

AVALIAÇÃO DA EFETIVIDADE DE ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL BASEADAS EM INDICADORES APLICADAS À RECUPERAÇÃO DE UMA PERFURATRIZ HIDRÁULICA

Willians Robson dos Santos Ney, williansrobson@gmail.com¹
Raiane Pacobahiba Duarte de Almeida, pacobahiba@icloud.com¹
Helio dos Santos Franca Junior, helio.junior@souzamarques.br¹
Claudio Vidal Teixeira, claudio.teixeira@souzamarques.br¹

¹Faculdade Souza Marques, Av. Ernani Cardoso, 335 – Cascadura Rio de Janeiro/RJ - CEP 21310-310

Resumo. O objetivo desse trabalho é demonstrar a efetividade das estratégias de manutenção industrial, combinando manutenção corretiva e preventiva, restabeleceu a capacidade operacional de uma perfuratriz hidráulica de esteira (modelo SM-5) danificada por um incêndio, que afetou seu motor diesel, sistema hidráulico e instalação elétrica. A manutenção corretiva reparou os danos, enquanto a preventiva buscou evitar novas falhas e reduzir o tempo de inatividade. A análise utilizou indicadores como disponibilidade, tempo médio de reparo, tempo médio entre falhas, confiabilidade para avaliar o desempenho pós-recuperação. Os resultados comprovaram que a perfuratriz recuperada apresentou desempenho equivalente ao de uma unidade nova, validando a eficácia das estratégias aplicadas. O estudo reforça a importância do uso de dados e métricas na avaliação de desempenho e na melhoria contínua dos processos de manutenção industrial.

Palavras-chave: Manutenção industrial. Perfuratriz hidráulica. Indicadores de capacidade.

Abstract. The objective of this work is to demonstrate the effectiveness of industrial maintenance strategies by combining corrective and preventive maintenance to restore the operational capacity of a hydraulic drill rig (model SM-5) damaged by a fire, which affected its diesel engine, hydraulic system, and electrical installation. Corrective maintenance repaired the damages, while preventive maintenance aimed to avoid new failures and reduce downtime. The analysis used indicators such as availability, mean time to repair, mean time between failures, reliability, and maintainability to evaluate post-recovery performance. The results proved that the recovered drill rig performed equivalently to a new unit, validating the effectiveness of the applied strategies. The study reinforces the importance of using data and metrics in performance evaluation and the continuous improvement of industrial maintenance processes.

Keywords: Industrial maintenance. Hydraulic drill rig. Capability indicators.

1. INTRODUÇÃO

No segmento da engenharia geotécnica, o uso de perfuratrizes hidráulicas de esteira é fundamental para a execução de fundações profundas, como estacas e tubulões, que transferem cargas de estruturas para camadas mais estáveis do solo. Esses elementos são essenciais em solos superficiais com baixa resistência, garantindo a estabilidade de construções pesadas, como edifícios altos e pontes, além de reduzir recalques diferenciais e permitir a construção em solos fracos (Almeida, 2024). Além disso, as perfuratrizes são utilizadas para a execução de tirantes, elementos de ancoragem que estabilizam estruturas e taludes, transferindo esforços de tração para camadas mais profundas (Coduto, 2001).

Uma perfuratriz hidráulica de esteira é composta por sistemas complexos, como a unidade de potência hidráulica, que fornece energia para movimentar componentes como bombas, válvulas e motores, acionados por um motor a combustão. A torre de perfuração, que suporta as ferramentas de perfuração, e o sistema de avanço, que aplica força por meio de cilindros hidráulicos, são elementos críticos para o desempenho da máquina. A broca, projetada para cortar ou triturar o solo e a rocha, varia conforme o material a ser perfurado, enquanto o tubo de perfuração facilita a circulação de fluidos, essencial para o resfriamento da broca e remoção de detritos (Soilmec, 2020).

Essas máquinas são projetadas para operar em diversos tipos de solo e rocha, sendo essenciais em cenários críticos. Sua mobilidade, proporcionada pelas esteiras, permite acesso a locais de difícil alcance e operação estável em terrenos irregulares. Isso as torna indispensáveis para projetos de infraestrutura de transporte, obras urbanas, industriais e de energia.

Este trabalho tem como objetivo apresentar, por meio de indicadores de manutenção, a efetividade da recuperação de uma perfuratriz hidráulica de esteira, modelo SM-5, fabricada pela SOILMEC e pertencente à empresa SEEL – Serviços Especiais de Engenharia LTDA, danificada por um incêndio que afetou o motor diesel, os componentes do sistema hidráulico e a instalação elétrica do equipamento, conforme mostra a Fig.1.



Figura 1. Vista geral lado esquerdo da perfuratriz

A proposta é demonstrar a eficácia de estratégias integradas de manutenção corretiva e preventiva, utilizando indicadores como disponibilidade, tempo médio de reparo, tempo médio entre falhas e confiabilidade para avaliar o desempenho pós-recuperação.

Embora o estudo de caso tenha sido realizado em uma perfuratriz hidráulica de esteira, as práticas e conclusões podem ser aplicadas a outros equipamentos industriais, fornecendo diretrizes para a manutenção e recuperação de sistemas mecânicos complexos.

Para a empresa proprietária, a recuperação do equipamento representou um ganho significativo, eliminando a necessidade de aluguel de máquinas terceirizadas e aumentando a eficiência operacional. Além disso, a restauração reduziu custos associados à depreciação e fortaleceu a competitividade da empresa no mercado.

Apesar do sistema elétrico ter ficado de fora desse estudo, os resultados evidenciam a eficácia das intervenções realizadas, oferecendo um panorama sobre a efetividade das estratégias de manutenção aplicadas.

2. METODOLOGIA

Neste trabalho, foi adotada uma abordagem quantitativa, centrada na análise de dados referentes ao desempenho do equipamento após as intervenções de manutenção, com destaque para as métricas utilizadas para avaliar a efetividade da recuperação do equipamento. Além disso, a metodologia envolveu a identificação e aplicação de indicadores específicos, reforçando a relevância dessas métricas no contexto da manutenção industrial.

2.1. Identificação das Ações

Inicialmente, foi realizado um levantamento das ações corretivas e preventivas necessárias para a recuperação da perfuratriz hidráulica. Os danos causados pelo incêndio foram documentados e categorizados como pontos de manutenção corretiva. Esse levantamento baseou-se nos registros da identidade original do equipamento, conforme especificações contidas em catálogos e manuais técnicos, e incluiu a análise dos componentes afetados, com verificação de sua integridade. As fotografias, mostradas na Fig. 2, foram registradas para subsidiar as etapas subsequentes de recuperação. E, por fim, os pontos de manutenção preventiva foram identificados com base em falhas recorrentes observadas antes do incidente.



Figura 2. (a) Vista interior esquerda da perfuratriz (b) Vista interior direita da perfuratriz

2.1. Ações implementadas

Com base na identificação dos danos, foram desenvolvidas soluções para a manutenção corretiva dos pontos afetados pelo incêndio, bem como estratégias de manutenção preventiva. Cada ação proposta foi detalhadamente descrita, abordando a justificativa técnica das melhorias propostas, os benefícios esperados e a avaliação dos impactos. Em seguida, foi elaborado um cronograma que estruturou a sequência de atividades necessárias para a implementação das soluções propostas. E, para garantir rastreabilidade e conformidade com os padrões técnicos, as ações implementadas foram documentadas por meio de fotografias e registros técnicos cada etapa do processo de substituição. Após a substituição e instalação dos componentes, foram conduzidos testes operacionais, monitorando: pressão hidráulica, possíveis vazamentos, eficiência do sistema e temperatura do motor.

2.2. Análise de dados

A análise dos resultados foi realizada com base no mapa de disponibilidade do equipamento, que indica se está em operação, em manutenção preventiva ou corretiva. A partir dessa fonte de dados, foram analisados os seguintes indicadores de desempenho: tempo médio entre falhas, tempo médio de reparo, tempo médio para falha, disponibilidade física, custo de manutenção por valor de reposição, confiabilidade e manutenibilidade (ABNT, 1994).

2.2.1 Tempo médio entre falhas (MTBF)

Esse índice é utilizado para monitorar o desempenho das máquinas em relação às ações de manutenção realizadas. Se o valor do MTBF aumentar ao longo do tempo, isso representa um sinal positivo para a manutenção, pois demonstra uma redução nas intervenções corretivas e, conseqüentemente, um aumento nas horas de operação disponíveis (Viana, 2002, p. 142). O MTBF pode ser calculado pela Eq. (1), onde HD é tempo do equipamento disponível e NC é Número de intervenções de manutenção corretiva no equipamento.

$$MTBF = \frac{HD}{NC} \quad (1)$$

2.2.2 Tempo médio de reparo (MTTR)

Definido como a duração média que leva para reparar um equipamento ou sistema após uma falha. Quando esse índice se apresenta reduzido ao longo do tempo, isso indica um progresso positivo na manutenção, pois demonstra que as intervenções corretivas estão causando um impacto cada vez menor na produção. O MTTR pode ser calculado pela Eq. (2), onde HIM é tempo de indisponibilidade devido à manutenção.

$$MTTR = \frac{HIM}{NC} \quad (2)$$

2.2.3 Tempo médio para falha (MTR)

Esse parâmetro é uma métrica que indica o tempo médio que um produto ou sistema funciona antes de falhar. Ressalta-se que o MTR é específico para componentes não podem ser restaurados, sendo substituídos diretamente após a falha. O MTR pode ser calculado pela Eq. (3), onde NF representa o número de falhas detectadas em componentes não reparáveis.

$$MTR = \frac{HD}{NF} \quad (3)$$

2.2.4 Disponibilidade física (DF)

Definida como sua capacidade de estar apto a desempenhar uma função específica em um momento ou período determinado, este parâmetro representa o percentual do tempo em que um equipamento ou uma planta está operacional em relação às horas totais do período considerado. A DF pode ser calculada pela Eq. (4), onde HT representa o tempo trabalhado e HG o tempo total contabilizado.

$$DF = \frac{HT}{HG} \times 100\% \quad (4)$$

2.2.5 Custo de manutenção por valor de reposição (CPMV)

Este índice estabelece uma relação entre o custo total de manutenção de um equipamento e o seu valor de aquisição ou reposição. Um valor aceitável deste indicador seria $CPMV < 6\%$ no período de um ano e a aplicabilidade é relevante para os equipamentos críticos, cujos custos de manutenção podem impactar significativamente a operação. O $CPMV$ pode ser calculado pela Eq. (5), onde HT representa o tempo trabalhado e HG o tempo total contabilizado.

$$CPMV = \frac{\text{Custo total de manutenção}}{\text{Valor de compra do item}} \times 100\% \quad (5)$$

2.2.6 Confiabilidade (R)

Pode ser definida como a probabilidade de um equipamento funcionar corretamente. R pode ser calculado pela Eq. 6, onde λ é a taxa de falhas, t , indica o tempo, e e representa o logaritmo neperiano. Por sua vez, a taxa de falhas é obtida por meio da Eq. (7).

$$R = e^{-\lambda t} \quad (6)$$

$$\lambda = \frac{\text{Número de falhas}}{\sum \text{tempo de bom funcionamento}} \quad (7)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação dos resultados do projeto de recuperação da perfuratriz hidráulica foi embasada nas práticas de controle de ativos da manutenção industrial, utilizando como principal fonte de dados o mapa de disponibilidade diária do equipamento. Esse mapa fornece uma visão detalhada do status da máquina, discriminando períodos em operação, manutenção preventiva e manutenção corretiva. Para ampliar a análise, os resultados obtidos com a perfuratriz recuperada foram comparados com os de uma perfuratriz nova do mesmo modelo, submetida às mesmas condições de trabalho. Essa comparação permitiu uma avaliação mais robusta do desempenho da máquina recuperada.

Conforme ilustrado na Fig. 3, ambas as máquinas atingiram um percentual elevado de disponibilidade. A perfuratriz recuperada apresentou pequenas variações em relação à nova, mas essas diferenças foram mínimas e não impactaram significativamente a operação, confirmando a capacidade de atender às demandas com eficiência. Os resultados evidenciaram que o equipamento recuperado manteve níveis de disponibilidade competitivos, comparáveis aos de uma máquina nova, reforçando a efetividade das estratégias de manutenção e recuperação aplicadas.

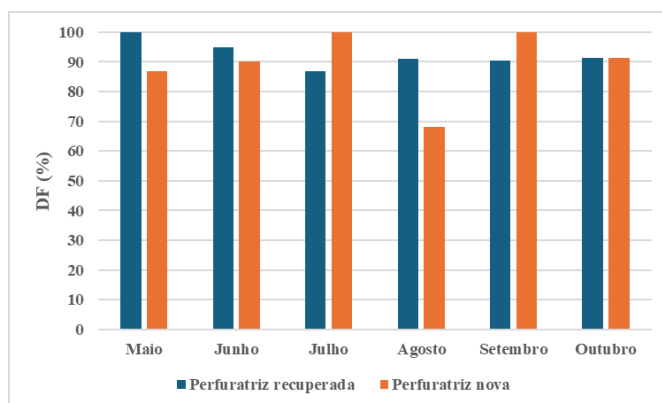


Figura 3. Disponibilidade física da perfuratriz recuperada x perfuratriz nova

A Figura 4 revela que a perfuratriz nova apresentou uma variação significativa nos intervalos de falhas, com picos e quedas nos valores ao longo dos meses analisados. Em contraste, a perfuratriz recuperada demonstrou um desempenho mais estável, mantendo intervalos de falha consistentes durante todo o período avaliado. Essa consistência indica que a máquina recuperada possui robustez e resistência a falhas, mesmo após passar por um processo de recuperação. Os resultados sugerem que as intervenções de manutenção realizadas foram eficazes, garantindo que o equipamento recuperado apresentasse um comportamento confiável e previsível, comparável ou até superior ao de uma máquina nova em termos de estabilidade operacional.

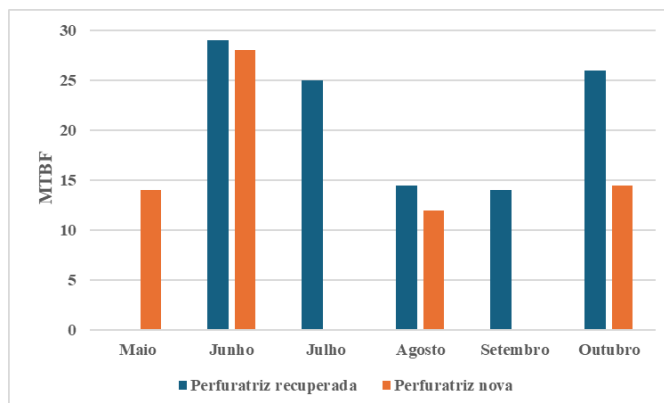


Figura 4. Tempo médio entre falhas da perfuratriz recuperada x perfuratriz nova

A Figura 5 apresenta um gráfico comparativo entre o tempo médio de reparo da perfuratriz nova e o da perfuratriz recuperada. A perfuratriz nova registrou os menores valores de MTTR, o que indica uma menor frequência de reparos e a execução de serviços de manutenção de forma mais rápida e eficiente. Esse resultado reflete a alta confiabilidade do equipamento, caracterizada por uma baixa incidência de falhas e uma gestão de manutenção ágil. Por outro lado, a perfuratriz recuperada apresentou valores dentro de parâmetros aceitáveis, demonstrando resiliência e capacidade de operação contínua mesmo após o processo de recuperação. Essa análise reforça a eficácia das estratégias de manutenção aplicadas e a competitividade do equipamento recuperado em relação a um equipamento novo.

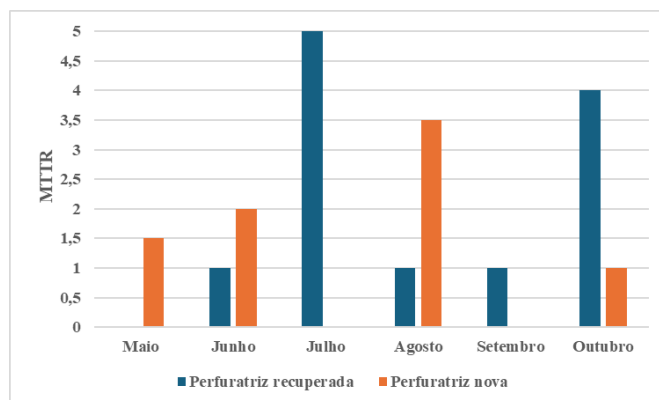


Figura 5. Tempo médio de reparo da perfuratriz recuperada x perfuratriz nova

Ao analisar o indicador de confiabilidade das duas perfuratrizes, observou-se que, na maior parte dos meses avaliados, ambas apresentaram um desempenho consistente e bastante semelhante, conforme ilustrado na Fig. 6. A perfuratriz nova destacou-se nos meses de julho e setembro, alcançando uma confiabilidade de 100% devido à ausência de falhas. No entanto, fora esses períodos, a confiabilidade das duas máquinas manteve-se equilibrada, com variações dentro de uma margem considerada aceitável. Tanto a perfuratriz nova quanto a recuperada demonstraram um desempenho equivalente, indicando que ambas operaram com eficiência ao longo do tempo. Portanto, apesar de pequenas oscilações, o desempenho geral das duas perfuratrizes pode ser considerado equivalente, com ambas exibindo um alto nível de confiabilidade durante o período analisado. Esses resultados reforçam a eficácia do processo de recuperação da perfuratriz, que permitiu ao equipamento recuperado atingir padrões de desempenho comparáveis aos de uma máquina nova.

Ao longo do período analisado, constatou-se que a perfuratriz recuperada apresentou uma ligeira superioridade em sua capacidade de manutenção operacional quando comparada à perfuratriz nova. Esse desempenho reforça a validade do processo de recuperação realizado, demonstrando que as intervenções corretivas e preventivas aplicadas foram altamente eficazes. O resultado confirma a adequação das ações implementadas e evidencia, de forma prática, que o equipamento recuperado manteve um nível operacional elevado, contribuindo para a continuidade das atividades com eficiência comparável à de uma perfuratriz nova.

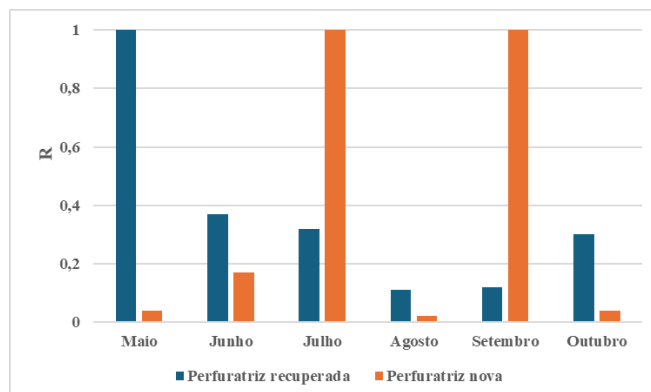


Figura 6. Confiabilidade física da perfuratriz recuperada x perfuratriz nova

4. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo principal demonstrar a efetividade de um projeto de recuperação de uma perfuratriz hidráulica danificada por um incêndio, utilizando indicadores de desempenho para avaliar o sucesso das intervenções realizadas. A partir da coleta e análise de dados, foi possível evidenciar, de forma clara e objetiva, a eficácia do processo de recuperação, confirmando a eficiência das ações corretivas e preventivas implementadas.

Por meio da análise desses indicadores observou-se um desempenho consistente e satisfatório da perfuratriz recuperada. A comparação com o desempenho de uma perfuratriz nova revelou que, mesmo após o processo de recuperação, o equipamento danificado apresentou uma capacidade operacional equivalente à de uma máquina nova, com pequenas variações que permaneceram dentro dos parâmetros aceitáveis para a operação.

Esses indicadores não apenas confirmaram a efetividade do projeto de recuperação, mas também destacaram a importância da manutenção preventiva e da análise contínua do desempenho dos equipamentos. A recuperação da perfuratriz foi considerada bem-sucedida, uma vez que os indicadores demonstraram que, mesmo após o incidente que danificou o equipamento, o processo de reparo restabeleceu sua funcionalidade e confiabilidade, garantindo sua operação dentro dos padrões exigidos.

Dessa forma, o trabalho alcançou seu objetivo, demonstrando de maneira prática e fundamentada, por meio de dados quantitativos, a efetividade de um projeto de recuperação e sua capacidade de restaurar a performance de um equipamento crítico, como a perfuratriz hidráulica.

Como proposta para a continuidade deste estudo, sugere-se uma abordagem multidisciplinar para coletar e analisar dados operacionais e de custos associados a processos de manutenção avançados, com foco na relação entre os motores diesel utilizados em perfuratrizes e sua produtividade em campo. Um estudo detalhado sobre a correlação entre desempenho do motor, consumo de combustível, produtividade e eficiência energética fornecerá informações cruciais sobre o impacto dos custos operacionais na rentabilidade do projeto, na otimização dos processos de perfuração e na melhoria da sustentabilidade operacional.

Essa análise permitirá identificar oportunidades de otimização de parâmetros operacionais, redução de custos associados ao consumo de combustível e ao tempo de máquina trabalhada, implementação de tecnologias de eficiência energética e desenvolvimento de estratégias de manutenção preventiva mais eficazes. Considerando a crescente importância da sustentabilidade e da redução de custos, este estudo contribuirá significativamente para a gestão de custos em projetos de geotecnia, para a tomada de decisões estratégicas na escolha de equipamentos e tecnologias, e para o desenvolvimento de modelos de simulação voltados à otimização de processos.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer Faculdade Souza Marques financiamento e SEEL - Serviço Especiais de Engenharia Ltda pela disponibilização e autorização de utilização dos dados de manutenção.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Norma Brasileira. NBR ISO 5462: Confiabilidade e manutenibilidade. 1. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1994. 14 p.
- Almeida, R.P.D., 2024. *Avaliação da Efetividade de Estratégias de Manutenção Industrial Baseadas em Indicadores Aplicadas à Recuperação de uma Perfuratriz Hidráulica*. Trabalho de conclusão de curso, Faculdade Souza Marques, Rio de Janeiro.

Coduto, D.P., 2001 *Foundation Design: Principles and Practices*. Upper Saddle River: Pearson, 2ª edição.
SOILMEC, 2020. *Technical Manuals and Catalogs*. 19 Mar. 2025 <<https://www.soilmec.com>>

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.