



AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA PERFURAÇÃO DE POÇOS: O PAPEL DOS SISTEMAS ROTATIVOS DIRIGÍVEIS

 <https://doi.org/10.56238/isevmjv3n1-029>

Recebimento dos originais: 04/12/2023

Aceitação para publicação: 27/01/2024

Salomão Luis Antonio

RESUMO

A indústria de petróleo e gás, em constante evolução, tem se beneficiado muito de inovações tecnológicas significativas, especialmente na perfuração. Oklahoma se destaca como um centro de progresso, com marcos importantes, como a perfuração do poço mais rápido do estado usando Sistemas Dirigíveis Rotativos (RSS). Esse avanço exemplifica a crescente importância da automação, monitoramento em tempo real e estratégias de perfuração otimizadas para melhorar a velocidade e a precisão em formações complexas. O RSS permite a rotação contínua da coluna de perfuração, reduzindo o atrito, aumentando a estabilidade e minimizando o tempo não produtivo (NPT), resultando em taxas de penetração (ROP) mais altas e custos de perfuração mais baixos. A combinação de dados em tempo real e controles automatizados também permitiu uma perfuração mais eficiente com menor impacto ambiental. Estudos de caso, como os de Hayes et al. (2023) e Dixit et al. (2023), mostram que a adoção do RSS pode ser mais econômica do que os sistemas tradicionais, como o Motor-Driven Curved Casing, oferecendo reduções significativas no custo por pé perfurado e melhorias na velocidade de penetração. Além disso, a digitalização e a automação facilitaram a mudança para operações remotas, minimizando os riscos para os trabalhadores e reduzindo a pegada de carbono. Os sistemas RSS estão se tornando cada vez mais essenciais para a perfuração em poços horizontais e de alcance estendido, com o uso dessas tecnologias emergentes proporcionando maior eficiência, precisão e sustentabilidade na exploração de petróleo e gás. O futuro da perfuração está intimamente ligado a esses avanços tecnológicos, com benefícios promissores para a indústria.

Palavras-chave: Sistemas Rotativos Dirigíveis (RSS). Eficiência de perfuração. Automação e monitoramento em tempo real. Tecnologia de Petróleo e Gás. Perfuração de poços horizontais.

1 INTRODUÇÃO

A indústria de petróleo e gás está em constante evolução para melhorar a eficiência, e Oklahoma tem se destacado como uma região-chave para avanços tecnológicos em perfuração. Um dos marcos mais notáveis nos últimos anos foi a perfuração do poço mais rápido do estado usando o Sistema Rotativo Dirigível (RSS). Essa conquista destaca a crescente importância da automação, monitoramento em tempo real e estratégias de perfuração otimizadas na construção moderna de poços. O poço, perfurado na Bacia Anadarko, demonstrou como a tecnologia RSS pode aumentar a velocidade e a precisão em formações complexas. Ao contrário da perfuração direcional convencional com motores, o RSS permite a rotação contínua da coluna de perfuração enquanto direciona o caminho do poço, reduzindo o atrito, melhorando a estabilidade do furo e minimizando o tempo não produtivo (NPT). Ao integrar dados em tempo real com controles de direção automatizados, a equipe de perfuração alcançou taxas de penetração (ROP) sem precedentes, mantendo a precisão da trajetória do poço.

Vários fatores contribuíram para a rápida perfuração deste poço. Primeiro, o projeto do poço foi cuidadosamente planejado para minimizar correções desnecessárias e maximizar a eficiência. O uso da tecnologia RSS avançada permitiu uma perfuração suave e contínua com interrupções mínimas. Além disso, o monitoramento em tempo real e a otimização orientada por IA permitiram ajustes imediatos, reduzindo o tempo de perfuração e melhorando o desempenho geral. A escolha de sistemas de lama aprimorados ajudou a manter a estabilidade do poço e otimizar a eficiência da limpeza do furo, enquanto a execução colaborativa entre engenheiros de perfuração, geólogos e pessoal de campo garantiu operações contínuas e tomada de decisão rápida.

Figura 1: Sistemas rotativos dirigíveis.



Fonte: Baker Hughes.



Este feito recorde estabelece uma nova referência para perfuração de alta velocidade em Oklahoma e além. O sucesso do RSS neste projeto demonstra seu potencial para reduzir significativamente os custos de perfuração, melhorar a qualidade do poço e aumentar a eficiência operacional. À medida que a indústria continua a adotar soluções de perfuração automatizada, espera-se que a adoção de sistemas rotativos dirigíveis cresça, impulsionando mais avanços em velocidade, precisão e sustentabilidade na exploração de petróleo e gás. O estudo realizado por Hayes et al. (2023) analisou a eficiência e os custos de diferentes sistemas de perfuração direcional, comparando o desempenho do Sistema Autônomo Rotativo Dirigível (SA-RSS), do Sistema Motorizado Rotativo Dirigível (MD-RSS) e do Convencional. A pesquisa foi realizada em três poços na Formação Caney, no sudoeste de Oklahoma, e demonstrou que o uso de RSS nas seções intermediárias verticais de 12,25" e seções laterais de 8,75"/8,5" foi mais econômico do que o sistema CBH. Os resultados mostraram que o custo por pé perfurado com CBH foi 1,6 a 2,3 vezes maior na seção vertical e 1,7 vezes maior na seção lateral, enquanto a taxa de penetração (ROP) com RSS foi 2,3 a 4,8 vezes mais rápida na seção vertical e 1,6 vezes mais rápida na seção lateral. Essas descobertas reforçam a crescente aceitação global da tecnologia RSS, especialmente em poços horizontais e de alcance estendido (ERW), que se tornaram o padrão da indústria. Nos Estados Unidos, o comprimento médio dos poços horizontais aumentou de 10.000 pés no início dos anos 2000 para 18.000 pés em 2019, enquanto um dos poços mais longos já perfurados no mundo, no Mar do Norte, atingiu uma profundidade total (TD) de 49.000 pés em 2017. Em Oklahoma, a área de foco do estudo, 1.379 poços horizontais foram concluídos entre 2020 e 2022, com um comprimento médio de 18.624 pés e um comprimento médio perfurado de 8.000 pés, destacando a tendência de poços mais longos e a crescente necessidade de tecnologias avançadas para otimizar a eficiência e reduzir custos.

O estudo de Dixit et al. (2023) explora o papel da tecnologia de digitalização e automação na otimização da eficiência e precisão das operações de perfuração, especificamente em poços multilaterais. O trabalho enfatiza como os avanços recentes em sistemas rotativos dirigíveis (RSS), lama à base de água de baixo atrito e brocas de longa duração desempenharam um papel crucial na realocação de pessoal dos locais de perfuração das empresas de serviços de perfuração para centros de operações remotas. Essa transição não apenas reduziu a exposição do pessoal no local, minimizando os riscos de saúde, segurança e meio ambiente, mas também diminuiu a pegada de carbono e melhorou o desempenho operacional geral. O estudo destaca o sucesso da perfuração de 6.624 metros horizontalmente em uma única corrida, dentro da meta do reservatório, sem incidentes de saúde, segurança e meio ambiente (HS&E). O uso de operações remotas foi essencial



para obter rotações otimizadas por minuto (RPM), minimizando a vibração da oscilação de torção de alta frequência (HFTO) e evitando problemas comuns como turbilhão severo em longas seções tangentes. A operação resultou em um dos cinco principais índices de taxa de penetração (ROP) no campo e na broca de perfuração mais longa executada no mesmo campo. Além disso, a operação remota levou a uma economia nos custos de transporte e uma redução estimada de 697.261 kg nas emissões de CO₂ equivalente. Esse desempenho excepcional resultou da integração de tecnologia em várias linhas de produtos, aprimorando o desempenho, reduzindo custos e melhorando o posicionamento do poço. O estudo destaca como os avanços contínuos em tecnologia, automação e digitalização estão impulsionando soluções de fornecimento de energia mais seguras, eficientes e sustentáveis.

A análise de Litvinenko e Dvoynikov (2019) sobre as acelerações vibracionais e amplitudes de batimento de motores de perfuração submersos revelou dados cruciais para determinar as características ideais de energia do mecanismo do gerotor, garantindo uma operação estável. Por meio de pesquisas computacionais e experimentais em larga escala, o estudo definiu dependências que descrevem a operação do sistema "bit – sistema rotativo direcionável com seção de parafuso – coluna de perfuração", bem como os limites das auto-oscilações e o início da ressonância ao usar esses componentes juntos. Os autores propuseram um modelo matemático que ajuda a determinar a faixa de parâmetros tecnológicos ideal para perfuração de poços. Ao controlar as características de potência de torque e frequência da coluna de perfuração, considerando as características de energia da seção do parafuso do sistema dirigível rotativo, o modelo permite reduzir as acelerações vibracionais extremas do conjunto do fundo do furo. Além disso, o estudo fornece recomendações sobre a seleção de parâmetros de modo de perfuração adequados, contribuindo para operações de perfuração mais eficientes e estáveis.

A pesquisa de Weijermans et al. (2001) investiga a tortuosidade do poço, definida como qualquer desvio indesejável da trajetória planejada, fator que pode causar desafios significativos na perfuração, completação e produção de poços. À medida que os poços se tornam mais complexos, a tortuosidade pode levar a torque/arrasto adicional e dificuldades na execução do invólucro, revestimentos e completações. Em alguns casos, a tortuosidade excessiva em poços horizontais pode até prejudicar a produtividade. O estudo compara sistemas convencionais de perfuração direcional usando tecnologia de revestimento curvo baseada em motor com sistemas dirigíveis rotativos, que são considerados mais eficazes na redução da tortuosidade do poço. A pesquisa apresenta os resultados da análise de tortuosidade em vários poços do Mar do Norte perfurados com sistemas rotativos dirigíveis, juntamente com poços de comparação perfurados



com sistemas de revestimento curvo baseados em motores. O estudo usa simulações de torque/arrasto para ilustrar os benefícios potenciais da redução da tortuosidade em condições de perfuração, mostrando que a menor tortuosidade do sistema rotativo dirigível resulta em um efeito de redução de torque, que é significativo em alguns casos.

A análise de Saltykov, Makovsky e Mansurova (2020) sobre a implementação de sistemas rotativos dirigíveis (RSS) na construção de poços de alta tecnologia na Rússia demonstra o impacto positivo dessa tecnologia na segurança e qualidade dos poços. Usada nos últimos cinco anos, a tecnologia RSS provou ser uma solução eficaz, especialmente em poços com grandes desvios verticais e raios de perfuração estendidos. Os sistemas RSS permitem a perfuração precisa ao longo de todo o poço, incluindo a capacidade de perfurar poços verticais com desvios não superiores a $0,2^\circ$ e poços horizontais superiores a 2.000 metros. Em 2016, a OktoGeo LLC conduziu um programa piloto de perfuração no campo petrolífero de Khanty-Mansiysk usando o sistema RSS de tecnologia APS de 172 mm com uma seção de energia, completando com sucesso um poço direcional de 2.205 metros. Os resultados deste trabalho serviram de base para os programas subsequentes de posicionamento do sistema RSS na região.

Em conclusão, os avanços contínuos na tecnologia de perfuração, particularmente a adoção de Sistemas Rotativos Dirigíveis (RSS), representam um salto significativo na indústria de petróleo e gás, especialmente em Oklahoma. A capacidade de perfurar mais rápido, com mais precisão e a um custo menor foi comprovada por meio de vários projetos bem-sucedidos que destacam o papel crucial da automação, monitoramento em tempo real e otimização orientada por IA nas operações de perfuração modernas. A crescente aceitação da tecnologia RSS, juntamente com os avanços na digitalização, automação e operações remotas, resultou em melhorias notáveis em eficiência, segurança e sustentabilidade ambiental. À medida que a indústria avança em direção a poços horizontais mais longos e formações cada vez mais complexas, a integração dessas tecnologias de ponta continuará a remodelar o cenário, impulsionando mais inovações e soluções econômicas na exploração de petróleo e gás. A pesquisa e o desenvolvimento contínuos neste campo, exemplificados por estudos e programas-piloto em todo o mundo, fornecem um caminho claro para práticas de perfuração mais eficientes, precisas e sustentáveis.



REFERÊNCIAS

- Andreassen, E., Blikra, H., Hjelle, A., Kvamme, S., & Haugen, J. (1998). O sistema rotativo dirigível melhora a eficiência da perfuração do reservatório e a colocação do poço no campo de Statfjord. *Computação Distribuída*, 313-326. <https://doi.org/10.2118/39329-MS>.
- Dixit, A., Bang, M., Gonzalez, R., Andresen, I., & Stangeland, T. (2023). Novas tecnologias e práticas para permitir operações remotas, aumentando poços horizontais multilaterais longos e enriquecendo a sustentabilidade e eficiência do projeto: um caso real do norte da Europa. *Dia 1 Seg, 02 de outubro de 2023*. <https://doi.org/10.2118/216151-ms>.
- Hayes, J., Mayibeki, D., Dushaishi, M., & Hareland, G. (2023). Análise de sistemas rotativos dirigíveis versus motores de lama convencionais para poços verticais e horizontais na Formação Caney, sudoeste de Oklahoma. *Todos os dias*. <https://doi.org/10.56952/arma-2023-0763>.
- Litvinenko, V., & Dvoynikov, M. (2019). Justificativa da escolha dos parâmetros tecnológicos para perfuração de poços por sistemas rotativos dirigíveis. *Jornal do Instituto de Mineração*. <https://doi.org/10.31897/pmi.2019.1.24>.
- Saltykov, V., Makovsky, Y., & Mansurova, M. (2020). Potencial de desenvolvimento de sistemas dirigíveis rotativos domésticos para perfuração de poços horizontais, 74-80. <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2020-5-74-80>.
- Weijermans, P., Ruzska, J., Jamshidian, H., & Matheson, M. (2001). A perfuração com sistema rotativo dirigível reduz a tortuosidade do poço. *Computação Distribuída*, 194-203. <https://doi.org/10.2118/67715-MS>.
- Moreira, C. A. (2025). Monitoramento digital de equipamentos pesados: avançando na otimização de custos e eficiência operacional. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, 11(2), e77294. <https://doi.org/10.34117/bjdv11n2-011>
- Delci, C. A. M. (2025). A EFICÁCIA DO LAST PLANNER SYSTEM (LPS) NO GERENCIAMENTO DE PROJETOS DE INFRAESTRUTURA. *Revista Sistemática*, 15(2), 133–139. <https://doi.org/10.56238/rcsv15n2-009>
- SANTOS, Hugo; PESSOA, Eliomar Gotardi. Impactos da digitalização na eficiência e qualidade dos serviços públicos: A comprehensive analysis. *LUMENETVIRTUS*, [S.l.], v.15, n.40, p.44094414, 2024. DOI: 10.56238/levv15n40024. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/LEV/article/view/452>. Acesso em: 25 jan. 2025.
- Freitas, G.B., Rabelo, E.M., & Pessoa, E.G. (2023). Projeto modular com reaproveitamento de container marítimo. *Brazilian Journal of Development*, 9(10), 2830328339. <https://doi.org/10.34117/bjdv9n10057>
- Freitas, G.B., Rabelo, E.M., & Pessoa, E.G. (2023). Projeto modular com reaproveitamento de container marítimo. *Brazilian Journal of Development*, 9(10), 2830328339. <https://doi.org/10.34117/bjdv9n10057>



Pessoa, E. G., Feitosa, L. M., e Pádua, V. P., & Pereira, A. G. (2023). Estudos dos recalques primários em um aterro executado sobre argila mole do Sarapuí. *Brazilian Journal of Development*, 9(10), 28352–28375. <https://doi.org/10.34117/bjdv9n10059>

PESSOA, E. G.; FEITOSA, L. M.; PEREIRA, A. G.; EPADUA, V. P. Efeitos de espécies de alna na eficiência de coagulação, Al residual e propriedade dos flocos no tratamento de água superficiais. *Brazilian Journal of Health Review*, [S.l.], v. 6, n. 5, p. 2481424826, 2023. DOI: 10.34119/bjhrv6n5523. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJHR/article/view/63890>. Acesso em: 25 jan. 2025.

SANTOS, Hugo; PESSOA, Eliomar Gotardi. Impactos da digitalização na eficiência e qualidade dos serviços públicos: A comprehensive analysis. *LUMENET VIRTUS*, [S.l.], v. 15, n. 40, p. 44094414, 2024. DOI: 10.56238/levv15n40024. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/LEV/article/view/452>. Acesso em: 25 jan. 2025.

Filho, W. L. R. (2025). O papel da arquitetura Zero Trust na segurança cibernética moderna: integração com IAM e tecnologias emergentes. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, 11(1), e76836. <https://doi.org/10.34117/bjdv11n1-060>

Oliveira, C. E. C. de. (2025). Gentrificação, revitalização urbana e equidade social: desafios e soluções. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, 11(2), e77293. <https://doi.org/10.34117/bjdv11n2-010>

Filho, W. L. R. (2025). O PAPEL DA IA NO APRIMORAMENTO DOS SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE IDENTIDADE E ACESSO. *Sete Revistas Internacionais de Multidisciplinaridade*, 1(2). <https://doi.org/10.56238/isevmjv1n2-011>