



ANÁLISE ESTATÍSTICA DO DESEMPENHO OPERACIONAL EM UMA SONDA DE PERFURAÇÃO

Stênio Marcos Santos Aguilár (Universidade Federal Fluminense) saguilar@id.uff.br
Ana Paula Barbosa Sobral (Universidade Federal Fluminense) ana_sobral@id.uff.br
Mateus Carvalho Amaral (Universidade Federal Fluminense) mateus_amaral@id.uff.br

Resumo

Na rotina operacional de uma sonda de perfuração *offshore* uma das operações mais comuns e repetitivas é conhecida pela indústria como *Slip to Slip Connection*, que é executada durante as manobras de movimentação de tubos de perfuração no interior do poço. O monitoramento da performance dessa operação é importante em função da necessidade de cumprimento de obrigações contratuais de performance e para otimizar o tempo total de intervenção em um poço, garantindo melhorias nos indicadores operacionais. Nesse sentido, este trabalho propôs a aplicação de técnicas estatísticas, utilizando linguagem em Python, para analisar os resultados de desempenho das operações de *Slip to Slip Connection* de uma sonda, a partir de dados coletados em campo, entre os anos de 2020 e 2021. Os resultados alcançados forneceram um melhor mapeamento dessa operação quanto ao atendimento da meta estipulada, performance operacional ao longo do tempo e eventuais divergências no desempenho entre equipes, fornecendo insumos importantes de apoio a gestão.

Palavras-Chaves: *Slip to Slip Connection*; Desempenho Operacional; Python; Estatística

1. Introdução

As unidades móveis de perfuração *offshore* (MODUs ou sondas) são embarcações marítimas usadas para perfuração, completação, manutenção e avaliação de poços em ambientes marinhos. Sondagens, como será denominado neste trabalho, são de propriedade e operados por *Drilling Contractors* e são alugados para empresas do segmento de Exploração e Produção (E&P), mediante pagamento de uma taxa diária (KAISER; SNYDER, 2013).

Na etapa de Perfuração de um poço, dentre suas atividades mais específicas, contém operações rotineiras de manobra de coluna de perfuração, composta por tubos de perfuração, componentes de composição de fundo de poço (BHA), broca e demais ferramentas aplicadas na perfuração

de poços, cujas funções consistem em aplicar peso e transmitir rotação à broca, conduzir o fluido, manter o poço calibrado e garantir inclinação e direção corretas (FERNÁNDEZ; PEDROSA JUNIOR; PINHO, 2009).

Para operacionalizar a manobra de coluna de perfuração no interior do poço (subida ou descida) são realizadas conexões e desconexões rosqueadas entre as seções contendo os tubos, utilizando equipamentos e acessórios presentes no deck de perfuração da sonda, como cunhas e chaves de torque automatizadas (THOMAS, 2004).

Dentre as operações realizada, tem-se o tempo de conexão cunha a cunha, mais conhecido na indústria pelo termo em inglês *Slip to Slip Connection*, que representa o tempo que a coluna permanece “acunhada” durante as manobras para conexões de tubo de perfuração. A cronometragem inicia quando a coluna de perfuração é colocada na cunha e termina quando a cunha é liberada (EL AFIFI; ALBASSAM; FAHMY, 2015).

A medição do tempo de execução da operação *Slip to Slip Connection*, que será daqui em diante denominada pela sigla STS, ocorre de forma rotineira em uma sonda e seu monitoramento automatizado é importante para medir e rastrear o desempenho detalhado das operações e equipes (EL AFIFI; ALBASSAM; FAHMY, 2015).

A sonda a ser estudada é operada por uma *Drilling Contractor* que presta serviços de perfuração no Brasil, e por efeito de sigilo dos dados serão denominadas pelos nomes fictícios UM-XX e Z Energia, respectivamente, sonda e *Drilling Contractor*.

O monitoramento de performance operacional pela empresa Z Energia, incluindo os tempos de STS, justifica-se principalmente em função da necessidade de cumprimento de obrigações contratuais de cláusulas de performance e para otimizar o tempo total de intervenção no poço, garantindo melhorias nos indicadores operacionais.

A empresa estudada faz o tratamento estatístico básico dos dados coletados em campo, visando tratar anomalias relacionadas ao desvio de meta de performance. Entretanto, identificou-se uma carência das análises realizadas, principalmente no que tange aplicação de ferramentas de inferência estatística, o que levantou questionamentos quanto a qualidade dos resultados dessas análises.

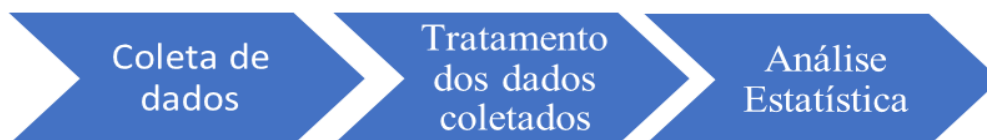
Nesse sentido, o objetivo desse trabalho é avaliar estatisticamente, utilizando a linguagem Python, os resultados obtidos para os tempos de STS (variável de interesse), na sonda UM-XX, no período de julho/2020 a agosto/2021, visando responder as perguntas-problemas a seguir:

- A média dos tempos de STS obtida pela sonda UM-XX, no período avaliado, é significativamente menor que a meta estipulada de 1,8 min?
- Houve perda de desempenho operacional da sonda ao longo do período avaliado?
- A performance operacional, em relação ao tempo médio de STS, é igual ou diferente entre os turnos de operação?

2. Método de trabalho

O método utilizado para desenvolvimento do trabalho e atendimento ao objetivo proposto foi dividido em três etapas, como ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Etapas do método de trabalho



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

2.1. Coleta de dados

Os dados foram coletados a partir de uma pesquisa documental eletrônica, neste caso, ao sistema de monitoramento de performance em tempo real utilizado pela empresa Z Energia, que utiliza sensores instalados na sonda para gerar automaticamente diversos dados demandados pelos analistas, entre eles, os tempos de *Slip to Slip Connection*.

2.2. Tratamento dos dados

A partir dos dados coletados, foram necessários alguns ajustes de formatação nos dados visando melhor performance durante aplicação das técnicas estatísticas.

Conforme Montgomery e Runger (2021), um aspecto importante de lidar com dados é organizar e resumi-los em maneiras que facilitem sua interpretação e análise subsequente.

Para execução dessa etapa, utilizaram-se recursos do software Excel, gerando como produto uma planilha em formato matricial, compondo os dados a serem importados para o código em linguagem Python.

2.3. Análise estatística

Nesta etapa, visando responder aos questionamentos do autor, foram realizadas as análises estatísticas, através da programação em linguagem Python, divididas entre Análise Exploratória dos dados e Inferência Estatística, conforme detalhado nos próximos subitens.

2.3.1. Análise Exploratória dos dados

Como a variável de interesse estudada é do tipo quantitativa contínua e tem-se um grande volume de dados, foram realizadas as seguintes análises:

- a) Medidas de posição: que visam localizar o centro do conjunto de dados, isto é, identificar um valor representativo em torno do qual os dados tendem a se agrupar com maior ou menor frequência;
- b) Boxplot: cuja representação gráfica descreve simultaneamente várias características importantes de um conjunto de dados, tais como: centro, dispersão, desvio em relação à simetria e a identificação de outliers. Além de permitir comparações práticas entre processos;
- c) Histograma: que é a representação gráfica da distribuição de frequência de uma variável quantitativa contínua.

2.3.2. Inferência Estatística

Para aprofundamento na avaliação de performance da operação *Slip to Slip Connection*, foram aplicadas técnicas de inferência estatística, a partir da amostra de dados coletada.

Foram realizados diversos testes de hipótese, que serão explicitados na seção 3.3, utilizando programação em Python, com objetivo de testar as hipóteses formuladas e responder as perguntas-problemas desse artigo.

3. Análise dos resultados

Neste capítulo são apresentadas as características e medidas do conjunto de dados estudado, saídas computacionais geradas a partir do código desenvolvido em linguagem Python e principais resultados alcançados no trabalho.

3.1. Apresentação geral dos dados

Os dados coletados e formatados apresentam as características gerais resumidas no Quadro 1.

Quadro 1 – Dados gerais do conjunto de dados em estudo

Dados	Descrição
Sonda:	UM-XX
Período completo:	Julho/2020 a Agosto/2021
Variável de interesse:	<i>Slip to Slip Connection Time</i> – STS (min): (Id Python: Tempo_STS)
Tamanho amostra:	9930 registros
Variáveis Equipes:	Turno_1 (“ <i>Day Crew</i> ” – 00:00 as 12:00hr); Turno_2 (“ <i>Night Crew</i> ” – 12:00 as 24:00hr)
Variáveis Períodos:	Período 1 (P1): Julho/2020 a Janeiro/2021 Período 2 (P2): Fevereiro/2021 a Agosto/2021

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Na Tabela 1, apresenta-se a tabulação dos dados (tabela de frequência) da variável de interesse STS, nomeada no código Python por “Tempo_STS”, classificados a partir das variáveis categóricas “Período” e “Turno”.

Tabela 1 – Tabulação dos dados (Tabela de frequência) em relação as variáveis qualitativas período/turno

Período/Turno	Frequência Absoluta (n)	Frequência relativa (fr)	Frequência Percentual (fp)
P1	5389	0,5427	54,27
Turno_1	2495	0,2513	25,13
Turno_2	2894	0,2914	29,14
P2	4541	0,4573	45,73
Turno_1	2704	0,2723	27,23
Turno_2	1837	0,1850	18,50
Total Geral	9930	1,0000	100,00

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

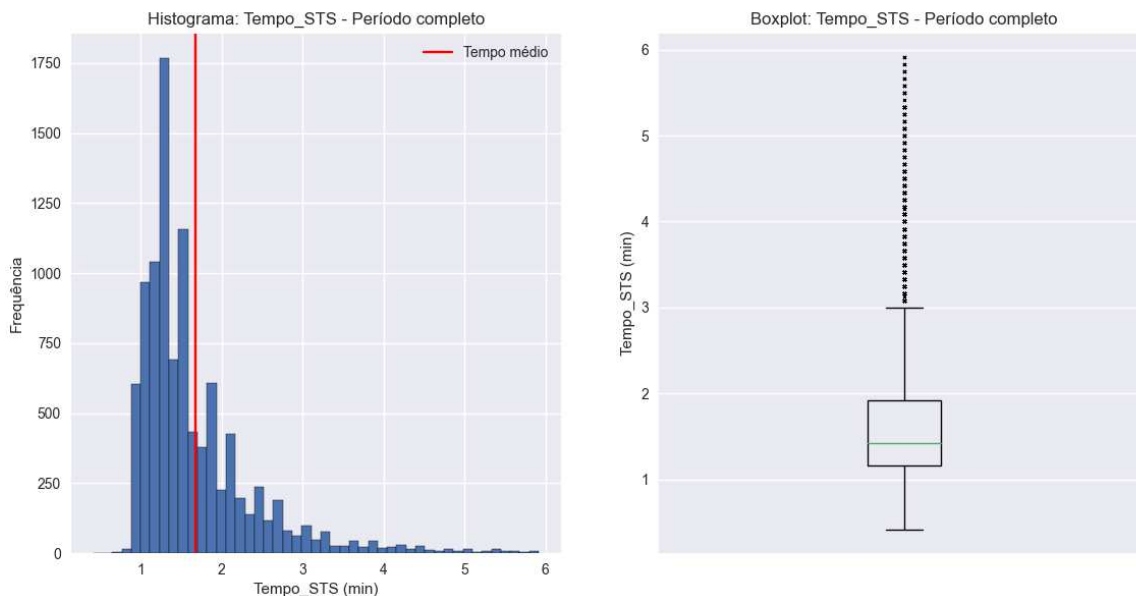
3.2. Análise Exploratória dos Dados: Comportamento da variável de interesse

A análise foi dividida em três conjuntos para avaliar o comportamento da variável de interesse sob diferentes perspectivas, são eles: período completo, períodos P1 e P2, e turnos 1 e 2.

A Figura 2 apresenta os diagramas histograma e boxplot, gerados em linguagem Python, para os valores unitários de STS medidos no período julho/2020 a agosto/2021. Enquanto a Tabela 2 apresenta as medidas de posição e dispersão do conjunto de dados.

A partir dos gráficos e medidas descritivas calculadas, tem-se uma indicação de que a sonda atingiu a meta estipulada para o período, cujo alvo era 1,8 min.

Figura 2 - Histograma e Boxplot – Variável “Tempo_STS”



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

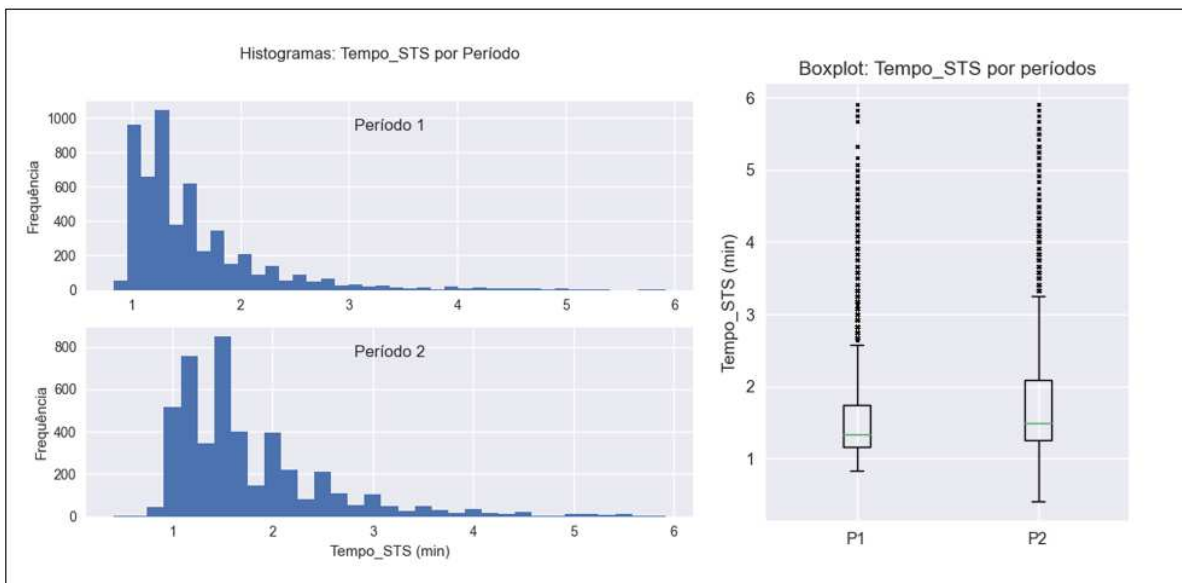
Tabela 2 – Medidas descritivas da variável de interesse no período completo

N	N*	Média	Desvio padrão	Variância	Q1	Mediana	Q3	Distância Interquartilica (DI)
9930	0	1,6746	0,7258	0,5268	1,1667	1,4167	1,9167	0,75

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Na Figura 3 estão representadas as saídas gráficas geradas em linguagem Python, e a Tabela 3 apresenta os dados descritivos (medidas da variável de interesse por período de operação (P1 e P2)).

Figura 3 – Gráficos de histograma e boxplot – Tempo_STS por períodos P1 e P2



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Tabela 3 – Medidas descritivas da variável de interesse por períodos P1 e P2

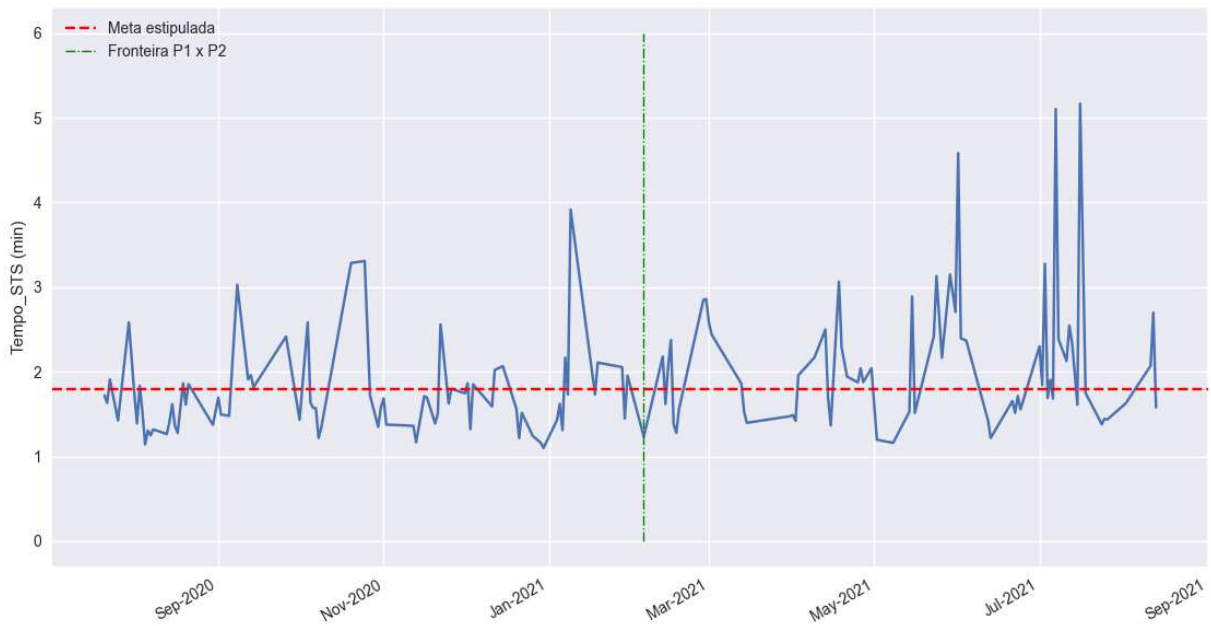
Período	N	N*	Média	Desvio padrão	Variância	Q1	Mediana	Q3	DI
P1	5389	0	1,5737	0,6443	0,4151	1,1667	1,3333	1,75	0,5833
P2	4541	0	1,7943	0,7956	0,633	1,25	1,5	2,0833	0,8333

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

A partir dos dados da Figura 3, há uma sinalização inicial de que no período P1 a variável STS apresentou os melhores resultados em termos de eficiência operacional. Ambos os histogramas apresentam assimetria positiva (Mediana < Média), o que é positivo para a operação avaliada. Além disso, a partir do boxplot gerado há indícios para crer que a variabilidade está mais controlada no P1.

Corroborando com essa análise, gerou-se o gráfico de série temporal para ilustrar o comportamento da variável de interesse ao longo do tempo, exibido no Gráfico 1. Observa-se uma tendência de alta na média dos tempos de STS ao longo do período estudado, entretanto, para suportar e fundamentar essa afirmação (hipótese) foi realizado um teste de hipótese, que será apresentado mais adiante.

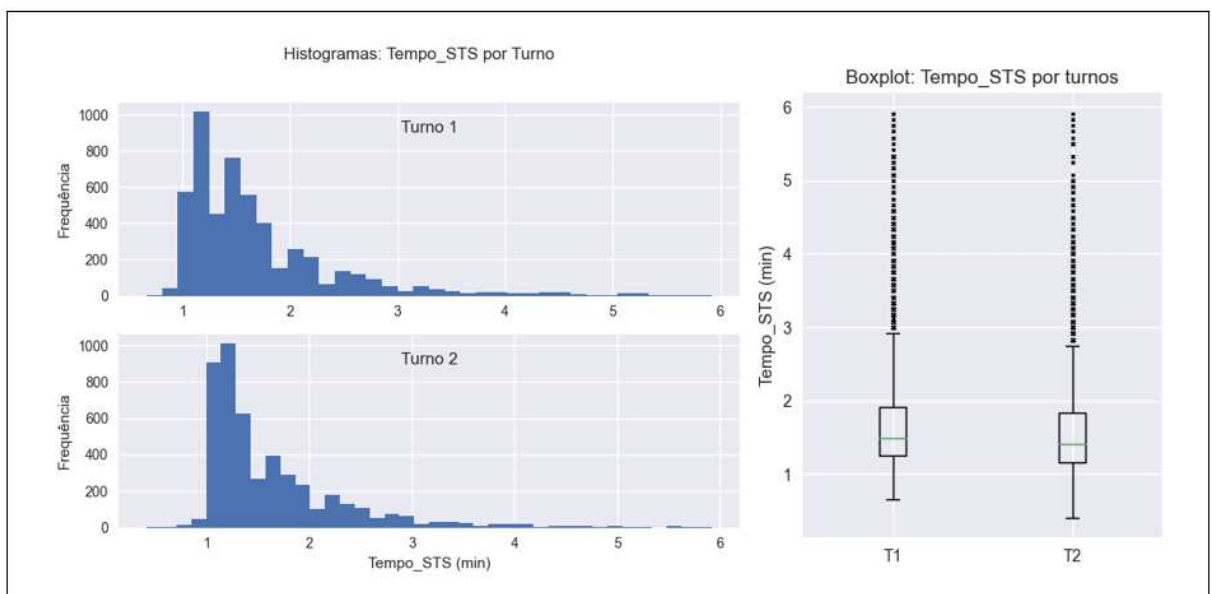
Gráfico 1 – Série temporal: média diária Tempo_STS



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Por fim, na Figura 4 são plotados os gráficos de histograma e boxplot para representar o comportamento da variável de interesse em função dos turnos de operação (T1 e T2), e assim como nos casos anteriores são exibidos os valores das medidas descritivas de cada turno, na Tabela 4.

Figura 4 - Histograma e boxplot – Tempo_STS por turnos T1 e T2



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Tabela 4 – Medidas descritivas da variável de interesse por períodos P1 e P2

Turno	N	N*	Média	Desvio padrão	Variância	Q1	Mediana	Q3	DI
Turno_1	5199	0	1,7137	0,7368	0,5429	1,25	1,5	1,9167	0,6667
Turno_2	4731	0	1,6316	0,711	0,5056	1,1667	1,4167	1,8333	0,6667

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Uma observação interessante nesse caso foi o resultado da medida distância interquartílica (DI), que apresentou o mesmo valor para ambos os grupos, indicando uma boa gestão no controle de variabilidade dessa atividade entre as equipes.

3.3. Técnicas de inferência estatística aplicadas na variável de interesse

A partir dos gráficos e informações geradas nos subitens anteriores, cujo foco era mais exploratório, foi possível obter uma visão geral do comportamento da variável STS na sonda UM-XX e formular algumas hipóteses quanto ao desempenho dessa operação.

Entretanto, para maior assertividade nas conclusões sobre o comportamento da variável de interesse, as hipóteses precisaram ser testadas estatisticamente a partir da realização de um teste de hipótese, conforme estão descritos a seguir.

3.3.1. Avaliação do atendimento a meta estipulada

O teste de hipótese proposto visa confirmar se há diferença estatística significativa entre o resultado médio alcançado para os tempos de STS, pela sonda UM-XX, e a meta de performance proposta para o período, cujo valor foi de 1,8 min.

Ressalta-se que os dados amostrais da variável de interesse foram testados e há indícios para supor que eles provêm de uma distribuição de probabilidade Normal. Além disso, como o parâmetro populacional da variável estudada é desconhecido, será utilizado o Teste t para uma amostra (MONTGOMERY; RUNGER, 2001).

No Quadro 2 apresenta-se a formulação das hipóteses e respectivos resultados obtidos após execução do teste de hipótese no Python.

Quadro 2 – Teste de Hipótese (Teste t) da média dos tempos de STS

Parâmetro de interesse:	A média dos tempos STS é igual ou menor a meta 1,8 min?
-------------------------	---

Hipóteses testadas:	H ₀ : $\mu = 1,8 \text{ min}$ H ₁ : $\mu < 1,8 \text{ min}$
Nível de significância adotado (α):	5%
P-Valor:	0,000
Decisão tomada:	Rejeitar H ₀

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

A partir dos resultados obtidos, pode-se afirmar que a sonda UM-XX obteve um tempo médio das manobras STS inferior à meta estipulada.

3.3.2. Avaliação do desempenho operacional entre os períodos P1 e P2

Para comprovar estatisticamente se há diferença de desempenho operacional entre os períodos P1 e P2, em relação à média dos tempos de STS executados, foi proposto um teste de hipótese: Teste t para duas amostras independentes.

Um pré-requisito importante para a realização deste teste de hipótese com variâncias populacionais desconhecidas é o teste de comparação de variâncias, para verificar se as variâncias são iguais ou diferentes. Esse é um parâmetro importante para o teste subsequente de comparação de médias, uma vez que influencia na estatística de teste a ser utilizada.

Os resultados do teste de comparação das variâncias estão demonstrados no Quadro 3.

Quadro 3 – Teste de hipótese para comparação das variâncias das amostras da variável Tempo_STS por período

Parâmetro de interesse:	Comparar se as variâncias das duas amostras são iguais ou diferentes
Hipóteses testadas:	H ₀ : $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ H ₁ : $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
Nível de significância adotado (α):	1%
P-Valor:	0,000
Decisão tomada:	Rejeitar H ₀

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

A partir do resultado, conclui-se que há diferença significativa entre as variâncias das duas amostras.

Na sequência, assumindo que as variâncias das amostras são diferentes, apresenta-se, no Quadro 4, os resultados do teste de hipótese para comparação do desempenho entre os períodos.

Quadro 4 – Teste de Hipótese para comparação das médias de STS por período

Parâmetro de interesse:	A média dos tempos STS do P1 é menor que do P2?
Hipóteses testadas:	$H_0: \mu_1 = \mu_2$ $H_1: \mu_1 < \mu_2$
Nível de significância adotado (α):	5%
P-Valor:	0,000
Decisão tomada:	Rejeitar H_0

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Portanto, pode-se afirmar que há diferença significativa entre as médias dos tempos de STS nos períodos P1 e P2, ou seja, houve perda de desempenho operacional do 1º período para o segundo.

Esse resultado é importante para suportar futuras análises de gestão, uma vez que o resultado esperado seria justamente o contrário. Nesse tipo de atividade, espera-se com o transcorrer da execução contratual que os operadores se tornem mais familiarizados com os equipamentos e operações e, dessa forma, consigam melhorar a performance operacional, através de ajustes de procedimentos, realização de treinamento e/ou *upgrades* de equipamentos, por exemplo.

Nesse sentido, os resultados sinalizam um ponto de atenção para existência de eventuais anomalias no sistema e que possam ter provocado essa perda de eficiência.

3.3.3. Avaliação do desempenho operacional entre turnos T1 e T2

Nesta última avaliação, buscou-se confirmar se há diferença significativa entre os tempos médios das operações STS nos turnos T1 e T2.

Similar ao realizado na avaliação anterior, em função da utilização do Teste t para duas amostras independentes, foi necessário executar um teste de hipótese para avaliar a igualdade das variâncias. Nesse caso, concluiu-se que não há diferença significativa entre as variâncias das duas amostras, para o nível de significância de 1%, conforme resultados exibidos no Quadro 5.

Quadro 5 – Teste de hipótese para comparação das variâncias das amostras da variável Tempo_STS por turno

Parâmetro de interesse:	Comparar se as variâncias das duas amostras são iguais ou diferentes
Hipóteses testadas:	$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
Nível de significância adotado (α):	1%
P-Valor:	0,012
Decisão tomada:	Não Rejeitar H_0

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Sendo assim, formulou-se o teste de hipótese sinalizado no Quadro 6 para análise de performance entre os turnos T1 e T2, visando responder mais uma pergunta objetivo desse trabalho.

Quadro 6 – Teste de Hipótese para comparação das médias de STS por Turno

Parâmetro de interesse:	A média dos tempos STS do T1 é igual ao do T2?
Hipóteses testadas:	$H_0: \mu_1 = \mu_2$ $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$
Nível de significância adotado (α):	5% (0,05)
P-Valor:	0,000
Decisão tomada:	Rejeitar H_0

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Portanto, as médias dos tempos da operação de STS são diferentes entre os turnos T1 e T2.

Esse resultado também é um indício da existência de possíveis problemas operacionais, indicando aos gestores a necessidade de uma análise mais precisa sobre possíveis causas que possam ter causado essa diferença, tal como, análises de correlações com outras variáveis, como pessoas, equipamentos e parâmetros operacionais.

Outra recomendação para futuras ações seria avaliar e comparar os resultados com outras sondas similares, buscando nivelamento entre procedimentos e boas práticas de gestão e operação.

4. Conclusão

O objetivo desse trabalho foi analisar estatisticamente os resultados obtidos nos tempos das operações de *Slip to Slip Connection* (STS), em uma sonda de perfuração, a partir dos dados coletados em campo no período de julho/2020 a agosto/2021.

Foram utilizadas ferramentas estatísticas, através da programação em linguagem Python, que permitiram uma análise exploratória dos dados e, posteriormente, foram aplicadas técnicas de inferência estatística para responder as 3 (três) perguntas-problemas elaboradas nesse trabalho, relacionadas ao atendimento da meta estipulada e comparação dos desempenhos operacionais entre períodos e turnos.

Para o período monitorado, foi verificado que a sonda UM-XX apresentou a média dos tempos de STS abaixo da meta estipulada (1,8 min), esse resultado demonstra um bom desempenho da geral da sonda para essa operação.

Foi proposta a divisão do período completo monitorado em 2 (dois) subperíodos, P1 e P2, com objetivo de avaliar se houve ganho de desempenho operacional com o transcorrer da execução contratual, ou seja, esperava-se que a média de execução da operação STS do P2 fosse melhor que a do P1.

Entretanto, já na própria análise exploratória constatou-se que a média no P2 estava acima daquela no P1, o que foi ratificado posteriormente a partir do teste de hipótese realizado. A conclusão do teste é que houve diferença significativa entre as médias de tempo STS por período, evidenciando uma perda de desempenho operacional no período P2 quando comparado ao P1.

Para exemplificar em termos financeiros, a economia obtida caso a média dos tempos de STS no período P2 fosse igual ao do período P1 seria de aproximadamente 0,7 dias de tempo de sonda. Considerando uma taxa diária hipotética de US\$180.000,00, que seria um valor dentro da realidade de mercado para uma sonda desse porte (BRASIL *et al.*, 2021), chega-se em uma economia potencial de US\$126.000,00, em um período aproximado de 6 meses de operação.

Por fim, foi avaliado se os tempos médios de STS nos turnos T1 e T2 são estatisticamente iguais, visando responder mais uma pergunta de interesse.

O resultado contrariou aquilo que seria desejado pelos gestores, pois evidenciou que há diferença estatística das médias de STS entre os turnos. Nesse sentido, apesar das equipes



estarem atendendo a meta estipulada de 1,8 min, os resultados indicam que há espaço para melhorias da eficiência operacional, sinalizando a necessidade de monitoramento e aprofundamento das análises de gestão.

Nessa linha, como sugestão de trabalhos futuros, pode-se aplicar técnicas multivariadas de dados, com adição de novas variáveis ao conjunto de dados e que possam estar influenciando na performance da manobra STS.

REFERÊNCIAS

- BRASIL, Rafael Gardel Azzariti *et al.* Scheduling Drillships in Offshore Activities. **Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)**, [s. l.], v. 13004 LNCS, p. 66–81, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-87672-2_5
- EL AFIFI, Sameh; ALBASSAM, Bassam; FAHMY, Fadi Atef. Enhance the drilling & tripping performance on automated rigs with fully automated performance measurement. **Society of Petroleum Engineers - SPE Middle East Intelligent Oil and Gas Conference and Exhibition**, [s. l.], 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.2118/176786-ms>
- FERNÁNDEZ, Eloi Fernández y; PEDROSA JUNIOR, Oswaldo A.; PINHO, António Correia de. **Dicionário do Petróleo em Língua Portuguesa: exploração e produção de petróleo e gás**. Rio de Janeiro: Lexikon: PUC-Rio, 2009.
- KAISER, Mark J.; SNYDER, Brian. Capital investment and operational decision making in the offshore drilling industry. **Engineering Economist**, [s. l.], v. 58, n. 1, p. 35–58, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0013791X.2012.758331>
- MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.
- THOMAS, José Eduardo. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.