



SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO APLICADA À PROJETOS DE RECERTIFICAÇÃO DE 5 ANOS EM EQUIPAMENTOS DE SUPERFÍCIE PARA PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO *OFFSHORE*

MONTE CARLO SIMULATION APPLIED TO 5-YEAR RECERTIFICATION PROJECTS IN SURFACE EQUIPMENT FOR DRILLING OFFSHORE OIL WELLS



Diogo Freitas Rodrigues

Mestrando em Engenharia de Produção e Sistemas Computacionais
Universidade Federal Fluminense – UFF.
Rio das Ostras, RJ – Brasil.
diogofreitas@id.uff.br



Ana Paula Barbosa Sobral

Doutora em Engenharia Elétrica (PUC-Rio)
Universidade Federal Fluminense – UFF.
Rio das Ostras, RJ – Brasil.
ana_sobral@id.uff.br

Resumo

Diversas ferramentas do gerenciamento de projetos podem ser aplicadas nos serviços da indústria de petróleo e gás. A ferramenta PERT, também conhecida como estimativa de três pontos, utiliza-se da informação de especialistas para calcular a duração das atividades do cronograma do projeto, levando em consideração cenários otimistas, mais prováveis e pessimistas, todos relacionados às incertezas e riscos do projeto. A ferramenta da Simulação de Monte Carlo propõe um processo de amostragem de números aleatórios, aplicados ao longo do caminho crítico de um projeto, para prever as probabilidades de conclusão em datas específicas. Com base neste contexto, o objetivo desta pesquisa é empregar a simulação de Monte Carlo como uma ferramenta para o Gerenciamento de Cronograma a partir da análise dos riscos, aplicada à projetos de recertificação de cinco anos em equipamentos de superfície para perfuração de poços de petróleo *offshore*. Para tanto, foi utilizada a combinação das ferramentas PERT e Simulação de Monte Carlo, dentre outros conceitos de gerenciamento de projetos, o que possibilitou realizar uma análise de probabilidade e obter uma previsão do cenário de conclusão do projeto, baseado em suas incertezas e riscos analisados. Os resultados demonstraram que o cronograma original do projeto possuía chances baixas de ser concluído dentro do prazo, de modo que a simulação realizada contribuiu para revisão e melhoria do cronograma inicial.

Palavras-chave: Petróleo e gás. Perfuração. Gerenciamentos de projetos. Riscos. Cronograma. Caminho crítico. PERT. Simulação. Monte Carlo.

Abstract

Several project management tools may be applied in oil and gas industry. The PERT tool, also known as estimate of three points, uses specialists' info to calculate the duration of project schedule tasks, taking into consideration optimistic, most likely, and pessimistic scenarios, all of them related to project's risks and uncertainty. Monte Carlo Simulation tool proposes a random numbers sampling process, applied throughout project critical path, to predict finishing probabilities within specific dates. This article aims to employ the Monte Carlo simulation as a tool for schedule management, based on risk analysis, applied to five-year recertification projects in surface equipment for drilling offshore oil wells. Therefore, using a combination of PERT and Monte Carlo Simulation tools, combine to other project management concepts, it was possible to perform a probability analysis and obtain a prediction of the project finish scenario, based on its risks and uncertainty analyzed. The results have shown the project original schedule had low chances of finishing within time established and so, the simulation performed contributes for the initial schedule revision and improvement.

Keywords: Oil and gas. Drilling. Project management. Risks. Schedule. Critical path. PERT. Simulation. Monte Carlo.

Cite como

American Psychological Association (APA)

Rodrigues, D. F., & Sobral, A. P. B. (2023, jan./abr.). Simulação de Monte Carlo aplicada à projetos de recertificação de 5 anos em equipamentos de superfície para perfuração de poços de petróleo *offshore*. *Revista de Gestão e Projetos (GeP)*, 14(1), 96-132. <https://doi.org/10.5585/gep.v14i1.23452>.

1 Introdução

Inseridos no contexto do mercado de exploração e produção de petróleo e gás no Brasil, mais especificamente no segmento de perfuração de poços, os chamados Navios Sonda ou as próprias plataformas de perfuração de Petróleo *offshore* são equipados com o pacote de equipamentos de perfuração, do termo mais conhecido em inglês “*Drilling Package*”. Esses referidos equipamentos são os responsáveis pelas operações principais, periféricas e de suporte, relacionadas à perfuração de um poço de Petróleo. Em geral, a maioria das plataformas possui uma torre principal, em torno da qual os equipamentos de perfuração são dispostos e operam (Pinkstone, 2018).

A respeito dos equipamentos de perfuração, é possível segregá-los em dois grandes grupos. O primeiro grupo está relacionado à Compensação de Movimento, que são os equipamentos responsáveis por manter a plataforma estável em relação à coluna de perfuração de modo a compensar a movimentação do mar atuante na embarcação/plataforma (Chu, 2020). O segundo grupo diz respeito aos equipamentos ligados diretamente às ações de descida da broca pela coluna de perfuração e rotação da broca para abrir caminho ao longo das formações rochosas no fundo do mar (Wada, 2018). Conforme mostrado por Gallagher (2021), um dos serviços necessários nas plataformas é a recertificação de cinco anos tanto para equipamentos de superfície para perfuração quanto para equipamentos submarinos. O trabalho necessário para realizar tais serviços a bordo ou em uma oficina de reparos é complexo e necessita de planejamento para alcançar sucesso.

Para a realização da recertificação dos equipamentos de perfuração, bem como de todos os demais segmentos a bordo, as plataformas reservam um determinado tempo fora de operação, o chamado período de docagem, quando a embarcação navega para águas rasas, fica fundeada ou até mesmo atracada a algum porto para viabilizar e facilitar todos os processos envolvidos. O período de docagem é curto frente à quantidade de atividades a serem executadas e também frente a complexidade da maioria delas. Esse período curto se dá, dentre outros fatores, devido a questões financeiras, de modo que cada dia que uma plataforma está docada e ser operar/perfurar, está deixando de faturar cerca de 200 mil dólares, em média, dependendo do tipo de embarcação e contrato que possua com a operadora do campo de petróleo correspondente (Selvaraj, 2020).

Segundo Ochieng *et al.* (2018), aplicam-se as boas práticas de Gerenciamento de Projetos segundo o guia PMBOK® (*Project Management Body of Knowledge*) para a

recertificação de cinco anos dos equipamentos de perfuração de superfície, a fim de garantir que o todo o escopo seja finalizado dentro do custo e prazo estabelecidos, com os padrões de qualidade exigidos. Deste modo, por meio de análises quantitativas, a Simulação de Monte Carlo é uma das técnicas que podem ser utilizadas durante o gerenciamento, permitindo simular, a partir do cronograma do projeto e suas incertezas associadas, as probabilidades de alcançar a data planejada de conclusão, bem como as chances de antecipação ou atrasos.

Inserida no contexto do mercado de petróleo e gás mostrado acima, considera-se uma empresa genérica que possui como sua principal atividade operacional a realização de Projetos de Recertificação de cinco anos em equipamentos de superfície para perfuração de poços de petróleo *offshore*. Um dos principais pilares desses projetos é o cronograma de execução, com datas de início e fim do projeto, detalhamento de atividades a serem cumpridas, duração de atividades e sequenciamento entre elas. Dependendo da complexidade específica do projeto e/ou equipamento, o cronograma de execução pode conter centenas ou milhares de atividades necessárias.

O principal problema enfrentado pela referida empresa é uma alta taxa de atraso em projetos, que trazem consigo prejuízos financeiros e insatisfação do cliente final (Petrobras). Dessa forma, o presente estudo visa contribuir com uma técnica estruturada de solução e verificar se é possível utilizar método científico, dentro do contexto de Gerenciamento de Projetos, para prever/simular com maior acuracidade a data real de conclusão de projetos, a fim de tentar reduzir os impactos negativos causados por atrasos. Assim, o objetivo deste artigo é empregar a simulação de Monte Carlo como uma ferramenta para o Gerenciamento de Cronograma, a partir da análise dos riscos, aplicada à projetos de recertificação de cinco anos em equipamentos de superfície para perfuração de poços de petróleo *offshore*.

Alguns estudos com propostas similares foram conduzidos nos últimos anos, tais como Vergara, Teixeira e Yamanari (2017) e Zhang e Jin (2020). O primeiro realizou uma análise de risco em projetos de engenharia utilizando o método PERT (*Program Evaluation and Review Technoque*) / CPM (*Critical Path Method*), que será detalhado ao longo deste trabalho, com simulação e aplicação em uma empresa de construção civil, obtendo resultados consistentes que permitiram concluir que os projetos podem ser mais bem-sucedidos quando tratados com uma metodologia consistente que analisa e representa suas atividades utilizando estimativas de tempo e são gerenciadas pela análise de risco. Já o segundo estudo mencionado, utilizou o método de Monte Carlo para modelar o cronograma de projeto do sistema de gerenciamento de

recursos humanos de uma companhia, de modo que o foco esteve no software em questão. Os resultados indicaram que a utilização da linguagem de programação Python para a simulação de Monte Carlo se mostrou conveniente e altamente eficiente, fornecendo referência e guia para reduzir riscos e melhorar eficiência econômica para a companhia.

Tomando como referência os estudos citados anteriormente, este presente trabalho busca contribuir com o estado da arte estendendo a aplicação de Monte Carlo em projetos de Engenharia, mais precisamente no segmento de reparo de equipamentos de perfuração *offshore*, de modo a entregar os resultados sem a necessidade de complexidade computacional, com a utilização do software Microsoft Excel®.

A estrutura deste trabalho está dividida em 7 Capítulos, estando eles apresentados na seguinte ordem: Introdução, Procedimentos Metodológicos, Referencial Teórico, Coleta de Dados, Construção do Banco de Dados, Análise e Discussão dos Resultados e Conclusões.

2 Referencial teórico

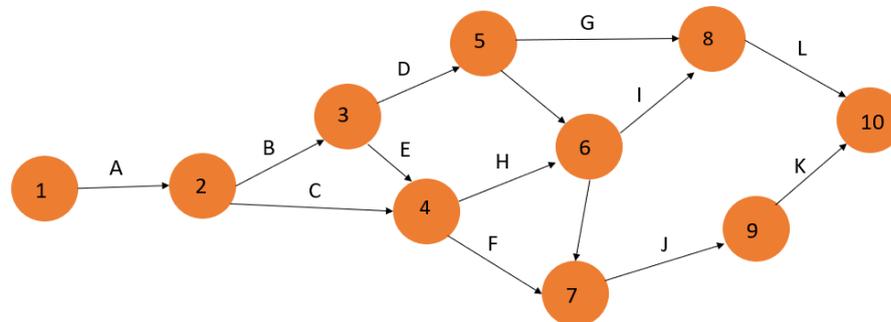
Considerado mundialmente como o principal e mais conceituado guia de boas práticas em gerenciamento de projetos, o PMBOK® será utilizado como referência central neste estudo. O Guia possui 7 edições no total, sendo a última lançada em 2021. O foco estará no Gerenciamento do Cronograma e dos Riscos, que são as responsáveis diretas pelas técnicas de elaboração e controle do cronograma de um projeto. Na sequência, é realizado um aprofundamento na técnica de Simulação de Monte Carlo.

2.1 Gerenciamento do cronograma

O Gerenciamento do Cronograma visa garantir que as atividades ocorram no tempo de duração planejado e que o Projeto termine na data esperada. (Ansari, 2022). Durante o processo de realizar o sequenciamento das atividades definidas, uma das principais ferramentas/técnicas utilizada é o Método do Diagrama de Precedência, que inclui quatro tipos de dependências ou relacionamentos lógicos entre atividades predecessoras e sucessoras, conforme mostram Ljiljanić, Rajić, e Paunović (2022), sendo a dependência do tipo “Término para início (TI)” a mais comum. Como uma das principais saídas desse processo pode-se destacar o Diagrama de Rede do Cronograma do projeto, vide exemplo da Figura 1 (Yu, 2022).

Figura 1.

Exemplo Genérico de Um Diagrama de Rede do Cronograma



Fonte: Adaptado de Yu e Zuo (2022, p. 09).

Teo *et al.* (2022) mostrou que, após o sequenciamento das atividades, é preciso estimar as durações das mesmas. As ferramentas/técnicas mais bem aceitas e utilizadas são a Estimativa Análoga, Estimativa Paramétrica, Estimativa de Três Pontos e Estimativa “*Bottom-Up*”. A estimativa de Três Pontos é uma das mais utilizadas e precisas, melhorando a exatidão das estimativas de duração de ponto único, considerando riscos e incertezas das estimativas, tendo a Estimativa Mais Provável, a Otimista e a Pessimista, colocadas em uma fórmula de média ponderada (Passos, 2018). A estimativa de três pontos será detalhada posteriormente.

2.1.1 Estimativa de Três Pontos – PERT

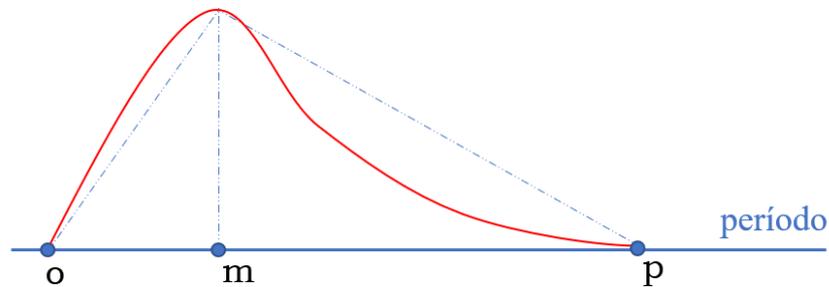
Koulinas (2020) afirma que a exatidão das estimativas de duração de ponto único pode ser otimizada, considerando-se o risco e a incerteza da estimativa. A ferramenta PERT é uma abordagem que adiciona o fator incerteza no tempo e/ou custo da atividade. Utilizar estimativas de três pontos ajuda a estabelecer uma faixa aproximada para a duração de uma atividade:

- (*m*) estimativa mais provável para duração de uma atividade; assume-se que a mesma pode ser concluída em circunstâncias normais, dados os recursos prováveis alocados, produtividade, expectativas realistas de disponibilidade, dependências de outros participantes e interrupções;
- (*o*) estimativa otimista sobre a duração de uma atividade é baseada na análise do melhor cenário, na qual se assume que na realização da atividade tudo é perfeito;
- (*p*) estimativa pessimista acerca da duração de uma atividade, nesta assume-se o pior cenário.

Segundo Krisper (2020), inserido na abordagem da técnica PERT, existe a figura de um profissional com vasta experiência nas atividades em questão e todos os aspectos que as compõem, considerado especialista. Este fica responsável por prover as estimativas de duração das atividades. Também, leva-se em conta que a duração de cada estimativa segue uma distribuição aleatória que varia entre os valores extremos, isto é, entre o e p , e eles seguem uma distribuição de probabilidade *beta*. Uma função de distribuição típica *beta* e a sua aproximação triangular é mostrado na Figura 2.

Figura 2.

Função de Distribuição Triangular Aproximada da Função de Distribuição Beta



Fonte: Adaptado de Vergara, Teixeira e Yamanari (2017, p. 07).

É possível notar que não é obrigatório que exista uma simetria entre a diferença entre “ m ” e “ p ”, bem como entre o “ o ” e “ m ”. A duração da atividade DA segue uma distribuição *beta* e pode ser aproximada pela média ponderada, como mostra a Equação 1, a seguir:

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

Onde:

o = estimativa otimista,

m = estimativa mais provável,

p = estimativa pessimista.

O desvio-padrão da duração de uma atividade serve como medida de risco e pode ser calculado utilizando a filosofia de um intervalo de três desvios-padrão, vide Equação 2:

$$\sigma^2 = \left(\frac{p-o}{6}\right)^2 \quad (2)$$

O cálculo é baseado no intervalo três sigmas que se encontra numa distribuição normal. A distribuição três sigmas para a distribuição normal é um intervalo entre a média + ou - e três desvios-padrão, afirmando que 99,73% das observações podem ser encontradas nesse intervalo. Assim, o cálculo do desvio-padrão com base no intervalo da distribuição normal, apresentado na Equação 2, indica que a técnica PERT assume que todas as observações relacionadas com o tempo de duração das atividades ficam dentro do intervalo $[o, p]$ (Vergara, Teixeira, & Yamanari, 2017).

2.1.2 Método do caminho crítico

Um projeto é composto por inúmeras atividades que envolvem muitas pessoas e recursos e, dificilmente um gerente de projeto pode manter o controle sobre todas as operações em questão. Atividades com baixo grau de controle e envolvimento ou inconsistências durante o planejamento podem afetar o cronograma de execução do projeto, provocando um projeto de alto custo operacional, além de clientes e gerentes insatisfeitos (Lee & Shvetsova, 2019).

Esse método ajuda os gerentes de projeto a controlar dois fatores: o tempo que demora um projeto para sua conclusão e quais são as atividades críticas ou importantes que devem ser concluídas antes do início de outras atividades dependentes. Assim, depois que uma rede é construída, uma análise sistemática classifica as atividades em críticas e não críticas. Os seguintes passos podem ser seguidos para construir o modelo do projeto (Wulandari, 2018): 1) Realização de uma lista de todas as atividades do projeto; 2) Determinação do tempo de duração de cada atividade desde o início até a sua conclusão; 3) Determinação das relações de precedência das atividades.

O caminho mais crítico é uma sequência de atividades específicas e relevantes que determina o menor tempo possível para completar o projeto. Qualquer atraso de uma atividade no caminho crítico impacta diretamente na data de conclusão do projeto planejado. Um projeto pode ter vários caminhos paralelos ou críticos.

Para determinar o caminho crítico de um projeto, deve-se definir a primeira data que uma atividade pode ser iniciada (PDI), considerando as atividades precedentes, e a última data que uma atividade pode ser finalizada sem comprometer as demais (UDI), isto é, o tempo limite para realização de um evento sem atrasar o projeto (Soni, 2022). Ambas são calculadas por meio das equações 3 e 4:

$$PDI = \max \{Tarde_{posterior} + Duração\} \quad (3)$$

$$UDI = \min \{Cedo_{posterior} - Duração\} \quad (4)$$

As folgas representam o tempo que uma atividade pode atrasar sem comprometer a duração total do projeto. Elas resultam da diferença entre o tempo mais tarde e o mais cedo de uma atividade.

2.2 Gerenciamento dos riscos

O Gerenciamento dos Riscos do Projeto primeiramente deve esclarecer um conceito relevante de que existem riscos que impactam o projeto negativamente, chamados de Ameaças, e também riscos que impactam o projeto de forma positiva, chamados de Oportunidades.

O Plano de Gerenciamento dos Riscos deve conter as definições dos níveis de probabilidade e impacto para classificação posterior de cada risco, geralmente em relação aos objetivos de cronograma, financeiro e de escopo do projeto. O grau de detalhe exigido para o Gerenciamento de Riscos do projeto também vai direcionar a quantidade de níveis estabelecidos na escala de modo que processos mais simples tem três níveis e processos mais detalhados podem ter cinco ou mais níveis. Junto com a escala também é estabelecida a Matriz de Probabilidade e Impacto, que será muito utilizada nos processos seguintes (Pecina, 2022). A Figura 3 mostra um exemplo de definições de níveis e escala, bem como a matriz de probabilidade e impacto.

Figura 3.

Exemplo de Matriz de Probabilidade e Impacto para Ameaças

		Consequência							
		Pequena Primeiros socorros	Moderada Hospitalização <2 dias	Séria Hospitalização >2 dias	Grande Invalidez	Catastrófica Morte			
P r o b a b i l i d a d e	Muito Provável	>1/10 >10%	5						
	Provável	>1/20 5.1-10.0%	4	28%	53%	15%	4%	<1%	
	Possível	>1/100 1.1-5.0%	3						
	Improvável	>1/1000 0.1-1.0%	2						
	Raro	<1/1000 <0.1%	1						
	Risco Médio (p50) = verde claro = categoria de risco moderado								

Fonte: Adaptado de Lemmens *et al.* (2022, p. 06).

Segundo Tembo-Silungwe e Khatleli (2017), para o processo de Identificar os Riscos, será necessário o envolvimento da maior quantidade de partes interessadas possível, de modo que pessoas, equipes e setores heterogêneos trarão pontos de vistas também completamente diferentes sobre um mesmo aspecto envolvido no projeto e, conseqüentemente, potencialmente muito mais riscos podem ser identificados. Também é importante lembrar que, de forma preliminar, praticamente nenhum possível risco levantado deve ser descartado, por mais irrealista ou improvável que pareça, pois esse entendimento será mais bem detalhado durante o processo seguinte de Análise Qualitativa dos Riscos.

As principais ferramentas/técnicas utilizadas durante o processo de identificação dos Riscos são a opinião especializada e coleta de dados, sendo esta última podendo ser individual ou, preferencialmente, coletiva, por meio de *Brainstormings*, reuniões, debates etc. Algumas ferramentas de análise de dados também podem agregar bastante valor, tais como as seguintes: Análise de causa-raiz; Análise de premissas e restrições, Análise de forças, fraquezas, oportunidades e ameaças (da sigla em inglês SWOT); e Análise de documentos do projeto (Ghorbani *et al.*, 2022).

Já no processo de Análise Qualitativa dos Riscos é realizada a priorização dos riscos identificados para planejamento de ações posteriores. A priorização é realizada principalmente com base na avaliação da probabilidade de cada risco de fato ocorrer, bem como no impacto que ele causará no projeto. Um dos principais benefícios desse processo é concentrar os esforços nos riscos mais críticos que aparecerão no topo da lista, devido à inviabilidade de

planejar respostas a todos os riscos identificados para o projeto (que podem ser centenas ou milhares), por falta de tempo e recursos suficientes (Hirman, 2019).

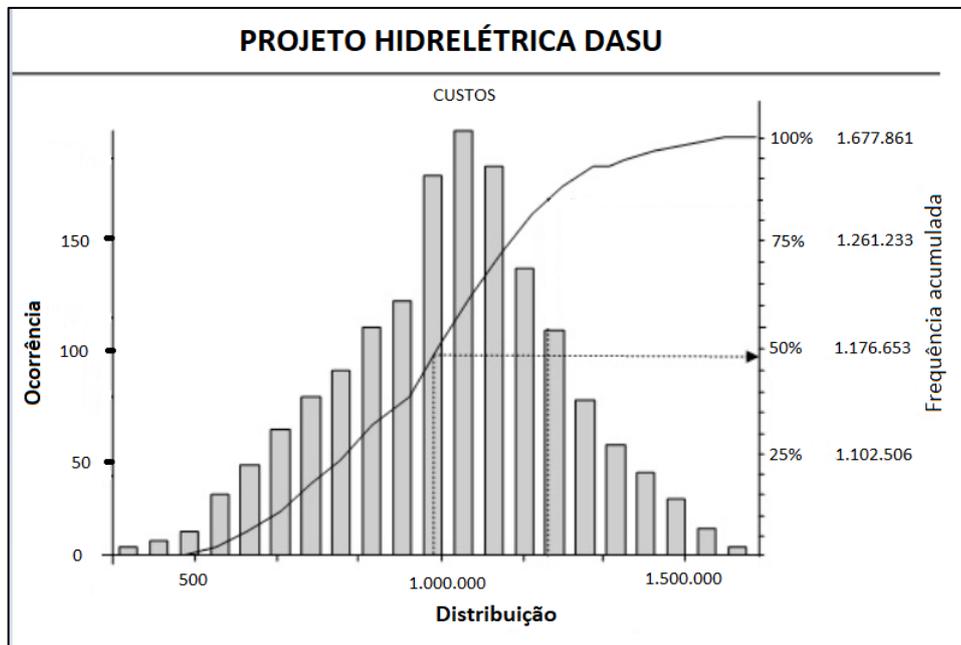
É nesse momento que serão utilizados a Estrutura Analítica dos Riscos para categorização dos riscos, os Níveis de escala em relação aos objetivos do projeto e a Matriz de Probabilidade e impacto para ameaças e oportunidades, conforme exemplos mostrados anteriormente. Além de probabilidade e impactos dos riscos, outros parâmetros também podem ser considerados, tais como Urgência, Proximidade, Dormência, Gerenciabilidade, Capacidade de Controle, Capacidade de Detecção, Conectividade, Impacto Estratégico, e Proximidade (Samarino, 2018).

O processo de Análise Quantitativa dos Riscos provê uma análise numérica dos riscos identificados e qualificados anteriormente, porém não é mandatário que seja realizada em todos os projetos, principalmente quando não há disponibilidade de grande quantidade de dados de qualidade sobre os riscos, e também pelo fato de que pode consumir muito tempo e recursos para sua realização. Sendo assim, esse processo é mais apropriado para projetos complexos, de grande porte, ou de importância estratégica (Hartono, 2018).

Uma das principais ferramentas/técnicas utilizadas é a Análise de Dados, por meio de Simulação, mais precisamente com a utilização da Simulação de Monte Carlo. Essa técnica recebe como entrada os dados de probabilidade e impacto de cada risco, gera resultados aleatórios por um software e fornece como saída uma distribuição normal de probabilidade que mostra as chances (em porcentagem) do projeto ser concluído dentro do prazo e/ou dentro do custo planejado, por exemplo (de Amorim, 2018). A Figura 4 mostra um exemplo de resultado obtido a partir da SMC (Simulação de Monte Carlo) para simular o custo total de um projeto, de modo que este tem 50% de chances de custar menos de R\$ 1,17 milhões e 75% de chances de custar mais de R\$ 1,26 milhões. A SMC será mais detalhada e aprofundada na próxima seção.

Figura 4.

Simulação de Monte Carlo em Relação aos Custos Totais do Projeto



Fonte: Adaptado de Mubin, Jahan e Gavrishyk (2019, p. 10).

2.3 Simulação de Monte Carlo

Qazi *et al.* (2021) define Monte Carlo como uma técnica de análise de dados por meio de Simulação. A análise quantitativa dos riscos utiliza um modelo que simula os efeitos combinados dos riscos individuais e outras fontes de incerteza para avaliar o possível impacto de alcançar os objetivos do projeto. Quando a Simulação de Monte Carlo é executada para risco de cronograma, utiliza-se o diagrama de rede do mesmo e estimativas de duração.

Um software é usado para iterar o modelo de análise quantitativa dos riscos milhares de vezes. Os valores de entrada (estimativas de duração) são escolhidos aleatoriamente para cada iteração. As saídas representam a faixa de resultados possíveis para o projeto (data de conclusão, por exemplo). As saídas típicas incluem um histograma que apresenta o número de iterações em que determinado resultado decorreu da simulação ou uma distribuição de probabilidade cumulativa (Curva-S), representando a probabilidade de alcançar qualquer resultado determinado ou menos.

Uma quantidade grande de trabalhos pode ser encontrada utilizando a aplicação da Simulação de Monte Carlo em diversas áreas profissionais, sociais, ambientais, tecnológicas etc., de modo a simular resultados futuros de projetos sendo planejados no presente (ver: Islam

et al., 2022; Macias *et al.*, 2022). A seguir são apresentados alguns dos trabalhos recentes mais relevantes e suas contribuições para o tema.

Islam *et al.* (2022) utilizou um modelo de Simulação de Monte Carlo para previsão de custos relacionados a projetos de implantação de Usinas Termelétricas, se baseando na análise dos riscos envolvidos nesse tipo de indústria. Os resultados da simulação mostraram que cerca de 40% do orçamento inicial estimado de um projeto tinha maior probabilidade de estourar o orçamento, enquanto o estouro máximo do custo não excederia 75%, com 90% de confiança. Como conclusão do estudo, verificou-se que a análise pode servir para sensibilizar os gerentes de projeto para enfatizar a precisão do orçamento das usinas termelétricas não apenas na fase inicial de entrega do projeto, mas durante todo o ciclo de vida do mesmo.

Por outro lado, Macias *et al.* (2022) utilizou a Simulação de Monte Carlo em uma indústria com menor complexidade, porém com níveis de importância similares. Trata-se de uma construção de um prédio de escola primária no Peru, onde os recursos públicos para esse tipo de projeto são limitados e carecem de um planejamento acurado do ponto de vista de orçamento. A partir dos resultados obtidos foi possível inferir que as mudanças climáticas e os eventos naturais são os fatores mais relevantes que causam estouros de orçamento e, com isso, sugere-se um foco ainda maior por parte dos gerentes de projetos de modo a incluir planos de contingência no orçamento original para cobrir tais riscos. Além disso, também ficou evidenciada a necessidade de se estabelecer contratos extremamente detalhados com fornecedores, para evitar disputas comerciais, custos adicionais e atrasos.

A fim de fornecer contribuição na área de sustentabilidade e meio-ambiente, Sorenson, McCormick e Dyck (2019) realizaram estudos relacionados à poluição de solo, identificando que um gerenciamento efetivo depende de caracterização e mapeamento da extensão de solo contaminado. Os objetivos deste estudo foram determinar a precisão de diferentes intensidades de amostragem e o número ideal de amostras necessárias para minimizar os custos do projeto de remediação. Para determinar a precisão associada a diferentes intensidades de amostragem, uma simulação de Monte Carlo foi realizada. O número ótimo de amostras foi determinado com base em fatores econômicos e nas funções de erro geradas com as simulações de Monte Carlo. Após apresentação e discussão dos resultados, concluiu-se que a coleta de menos de 25 amostras para caracterização das chamadas plumas de contaminação leva a uma baixa confiança na caracterização precisa, com um erro de 90% na simulação. Assim, os profissionais envolvidos na caracterização de plumas contaminantes devem antecipar a coleta de centenas de

pontos de dados para uma caracterização precisa. Com a disponibilidade de dados de sensor de custo mais baixo para uma variedade de contaminantes do solo, a coleta desses volumes de dados é viável.

2.3.1 Cálculo de probabilidade

Assim como mostrado anteriormente, a partir da determinação do caminho crítico do cronograma, é possível obter a variância dos tempos de cada atividade que devem ser somados ao longo do caminho crítico (Kusumadarma *et al.*, 2020). Quando se tem uma função de distribuição com uma média e variância, a função da distribuição amostral da média se aproxima de uma função de distribuição normal quando o tamanho da amostra é grande. Depois de descobertos os tempos esperados das atividades e suas respectivas variâncias, assume-se que a modelagem do sistema segue uma distribuição normal pelas interações que foram realizadas. Assim, pode-se calcular a probabilidade de completar o projeto na data fixada (Tokdemir, Erol e Dikmen, 2019). Essa probabilidade pode ser calculada pela Equação 5:

$$Z = \frac{F-T}{\sqrt{\sum \sigma^2_{CC}}} \quad (5)$$

Onde $\sum \sigma^2_{CC}$ é a soma das variâncias ao longo do caminho crítico.

O valor da probabilidade de terminar o projeto em uma data determinada (F) considera a magnitude do tempo esperado, o valor Z , que é encontrado na tabela de distribuição normal e a soma das variâncias dos tempos das atividades que compõem o caminho crítico.

3 Procedimentos metodológicos

Neste Capítulo é apresentada a metodologia utilizada para construção do trabalho, primeiramente com base na classificação da pesquisa e, em seguida, por meio do detalhamento das etapas do procedimento de trabalho.

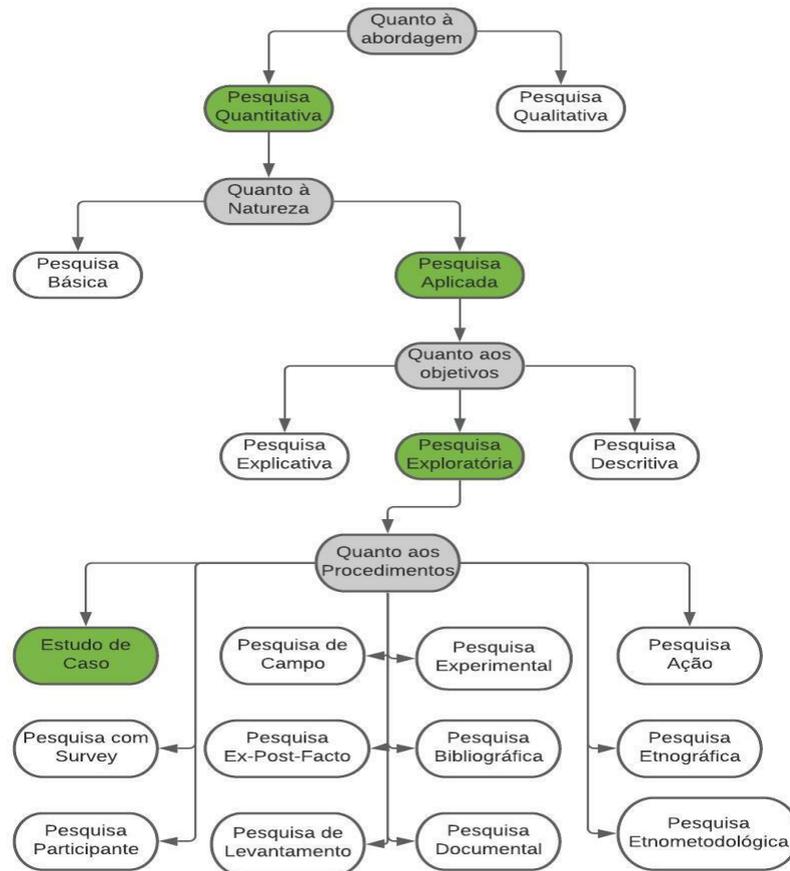
3.1 Classificação da pesquisa

Segundo Paiva (2021), para realizar a classificação dos Métodos de Pesquisa é necessário especificar o trabalho em relação à sua abordagem, natureza, objetivos e procedimentos. Dentro de cada um desses aspectos, são feitas as escolhas mais adequadas para

a pesquisa, levando aos passos seguintes e obtendo uma estrutura definida ao final, conforme visto na Figura 5.

Figura 5.

Classificação da Metodologia da Pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Paiva (2021).

Em relação à abordagem e natureza, esta pesquisa é classificada como Pesquisa Quantitativa Aplicada, com a intenção de gerar conhecimentos que possam ser aplicados na prática, buscando tomar problemas específicos para direcionar soluções, e também se caracteriza por coletar e analisar os dados numéricos com ênfase na objetividade e também na utilização da estatística (Brito, 2020).

Do ponto de vista dos objetivos, esta pesquisa é de caráter exploratório, visando tornar o problema explícito mostrando uma familiaridade maior, bem como estimulando sua compreensão através de levantamento bibliográfico e análise de exemplos (Paiva, 2021). Por

fim, entende-se esta pesquisa como um estudo de caso, de maneira a avaliar de forma profunda e exaustiva um ou poucos objetos, permitindo seu amplo e detalhado conhecimento. O estudo de caso também é caracterizado devido a sua relativa simplicidade e economia na coleta de dados, e sua aplicabilidade em situações em que o objeto de estudo é conhecido (Brito, 2020).

3.2 Etapas do procedimento de trabalho

A fim de estabelecer um formato lógico e sistematizado para condução da pesquisa, este trabalho foi dividido nas seguintes etapas: referencial teórico, procedimentos metodológicos incluindo coleta de dados, construção do banco de dados, análise e discussão dos resultados e conclusões.

Etapa 1: Referencial teórico

Na primeira etapa, foi realizado o desenvolvimento teórico relacionado às boas práticas de Gerenciamento de Projetos, segundo o PMBOK®, de modo a estudar o Gerenciamento do Cronograma, como uma das áreas de conhecimento do guia, trazendo ênfase maior ao método do caminho crítico e também às técnicas de Estimativa de Três Pontos para estimativas de duração das atividades do cronograma do projeto. Em seguida, foi estudada a área de conhecimento do Gerenciamento dos Riscos em Projetos, usando como referência autores que realizaram pesquisas relacionadas.

Na parte final do capítulo, foi realizado um estudo sobre a Simulação de Monte Carlo, trazendo definições sobre o tema, sua utilização como ferramenta computacional para simulação de resultados e cenários de conclusão em projetos, e também apresentando exemplos de estudos dos últimos cinco anos de algumas áreas diversas de aplicação, mostrando a grande contribuição da aplicação prática do método, e o potencial de analisar os resultados futuros de eventos feitos no presente. Por fim, foi realizado um detalhamento mais específico do cálculo de probabilidade, que será fundamental nas etapas subsequentes.

Etapa 2: Procedimentos metodológicos (incluindo coleta de dados)

Essa etapa inicia-se com a apresentação da metodologia utilizada para construção do estudo, com base na classificação da pesquisa e por meio do detalhamento das etapas do procedimento de trabalho. Em seguida, prossegue-se com a realização da coleta dos dados que serão necessários para aplicar os instrumentos elaborados e técnicas necessárias. Por vezes,

pode se tornar uma etapa que demanda mais tempo do que a expectativa inicial e tem seu desenvolvimento cansativo, exigindo do pesquisador perseverança, esforço e cautela para registrar os dados que serão utilizados como base do produto e resultados almejados (Marconi & Lakatos, 2002).

Conforme mencionado, a empresa sendo considerada para essa pesquisa está localizada na região de Macaé/RJ, e realiza reparos para recertificação periódica a cada cinco anos, nos referidos equipamentos de superfície para perfuração de poços de petróleo *offshore*. A base de dados da empresa estudada é o software integrado RigOffice, atualmente na versão 5.7.2.1, cujo desenvolvimento é realizado e mantido exclusivamente pela própria empresa. O software realiza o armazenamento, gerenciamento e controle de revisões de todas as documentações referentes aos projetos executados na empresa, com base em algumas referências, dentre elas o número de *ticket* individual e único.

O levantamento de dados para o problema se deu com base nas consultas diretas dentro do software RigOffice realizadas pelo próprio pesquisador, bem como envolveu reuniões e trocas de e-mails com diferentes profissionais e setores da empresa envolvidos na cadeia de gerenciamento de projetos de uma forma geral.

Etapa 3: Construção do banco de dados e primeiros resultados

Para a etapa seguinte, referente à construção do banco de dados, Brito (2020) mostra que após a coleta de dados é necessário elaborar e classificar os dados de uma maneira sistemática com o objetivo de realizar a montagem do banco de dados de trabalho. Previamente à análise e interpretação, os dados devem ser submetidos a etapas de seleção, codificação e tabulação.

A partir dos dados coletados, tais como cronogramas de projetos desenvolvidos no software Microsoft MS Project, foi concebida uma planilha eletrônica com os dados históricos de durações das atividades de diversos projetos realizados nos últimos anos, assim como as comparações entre as datas planejadas e as datas reais de execução dos escopos. Também foram obtidos os dados de estimativas das durações das atividades do cronograma, baseadas na técnica de estimativa de três pontos (detalhada no capítulo de referencial teórico deste trabalho). Os dados da planilha servem como input para a realização da Simulação de Monte Carlo no software Microsoft Office Excel®.

Etapa 4: Aplicação da Simulação de Monte Carlo e Análise e discussão dos resultados

A quarta etapa diz respeito ao estudo de caso, que foi composto pela aplicação da Simulação de Monte Carlo, recebendo os dados de entrada, gerando resultados aleatórios com uso do software e fornece como saída uma distribuição normal de probabilidade que mostra as chances (em porcentagem) do projeto ser concluído dentro do prazo planejado. A sequência de passos aplicada inicia-se com a identificação das variáveis de risco e geração de um modelo determinístico que mais se aproxima do cenário real. Em seguida, especifica-se a função de distribuição de probabilidade adequada para cada variável de risco selecionada e são calculadas as taxas de aproveitamento ou de benefício para cada iteração.

Nesta aplicação prática em questão, são geradas as variáveis/amostras aleatórias por meio de centenas/milhares de iterações e dedica-se a realizar a análise dos resultados obtidos com base nas simulações, gerando os números aleatórios dentro dos intervalos propostos, plotando um gráfico gerado com a distribuição normal, obtendo informações e discussões importantes sobre o projeto, tais como probabilidades acumuladas e individuais de conclusão dentro dos cenários propostos originalmente.

Etapa 5: Conclusões

Por fim, foram elaboradas as conclusões finais da pesquisa, resumindo a discussão sobre os resultados obtidos, fornecendo os impactos acadêmicos e para a empresa, bem como trazendo sugestões para futuras pesquisas.

4 Apresentação dos resultados

Conforme mencionado, a empresa sendo considerada para essa pesquisa está localizada na região de Macaé/RJ, com nome fictício de Octa, e realiza reparos para recertificação periódica a cada cinco anos, nos referidos equipamentos de superfície para perfuração de poços de petróleo *offshore*. Octa é uma multinacional considerada uma das gigantes mundiais do mercado de Óleo e Gás, com bases no Brasil, Colômbia, Argentina, Estados Unidos, Noruega, Reino Unido, Singapura, África do Sul, entre outros. A empresa possui negócios e operações em praticamente todas as fases de prospecção, exploração, perfuração e finalmente produção de petróleo.

A base de dados da empresa estudada é o software integrado RigOffice, atualmente na versão 5.7.2.1, cujo desenvolvimento é realizado e mantido exclusivamente pela própria empresa. O software realiza o armazenamento, gerenciamento e controle de revisões de todas as documentações referentes aos projetos executados na empresa, através de algumas referências, dentre elas o número de *ticket* individual e único. O levantamento de dados para o problema se deu por meio de consultas diretas dentro do software RigOffice realizadas pelo próprio discente, bem como envolveu reuniões e trocas de e-mails com diferentes profissionais e setores da empresa envolvidos na cadeia de gerenciamento de projetos de uma forma geral.

O primeiro objetivo desse levantamento preliminar de dados foi encontrar cronogramas de projetos desenvolvidos no software Microsoft MS Project e classificá-los, em um primeiro momento, de maneira simples, considerando aspectos relacionados aos projetos, tais como Cliente, Sonda (Plataforma) de Perfuração, Grupo de Equipamentos e Escopo dos serviços executados. Como resultado, foram obtidos um total de 27 Cronogramas de Projetos diferentes realizados ao longo dos últimos 8 anos, classificados conforme Tabela 1. Os nomes de Cliente e Sonda foram preservados e em seu lugar foram estabelecidos outros nomes fictícios.

Tabela 1.

Classificação Preliminar dos Cronogramas Encontrados

Cliente	Sonda	Grupo de Equipamentos	Escopo	Cliente	Sonda	Grupo de Equipamentos	Escopo
COON	Beta	SUPERFÍCIE	Recertificação	TROC	Corca	BOP	Recertificação
COON	Lira	BOP e SUPERFÍCIE	Recertificação	TROC	Mica	SUPERFÍCIE	Inspeção de Condição
COON	Bronze	SUPERFÍCIE	Recertificação	TROC	Mica	BOP	Recertificação
COON	Lago	BOP e SUPERFÍCIE	Recertificação	TROC	BR99	SUPERFÍCIE	Outros
COON	Única	SUPERFÍCIE	Recertificação	TROC	BR99	BOP	Outros
SELL	Sawe	SUPERFÍCIE	Inspeção de Condição	TROC	BR99	BOP	Recertificação
SELL	Sawe	BOP	Recertificação	TROC	HGK2	BOP	Upgrade
SELL	Sawe	SUPERFÍCIE	Outros	TROC	HGK2	SUPERFÍCIE	Outros
SELL	Tewe	SUPERFÍCIE	Inspeção de Condição	YCOA	BA3	SUPERFÍCIE	Recertificação
SELL	Tewe	BOP	Recertificação	YCOA	BA3	SUPERFÍCIE	Inspeção de Condição
SELL	Tewe	SUPERFÍCIE	Outros	YCOA	ORB6	SUPERFÍCIE	Recertificação
SELL	Tewe	BOP	Outros	YCOA	DON2	SUPERFÍCIE	Inspeção de Condição
ETCO	Jakat	BOP	Recertificação	YCOA	DON2	SUPERFÍCIE	Recertificação
ETCO	Jakat	BOP	Extensão de 1 ano				

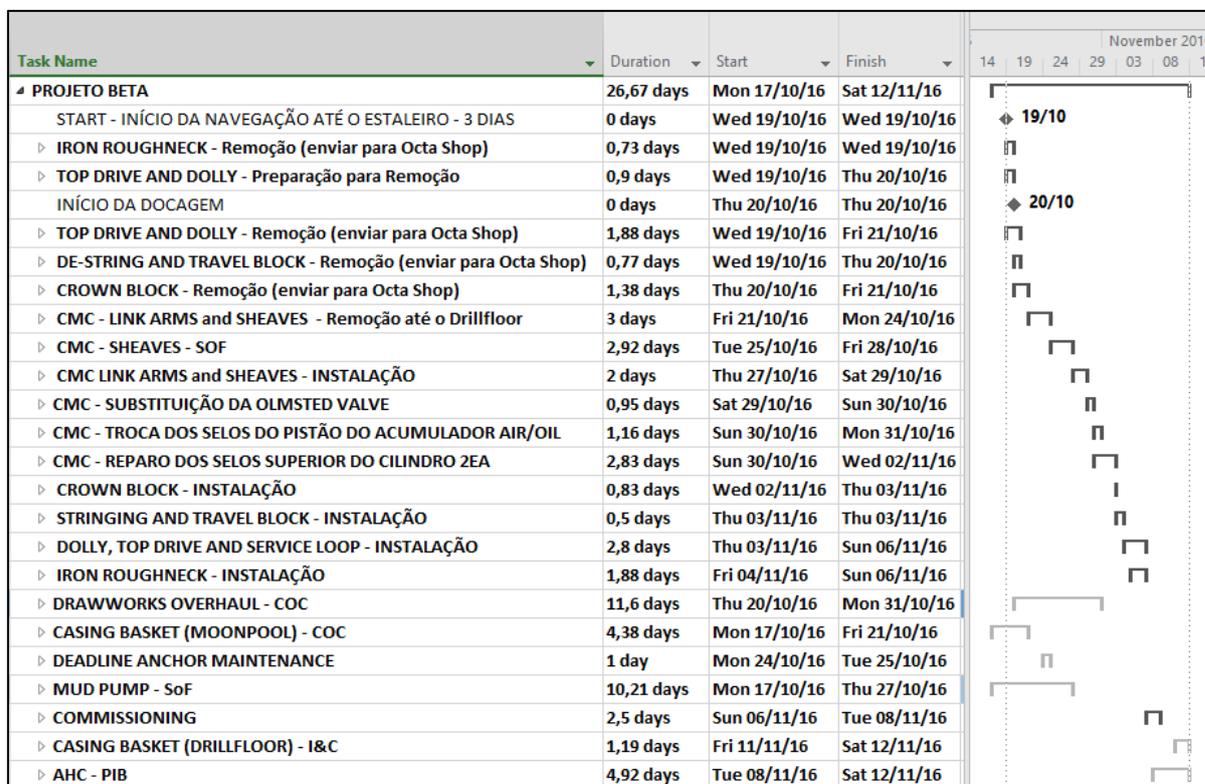
Fonte: O autor, com dados da empresa Octa.

A partir de então, diversos aspectos foram analisados para escolher um cronograma que pudesse nos dar plenas condições de realizar a simulação de maneira mais robusta. Do ponto de vista do Escopo, foi escolhido “Recertificação” devido à quantidade maior de amostras para garantir que temos processos robustos para nos suportarem. Em relação ao Grupo de Equipamentos, foi escolhido “Superfície” pelos mesmos motivos citados anteriormente. Estreitando ainda mais as análises, os projetos que restaram de Recertificação de Equipamentos de Superfície foram analisados do ponto de vista de duração total (dias), quantidade de equipamentos reparados e quantidade total de riscos identificados.

Uma vez que o cronograma da sonda Beta possui duração total maior e também mais equipamentos reparados, infere-se que existam mais frentes de trabalho acontecendo em paralelo ao longo do projeto, tornando-se a nossa melhor escolha final para prosseguir com a validação dos estudos pretendidos. Assim, uma vez escolhido o projeto da sonda Beta podemos dar início à construção do banco de dados. O arquivo do cronograma em MS Project®, foi baixado no sistema (e realizadas algumas modificações de escrita para preservar a identidade da empresa, do cliente e da sonda) para consultas preliminares e início da elaboração do diagrama de rede do projeto. A Figura 6 mostra o cronograma ainda sem detalhamento completo das atividades, mas apenas com 2 níveis estratificados, para possibilitar uma visualização inicial macro. A partir deste momento, daremos o nome de Projeto Beta.

Figura 6.

Cronograma do Projeto Beta – Visualização Macro



Fonte: O autor, com dados da empresa Octa.

Com as informações de duração das atividades, relações de interdependência entre elas, marcos etc., o próximo passo é elaborar o Diagrama de Rede do Projeto Beta, a fim de facilitar a visualização dos diversos caminhos que ocorrem em paralelo, bem como estabelecer qual deles é o Caminho Crítico, onde qualquer antecipação ou atraso de atividades vai gerar impacto direto também na duração total. Conforme Figura 7, no canto superior esquerdo ou direito de cada tarefa macro dentro do caminho crítico (destacado na cor verde), é possível verificar a duração da mesma, com base no texto de cor azul, com unidade de medidas em dias.

É importante destacar que o cronograma considera trabalho ininterrupto 24 horas por dia, com equipes se revezando em turnos de 12 horas cada. As durações das atividades que estão fora do caminho crítico foram ocultadas para melhor entendimento. As setas na cor rosa, indicam atividades predecessoras em um momento intermediária no cronograma e serão explicadas a seguir.

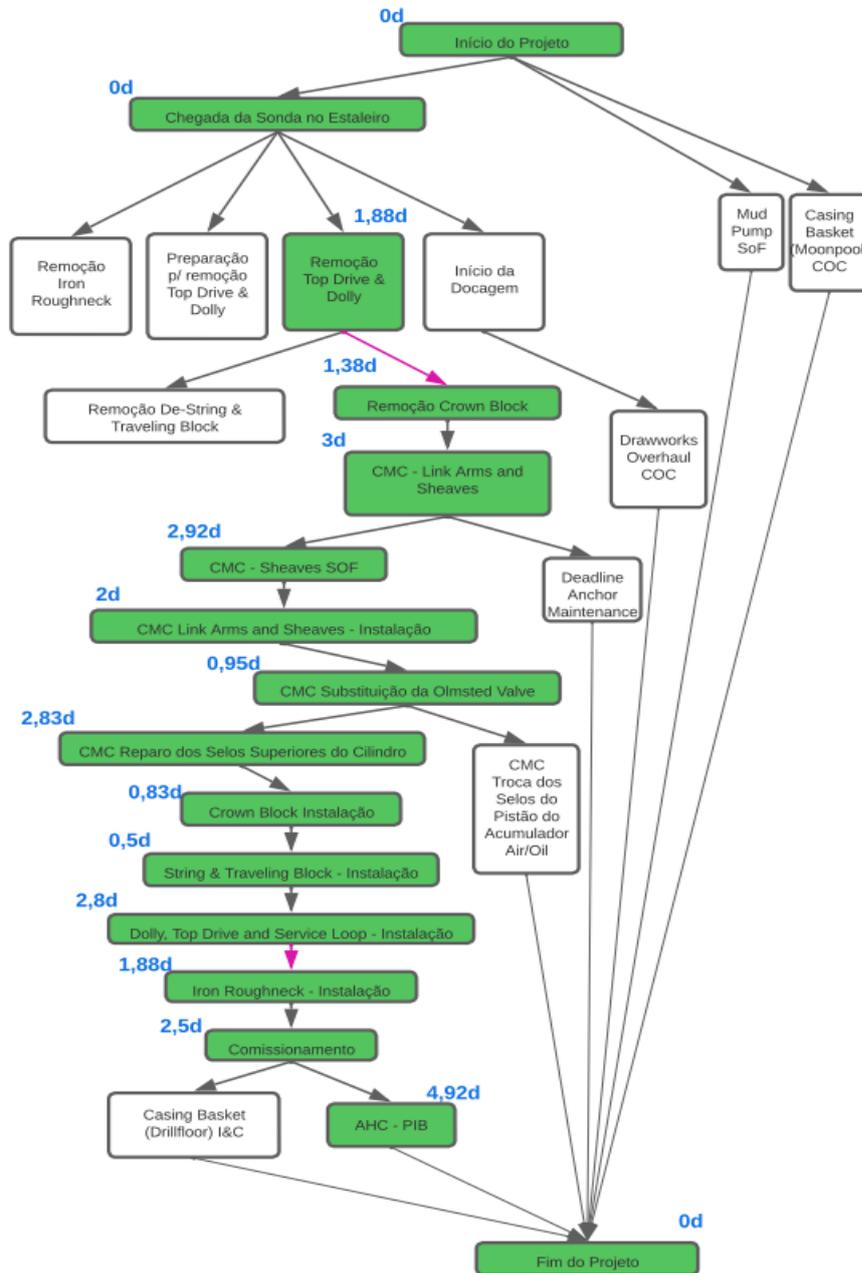
A relação de dependência entre as atividades é do tipo Término para Início. Este entendimento se aplica apenas para atividades “fechadas” mostradas para visualização macro. Se abirmos o cronograma por completo detalhando todas as atividades dos níveis inferiores

veremos que a primeira atividade detalhada posterior tem como predecessora uma atividade detalhada anterior intermediária. As setas na cor rosa da Figura 7, indicam atividades predecessoras em um momento intermediária no cronograma.

Tendo estabelecido o caminho crítico do projeto e conhecendo as atividades que o compõem, é possível aplicar a ferramenta de Estimativa de Três Pontos relembrando sua explicação detalhada anteriormente neste trabalho. Uma vez que a quantidade total de atividades detalhadas no caminho crítico é muito grande, foram escolhidas apenas as mais críticas e relevantes, bem como as com durações proporcionalmente mais longas, para tornar o estudo viável. Foi solicitada a opinião de diversos colaboradores especialistas técnicos com experiência de anos trabalhados na empresa e no ramo, para estabelecer as estimativas de duração otimista e pessimista, partindo da referência das estimavas de duração mais provável já estabelecida no cronograma.

Figura 7.

Diagrama de Rede do Projeto Beta com Destaque Para o Caminho Crítico–
Visualização Macro



Fonte: O autor, com dados da empresa Octa.

Conforme já vimos anteriormente neste artigo, tão importante quanto obter as estimativas é também mapear e deixar registradas as Bases das estimativas, que são os critérios, premissas, variáveis, riscos, cenários considerados etc., perante os quais os valores das durações das atividades foram estabelecidos/estimados. A Tabela 2 mostra as bases das estimativas

relacionadas às atividades mais relevantes do caminho crítico. Com as estimativas estabelecidas foi possível realizar o cálculo da média e desvio-padrão, que serão utilizadas na sequência para a Simulação de Monte Carlo.

Tabela 2.

Bases das Estimativas das Atividades Mais Relevantes do Caminho Crítico

Atividade			Base das estimativas (variáveis envolvidas)	Estimativa de Duração (horas)			Média	Desvio Padrão
Referência Macro	n°	Descrição		Otimista	Mais provável	Pessimista		
Top Drive and Dolly - Remoção	46	Remover Bondura Bolt do clevis	Necessária ferramenta "saca bondura". Ferramenta pode não estar disponível no início do trabalho. Tempo de ajuste e montagem da Ferramenta.	20	24	36	25,33	2,67
	47	Utilizar o cabo Hang Off para manter o TDS suspenso para a desconexão do Travelling Block e instalação das eslingas	Tempo perdido para handover de passagem de serviço entre turnos. Devido à possível e provável corrosão e incrustação intrínsecos ao ambiente offshore, pode haver grande dificuldade de remoção do Bondura Bolt. Ritmo de remoção precisa ser cadenciado para evitar risco de danificar os itens.	3,5	4	7	4,42	0,58
Crown Block - Remoção	68	Fixar 2 talhas de 20 tons no topo da torre	Necessário equipe de acesso por corda. Realizar operações arriscadas com calma visando segurança em primeiro lugar.	3,5	4	8	4,58	0,75
	69	Fixar o bloco na talha	Condições desfavoráveis de clima podem impedir/retardar realização (ex.: chuva e/ou ventos fortes)	3	4	5	4,00	0,33
	70	Instalar os cat lines de 20 tons nos olhais do bloco	Necessário verificar ponto de fixação para o frame e encontrar melhor posição. Talhas podem não estar disponíveis no início do trabalho. Cat lines podem não estar disponíveis no início do trabalho.	3,5	4	8	4,58	0,75
	72	Remover Bondura Bolts	Manter cuidado com os calços durante a remoção. Instalar retenção secundária para evitar queda de objetos. Devido à possível e provável corrosão e incrustação intrínsecos ao ambiente offshore, pode haver grande dificuldade de remoção do Bondura Bolt. Ritmo de remoção precisa ser cadenciado para evitar risco de danificar os itens.	3	4	12	5,17	1,50
	77	MPI e Dimensional Interno	Consumíveis e ferramentas podem não estar disponíveis no início do trabalho. Remoção de tinta necessária para realização do MPI.	5,5	6	6,5	6,00	0,17
CMC - Link Arms and Sheaves Remoção	84 e 95	Remover linkage arm inferior (Fast + Dead Line)	Necessário equipe de acesso por corda. Realizar operações arriscadas com calma visando segurança em primeiro lugar.	10	12	18	12,67	1,33
	85 e 96	Remover polia superior (Fast + Dead Line)	Condições desfavoráveis de clima podem impedir/retardar realização (ex.: chuva e/ou ventos fortes)	10	12	15	12,17	0,83
	86 e 97	Remover o linkage arm superior (Fast + Dead Line)	Arms e Polias são muito pesados e necessitam de plano especial de	10	12	18	12,67	1,33

Atividade			Base das estimativas (variáveis envolvidas)	Estimativa de Duração (horas)			Média	Desvio Padrão
Referência Macro	n°	Descrição		Otimista	Mais provável	Pessimista		
	87 e 98	Remover a polia inferior interna (Fast + Dead Line)	içamento de cargas para serem descidos até o Drill Floor. Tempo perdido para handover de passagem de serviço entre turnos.	11	13	15,5	13,08	0,75
	88	Remover as auxiliary sheaves (Fast Line)		6	7	10	7,33	0,67
CMC - Sheaves - SOF	102	(Fast Line) Desmontar as Polias, Arms e limpeza para Inspeção	Devido à possível e provável corrosão e incrustação intrínsecos ao ambiente offshore, pode haver dificuldade de remoção de alguns itens. Tempo perdido para handover de passagem de serviço entre turnos.	10	12	18	12,67	1,33
	103	Inspeção das Polias, Eixos, Buchas e Espaçadores (Inspeção MPI, Visual e Dimensional)	Consumíveis e ferramentas podem não estar disponíveis no início do trabalho.	5,5	6	7	6,08	0,25
	106	(Dead Line) Desmontar as Polias, Arms e limpeza para Inspeção	Devido à possível e provável corrosão e incrustação intrínsecos ao ambiente offshore, pode haver dificuldade de remoção de alguns itens. Tempo perdido para handover de passagem de serviço entre turnos.	10	12	18	12,67	1,33
	107	Inspeção das Polias, Eixos, Buchas e Espaçadores (Inspeção MPI, Visual e Dimensional)	Consumíveis e ferramentas podem não estar disponíveis no início do trabalho.	5,5	6	7	6,08	0,25
	110	(Fast Line) Instalar Rolamento, Selo, Eixo, Bucha e Espaçadores	Peças sobressalentes podem não estar disponíveis no início do trabalho.	11	12	14	12,17	0,50
	114	(Dead Line) Instalar Rolamento, Selo, Eixo, Bucha e Espaçadores	Peças sobressalentes podem não estar disponíveis no início do trabalho.	11	12	14	12,17	0,50
CMC - Link Arms and Sheaves Instalação	124 e 133	Instalar o linkage arm superior (Fast + Dead Line)	Necessário equipe de acesso por corda. Realizar operações arriscadas com calma visando segurança em primeiro lugar.	7	8	10	8,17	0,50
	125 e 134	Instalar polia superior (Fast + Dead Line)	Condições desfavoráveis de clima podem impedir/retardar realização (ex.: chuva e/ou ventos fortes)	7	8	10	8,17	0,50
	126 e 135	Instalar linkage arm inferior (Fast + Dead Line)	Arms e Polias são muito pesados e necessitam de plano especial de içamento de cargas para serem levadas até a Torre.	7	8	10	8,17	0,50
	135	Instalar a polia inferior (Fast Line)	Tempo perdido para handover de passagem de serviço entre turnos. Peças sobressalentes podem não estar disponíveis no início do trabalho.	3,5	4	5,5	4,17	0,33
CMC - Substituição da Olmsted Valve	143	Remover Parafusos da Olmsted , Içar Olmsted Valve e proteger flanges contra contaminação	Necessário equipe de acesso por corda. Condições desfavoráveis de clima podem impedir/retardar realização (ex.: chuva e/ou ventos fortes)	3,5	4	6	4,25	0,42
	146	Torquear porcas de acordo com recomendação Octa	Devido à possível e provável corrosão e incrustação intrínsecos ao ambiente offshore, pode haver dificuldade de remoção de alguns parafusos. Ferramentas podem não estar disponíveis no início do trabalho.	3,5	4	4,5	4,00	0,17
CMC - Reparo dos Selos Superiores do Cilindro	174	Remover os 2 eixos principais do crown block do cylinder head.	Necessário equipe de acesso por corda. Realizar operações arriscadas com calma visando segurança em primeiro lugar.	22	24	30	24,67	1,33
	176	Remover o Cylinder Head	Condições desfavoráveis de clima podem impedir/retardar realização (ex.: chuva e/ou ventos fortes)	5	6	10	6,50	0,83
	180	Torquear os parafusos	Condições desfavoráveis de clima podem impedir/retardar realização (ex.: chuva e/ou ventos fortes)	5	6	8	6,17	0,50
	181	Montar o cylinder head no Crown block	Condições desfavoráveis de clima podem impedir/retardar realização (ex.: chuva e/ou ventos fortes)	5	6	8	6,17	0,50

Atividade			Base das estimativas (variáveis envolvidas)	Estimativa de Duração (horas)			Média	Desvio Padrão
Referência Macro	n°	Descrição		Otimista	Mais provável	Pessimista		
	183	Instalação dos 2 pinos do CMC	Eixos são muito pesados e necessitam de plano especial de içamento de cargas para serem descidos até o Drill Floor.	11	12	14	12,17	0,50
Crown Block - Instalação	189	Instalar os bondura bolts	Devido à possível e provável corrosão e incrustação intrínsecos ao ambiente offshore, pode haver dificuldade de remoção de alguns itens. Tempo perdido para handover de passagem de serviço entre turnos. Ferramentas podem não estar disponíveis no início do trabalho.	7	8	9	8,00	0,33
Dolly, Top Drive and Service Loop - Instalação	204	Içar o Top Drive	Equipamentos muito pesados e necessitam de plano especial de içamento de cargas. Realizar operações arriscadas com calma visando segurança em primeiro lugar. Sujeito à disponibilidade de guindaste / ponte rolante.	2,5	3	4	3,08	0,25
	205	Posicionar o Top Drive com o trilho da torre.		3	3,5	6	3,83	0,50
	206	Conectar a Catarina no Top Drive		3	3,5	5	3,67	0,33
	220	Efetuar a instalação elétrica do Service Loop de Potência no Top Drive segundo os diagramas.	Ferramentas e consumíveis podem não estar disponíveis no início do trabalho. Possibilidade de haver divergências entre os painéis físicos e o diagrama elétrico, causando necessidade de revisões.	4	5	6	5,00	0,33
	221	Efetuar a instalação elétrica do Service Loop de Controle no Top Drive segundo os diagramas.		4	5	6	5,00	0,33
Iron Roughneck - Instalação	241	Realizar a correta identificação dos cabos segundo os diagramas.	Possibilidade de haver divergências entre os cabos e os diagramas elétricos, causando necessidade de revisões. Necessário equipe de acesso por corda (Novos Service Loops). Ferramentas e consumíveis podem não estar disponíveis no início do trabalho.	7	8	9	8,00	0,33
	242	Instalação dos Novos Services Loop nos brackets		7	8	11	8,33	0,67
	243	Realizar a instalação dos cabos de controle e alimentação de acordo com os diagramas		14	16	18	16,00	0,67
Comissionamento	259	(Iron Roughneck) Testes de sequência	Sujeito a correções de problemas provenientes dos reparos e/ou mal funcionamento dos equipamentos.	5,5	6	7,5	6,17	0,33

Atividade			Base das estimativas (variáveis envolvidas)	Estimativa de Duração (horas)			Média	Desvio Padrão
Referência Macro	n°	Descrição		Otimista	Mais provável	Pessimista		
	276	(Top Drive) Teste de torque	Funções incorretas acionadas devido a montagem invertida de mangueiras hidráulicas. Necessário sub teste de torque prévio e load cell disponível.	5,5	6	9	6,42	0,58
	278	(Top Drive) Fechar e frenar painéis conforme necessário		6	8	8,5	7,75	0,42
AHC - PIB	280-25	Testar AHC antes do início do PIB 88176358	Sujeito a correções de problemas provenientes dos reparos e/ou mal funcionamento dos equipamentos. Incompatibilidade de versões de software. Erros de código de programação. Falhas de endereçamento. Troubleshootings de diversas naturezas podem ser necessários. Correção de alarmes. Correção de nível de pressão de acumuladores. Falhas de hardware e necessidade de substituição de peças. Demora para obter suporte remoto do time de Engenharia global, quando aplicável.	4	6	9	6,17	0,83
	280-71	Instalar o software otimizado do AHC no PLC		8	12	24	13,33	2,67
	280-80	Testar limites do sistema de alarmes de pressão		5	6	8	6,17	0,50
	280-81	Limites de alarmes de pressão para balanço de nitrogênio		5	6	8	6,17	0,50
	280-82	Alarmes de software		5	6	8	6,17	0,50
	280-83	Verificações de software		5	6	8	6,17	0,50
	280-84	Teste de operação e monitoramento do AHC		23	25	27	25,00	0,67

Fonte: O autor, com dados da empresa Octa.

5 Aplicação da simulação de Monte Carlo e análise e discussão dos resultados

Referente à aplicação da Simulação de Monte Carlo, teoricamente é possível obter números aleatórios que sigam qualquer tipo de distribuição, contanto que seja conhecida a inversa da função de distribuição, de modo que números aleatórios que são uniformemente distribuídos no intervalo $[0, 1]$ podem ser criados, e ser obtida a inversa da função de distribuição. No programa Office Excel, existem algumas inversas de funções de distribuição, dentre elas a Distribuição Normal, cuja fórmula “INV.NORM.N(probabilidade; média; desv_padrão)” retorna o inverso da distribuição cumulativa normal para a média e o desvio-padrão especificados. Para média e desv_padrão, utilizaremos os valores obtidos na seção anterior de \bar{X} e S , respectivamente. Para probabilidade, utilizaremos os valores gerados usando a fórmula “ALEATÓRIO()”, que retorna um número aleatório maior ou igual a 0 e menor que 1, distribuído uniformemente.

Foram realizadas 10 mil iterações para uma das atividades mais relevantes ao longo do caminho, crítico. A título de ilustração, a Tabela 3 mostra o os resultados das 15 primeiras iterações realizadas, para algumas das atividades, bem como o somatório obtido para cada iteração. Conforme visto anteriormente neste trabalho, precisamos incluir o somatório de 237 horas que não foram incluídas na SMC. Por ser demasiadamente extensa, a relação completa dos dados não foi mostrada nesse artigo. A Figura 8 mostra o gráfico da Simulação de Monte Carlo completa considerando as 10 mil iterações.

Tabela 3.

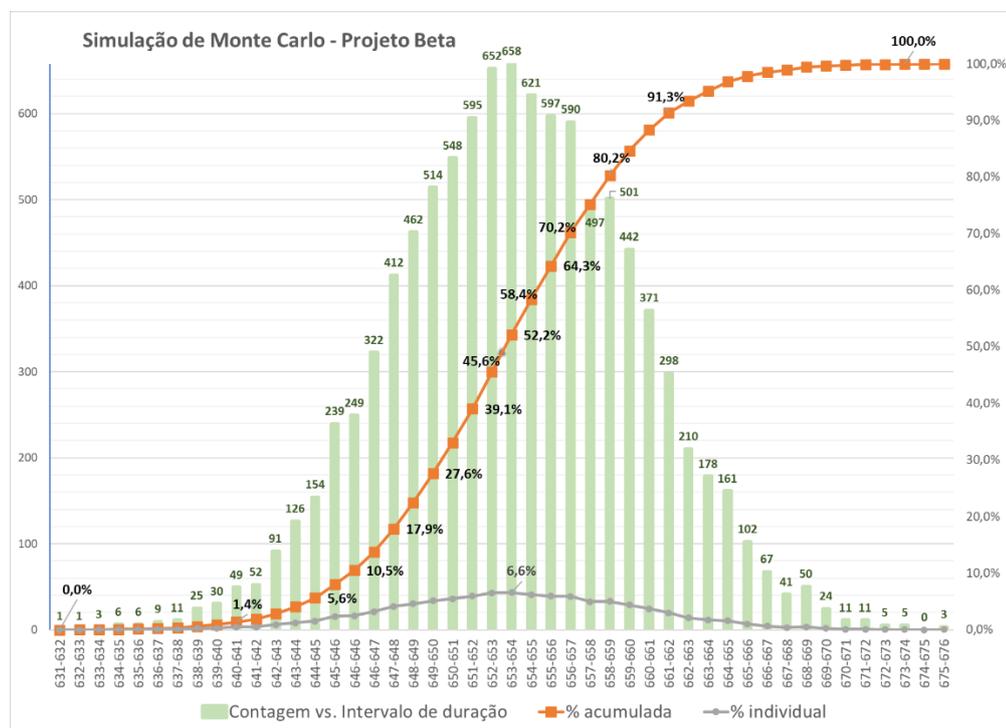
Amostras dos Valores Obtidos com as 15 Primeiras Iterações e Somatório

Atividade #	46	47	68	69	...	280 -81	280 -82	280 -83	280-84	SOMA- TÓRIO	+ 237h (não incluídas anteriormente e na SMC)
Média e Desvio padrão	25,3 3 e 2,66	4,42 e 0,58	4,58 e 0,75	4 e 0,3 3	...	6,17 e 0,5	6,17 e 0,5	6,17 e 0,5	25 e 0,66		
Iteração #1	23,6 2	4,39	3,60	3,7 8	...	6,24	6,87	6,10	25,13	402,90	639,90
Iteração #2	27,4 0	4,23	4,31	3,9 4	...	6,75	6,37	6,60	24,29	419,44	656,44
Iteração #3	23,1 9	3,52	5,99	4,3 2	...	6,82	6,33	5,46	24,85	424,02	661,02
Iteração #4	19,8 5	5,19	3,06	4,1 4	...	6,76	5,79	6,79	24,95	408,43	645,43
Iteração #5	21,0 3	4,51	3,84	4,2 2	...	6,51	5,90	6,54	24,40	412,70	649,70
Iteração #6	20,7 4	4,16	5,29	4,0 6	...	6,20	5,62	6,19	25,38	408,37	645,37
Iteração #7	25,1 9	4,48	4,47	4,2 5	...	6,00	6,24	6,51	25,19	416,73	653,73
Iteração #8	23,6 3	4,54	4,47	4,1 1	...	6,13	5,90	5,66	25,76	417,63	654,63
Iteração #9	25,6 6	4,07	4,64	4,0 2	...	5,86	5,60	6,13	25,67	419,40	656,40
Iteração #10	27,0 0	4,72	4,01	3,6 8	...	5,66	5,32	5,99	24,83	413,83	650,83
Iteração #11	28,2 0	3,74	4,43	4,0 5	...	5,78	6,39	5,45	25,77	409,34	646,34
Iteração #12	21,6 2	4,62	5,18	3,6 9	...	5,97	5,85	6,46	24,72	415,56	652,56
Iteração #13	24,2 4	4,64	3,32	4,1 6	...	6,51	5,74	5,74	24,70	411,44	648,44
Iteração #14	27,2 5	4,58	4,47	3,4 3	...	6,49	5,72	6,20	25,41	419,17	656,17
Iteração #15	19,7 2	4,18	4,83	4,5 1	...	6,00	6,45	5,59	25,67	407,31	644,31

Fonte: O autor, com dados da empresa Octa.

Figura 8.

Simulação de Monte Carlo para 10 Mil Iterações



Fonte: O autor, com dados da empresa Octa.

Com os resultados mostrados na Figura 8, algumas informações relevantes podem ser obtidas, conforme abaixo:

- A probabilidade acumulada de que o projeto termine dentro dos 26,67 dias (640 horas) planejados é de apenas 1,4%. Apesar disso, entende-se que o projeto ainda poderia ser considerado como terminando no prazo até o final desse último dia, ou seja, com duração até 26,99 dias (647 horas). Nesse caso, a probabilidade acumulada é de 17,9%.
- A duração do projeto com maior probabilidade individual de ocorrer é entre 653 e 654 horas (27,2 dias), com 6,6%. A probabilidade acumulada dessa duração é de 52,2%.
- O projeto atinge 100% de probabilidade acumulada de ter duração de 673 horas (28,04 dias).

Dessa forma, já podemos enxergar a importância da estimativa de três pontos combinada à simulação de Monte Carlo, de modo que a data de entrega original prometida ao cliente possui baixa probabilidade de ser alcançada. De maneira similar às discussões dos resultados de Vergara, Teixeira e Yamanari (2017), com os resultados obtidos neste trabalho também é

possível observar a integração e sinergia entre essas ferramentas de gestão. As incertezas trazidas foram devidamente consideradas e tratadas na SMC, de modo que essa ferramenta se mostrou também de grande utilidade para endereçar os desafios do cronograma com atividades paralelas e interdependentes. Também é possível verificar a vantagem do PERT/CPM para compreender as fases do projeto, o sequenciamento das atividades, servindo como uma direção estabelecida para verificar e controlar as fases.

Por outro lado, também é possível trazer discussões que vão de encontro com o que foi visto por Zhang e Jin (2020), uma vez que as estimativas iniciais do projeto eram imprecisas, levando à elaboração de um cronograma com pouca acuracidade e também baixas chances de ser concluído dentro do prazo. Dessa maneira, a SMC pode fornecer uma dimensão do cenário mais próximo da realidade, reduzindo a necessidade de implementar diversas mudanças e revisões durante a execução, fornecendo aos Gerentes de Projeto uma importante referência e guia no que diz respeito à redução de riscos ao longo do trabalho, bem como aumentando eficiência e melhorando os benefícios para a companhia, tanto do ponto de vista financeiro, quanto da boa parceria de negócios com os clientes.

A fim de entender de modo mais específico alguns dos principais riscos associados que contribuíram de forma mais significativa para os resultados de que data de entrega original prometida ao cliente possui baixa probabilidade de ser alcançada, podemos remeter novamente à Tabela 2 e analisar os valores de desvios-padrão mais altos. Conforme atividade nº 46 – Remover *Bondura Bolts* do clevis – com desvio-padrão no valor de 2,67, é necessária atenção especial do Gerente de Projetos aos riscos e variáveis diretamente associadas, principalmente relacionada à necessidade de uma ferramenta especial para execução de tal atividade. Eventualmente será necessário um plano de resposta a esse risco, durante a fase de planejamento do projeto, para garantir que a ferramenta adequada seja devidamente identificada, projetada, comprada/alugada e colocada à disposição da execução de forma antecipada.

Também pode ser de fundamental importância para melhorar a eficiência e chances de sucesso que o Gerente de Projetos trabalhe com foco nos riscos e variáveis diretamente associadas à atividade nº 280-71 – Instalar o software otimizado do AHC no PLC – com desvio padrão no valor de 2,67, com riscos de incompatibilidade de versões de software, erros de código de programação e falhas de endereçamento. Possíveis planos de resposta a esses riscos, durante a fase de planejamento do projeto, eventualmente englobariam checagens duplas ou

triplas da versão final do software liberada previamente e também simulação de instalação completa em laboratório computacional antes da execução real.

6 Considerações finais

O objetivo principal deste estudo foi alcançado, que era empregar a Simulação de Monte Carlo como uma ferramenta para o Gerenciamento de Cronograma, a partir da análise dos Riscos, aplicada à Projetos de Recertificação de 5 anos em Equipamentos de Superfície para Perfuração de Poços de Petróleo *Offshore*. Para tanto, primeiramente, introduziu-se o cenário da exploração de petróleo no Brasil, passando por um breve entedimento macro dos equipamentos de superfície para perfuração, remetendo-se então, à importância da aplicação de gerenciamento dos projetos de reparo dos referidos equipamentos. Com base revisão da literatura relacionada ao tema de Gerenciamento de Projetos, remeteu-se ao principal guia de boas práticas do tema, utilizado ao redor do globo, que é o PMBOK®.

Vale salientar que focou-se na abordagem nas áreas de conhecimento de Gerenciamento do Cronograma e Gerenciamento dos Riscos, destacando e analisando criticamente as principais entradas/saídas dos processos relacionados, bem como trazendo à tona a importância das principais técnicas/ferramentas a serem utilizadas. Foi necessário um aprofundamento em alguns tópicos relevantes para o foco do presente estudo, tais como Estimativa de Três Pontos – PERT e Método do Caminho Crítico.

Prosseguindo para o estudo da Simulação de Monte Carlo, inicialmente foram explorados sua definição e conceitos, do ponto de vista de alguns dos autores mais relevantes no tema, bem como uma sequência de passos para realização. Também foi necessário aprofundamento específico no que diz respeito ao Cálculo de Probabilidade, para que fosse traçado um caminho lógico de entedimento até o objetivo final do trabalho.

Em seguida, foi apresentado o cenário e contexto geral dentro dos quais ocorram as etapas de Coleta de Dados e Construção do Banco de dados. A partir da escolha do Projeto Beta como instrumento de estudo, a criação do Diagrama de rede e caminho crítico do referido projeto se mostrou muito útil e relevante para ter um entedimento e visão amplos sobre o desenvolvimento do projeto, conforme o mesmo foi planejado.

A Estimativa de três pontos nas atividades do caminho crítico necessitou um aprofundamento grande nos detalhes de execução do projeto, utilizando suporte de colaboradores com vasta experiência no tema, fornecendo os valores de duração das principais

atividades dentro do caminho crítico e, junto com elas, as bases nas quais essas estimativas foram estipuladas.

Utilizando os valores mencionados no parágrafo anterior, passou-se para o ponto alto do estudo, que foi a Aplicação da Simulação de Monte Carlo. Foram gerados os números aleatórios dentro dos intervalos propostos, através de 10 mil interações, tendo como resultado um gráfico gerado com a distribuição normal. A partir do gráfico, foi possível obter informações e conclusões importantes sobre o projeto, tais como as seguintes: verificar que a probabilidade acumulada de que o projeto termine dentro dos 26,67 dias (640 horas) planejados é de apenas 1,4%; a duração do projeto com maior probabilidade individual de ocorrer é entre 653 e 654 horas (27,2 dias), com 6,6%. A probabilidade acumulada dessa duração é de 52,2%; o projeto atinge 100% de probabilidade acumulada de ter duração de 673 horas (28,04 dias). Assim foi possível enxergar a importância da estimativa de três pontos combinada à simulação de Monte Carlo, de modo que a data de entrega original prometida ao cliente possui baixa probabilidade de ser alcançada.

Uma das principais limitações desse estudo foi depender das chamadas “Opiniões dos Especialistas”, assim como previsto no PMBOK®, de modo que a empresa Octa possuía esses profissionais disponíveis para colaborar com o estudo, mas é esperado que outras empresa, de porte menor, eventualmente não poderão contar com tal recurso para desenvolver os estudos de maneira apropriada.

Como proposta de trabalhos futuros pode-se considerar a possibilidade de estabelecer planos de resposta aos riscos associados às atividades analisadas dentro do caminho crítico, de modo que após a realização de ações para mitigar, evitar e transferir os riscos e incertezas de cada atividade, novos valores de estimativa de três pontos para duração podem ser obtidos. A tendência é de que esses novos valores possuam Desvio padrão menor e, conseqüentemente, poderemos previsões ainda mais assertivas sobre a duração total e conclusão do projeto.

Referências

- Ansari, R., Khalilzadeh, M., & Hosseini, M. R. (2022). A multi-objective dynamic optimization approach to project schedule management: A case study of a gas field construction. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 26(3), 1005-1013. <https://doi.org/10.1007/s12205-021-0410-5>
- Brito, B. B. D. C. (2020). Utilização de métodos quantitativos na previsão de demandas de cargas marítimas para uma plataforma de petróleo na bacia de Campos. <https://app.uff.br/riuff/handle/1/14394>
- Chu, Y., Li, G., & Zhang, H. (2020, November). Incorporation of ship motion prediction into active heave compensation for offshore crane operation. In 2020 15th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA) (pp. 1444-1449). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICIEA48937.2020.9248283>
- de Amorim, F. R., de Abreu, P. H. C., 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>
- Gallagher, B. J., Dupal, K., & Jones, R. E. (2021, August). 18 3/4 15000 Psi Shear Anything KBOS for Subsea Well Applications. In Offshore Technology Conference. OnePetro. <https://doi.org/10.4043/31048-MS>
- Ghorbani, M. K., Hamidifar, H., Skoulikaris, C., & Nones, M. (2022). Concept-Based Integration of Project Management and Strategic Management of Rubber Dam Projects Using the SWOT–AHP Method. *Sustainability*, 14(5), 2541. <https://doi.org/10.3390/su14052541>
- Hartono, B. (2018). From project risk to complexity analysis: a systematic classification. *International Journal of Managing Projects in Business*, 11(3), 734-760. <https://doi.org/10.1108/IJMPB-09-2017-0108>
- Hirman, M., Benesova, A., Steiner, F., & Tupa, J. (2019). Project management during the industry 4.0 implementation with risk factor analysis. *Procedia Manufacturing*, 38, 1181-1188. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.208>
- Islam, M. S., Mohandes, S. R., Mahdiyar, A., Fallahpour, A., & Olanipekun, A. O. (2022). A Coupled Genetic Programming Monte Carlo Simulation–Based Model for Cost Overrun Prediction of Thermal Power Plant Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 148(8), 04022073. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002327](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002327)
- Koulinas, G. K., Xanthopoulos, A. S., Tsilipiras, T. T., & Koulouriotis, D. E. (2020). Schedule delay risk analysis in construction projects with a simulation-based expert system. *Buildings*, 10(8), 134. <https://doi.org/10.3390/buildings10080134>

- Krisper, M., Dobaj, J., & Macher, G. (2020). Assessing Risk Estimations for Cyber-Security Using Expert Judgment. In Systems, Software and Services Process Improvement: 27th European Conference, EuroSPI 2020, Düsseldorf, Germany, September 9–11, 2020, Proceedings 27 (pp. 120-134). Springer International Publishing.
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-56441-49>
- Kusumadarma, I. A., Pratami, D., Yasa, I. P., & Tripiawan, W. (2020). Developing project schedule in telecommunication projects using critical path method (CPM). *International Journal of Integrated Engineering*, 12(3), 60-67.
<https://penerbit.uthm.edu.my/ojs/index.php/ijie/article/view/4203>
- Lee, S., & Shvetsova, O. A. (2019). Optimization of the technology transfer process using Gantt charts and critical path analysis flow diagrams: Case study of the korean automobile industry. *Processes*, 7(12), 917. <https://doi.org/10.3390/pr7120917>
- Lemmens, S. M., Lopes van Balen, V. A., Röselaers, Y. C., Scheepers, H. C., & Spaanderman, M. E. (2022). The risk matrix approach: a helpful tool weighing probability and impact when deciding on preventive and diagnostic interventions. *BMC Health Services Research*, 22(1), 218. <https://doi.org/10.1186/s12913-022-07484-7>
- Ljiljanić, N., Rajić, Z., & Paunović, T. (2022). Use of PERT (program evaluation and review technique) and PDM (precedence diagramming method) in organizing modern vegetable seedling production. *Економика пољопривреде*, 69(1), 119-131.
<https://doi.org/10.5937/ekoPolj2201119L>
- Macias, A., Corilloclla, D., Porras, M., Venero, R., & Quispe, J. (2022). Monte Carlo simulation in an elementary school building. *Journal of Project Management*, 7(3), 147-154. <https://doi.org/10.5267/j.jpm.2022.3.001>
- Mubin, S., Jahan, S., & Gavrishyk, E. (2019). Monte Carlo simulation and modeling of schedule, cost and risks of Dasu hydropower project. *Mehran University Research Journal of Engineering & Technology*, 38(3), 557-570.
<https://doi.org/10.22581/muet1982.1903.03>
- Ochieng, E. G., Ovbagbedia, O. O., Zuofa, T., Abdulai, R., Matipa, W., Ruan, X., & Oledinma, A. (2018). Utilising a systematic knowledge management based system to optimise project management operations in oil and gas organisations. *Information Technology & People*. <https://doi.org/10.1108/ITP-08-2016-0198>
- Paiva, V. B. (2021). Análise do desempenho de regra de negociação via redes neurais artificiais em operações day trade. <https://app.uff.br/riuff/handle/1/21686>
- Passos, J. D. S. D. (2018). Análise do gerenciamento de custos para implantação de um novo serviço em uma microempresa com a utilização do PMBOK. *Gerência de Projetos de Tecnologia da Informação-Unisul Virtual*.
<https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/3748>

- Pecina, E., Miloš Sprčić, D., & Dvorski Lacković, I. (2022). Qualitative Analysis of Enterprise Risk Management Systems in the Largest European Electric Power Companies. *Energies*, 15(15), 5328. <https://doi.org/10.3390/en15155328>
- Pinkstone, H., McCluskey, T., Nilsen, J. H., Klepšvik, J., & Lambregts, A. (2018, August). Enhanced Drilling Capabilities With Innovative Drill Ship Design. In IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference. OnePetro. <https://doi.org/10.2118/180667-MS>
- Qazi, A., Shamayleh, A., El-Sayegh, S., & Formanek, S. (2021). Prioritizing risks in sustainable construction projects using a risk matrix-based Monte Carlo Simulation approach. *Sustainable Cities and Society*, 65, 102576. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102576>
- Samarino, G. T. V., & da Silva, E. D. O. (2018). HistoryRisk: Uma ferramenta para gerenciamento de riscos com base no PMBoK. *Caderno de Estudos em Sistemas de Informação*, 4(2).
- Selvaraj, R., Vergil Contraes, G., Karuppusamy, K. K., Kamal, F. R., & Takieddine, O. H. (2020, November). Offshore Brownfield Slipover Platforms Installation Studies. In Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference. OnePetro. <https://doi.org/10.2118/203241-MS>
- Soni, A., Kumar, C. R., & Shrivastava, A. (2022). Construction Projects Risk Assessment Based on Pert, Cpm and Project Management with Fuzzy Logic Technique. *Advances and Applications in Mathematical Sciences*, 5385-5395.
- Sorenson, P. T., McCormick, S., & Dyck, M. (2019). Soil contamination sampling intensity: determining accuracy and confidence using a Monte Carlo simulation. *Canadian Journal of Soil Science*, 99(3), 254-261. <https://doi.org/10.1139/cjss-2019-0001>
- Tembo-Silungwe, C. K., & Khatleli, N. (2017). Deciphering priority areas for improving project risk management through critical analysis of pertinent risks in the Zambian construction industry. *Acta Structilia*, 24(2), 1-43. <https://doi.org/10.18820/24150487/as24i2.1>
- Teo, P., Gajanayake, A., Jayasuriya, S., Izaddoost, A., Perera, T., Naderpajouh, N., & Wong, P. S. (2022). Application of a bottom-up approach to estimate economic impacts of building maintenance projects: cladding rectification program in Australia. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 29(1), 333-353. <https://doi.org/10.1108/ECAM-10-2020-0802>
- Tokdemir, O. B., Erol, H., & Dikmen, I. (2019). Delay risk assessment of repetitive construction projects using line-of-balance scheduling and Monte Carlo simulation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(2), 04018132. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001595](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001595)

- Vergara, W. R. H., Teixeira, R. T., & Yamanari, J. S. (2017). Análise de risco em projetos de engenharia: uso do PERT/CPM com simulação. *Exacta*, 15(1), 75-88.
<https://doi.org/10.5585/ExactaEP.v15n1.6779>
- Wada, R., Kaneko, T., Ozaki, M., Inoue, T., & Senga, H. (2018). Longitudinal natural vibration of ultra-long drill string during offshore drilling. *Ocean Engineering*, 156, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.02.054>
- Wulandari, A., & Dachyar, M. (2018). Scheduling of Empennage Structure Design Project of Indonesia's Aircraft with Critical Path Method (CPM). In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 248, p. 03012). EDP Sciences.
<https://doi.org/10.1051/mateconf/201824803012>
- Yu, X., & Zuo, H. (2022). Intelligent Construction Optimization Control of Construction Project Schedule Based on the Fuzzy Logic Neural Network Algorithm. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/8111504>
- Zhang, S., & Jin, L. (2020, June). Research on software project schedule management method based on Monte Carlo simulation. In *2020 IEEE 5th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC)* (pp. 1605-1608). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/ITOEC49072.2020.9141570>