realizado
01 CUSTO OBRA	R\$	853,86 /m <sup>2</sup>	R\$ 859,85 /m <sup>2</sup>
03 INFRA ESTRUTURA EXTERNA	R\$	4,57 /m <sup>2</sup>	R\$ 7,80 /m <sup>2</sup>
<b>TOTAL</b>	R\$	858,43 /m <sup>2</sup>	R\$ 867,65/m <sup>2</sup>
<b>Valores dentro da curva de probabilidades 90%</b>	Mín.	Max	95% Prob.Acum.
TOTAL	R\$ 816,25/m <sup>2</sup>	R\$ 900,41/m <sup>2</sup>	R\$ 884,96/m <sup>2</sup>

Fonte: Autora.

Para a simulação do custo/m<sup>2</sup>, temos o mínimo de R\$ 816,25/m<sup>2</sup> e o valor máximo, é de R\$ 900,41/m<sup>2</sup>.

O valor de projeto, isto é o valor orçado, tem 49,99% de probabilidade de ocorrer.

E a simulação nos mostra também que o valor com 95% de probabilidade de frequência é de R\$ R\$884,96/m<sup>2</sup>. E o Índice de Confiança (IC) para essa simulação é de 90%.

Ao analisar a coluna das probabilidades, constatamos que o valor realizado ficou dentro da margem de confiança e ficou perto dos 70% de probabilidade.

## 4.2.4 Comparação – R\$/unid.

Tabela 21 – Comparação Simulação xRealizado – R\$/unid.

OBRA 01 - ZONA SUL		unidades		312
Atividades	R\$/unid. Max		R\$/unid. Realizado	
01 CUSTO OBRA	R\$	94.269,62/unid.	R\$	94.931,14/unid.
03 INFRA ESTRUTURA EXTERNA	R\$	504,65/unid.	R\$	860,89/unid.
TOTAL	R\$	94.774,27/unid.	R\$	95.792,03/unid.
<b>Valores dentro da curva de probabilidades 90%</b>	Mín.	Max	95% Prob.Acum.	
TOTAL	R\$ 90.099,08/unid.	R\$ 99.448,54/unid.	R\$	97.702,66 /unid.

Fonte: Autora

E por último a simulação de custo por unidade. Para a simulação do custo/unid., temos o mínimo de R\$ 90.099,08/unid. e o valor máximo, é de R\$ 99.448,54/unid.

O valor de projeto, isto é o valor orçado, tem 50,01% de probabilidade de ocorrer.

E a simulação nos mostra também que o valor com 95% de probabilidade acumulada é de R\$ R\$ 97.702,66/unid. E o Índice de Confiança (IC) para essa simulação é de 90%.

Ao analisar a coluna das probabilidades, constatamos que o valor realizado ficou dentro da margem de confiança e ficou entre 65% e 70% de probabilidade.

## 5. DISCUSSÕES

Nas considerações finais de alguns artigos apontados na revisão bibliográfica, temos o método Monte Carlo descrito como um método bastante eficaz na área de engenharia para cálculos de projetos de obras, e planejamento de cronograma prazos e riscos, conforme visto neste trabalho alguns exemplos, mas pouco aplicado em custos.

Em alguns dos artigos encontrados, Purnus (2014), reforça a ideia da aplicação do método por um analista com experiência da área dizendo que a aplicação da análise de risco quantitativa utilizando o método de Monte Carlo torna-se cada vez mais fácil devido ao desenvolvimento de soluções de software, porém é necessário um analista experiente para validar e ajustar os dados, caso necessário.

Sem o conhecimento de dados da variabilidade de custos, diminui-se a chance de uma tomada de decisão correta para avaliar o custo correto de um projeto. A vantagem de uma simulação de Monte Carlo é que ele permite ao usuário uma melhor compreensão dos possíveis resultados para o desenvolvimento. Em última análise, a decisão final será tomada em relação às expectativas atuais e restrições de negócios atuais, mas, avaliando os ascendentes e descendentes arrisca mais apropriadamente, o tomador de decisão deve ser em melhor posição para fazer uma e “melhor” decisão mais informada. (LOIZOU, 2012)

Loizou (2012) conclui ainda, que o raciocínio estatístico é uma arte e por isso exige tanto conhecimento matemático quanto conhecimento técnico nas informações analisadas. Quando se é mecanizado, ele perde muito de sua precisão preditiva. Portanto, é importante que o modelo de simulação de Monte Carlo seja usado de forma complementar com uma compreensão do julgamento humano na tomada de decisão para ser eficaz.

No estudo de Ogundare (2018) em variabilidade dos custos, que aborda a pesquisa em projetos de construção, explorando relações causais entre as flutuações dos preços dos materiais de construção e as variabilidades nas estimativas de orçamento e orçamentos realizados. No caso deste estudo, ele evidência além dos reajustes de preços pela inflação, o uso de má fé na contratação de materiais no país onde foi feito a pesquisa. Além disso, aponta um trabalho ruim ou até incompetência dos profissionais na área. Finaliza concluindo que sem um

estudo da variabilidade de custos de obras da construção civil naquela região, fica difícil aplicar práticas de correção para empreiteiros e órgãos públicos para corrigir possível má conduta com dinheiro público.

Mesmo que essa dissertação apresentada não aborda os custos de obras públicas, este artigo de Ogundare (2018), mostra a importância do estudo acadêmico nesta área, trazendo relevância para esse trabalho.

Em um estudo que abrange prazo e custos Ballesteros-Perez (2019), concluiu que a contribuição do estudo da variabilidade de custos e prazos, no mundo corporativo, pode levar de um gerente de construção antecipar de maneira mais realista (e com precisão) a probabilidade e o quanto as atividades no cronograma do projeto variarão, ou seja, durarão ou custarão algo diferente. Isso pode potencialmente melhorar a qualidade e a robustez de todos os cronogramas e previsões de custo na construção civil. Apesar de focar mais na variabilidade de custo em torno do prazo das atividades, não invalida a necessidade de conhecimento prévio do planejamento de obras para melhores decisões estratégicas.

Portanto, este estudo analisou o uso da simulação de probabilidades através do Método de Monte Carlo aplicado em uma obra real já executada, onde foi possível ter conhecimento e comparar os dados do estimado e do realizado no mesmo momento, gerando uma certa confiança nos dados aplicados no estudo.

Combinando o questionário respondido pela empresa, juntamente com os dados enviados da obra, constatamos que de fato existe variabilidade de custos. E ao tomar conhecimento dessa variabilidade, o estudo mostrou que a aplicação do Método de Monte Carlo para prever essa variabilidade em futuros projetos é possível e traz uma série de dados com relação às probabilidades de cenários de custos, para tomadas de decisão.

Diante dos resultados apresentados é possível verificar que a análise do custo total, o custo orçado ficou com probabilidade de ocorrência em torno de 50%.

Os principais fatores que contribuem para ocorrência das variações de custos são: falta de informações precisas na fase da orçamentação, erros nas quantificações; perdas; variações de preços no tempo e as possíveis mudanças que ocorrem no projeto após o fechamento do orçamento, ou seja, na etapa de execução. O estudo possibilitou também concluir que quanto maior a severidade (impacto) da variação desses fatores maior o impacto no custo final da obra como observado na simulação onde foi considerada a variabilidade de cada atividade individualmente,

duas atividades tiveram variação entre 14% e 24% e com isso a simulação mostrou que o valor orçado pela construtora tinha 30% de chance de probabilidade de acontecer.

Com isso, verificou-se que o principal fator que leva o valor final total de um orçamento a uma probabilidade de ocorrência relativamente baixa está relacionado as grandes variações apresentadas nos custos de seus itens como serviços de mão de obra e materiais (insumos), com maior grau de risco ou incerteza na fase de levantamento de dados no projeto.

A variabilidade de custos hoje é calculada por modelos paramétricos que precisam utilizar de obras anteriores para poder prever a variação final o custo da obra, ou o custo realizado. A vantagem da aplicação do método de Monte Carlo é sobre conhecer os riscos de cada projeto sem necessidade de um histórico de custos. Por exemplo, se falta informações de sondagem o projeto de fundações pode ser alterado na hora da execução, esta é uma incerteza que o gerente de custos pode inserir no cenário da simulação, sem afetar os demais itens da obra, podendo analisar as probabilidades do custo estimado, diminuindo a variabilidade em comparação com o custo final da obra.

## 6. CONCLUSÕES

Conclui-se, portanto, a possibilidade da aplicação da simulação do método de Monte Carlo para estudo da variabilidade de custos de obras.

Esse estudo mostrou ainda na base teórica da revisão bibliográfica a elaboração de um orçamento, além de informações necessárias seja metro quadrado construído ou unidade habitacional, através de índices da construção. Com isso pode-se utilizar esses dados e aplicá-los na simulação de Monte Carlo, considerando as incertezas e riscos, gerando resultados dentro de uma faixa de probabilidades que dá ao gestor da área oportunidade de analisar qual a melhor decisão no momento.

O estudo mostrou que a aplicação do método de Monte Carlo apresentou-se como uma boa alternativa para auxiliar os responsáveis pelo projeto na tomada de decisão financeira da obra. Pode-se concluir que mesmo sem um vasto banco de dados, um gestor na área de orçamentos com conhecimento na área, ao utilizar o método de Monte Carlo, é capaz de analisar incertezas e riscos que a variação de custos traz no planejamento de obras.

Este trabalho sugere para casos futuros, que a simulação não fique apenas restrita nos custos, pode-se aplicar a prática nos quantitativos também. Gerando informações de consumo aumentando a eficiência da análise dos levantamentos quantitativos, sem necessidade de retrabalho.

## 7. BIBLIOGRAFIA

AGUIAR, G.; ALVES, C. C.; HENNING, E. **Gerenciamento de projetos: simulação de Monte Carlo via a ferramenta simular**. In: XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Carlos, 2010. Anais...São Carlos: ENEGEP, 2010.

AHIAGA-DAGBUI, D. et al. Spotlight On Construction Cost Overrun Research: Superficial. **Replicative And Stagnated**, 2015.

ALMEIDA, J. A.; MOTA, C. M. M. **Proposta de gerenciamento de riscos simplificado para empresas de construção civil**. In: XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, 2008. Anais...Rio de Janeiro: ABEPRO, 2008.

AMEYAW, E. E. et al. A fuzzy model for evaluating risk impacts on variability between contract sum and final account in government-funded construction projects. **Journal of Facilities Management**, 2015.

ANSAR, A. et al. Should we build more large dams? The actual costs of hydropower megaproject development. **Energy policy**, v. 69, p. 43-56, 2014.

ARAÚJO, T. D. P. de. **Construção de edifícios I: orçamento, especificações, cronograma – Notas de aulas**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará: 2003.

ASHWORTH, A.; SKITMORE, R. M. **The Effectiveness of Estimating in the Construction Industry**. AccuracyEstim, 1983.

ASSUMPÇÃO, J. **Gerenciamento de empreendimentos na construção civil: modelo para planejamento estratégico da produção de edifícios**. São Paulo: EPUSP, 1996.

BALLESTEROS-PEREZ, P. et al. Duration and cost variability of construction activities: An empirical study. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 146, n. 1, p. 04019093, 2019.

BENNET, J.; BARNES, M. **Six Factors which influence Bills – Outline of a theory of Measurement**. In: Chartered Quantity Surveyor, 1979. p. 53-56.

BHARGAVA, A. et al. Predicting cost escalation pathways and deviation severities of infrastructure projects using risk-based econometric models and Monte Carlo simulation. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, v. 32, n. 8, p. 620-640, 2017.

CHUDLEY, R.; GREENO, R. Primary and secondary elements. In: **Building Construction Handbook**. Routledge, 2016. p. 24-26.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, SL da. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. **Trabalho apresentado**, v. 8, 2011.

CORRAR, L.J. **O modelo econômico da empresa em condições de incerteza – aplicação do Método de simulação de Monte Carlo**. Caderno de Estudos nº 8. São Paulo: FIPECAFI, 1993.

CORREA NETO, J. F.; MOURA, H. J.; FORTE, S. H. C. A. **Modelo prático de previsão de fluxo de caixa operacional para empresas comerciais considerando os efeitos do risco, através do método de Monte Carlo**. Read, Revista Eletrônica de Administração, Porto Alegre, PPGA-UFRGS. Edição 27, nº 3, v. 8, julho/2002.

DAKHILI, Z.; LAFHAJ, Z.; BERNARD, M. Aplicação do lean à fase de licitação na construção civil: a experiência de um empreiteiro francês. **Revista Internacional de Lean Six Sigma**, 2017.

DAVEY, K. Preventing project cost escalation. **Engineering Management Journal**, v. 10, n. 4, p. 174-181, 2000.

DIAS, P. R. V. **Engenharia de custos: uma metodologia de orçamentação para obras civis**. COPIARE: Ed, v. 5, p. 220, 2004.

DUARTE, C. C. M.; BIANCOLINO, C. A.; STOROPOLI, J. E.; RICCIO, E. L. **Análise do conceito de sucesso aplicado ao gerenciamento de projetos de tecnologia**. In: XXI Congresso Brasileiro de Custos, Natal, RN, Brasil, 2012. Revista de Administração da UFSM, Santa Maria, v. 5, n. 3, p. 459- 478, 2012.

ELINWA, UA e BUBA, SA (1993), "Fatores de custo de construção na Nigéria", **Journal of Engenharia de Construção e Gestão**, Vol. 119 n ° 4, pp. 698-713.

EVANS, J. R.; OLSON, D. L. **Introduction to simulation and risk analysis**. 2 Ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002.

FGV IBRE – **Fundação Getúlio Vargas – Instituto Brasileiro de Economia**  
Disponível [https://portalibre.fgv.br/.](https://portalibre.fgv.br/), acesso novembro,2019

FLYVBJERG, B.; HOLM, M. S.; BUHL, Søren. Underestimating Costs in Public Works Projects: Error or Lie? **Journal of the American Planning Association**, vol. 68, no. 3, Summer 2002, pp. 279-295.

FORMOSO, C. T., HIROTA, E., SAFFARO, F., & SILVA, M. **Estimativa de custos de obras de edificação**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.1986.

GEHBAUER, F.; EGGENSPERGER, M. **Planejamento e gestão de obras: um resultado prático da cooperação técnica Brasil-Alemanha**. Curitiba: CEFET, v. 1, 530 p., 2002.

GOLDMAN, P. Introdução ao planejamento e controle de custos na construção civil

brasileira. 4. ed. São Paulo: Pini, 176 p .2014

GRAÇA, M. E. A.; GONÇALVES, O M. **Estimação probabilística de custos – Método simplificado**. Simpósio sobre Barateamento da Construção Habitacional. Trabalho n. 50. Salvador, mar.,1978.

GUJARATI, D.N. **Econometria básica**. 3ª edição. São Paulo: Makron Books, 2002.

HAIMES, Y.Y. **Risk Analysis, Systems Analysis, and Covey's Seven Habits. Perspectives**. Risk Analysis, v. 21, n. 2, p. 217-224, 2001.

HALAWA, W. S.; ABDELALIM, A. M. K.; ELRASHED, I. A. **Financial evaluation program for construction projects at the pre-investment phase in developing countries: A case study**. International Journal of Project Management, v. 31, Issue 6, p. 912-923, 2013.

HIROTA, E. H. **Estudo exploratório sobre a tipificação de projetos de edificações, visando a reformulação da Norma Brasileira NB-140/65**. Dissertação – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 151p. 1987.

HULETT, D. Todd. Monte Carlo simulation for integrated cost-schedule risk analysis: concepts, methods, and tools for risk analysis and mitigation. In: **Handbook of research on leveraging risk and uncertainties for effective project management**. IGI Global, p. 29-60. 2017.

JONSSON, J. Construction Site Productivity Measurements - Selection, Application and Evaluation of Methods and Measures, doctoral thesis. (Suécia), Tekniska Hogskolan i Lulea, fev. 1996.

KERZNER, H.; SALADIS, Frank P. **Gerenciamento de projetos orientado pelo valor**. Bookman Editora, 2009.

LAW, A. M. **Simulation, Modeling & Analysis**, 4th Ed. 2007.

LIMA, F.; NAVEIRO, R.M.; LIMA, F. D. G. Custo unitário geométrico: uma proposta de método de estimativa de custos na fase preliminar do projeto de edificações. **III Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído, VI Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção (TIC 2013), Campinas, 2013.**

LIMMER, C. V. **Planejamento, orçamentação e controle de projetos e obras**. Rio de Janeiro: LTC, 1 ed., p. 228, 1997.

LOIZOU, P.; FRENCH, N. **Risk and uncertainty in development: A critical evaluation of using the Monte Carlo simulation method as a decision tool in real estate development projects**. Journal of Property Investment & Finance, v. 30, n. 2, p. 198-210, 2012

LOPES, O. C.; LIBRELOTTO, L. I.; AVILA, A. V. **Orçamento de Obras**. Florianópolis: Universidade do Sul de Santa Catarina, 2003.

LOSSO, I. R. **Utilização das características geométricas da edificação na elaboração de estimativas preliminares de custo: estudo de caso em uma empresa de construção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1995. 146 p.

LUSTOSA, P. R. B.; PONTE, V. M. R.; DOMINAS, W. R. Simulação. **Pesquisa Operacional para decisão em contabilidade e administração**. São Paulo: Atlas, p. 242-284, 2004.

MALETTA, B.; COELHO, F. **Modelos baseados em Simulação de Monte Carlo: Soluções para o cálculo do Value-at. Risk**, v. 63, 2005.

MATTOS A.D. **Como preparar orçamentos de obras 3ªed**, p.328. 2019

MCCAFFER, R.; EDUM-FOTWE, F. T. Managing Intangibles–The Latent Dimension for Competitiveness in Construction. In: **Proceedings of the 3rd International Conference on Construction in the 21st Century. Advancing Engineering, Management and Technology, Athens**. 2005.

MOORE, J.; WEATHERFORD, L.R. **Tomada de decisão em administração com planilhas eletrônicas**. 6ª edição. Porto Alegre: Bookman Companhia Editora, 2006.

MORET, Y.; EINSTEIN, H. Construction cost and duration uncertainty model: Application to high-speed rail line project. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 142, n. 10, p. 05016010, 2016.

NADERPOUR, H.; KHEYRODDIN, A.; MORTAZAVI, S. Risk Assessment in Bridge Construction Projects in Iran Using Monte Carlo Simulation Technique. **Practice Periodical on Structural Design and Construction**, v. 24, n. 4, p. 04019026, 2019.

NAKAMURA. J.2014. REVISTA CONSTRUÇÃO E MERCADO, PINI Edição N.160 novembro/2014 – “**Orçamentos na mira**” p. 40-52.

OLATUNJI, O. A.; ORUNDAMI, A. O.; OGUNDARE, O. Causal relationship between material price fluctuation and project’s outturn costs. **Built Environment Project and Asset Management**, 2018.

OLIVEIRA, M. **Caracterização de prédios habitacionais de Porto Alegre através de variáveis geométricas – uma proposta a partir das técnicas deestimativas preliminares de custo**. Dissertação – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 125p.1990.

Omange, GN e Udegbe, MI (2000), “O envolvimento do governo em habitação” **O Fórum Ambiental da Universidade Federal de Tecnologia de Akure, Akure**, pp. 9-15.

OTERO, J. A. **Análise paramétrica de dados orçamentários para estimativas de custo na construção de edifícios: estudo de caso voltado para a questão da variabilidade.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000. 214p.

OTERO, J. A. **Uso de Modelos Paramétricos em Estimativas de Custo para Construção de Edifícios.** In: **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, 18., Niterói, RJ, 1998.

PARISOTTO, Jules Antonio et al. Análise de estimativas paramétricas para formular um modelo de quantificação de serviços, consumo de mão-de-obra e custos de edificações residenciais: estudo de caso para uma empresa construtora. 2003.

PURNUS, A; BODEA, C.-N. Correlation between time and cost in a quantitative risk analysis of construction projects. **Procedia Engineering**, v. 85, p. 436-445, 2014.

RODRIGUES, E. M.; NUNES, V. R.; ADRIANO, N. A. **A simulação de Monte Carlo como instrumento para a análise econômico-financeira em investimentos de risco** - O caso de uma decisão de investimento na abertura de uma filial para revenda de equipamentos pesados no Estado do Ceará. In: XV Congresso Brasileiro de Custos, Belo Horizonte, 2010. Anais. Belo Horizonte: CBC, 2010.

SERRANO-GOMEZ, L; MUNOZ-HERNANDEZ, J. **Monte Carlo approach to fuzzy AHP risk analysis in renewable energy construction projects.** PloS one, v. 14, n. 6, 2019.

SHAHTAHERI, Maryam; HAAS, Carl T.; SALIMI, Tabassom. A Stochastic Simulation Approach for the Integration of Risk and Uncertainty into Megaproject Cost and Schedule Estimates. In: Construction Research Congress 2016. 2016. p. 607-615.

SLOMAN, J. **WinEcon**. The Economic Journal, v. 105, n. 432, p. 1327-1346, 1995.

SOLANO, R. da S. **Curva ABC de Fornecedores – Uma Contribuição ao Planejamento, Programação, Controle e Gerenciamento de Empreendimentos e Obras**. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, ago.,1995. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

STABILE, M. **Composições Analíticas de Custos**. Rio de Janeiro: Stabile Sistemas, 2006

SUTRISNA, M. et al. Investigating the cost of offsite construction housing in Western Australia. **International Journal of Housing Markets and Analysis**, 2019.

TAS, E.; YAMAN, H. A Building Cost Estimation Model Based on Cost Significant Work Packages. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 12, n. 3, p. 251-263, 2005.

TCPO: **Tabelas de composição de preços para orçamentos**. 13.ed. São Paulo: Pini, 2008.

TISAKA, M. **Orçamento na construção civil: consultoria, projeto e execução**. Editora Pini. São Paulo, 2006.

TITMAN, S.; MARTIN, J. D. **Avaliação de Projetos e Investimentos: Valuation**. Tradução de Heloísa Fontoura. São Paulo: Bookman, 2010.

TRAJANO, L. **Avaliação do ciclo de vida dos produtos derivados do cimento para habitações de interesse social**. 2010. Dissertação (Mestrado). Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade de Pernambuco, 2010.

VANALLE, R. M.; LUCATO, W. C.; VIEIRA J. M.; D SATO, I. **Uso de la simulación Monte Carlo para la toma de decisiones en una línea de montaje de una fábrica.** Información tecnológica, v. 23, n. 4, p. 33-44, 2012.

WINSTON, W. L. **Decision making under uncertainty with RISK Optimizer: a step-by-step guide with Microsoft Excel and Palisade's RISK Optimizer software.** Palisade Corporation, 2000.

YIN, R., **Case Study Research. Design and Methods.** Applied Social Research Methods Series, v. 5. United States, 1994.

ZHANG, R. et al. Synchronicity of global construction cost indexes. **Engineering, Construction and Architectural Management**, 2019.

## ANEXO A

ARTIGOS SELECIONADOS RBS	Este artigo apresenta resultados na construção civil?	Este artigo menciona a variabilidade de custos?	A pesquisa menciona sobre método de Monte Carlo?	O artigo avaliado foca mais edifícios residenciais?	O artigo avaliado mostra resultados obras em São Paulo?
AHIAGA-DAGBUI, D. et al. Spotlight On Construction Cost Overrun Research: Superficial. Replicative And Stagnated, 2015.	x	x			
AMEYAW, Ernest Effah et al. A fuzzy model for evaluating risk impacts on variability between contract sum and final account in government-funded construction projects. Journal of Facilities Management, 2015.	x	x			
ANSAR, Atif et al. Should we build more large dams? The actual costs of hydropower megaproject development. Energy policy, v. 69, p. 43-56, 2014.	x				
ASHWORTH, A.; SKITMORE, R. M. The Effectiveness of Estimating in the Construction Industry. AccuracyEstim, 1983.	x				
BALLESTEROS-PEREZ, Pablo et al. Duration and cost variability of construction activities: An empirical study. Journal of Construction Engineering and Management, v. 146, n. 1, p. 04019093, 2019.	x	x			
BENNET, J.; BARNES, M. Six Factors which influence Bills – Outline of a theory of Measurement. In: Chartered Quantity Surveyor, 1979. p. 53-56.	x				
BHARGAVA, Abhishek et al. Predicting cost escalation pathways and deviation severities of infrastructure projects using risk-based econometric models and Monte Carlo simulation. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, v. 32, n. 8, p. 620-640, 2017.	x		x		
CORRAR, L.J. O modelo econômico da empresa em condições de incerteza – aplicação do Método de simulação de Monte Carlo. Caderno de Estudos nº 8. São Paulo: FIPECAFI, 1993.	x		x		
DAKHLI, Z.; LAFHAJ, Z.; BERNARD, M. Aplicação do lean à fase de licitação na construção civil: a experiência de um empreiteiro francês. Revista Internacional de Lean Six Sigma , 2017.					

DAVEY, Karl. Preventing project cost escalation. Engineering Management Journal, v. 10, n. 4, p. 174-181, 2000.	x			x	
Elinwa, UA e Buba, SA (1993), "fatores de custo de construção na Nigéria", Journal of Engenharia de Construção e Gestão, Vol. 119 n ° 4, pp. 698-713.	x	x		x	
EVANS, J. R.; OLSON, D. L. Introduction to simulation and risk analysis. 2 Ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002.	x	x			
FLYVBJERG, Bent; HOLM, Mette Skanris; BUHL, Søren. Underestimating Costs in Public Works Projects: Error or Lie? Journal of the American Planning Association, vol. 68, no. 3, Summer 2002, pp. 279-295.	x	x			
HAIMES, Y.Y. Risk Analysis, Systems Analysis, and Covey's Seven Habits. Perspectives. Risk Analysis, v. 21, n. 2, p. 217-224, 2001.	x	x			
HULETT, D. Todd. Monte Carlo simulation for integrated cost-schedule risk analysis: concepts, methods, and tools for risk analysis and mitigation. In: Handbook of research on leveraging risk and uncertainties for effective project management. IGI Global, p. 29-60. 2017.					
HALAWA, W. S.; ABDELALIM, A. M. K.; ELRASHED, I. A. Financial evaluation program for construction projects at the pre-investment phase in developing countries: A case study. International Journal of Project Management, v. 31, Issue 6, p. 912-923, 2013.	x	x			
JONSSON, J. Construction Site Productivity Measurements - Selection, Application and Evaluation of Methods and Measures, doctoral thesis. (Suécia), Tekniska Hogskolan i Lulea, fev. 1996.	x	x			
LAW, A. M. Simulation, Modeling & Analysis, 4th Ed. 2007.	x		x		
LOIZOU, P.; FRENCH, N. Risk and uncertainty in development: A critical evaluation of using the Monte Carlo simulation method as a decision tool in real estate development projects. Journal of Property Investment & Finance, v. 30, n. 2, p. 198-210, 2012.	x	x	x		
MALETTA, B.; COELHO, F. Modelos baseados em Simulação de Monte Carlo: Soluções para o cálculo do Value-at. Risk, v. 63, 2005.	x		x		

MCCAFFER, R.; EDUM-FOTWE, F. T. Managing Intangibles–The Latent Dimension for Competitiveness in Construction. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Construction in the 21st Century. Advancing Engineering, Management and Technology, Athens. 2005.	x	x			
MOORE, J.; WEATHERFORD, L.R. Tomada de decisão em administração com planilhas eletrônicas. 6ª edição. Porto Alegre: Bookman Companhia Editora, 2006.	x				
MORET, Yvonne; EINSTEIN, Herbert H. Construction cost and duration uncertainty model: Application to high-speed rail line project. Journal of Construction Engineering and Management, v. 142, n. 10, p. 05016010, 2016.	x	x			
NADERPOUR, H.; KHEYRODDIN, A.; MORTAZAVI, S. Risk Assessment in Bridge Construction Projects in Iran Using Monte Carlo Simulation Technique. Practice Periodical on Structural Design and Construction, v. 24, n. 4, p. 04019026, 2019.	x		x		
OLATUNJI, Oluwole Alfred; ORUNDAMI, Adenike Omolabake; OGUNDARE, Oluwatomi. Causal relationship between material price fluctuation and project's outturn costs. Built Environment Project and Asset Management, 2018.	x	x			
Orange, GN e Udegbe, MI (2000), "O envolvimento do governo em habitação", Em Akinbamijo, OB, Fawehinmi, A., Ogunsemi, DR e Olotuah, AO (Eds), eficaz Habitação na 21st Century Nigéria, O Fórum Ambiental da Universidade Federal de Tecnologia de Akure, Akure, pp. 9-15.	x	x			
PURNUS, Augustin; BODEA, Constanta-Nicoleta. Correlation between time and cost in a quantitative risk analysis of construction projects. Procedia Engineering, v. 85, p. 436-445, 2014.	x	x			
SERRANO-GÓMEZ, L; MUNOZ-HERNANDEZ, J. Monte Carlo approach to fuzzy AHP risk analysis in renewable energy construction projects. PloS one, v. 14, n. 6, 2019.	x		x		
SHAHTAHERI, Maryam; HAAS, Carl T.; SALIMI, Tabassom. A Stochastic Simulation Approach for the Integration of Risk and Uncertainty into Megaproject Cost and Schedule Estimates. In: Construction Research Congress 2016. 2016. p. 607-615.	x	x	x		

SUTRISNA, Monty et al. Investigating the cost of offsite construction housing in Western Australia. International Journal of Housing Markets and Analysis, 2019.	x			x	
TAS, E.; YAMAN, H. A Building Cost Estimation Model Based on Cost Significant Work Packages. Engineering, Construction and Architectural Management, v. 12, n. 3, p. 251-263, 2005.	x				
ZHANG, R. et al. Synchronicity of global construction cost indexes. Engineering, Construction and Architectural Management, 2019.	x				

## ANEXO B

1 – Questionário:

Abaixo questionário enviado ao gestor da área por e-mail. O questionário foi respondido e devolvido juntamente com os dados das três obras:

Gerente/Responsável de Orçamentos

- a) De cada 10 orçamentos, quantos chegam a ser concluídos em cima de projetos executivos finais?

**Resp.: Todos nossos orçamentos são concluídos com base nos projetos executivos.**

- b) Desses mesmos 10 orçamentos, quais são os que chegam a ser concluídos (quer dizer antes do início da obra) em cima de projetos iniciais ou de prefeitura, sem nenhum nível de detalhamento;

**Resp.: Os projetos iniciais e/ou de prefeitura são utilizados como base para estudos de viabilidade técnica dos empreendimentos, entretanto, o orçamento executivo é aprovado com base nos projetos finais.**

- c) Qual a margem de erro aceitável na variação de custo total e por etapa da obra?

**Resp.: Varia de acordo com o empreendimento, localização, tipo de terreno etc., após finalização do orçamento, executamos análise dos valores definidos, e os valores aplicados no mercado (junto a consultoria especializada), e a variação do custo definida através desta análise, de modo geral varia entre -5% e 5% do orçamento executivo.**

- d) Qual disciplina de projeto tem maior variação de preço? E por quê? (Ex de disciplina: estrutura de concreto, fundações, alvenaria etc.)

**Resp.: Fundações e Contenções**

**Instalações Elétricas e Hidráulicas**

- e) Quais disciplinas de projetos são cotadas com fornecedores e quais são estimadas pelo valor de contratação da última obra?

**Resp.: Todas as disciplinas utilizam os dois critérios para balizamento dos custos.**

- f) Com relação a mão de obra, como são apresentados no orçamento? Valores unitários ou empreitadas?

**Resp.: Serviços pertencentes a Curva A do orçamento, como mão de obra civil, instalações, pintura, acabamentos etc., são definidos através de empreitadas.**

**Resp.: Os demais serviços avaliados de acordo com quantidade e fornecedores.**

- g) Quando uma obra tem duração de mais de 12 meses é aplicado algum reajuste de inflação ou índice de reajuste de salários?

**Resp.: Sim, a composição dos salários no orçamento apresenta percentual referente a impostos, incluindo correções salariais.**

- h) Com relação aos materiais e insumos de valores inconstantes como combustível, fretes, materiais importados com cotação em dólar ou outra moeda estrangeira como é feita a projeção de custo para a obra?

**Resp.: Os valores de orçamento (saldos) são corrigidos mensalmente através de índices financeiros como o INCC, visando justamente corrigir tais variações.**

**Resp.: Caso ocorra reajustes de materiais como aço e concreto por parte do mercado, os contratos ativos são aditados após definições internas.**

- i) Qual impacto financeiro da política de projeto sustentável tem no valor total da obra? (Ex. infra para aquecimento solar, reuso de água cinza, etc.).

**Resp.: Nos orçamentos que são contemplados, o percentual de varia entre 1% e 3% do orçamento executivo aproximadamente, de acordo com o porte do empreendimento.**

- j) Compensação ambiental

- Quais medidas de compensação ambiental vocês adotam?

**Resp.: Plantio de espécies**

- Qual o custo total com a compensação ambiental, por m<sup>2</sup> de construção?

**Resp.: Varia de acordo com o empreendimento e condições definidas no Termo de Compromisso Ambiental (TCA).**