

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Instituto de Física e Matemática
Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática



Dissertação

**SIMULAÇÃO COM O MÉTODO MONTE CARLO: UMA FERRAMENTA PARA
ANÁLISE DE RISCO NO GERENCIAMENTO DE PROJETOS**

LUSIANNY PEREIRA HERZOG

Pelotas, 2024

LUSIANNY PEREIRA HERZOG

**SIMULAÇÃO COM O MÉTODO MONTE CARLO: UMA FERRAMENTA PARA
ANÁLISE DE RISCO NO GERENCIAMENTO DE PROJETOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Modelagem Matemática

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Jahnecke Weymar

Pelotas, 2024

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação da Publicação

H582s Herzog, Lusianny Pereira

Simulação com o método Monte Carlo [recurso eletrônico] : uma ferramenta para análise de risco no gerenciamento de projetos / Lusianny Pereira Herzog ; Guilherme Jahnecke Weymar, orientador. — Pelotas, 2023.

62 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática, Instituto de Física e Matemática, Universidade Federal de Pelotas, 2023.

1. Risco. 2. Modelagem. 3. Monte Carlo. 4. Planejamento. I. Weymar, Guilherme Jahnecke, orient. II. Título.

CDD 511.8

**SIMULAÇÃO COM O MÉTODO MONTE CARLO: UMA FERRAMENTA PARA
ANÁLISE DE RISCO NO GERENCIAMENTO DE
PROJETOS**

por

Lusianny Pereira Herzog

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática, PPGMMat, do Instituto de Física e Matemática da Universidade Federal de Pelotas, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de

Mestre em Modelagem Matemática

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Guilherme Jahnecke Weymar (UFPel)

Prof. Dr. Daniela Buske (UFPel)

Prof. Dr. Igor da Cunha Furtado (IFSul)

Prof. Dr. Marcelo Xavier Guterres (ITA)

Pelotas, 22 de dezembro de 2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço à meu companheiro de vida, Everson Gomes, por estar sempre ao meu lado e me dar seu total apoio, sugestões e orientações durante todo o período do mestrado, foi fundamental para eu ter concluído.

À minha irmã, Luíse Herzog, a quem compartilhei todos os momentos desafiadores e me ajudou a ultrapassá-los.

Aos meus pais, por estarem sempre me dando forças e palavras de incentivo.

Aos meus amigos, colegas de trabalho e colegas de mestrado por todo apoio, conversas e companheirismo.

À meu orientador, Guilherme Jahnecke Weymar, por ter topado o desafio de um tema fora de sua área de pesquisa e me guiar em toda a trajetória.

Ao programa de PPGMM e a UFPEL, pela oportunidade de cursar a pós-graduação e adquirir muito conhecimento.

**“Muitos dos fracassos da vida são de pessoas
que não percebem o quão perto eles estavam
do sucesso quando desistiram.”**

— THOMAS EDISON

RESUMO

HERZOG, LUSIANNY PEREIRA. **SIMULAÇÃO COM O MÉTODO MONTE CARLO: UMA FERRAMENTA PARA ANÁLISE DE RISCO NO GERENCIAMENTO DE PROJETOS**. 2024. 62 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) – Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática, Instituto de Física e Matemática, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2024.

O gerenciamento de projetos é um processo complexo e crítico que envolve colaboração, conhecimento técnico e investimentos. Em um ambiente competitivo as organizações buscam constantemente oportunidades de melhoria e reavaliam seus modelos de negócios devido aos desafios que enfrentam. Com isso, o risco em projetos surge da incerteza em relação aos resultados esperados, como prazos e custos. O gerenciamento de riscos visa minimizar esses riscos para garantir que as atividades atendam às necessidades do projeto. A análise de risco é uma ferramenta do gerenciamento de riscos e pode ser qualitativa ou quantitativa, dependendo dos recursos disponíveis. Dentro da análise quantitativa, a Simulação de Monte Carlo (SMC) é um método muito utilizado, especialmente em riscos relacionados aos atrasos no cronograma e estouros de custos. Neste contexto, o presente trabalho se concentra no estudo de caso de uma análise de risco aplicando a SMC no gerenciamento de riscos em cronogramas de projetos. Com isso, os objetivos incluem contextualizar a importância da análise de risco, analisar a fundamentação teórica do método de Monte Carlo realizar uma análise de risco em um projeto e desenvolver um programa de análise de risco em *Python*. Definido os objetivos, a justificativa para este estudo está na necessidade de melhorar a taxa de sucesso de projetos de construção, que muitas vezes ultrapassam prazos e orçamentos, visto que o gerenciamento de riscos é fundamental para lidar com a incerteza inerente a esses projetos. No geral, o estudo contribui para uma abordagem mais eficaz e precisa na gestão de projetos, adaptando-se às demandas do mercado em constante evolução. Os resultados incluem a verificação do modelo para validação do algoritmo e um estudo de caso. Pode-se observar que considerando o somatório das fases onde existe a probabilidade de 5% do projeto finalizar em 590 dias e 95% de finalizar em 669 dias. Além disso, uma análise da convergência garantiu que o número de amostras estava suficiente para o estudo e uma breve comparação das principais distribuições utilizadas na análise de risco. Estas informações permitem às partes interessadas entender melhor como o cronograma pode ser afetado por riscos e tomar medidas para mitigar esses impactos com antecedência.

Palavras-chave: Risco, Monte Carlo, Modelagem, Planejamento.

ABSTRACT

HERZOG, LUSIANNY PEREIRA. **MONTE CARLO SIMULATION: A TOOL FOR RISK ANALYSIS IN PROJECT MANAGEMENT**. 2024. 62 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) – Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática, Instituto de Física e Matemática, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2024.

Project management is a complex and critical process that involves collaboration, technical knowledge, and investments. In a competitive environment, organizations constantly seek improvement opportunities and reevaluate their business models due to the challenges they face. Consequently, project risks arise from uncertainty regarding expected outcomes, such as deadlines and costs. Risk management aims to minimize these risks to ensure that activities meet the project's needs. Risk analysis is a tool of risk management and can be qualitative or quantitative, depending on available resources. Within quantitative analysis, Monte Carlo Simulation (MCS) is a widely used method, especially for risks related to schedule delays and cost overruns. In this context, this work focuses on a case study of risk analysis applying MCS in project schedule risk management. The objectives include contextualizing the importance of risk analysis, analyzing the theoretical foundation of the Monte Carlo method, performing a risk analysis in a project, and developing a risk analysis program in Python. The justification for this study lies in the need to improve the success rate of construction projects, which often exceed deadlines and budgets, as risk management is crucial in dealing with the inherent uncertainty in these projects. Overall, the study contributes to a more effective and precise approach in project management, adapting to the demands of the constantly evolving market. The results include model verification for algorithm validation and a case study. It can be observed that considering the sum of phases where there is a 5% probability of the project ending in 590 days and 95% probability of ending in 669 days. Additionally, a convergence analysis ensured that the number of samples was sufficient for the study and a brief comparison of the main distributions used in risk analysis. This information allows stakeholders to better understand how the schedule can be affected by risks and take measures to mitigate these impacts in advance.

Keywords: Risk, Monte Carlo, Modeling, Planning.

LISTA DE FIGURAS

1	Principais Fontes	16
2	Principais Artigos	17
3	Ciclo de Vida de um Empreendimento	20
4	Grau de Oportunidade X Tempo Decorrido	23
5	Diagrama de Rede pelo Método dos Blocos	26
6	Matriz de Risco	28
7	Processo gerenciamento de riscos	29
8	Ciclo do gerenciamento de riscos	29
9	Processo de Análise Qualitativa de Riscos	32
10	Análise Quantitativa de Riscos	34
11	Processo Análise Quantitativa de Riscos	35
12	Dados do Artigo de Referência	39
13	Cronograma Macro	39
14	Caminho Crítico	40
15	Simulação de Monte Carlo	40
16	Distribuições Beta	42
17	Típica distribuição triangular	43
18	Típica distribuição normal	43
19	Entradas da SMC	46
20	Saída da Simulação de MC	46
21	Resultado por Fase Artigo	47
22	Variáveis Aleatórias Simuladas	48
23	<i>Inputs</i>	49
24	<i>Inputs por Fase</i>	49
25	<i>Output Geral</i>	50
26	Convergência Lei dos Grandes Números	51
27	Histograma - Total	52
28	Distribuição Beta X Distribuição Triangular	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPM	(<i>Critical Path Method</i>) Método do Caminho Crítico
EAP	Estrutura Analítica do Projeto
EF	(<i>Early Finish</i>) Término Mais Ceddo
ES	(<i>Early Start</i>) Começo Mais Ceddo
i.i.d.	Independente e Identicamente Distribuída
II	Início-Início
IPMA	(<i>International Project Management Association</i>) Associação Internacional de Gerenciamento de Projetos
LGN	Lei dos Grandes Números
LF	(<i>Late Finish</i>) Término mais Tarde
LS	(<i>Late Start</i>) Começo Mais Tarde
PMBOK	(<i>Project Management Body of Knowledge</i>) Guia de Conhecimento sobre Gerenciamento de Projetos
PMI	(<i>Project Management Institute</i>) Instituto de Gerenciamento de Projetos
PERT	(<i>Program Evaluation and Review Technique</i>) Técnica de Avaliação e Revisão de Programas
SMC	Simulação de Monte Carlo
ST	(<i>Slack Time</i>) Folga Total
TLC	Teorema do Limite Central
TI	Término-Início
TT	Término-Término
WoS	<i>Web of Science</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivo Geral	13
1.2	Objetivos Específicos	13
1.3	Justificativa	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3	GERENCIAMENTO DE PROJETOS	19
3.1	Gerenciamento de Cronograma	23
3.1.1	PERT - <i>Program Evaluation and Review Technique</i>	24
3.1.2	Método do Caminho Crítico	25
3.2	Gerenciamento de Riscos	26
4	SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO	36
4.1	Metodologia	38
4.1.1	Caminho Crítico	40
4.1.2	Variáveis de Entrada	40
4.1.3	<i>Outputs</i>	43
4.1.4	Simulação em <i>Python</i>	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
5.1	Verificação do Modelo	45
5.2	Estudo de Caso	48
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

A execução de projetos de construção é um processo complexo e único, que envolve a colaboração de várias pessoas necessita de um amplo conhecimento técnico, além de grandes investimentos. Por conta dessa complexidade, o sucesso dos projetos está diretamente ligado à qualidade do planejamento realizado antes de sua execução. As organizações constantemente se deparam com desafios, levando a uma busca cada vez maior por oportunidades de aprimoramento e uma reavaliação dos modelos de negócios. Esses aprimoramentos são estratégicos e necessários para enfrentar desafios que apresentam um alto grau de incerteza.

Nos projetos, o risco surge da incerteza em relação aos resultados esperados. Isso pode incluir questões como o cumprimento dos prazos e o controle dos custos do projeto, os quais podem variar de forma positiva ou negativa devido a diversas razões.

O objetivo do gerenciamento de riscos é garantir que as atividades atendam às necessidades do projeto, por meio da minimização dos riscos (PARKER et al., 2013). A análise de risco é essencial para a gestão de riscos nas organizações e investir como parte do gestão de projetos é uma prática crucial para reduzir o potencial de falhas. No entanto, para permitir que o gerenciamento seja realizado de forma adequada, existem modelos para realizar a análise de risco que podem ser utilizados por profissionais envolvidos no gerenciamento de projetos com o objetivo de facilitar a conquista dos objetivos do projeto.

A análise de riscos pode ser realizada de forma qualitativa ou quantitativa, de acordo com os recursos e necessidades do projeto. A análise de risco qualitativa é subjetiva e envolve um ranqueamento descritivo. É uma análise preliminar feita antes de uma análise mais precisa (ADEDOKUM et al., 2013). A análise quantitativa dos riscos se baseia em princípios matemáticos de probabilidade e pode ser uma tarefa complexa e desafiadora quando realizada manualmente. Essa análise possibilita a exploração de uma ampla variedade de cenários e uma avaliação mais precisa dos impactos das incertezas. Dessa forma, as análises qualitativa e quantitativa se complementam.

Conforme mencionado por Arashpour et al. (2016), a simulação de Monte Carlo (SMC) é um dos métodos quantitativos mais avançados para a realização de análise de

risco, sendo utilizado para uma ampla variedade de problemas de risco, como atrasos no cronograma e estouro de custos. Esse método é baseado em teorias científicas que permitem compreender e comprovar os riscos considerados de maior impacto nos principais objetivos do projeto (AYALA-CRUZ, 2016).

De acordo com Maletta (2005), a simulação é baseada em um modelo que prevê os resultados do projeto juntamente com seus valores, e uma técnica que gera repetidamente cenários em resposta a amostragens aleatórias ou estocásticas de distribuições probabilísticas. O propósito da simulação é determinar a probabilidade de sucesso do planejamento base.

Para realização deste trabalho foi necessário classificar a metodologia de pesquisa. Levando em consideração a forma de abordagem da pesquisa, pode ser dividido em: quantitativa e qualitativa. No presente trabalho foi considerado pesquisa quantitativa que segundo Collis e Hussey (2005) a pesquisa quantitativa é focada na mensuração de fenômenos, envolvendo a coleta e análise de dados numéricos e aplicação de testes estatísticos.

A natureza da pesquisa pode ser básica ou aplicada, neste caso foi utilizada a segunda pois gera conhecimentos para aplicações práticas, com soluções de problemas específicos (GIL, 2002).

Quanto aos objetivos da pesquisa, podem ser classificadas como: explicativa, exploratória ou descritiva. Para o trabalho foi utilizado a pesquisa exploratória que é quando uma pesquisa se encontra na fase preliminar e tem como finalidade proporcionar mais informações sobre o assunto a ser investigado, possibilitando sua definição e seu delineamento. Assume, em geral, as formas de pesquisas bibliográficas e estudos de caso (GIL, 2002).

O procedimento escolhido foi o de estudo de caso, o qual envolve uma análise minuciosa e aprofundada de um ou mais objetos visando alcançar um conhecimento amplo e detalhado sobre os mesmos. Esse método possibilita a descoberta de aspectos que podem não ter sido previstos inicialmente. O estudo de caso consiste na tentativa de esclarecer uma decisão ou um conjunto de decisões, compreendendo seus motivos, implementações e resultados (YIN, 2001)

Neste estudo, busca-se compreender e avaliar a utilização da SMC como um recurso para o gerenciamento de riscos em cronogramas em projetos de construção. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica referente aos temas pertinentes ao trabalho como gerenciamento de projetos, riscos e algumas compreensões sobre probabilidade e estatística.

1.1 Objetivo Geral

Realizar um estudo de caso utilizando o método de Monte Carlo na análise de risco aplicado a um projeto.

1.2 Objetivos Específicos

- Contextualizar a importância da análise de risco no gerenciamento de projetos;
- Analisar a fundamentação teórica do método de Monte Carlo;
- Realizar a análise de risco de um projeto por meio de uma simulação de método de Monte Carlo;
- Desenvolver um programa de análise de risco na linguagem *Python*.

1.3 Justificativa

De acordo com Kerzner (2009), nas décadas de 70 e 80, houve um aumento significativo no uso sistemático de processos de gestão de projetos por parte das empresas, principalmente devido ao crescimento das dimensões e da complexidade que os projetos passaram a apresentar.

Reyck (2005) observou um aumento significativo na adoção de técnicas de gestão de projetos por parte das empresas como um meio de alcançar seus objetivos. Além disso, ele destacou a importância de associações de gestão de projetos, como o PMI® (*Project Management Institute*) e o IPMA (*International Project Management Association*) para procedimentos e assertividades nos projetos como um todo. Esses institutos apresentaram crescimento exponencial em suas filiações. No entanto, esse crescimento não se traduziu em uma melhoria na taxa de sucesso dos projetos. No estudo realizado por Reyck (2005) menos de um terço dos projetos foram considerados bem-sucedidos, com a maioria ultrapassando os custos e os prazos estimados.

No setor de construção, metodologias para a elaboração de cronogramas são determinantes para a conclusão satisfatória dos empreendimentos. Por exemplo, a definição das etapas construtivas e, conseqüentemente, a correta estimativa da duração das atividades requeridas, devem ser consideradas para o cumprimento dos prazos planejados. Entretanto, metodologias consolidadas de gerenciamento de projetos estão sendo muito discutidas (LEAL; OLIVEIRA, 2011).

Furtado e Kovalesky (2016) afirmam que ainda persiste uma notável dificuldade em entregar projetos no prazo estipulado, dentro do orçamento planejado e com a satisfação do cliente. A principal causa dessas falhas como sendo o fato de que todos os projetos estão inerentemente sujeitos a riscos, e a capacidade de gerenciá-los

adequadamente é agora o fator-chave para o sucesso dos projetos. Para esclarecer esse ponto, a seguir, são apresentadas algumas definições conceituais de projeto.

Possuir as condições e capacidade para mitigar a incerteza, ou seja, identificar e avaliar o que pode ocorrer no futuro durante a execução de um projeto e tomar decisões entre diversas alternativas, tornou-se essencial na gestão de projetos contemporânea. O processo que orienta o gestor de projeto através da vasta gama de escolhas envolvidas em projetos é conhecido como gerenciamento de riscos . A relevância do gerenciamento de riscos está intrinsecamente ligada à característica inerente encontrada em todos os projetos, que é a incerteza.

Neste contexto, a importância do conhecimento de ferramentas que auxiliem o gerenciamento de risco e ter o domínio dos métodos de análise de risco justificam a abordagem do tema escolhido para essa pesquisa, uma vez que métodos quantitativos são subutilizados pela complexidade apresentada e por falta de conhecimento dos gestores.

Outro ponto que valida essa abordagem é o custo dos pacotes e softwares existentes no mercado que realizam a análise de risco. Por isso, a pesquisa engloba a elaboração de um algoritmo que, por meio da linguagem *Python*, realiza uma análise de risco para que essa ferramenta corrobore na análise de prazo e finalização da elaboração do cronograma.

Por fim, o estudo auxilia no entendimento de procedimentos em gerenciamento de riscos na construção utilizando a SMC. Isso representa um avanço significativo na busca por abordagens mais eficazes e precisas na gestão de projetos na construção, adaptando-se às demandas do mercado em constante evolução.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O volume de publicações acadêmicas está aumentando rapidamente, tornando-se cada vez mais desafiador acompanhar todas elas. Consequentemente, as revisões de literatura estão desempenhando um papel fundamental na síntese das descobertas de estudos passados. Elas são essenciais para aproveitar a base de conhecimento existente, avançar em áreas de pesquisa e oferecer *insights* fundamentados na prática, contribuindo assim para o desenvolvimento e manutenção do julgamento profissional e da expertise (ARIA; CUCCURULLO, 2017).

Diversos métodos de revisão da literatura são empregados para compreender e organizar descobertas anteriores. Entre esses métodos, a revisão bibliométrica se destaca como uma abordagem com o potencial de introduzir um processo de revisão sistemática, transparente e reproduzível. A bibliometria oferece análises objetivas e confiáveis. Diante do volume de novas informações, desenvolvimentos conceituais e dados, a bibliometria se torna particularmente valiosa ao proporcionar uma análise estruturada de uma vasta quantidade de informações. Isso permite a inferência de tendências ao longo do tempo, a identificação de temas pesquisados, a identificação de acadêmicos e instituições mais citados e a apresentação de uma visão abrangente da pesquisa existente (DERVIS, 2019).

Em resumo, a análise bibliométrica desempenha um papel fundamental em desvendar e catalogar o conhecimento científico acumulado e as nuances evolutivas em áreas já consolidadas. Ela proporciona uma compreensão rigorosa de volumes substanciais de dados não estruturados. Portanto, estudos bibliométricos bem conduzidos estabelecem bases sólidas para inovar de maneiras significativas em um campo, permitindo que os acadêmicos: adquiram uma visão abrangente e completa, identifiquem lacunas no conhecimento, concebam novas ideias de pesquisa, definam com precisão suas contribuições planejadas para o campo.

A análise bibliométrica pode ser realizada com diferentes ferramentas, para essa análise utilizou-se a biblioteca Bibliometrix presente no RStudio que disponibiliza um conjunto de ferramentas para conduzir pesquisas quantitativas. Essa biblioteca foi desenvolvida na linguagem R em um ambiente e ecossistema de código aberto. O

R destaca-se pela presença de algoritmos estatísticos robustos e eficazes, acesso a rotinas numéricas de alta qualidade e ferramentas integradas de visualização de dados.

Para realizar a revisão bibliométrica proposta, utilizou-se o portal periódicos CAPES através do acesso remoto pelo CAFe CAPES, onde foi possível acessar a plataforma *Web of Science* (WoS), que possui uma ampla gama de áreas de conhecimento e produção científica com reconhecimento internacional, e extrair o conjunto de dados a ser analisado.

Inicialmente foram definidas as *strings* para a busca dos trabalhos a serem analisados. Neste momento, foi considerado o objetivo da pesquisa que propõe estudar o método de Monte Carlo aplicado à análise de risco em projetos industriais. No entanto, os tópicos Monte Carlo e Análise de risco, individualmente, possuem uma vasta abrangência em diferentes contextos. Portanto, para direcionar a busca a trabalho próximos ao proposto nesta dissertação, optou-se pelos seguintes parâmetros de busca: *strings*: “*risk analysis*’ and “*schedule*’ and “*Monte Carlo*’. Todos com o campo *All Fields* marcado; Período: 2013 a 2023. Após a realização da busca, foi extraído o arquivo no formato BibTex que posteriormente foi analisado no RStudio.

Para realizar a revisão bibliométrica com a linguagem R, usou-se o RStudio versão 4.3.1. Primeiramente, roda-se a biblioteca *bibliometrix*, previamente instalada. Em seguida, abre-se *biblioshiny*, um aplicativo que fornece uma interface web para *bibliometrix*.

A utilização de um filtro específico permitiu observar que as principais fontes estão fortemente relacionadas com a área de engenharia, Figura 1, destacando assim a alta qualidade do filtro.

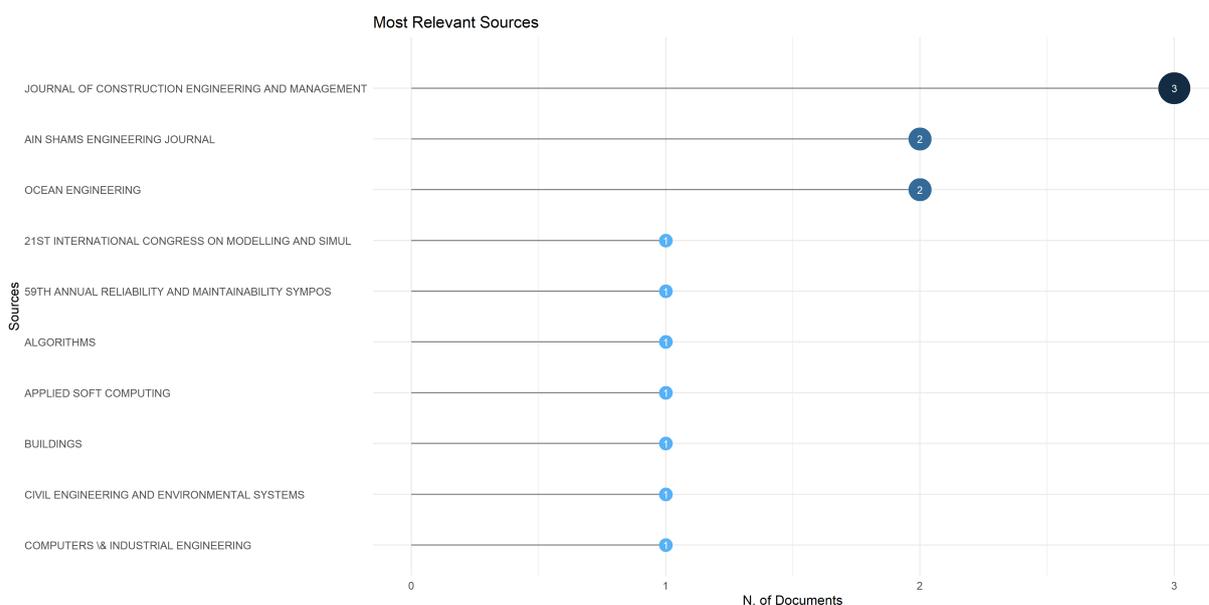


Figura 1: Principais Fontes
Fonte: Autora

A Figura 2 apresenta os documentos mais relevantes dentro do tema. O primeiro artigo, Choudhry (2014), apresenta uma análise de risco de custo e cronograma de projetos de construção de pontes no Paquistão. O estudo identificou e classificou os riscos críticos que afetam o desempenho dos projetos de construção de pontes e avaliou o efeito desses riscos nos custos e prazos do projeto. Além disso, o estudo apresenta diretrizes para a gestão de riscos em projetos de construção de pontes. A pesquisa foi realizada de forma sistemática, incluindo uma revisão da literatura que abrangeu periódicos acadêmicos, livros e outros materiais publicados. O estudo também incluiu um estudo de caso que utilizou a SMC para indicar que a análise de risco pode ajudar os gerentes de projeto a gerenciar os riscos de custo e cronograma.

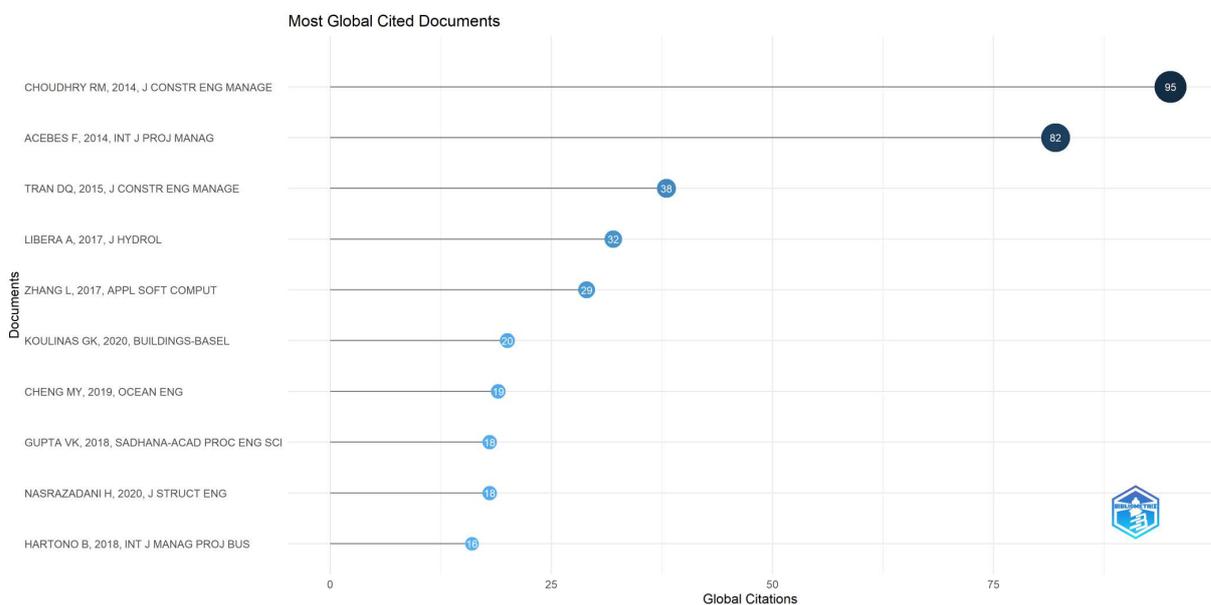


Figura 2: Principais Artigos
Fonte: Autora

Já o segundo artigo, Acebes (2013), apresenta uma metodologia para o controle de projetos sob incerteza, que integra a metodologia do valor agregado com a análise de risco do projeto. A metodologia proposta ajuda os gerentes de projeto a entender se as variações do projeto em relação aos valores planejados estão dentro das variações “esperadas” derivadas da variabilidade planejada da atividade. A metodologia utiliza a SMC para gerar um “universo” de possíveis projetos e organiza as informações para torná-las coerentes. O artigo apresenta três estudos de caso para ilustrar a metodologia e conclui resumindo as principais contribuições e requisitos da abordagem.

O terceiro mais relevante, Tran (2015), apresenta um modelo de seleção de entrega de projetos baseado em riscos para o design e construção de rodovias. O modelo é uma metodologia que avalia e quantifica as diferenças potenciais no custo do projeto atribuíveis à seleção de um método de entrega de projeto. O modelo utiliza técnicas de análise de impacto cruzado e inferências probabilísticas para capturar incertezas

e interações entre variáveis de entrada e decisão. O objetivo do modelo é ajudar os tomadores de decisão a escolher o melhor método de entrega de projeto para seus projetos.

Analisando o banco de dados foi encontrado alguns trabalhos que estavam diretamente relacionado com o proposto como por exemplo o trabalho de Rodrigues e Sobral (2023), onde apresentam a aplicação da SMC como uma ferramenta para o gerenciamento de cronograma em projetos de recertificação de equipamentos de superfície para perfuração de poços de petróleo *offshore*. A empresa estudada enfrenta um problema de alta taxa de atraso em projetos, o que traz prejuízos financeiros e insatisfação do cliente final. A SMC é apresentada como uma técnica estruturada de solução para prever e simular com maior acuracidade a data real de conclusão de projetos, a fim de reduzir os impactos negativos causados por atrasos. O artigo discute as principais incertezas e riscos envolvidos em projetos desse tipo e como a SMC pode ajudar a tomar decisões mais informadas.

Outro artigo, de Eshtehardian e Khodaverdi (2016), propõe uma nova abordagem para análise de risco de cronograma para projetos de construção metropolitana usando uma Rede Multiplicativamente Conectada. Os autores destacam os desafios únicos enfrentados por esses tipos de projetos e discutem a importância de modelar mecanismos interacionais entre variáveis para melhorar a precisão dos modelos de risco. A abordagem proposta foi testada usando a SMC e mostrou resultados promissores. O artigo conclui enfatizando a necessidade de mais pesquisas nessa área para melhorar a eficiência e eficácia geral dos projetos de construção metropolitana.

Uma abordagem interessante realizada por Fitzsimmons et al. (2021) onde apresenta uma forma híbrida de *Machine Learning* que combina técnicas de análise de risco convencionais com algoritmos de *Machine Learning* para melhorar a precisão da análise de risco em cronogramas de construção. O estudo utiliza dados de cronogramas de construção reais para treinar o modelo de *Machine Learning* e avaliar sua eficácia. O artigo também discute as limitações do estudo, incluindo a necessidade de considerar aspectos de planejamento inicial e a dificuldade de rastrear variações no cronograma durante a coleta de dados. No geral, o artigo fornece informações valiosas para profissionais da indústria da construção interessados em melhorar a precisão da análise de risco em cronogramas de construção.

Esses e outros artigos encontrados nessa busca foram explorados nos próximos capítulos, onde cada assunto foi esclarecido e debatido em particular.

3 GERENCIAMENTO DE PROJETOS

Para entender o que é gerenciamento de projetos é necessário ter a definição de projeto. Projeto é compreendido como um esforço temporário para criar um produto, serviço ou resultado único (PMBOK, 2021). Por ser um esforço temporário, um projeto deve ter um início e fim determinado e, como produz um resultado único, é inédito. Xavier et al. (2014) citam alguns exemplos de projetos:

- lançamento de um novo produto ou serviço;
- desenvolvimento de um software;
- publicação de um livro;
- planejamento e implementação de uma mudança organizacional;
- construção de uma indústria.

Os exemplos apresentados indicam a existência de uma grande diversidade de projetos, que podem variar em duração e custo, indo da construção de uma simples casa até a construção de uma plataforma de petróleo. Apesar disso, cada projeto possui algumas características comuns, conforme Xavier et al. (2014):

- são empreendimentos exclusivos;
- compõe-se de atividades interdependentes;
- criam entregas com qualidade;
- envolvem múltiplos recursos;
- são diferentes dos produtos que produzem.

Para um esforço ser considerado um projeto, ele precisa ser temporário, isto é, precisa ter definidas as datas para seu início e seu término. Se existe um esforço, mas sem uma data definida para seu término, não pode ser considerado um projeto ou, pelo

menos, não será possível utilizar a maioria das técnicas específicas de gerenciamento de projetos (FONTES, 2012).

As empresas aplicam um planejamento estratégico com o intuito de aprimorar sua presença no mercado, fortalecer o reconhecimento da marca, impulsionar os lucros e alcançar outros objetivos. Essa é uma abordagem corporativa que envolve a análise do ambiente empresarial, identificando oportunidades, ameaças, pontos positivos e negativos, visando a transição do estado atual da empresa (missão) para o estado desejado (visão) (MENDES; VALLE; FABRA, 2009).

Dessa forma, pode-se evidenciar que os projetos são desenvolvidos como uma ferramenta para auxiliar a empresa a alcançar os objetivos estabelecidos no planejamento estratégico. No entanto, se os projetos não forem executados de forma eficiente, as empresas não conseguirão atingir seus objetivos estratégicos. É nesse contexto que entra o gerenciamento de projetos, que, de acordo com Xavier et al. (2014), é um campo de conhecimento que trata do planejamento, monitoramento e controle de empreendimentos exclusivos. Além dessa definição, o principal objetivo do gestão de projetos é assegurar a entrega de projetos individuais que cumpram as especificações de prazo, escopo, custo e qualidade acordadas com o cliente (MENDES; VALLE; FABRA, 2009).

Mattos (2010) compreende que o ciclo de vida do empreendimento pode ser dividido em quatro estágios, conforme ilustrado na Figura 3. A curva demonstra a evolução que ocorre nos projetos, começando de forma gradual na fase inicial, acelerando durante a execução e, por fim, desacelerando novamente na fase final.

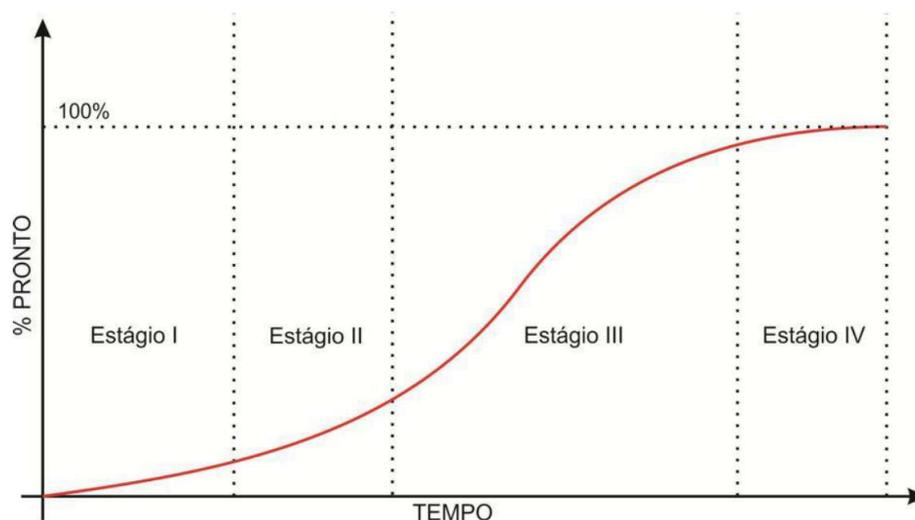


Figura 3: Ciclo de Vida de um Empreendimento
Fonte: Mattos (2010)

O Estágio I corresponde à fase de concepção e viabilidade do empreendimento, que engloba a definição do escopo, a formulação do projeto, a estimativa de custos,

o estudo de viabilidade econômica, a identificação da fonte de financiamento e o desenvolvimento do projeto básico.

O Estágio II abrange o detalhamento do projeto e o planejamento, incluindo o orçamento detalhado, o planejamento das atividades e a elaboração do projeto executivo.

O Estágio III do ciclo de vida compreende a execução da obra, envolvendo a realização dos serviços no campo, a montagem mecânica, o controle da qualidade, a administração contratual e a fiscalização dos serviços.

Por fim, o Estágio IV engloba a finalização da obra, contemplando o comissionamento, a inspeção final, a transferência de responsabilidades, a liberação de retenções contratuais, a resolução das últimas pendências e a emissão do termo de recebimento.

Os projetos são administrados por restrições relacionadas a prazos, recursos e qualidade. Essas características são resumidas ao afirmar que os projetos consistem em atividades inter-relacionadas, que resultam em entregas de qualidade aprovada e envolvem a utilização de múltiplos recursos (VANHOUCKE, 2014).

Para o PMBOK (2021), gerenciamento de projetos “é a aplicação do conhecimento, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto para atender aos seus requisitos”. É executado através da integração de dezenas de processos, agrupados nos grupos:

- Iniciação: define um novo projeto ou uma nova fase de um projeto existente;
- Planejamento: definição do escopo do projeto, refinamento dos objetivos e definição de como alcançar os objetivos;
- Execução: execução do trabalho conforme o planejado;
- Monitoramento e controle: acompanha, analisa e controla o progresso e desempenho do projeto;
- Encerramento: finaliza as atividades com o objetivo de encerrar o projeto ou uma fase.

Além dos grupos de processos, os processos de gerenciamento de projetos são organizados em dez áreas de conhecimento, que “representam um conjunto completo de conceitos, termos e atividades que compõem um campo profissional ou uma área de especialização”, são eles (PMBOK, 2021):

- Gerenciamento da integração: identificar, definir, combinar, unificar e coordenar os vários processos e atividades dentro dos grupos de processos de gerenciamento do projeto.

- Gerenciamento do escopo: assegurar que o projeto inclui todo o trabalho necessário, e apenas o necessário, para terminar o projeto com sucesso.
- Gerenciamento do tempo: gerenciar o término pontual do projeto.
- Gerenciamento dos custos: planejar, estimar, financiar, gerenciar e controlar os custos, de modo que o projeto possa ser terminado dentro do orçamento aprovado.
- Gerenciamento da qualidade: determinar as políticas de qualidade, os objetivos e as responsabilidades, de modo que o projeto satisfaça às necessidades para as quais foi empreendido.
- Gerenciamento dos recursos humanos: inclui os processos que organizam, gerenciam e guiam a equipe do projeto.
- Gerenciamento das comunicações: assegurar que as informações do projeto sejam planejadas e distribuídas de maneira oportuna e apropriada.
- Gerenciamento dos riscos: aumentar a probabilidade e o impacto dos eventos positivos e reduzir a probabilidade e o impacto dos eventos negativos no projeto.
- Gerenciamento das aquisições: comprar ou adquirir produtos, serviços ou resultados externos à equipe do projeto.
- Gerenciamento das partes interessadas: identificar todas as pessoas, grupos ou organizações que podem impactar ou serem impactados pelo projeto, analisar as expectativas e seu impacto no projeto, e desenvolver estratégias de gerenciamento apropriadas para o engajamento eficaz.

Pode-se observar que os processos do gerenciamento de projeto são divididos em grupos de processos e também em área de conhecimento, sendo que cada uma trata de um determinado tema no projeto.

O processo de projeto é uma das etapas integrantes do plano financeiro de um empreendimento de construção (ALMEIDA; MOTA, 2008). O projeto pode ser descrito como um processo que, com base nos dados de entrada (as necessidades dos clientes), tem como objetivo final apresentar um produto que ofereça soluções para essas necessidades (DURANTE et al., 2015).

Dentro desse contexto, a etapa de projetos representa o primeiro passo de qualquer empreendimento, exercendo uma influência significativa sobre os processos construtivos subsequentes e o produto final. Essa fase é considerada uma das mais importantes, uma vez que é nela que o produto é concebido, exigindo a identificação e

a tradução adequada de todos os requisitos, necessidades e expectativas do cliente para a execução adequada (MANETI; MARCHIORI; CORRÊA, 2020).

Mapear as expectativas e requisitos das partes envolvidas e/ou afetadas pode ser uma tarefa complexa de gerenciamento, pois frequentemente elas possuem objetivos diferentes e, às vezes, conflitantes. Conforme o projeto se desenvolve, o poder de influenciar a sua modelagem diminui à medida que o conceito se solidifica. No entanto, mudanças conceituais no início do projeto têm um impacto relativamente baixo nos custos de realização, mas esse impacto aumenta ao longo do desenvolvimento, como ilustrado na Figura 4 (YOUNG, 2009). Portanto, é crucial mapear as expectativas de todos os interessados (*stakeholders*) o mais cedo possível (FONTES, 2012).

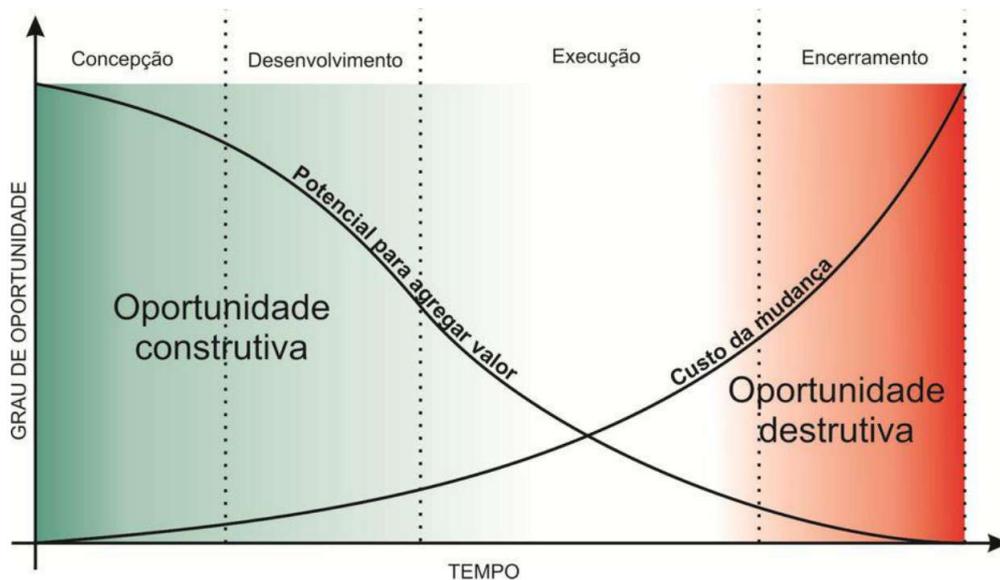


Figura 4: Grau de Oportunidade X Tempo Decorrido
Fonte: Young (2009)

Por esse motivo, um ponto importante que deve ser levado em consideração são os riscos, que podem estar relacionados a alterações não previstas nos projetos tendo potencial de resultar na inclusão de um aumento de preço nos contratos, o que gera uma situação problemática para ambas as partes envolvidas no negócio. Na perspectiva do cliente, o construtor pode se comportar de maneira oportunista. Por outro lado, do ponto de vista do construtor, o acréscimo acordado pode não cobrir efetivamente os custos das mudanças, o que aumenta o risco de insucesso do negócio (KOSKELA, 2000).

3.1 Gerenciamento de Cronograma

O gerenciamento do cronograma do projeto abrange os procedimentos necessários para garantir o cumprimento do prazo estabelecido para a conclusão do projeto. O gerenciamento do tempo engloba desde a definição dos recursos por atividade, estimativa

de duração e montagem, até o controle do cronograma. Conforme (PMBOK, 2021) são apresentados os principais processos do Gerenciamento do Cronograma do Projeto:

- Planejamento do Gerenciamento do Cronograma: trata-se do processo de estabelecer políticas, procedimentos e documentação para o planejamento, desenvolvimento, gerenciamento, execução e controle do cronograma do projeto.
- Definição das Atividades: consiste no processo de identificar e documentar as ações específicas a serem executadas para produzir as entregas do projeto.
- Sequenciamento das Atividades: é o processo de identificar e documentar as relações entre as atividades do projeto.
- Estimativa das Durações das Atividades: envolve o processo de estimar a quantidade de períodos de trabalho necessários para concluir atividades individuais com os recursos estimados.
- Desenvolvimento do Cronograma: trata-se do processo de analisar sequências de atividades, durações, requisitos de recursos e restrições de cronograma, a fim de criar o modelo de cronograma do projeto para execução, monitoramento e controle.
- Controle do Cronograma: consiste no processo de monitorar o status do projeto para atualizar o cronograma do projeto e gerenciar mudanças na linha de base do mesmo.

3.1.1 PERT - *Program Evaluation and Review Technique*

O método PERT (*Program Evaluation and Review Technique*), também conhecido como Técnica de Avaliação e Revisão de Programas com valor comprovado no gerenciamento de projetos complexos. Avalia a duração de cada atividade como uma variável aleatória associada a uma distribuição de probabilidade. Seu objetivo é tornar o prazo estimado para a execução das atividades mais eficiente, de modo a evitar atrasos no cronograma (RENATA, 2016).

A determinação dos parâmetros de probabilidade é realizada utilizando três estimativas diferentes para a duração de tarefas. PERT assume que a duração da atividade segue a distribuição Beta de modo que as estimativas são: (m): Estimativa mais provável para a duração de uma atividade; (o): Estimativa otimista sobre a duração de uma atividade; (p): Estimativa pessimista acerca da duração de uma atividade. Essas três estimativas de tempo são consideradas para criar uma distribuição triangular de probabilidade. Após estimar as possíveis durações do projeto, é calculada a média ponderada do tempo das atividades utilizando a equação (1).

$$\mu = \frac{o + 4m + p}{6} \quad (1)$$

As equações para o cálculo da variância e do desvio padrão são apresentados nas equações (2) e (3) respectivamente.

$$\sigma^2 = \frac{(p - o)^2}{36} \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{(p - o)}{6} \quad (3)$$

Conforme destacado por Furtado e Kovalesky (2016), a rede PERT é uma abordagem que define as atividades, eventos, atributos, caminhos e caminhos críticos, levando em consideração a estimativa probabilística das durações das atividades. Isso torna a rede PERT aplicável a projetos de engenharia que estão sujeitos a variações de prazo. As durações de cada atividade são feitas em três cenários distintos: Estimativa Otimista: cenário em que as condições são favoráveis a realização, isto é, não há falta de recursos humanos e material. Dessa forma, a atividade é executada em tempo mínimo. Estimativa Pessimista: cenário onde acontece diversos obstáculos e a atividade é executada em tempo máximo. Estimativa Realista/mais provável: cenário ideal, isto é, a atividade é executada em tempo normal e pode-se chegar a esse cenário a partir da execução da mesma atividade diversas vezes.

3.1.2 Método do Caminho Crítico

O método do caminho crítico ou *Critical Path Method* (CPM) é uma ferramenta fundamental para a gestão de projetos. O cronograma representa a estratégia do projeto. As atividades são conectadas por relacionamentos (término-início (TI), início-início (II), término-término (TT)) mostrando como o trabalho está planejado. Sequências de atividades predecessoras e sucessoras constituem “caminho” através da rede programada. Quando dois ou mais caminhos devem ser feitos simultaneamente, eles são descritos como caminhos paralelos (HULETT, 1996).

O CPM calcula a duração mais curta do projeto e a data de conclusão a partir do caminho mais longo através da rede. O caminho mais longo é chamado de caminho crítico, que tem a menor folga total, geralmente zero, conforme Figura 5, onde qualquer atraso no caminho crítico irá atrasar o projeto. Por outro lado, o CPM mostra que caminhos que não são críticos podem ser atrasados ou prolongados, se tiverem flexibilidade de programação suficiente, sem necessariamente atrasar o projeto. O CPM para cronogramas de obras de construção é tradicional e bem aceito e é essencial para desenvolver a lógica do trabalho do projeto e para gerenciar as atividades diárias (PMBOK, 2021).

As datas resultantes de início e término mais cedo e início e término mais tarde não

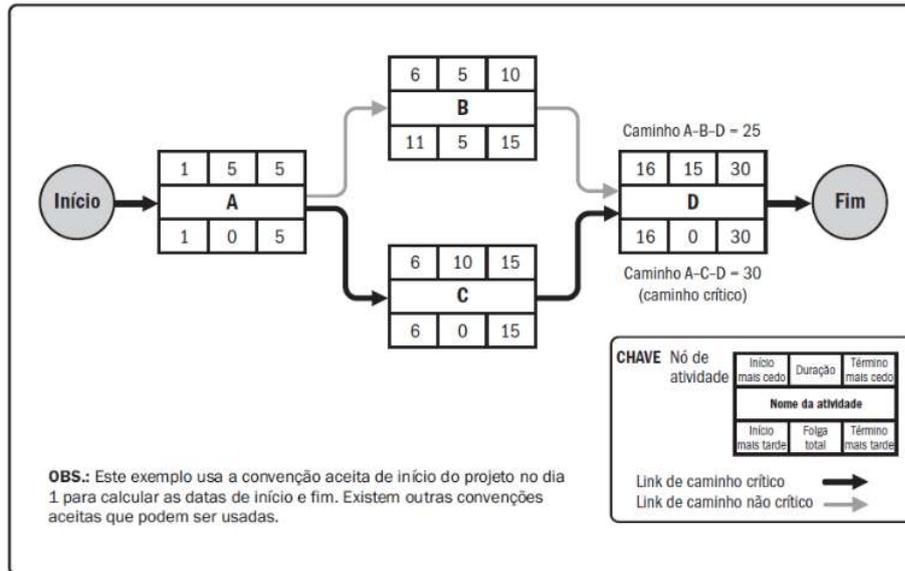


Figura 5: Diagrama de Rede pelo Método dos Blocos
 Fonte: PMBOK (2021)

são necessariamente o cronograma do projeto, mas sim uma indicação dos períodos de tempo dentro dos quais a atividade poderia ser executada.

3.2 Gerenciamento de Riscos

Assim como em qualquer empreendimento, o investimento em construção apresenta riscos significativos. No entanto, esses riscos são ampliados devido à complexidade das partes envolvidas, incluindo proprietários, designers, empreiteiros, subempreiteiros e fornecedores. Os riscos do projeto podem ser definidos como eventos ou condições incertas que têm o potencial de impactar positivamente ou negativamente pelo menos um dos objetivos do projeto, como tempo, custo, escopo ou qualidade (HALAWA; ABDELALIM; ELRASHED, 2012).

Segundo Hopkinson (2011), o risco é uma presença constante ao longo de um projeto de construção, representando a possibilidade de uma perda potencial decorrente de um incidente futuro.

Um risco é um evento ou condição incerta que, se ocorrer, pode ter um efeito positivo ou negativo em um ou mais objetivos. Os riscos identificados podem ou não se materializar em um projeto. As equipes de projeto se esforçam para identificar e avaliar os riscos conhecidos e emergentes, tanto internos quanto externos ao projeto, ao longo do ciclo de vida (PMBOK, 2021).

A presença do risco pode ser subestimada antes de sua ocorrência e depois superestimada. É importante reconhecer que o risco é um evento que ainda não ocorreu, mas que deve ser gerenciado considerando suas causas, convertendo as incertezas em riscos tangíveis que podem ser descritos e mensurados. Essa distinção

é essencial, uma vez que, se o evento já tiver ocorrido, não se trata mais de um risco, mas sim de um problema com uma certeza definida (ARAUJO, 2012).

As equipes de projeto buscam maximizar os riscos positivos (oportunidades) e diminuir a exposição aos riscos negativos (ameaças). Ameaças podem resultar em problemas como atraso, estouro de custo, falha técnica, queda de desempenho ou perda de reputação. As oportunidades podem levar a benefícios como redução de tempo e custo, melhor desempenho, maior participação no mercado ou melhor reputação (CAVALCANTE, 2019).

É necessário também monitorar o risco geral do projeto, que é o efeito da incerteza no projeto como um todo. O risco geral surge de todas as fontes de incerteza, incluindo riscos individuais, e representa a exposição das partes interessadas às implicações das variações no resultado do projeto, tanto positivas quanto negativas. O gerenciamento do risco geral do projeto visa manter a exposição ao risco do projeto dentro de uma faixa aceitável. As estratégias de gerenciamento incluem a redução dos condutores de ameaças, a promoção dos condutores de oportunidades e a maximização da probabilidade de atingir os objetivos gerais do projeto (SOUZA PINTO, 2017).

Todo risco se caracteriza por três fatores: evento, probabilidade de ocorrência do evento e a consequência ou efeito (PMBOK, 2021). Com base no exposto, é necessário estabelecer uma comparação entre risco e incerteza. O risco é definido como a probabilidade de ocorrência de um evento, podendo ser quantificado por meio de técnicas estatísticas. Por outro lado, a incerteza representa a dúvida em relação a qual evento específico pode representar uma possibilidade de perigo. Nesse sentido, o risco está associado à identificação das probabilidades de ocorrência de um evento e seus respectivos impactos em um projeto. Em outras palavras, o risco é um evento que pode resultar em desvios em relação ao planejamento original do projeto (SOUZA, 2011).

Compreender os riscos associados a um orçamento envolve a conscientização dos potenciais efeitos negativos decorrentes das variações presentes no orçamento estimado. Conforme destacado por Mendes (2011), no setor da construção, existe um risco inerente ao negócio, que está relacionado à natureza e ao comportamento ao longo do tempo, podendo impactar a lucratividade dos empreendimentos. Esse comportamento pode variar devido a alterações em fatores econômicos, geográficos, populacionais e políticos.

Existem diversas formas para representação dos riscos, desde matrizes com classificações de categorias até métodos quantitativos como árvore de falha e eventos, estimação de distribuições de probabilidade e modelos estatísticos. Quando o risco é avaliado ao longo do tempo, adequadamente podem ser tomadas medidas corretivas para melhorar os aspectos mais fracos de gerenciamento do risco que aumentarão os benefícios para a empresa (POUDEL, 2021).

De acordo com Dziadosz e Rejment (2015), as principais ferramentas utilizadas para identificar os fatores de risco são o *brainstorming*, o Método Delphi, as listas de verificação, a avaliação de especialistas, a auditoria interna e as revisões periódicas de documentos em uma empresa. Uma abordagem interessante para visualizar os fatores de risco em um projeto de construção é a utilização de uma “matriz de risco”. Essa matriz é criada com base no método mais popular de avaliação de risco, que combina a probabilidade de ocorrência com a extensão da perda, expressa de acordo com a escala adotada como mostra a Figura 6.

		Impact					
		1	2	3	4	5	
		0-50 tys.	50 tys.-500 tys.	500 tys.-2 mln	2 mln-5 mln	5 mln-20 mln	
Probability	1	0-5%	Low	Low	Low	Medium	High
	2	5-40%	Low	Low	Medium	Medium	High
	3	40-70%	Low	Low	Medium	High	High
	4	70-80%	Low	Medium	Medium	High	High
	5	80-100%	Low	Medium	High	High	High

Figura 6: Matriz de Risco
Fonte: Dziadosz e Rejment (2015)

Por ser um resumo do controle de riscos do projeto, a matriz de risco é ideal para identificação e avaliação do risco. Além da facilidade para analisar, interpretar e implementar os resultados.

Segundo Silva et al. (2010), o gerenciamento de riscos concentra seus principais esforços na fase de planejamento em comparação às etapas de controle, uma vez que a execução do projeto se torna prioritária. Caso não sejam necessárias ações corretivas, a equipe responsável pelo projeto controla os riscos por meio de relatórios periódicos e comunicação informal. Nesse contexto, a gestão de riscos assegura que os riscos sejam mantidos em um nível aceitável, evitando quaisquer impactos graves ao público e ao meio ambiente, além de auxiliar na seleção de alternativas viáveis (ALAVI; NADIR, 2020).

A gestão de riscos é um assunto amplamente estudado no campo da gestão de projetos, e seu gerenciamento é um aspecto crucial para o sucesso dos projetos nas empresas (EIRAS et al., 2017). Além de evitar perdas, a gestão de riscos auxilia a organização a obter benefícios adicionais, maximizando os ganhos do negócio (WU et al., 2021).

O PMBOK (2021) ilustra na Figura 7 uma estrutura que engloba e orienta as

atividades necessárias para a sistematização do gerenciamento de riscos .



Figura 7: Processo gerenciamento de riscos
Fonte: Adaptado de PMBOK (2021)

O gerenciamento de riscos é considerado uma parte integrante das operações empresariais, direcionando o foco para o futuro, onde surgem diversas incertezas (PEDROSO, 2007). Ao examinar esses conceitos, fica evidente que o gerenciamento de riscos auxilia no processo de tomada de decisões, fornecendo suporte para profissionais lidarem com cenários cada vez mais complexos, nos quais decisões equivocadas podem acarretar consequências graves (SMITH; MERRITT, 2002).

Uma característica da gestão de riscos é que os processos podem ser executados separadamente, indicando um nível de maturidade que varia de acordo com as necessidades da organização que o implementa. No entanto, a utilização completa desses processos sistematiza a gestão de riscos do projeto Figura 8 , resultando em uma análise mais robusta (JIA et al., 2013).

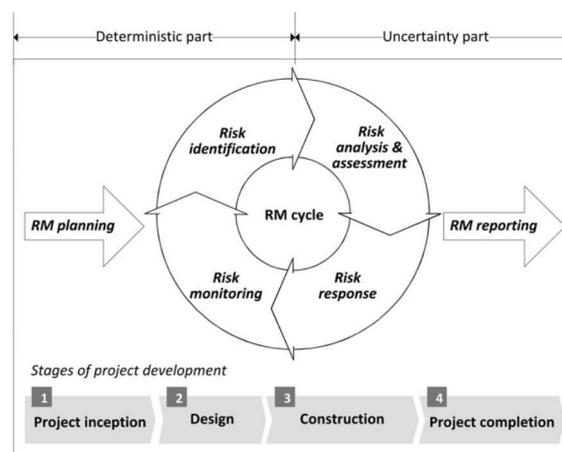


Figura 8: Ciclo do gerenciamento de riscos
Fonte: Jia et al. (2013)

Nesse sentido, os processos de gerenciamento são desenvolvidos para identificar

os riscos e quantificar suas consequências com base no impacto. Esses processos são compostos pelas seguintes etapas: planejar o GR, identificar os riscos, realizar análise qualitativa dos riscos, realizar a análise quantitativa dos riscos, planejar as respostas aos riscos e, por fim, controlar os riscos (PEDROSO, 2007).

Como o risco é caracterizado por um problema que ainda não ocorreu, ele pode ser gerenciado. Os eventos que certamente irão ocorrer não são considerados riscos, mas sim problemas. Durante o processo de identificação de riscos, é bastante comum que uma grande quantidade de problemas seja confundida e identificada como riscos. Isso pode gerar confusão e dificuldades, uma vez que os problemas precisam ser resolvidos, enquanto os riscos podem ser gerenciados através da atuação nas suas causas (PEDROSO, 2007).

De acordo com Smith e Merritt (2002), no processo de identificação dos eventos de risco, os especialistas devem se concentrar nos seguintes aspectos:

- Descrição sucinta e clara dos riscos: É importante fornecer uma descrição concisa e precisa dos riscos identificados, de modo a facilitar o entendimento e a comunicação sobre eles.
- Forma de mensuração: É necessário estabelecer uma forma de mensurar os riscos identificados, seja através de indicadores quantitativos ou qualitativos, para que seja possível avaliar sua magnitude e impacto potencial.
- Identificação das consequências: Deve-se identificar e descrever as consequências associadas a cada risco, considerando os possíveis impactos que podem ocorrer caso o risco se concretize.
- Quantificação das consequências: É importante certificar-se de que as consequências dos riscos possam ser quantificadas, ou seja, que seja possível atribuir valores ou estimativas numéricas para avaliar seu impacto financeiro, temporal ou outros.
- Identificação da frequência de ocorrência: Deve-se identificar a frequência com que o risco pode ocorrer, especificando períodos de tempo ou datas em que sua ocorrência é mais provável.
- Descrição das causas: É fundamental descrever todas as possíveis causas que podem desencadear o risco, identificando os fatores que contribuem para sua materialização.

Ao focar nesses aspectos durante a identificação dos eventos de risco, os especialistas podem obter uma compreensão abrangente e detalhada dos riscos envolvidos, facilitando assim a gestão e o planejamento de ações mitigadoras. Pedroso (2007)

afirma que a eficácia desse sistema é suportada por dois documentos fundamentais em qualquer metodologia de gerenciamento de riscos :

- WBS (*Working Breakdown Structure*) ou EAP (Estrutura Analítica do Projeto): A identificação dos riscos em um projeto é realizada com base na WBS, que define todas as entregas do projeto e desmembra o escopo em partes gerenciáveis. Através da análise das métricas de controle de cada entrega, é possível determinar os eventos de risco do projeto e projetar seu impacto nos objetivos do projeto.
- RBS (*Risk Breakdown Structure*) ou EAR (Estrutura Analítica de Riscos) ou Checklist de Causas de Riscos: Trata-se de um documento que descreve como a empresa gerencia os riscos e inclui, por meio de um processo formal de lições aprendidas, todas as causas conhecidas de riscos nos projetos da empresa.

A fim de obter uma lista dos riscos que, de acordo com Wideman (1992), são geralmente classificados em duas categorias:

- Riscos de Negócio (*Business Risk*) - Esses riscos estão relacionados à possibilidade tanto de ganhos quanto de perdas. São situações em que existe a chance de obter benefícios ou sofrer consequências adversas para o negócio.
- Riscos Puros (*Pure Risk ou Insurable Risk*) - Esses riscos envolvem apenas a possibilidade de perda. São situações em que não há oportunidade de ganho, apenas a chance de enfrentar adversidades e sofrer prejuízos.

Assim, por meio da identificação dos riscos, é possível identificar e categorizar os riscos presentes no projeto, considerando a perspectiva de potenciais ganhos ou perdas e a natureza dos riscos envolvidos.

O gerenciamento de risco envolve a identificação, análise e gestão da equipe para prover respostas aos riscos. Essa gestão ocorre através da escolha da melhor estratégia para reduzir a probabilidade de ocorrência do risco ou a magnitude de seu impacto negativo. A quantificação correta e acurada dos elementos de risco determina a eficiência desse gerenciamento (DZIADOSZ; REJMENT, 2015).

Segundo Pytel (2020), a gestão de riscos estruturada fornece estratégias práticas de gestão de acordo com a situação existente e o conhecimento profissional das empresas.

Além de identificar o potencial de riscos, o gerenciamento de riscos deve envolver um compromisso formal de planejamento e análise de atividades para estimar a probabilidade e o impacto dos riscos identificados sobre o projeto (KERZNER, 2009).

Após a identificação dos riscos, o gerente do projeto e a equipe devem tomar a decisão, com base nas características do projeto, sobre qual estrutura lógica hierárquica

será utilizada para agrupar e organizar os riscos, visando facilitar o gerenciamento. É importante destacar que o gerenciamento de riscos não se trata de gerenciar o escopo, prazo, custo ou qualidade, mas sim de gerenciar informações para a tomada de decisões adequadas (PYTEL et al., 2020).

A análise qualitativa gera uma lista de riscos classificados como prioritários, com base nos critérios estabelecidos para o processo. Essa análise é realizada de maneira rápida e econômica, levando em consideração a importância dos riscos com base em seu impacto e probabilidade de ocorrência (PMBOK, 2021). A Figura 9 ilustra o processo de análise qualitativa dos riscos, que é composto por entradas, ferramentas e saídas.



Figura 9: Processo de Análise Qualitativa de Riscos
Fonte: Adaptado de PMBOK (2021)

Com isso, Pedroso (2007) afirma que durante a identificação e análise dos riscos, é recomendado agrupar aqueles que estão relacionados, a fim de facilitar a gestão adequada. Essa categorização dos riscos traz diversos benefícios, permitindo uma avaliação mais simples da exposição aos riscos no projeto. Nesse sentido, obtemos os seguintes resultados ao adotar essa sistemática:

- Um entendimento completo dos tipos de riscos aos quais o projeto está exposto.
- Identificação das fontes/causas de riscos mais significativas, aquelas que requerem maior atenção.
- Determinação das causas que exercem maior influência sobre os riscos identificados.
- Identificação das áreas da EAP com dependência ou correlação entre os riscos.
- Identificação dos tipos de respostas aos riscos nas áreas de alto risco.

Esses resultados fornecem insights valiosos para a gestão efetiva dos riscos, permitindo uma abordagem mais focada e direcionada aos desafios específicos enfrentados pelo projeto. Pytel (2020) identifica vários métodos de análise qualitativa de riscos, sendo os mais populares:

- Técnica Delphi - método de avaliação de risco baseado em *brainstorming* de especialistas com profundo conhecimento sobre a questão examinada. É importante que os especialistas possam revisar as notas dos outros especialistas e que, durante todo o processo, um consenso seja alcançado.
- *Structured What-IF Technique* (SWIFT) - esse método utiliza uma avaliação sistemática de uma equipe para cada risco, na forma de *workshop*. Durante o processo de avaliação de risco, o efeito ou impacto de diferentes situações hipotéticas é analisado com o uso de considerações “se”.
- Análise de Árvore de Decisão - Na maioria dos casos, esse método é usado para determinar a melhor maneira de alcançar um objetivo com o menor nível de risco.
- Análise *Bow-tie* - nesse método, cada evento de risco é examinado em duas direções. Um ramo descreve todas as possíveis causas do evento. No outro ramo, são listadas as consequências potenciais. Como resultado, é possível identificar o risco e aplicar soluções de prevenção para minimizar o perigo.
- Matriz de Risco - Atualmente, esta é a abordagem mais utilizada na determinação da gravidade do risco. Como resultado, é possível não apenas determinar o impacto de cada evento, mas também identificar como o risco é afetado por sua probabilidade ou consequência. Essas informações são de grande importância durante o desenvolvimento de procedimentos de mitigação (PMBOK, 2021). A avaliação deve ser realizada exclusivamente por especialistas na área específica. Somente uma análise minuciosa e crítica permite identificar os aspectos da atividade que envolvem um alto nível de risco. A avaliação permite a implementação precoce de medidas preventivas apropriadas e de minimização de riscos.

De acordo com Purnus e Bodea (2014), em uma entrevista realizada com pesquisadores e profissionais da área de análise de risco de projetos, foi verificado que as pessoas conheciam a utilidade da análise quantitativa dos riscos de projetos, no entanto, apontavam como barreiras o fato deste tipo de análise não ser bem entendida, não estar integrada no gerenciamento do projeto e não ser de fácil explicação para os tomadores de decisões de alto nível. Por este motivo devem ser estimulados mais estudos voltados para a popularização e maior adoção destes métodos, objetivando mostrar que embora tenham um nível de aplicação um pouco mais complexo que métodos qualitativos, possuem a vantagem de proporcionar previsões com maior precisão.

Em contraste com a análise qualitativa, a análise quantitativa fornece aos tomadores de decisão informações numéricas sobre as características dos riscos de um projeto e suas consequências. Para realizar o cálculo quantitativo, é necessário obter dados de bancos de dados históricos ou realizar estimativas com base no conhecimento de especialistas (MOHAMED, 2017). Essa abordagem quantitativa permite uma análise mais precisa e fundamentada, fornecendo uma visão numérica dos riscos e de seu impacto potencial no projeto.

A abordagem quantitativa envolve a definição de um problema, o desenvolvimento de um modelo, a obtenção de dados de entrada, a determinação de uma solução, o teste da solução, a análise dos resultados e a implementação dos resultados. Em alguns casos, o teste da solução pode revelar que o modelo ou os dados de entrada estão incorretos. Isso exigiria modificações em todas as etapas subsequentes à definição do problema. Essa abordagem enfatiza a importância da precisão e validação dos dados e do modelo utilizado, garantindo uma análise confiável e eficaz (MOJABI; RADFAR; NAZEMI, 2013).

A análise quantitativa é conhecida por ser mais complexa e demorada, por esse motivo Cavalcante (2019) afirma que essas análises são mais utilizadas em projetos de grande porte e é composta por três elementos fundamentais, demonstrados na Figura 10.

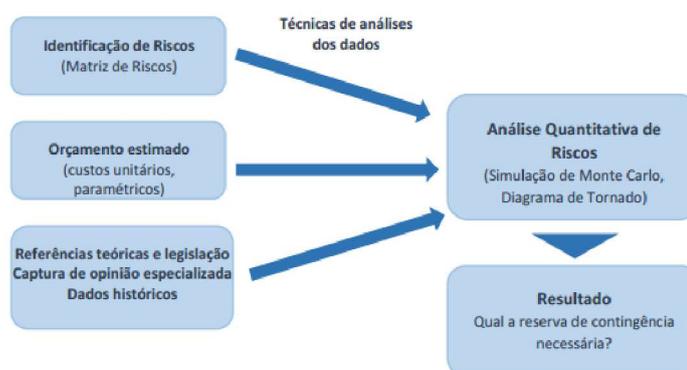


Figura 10: Análise Quantitativa de Riscos
Fonte: Cavalcante (2019)

Algumas das funções da análise quantitativa incluem:

- Quantificar os possíveis resultados do projeto e suas probabilidades.
- Avaliar a probabilidade de alcançar objetivos específicos do projeto.
- Identificar os riscos que requerem maior atenção, quantificando sua contribuição relativa para o risco total do projeto.
- Estabelecer metas de custo, cronograma ou escopo mais realistas e alcançáveis, levando em consideração os riscos do projeto.

- Determinar a melhor decisão de gerenciamento de projetos quando existem condições ou resultados incertos (PMBOK, 2021).

A Figura 11 demonstra o processo de análise quantitativa dos riscos que se apoiam em princípios matemáticos de probabilidade, os quais podem ser complexos e desafiadores de serem manipulados manualmente. A maior parte das técnicas utilizadas nesse contexto requer o uso de softwares computacionais especializados. Alguns dos principais métodos empregados são a SMC, as árvores de decisão e as análises de sensibilidade. Essas abordagens permitem explorar uma ampla gama de possibilidades e avaliar os impactos das incertezas de forma mais precisa. O uso de ferramentas computacionais simplifica e agiliza o processo, garantindo uma análise mais robusta e confiável (RADU, 2009).

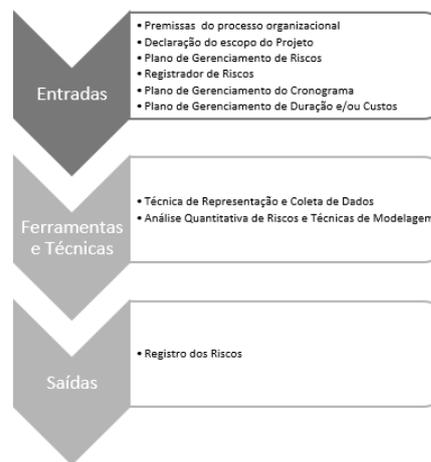


Figura 11: Processo Análise Quantitativa de Riscos
Fonte: Adaptado de PMBOK (2021)

Um dos principais propósitos no campo da construção é examinar os impactos nas medidas de desempenho quantificáveis, como tempo e custo. No entanto, é comum receber críticas pela subutilização dessas técnicas na indústria da construção. Mesmo quando são aplicadas, muitas vezes não há integração entre a análise dos custos e do tempo do projeto, com ambos sendo avaliados separadamente, apesar da forte interdependência existente entre essas duas medidas de desempenho (POH; TAH, 2006).

4 SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

O método de Monte Carlo foi desenvolvido em 1940 pelos pesquisadores Von Neumann e Ulam, com o objetivo de resolver problemas de blindagem em reatores nucleares (CORRAR, 1993). A técnica, que envolve a geração de números aleatórios e o cálculo de probabilidades para a resolução de problemas, recebeu esse nome em homenagem à atividade mais popular da cidade de Monte Carlo, no principado de Mônaco, os jogos de cassino (GUJARATI; PORTER, 2011). É um método interativo que utiliza números aleatórios como entrada e especialmente útil quando o modelo é não-linear, complexo ou envolve um número considerável de parâmetros incertos. Uma simulação pode envolver mais de dez mil avaliações do modelo em estudo, com o avanço da tecnologia é possível trabalhar com uma alta performance.

Segundo Moore e Weatherford (2005), a SMC é um dos muitos métodos utilizados para analisar a propagação da incerteza, e sua grande vantagem está em determinar como uma sequência de números aleatórios conhecidos afeta o sistema que está sendo modelado.

Atualmente, devido aos avanços tecnológicos, os métodos de simulação são amplamente utilizados em diversas áreas, tanto para simulações em ambientes físicos como para resolver problemas matemáticos (RODRIGUES; NUNES; ADRIANO, 2010).

Este método é aplicado em situações comuns, como análise de riscos em empresas, gestão de estoques, fluxo de produção e rotinas de manutenção de máquinas, entre outras. Os métodos de simulação são ferramentas poderosas na tomada de decisão para resolver problemas de diversas naturezas, especialmente úteis em casos que envolvem análise de riscos para prever o resultado de uma decisão em um contexto de incerteza. A aplicação da simulação em problemas de gestão requer a modelagem matemática do sistema em estudo, possibilitando a simulação das respostas do sistema diante de diferentes escolhas de tomada de decisão (AGUIAR; ALVES; HENNING, 2010).

Segundo Neto, Moura e Forte (2002), ao realizar a simulação usando o método de Monte Carlo, obtemos não apenas os resultados, mas também suas probabilidades de ocorrência. Portanto, a aplicação desse método considera aspectos relevantes do

risco envolvido, reduzindo sua influência subjetiva na tomada de decisão do analista e conferindo uma grande vantagem ao método probabilístico em comparação com o método determinístico.

Considerando o exposto, podemos destacar algumas vantagens do uso da simulação. Primeiramente, ela permite estimar o desempenho de um sistema atual sob diferentes condições operacionais. Além disso, possibilita a comparação de propostas alternativas de sistemas ou políticas operacionais para determinar qual se adapta melhor aos requisitos. A simulação também proporciona um melhor controle sobre as condições experimentais antes mesmo de sua implementação, além de permitir o estudo de um sistema ao longo de um período de tempo em um período relativamente curto (KALOS; A.WHITLOCK, 2008).

De maneira geral, a simulação é amplamente utilizada para resolver problemas complexos de opções reais que envolvem múltiplas fontes de incerteza e interação entre elas (TITMAN; MARTIN, 2010).

Outra vantagem é proporcionar ao usuário uma melhor compreensão dos possíveis resultados para o desenvolvimento de uma decisão. Embora a decisão final seja tomada considerando as expectativas e restrições de negócios atuais, ao avaliar de forma adequada os riscos ascendentes e descendentes, o tomador de decisão estará em uma posição mais favorável para tomar uma decisão mais adequada (LOIZOU; FRENCH, 2012).

A SMC é uma ferramenta amplamente utilizada em análises quantitativas de risco. Ela permite modelar fenômenos em duas partes: fatores determinísticos, como as atividades de um projeto, e fatores aleatórios, como tempo e custos das atividades. Por meio da introdução de componentes como distribuição de probabilidade, média, margem de confiança e variância, as variáveis aleatórias são formuladas no modelo. A SMC oferece a capacidade de compreender o comportamento dos fatores aleatórios e, como resultado, torna o risco mensurável e calculável (KALOS; A.WHITLOCK, 2008).

A característica principal desse método é a realização de um grande número de iterações, o que gera resultados próximos à realidade. Por meio da análise e avaliação dos riscos, é possível estimar a probabilidade de ocorrência dos eventos. Os efeitos do tempo e dos custos de cada risco em cada atividade são determinados por meio da coleta de dados. Assim, o comportamento dos fatores de risco em intervalos de tempo $[t, t + \Delta t]$ e/ou custo $[C, C + \Delta C]$ é simulado a partir de uma distribuição probabilística, fornecendo valores aleatórios. Ao final da simulação, é possível determinar os desvios de tempo e/ou custo resultantes (P. CAVALCANTE FILHO, 2019).

Maletta (2005) reafirma que SMC utiliza a randomização de números aleatórios para atribuir valores às variáveis de um sistema em investigação, sendo aplicado em tomadas de decisão que envolvem risco e incerteza. O que é realizado por meio de um processo aleatório, seja diretamente no computador por meio de funções específicas ou por

meio de tabelas, onde são gerados esses números aleatórios utilizados na simulação. O processo de simulação é repetido até que tenhamos confiança no comportamento característico da variável que afetará a decisão.

No início da simulação, a aleatoriedade era gerada por métodos manuais, como lançamento de moedas, dados, embaralhamento de cartas e roleta. Posteriormente, dispositivos físicos, como diodos de ruído e contadores Geiger, foram conectados a computadores com o mesmo propósito. Acreditava-se que apenas dispositivos mecânicos ou eletrônicos poderiam produzir sequências verdadeiramente aleatórias. No entanto, esses métodos foram abandonados pela comunidade de simulação computacional devido à sua lentidão, incapacidade de reprodução e presença de viés e dependência nos números gerados (RUBINSTEIN; KROESE, 2017).

Atualmente, a maioria dos geradores de números aleatórios não se baseia em dispositivos físicos, mas em algoritmos simples que podem ser facilmente implementados em computadores. Esses geradores, chamados de pseudoaleatórios, são rápidos, ocupam pouco espaço de armazenamento e podem reproduzir uma determinada sequência de números aleatórios. Rubinstein e Kroese (2017) afirma que embora sejam determinísticos, um bom gerador de números pseudoaleatórios captura todas as propriedades estatísticas importantes de sequências verdadeiramente aleatórias. A maioria das linguagens de programação já possui um gerador de números pseudoaleatórios embutido.

4.1 Metodologia

O presente estudo de caso se desenvolveu a partir de uma avaliação de engenharia que busca validar a duração de um projeto e verificar se estaria de acordo com a projeção do cliente. Conforme os objetivos do presente trabalho, estudou-se a SMC aplicada em um contexto de cronograma para realização de uma análise de risco para determinar as probabilidades de cumprimento dos prazos.

Primeiro foram utilizados dados retirados de um artigo, Hendradewa (2019), que podem ser visualizados na Figura 12, visando a validação do algoritmo desenvolvido, além de serem empregados para a comparação dos resultados obtidos. Após essa validação e comparação foi possível utilizar o algoritmo em outros projetos com a confirmação de que o programa estava funcional e apresentando resultados satisfatórios.

Com o algoritmo validado, começou-se o estudo de caso. Para isso, utilizou-se um cronograma macro real de implantação de um empreendimento. Neste cronograma pode-se verificar todas as etapas do projeto, a Figura 13 apresenta as tarefas, suas respectivas estimativas de duração, também apresenta o gráfico Gantt que respeita as relações de predecessora e sucessora de cada atividade.

ID	State (i,j)	Nome da Tarefa	Predecessora	Duração Estimada (Dias) a	Duração Estimada (Dias) m	Duração Estimada (Dias) b	Fase
A	(1,2)	Pesquisas e Estratégias		9	10	15	Viabilidade
B	(2,3)	Orçamentação e Estudos de Viabilidade	A	10	11	13	Viabilidade
C	(3,4)	Projeto Conceitual	B	10	14	16	Projeto
D	(4,5)	Desenvolvimento de Projeto e Conformidade com Regulamentação	C	13	15	21	Projeto
E	(5,6)	Projeto Técnico	D	9	12	14	Projeto
F	(6,7)	Trabalhos Preparatórios	E	8	10	11	Construção
G	(7,8)	Trabalhos de Fundação	F	23	25	28	Construção
H	(8,9)	Colunas e Paredes	G	18	21	22	Construção
I	(9, 10)	Instalação Hidráulica	H	5	8	9	Construção
J	(9, 12)	Montagem de Telhado	H	4	9	10	Construção
K	(9, 11)	Instalação de Telhado	H	10	16	20	Construção
L	(10, 12)	Elétrica	I	6	9	10	Construção
M	(11, 12)	Isolamento	K	4	5	7	Construção
N	(12, 13)	Revestimentos	L, M	12	14	18	Construção
O	(13, 15)	Instalação de Esquadrias	N	7	11	19	Construção
P	(15, 17)	Pintura	P	15	18	22	Construção
Q	(12, 14)	Revestimento de Pisos e Azulejos	J, L	12	15	15	Construção
R	(14, 16)	Decoração	O	8	12	13	Construção
S	(16, 17)	Paisagismo	R	6	7	10	Construção
T	(17, 18)	Limpeza e Controle Final	P, S	2	5	6	Construção
U	(18, 19)	Encerramento e Revisão Pós-Projeto	T	6	7	10	Construção

Figura 12: Dados do Artigo de Referência
 Fonte: Adaptado de Hendradewa (2019)

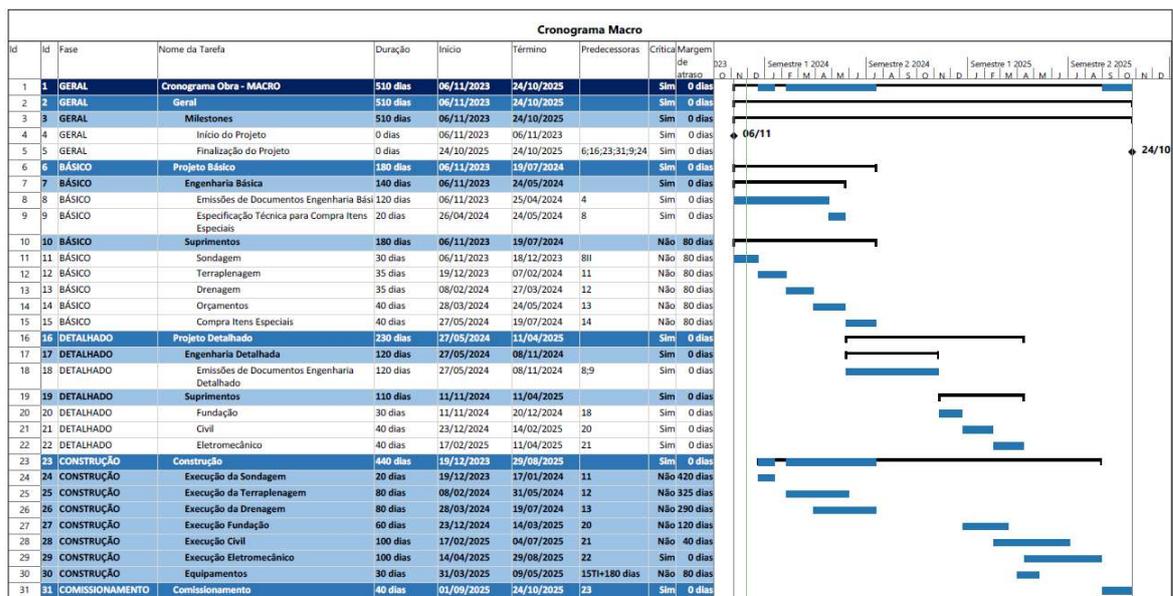


Figura 13: Cronograma Macro
 Fonte: Autora

4.1.1 Caminho Crítico

Na primeira etapa da análise de risco utilizando a SMC calcula-se o caminho crítico. As atividades críticas são as que não tem folga alguma para que ocorram, ou seja, qualquer atraso impacta diretamente a duração do projeto como um todo. Foi utilizado o caminho crítico gerado pelo *Software Project* e com a folga permitida igual a zero.

Na Figura 14 encontram-se as descrições das atividades com as estimadas durações para cada atividade como otimista (o), pessimista (p) e mais provável (m), que são definidas por um grupo de especialistas. Essas durações são utilizadas para cálculo do PERT conforme equação (1).

Id	Fase	Nome da Tarefa	Duração	Início	Término	Predecessoras	Crítica	Margem de atraso total	Duração Esperada	Duração Otimista	Duração Pessimista	PERT
8	BÁSICO	Emissões de Documentos Engenharia Básica	120 dias	06/11/2023	25/04/2024		4 Sim	0 dias	144	120	192	148
9	BÁSICO	Especificação Técnica para Compra Itens Especiais	20 dias	26/04/2024	24/05/2024		8 Sim	0 dias	24	20	32	25
11	BÁSICO	Sondagem	30 dias	06/11/2023	18/12/2023	8II	Não	80 dias	36	30	48	37
12	BÁSICO	Terraplenagem	35 dias	19/12/2023	07/02/2024		11 Não	80 dias	42	35	56	43
13	BÁSICO	Drenagem	35 dias	08/02/2024	27/03/2024		12 Não	80 dias	42	35	56	43
14	BÁSICO	Orçamentos	40 dias	28/03/2024	24/05/2024		13 Não	80 dias	48	40	64	49
15	BÁSICO	Compra Itens Especiais	40 dias	27/05/2024	19/07/2024		14 Não	80 dias	48	40	64	49
18	DETALHADO	Emissões de Documentos Engenharia Detalhado	120 dias	27/05/2024	08/11/2024	8;9	Sim	0 dias	144	120	192	148
20	DETALHADO	Fundação	30 dias	11/11/2024	20/12/2024		18 Sim	0 dias	36	30	48	37
21	DETALHADO	Civil	40 dias	23/12/2024	14/02/2025		20 Sim	0 dias	48	40	64	49
22	DETALHADO	Eletromecânico	40 dias	17/02/2025	11/04/2025		21 Sim	0 dias	48	40	64	49
24	CONSTRUÇÃO	Execução da Sondagem	20 dias	19/12/2023	17/01/2024		11 Não	420 dias	24	20	32	25
25	CONSTRUÇÃO	Execução da Terraplenagem	80 dias	08/02/2024	31/05/2024		12 Não	325 dias	96	80	128	99
26	CONSTRUÇÃO	Execução da Drenagem	80 dias	28/03/2024	19/07/2024		13 Não	290 dias	96	80	128	99
27	CONSTRUÇÃO	Execução Fundação	60 dias	23/12/2024	14/03/2025		20 Não	120 dias	72	60	96	74
28	CONSTRUÇÃO	Execução Civil	100 dias	17/02/2025	04/07/2025		21 Não	40 dias	120	100	160	123
29	CONSTRUÇÃO	Execução Eletromecânico	100 dias	14/04/2025	29/08/2025		22 Sim	0 dias	120	100	160	123
30	CONSTRUÇÃO	Equipamentos	30 dias	31/03/2025	09/05/2025	15TI+180 dias	Não	80 dias	36	30	48	37
31	COMISSIONAMENTO	Comissionamento	40 dias	01/09/2025	24/10/2025		23 Sim	0 dias	48	40	64	49

Figura 14: Caminho Crítico
Fonte: Autora

Com as informações definidas e tratadas o próximo passo foi a realização da SMC para estimar a probabilidade de finalização do projeto ocorrer no prazo estabelecido.

4.1.2 Variáveis de Entrada

Para SMC é necessário observar os passos do modelo conforme ilustrado na Figura 15.

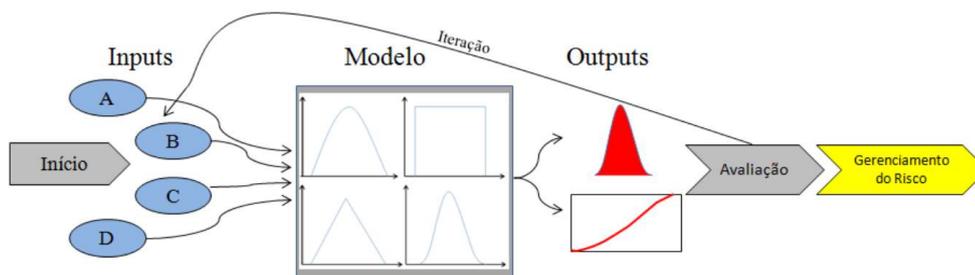


Figura 15: Simulação de Monte Carlo
Fonte: Cavalcante (2019)

Inicialmente, definem-se as variáveis de entrada (*inputs*), neste momento é necessário determinar a distribuição de probabilidade indicada para cada tarefa. Após inserir os *inputs* o modelo processará as variáveis aleatórias, gerando uma distribuição de probabilidade (*output*) que fornecerá dados para a análise de risco e servirá de suporte para o gerenciamento de riscos. Na análise de risco os *inputs* são as atividades que apresentam incertezas quanto ao tempo de execução da tarefa.

Com os dados de entrada definidos, geram-se n amostras, que representam n possibilidades de tempos para cada atividade, e a medida que se aumenta o número de simulações ($n \rightarrow +\infty$) a estimativa converge para o valor esperado. Esse comportamento é garantido pela Lei dos Grandes Números que é dividida em duas partes: Lei Forte e Lei Fraca. Conforme enunciada nos teoremas abaixo (RUBINSTEIN; KROESE, 2017) e (DOBROW, 2016).

Teorema 1 (Lei forte dos grandes números) Dado X_1, X_2, \dots, X_n seja uma sequência de variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas (*i.i.d.*), com valor esperado $E(X_i) = \mu$ e desvio padrão σ , tem-se:

$$P\left(\lim_{n \rightarrow \infty} \bar{X} = \mu\right) = 1 \quad (4)$$

Teorema 2 (Lei Fraca dos Grandes Números) Seja X_1, X_2, \dots, X_n uma sequência de variáveis aleatórias *i.i.d.*, com valor esperado $E(X_i) = \mu$ e desvio padrão σ , onde $\bar{X} = \frac{X_1, X_2, \dots, X_n}{n}$. Considerando $\epsilon > 0$, tem-se:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(|\bar{X} - \mu| < \epsilon) = 1 \quad (5)$$

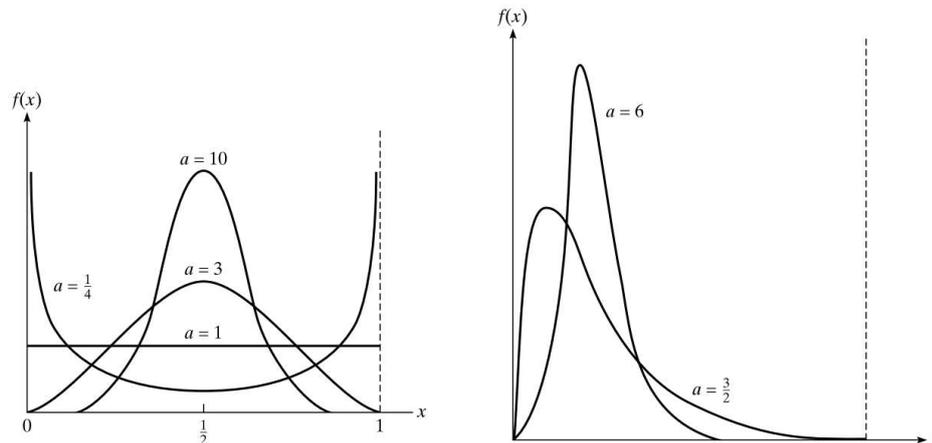
Na simulação de cenários utilizando o método de Monte Carlo, os valores são gerados de forma estocástica com base nas distribuições de probabilidade das variáveis de entrada. Cada iteração envolve a geração de um conjunto de amostras e o registro do resultado correspondente. Esse processo de simulação é repetido centenas de milhares de vezes, resultando em uma distribuição de possíveis resultados. Dessa forma, a SMC fornece uma visão abrangente não apenas do que pode ocorrer, mas também da probabilidade de ocorrência de cada resultado. Segundo Kerzner (2009) distribuições contínuas mais utilizadas em análises de risco são as distribuições beta e triangular.

A distribuição beta pode ser usada para modelar fenômenos aleatórios onde o conjunto de valores possíveis é algum intervalo finito. A distribuição beta é definida pela função densidade de probabilidade dada pela equação (6) e ilustrado na Figura 16.

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{B(a,b)} x^{(a-1)} (1-x)^{(b-1)} & \text{se } 0 \leq x \leq 1 \\ 0 & \text{outros casos} \end{cases} \quad (6)$$

onde

$$B(a, b) = \int_0^1 x^{a-1} (1-x)^{b-1} dx \quad (7)$$



(a) Distribuição Beta com parâmetros (a, b) onde $a = b$ (b) Distribuição Beta com parâmetros (a, b) onde $a/(a+b) = 1/20$

Figura 16: Distribuições Beta
Fonte: Ross (2010)

Na distribuição beta-PERT os parâmetros a e b são definidos pelas as equações (8) e (9).

$$a = \frac{(\mu - o)(2m - o - p)}{(m - \mu)(p - o)} \quad (8)$$

$$b = \frac{p - \mu}{\mu - o} a \quad (9)$$

onde o , p , m e μ são respectivamente os valores otimista, pessimista, mais provável e o PERT.

Já na distribuição triangular, o usuário define os valores mínimo (a), mais provável (m) e máximo (b). Valores próximos ao valor mais provável têm maior probabilidade de ocorrer. Admite-se que os dados têm uma distribuição triangular, que é um bom modelo entre a distribuição normal e a uniforme. A função densidade de probabilidade é dada pela equação (10) e ilustrada pela Figura 17 (ASSIS et al., 2006).

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(m-a)(b-a)} & \text{se } a \leq x \leq m \\ \frac{2(b-x)}{(b-m)(b-a)} & \text{se } m < x \leq b \\ 0 & \text{se } x < a \quad \text{ou } x > b \end{cases} \quad (10)$$

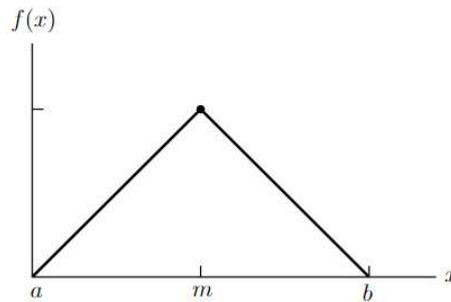


Figura 17: Típica distribuição triangular
Fonte: Adaptado de Assis (2006)

4.1.3 Outputs

O resultado gerado pela SMC apresenta uma distribuição de n amostras a qual indica a duração total do cronograma analisado. Através do histograma gerado por essa distribuição pode-se verificar as probabilidades de ocorrências do projeto em um determinado prazo.

Conforme o teorema do limite central (TLC) indica-se que essa distribuição tende a uma curva normal a medida que o número de amostra aumenta, ou seja, supondo as variáveis aleatórias X_1, X_2, \dots, X_n independentes e identicamente distribuídas (i.i.d.) e $X = X_1 + X_2 + \dots + X_n$ dizemos que $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ quando $n \rightarrow \infty$ em que $N(\mu, \sigma^2)$ é uma distribuição normal com valor esperado μ e variância σ^2 .

Dessa forma, o teorema não apenas fornece um método simples para calcular probabilidades aproximadas para somas de variáveis aleatórias independentes, mas também ajuda a explicar o fato de que as frequências de muitas populações naturais seguem padrões de distribuição em forma de sino, ou seja, distribuições normais (ROSS, 2010). A função de densidade e probabilidade é dada pela equação (11).

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]; -\infty < x < \infty \quad (11)$$

onde μ é a média e σ é o desvio padrão. A Figura 18 mostra uma típica curva da distribuição normal (CORREA, 2013).

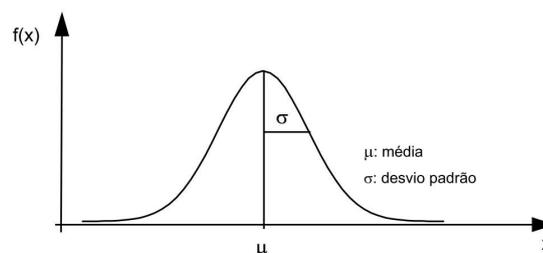


Figura 18: Típica distribuição normal
Fonte: Correa (2013)

4.1.4 Simulação em *Python*

A SMC aplicada à análise de risco em cronogramas desenvolvida neste trabalho é realizada por meio de um programa desenvolvido em linguagem *Python* na versão 3.11.5.

No programa elaborado foram utilizadas as seguintes bibliotecas:

- Numpy como np: é muito importante para a programação em *Python*, especialmente para tarefas relacionadas à computação numérica e científica. Sua principal contribuição é oferecer uma estrutura de dados robusta denominada *array*, que viabiliza o armazenamento e a manipulação de grandes conjuntos de dados.
- Pandas como pd: fornece ferramentas para análise e manipulação de dados em tabelas, matrizes, ou qualquer conjunto de dados;
- Seaborn como srn: é uma ferramenta para plotagem dos mais variados tipos de gráficos. É efetiva para análise exploratória de dados e para verificação do funcionamento dos dados em uma base de dados.
- Matplotlib.pyplot: oferece recursos de plotagem para a criação de gráficos 2D e 3D com visualizações estáticas, animadas e interativas. É uma extensão do NumPy. É útil para transformar análises e operações estatísticas em descobertas visualmente interessantes, uma habilidade importante para quem tenta extrair e comunicar *insights* de dados.

As principais funções utilizadas foram

- `pandas.read_csv()`: serve para ler um arquivo csv e retornar seus valores em um DataFrame;
- `np.random.triangular()`: extrai amostras da distribuição triangular ao longo do intervalo;
- `np.random.beta()`: Extrai amostras de uma distribuição Beta;
- `srn.histplot()`: plota histogramas univariados ou bivariados para mostrar distribuições de conjuntos de dados;
- `np.mean()`: Calcula a média aritmética ao longo do eixo especificado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Verificação do Modelo

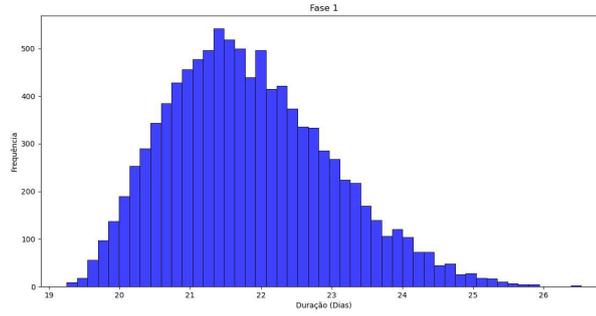
As simulações para validação do algoritmo desenvolvido foram divididas de acordo com as fases do cronograma apresentadas no trabalho de Hendradewa (2019): viabilidade, projeto e construção. Os dados de entrada para as simulações do cronograma utilizado estão ilustrados na Figura 12.

A Figura 19a apresenta o histograma dos dados de entrada da fase de viabilidade do Modelo de Monte Carlo (atividades A e B). Na Figura 19b a fase de Projeto (atividade C a E). Por último a Figura 19c a fase de construção (atividade F a U). As variáveis de entrada (atividades do cronograma) seguem distribuições beta todas com 10.000 simulações conforme utilizado no trabalho de referência.

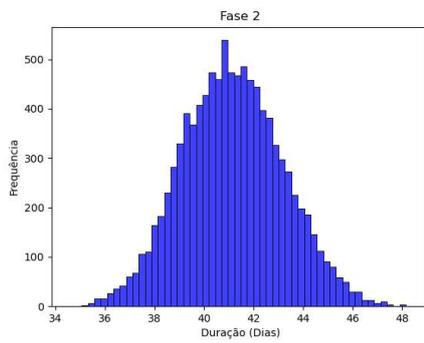
Considerando as variáveis de entrada, a SMC gera um histograma da distribuição resultante, Figura 20. Observa-se que os resultados obtidos estão em conformidade com os apresentados no artigo estudado. Cabe ressaltar que as variáveis de entrada são geradas de forma aleatórias o que inviabiliza a exatidão.

No estudo de Hendradewa 2019, foi concluído que cronograma ou prazo do projeto tem risco potencial de atraso de 37,94%. Na Figura 21 são os resultados exatos do artigo usado como referência em comparação com os resultados simulados pelo algoritmo elaborado neste trabalho.

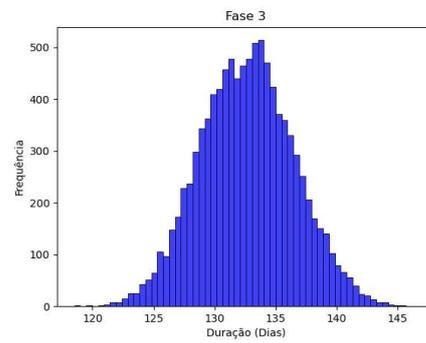
Pode-se observar que o comportamento dos resultados são análogos sendo que combinaram com os resultados obtidos no artigo original, validando assim o algoritmo desenvolvido. Com isso, o programa pode ser replicado em outros cronogramas ajudando a identificar as probabilidades de cumprimento do prazo em diferentes contextos.



(a) *Input* - Viabilidade



(b) *Input* - Projeto



(c) *Input* - Construção

Figura 19: Entradas da SMC
Fonte: Autora

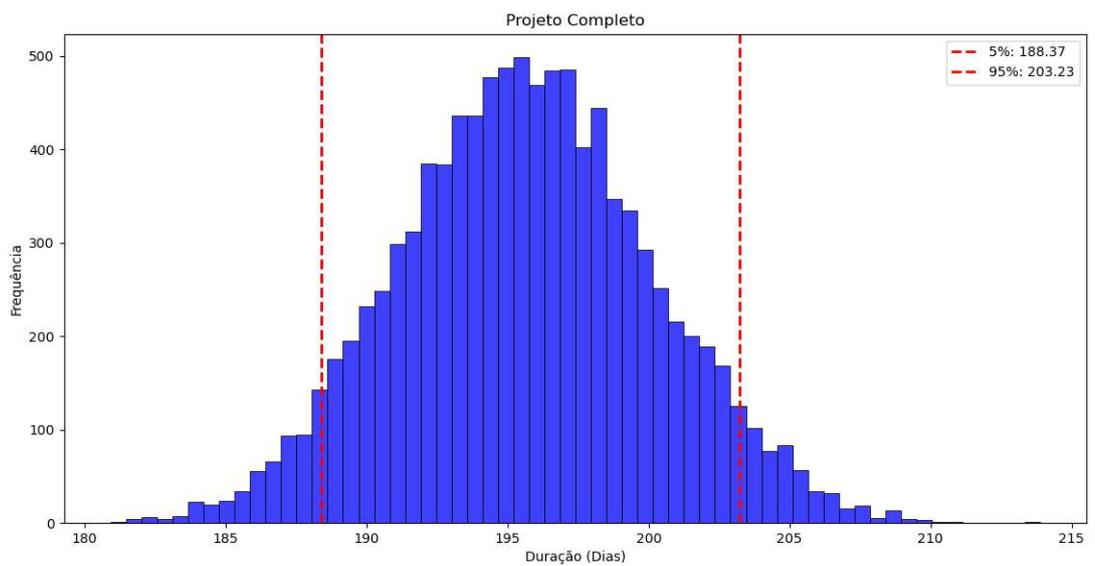


Figura 20: Saída da Simulação de MC
Fonte: Autora

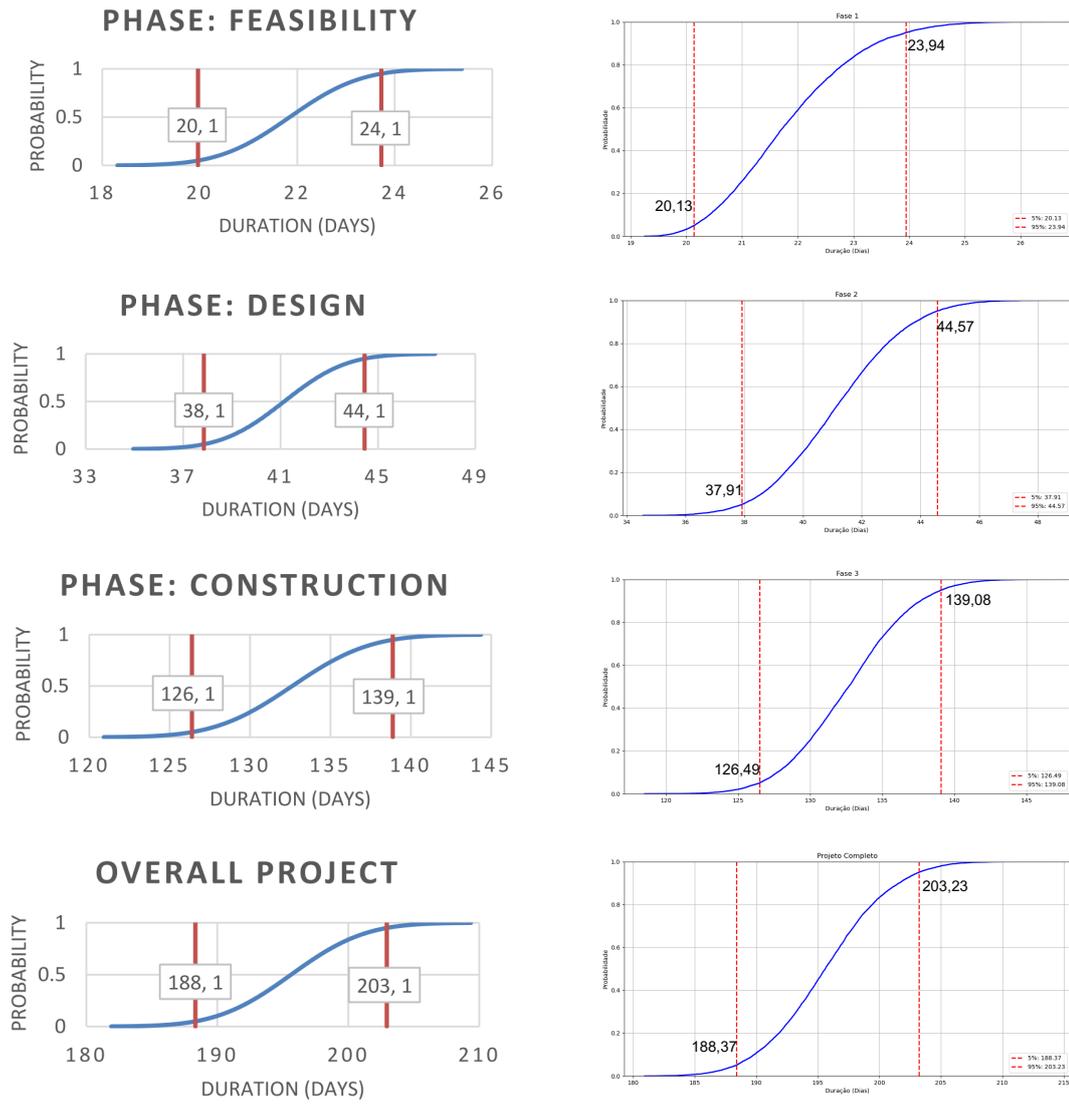


Figura 21: Resultado por Fase Artigo
 Fonte: Adaptado de Hendradewa (2019)

5.2 Estudo de Caso

Nessa etapa do trabalho será apresentada uma análise de risco para verificação do prazo proposto no cronograma da Figura 13. Para o estudo, foram realizadas 10.000 simulações conforme a escolha recorrente encontrada na literatura. No entanto, a determinação do número de simulações necessárias para a SMC será discutida posteriormente.

Primeiramente foram tratados os dados do cronograma em estudo, onde foi definido o caminho crítico. Com base no resultado do CPM, apresentado na seção 4.1, as atividades críticas são as presentes nos IDs: 8-9-18-20-21-22-29-31 (Figura 14).

Foram consideradas condições incertas para todas as atividades da rede crítica do projeto. Sendo assim, tornou-se necessário aplicar a análise para todas essas atividades, uma vez que atrasos em qualquer uma impactaria diretamente a duração total do projeto. Para isso, as simulações foram divididas de acordo com as fases do cronograma: básico, detalhado, construção e comissionamento. Essa abordagem permitiu uma análise detalhada e específica das etapas individuais do projeto.

Para os *inputs* foram considerados valores aleatórios conforme a distribuição beta de probabilidade, Figura 22.

Index	Simuação1	Simuação2	Simuação3	Simuação4	Simuação5		Simuação9998	Simuação9999	Simuação10000
0	146.116	150.677	124.572	149.345	159.078		129.496	151.116	166.151
1	22.5341	22.7858	22.0848	22.5063	28.2851		25.5929	27.8925	28.8928
2	152.057	175.57	132.313	145.857	144.596		145.313	135.971	155.752
3	42.5193	45.053	42.4634	41.0999	37.2176	...	41.6339	40.6721	39.6604
4	50.2338	47.4182	42.4133	46.1998	52.5445		55.7592	41.0125	46.5419
5	48.0986	56.3129	55.1532	49.768	46.1621		57.9584	41.2328	50.0832
6	137.224	141.45	125.633	132.422	109.763		120.612	115.372	125.173
7	54.5928	51.569	48.3886	46.8006	48.6507		46.2275	52.3075	55.6807

Figura 22: Variáveis Aleatórias Simuladas

Fonte: Autora

A Figura 23 ilustra o comportamento dessa distribuição por fase, ela ainda permite que a simulação seja feita com três diferentes durações: otimista, mais provável e pessimista.

No cronograma inicial, Figura 13, considerando apenas as atividades críticas, para a realização da fase de projeto básico estava previsto um total de 140 dias, 230 dias para a fase de projeto detalhado, 100 dias para a construção e 40 dias para o comissionamento. No entanto, pode-se observar na distribuição cumulativa o resultado de probabilidade duração por fase do empreendimento na Figura 24 .

Pode-se observar que na fase de projeto básico existe 95% de chances que o projeto se estenda para 195 dias, na fase de detalhado 95% de chance que o projeto dure 309

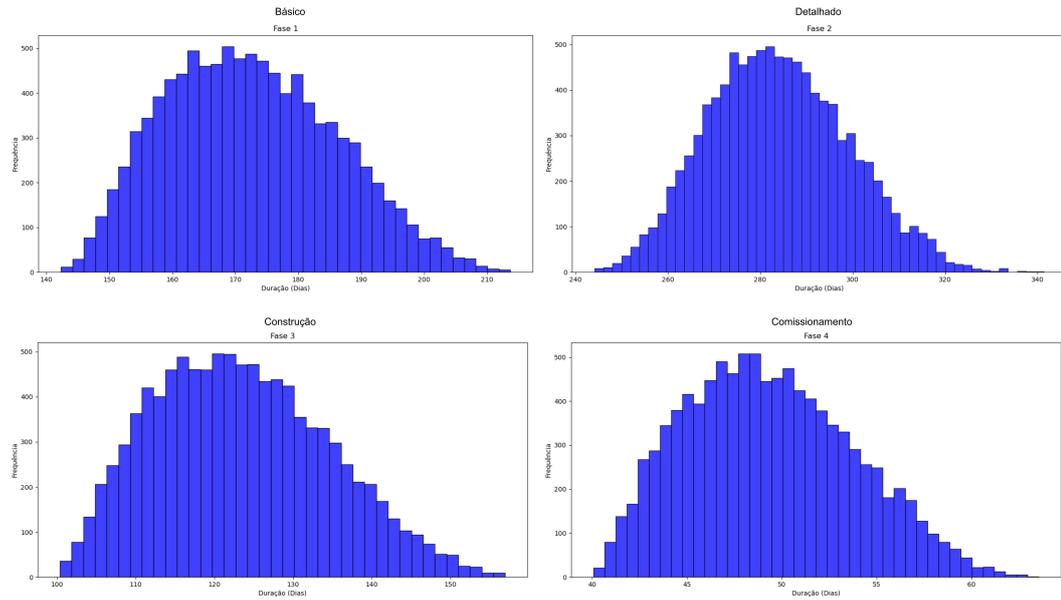


Figura 23: Inputs
Fonte: Autora

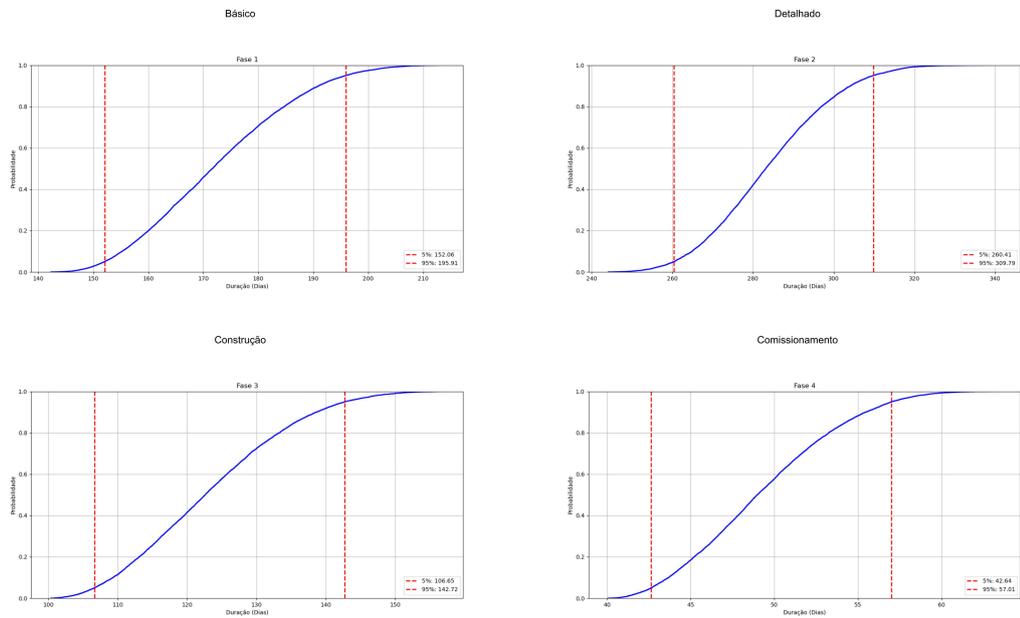


Figura 24: Inputs por Fase

Fonte: Autora

dias, a construção probabilidade de 95% de durar 142 e por fim o comissionamento 95% de chance de durar 57 dias. Na Figura 25 observa-se o comportamento geral do projeto considerando o somatório das fases onde existe a probabilidade de 5% do projeto finalizar em 590 dias e 95% de finalizar em 669 dias. De acordo com os resultados encontrados verificam-se que as durações inicialmente estimadas para as etapas previstas no cronograma possuem alta probabilidade de exceder e inviabilizar a conclusão do projeto dentro da duração estimada.

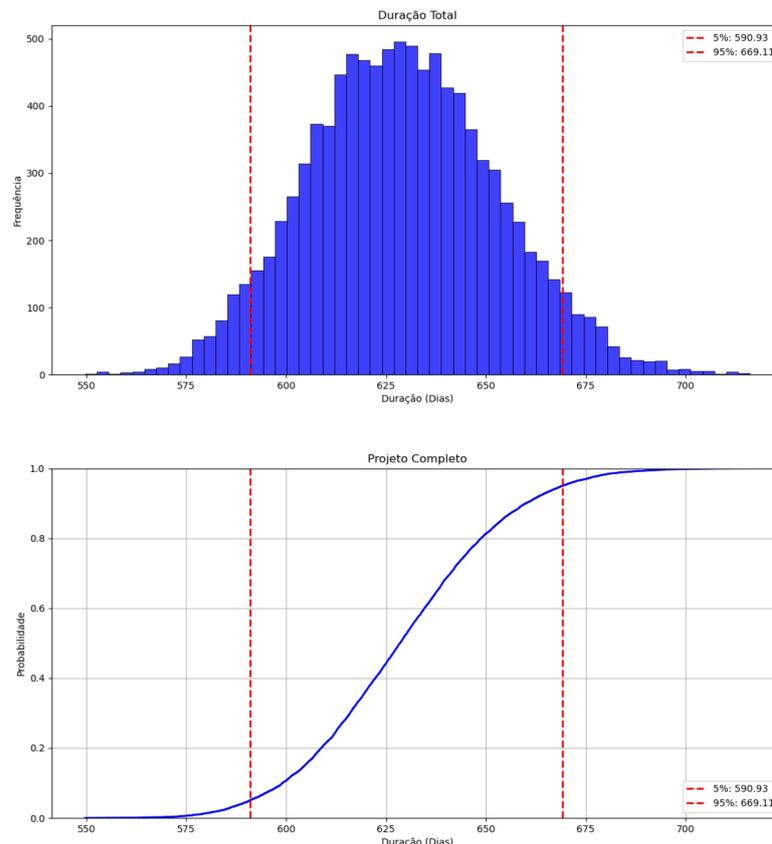


Figura 25: *Output Geral*

Fonte: Autora

Com essas informações, tanto por fase do empreendimento quanto pela visão geral do projeto, as partes interessadas conseguem ter uma melhor visibilidade do comportamento do cronograma, caso esses riscos ocorram, e consequentemente os impactos que eles geram no prazo do empreendimento, tendo tempo hábil para tomar medidas prévias e minimizar este impacto.

Para a realização da análise de risco por meio da SMC é importante compreender as etapas do processo e a utilização dos parâmetros do método. Conforme citado na seção 4.1 a SMC tem como base considerar diferentes cenários para as atividades propostas. Esses cenários são criados utilizando valores aleatórios gerados através de uma distribuição previamente definida. Por fim, os cenários de cada atividade são

computados para obter o resultado final, o qual é apresentado por um histograma que se aproxima da distribuição normal conforme o teorema do limite central, anteriormente discutido.

A garantia da convergência da simulação se dá por meio da lei dos grandes números, que foi apresentado no capítulo 4.1.2. A lei indica que a medida que o número de amostra cresce a variável aleatória tende ao valor esperado. A Figura 26 ilustra esse comportamento por meio da média da duração total do projeto.

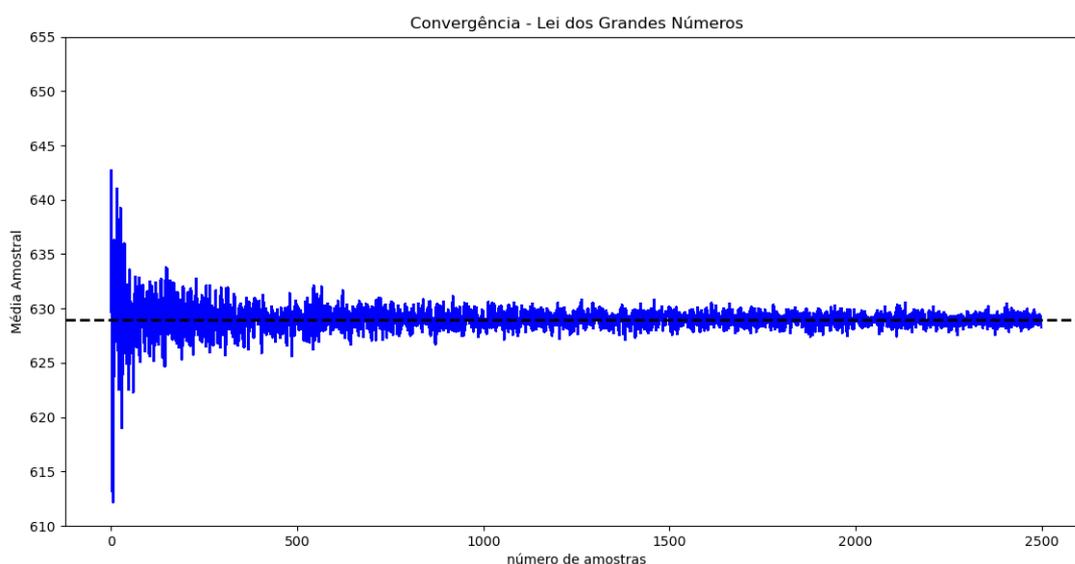
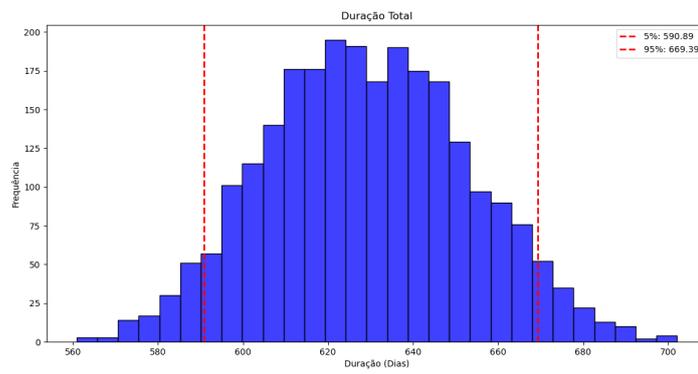


Figura 26: Convergência Lei dos Grandes Números
Fonte: Autora

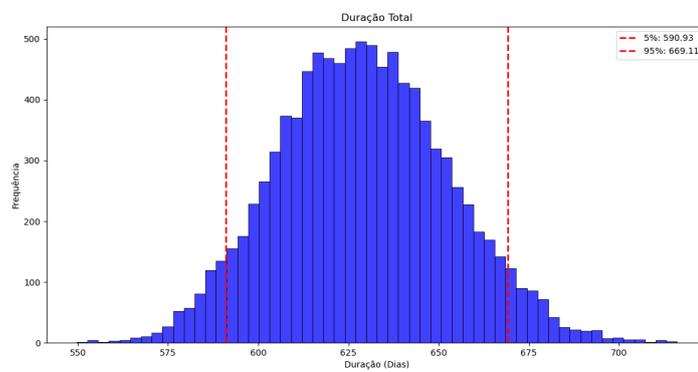
Com a garantia da convergência do método é possível definir o número de amostras considerando o intervalo de confiança. Neste estudo determina-se o número de amostras $n = 2.498$ para uma confiança de 95% e um erro de 2 dias. Sendo assim, não haveria a necessidade das 10.000 simulações utilizadas (como pode ser observado na Figura 27), o que ocorre comumente em análises de riscos presentes na literatura.

Outro ponto fundamental para a SMC é a escolha das distribuições. O método aplicado a análise de risco em gerenciamento de projetos é relacionado diretamente ao PERT, que determina a utilização da distribuição beta. Normalmente é encontrado na literatura o uso da distribuição triangular como uma aproximação para os dados de entrada. No entanto, é importante destacar que essa aproximação gera um erro que deve ser analisado pelos gestores para decidir sobre sua viabilidade. A Figura 28 compara os resultados obtidos pelas duas distribuições para cada etapa do cronograma estudado. Nele é possível observar que a distribuição triangular tende a superestimar os resultados.

A compreensão da análise de risco em gerenciamento de projetos e o domínio sobre a SMC permite que gestores de projetos apliquem essa ferramenta qualitativa



(a) Histograma - 2.500 amostras



(b) Histograma - 10.000 amostras

Figura 27: Histograma - Total
Fonte: Autora

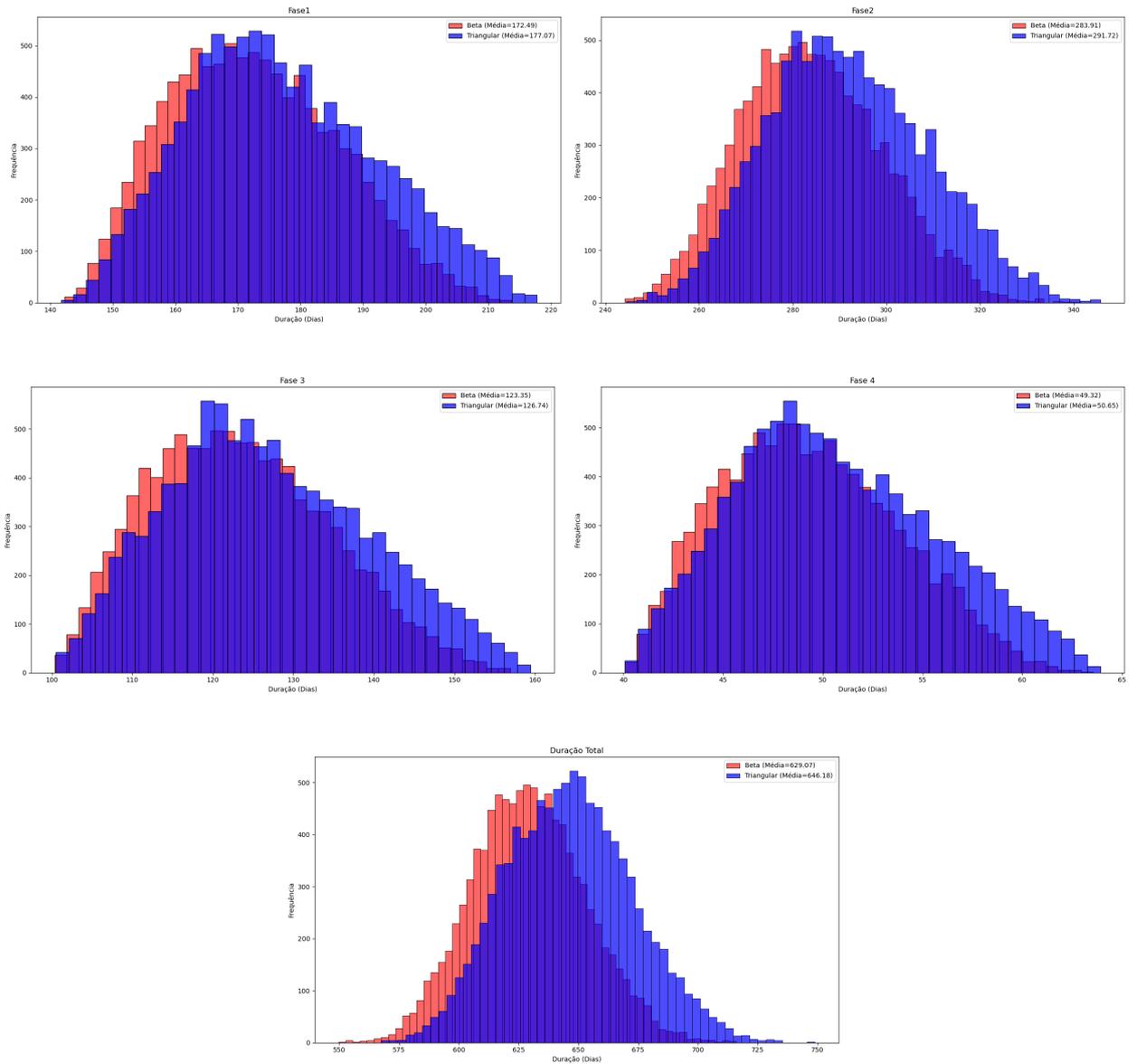


Figura 28: Distribuição Beta X Distribuição Triangular
Fonte: Autora

de grande valia para o gerenciamento de risco. Além disso, é possível observar a viabilidade da utilização deste método sem a necessidade de *softwares* pagos, o que muitas vezes limita a utilização desta ferramenta em projetos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho proporcionou um aprofundamento consistente no gerenciamento de cronogramas de obras na construção, bem como no gerenciamento de riscos em projetos. A pesquisa realizada apresentou as alternativas mais comuns e utilizadas para o gerenciamento de riscos. Também, a revisão bibliográfica revelou as limitações dos métodos tradicionais, destacando a falta de adoção da SMC na construção.

Desta maneira, na gestão de riscos, foi identificado que a utilização de uma sistemática de Gerenciamento dos Riscos se mostrou fundamental para lidar com as incertezas e ameaças aos objetivos do projeto. Além disso, a capacidade de medir a confiança nas decisões tomadas é essencial para o sucesso deste.

A SMC é uma ferramenta útil para o gerenciamento de projetos. Entre os métodos existentes, a SMC destaca-se entre os métodos quantitativos mais citados. No entanto, é subutilizada pela falta de sua compreensão ou pelo custo elevado dos pacotes existentes. Porém, como demonstrado neste trabalho é viável a construção de algoritmos que possibilitam sua aplicabilidade para realização de análises de risco.

Como já mencionado, um dos principais desafios para utilização do método de Monte Carlo no gerenciamento de projetos é o alto custo dos softwares existentes no mercado, sendo assim um dos objetivos deste trabalho foi desenvolver um programa na linguagem *Python* para aplicação da SMC na análise de risco, mais especificamente em cronogramas de projetos.

Assim, a pesquisa propôs um estudo de caso de um cronograma de implantação, de um artigo já existente contendo todas as atividades e durações para poder replicar os resultados e assim validar o algoritmo proposto para análise de risco. E após a validação aplicar a modelagem em um cronograma existente para verificação das probabilidades de assertividade das durações propostas, podendo agir nos pontos mais críticos do projeto e tomar as devidas ações para mitigação dos riscos.

É possível destacar a importância da modelagem como recurso para tomada de decisão. Compreende-se também que o modelo escolhido como objeto de estudo tem fundamental contribuição em diversas áreas, entre elas, a escolhida para este estudo de caso. Assim, enfatiza-se a necessidade de conhecer os fundamentos do modelo

para que seja possível explorar toda a versatilidade que ele possui.

No cenário apresentado com os resultados obtidos, foi possível refazer o cronograma verificar os desvios de prazo em relação ao planejado trazendo uma maior segurança na margem de acerto do prazo do projeto, levando em consideração os riscos aplicados.

Como sugestão para trabalho posteriores, pode-se realizar um comparativo de SMC com outras ferramentas quantitativas de análise de risco e verificar as principais diferenças para a utilização. Também pode-se averiguar a possibilidade de aplicação da inteligência artificial na análise de risco.

REFERÊNCIAS

ACEBES, F.; PAJARES, J.; GALÁN, J. M.; LÓPEZ-PAREDES, A. A new approach for project control under uncertainty. Going back to the basics. , 2013.

ADEDOKUM, O. A.; IBIRONKE, O. T.; DAIRO, D. O.; OPAWOLE, A. D.; AKINRADEWO, O. F.; ABIOLA-FALEMU, J. O. Evaluation of quantitative risk analysis techniques in selected large construction companies in Nigeria. , 2013.

AGUIAR, G.; ALVES, C.; HENNING, E. Gerenciamento de Projetos: Simulação de Monte Carlo via a Ferramenta Simular. , p.01–13, 2010.

ALAVI, H.; NADIR, S. Risk Analysis in Construction Phase of Oil and Gas Projects: A Critical Literature Review. , p.668–680, 2020.

ALMEIDA, J.; MOTA, C. Proposta De Gerenciamento De Riscos Simplificado Para Empresas De Construção Civil. , Rio de Janeiro, Brasil, p.13, 2008.

ARASHPOUR, M.; WAKEFIELD, R.; LEE, E. W. M.; CHAN, R.; HOSSEINI, M. R. Analysis of interacting uncertainties in on-site and off-site activities: Implications for hybrid construction. , 2016.

ARAUJO, A. M. C. **Gerenciamento de Riscos em Contratos de Obras Públicas - Estudo de Caso:** Serviços de Reforma em Imóveis Funcionais. 2012. Dissertação de Mestrado — Universidade de Brasília, Brasília/DF.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. , 2017.

ASSIS, J.; NETO, D.; NASS, L.; MANDRON, P.; BONNECARRERE, R.; MARIN, T. Simulação estocástica de atributos do clima e da produtividade potencial de milho utilizando-se distribuição triangular. , 2006.

AYALA-CRUZ, J. Project risk planning in high-tech new product development. , 2016.

CHOUDHRY, R. M.; ASLAM, M. A.; HINZE, J. W.; ARAIN, F. M. Cost and Schedule Risk Analysis of Bridge Construction in Pakistan: Establishing Risk Guidelines. , 2014.

COLLIS, J.; HUSSEY, R. **Pesquisa em administração**: um guia prático para alunos de graduação e pós-graduação. Bookman, 2005.

CORRAR, L. O MODELO ECONÔMICO DA EMPRESA EM CONDIÇÕES DE INCERTEZA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO. , p.01–11, 1993.

CORREA, S. **Probabilidade e Estatística**. PUC Minas, 2013.

DERVIS, H. Bibliometric Analysis using Bibliometrix an R Package. , 2019.

DOBROW, R. P. **Introduction to Stochastic Processes with R**. Wiley, 2016.

DURANTE, F.; JR, R. M.; SCHEER, S.; GARRIDO, M. Avaliação de Aspectos Fundamentais para a Gestão Integrada do Processo de Projeto e Planejamento com uso do BIM. , Recife, Brasil, p.12, 2015.

DZIADOSZ, A.; REJMENT, M. Risk analysis in construction project - chosen methods. , p.258–265, 2015.

EIRAS, F.; TOMOMITSU, H.; LINHARES, I.; CARVALHO, M. Evolução das pesquisas de gestão de projetos: um estudo bibliométrico do International Journal of Project Management. , p.211–234, 2017.

ESHTEHARDIAN, E.; KHODAVERDI, S. A Multiply Connected Belief Network approach for schedule risk analysis of metropolitan construction projects. , 2016.

FITZSIMMONS, J. P.; LU, R.; HONG, Y.; BRILAKIS oannis. CONSTRUCTION SCHEDULE RISK ANALYSIS – A HYBRID MACHINE LEARNING APPROACH. , 2021.

FONTES, M. F. C. **Mapeamento e Análise do processo de Gerenciamento de Projetos e Obras Públicas**: Um estudo de Caso na Universidade Federal de Viçosa-MG. 2012. Dissertação de Mestrado — Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG.

FURTADO, P.; KOVALESKY, J. Análise de Risco de Prazos Aplicada à Engenharia Simultânea. , 2016.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. Atlas, 2002.

GUJARATI, D.; PORTER, D. **Econometria básica**. AMGH Editora Ltda., 2011.

HALAWA, W.; ABDELALIM, A.; ELRASHED, I. Financial evaluation program for construction projects at the pre-investment phase in developing countries: A case study. , <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.11.001>, p.912–923, 2012.

HENDRADEWA, A. P. Schedule Risk Analysis by Different Phases of Construction Project Using CPM-PERT and Monte-Carlo Simulation. , 2019.

HULETT, D. T. Schedule Risk Analysis Simplified. , 1996.

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

KALOS, M. H.; A.WHITLOCK, P. **Monte Carlo Methods**. WILEY-VCH Verlag GmbH &Co., 2008.

KERZNER, H. **Project Management. A Systems Approach to Planning Scheduling and Controlling**. John Wiley & Sons, Inc, 2009.

KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. 2000. Dissertation for the degree of Doctor of Technology — Helsinki University of Technology, "Espoo, Finland".

LEAL, L. R.; OLIVEIRA, M. D. Simulação aplicada ao gerenciamento de projetos: uma revisão. Revista Produção Online. , 2011.

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. , p.198–210, 2012.

MALETTA, B. V. **Modelos baseados em Simulação de Monte Carlo: Soluções para o cálculo do Value-at-Risk**. 2005. Dissertação de Mestrado — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ.

MANENTI, E.; MARCHIORI, F.; CORRÊA, L. Plano de execução BIM: proposta de diretrizes para contratantes e fornecedores de projeto. , Porto Alegre, Brasil, p.65–85, 2020.

MATTOS, A. D. **Planejamento e Controle de Obras**. PINI, 2010.

MENDES, J. R. B.; VALLE, A. B. do; FABRA, M. **Gerenciamento de Projetos**. FGV Management, 2009.

MENDES, N. M. A. N. **Estrutura de Custos de Edifícios de Habitação**. 2011. Dissertação de Mestrado — Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, Portugal.

M.HOPKINSON. Monte Carlo Schedule Risk Analysis - a process for developing rational and realistic risk models. , p.1–13, 2011.

- MOHAMED, H. F. A Review of Project Risk Management. , p.1147–1154, 2017.
- MOJABI, B.; RADFAR, R.; NAZEMI, J. A Comparative Model of EVM and Project's Schedule Risk Analysis Using Monte Carlo Simulation. , p.219–225, 2013.
- MOORE; WEATHERFORD. **Tomada de Decisão em Administração com Planilhas Eletrônicas**. Artmed Editora S.A., 2005.
- NETO, J. C.; MOURA, H.; FORTE, S. MODELO PRÁTICO DE PREVISÃO DE FLUXO DE CAIXA OPERACIONAL PARA EMPRESAS COMERCIAIS CONSIDERANDO OS EFEITOS DO RISCO, ATRAVÉS DO MÉTODO DE MONTE CARLO. , p.1–11, 2002.
- P. CAVALCANTE FILHO, J. U. de. **Avaliação de Riscos com Simulação de Monte Carlo em Obras de Grande Porte**. 2019. Dissertação de Mestrado — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza/CE.
- PARKER, D.; CHARLTON j.; RIBEIRO, A.; PATHAK, D. Integration of project-based management and change management: Intervention methodology. , 2013.
- PEDROSO, L. H. **Uma Sistemática para a Identificação, Análise Qualitativa e Análise Quantitativa dos Riscos em Projetos**. 2007. Dissertação de Mestrado — Universidade de São Paulo, São Paulo/SP.
- PMBOK. **A guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)**. PMI; Seventh Edition, 2021.
- POH, Y.; TAH, J. Integrated duration–cost influence network for modelling risk impacts on construction tasks. , p.861–868, 2006.
- POUDEL, A. **Risk-Based Multi-Objective Cross-Asset Budget Planning And Allocation Framework for the Integrated Asset Management System (IAMS) Using a Case Study of the City of Sugar Land, TX**. 2021. Dissertação de Mestrado — Texas A&M University, Texas, United States of America.
- PYTEL, W.; FULAWKA, K.; PALAC-WALKO, B.; MERTUSZKA, P.; KISIEL, J.; JALAS, P.; JOUTSENVAARA, J.; SHEKOV, V. Universal Approach for Risk Identification and Evaluation in Underground Facilities. , p.165–181, 2020.
- RADU, L. D. Qualitative, Semi-quantitative and, Quantitative Methods for Risk Assessment: Case of the Financial Audit. , p.643–657, 2009.
- RENATA, T. T. **Análise de Risco na Metodologia PERT/CPM Aplicado na Construção Civil**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados.

REYCK, B. de. **Tools to keep projects on the rails. Financial Times** : Mastering Risk. Financial Times, 2005.

RODRIGUES, D. F.; SOBRAL, A. P. B. SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO APLICADA À PROJETOS DE RECERTIFICAÇÃO DE 5 ANOS EM EQUIPAMENTOS DE SUPERFÍCIE PARA PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO OFFSHORE. , 2023.

RODRIGUES, E.; NUNES, R.; ADRIANO, N. 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. , p.01–16, 2010.

ROSS, S. **A First Course in Probability**. Pearson, 2010.

RUBINSTEIN, R.; KROESE, D. **Simulation and the Monte Carlo Method**. Wiley, 2017.

SILVA, C. da; MELLO, C.; SIQUEIRA, N.; GODOY, H.; SALGADO, E. Aplicação do gerenciamento de riscos no processo de desenvolvimento de produtos nas empresas de autopeças. , p.200–213, 2010.

SMITH, P.; MERRITT, G. **Proactive Risk Management**. CRC Press, 2002.

SOUZA, J. S. de. **Modelo para Identificação e Gerenciamento do Grau de Risco de Empresas - MIGGRI**. 2011. Dissertação de Doutorado — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS.

SOUZA PINTO, I. C. M. de. **Análise dos Riscos Presentes nos custos da Construção Civil pelo Método Monte Carlo**. 2017. Dissertação de Mestrado — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza/CE.

TITMAN, S.; MARTIN, J. **Valuation: Aaliação de Projetos e Investimentos**. Bookman, 2010.

TRAN, D. Q.; MOLENAAR, K. R. Risk-Based Project Delivery Selection Model for Highway Design and Construction. , 2015.

VANHOUCKE, M. **Integrated Project Management and Control** : First Comes the Theory , Then the Practice. Springer, 2014.

WIDEMAN, R. M. **Project and Program Risk Management. A guide to Managing Project Riscks and Opportunities**. PMI, 1992.

WU, B.; QIU, W.; HUANG, W.; MENG, G.; HUANG, J.; XU, S. Dynamic risk evaluation method for collapse disasters of drill-and-blast tunnels: a case study. , p.309–330, 2021.

XAVIER, C.; VIVACQUA, F.; MACEDO, O.; XAVIER, L. **Metodologia de Gerenciamento de Projetos**: Methodware. Brasport; 3ª edição, 2014.

YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 2. ed. Porto Alegre. Bookman, 2001.

YOUNG, T. L. **Manual de Gerenciamento de Projetos**. Clio, 2009.