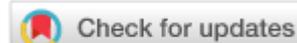


<https://doi.org/10.5585/exactaep.2021.19951>



AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE RECURSOS EM SONDAS DE POÇOS DE PETRÓLEO E GÁS

ECONOMIC EVALUATION OF RESOURCES IN RIGS OF OIL AND GAS WELLS

Recebido: 29 abr. 2021

Aprovado: 08 out. 2021

Versão do autor aceita publicada online: 30 out. 2021

Publicado online: 23 nov. 2021

Como citar esse artigo - American Psychological Association (APA)

Dutra, L. de A., Queiroz, J. V., Silva, C. L., Lima, N. C., & Almeida, M. R. (2023, jul./set.).
Avaliação econômica de recursos em sondas de poços de petróleo e gás. *Exacta*, 21(3),
725-749. <https://doi.org/10.5585/exactaep.2021.19951>

Submeta seu artigo para este periódico [↗](#)

Processo de Avaliação: *Double Blind Review*

Editor:  Dr. Luiz Fernando Rodrigues Pinto



Dados Crossmark



AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE RECURSOS EM SONDAS DE POÇOS DE PETRÓLEO E GÁS

ECONOMIC EVALUATION OF RESOURCES IN RIGS OF OIL AND GAS WELLS

Lelayne de Araújo Dutra¹ Jamerson Viegas Queiroz² Christian Luiz da Silva³ Nilton Cesar Lima⁴ Mariana Rodrigues de Almeida⁵

Resumo: A otimização dos recursos na produção coopera na redução de custos e/ou aumento da produtividade do setor, através do uso de instrumentos de apoio à decisão. Desta forma, o objetivo deste estudo avaliou modelos de simulação capaz de dimensionar economicamente recursos necessários para realizar a Desmontagem, Transporte e Montagem (DTM) de sondas de perfuração de poços terrestres de petróleo e gás. O método adotado baseou-se em análises de dados obtidos por meio de entrevistas e observações na operacionalização das sondas, cujos modelos foram monitorados pelo software Arena. Os resultados avaliaram, após testes sob diferentes cenários, que um aumento de 34% na quantidade geral dos recursos empregados proporciona uma redução de mais de 95% do tempo de espera na fila, destacando como a melhor alternativa em ganhos econômicos e produtivos. Concluiu-se, a partir de modelos de simulação qualificados ao imitar o sistema, a identificação e dimensão de recursos adequados para atender ao planejamento de DTM nas sondas de perfuração de forma econômica e eficiente.

Palavras Chaves: Gestão de Projetos. Simulação. Petróleo e Gás.

Abstract: The optimization of resources in production cooperates in reducing costs and/or increasing the sector's productivity, through the use of decision support instruments. Thus, the objective of this study evaluated simulation models capable of economically scaling the resources needed to carry out the Disassembly, Transport and Assembly (DTM) of drilling rigs for onshore oil and gas wells. The method adopted was based on data analysis obtained through interviews and observations in the operation of the probes, whose models were monitored by the Arena software. The results evaluated, after tests under different scenarios, that an increase of 34% in the general amount of resources employed provides a reduction of more than 95% in the waiting time in line, standing out as the best alternative in terms of economic and productive gains. It was concluded, from simulation models qualified by imitating the system, the identification and dimension of adequate resources to meet the DTM planning in drilling rigs in an economical and efficient way.

Keywords: Project Management. Simulation. Oil and Gas.

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Departamento de Engenharia de Produção / Natal – RN, Brasil.

² Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Departamento de Engenharia de Produção / Natal – RN, Brasil.

³ Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Programa de Pós-graduação de Tecnologia e Sociedade – Brasil.

⁴ Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Ciências Contábeis / Uberlândia – MG, Brasil.

⁵ Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Departamento de Engenharia de Produção / Natal – RN, Brasil.

1 Introdução

Os mercados cada vez mais ampliam sua competitividade, decorrente sobretudo de esforços em compreender as mudanças no ambiente de negócios. Por essa razão, Kuncoro e Suriani (2018), constatam que gerenciar uma variedade de recursos sempre será necessária para manter-se ou liderar-se na competição criando vantagens estratégicas. Dessa maneira, diversos são os critérios competitivos e almejados pelo mercado, configurando um cenário bastante dinâmico, forçando, as empresas a tornarem-se mais eficientes a fim de se manterem competitivas.

Sob o aspecto da eficiência, embora haja a preocupação com custos, há que se considerar numa relação entre consumo de recursos e desempenho, que ambos precisam ser gerenciáveis para promover eficiência competitiva.

Entretanto, quanto mais consumo de recursos, normalmente espera-se um melhor desempenho, como consequência à um custo maior. Esse trade-off tem surgido nos mercados competitivos, nos quais as decisões de gerenciamento de recursos devem ser, portanto, combinadas com as decisões de custos de modo a promover uma organização mais efetiva (Carrasco, Iyengar & Stein, 2018).

Nesse contexto, as organizações devem focalizar estratégias e ações em gestões capazes de produzir respostas rápidas e eficientes ao resultado exigido.

Sob uma vertente relacionada a custos, Paiva, Carvalho e Fensterseifer (2008) afirmam que, uma busca pelo baixo custo se baseia em três conceitos básicos: economia de escala, curva de experiência e produtividade. A partir dessas vertentes, a companhia pode reduzir desperdícios, melhorar na qualidade do produto, racionalizar os fluxos da produção, identificar perdas no processo e reduzir estoques, contribuindo para a redução dos custos elevando sua eficiência produtiva.

À luz dessa perspectiva, considera-se que essa otimização pode ser alcançada a partir de um planejamento bem elaborado e de consecução de ações dentro do prazo e custos previstos, isto é, por meio de uma gestão de projetos capaz de dar suporte às decisões de produção. O uso do método da Simulação, tem sido um instrumento alternativo encontrado na Pesquisa Operacional por contribuir no gerenciamento de recursos de modo racional (Tavares, 2002; Turner, 2010).

De acordo com Lee (2005), a Simulação vem sendo também percebida como uma das mais confiáveis ferramentas em gerenciamento de projetos por sua capacidade em modelar várias aleatoriedades e complexidades envolvidas.

Desta forma, a lacuna que contorna o problema a ser investigado neste estudo, consiste na avaliação de recursos em perfurações de poços de petróleo e gás, através da aplicação da Simulação em DTM's, como meio estratégico no auxílio de tomada de decisão acerca do dimensionamento econômico adequado numa atividade de alto custo. Destacando-se no campo empírico seu ineditismo



face ao rol das principais bases científicas associadas à Scopus®. Cabendo, portanto, responder ao seguinte questionamento: qual a dimensão de recursos adequada para atender ao planejamento da atividade de DTM em sondas de perfuração de forma eficiente, considerando a melhor relação tempo de espera da entidade versus a taxa de utilização do recurso?

Para responder a esse problema, objetivou-se avaliar modelos de simulação no intuito de dimensionar economicamente os recursos necessários para o DTM em sondas de perfuração de poços terrestres, analisando possíveis cenários que oportunize otimização adequada em custos, considerando os critérios de tempo de espera da entidade na fila e a taxa de utilização dos recursos, a fim de dar apoio na tomada de decisão aos responsáveis em gerenciar projetos.

2 Fundamentos Teóricos

2.1 Gestão de Projetos

Por projeto, entende-se como sendo um empreendimento temporário, com objetivo de criar um produto, serviço ou resultado único. O projeto está relacionado com um objetivo único e bem definido o qual é desenvolvido durante um tempo predeterminado, com custos e recursos planejados. Outro destaque relevante é que as atividades de balanceamento entre tempo, custo, escopo e ainda qualidade são de responsabilidade do gerente do projeto para o alcance do sucesso e realização (PMBOK, 2013).

No gerenciamento de projetos, o gestor muitas vezes possui acúmulo de informações sobre a lucratividade do projeto. Porém, o fato de seus esforços não serem completamente supervisionados pela empresa, de certa forma, induz a prevalência a determinado projeto por inúmeras razões, que nem muitas vezes conduz àquela que minimiza custos, prejudicando assim os interesses econômicos em lucratividade pela empresa (Chen, Lan & Ma, 2018). Para tanto, compete ao gerenciamento de projeto, conforme Possi et al. (2006), o emprego de três habilidades básicas: técnica; interpessoalidade; e, gestão.

De modo complementar, destaca-se ao menos três grandes restrições que necessitam ser equilibradas durante a gestão de um projeto: tempo; recursos; e, qualidade. Estas, conhecida como a tríplice da restrição. A definição de restrição é qualquer coisa limitante ou direcionadora das atividades da equipe do projeto (Heldman, 2003).

Unindo à teoria da tríplice restrição, percebe-se a substituição dos custos por recursos, em que delineiam aspectos econômicos. Contudo, tem-se que essa alteração, mesmo mudando o foco do critério, aborda indiretamente um ao outro, uma vez que os recursos serão limitados pelas restrições de verbas direcionadas a determinado projeto (Erling, Anders & Vagasar, 2009).

Alguns projetos possuem, em seu planejamento, recursos críticos, em geral devido ao alto custo no emprego de seus recursos, que inviabilizam o orçamento. Em casos como esses, deve-se atentar para que a taxa de utilização desses recursos seja a maior possível, devido a sua possibilidade de ser considerado o gargalo econômico do projeto, e ainda ter a precaução para que a gestão dos demais recursos não críticos sejam também eficientes, capazes de proporcionarem benefícios-alvo elevados (Zwikael, Chih & Meredith, 2018).

Neste âmbito, vários métodos e formulações foram sugeridos para a gestão eficaz de recursos. Por exemplo, Padilla e Carr (1991) desenvolveram um modelo de Simulação para alocar dinamicamente recursos oferecidos em atividades de construção; Já Karaa e Nasr (1986), Senouci e Adeli (2001) propuseram formulações matemáticas para otimizar o uso de recursos.

Outros estudos, abordados por Lappe e Spang (2014), revelaram que o hiato entre os benefícios econômicos através da otimização dos custos (investimentos), são passíveis de serem melhorados se forem analisados individualmente durante a fase de implementação do projeto. De modo que, possibilite a implantação de uma padronização em determinados processos e o aprimoramento de métodos, considerados estes como benefícios intangíveis ao projeto, que de certa forma revertem em ganhos econômicos.

Já Eriksson, Larsson e Pesämaa (2017), trouxeram novas abordagens ao considerarem o fator tempo na análise do gerenciamento de projetos. Dessa forma, o tempo e os custos tornam-se uma métrica não tão distante e desbalanceada, uma vez compreendendo sua complexidade e tornando seu emprego mais flexível, proporcionando melhora do desempenho produtivo de projetos mais intensos, sobretudo no setor de infraestrutura.

Tais pesquisas, comumente focaram na minimização e melhorias de recursos ociosos, que por sua vez, representam avaliações econômicas em decisões operacionais.

Observou-se, portanto, que uma grande quantidade de recursos ociosos pode resultar em excesso de custos. Enquanto que, a reserva de poucos ou grande lead-time de espera na sua aquisição ou operacionalização, pode atrasar o cronograma do projeto, criando afunilamento na eficiência dos recursos empregados, e, comprometendo, por sua vez, nos resultados econômicos, dada ausência de uma gestão eficaz de projetos.

2.2 O Processo de Modelagem e Simulação

Ao efetuar certos tipos de estudos de planejamento, é comum se deparar com problemas de dimensionamento ou fluxo cuja solução é aparentemente complexa. Geralmente busca-se saber qual a quantidade correta de pessoas e equipamentos (máquinas, ferramentas, veículos, etc.), ou qual o melhor *lay-out* e melhor roteiro de fluxo, dentro do sistema que está sendo analisado. Ou seja, deseja-

se um sistema com funcionamento eficiente e otimizado, na medida em que os custos são, portanto, adequados e os resultados econômicos sejam satisfeitos. Este estudo é conhecido como modelagem de sistema (Prado, 1999).

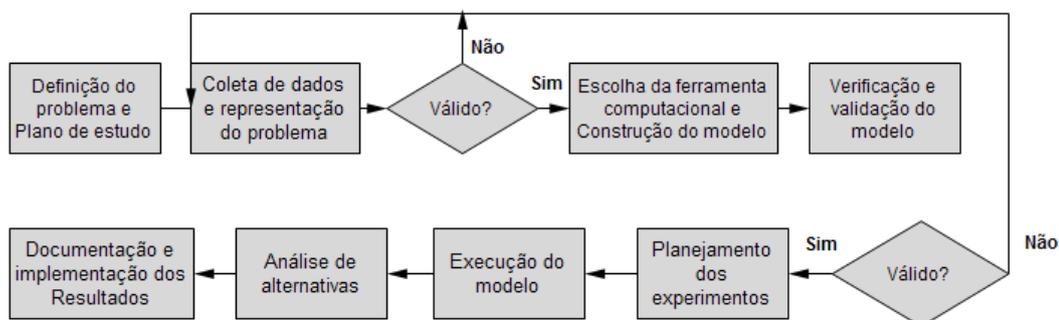
Logo, a modelagem consiste em elaborar uma representação simplificada de um sistema complexo, com o objetivo de fornecer previsões de medidas do sistema de desempenho (métricas) de interesse.

A Simulação, como a maioria dos métodos de análise, envolve sistemas e modelos. Um sistema é uma instalação ou processo, seja real ou planejado. Com relação a modelos de Simulação, há estudos que infere sob sua importância dinâmica, ao promover *insights* sobre como os incentivos de governança da plataforma influenciam o seu processo de desenvolvimento, a partir do uso de consenso como forma arbitrária entre os diversos participantes envolvidos no projeto (Kelton, Sodowski & Sturrock, 2007).

Dentre vários autores na literatura que propõem a sequência de etapas que constituirão o desenvolvimento de um modelo de Simulação, considerou-se, nessa pesquisa, as fases do processo de simulação colocadas por Law e Kelton (2000), dada similaridade ao objeto proposto neste estudo. A Figura 1 apresenta o fluxo de tais passos e logo após uma descrição sobre cada um.

Figura 1

Etapas do Processo de Simulação



Fonte: Adaptada Law e Kelton, (2000, p. 84).

Como análise teórica das etapas da Figura 1, tem-se: O processo de Simulação advém de uma formulação do problema e plano de estudo, onde a partir da sua estruturação ou definição, o fluxo se constitui e formaliza demais etapas para a consolidação de um modelo capaz de orientar decisões e aferir resultados (Woolley & Pidd, 2017). Em outras palavras, Kelton, Sodowski e Sturrock (2007) expressam que, entender o que necessita ser observado, manipulado, alterado, e entregue é essencial. Nessa etapa, o líder da equipe precisa planejar o estudo em termos do número de pessoas, responsabilidades, cronograma e orçamento (Hillier & Lieberman, 2010).

A fase de “coleta de dados e representação do problema”, trata-se de transladar o sistema real à um diagrama de fluxo lógico. Esse representará o problema através de associações feitas entre as

entidades e as atividades. Conforme Hillier e Lieberman (2010), os tipos de dados necessários dependem da natureza do sistema a ser simulado. Para um sistema de filas, dados fundamentais seriam a distribuição de tempos entre chegadas e de tempos de atendimento.

Por conseguinte, deve-se seguir para a escolha da ferramenta computacional a ser utilizada e a construção do modelo conforme sua linguagem. Nessa fase são criados os códigos de simulação. Segundo Balci (1994), a tradução do modelo em forma de fluxo para um modelo programado constitui o processo de programação.

Na verificação da precisão e validação do modelo de simulação, como próxima etapa, deve-se averiguar se a programação do computador representa o modelo conceitual fielmente, por meio da análise da coincidência entre as distribuições de entrada e o que foi observado no campo, bem como a avaliação da coerência entre os resultados obtidos e a realidade do sistema (Kelton, Sodowski & Sturrock, 2007). Se os resultados da simulação se aproximarem dos valores reais, dentro de um nível de confiança desejado, o simulador será validado.

Já a execução do modelo, passo seguinte, é definida com uma série de testes, em que se pode observar as alterações nas respostas do sistema e identificar as razões destas mudanças quando elas são feitas em alguma das variáveis de entrada. A experimentação oferece um modo sistemático, disciplinado e controlado para a análise das atividades desenvolvidas nas empresas, reduz o número de testes e otimiza o uso de recursos (Montgomery, 2005).

Na penúltima fase, “analisar as alternativas”, devem ser realizados os tipos adequados de análises estáticas, para que se possa fazer declarações exatas e precisas. Isto está ligado com a concepção dos experimentos de simulação (Kelton, Sodowski & Sturrock, 2007).

Por fim, faz-se necessário documentar e implementar os resultados. Por implementação, entende-se a apresentação, baseada no que foi previsto no modelo, àqueles que são responsáveis pela tomada de decisão na empresa, de modo que os resultados sejam inteiramente direcionados ao apoio desse processo de tomada de decisão que certifique ganhos econômicos quanto aos recursos e operacionalizações otimizados. Documentar o relatório do estudo e dos seus resultados, juntamente com sua apresentação também constitui uma forma de apoiar o tomador de decisão (Balci, 1994).

2.3 Software de Aplicação ARENA Versão 13.5

O *software* ARENA é ao mesmo tempo uma linguagem de simulação e um ambiente de trabalho e experimentação, que pode ser usado para testar o modelo e fazer a apresentação de seus resultados, através de avançados recursos de animação (Paragon, 2012).

Desenvolvido por *Systems Modeling Corporation*, consiste em uma linguagem voltada para a transação gráfica de simulação de eventos discretos, sendo uma das ferramentas mais empregadas



em análises linhas de produção, filas ou seqüenciamento produtivo e processos industriais contínuos, dada a sua capacidade de modelagem e simulação (Son & Wysk, 2001).

Os campos de utilização desse *software* são diversos, e nos estudos, por exemplo, de Kamrani, Abadi e Golroudbary (2014), foi possível notar o tão quão o Arena pode ser adotado para simular efetivamente problemas relacionados com tráfego de trânsito, por exemplo.

Assim como a maioria dos *softwares* de simulação, o ARENA visualiza o sistema a ser modelado como constituído de um conjunto de “estações de trabalho” que prestam serviços a clientes (também chamados de entidades) que se movem através do sistema. O movimento pode ser feito pela própria entidade ou, analogamente, por transportadores ou correias (Prado, 1999).

Para Altioek e Melamed (2007), os componentes de modelagem fundamentais do ARENA, chamados de módulos, são selecionados a partir de painéis modelo (*templates*), como *Basic Process* (Processo Básico), *Advanced Process* (Processo Avançado) e de *Advanced Transfer* (Transferência Avançada), e colocado em uma tela no curso de construção do modelo. Um módulo é uma construção de alto nível, composto por blocos e/ou elementos. Ou seja, um módulo de processamento de uma entidade, internamente é composto de diversos blocos, tais como: *Assign*, *Queue*, *Seize*, *Delay*, e *Release*.

Existem, de acordo com Kelton, Sodowski e Sturrock (2007), dois tipos distintos de módulos, os chamados de fluxograma e os de dados. Os módulos de fluxograma descrevem o processo dinâmico no modelo, sendo usados para construir o fluxograma presente na área de trabalho do *software*, e estão presentes nos três *templates* e podem ser repetidamente colocados quantas vezes se fizerem necessárias. São exemplos desse tipo de módulo: *Create*, *Dispose*, *Process*, *Decide* e o *Assign*.

Os módulos de dados definem as características dos elementos dos diversos processos, como entidades, recursos e filas; e, também podem configurar as variáveis e outros tipos de valores numéricos e expressões que pertencem a todo o modelo. Entidades não fluem através de módulos de dados e esses não são arrastados para a janela do modelo, mas sim, existem módulos de dados "nos bastidores" a fim de definir diferentes tipos de valores, expressões e condições.

Desta maneira, entende-se que sua capacidade de lidar com eventos discretos, permitindo realizar simulações que ofereça planejamento e controle de processo, caracteriza-se também como instrumento que viabiliza economicidade e ganhos de produtividade organizacional.

3 Metodologia

Para construção do presente artigo foi empregada uma metodologia baseada na pesquisa aplicada, cooperando para geração de conhecimentos a partir da aplicação prática dirigida à solução de problemas específicos. Entretanto, avanços à busca do conhecimento também deriva da aplicação,

inclusive quando a investigação empírica adota modelos ou programas cuja análise revela induções casuísticas capaz de propor aferições à viabilidade econômica e produtiva.

Em termos de objetivos, a pesquisa tem caráter exploratório ao proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses.

Segundo Gil (2019), a pesquisa exploratória fornece uma visão geral, aproximativa, acerca de fenômenos específicos, visando esclarecer conceitos, investigar situações e aprofundar temáticas, o que inclui a análise de contextos por meio entrevistas individuais ou observações orientadas.

A pesquisa exploratória associada a modelos quantitativos de análise, segundo Malhotra (2011), possibilita relações explicativas entre variáveis diversas e os fenômenos recorrentes em uma amostra ou objeto de estudo, explorando-se padrões que tornem mais evidentes hipóteses e proposições empíricas sobre o caso investigado.

Acerca da sistematização bibliográfica, realizou-se uma revisão de literatura em bases de dados, nacionais e internacionais como o *science direct*, *web of science*, *google academics*, repositórios de teses e dissertações de principais bases institucionais, entre outros, com o objetivo de auxiliar no tratamento teórico e a contextualizar, problematizar e lançar os principais propósitos norteadores do trabalho.

Em relação à abordagem da pesquisa, observa-se um enfoque nos métodos quantitativos, na medida em que tem como característica marcante, o ato de mensurar variáveis de pesquisa de forma a prover dados para realização dos testes e demonstrar, usando técnicas de análise estatísticas, as relações causais entre variáveis.

O presente trabalho partiu do pressuposto de que o atual planejamento dos recursos realizado para atender as sondas de perfuração em uma empresa de Petróleo e Gás, cuja operação de Desmontagem-Transporte-Montagem (DTM), não seja estrategicamente adequada quanto à otimização de recursos, ganhos de tempo e produtividade. Sobre a hipótese de que o método de Simulação poderia contribuir para a otimização de tais recursos, buscou-se analisar diversos cenários de maneira empírica à coleta de dados, possibilitando assim, a identificação do melhor panorama para responder ao problema.

A coleta de dados foi então realizada durante por alguns meses consecutivos na empresa em análise (cujo sigilo de sua identificação foi mantido). Ou seja, após estruturar o problema e definir o campo empírico, os pesquisadores buscaram por informações úteis para desenvolver o modelo, recolhendo e registrando fatos da realidade observada *in loco*.

Por ordem de sigilo em matéria, envolvendo identificação da empresa, planejamento, projeto e custos, houve também orientações de gestores em não materializar, inclusive o instante do período pesquisado. Permitindo, apenas a caracterização do tempo envolvido em meses (16) nos últimos 5 anos (2015-2019). Durante esse período, foram realizadas entrevistas com engenheiros relacionados diretamente com as atividades em DTM, buscando aprofundar o conhecimento da realidade e

identificar as necessidades do sistema. Os dados coletados referem-se ao realizado em meses anteriores e também períodos futuros. Essas informações foram analisadas e compiladas, e por meio da ferramenta *Input Analyzer*, gerou-se distribuições estatísticas úteis para caracterizar o sistema e interpretar os resultados fundamentais para determinação da melhor alternativa.

O método da abordagem quantitativa, empregado no presente estudo, baseia-se na Modelagem e Simulação por buscar experimentar, através de um modelo, um sistema real, determinando-se como este sistema responderá a modificações que lhes são recomendadas. Utilizou-se para aplicação da simulação, o *software* Arena, versão *student* 13.5.

O *software* Arena permite analisar e estimar o rendimento e os tempos de atraso, através de Simulação e discussões acerca do modelo planejado (AlKheder et al., 2020). Estudos demonstraram eficácia do *software* ao aplicá-lo na simulação de problemas de tráfego viários em momentos de pico, tal como tem sido comprovado em diversas áreas da manufatura (Kamrani et al., 2014). Desta forma, o *software* Arena foi escolhido por aderir aos objetivos deste artigo. O experimento deu-se em uma companhia que possui mais de 60 anos no mercado e atua de forma integrada nos segmentos de exploração e produção, comercialização, transporte e petroquímica, refino, distribuição de derivados, gás natural, biocombustíveis e energia elétrica, situada no estado do Rio Grande do Norte - Brasil. As observações foram descritas com base na análise da realização da operação de DTM de sondas de perfuração de poços terrestres de uma Unidade de Exploração e Produção da empresa.

Por descrever um fato empírico, observando determinada realidade, a pesquisa classifica-se como descritiva. A pesquisa descritiva busca a coleta de dados específicos para a descrição de um fenômeno, fornecendo uma explicação baseada nos atributos estabelecidos e nos instrumentos utilizados (GIL, 2019).

A perfuração do poço consistiu em apenas uma fase do projeto, assim a sonda de perfuração ao realizar a atividade de perfurar, encerra sua participação no poço e em seguida, é direcionada para um novo poço a ser perfurado. A saída da sonda de um poço após a perfuração e a chegada a uma nova locação para nova perfuração, segue determinado protocolo de processo de DTM da sonda.

A primeira dessas etapas está relacionada com a desmontagem de todos os equipamentos que compõem a sonda. Para sua realização, faz-se necessário o uso de guindastes, que auxiliam na desmontagem e carregamento das carretas, em que serão alocados tais equipamentos desmontados e prontos para o transporte.

Seguindo para o transporte, acontece basicamente o deslocamento dos equipamentos da sonda já carregada, de um poço para outro. Esta atividade é realizada através de carretas, tipo prancha alta e baixa, a depender das dimensões do equipamento. Por fim, na montagem, as partes que compõem a sonda serão retiradas das carretas através de guindastes e montadas de acordo com o

planejamento, deixando-a pronta para operar. Após essa sequência, os recursos com carretas e guindastes são liberados para realizar outros DTM's, caso haja necessidade.

O recurso perfurações através de sonda é considerado como fator crítico, tanto na sua complexidade operacional quanto aos aspectos econômicos, por possuir um valor muito alto no mercado. Podendo variar seus custos de acordo com o porte (capacidade de perfurar) e condições do terreno e equipamentos. Dados recentes, revela que o custo por metro de sondas de perfurações de poços petrolíferos no ano de 2018 variou entre US\$ 478,6/m a US\$ 2.665,8/m, cuja média tem sido de US\$ 1.160,3/m (Gabbay, 2015).

4 Discussão e Avaliação Econômica do Modelo

A formulação do modelo de simulação a seguir, baseou-se na adaptação das etapas de construção do modelo de simulação por Law e Kelton, (2000), destacadas no item 2.3.

A atividade de transporte das sondas na empresa em estudo é terceirizada e realizada conforme uma programação, denominada de cronograma de sonda, o qual considera: as sondas disponíveis por capacidade de perfuração (profundidade), e o planejamento de poços a serem perfurados, assim como os dias previstos para perfuração. Atualmente, nota-se dificuldades para dimensionar a quantidade ótima de carretas, prancha alta e baixa, e, de guindastes com capacidade de 30 toneladas e 60 toneladas, para realização de DTM's, de modo a atender a essas operações com eficiência.

Observou-se que esses recursos estavam limitando as operações, tornando-se uma restrição do sistema na medida em que acontece, em alguns casos, a simultaneidade de DTM. Sabendo que a sonda é tida como recurso crítico, tem-se que o problema consiste em dimensionar as carretas e guindastes de modo que a sonda possua maior eficiência na taxa de utilização.

O sistema é composto por seis sondas e essas foram dispostas na classificação de porte - pequeno, médio e grande -, de modo a simplificar a modelagem. Assim, o modelo foi composto por três entidades, e cada entidade possui valores correspondentes a duas sondas de porte semelhante, conforme Tabela 1, devido a limitação da versão do software utilizado.

Tabela 1

Entidades do sistema

Entidade	Porte	Profundidade
1	Pequeno	entre 0 e 1000 metros
2	Médio	entre 1001 e 2000 metros
3	Grande	acima de 2000 metros

Fonte: Autores.

Com relação à coleta de dados responsáveis por estabelecer as distribuições de probabilidade, quando necessário, adotou-se a chegada das sondas, o tempo de DTM, a quantidade de recursos ocupados por entidade durante a operação em análise e ainda o número de cada recurso que a empresa possui para tal atividade. Considerou ainda, o intervalo de entrada das entidades, dado pelo tempo de perfuração dispendido no poço, assim, a cada vez que uma perfuração é finalizada, a sonda “chega” para fazer uso dos recursos e entrar em DTM.

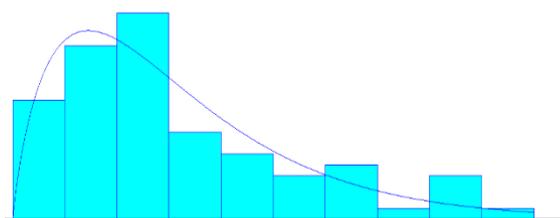
Foi preciso estabelecer também o cenário que se deseja simular a capacidade do sistema, especificando os parâmetros de entrada, como: a quantidade de recursos disponíveis, guindastes e carretas. Para tanto, foram coletados dados referente a atividade realizada, conforme apontado, nos 16 meses consecutivos. Esses dados foram direcionados para as entidades considerando o porte da sonda e ainda a profundidade do poço que ela perfurou, visando moldar o sistema de acordo com os critérios estabelecidos.

Observou-se que os processos não são exatos, uma vez que os dados, os quais envolvem tempo, oscilam constantemente. Assim, fez-se necessário obter distribuições estatísticas do conjunto de dados coletados. O Arena possui a ferramenta *Input Analyzer* que agrupa os dados em histogramas, possibilitando adequar uma distribuição a ele, apontando aquela de menor erro. As distribuições geradas para taxa de chegada das três entidades (pequeno, médio e grande porte) são, respectivamente:

- Pequeno Porte (PP): A distribuição fornecida pelo *Input Analyzer* foi do tipo Gama com expressão $1.5 + \text{GAMM}(1.72, 1.84)$ assumindo um erro de 0.007705. Visando avaliar a validade dessa hipótese, analisou-se o valor do *p-value*, também fornecido pelo Arena, para avaliar por meio de testes de hipóteses se uma dada proposição ou hipótese realizada acerca da amostra, é aceitável. Quanto maior o valor, mais fraca a evidência contra a hipótese de aderência. O *p-value* encontrado possui o valor menor que 0.413, logo, a hipótese possui um nível de aceitação, aceitável. O Gráfico 1 apresenta a distribuição Gama mencionada:

Gráfico 1

Distribuição do intervalo de chegada para entidade de Pequeno Porte

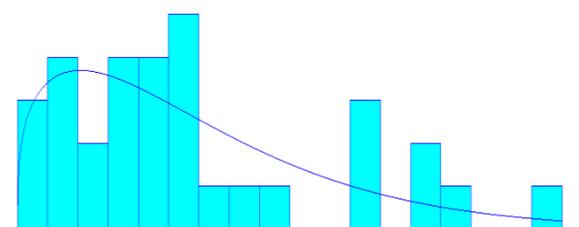


Fonte: Autores.

- Médio Porte (MP): Para a entidade de médio porte, obteve-se a distribuição do tipo Weibull com valor de $7.5 + WEIB(6.37, 1.3)$, assumindo um erro de 0.023096 e nível de significância de 0.17, assim a plausibilidade da amostra com o teste de hipótese possui valor considerável. O Gráfico 2 ilustra a distribuição Weibull encontrada:

Gráfico 2

Distribuição do intervalo de chegada para entidade de Médio Porte

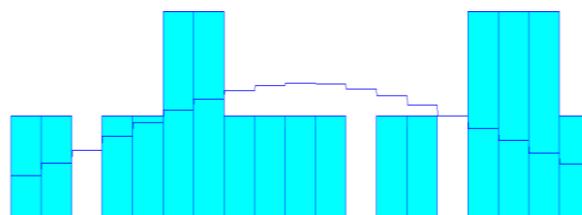


Fonte: Autores.

- Grande Porte (GP): Como essa entidade despende um tempo maior executando a perfuração, logo um menor número dela entrará no sistema, assim, a quantidade de dados coletados nos 16 meses foi relativamente pequena comparada às outras entidades que possuem tempo de perfuração menor. Para suprir essa ausência de dados, foram adicionados demais dados empíricos baseados na análise dos cenários realizada durante a fase da pesquisa. A distribuição obtida então para a entidade GP é a do tipo Poisson com valor de $POIS(40.7)$, apresentando um erro de 0.023448 e p -value 0.215, sugerindo que a associação da hipótese com os dados da amostra é significativa. O resultado dessa distribuição em histogramas é apresentado no Gráfico 3.

Gráfico 3

Distribuição do intervalo de chegada para entidade de Grande Porte



Fonte: Autores.



O procedimento similar é aplicado para obter as distribuições dos intervalos de chegada, onde utilizou-se as distribuições com relação ao tempo de DTM para cada uma das três entidades. A Tabela 2 ilustra os tipos de distribuições encontradas, os valores das expressões e dos erros correspondentes assim como do *p-value* para cada um dos conjuntos de sonda.

Tabela 2

Dados sobre o tempo de DTM das entidade

Entidade	Tipo de Distribuição	Expressão	Erro	<i>p-value</i>
Pequeno Porte	Beta	$0.5 + 5 * \text{Beta} (1.94, 6.31)$	0.002347	0.112
Médio Porte	Poisson	Pois (2.81)	0.020764	0.165
Grande Porte	Weibull	$6.5 + \text{Weib} (5.42, 1.65)$	0.038845	0.365

Fonte: Autores.

Além desses, foram obtidos a quantidade média de recurso que cada entidade necessita para realização da atividade de DTM. Os dados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3

Quantidade média de recursos ocupados por entidade

Entidade	Prancha baixa	Prancha alta	Guindaste 30 toneladas	Guindaste 60 toneladas
Pequeno Porte	6	5	2	2
Médio Porte	6	6	2	2
Grande Porte	5	5	1	6

Fonte: Autores.

Por fim, foram coletados dados sobre número aproximado de cada tipo de recurso que a empresa disponibiliza para fins da atividade em análise. Como o sistema elaborado é fruto de uma adaptação de oito sondas para um conjunto de três entidades, houve a necessidade, da mesma forma, de reduzir proporcionalmente o número dos recursos. Os dados sobre a capacidade do sistema em atender as necessidades das entidades são ilustrados no Quadro 1.

Quadro 1

Quantidade de recursos disponíveis

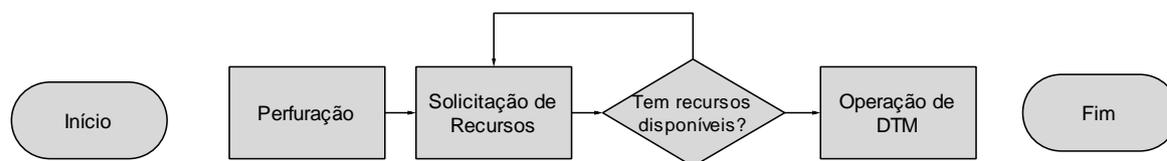
Recurso	Quantidade disponível
Prancha Baixa (PB)	8
Prancha Alta (PA)	7
Guindaste 30 toneladas (G30)	2
Guindaste 60 toneladas (G60)	6

Fonte: Autores.

Além da coleta de dados, essa fase se constitui da representação do problema por meio de um diagrama de fluxo lógico. A Figura 2 ilustra o fluxo de interação da entidade com o sistema.

Figura 2

Diagrama de Fluxo Lógico da Entidade



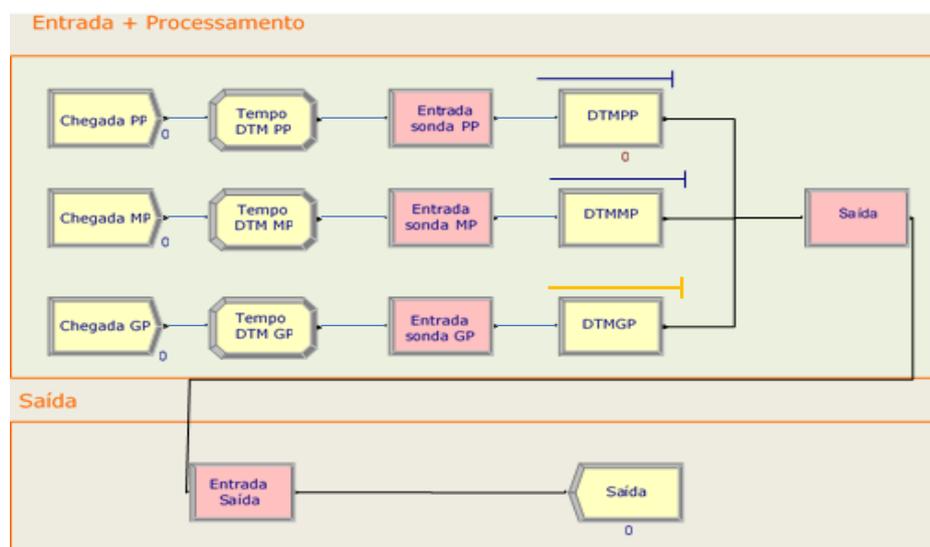
Fonte: Autores.

De acordo com o fluxo, nota-se que a etapa inicia com a operação de perfuração. Após perfurar o poço, a entidade segue para solicitação de recursos. Caso haja recursos suficientes, a sonda vai para a etapa de DTM, caso negativo, ela continua aguardando a liberação de recursos que estejam ocupados por outra entidade. Após o DTM, o fluxo tem seu fim.

Diante das constatações *in loco*, determinação das etapas e os dados colhidos, a modelagem estabelecida no sistema Arena foi constituída em blocos lógicos e configurada no estilo de fluxogramas, como descrito na Figura 3, onde ilustra a modelagem do processo de DTM.

Figura 3

Modelagem do Arena



Fonte: Autores.

Para a simulação da problemática apresentada neste estudo, foram utilizados módulos específicos ao Arena, conforme Figura 3, a fim de garantir a conformidade dos dados e as características do sistema. A unidade de tempo adotada para todos os módulos foi em “dia”, uma vez que essa condiz com a unidade dos tempos coletados. A chegada das entidades é efetuada através do módulo *Create*, em que é informado a distribuição do tempo de “chegada” de cada entidade para a utilização dos recursos, além da “taxa de chegada”, que corresponde a uma entidade por vez.

Após a entidade entrar no sistema, ela é direcionada para o bloco *Assign* para receber o atributo denominado "Tempo DTM " a qual conterà o valor encontrado e apresentado na coleta de dados para duração da atividade de DTM, além de um *Entity Picture* para adicionar uma imagem que irá diferenciar essa sonda das demais.

O próximo módulo, é o *Enter*, ou “Entrada”. Neste, indica-se que a entidade entrou em uma estação, ou seja, em processo de DTM, que é caracterizado pelo módulo *Process*, e, localiza-se logo após o *Enter*, representando o processo de DTM em si. Este módulo contém a quantidade de cada recurso que a entidade vai ocupar quando estiver na operação de DTM, conforme Tabela 3, e solicita o atributo "Tempo DTM " que foi criado no *Assign* anteriormente de acordo com a entidade, para que cada um dos conjuntos de sonda fique no processo de DTM no seu tempo específico, o qual foi determinado através de distribuições geradas pelo *Input Analyzer*.

Outro parâmetro importante na programação desse bloco corresponde a ação do tipo “*Seize, Delay, Release*”, que serve para informar que a entidade irá reservar os recursos para uso, utilizando por tempo determinado, e depois liberá-la de maneira que ele continue no sistema após ela sair.



Logo após, finalizando o processamento, o módulo *Leave* é usado para transferir as entidades ao bloco de “Saída”, também denominado *Dispose*. De maneira oposta ao *Create*, este retira as entidades do sistema. Neste caso, como só se está trabalhando com três entidades em fluxo contínuo, no momento em que ela termina uma operação, ela volta ao sistema para ser processada novamente. Ao sair do processo e entrar no fluxo de saída, faz-se necessário adicionar o *Enter*, com o propósito de indicar a entrada da entidade.

Para cada uma das entidades, como passam pela mesma sequência de etapas, foi desenvolvido o mesmo fluxo, diferenciando-se na programação das operações com valores distintos das variáveis e recursos que cada uma ocupa, conforme ilustrado na Figura 2.

Como verificação e validação do modelo - esta constituiu uma fase de suma importância para os resultados do trabalho, por possuir o intuito de identificar possíveis incoerências dos dados coletados, falhas na programação, na modelagem ou outros erros dessa natureza, avaliando assim, a representatividade do que foi modelado em relação à realidade - isto é, o quão próximo do sistema real está o modelo.

Dessa forma, tem-se que a qualidade dos dados, juntamente com a do modelo, determina a qualidade do resultado final. Logo, deve-se realizar uma revisão cautelosa do sistema modelado e a validação sobre a sua representatividade a partir da comparação com históricos do realizado nos últimos anos. Devido a limitações da versão do *software* utilizado, o sistema foi simplificado, criando-se três entidades por porte de sonda, em que cada entidade possui dados de duas sondas com semelhantes desempenhos e capacidades. A ordem de atendimento consiste no tipo fila - FIFO (*First in, First Out*), ou seja, o primeiro a entrar, é o primeiro a sair.

De maneira coerente, a replicação possui um tamanho de 480 dias (aproximadamente 16 meses), por esse tamanho representar o mesmo período que abrange os dados coletados e foi replicada por um total de 15 vezes, pois verificou-se que essa quantidade representa estabilidade da simulação. Após a simulação, obteve-se um total de 150 entidades que saíram do sistema, isto é, 150 poços foram perfurados em uma média de 50 replicações em 480 dias, onde algumas replicações o valor foi inferior e em outras, superior. Isso acontece devido ao uso de variáveis aleatórias que estão sofrendo alterações ao longo do tempo de acordo com a probabilidade respectiva. Deve-se considerar o período de *warm-up*, que é o tempo para estabilizar o sistema, buscando evitar a eventual chegada das três entidades ao mesmo tempo.

A fim de verificar, portanto, a validação do modelo, em termos de representatividade com o sistema real, foi realizada uma análise dos dados coletados, identificando quantos poços foram perfurados neste período adotado, e o valor obtido foi um número de 131 poços, quantidade considerada próxima do valor médio fornecido pelo Arena. Em um segundo momento, com o objetivo de verificar possíveis erros, o sistema foi testado utilizando de valores médios, obtidos a partir de uma



média aritmética simples dos dados, e substituindo o resultado obtido nos intervalos de chegada e tempo de DTM de cada entidade.

Após a execução do modelo, foram obtidos também o tempo médio que cada sonda gastou na realização de DTM, assim como a média do tempo de espera aguardando recurso. Todos esses dados estão na unidade de dias. A Tabela 4 ilustra os valores de tempo citados.

Tabela 4

Resultados do tempo em DTM e tempo de espera

Entidade	Tempo DTM (dias)	Tempo de Espera - fila (dias)
Sonda GP	11.63	2.51
Sonda MP	2.82	5.59
Sonda PP	1.68	6.22

Fonte: Autores.

Observa-se a partir da análise dos dados empíricos coletados, e ainda do resultado da simulação, que esses valores apresentados se referem a uma média. Logo, há momentos em que esse número é bastante superior, enquanto que em outras vezes obteve um valor mínimo relativamente inferior à média. Da mesma maneira, com o propósito da validação, foi comparado os dados obtidos com os fornecidos pelo Arena e, tem-se que o tempo médio das sondas em DTM está condizente com o que foi coletado. Enquanto isso, o alto valor da fila pode ser explicado pelo fato de o modelo estar processando com entidades infinitas, seguindo logicamente uma distribuição de taxa de entrada e tempo de processamento coerente com a realidade, como já testado acima.

Ademais, percebeu-se que há alguns dados que possuem uma considerável variação ou discrepância da maioria dos outros valores. Isso pode acontecer devido a eventualidades. Por exemplo, durante a perfuração pode acontecer de algum equipamento da sonda quebrar e o reparo não ser imediato, ou alguma ferramenta cair no fundo do poço, que corresponde a uma operação delicada e geralmente demorada.

Outros importantes dados obtidos por meio da simulação correspondem à taxa de utilização e quantidade de vezes que cada recurso foi usado. A Tabela 5 explana os valores em termos de taxa de utilização enquanto o Gráfico 4 ilustra a quantidade média de vezes que cada recurso foi ocupado nos 480 dias simulados em 15 replicações, sendo a entidade GP subdividida em 30 e 60 toneladas, uma vez que, sua grandeza infere no tempo de operacionalização. Tais informações induzem a mesma conclusão de comparação de uso entre os recursos, contudo com abordagens diferentes.

Tabela 5 - Taxa de utilização dos recursos para o cenário real

Recurso	Taxa de utilização
G30	72.02%
G60	48.70%
PA	64.99%
PB	61.42%

Fonte: Autores.

Gráfico 4 - Número total de vezes de utilização dos recursos



Dados sobre taxas de utilização ou quantidade de vezes que foram utilizados a cada um dos recursos que não foram fornecidos. Porém, considerando que os demais valores analisados estão coerentes com o problema real, pode-se inferir o mesmo sobre o uso do recurso, uma vez que esses dados estão inter-relacionados, influenciando um ao outro.

Assim, tem-se que o modelo é compatível com o comportamento histórico das variáveis em estudo. O fato de os valores não serem iguais, se dá devido à utilização de importantes variáveis, onde em síntese o sistema não segue uma sequência de dados constantes. Pois, seu intervalo de chegada e tempo de atendimento de DTM são baseados em probabilidades estatísticas, logo os valores frutos desses *inputs* são também indiretamente originados de variáveis aleatórias.

Na etapa de planejamento de experimentos e execução do modelo, foram manipuladas variáveis e observadas as alterações nos resultados fornecidos pela execução do modelo, identificando os motivos destas modificações, com o propósito de gerar estimativas úteis para a escolha das configurações estrategicamente mais adequadas.

Partindo dos valores apresentados na “Verificação e Validação do Modelo”, avaliou-se, que: a taxa de utilização dos recursos estava relativamente alta, e em contrapartida, o tempo médio da sonda em espera estava consideravelmente superior a valores permitidos pela empresa em análise. Em virtude disso, foram realizados testes, modificando valores dos recursos para mais, e observando o comportamento do sistema. Esse fato, caracteriza que dispêndio em tempo incorre em queda na produtividade e elevação dos custos, exigindo estratégias e decisões em linhas operacionais mais assertivas.

Dessa maneira, a ideia foi eliminar qualquer tempo de espera das sondas, por serem recursos críticos. Para tanto, foram usadas quantidades infinitas de cada um das carretas e guindastes. Após a execução e análise do relatório, percebeu-se a necessidade de quantidade máxima de recurso para o sistema, de modo a não permitir que nenhuma das três entidades perca tempo em espera de fila, assim como suas taxas de utilização. Esses dados encontram-se na Tabela 6.



Tabela 5

Quantidade e taxa de utilização de cada recurso para cenários sem filas

Recurso	Quantidade	Taxa de utilização
G30	7	20,42%
G60	12	24,00%
PA	21	21,55%
PB	23	21,67%

Fonte: Autores.

Em um segundo momento, a quantidade máxima de recursos, considerada no cenário anterior, foi reduzida a fim de verificar o comportamento das possíveis filas. Partiu-se da redução do recurso com menor taxa de uso, que corresponde ao Guindaste com capacidade de 30 toneladas (G30), seguido, pela mesma lógica, pela carreta Prancha Alta (PA), carreta Prancha Baixa (PB) e pelo Guindaste com capacidade para 60 toneladas (G60).

A redução foi realizada de forma gradual, analisando continuamente o impacto no aumento do tempo de espera, causado pela redução de um recurso. O balanceamento entre esses dois critérios foi alcançado no momento em que se percebeu um grande impacto no tempo de espera da sonda causada pela redução de mais um recurso. Os resultados obtidos após rodar o programa estão apresentados nas Tabelas 7 e 8, as quais representam respectivamente, a quantidade e taxa de utilização dos recursos, e o tempo médio de espera na fila por cada sonda.

Tabela 6

Taxa de Utilização dos recursos para o cenário com redução de recursos

Recurso	Quantidade	Taxa de utilização
G30	4	36,09%
G60	8	36,24%
PA	11	41,32%
PB	12	40,94%

Fonte: Autores.

Tabela 7

Resultados do tempo em espera para o cenário com redução de recursos

Entidade	Tempo de Espera - fila (Dias)
Sonda GP	0.1947
Sonda MP	0.1015
Sonda PP	0.1758

Fonte: Autores.

Foram realizados outros testes reduzindo uma unidade de cada um dos recursos por vez, entretanto, observou-se que o tempo de espera das entidades foi aumentado consideravelmente. Descartando, portanto, em uma avaliação geral, a adoção de tal cenário.

Na fase anterior, as possíveis soluções e alternativas foram geradas. Esta etapa deve analisar tais situações identificando entre elas, a mais eficaz. O critério adotado para escolha do cenário consiste na relação ou combinação entre a taxa de utilização dos recursos e o tempo de espera da entidade na fila, buscando um balanceamento entre esses dois parâmetros.

Partindo do cenário real ao projetado, e com resultados apresentados nas Tabelas 5 e 6, observa-se uma taxa de utilização das carretas e guindastes, deveras considerável. Em contrapartida, o tempo de espera da sonda é bastante elevado, pode-se até inferir que é um valor superior à realidade da empresa em análise, sendo explicado pelo presente uso de variáveis aleatórias e execução projetada em um horizonte de 480 dias com 15 replicações.

Fato evidente, foi que os resultados da empresa sofreram com implicações em tempo, custos e produtividade operacional, tornando-se *jus* a importância por decisões estratégicas mais eficientes.

Além disso, os dados coletados no que tange a quantidade de carretas e guindastes não tiveram um horizonte de 480 dias como os demais, representando apenas um cenário de 30 dias, e por observações dos autores, a empresa em casos de simultaneidade de sondas em DTM busca alocar todas as carretas e guindastes contratados, em uso para outros fins como transporte de equipamentos e tubos, para atender as entidades, aumentando assim, a capacidade de recursos disponíveis e evitando um tempo de espera elevado.

Como a presente pesquisa possui o intuito de dimensionar a quantidade de recursos para atender de forma eficiente às sondas, otimizando o seu uso despertando estratégias decisivas que visa economicidade na operacionalização das DTM's a partir de uma análise de simulação, este cenário apresenta-se de forma inviável.

O primeiro cenário exposto na etapa de "Planejamento de Experimentos e Execução do Modelo" tem como característica o tempo zero de espera. Este ambiente pode ser considerado como estratégia ideal, uma vez que a sonda seja considerada recurso crítico. Contudo, ao observar a Tabela 6, tem-se que a taxa de utilização das carretas e guindastes é muito reduzida, implicando em um grande investimento para locação desses recursos e alta ociosidade. A quantidade de recursos empregados nesses modelos possui valores três ou quatro vezes maior em comparação ao utilizado no cenário ideal, tornando, desse modo, inviável a escolha deste cenário.

Por fim, o último experimento realizado, baseia-se no meio termo entre os já apresentados: o balanceamento da perda de tempo da sonda devido a falta de recurso e a quantidade desses componentes necessários para atender tal equipamento, de forma a demandar menos investimentos.



Para o alcance deste cenário, reduziu-se pouco a pouco a capacidade do recurso utilizado na estrutura anterior, analisando a cada momento os resultados fornecidos pelo *software*.

A percepção sobre a capacidade ideal se deu no momento em que se identificou que a variação de um recurso causaria relevante impacto no tempo de espera, refletindo nos valores da taxa de utilização e tempo de espera, conforme ilustrados nas Tabelas 7 e 8.

Em termos de valores, comparando-se com o cenário atual, avalia-se que houve um aumento de 34% na quantidade geral dos recursos empregados, em contrapartida aconteceu uma redução de mais de 95% quanto ao tempo de espera na fila, concluindo a partir de então ser essa a melhor alternativa estratégica em auferir ganhos econômicos e produtivos, para o problema analisado.

Percebe-se que a taxa de utilização dificilmente será 100%, devido às características inerentes ao sistema, dado que a disponibilidade de sonda é limitada e reduzida. Além disso, o foco não deve ser a busca pela maior taxa de utilização desses recursos, uma vez que se considera crítico nesse ambiente o conjunto de sondas, logo, elas necessitam ter seu tempo otimizado ao máximo possível. Outrossim, sondas possuem tempo de operação diferentes e características distintas, permitindo com que a capacidade de carretas e guindastes seja relativamente superior, evitando, por sua vez, que ele se torne o gargalo do processo.

5 Considerações Finais

Com a realização do estudo, pôde-se perceber a importância do gerenciamento de projetos como apoio a tomada de decisões estratégicas operacionais. Sob uma análise concreta aos propósitos apresentados, foi possível perceber que as escolhas mais adequadas em atividades operacionais de perfuração de petróleo e gás, exige alinhamento estratégico pela empresa, para que não incorra em quedas de produtividade e tempo, refletindo no aumento de seus custos de produção.

Foi possível ainda observar que existem ferramentas auxiliando por meios matemáticos uma tomada de decisão mais eficiente, evitando que escolhas sejam apenas em suposições – ausência de estratégias – que por sua vez, impactaria nos benefícios com taxas de utilização elevada, conforme também destacaram (Zwikael, Chih & Meredith, 2018).

A avaliação deu-se com experimentos, observando as variações da capacidade das carretas e guindastes e o comportamento dos critérios adotados: taxa de utilização dos recursos *versus* tempo de espera da entidade (sonda). Desses experimentos foram escolhidos e apresentados dois cenários: um buscando eliminar o tempo de espera, e a partir dos dados gerados, traçou-se outro com uma capacidade menor de recurso e um tempo relativamente maior. Os resultados de tais testes foram obtidos no relatório fornecido pelo Arena e sistematizados a fim de identificar a melhor estratégia, e, então, com base nos objetivos anteriores, foi proposto o modelo ideal.

A escolha do modelo ideal, embasada nos parâmetros adotados e no relatório fornecido pelo Arena, obteve como resultado um aumento de 34% na quantidade geral dos recursos empregados, frente a uma redução de mais de 95% do tempo de espera da entidade na fila, apresentando-se assim como uma melhor performance comparada a atual.

Dessa forma, alcançou-se o objetivo principal deste trabalho de desenvolver um modelo de simulação, como suporte de decisão estratégica, com o propósito de dimensionar o emprego de recursos restritivos necessários para realizar a DTM de sondas de perfuração de poços terrestres de petróleo e gás. Ou seja, identificou-se um cenário ótimo ao simular os usos dos recursos em DTM's que, por sua vez, contribui com aspectos econômicos ao implicar na redução dos custos de operacionalização e ganhos de escala ao reduzir tempo de espera.

A partir da limitação da obtenção de dados sobre custos em cada atividade de perfuração de petróleo e gás, observa-se que para trabalhos futuros há a tendência de realizar uma análise mais profunda considerando os gastos mais impactantes sobre os parâmetros adotados: taxa de utilização dos recursos *versus* tempo de espera da entidade, tornando, assim, o trabalho ainda mais rico em detalhes coerentes com a realidade.

Além disso, em observações realizadas, notou-se que os contratos das carretas e guindastes são fixos, isto é, a empresa prestadora do serviço, durante um período de tempo paga por uma determinada quantidade de recursos, permitindo um planejamento mais coerente com o prazo dos contratos. Porém, com complexidades diversas e ausência de decisões estratégicas operacionais mais efetivas, o modelo de simulação adotado possibilitou também inferir que a implicância incorrerá na produtividade e elevação do tempo de perfuração dos poços de petróleo e gás, promovendo custos mais elevados.

A contribuição acadêmica inclina-se por apresentar uma abordagem sistemática e racional de apoio à tomada de decisão, abordando o contexto da Simulação, como precursor à eficiência operacional, capaz de proporcionar avaliação econômica, devido a sua faculdade de resolver problemas de natureza complexa e descrever e analisar o comportamento de um sistema randômico ao longo do tempo. Além disso, sua contribuição prática delimita-se a DTM de sondas de perfuração de poços terrestres de Petróleo e Gás, ao dimensionar a frota ideal de recursos restritivos necessários, possibilitando eficiência e economicidade operacional.

Observa-se que para trabalhos futuros, sugere-se uma análise mais profunda e abrangente considerando os custos impactantes sobre os parâmetros adotados: taxa de utilização dos recursos *versus* tempo de espera em cada etapa operacional, tornando, assim, o trabalho ainda mais rico em detalhes e coerentes com demais realidades. Além disso, em observações realizadas, notou-se que os contratos das carretas e guindastes são fixos, isto é, a empresa durante um período de tempo paga por uma determinada quantidade de recursos, demonstrando, por sua vez, a necessidade de um planejamento coerente com os prazos dos contratos. Ou seja, desperta-se também a necessidade de

estudos que vincule planejamento, alocações, operacionalização e comparativos de economicidade envolvendo recursos provenientes de contratos fixos e flexíveis.

Referências

- AlKheder, S, Alomair, A, & Aladwani, B. (2020). Hold baggage security screening system in Kuwait International Airport using Arena software. *Ain Shams Engineering Journal*, 11(3), 687-696. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.10.016>.
- Altiok, T., & Melamed, B. (2007). *Simulation Modeling and Analysis with Arena*. Elsevier Press: Academic Press.
- Balci, O. (1994). Validation, verification, and testing techniques throughout the life cycle of a simulation study. *Annals of Operations Research*, 53, 121-173.
- Byun, EK, Kee, YS, Kim, JS, Deelman, E., & Maeng, S. (2011). BTS: Resource capacity estimate for time-targeted science workflows. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 71(6), 848-862. <https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2011.01.008>
- Carrasco, RA, Iyengar, G, & Stein, C. (2018). Resource cost aware scheduling. *European Journal of Operational Research*, 269, 621–632. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.02.059>.
- Chen, Z., Lan, Y., & Ma, N. (2018). Career incentive contract design in project management under companies' competition and asymmetric information. *Computers & Industrial Engineering*, 118, 210-225. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.02.024>.
- El-Rayes, K., & Moselhi, O. (2001). Optimization Resource Utilization for Repetitive Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 127(1), 18-26. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2001\)127:1\(18\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2001)127:1(18)).
- Erling, SA, Anders, D., & Vagasari, AL (2009). Organizational rationality and project management. *International Journal of Managing Projects in Business*, 2(4), 479-498. <https://doi.org/10.1108/17538370910991106>.
- Eriksson, E., Larsson, J., & Pesämaa, O. (2017). Managing complex projects in the infrastructure sector: a structural equation model for flexibility-focused project management. *International Journal of Project Management*, 35(8), 1512-1523. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.08.015>.
- Gabbay, MS (2015). Uma metodologia para estimar os custos de perfuração de poços de petróleo: estudo de caso de dois campos onshore na região Nordeste do Brasil. *Tese de Doutorado*, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil. <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/21922>.
- Gil, AC. (2019). *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 7. Ed. São Paulo: Atlas.
- Heldman, K. (2003). *Gerência de Projetos: Guia para o exame oficial PMI*. Rio de Janeiro: Campos.
- Hillier, FS, & Lieberman, GJ (2010). *Introdução a Pesquisa Operacional*. 8. Ed. Porto Alegre: McGraw-Hill.

- ISO. INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. (1997). *ISO 10006: Quality management -Guidelines to quality in project management*. PMBOK®.
- Kaa, G., Papachristos, G., & Bruijn, H. (2018). The governance of platform development processes: A metaphor and a simulation model. *Technological Forecasting and Social Change*, 135, 113-125. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.08.021>.
- Kamrani, M., Abadi, SMHE, & Golroudbary, SR (2014). Traffic simulation of two adjacent unsignalized T-junctions during rush hours using Arena software. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 49, 167-179. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2014.09.006>.
- Kamrani, M, Abadi, AMHE, & Golroudbary, SR (2014). Traffic simulation of two adjacent unsignalized T-junctions during rush hours using Arena software. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 49, 167-179. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2014.09.006>.
- Karaa, F., & Nasr, A. (1986). Resource Management in Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 112(1), 28-34.
- Kelton, WD, Sodowski, RP, & Sturrock, DT (2007). *Simulation with Arena*. 4. Ed., New York: Mc Graw Hill.
- Kuncoro, W., & Suriani, W. O. Achieving sustainable competitive advantage through product innovation and market driving. *Asia Pacific Management Review*, 23, 186-192. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2017.07.006>.
- Lappe, M., & Spang, K. (2014). Investments in project management are profitable: A case study-based analysis of the relationship between the costs and benefits of project management. *International Journal of Project Management*, 32, 603–612. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.10.005>.
- Law, AM, & Kelton, WD (2000). *Simulation Modeling and Analysis*. 3. Ed., Nova York: McGraw-Hill.
- Lee, DE (2005). Probability of project completion using stochastic project scheduling simulation (SPSS). *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(3), 3103-3118. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131:3\(310\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:3(310)).
- Leu, SS, & Hwang, ST (2001). Optimal Repetitive Model with Shareable Resource Constraint. *Journal of Construction Engineering and Management*, 127(4), 270-280. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2001\)127:4\(270\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2001)127:4(270)).
- Malhotra, NK. (2011). *Pesquisa de marketing: foco na decisão*. 3. Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- Montgomery, DC (2005). *Design and Analysis of Experiments*. 6. Ed. New York: J. Wiley.
- Padilla, E., & Carr, R (1991). Resource Strategies for Dynamic Project Management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 117(2), 279-293. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1991\)117:2\(279\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1991)117:2(279)).
- Paiva, EL, Carvalho JR., JM de, & Fensterseifer, JE (2008). *Estratégia de Produção e Operações: Conceitos, Melhores Práticas, Visão de Futuro*. 2. Ed. Porto Alegre: Bookman.
- Paragon (2012). Minicurso ARENA. XXXII Encontro Nacional de engenharia de Produção. Bento Gonçalves, Brasil.



- Possi, M. (2006). *Gerenciamento de Projetos Guia do Profissional: Abordagem Geral e Definição de Escopo*. Rio de Janeiro: Brasport.
- Prado, D. (1999). *Teoria das Filas e da Simulação*. Belo Horizonte: INDG.
- PMI - PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. (2013). *A guide to the project management body of knowledge*. 5. Ed. PMBOK. Newton, PA: PMI Standards.
- Senouci, A., & Adeli, H. (2001). Resource Scheduling Using Neural Dynamics Model of Adeli and Park. *Journal of Construction Engineering and Management*, 127(1), 28-34. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2001\)127:1\(28\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2001)127:1(28)).
- Son, YJ, Wisk, RA (2001). Automatic simulation model generation for simulation-based real-time shop floor control. *Computers in Industry*, 45, 291–308. [https://doi.org/10.1016/S0166-3615\(01\)00086-0](https://doi.org/10.1016/S0166-3615(01)00086-0).
- Tavares, LV (2002). A Review of the contribution of operational research to project management. *European Journal of Operational Research*, 136, 1-18. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00097-2](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00097-2).
- Turner, JR (2010). Evolution of project management research as evidenced by papers published in the international journal of project management. *International Journal of Project Management*, 28, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2009.10.009>.
- Woolley, RN, & Pidd, M. (2017). Problem structuring: A literature review. *Journal of the Operational Research Society*, 32(3), 197-206. <https://doi.org/10.1057/jors.1981.42>.
- Zwikael, O., Chih, YY, & Meredith, JR (2018). Project benefit management: Setting effective target benefits. *International Journal of Project Management*, 36(4), 650-658. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2018.01.002>.