




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

MONTE CARLO SIMULATION: A TOOL FOR RISK ANALYSIS IN PROJECT MANAGEMENT



Lusianny Pereira Herzog


Mestre em Modelagem Matemática

Universidade Federal de Pelotas - UFPEL 
Bagé, Rio Grande do Sul – Brasil.
luherzog@gmail.com



Everson Jonatha Gomes da Silva


Doutor em Engenharia Mecânica

Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA 
Bagé, Rio Grande do Sul – Brasil
eversonsilva@unipampa.edu.br



Guilherme Jahnecke Weymar

Doutor em Engenharia Mecânica

Universidade Federal de Pelotas - UFPEL 
Pelotas, Rio Grande do Sul – Brasil
guilhermejahnecke@gmail.com

Resumo:

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. A análise de risco é uma ferramenta do gerenciamento de riscos e pode ser qualitativa ou quantitativa, dependendo dos recursos disponíveis. 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. 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. No geral, o estudo contribui para uma abordagem mais eficaz na gestão de projetos, adaptando-se às demandas do mercado em constante evolução. Pode-se observar que, considerando o somatório das fases, existe a probabilidade de 5% do projeto finalizar em 590 dias e 95% de finalizar em 669 dias. 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. Gerenciamento de projetos.

Cite como

American Psychological Association (APA)

Herzog, L. P., Silva, E. J. G. da, & Weymar, G. J. (2024, set./dez.). Simulação com o método Monte Carlo: Uma ferramenta para análise de risco no gerenciamento de projetos. *Revista de Gestão e Projetos (GeP)*, 15(3), 542-565. <https://doi.org/10.5585/gep.v15i3.26721>

Abstract:

In a competitive environment, organizations constantly seek opportunities for improvement and reassess their business models due to the challenges they face. Consequently, project risk arises from the uncertainty regarding expected outcomes, such as timelines and costs. Risk analysis is a tool in risk management and can be qualitative or quantitative, depending on the available resources. The Monte Carlo Simulation (MCS) is a widely used method, especially for risks related to schedule delays and cost overruns. In this context, the present work focuses on a case study of a risk analysis applying MCS in project schedule risk management. The objectives include contextualizing the importance of risk analysis, examining the theoretical basis of the Monte Carlo method, conducting a risk analysis on 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. Overall, the study contributes to a more effective approach to project management, adapting to the constantly evolving market demands. The results indicate a 5% probability that the project will be completed in 590 days and a 95% probability of completion in 669 days. This information allows stakeholders to better understand how the schedule can be affected by risks and to take measures to mitigate these impacts in advance.

Keywords: Risk. Monte Carlo. Modeling. Planning. Project management. Project.

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 muita incerteza.

Nos projetos, o risco surge da incerteza em relação aos resultados esperados. Quando a análise de riscos é inadequada ou negligenciada, os projetos enfrentam atrasos, estouros de custos e problemas de qualidade, resultando em impactos financeiros e podendo perder a credibilidade com o mercado. A análise de riscos pode ser conduzida de maneira qualitativa ou quantitativa, dependendo dos recursos disponíveis e das necessidades do projeto. A análise qualitativa, que é subjetiva, oferece uma visão preliminar dos riscos (Adedokun 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.

A simulação de Monte Carlo (SMC) é um dos métodos quantitativos mais avançados para a realização de análise de riscos, sendo utilizado para uma ampla variedade de problemas de risco, como atrasos no cronograma e estouro de custos (Arashpour et al., 2016). 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).

A SMC é baseada em um modelo que projeta 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 (Maletta, 2005). O propósito da SMC é determinar a probabilidade de sucesso do planejamento base. 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.

No presente artigo foi considerada a pesquisa quantitativa, que é focada na mensuração de fenômenos, envolvendo a coleta e análise de dados numéricos e aplicação de testes estatísticos. 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. Esse método possibilita a descoberta de aspectos que podem não ter sido previstos inicialmente. O estudo de caso visa esclarecer uma decisão ou um conjunto de decisões, abordando 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 e como ela pode ser integrada de forma eficiente no processo de análise de riscos em cronograma de projetos. 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. Também a aplicação da SMC, através de um algoritmo desenvolvido em Python, que visa aumentar a precisão na previsão de prazos e custos em cronogramas de projetos de construção, reduzindo a probabilidade de atrasos

2 Referencial teórico

2.1 Gerenciamento de projetos

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 et al., 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, um campo de conhecimento que trata do planejamento, monitoramento e controle de empreendimentos exclusivos. Além dessa definição, o principal objetivo da gestão de projetos é assegurar a entrega de projetos individuais que cumpram as especificações de prazo, escopo, custo e qualidade acordadas com o cliente (Xavier, 2011).

Mapear as expectativas e requisitos das partes envolvidas 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. Portanto, é crucial mapear as expectativas de todos os interessados (*stakeholders*) o mais cedo possível (Fontes, 2012).

2.1.1 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 (Project Management Institute, 2021).

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 probabilística. Seu objetivo é tornar o prazo estimado para a execução das atividades mais eficiente, de modo a evitar atrasos no cronograma (Renata, 2016).

O 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 usadas para formar uma distribuição triangular de probabilidade. Após estimar as possíveis durações do projeto, a média ponderada do tempo das atividades é calculada utilizando a equação (1) abaixo:

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

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

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

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

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 sua data de conclusão com base no caminho mais longo na rede. Este caminho mais longo é conhecido como o caminho crítico, caracterizado pela menor folga total, geralmente zero, o que significa que qualquer atraso nesse caminho pode resultar em atraso no projeto como um todo. Em contrapartida, o CPM revela que caminhos não críticos podem ser adiados ou estendidos, desde que haja flexibilidade

suficiente no cronograma, sem necessariamente afetar o término do projeto. No contexto de cronogramas de obras de construção, o CPM é uma abordagem tradicional e amplamente aceita, sendo fundamental para desenvolver a lógica do trabalho do projeto e para gerenciar as atividades diárias (Project Management Institute, 2021).

2.1.2 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 são eventos ou condições incertas que têm o potencial de influenciar, de forma positiva ou negativa, pelo menos um dos objetivos do projeto, como tempo, custo, escopo ou qualidade (Halawa et al., 2013).

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, caso ocorra, pode ter um impacto positivo ou negativo em um ou mais objetivos. Nem todos os riscos identificados se materializam durante um projeto. As equipes de projeto dedicam esforços para identificar e avaliar tanto os riscos conhecidos quanto os emergentes, que podem ser internos ou externos ao projeto, ao longo de seu ciclo de vida (Hopkinson, 2011).

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 (Araújo et al., 2018).

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).

Também é essencial monitorar o risco global do projeto, que é o impacto da incerteza sobre o projeto como um todo. Esse risco global surge de todas as fontes de incerteza,

abrangendo os riscos individuais, e reflete a exposição das partes interessadas às implicações das variações nos resultados do projeto, sejam elas positivas ou negativas. O gerenciamento do risco global do projeto busca manter a exposição ao risco do projeto dentro de um intervalo aceitável. As estratégias de gerenciamento incluem a redução dos fatores de risco, a promoção de oportunidades e a maximização da probabilidade de alcançar os objetivos gerais do projeto (Pinto, 2017).

Todo risco se caracteriza por três fatores: evento, probabilidade de ocorrência do evento e a consequência ou efeito (Project Management Institute, 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.

Há várias maneiras de representar os riscos, desde matrizes com classificações por categorias até métodos quantitativos, como árvore de falhas e eventos, estimativas de distribuições de probabilidade e modelos estatísticos. Quando o risco é avaliado ao longo do tempo, medidas corretivas podem ser adotadas para melhorar os aspectos mais frágeis do gerenciamento de risco, aumentando os benefícios para a empresa (Poudel et al., 2022).

A gestão de riscos é um tema amplamente estudado no campo da gestão de projetos, sendo um aspecto crucial para o sucesso dos projetos nas empresas (Eiras et al., 2017). Além de prevenir perdas, a gestão de riscos também ajuda a organização a alcançar benefícios adicionais, maximizando os ganhos do negócio (Wu et al., 2021). O gerenciamento de riscos abrange a identificação, análise e coordenação da equipe para fornecer respostas aos riscos. Essa gestão é realizada através da seleção da melhor estratégia para diminuir a probabilidade

de ocorrência do risco ou a magnitude de seu impacto negativo. Uma quantificação precisa e exata dos elementos de risco é fundamental para a eficácia desse gerenciamento (Dziadosz & Rejment, 2015).

Segundo Pytel et al. (2020), a gestão estruturada de riscos oferece estratégias de gestão práticas adaptadas à situação atual e à expertise 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 (Project Management Institute, 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).

Diversas técnicas de análise de risco são discutidas em termos de sua aplicabilidade e eficácia, destacando-se a SMC como uma ferramenta poderosa para modelar incertezas em cronogramas de projetos. Além da SMC, a Análise de Árvore de Decisão e a Análise de Sensibilidade também são amplamente utilizadas. A Análise de Árvore de Decisão é particularmente útil para avaliar as consequências de diferentes decisões estratégicas ao longo do projeto, permitindo a visualização de caminhos alternativos e suas implicações. Já a Análise de Sensibilidade se foca em identificar quais variáveis têm maior impacto sobre os resultados do projeto, sendo valiosa para destacar fatores críticos que exigem maior atenção. Enquanto a SMC fornece uma análise probabilística detalhada ao simular milhares de cenários possíveis,

as outras técnicas são mais diretas, mas podem ser limitadas na avaliação de projetos complexos com múltiplas incertezas. Portanto, a escolha da técnica deve considerar o contexto do projeto, a necessidade de detalhamento da incerteza e os recursos disponíveis, o que pode ser uma oportunidade para estudos futuros que explorem a combinação dessas técnicas para uma análise de risco mais robusta e completa.

2.2 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 (Souza et al., 2011). É um método iterativo 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 Xu e Wunsch II (2009), 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 (Amorim et al., 2018).

SMC é utilizado em uma variedade de contextos, como análise de riscos em empresas, gestão de estoques, fluxo de produção e manutenção de máquinas, entre outros. As técnicas de simulação representam ferramentas valiosas na tomada de decisões para resolver uma ampla gama de problemas, sendo particularmente úteis em situações que envolvem análise de riscos para prever os resultados de decisões em um cenário de incerteza. A aplicação da simulação em problemas de gestão requer a formulação de modelos matemáticos do sistema em questão, permitindo simular as respostas do sistema diante de diferentes opções de tomada de decisão (Aguiar et al., 2010).

Segundo Correia Neto e de Moura (2002), ao realizar a simulação usando o método de SMC, 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 & 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, 2009). 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

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 (, 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 (Kalos & Whitlock, 2008).

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) afirmam 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.

3 Procedimentos metodológicos

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. De acordo com os objetivos do presente trabalho estudou-se a SMC aplicado em um contexto de cronograma para realização de uma análise de risco para determinar as probabilidades de cumprimento dos prazos.

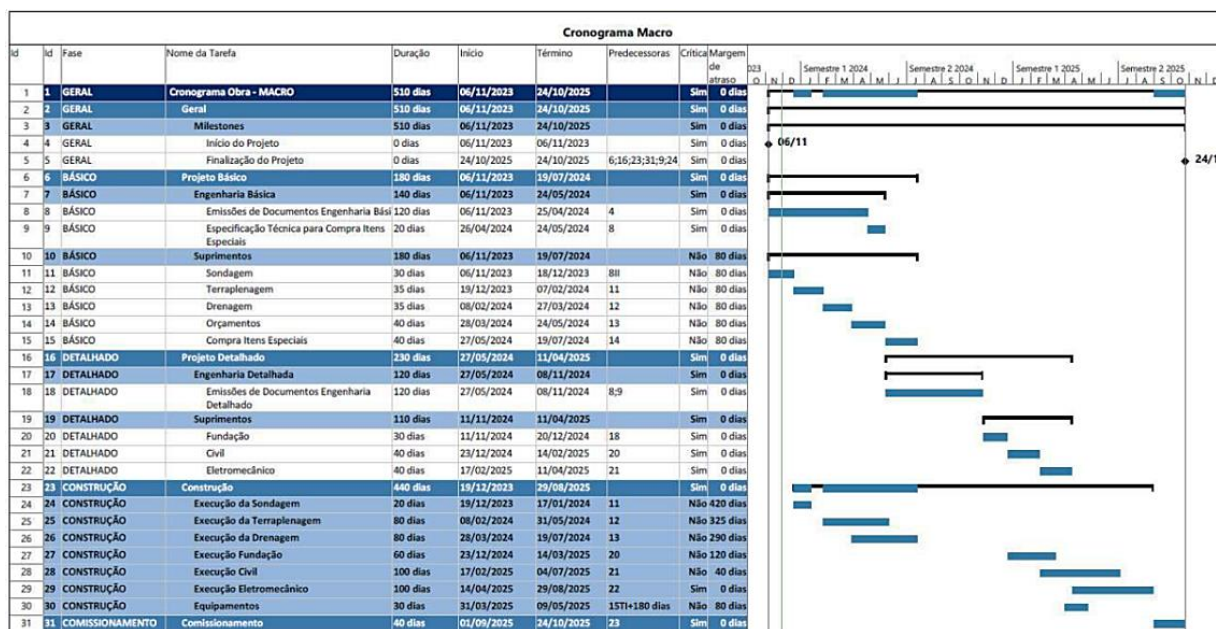
Primeiro foram utilizados dados retirados de um artigo, Hendradewa (2019), visando a validação do algoritmo desenvolvido, além de serem empregados para a comparação dos resultados obtidos. Após essa validação e comparação foi possível utilizar o algoritmo em

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, Figura 1 as tarefas, suas respectivas estimativas de duração de cada tarefa, também apresenta o gráfico *Gantt* que respeita as relações de predecessora e sucessora de cada atividade.

Figura 1.

Cronograma Macro



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

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. Assim, foi utilizado o caminho crítico gerado pelo *Software Project* e com a folga permitida igual a zero.

Na Figura 2 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).

Figura 2.

Caminho Crítico

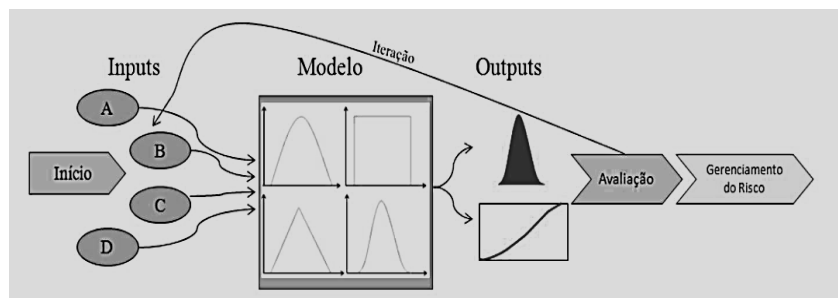
Id	Fase	Nome da Tarefa	Duração	Início	Término	Predecessoras	Critica	Margem de atraso total	Duração Esperada	Duração Otimista	Duração Pessimista	PERT	
8	BÁSICO	Emissões de Documentos Engenharia Básica	120 dias	06/11/2023	25/04/2024		4	Sim	0 dias	144	120	192	148
9	BÁSICO	Especificação Técnica para Compra 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	8,11		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	15T+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

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

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. Para SMC é necessário observar os passos do modelo conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3.

Simulação de Monte Carlo na Análise de Risco



Fonte: Adaptado de 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 *outputs* 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 à medida que se aumenta o número de simulações ($n \rightarrow +\infty$) a estimativa converge para o valor esperado (Dobrow, 2016). Esse comportamento é garantido pela Lei dos Grandes Números que é dividida em duas partes: Lei Forte e Lei Fraca (Rubinstein & Kroese, 2017).

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 (4) e ilustrado na Figura 4.

Distribuições Beta.

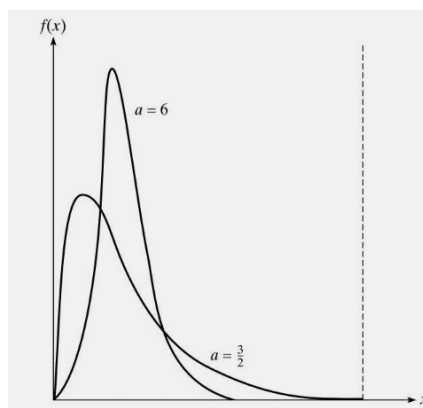
$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{B(a,b)} x^{a-1}(1-x)^{(b-1)} & \text{se } 0 \leq x \leq 1 \\ 0 & \text{outros casos} \end{cases} \quad (4)$$

Onde:

$$B(a, b) = \int_0^1 x^{a-1}(1-x)^{b-1} dx \quad (5)$$

Figura 4.

Distribuições Beta



Fonte: Adaptado de Ross (2010).

Na distribuição beta-PERT os parâmetros a e b são definidos pelas equações (6) e (7).

$$a = \frac{(\mu-o)(2m-o-p)}{(m-\mu)(p-o)} \quad (6)$$

$$b = \frac{p-\mu}{\mu-o} a \quad (7)$$

Onde o , p , m e μ são respectivamente os valores otimista, pessimista, mais provável e o PERT. 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. 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; Pandas como pd; Seaborn como srn; Matplotlib.pyplot. As principais funções utilizadas: `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; Calcula a média aritmética ao longo do eixo especificado.

4 Resultados e discussões

Nessa etapa do trabalho será apresentada uma análise de risco para verificação do prazo proposto no cronograma da Figura 1. Para o estudo, foram realizadas 10.000 simulações conforme a escolha recorrente encontrada na literatura. 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 evidenciadas nos IDs: 8-9-18-20-21-22-29-31 (Figura 2). Assim, 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, como pode ser visto na Figura 5.

Figura 5.

Simulações

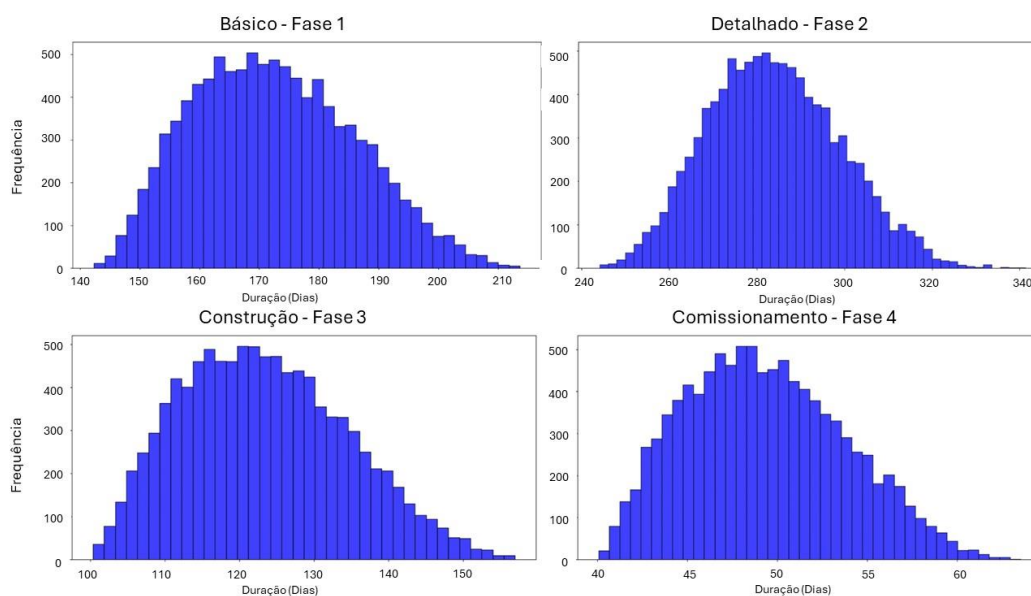
Index	Simulação1	Simulação2	Simulação3	Simulação4	Simulação5	...	Simulação9998	Simulação9999	Simulação10000
0	146.116	150.677	124.572	149.345	159.078		129.496	151.116	166.151
1	22.5341	22.7858	22.0848	22.5063	28.2851		25.5929	27.8925	28.8928
2	152.057	175.57	132.313	145.857	144.596		145.313	135.971	155.752
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

Fonte: elaborado pelos autores, 2024.

A Figura 7 ilustra o comportamento dessa distribuição por fase, ela ainda permite que a simulação seja feita com três diferentes durações: otimista, mais provável e pessimista.

Figura 6.

Inputs Cronograma

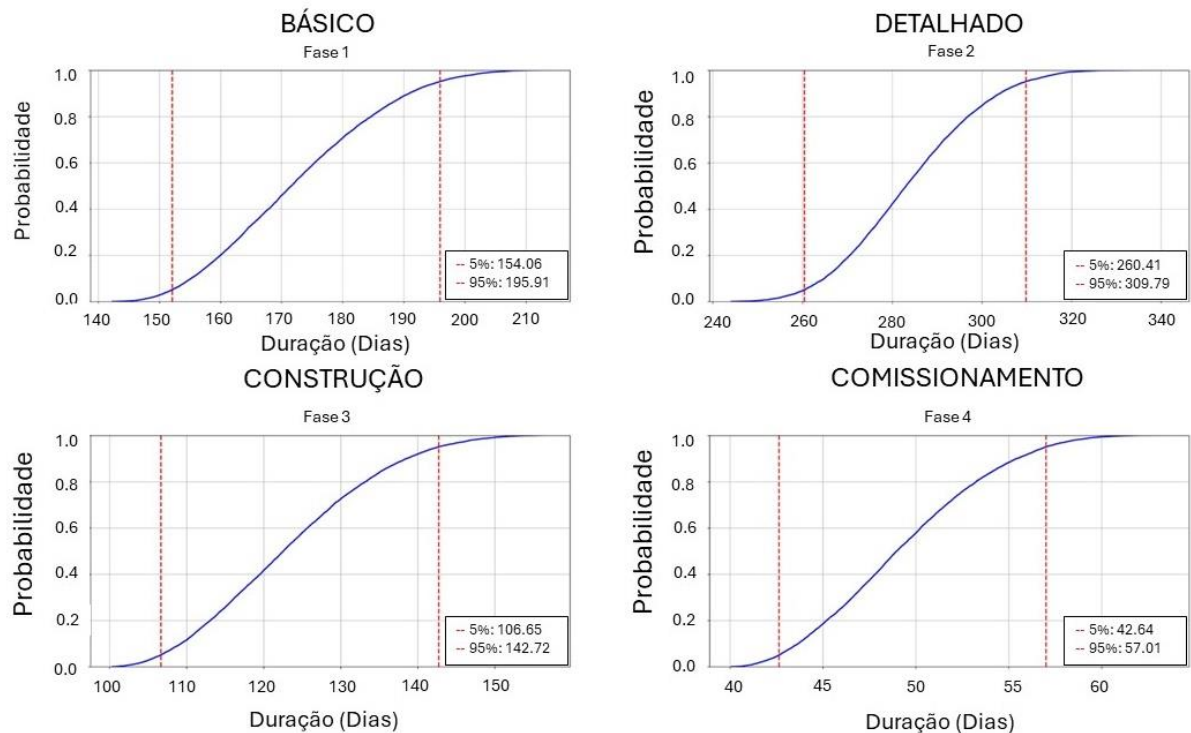


Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

No cronograma inicial, Figura 1, 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 7.

Figura 7.

Outputs Simulação

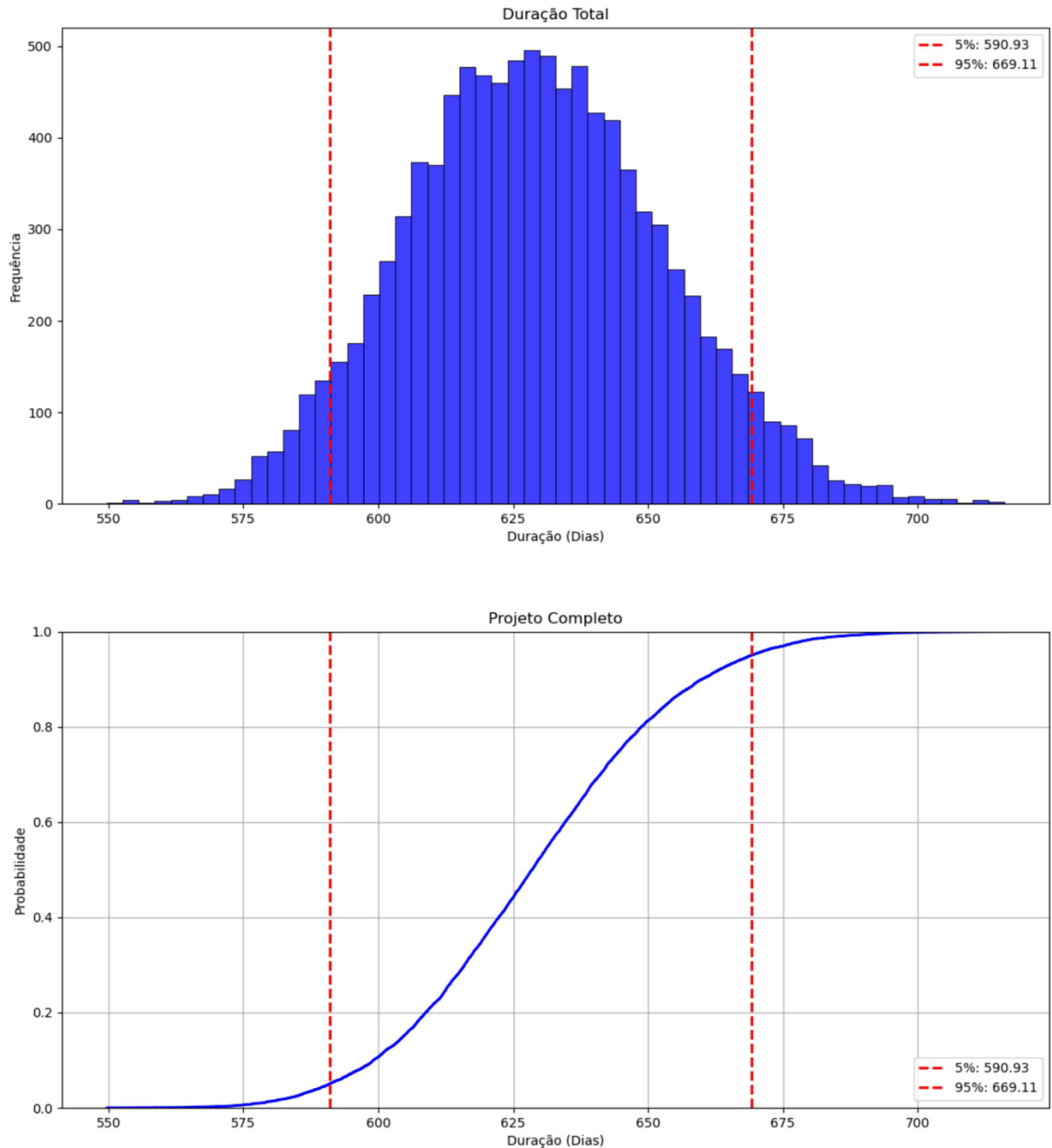


Fonte: elaborado pelos autores, 2024.

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 dias, a construção probabilidade de 95% de durar 142 e por fim o comissionamento 95% de chance de durar 57 dias. Na Figura 8 observa-se o comportamento geral do projeto considerando o somatório das fases em que existe a probabilidade de 5% do projeto finalizar em 590 dias e 95% de finalizar em 669 dias.

Figura 8.

Output Geral



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

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. 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 conseqüentemente 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 3, 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, o qual é apresentado por um histograma que se aproxima da distribuição normal conforme o teorema do limite central, anteriormente discutido.

Os resultados obtidos com as SMCs revelam uma significativa probabilidade de que as durações das fases do projeto excedam as estimativas iniciais, corroborando a literatura que destaca a dificuldade de prever com precisão prazos em projetos de construção devido à alta complexidade e incertezas associadas (Arashpour et al., 2016). Assim, ao oferecer uma visão detalhada dos riscos associados a cada fase, a SMC permite que os gestores de projetos tomem decisões mais detalhadas e antecipem os possíveis impactos, que conforme literatura, defende o uso de técnicas quantitativas para melhorar a gestão de riscos (Maletta, 2005).

5 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 da literatura 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. As contribuições deste estudo são duplas: teoricamente, o trabalho avança na compreensão da aplicação da SMC em cronogramas de projetos de construção, oferecendo uma análise mais refinada das incertezas; e, praticamente, fornece uma ferramenta robusta para a gestão proativa dos riscos, permitindo aos gestores desenvolver

estratégias mais eficazes para minimizar impactos e otimizar a conclusão do projeto dentro dos prazos previstos. Assim, este estudo não apenas valida e aprimora a metodologia existente, mas também propõe um caminho claro para sua implementação prática e potencial melhoria em futuras pesquisas.

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 a fim de 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. É importante também considerar as limitações do estudo, como a dependência da qualidade dos dados de entrada e a necessidade de calibração do modelo para refletir as especificidades do projeto.

Como sugestão para pesquisas futuras, pode-se realizar um comparativo de SMC com outras ferramentas quantitativas de análise de risco e verificar as principais diferenças para a

utilização. Este comparativo pode revelar as principais diferenças em termos de precisão, aplicabilidade e complexidade, auxiliando na escolha da ferramenta mais adequada para diferentes contextos. Além disso, explorar a integração da inteligência artificial na análise de risco pode oferecer novas perspectivas e aprimorar a capacidade preditiva, identificando padrões complexos e oferecendo insights adicionais para a gestão de riscos.

Referências

- Adedokun, O. A., Ibronke, O. T., Dairo, D. O., Aje, I. O., Awodele, O. A., Opawole, A. D., Akinradewo, O. F., & Abiola-Falemu, J. O. (2013). Evaluation of quantitative risk analysis techniques in selected large construction companies in Nigeria. *Journal of Facilities Management, 11*(4), 354–368. <https://doi.org/10.1108/JFM-11-2012-0053>
- Aguilar, G. de, Alves, C. da C., & Henning, E. (2010). Gerenciamento de projetos: simulação de Monte Carlo via a ferramenta simular. In: *ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - ENEGE, 30., 2010, São Carlos. Anais Eletronicos... São Carlos: Associação Brasileira de Engenharia de Produção.*
- Amorim, F. R. de, Abreu, P. H. C. de, Patino, M. T. O., & Terra, L. A. A. (2018). Análise dos Riscos em Projetos: Uma Aplicação do Método de Monte Carlo em uma Empresa do Setor Moveleiro. *Future Studies Research Journal: Trends and Strategies, 10*(2), 332–357. <https://doi.org/10.24023/futurejournal/2175-5825/2018.v10i2.314>
- Arashpour, M., Wakefield, R., Lee, E. W. M., Chan, R., & Hosseini, M. R. (2016). Analysis of interacting uncertainties in on-site and off-site activities: Implications for hybrid construction. *International Journal of Project Management, 34*(7), 1393–1402. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.02.004>
- Araújo, N. M. C., Avelino, L. D. L., & Araujo, V. D. S. (2018). Planejamento e controle na execução de obras de edificações verticais: um estudo multicaso na cidade de João Pessoa-PB quanto à compatibilização. *Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica Do IFPB, 1*(43), 32. <https://doi.org/10.18265/1517-03062015v1n43p32-39>
- Ayala-Cruz, J. (2016). Planificación de Riesgos en Proyectos para el Desarrollo de Nuevos Productos de Alta Tecnología. *Academia Revista Latinoamericana de Administracion, 29*(2), 110–124. <https://doi.org/10.1108/ARLA-11-2015-0297>
- Corrar, L. J. (1993). O modelo econômico da empresa em condições de incerteza aplicação do método de simulação de Monte Carlo. *Caderno de Estudos, d*(8), 01–11. <https://doi.org/10.1590/s1413-92511993000100004>
- Correia Neto, J. F. C., & de Moura, H. J. (2002). *Modelo prático de previsão de fluxo de caixa operacional para empresas comerciais considerando os efeitos do risco, através do método de Monte Carlo.* 8(3), 1–11.

- Dobrow, R. P. (2016). *Introduction to Stochastic Processes with R*. John Wiley & Sons, Inc.
- Dziadosz, A., & Rejment, M. (2015). Risk Analysis in Construction Project - Chosen Methods. *Procedia Engineering*, 122(December), 258–265.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.034>
- Eiras, F. C. da S., Tomomitsu, H. T. A., Linhares, I. M. P., & de Carvalho, M. M. (2017). Evolution of project management research: a bibliometric study of International Journal of Project Management. *Revista Gestão Da Produção Operações e Sistemas*, 12(1), 211–234. <https://doi.org/10.15675/gepros.v12i1.1617>
- Cavalcante Filho, J. U. D. P. (2019). *Avaliação de riscos com simulação de Monte Carlo em obras de grande porte (Dissertação - Mestrado em Engenharia Civil)*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará
- Fontes, M. F. C. (2012). *Mapeamento e análise do processo de gerenciamento de projetos e obras públicas: Um estudo de caso na Universidade Federal de Viçosa-MG (Dissertação de Mestrado)*.
- Halawa, W. S., Abdelalim, A. M. K., & Elrashed, I. A. (2013). Financial evaluation program for construction projects at the pre-investment phase in developing countries: A case study. *International Journal of Project Management*, 31(6), 912–923.
<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.11.001>
- Hendradewa, A. P. Schedule Risk Analysis by Different Phases of Construction Project Using CPM-PERT and Monte-Carlo Simulation. , 2019.
- Hopkinson, M. (2011). *Monte Carlo Schedule Risk Analysis-a process for developing rational and realistic risk models*. Risk Management Capability.
- Hulett, D. T. (1996). Schedule Risk Analysis Simplified. In *PM Network*, 10(7), 25–32.
www.projectrisk.com.
- Kalos, M. H., & Whitlock, P. A. (2008). *Monte Carlo Methods* (2th Ed.). WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.
- Kerzner, H. (2009). *Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling* (10th Ed). John Wiley & Sons, Inc.
- Loizou, P., & French, N. (2012). Risk and uncertainty in development: A critical evaluation of using the Monte Carlo simulation method as a decision tool in real estate development projects. *Journal of Property Investment and Finance*, 30(2), 198–210.
<https://doi.org/10.1108/14635781211206922>
- Maletta, B. V. (2005). *Bruno Vasques Maletta Modelos baseados em Simulação de Monte Carlo : Soluções para o cálculo do Value-at-Risk (Dissertação de Mestrado)*

- Mendes, J. R. B., do Valle, A. B., & Fabra, M. (2009). *Gerenciamento de Projetos*.
- Mendes, N. (2011). *Estrutura de Custos de Edifícios de Habitação*. 86.
- Pinto, I. C. M. D. S. (2017). Análise Dos Riscos Presentes Nos Custos Da Construção Civil Pelo Método Monte Carlo (Dissertação de Mestrado). In *Universidade Federal Do Ceará*. Universidade Federal Do Ceará.
- Poh, Y. P., & Tah, J. H. M. (2006). Integrated duration-cost influence network for modelling risk impacts on construction tasks. *Construction Management and Economics*, 24(8), 861–868. <https://doi.org/10.1080/01446190600658891>
- Poudel, A., Damnjanovic, I., Van Tang, Q., & Valenzuela, R. (2022). Risk-Based Multi-Objective Cross-Asset Budget Planning and Allocation Framework for the City of Sugar Land Integrated Asset Management System (IAMS). *Public Works Management and Policy*, 27(1), 5–28. <https://doi.org/10.1177/1087724X211046629>
- Project Management Institute. (2021). *The standard for project management and a guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)*.
- Pytel, W., Fuławka, K., Pałac-Walko, B., MERTUSZKA, P., KISIEL, J., JALAS, P., JOUTSENVAAARA, J., & SHEKOV, V. (2020). Universal approach for risk identification and evaluation in underground facilities. *Mining Science*, 27, 165–181. <https://doi.org/10.37190/MS202712>
- Renata, T. T. (2016). *Análise de risco na metodologia pert/cpm aplicado na construção civil (Trabalho de Conclusão de Curso)*. Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)
- Ross, S. (2010). A First Course in Probability. In *Technometrics* (Vol. 40, Issue 3). <https://doi.org/10.2307/1271207>
- Rubinstein, R. Y., & Kroese, D. P. (2017). *Simulation and the monte carlo method* (Third Ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Souza, J. S. De. (2011). Modelo para identificação e gerenciamento do grau de risco de empresas - MIGGRI. (Dissertação de Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS.
- Souza, L. C. L. de, Almeida, M. G. de, & Bragança, L. (2011). Econometria básica. In *Mqa*.
- Titman, S., & Martin, J. H. (2009). *Valuation: Avaliação de Projetos e Investimentos*.
- Wu, B., Qiu, W., Huang, W., Meng, G., Huang, J., & Xu, S. (2021). Dynamic risk evaluation method for collapse disasters of drill-and-blast tunnels: A case study. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 19(1), 309–330. <https://doi.org/10.3934/mbe.2022016>.
- Xavier, C. M. da S. (2011). Metodologia De Gerenciamento De Projetos. *Ministério Do*

Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria de Logística e Tecnologia Da Informação, 7.

Xu, R., & Wunsch II, D. C. (2009). *Clustering*. a john wiley & sons, inc.

Yin, R. K. (2001). *Estudo de Caso: Planejamento e Métodos* (2.Ed). Bookman.