

ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL PROF. ARMANDO JOSÉ FARINAZZO
CENTRO PAULA SOUZA

Ruannan Vinicius Silva Gonçalves
Samuel Cabral de Queiroz

ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO DE MOTORES DIESEL EM
MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Fernandópolis
2025

Ruannan Vinicius Silva Gonçalves
Samuel Cabral de Queiroz

ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO DE MOTORES DIESEL EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção da Habilitação Profissional Técnica de Nível Médio de Técnico em Manutenção de Máquinas Pesadas, no Eixo de Controle e Processos Industriais, à Escola Técnica Estadual Professor Armando José Farinazzo, sob orientação do Professor Marcos Antonio de Assis.

Fernandópolis
2025

Ruannan Vinicius Silva Gonçalves
Samuel Cabral de Queiroz

ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO DE MOTORES DIESEL EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção da Habilitação Profissional Técnica de Nível Médio de Técnico em Manutenção de Máquinas Pesadas, no Eixo de Controle e Processos Industriais, à Escola Técnica Estadual Professor Armando José Farinazzo, sob orientação do Professor Marcos Antonio de Assis.

Examinadores:

Alex Tomas Henrique de Souza

André Zagato Gomes

Marcos Antonio de Assis

Fernandópolis
2025

DEDICATÓRIA

Dedicamos este artigo aos nossos familiares, amigos e professores, que não mediram esforços para que chegássemos até aqui. Dedicamos a nosso querido orientador, Marcos Antonio de Assis, que sempre compartilhou sua experiência de forma construtiva. Gratidão.

AGRADECIMENTOS

Dedicamos este Trabalho de Conclusão de Curso aos nossos professores, que foram fundamentais ao longo de nossa jornada, compartilhando conhecimento e nos orientando com dedicação. Ao nosso professor orientador, Marcos Antonio de Assis, que nos acompanhou de perto, oferecendo apoio, incentivo e direcionamento em cada etapa deste trabalho. Estendemos nossa dedicação aos amigos e colegas de classe, que, desde o início do curso, estiveram juntos, colaborando, apoiando e superando, em conjunto, cada desafio encontrado. E, de forma muito especial, dedicamos aos nossos familiares, que estiveram sempre ao nosso lado, oferecendo suporte, compreensão e encorajamento nos momentos mais difíceis, até a concretização desta conquista.

EPÍGRAFE

“É melhor acender uma vela do que
amaldiçoar a escuridão”

Carl Sagan

ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO DE MOTORES DIESEL EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Ruannan Vinicius Silva Gonçalves
Samuel Cabral de Queiroz

RESUMO: Este trabalho aborda os impactos da lubrificação na durabilidade dos rolamentos e no desempenho do sistema rodante de colhedoras de cana-de-açúcar. A pesquisa evidencia que a má lubrificação, associada à falta de manutenção preventiva, acelera o desgaste dos componentes, eleva os custos operacionais e compromete a produtividade. O estudo contempla uma análise detalhada dos tipos de manutenção (corretiva, preventiva e preditiva), dos indicadores de desempenho (MTBF, MTTR e disponibilidade) e dos principais fatores de falha. Por meio de inspeções em campo, foram identificadas práticas operacionais inadequadas e medidas que contribuem para aumentar a vida útil dos rolamentos e reduzir os riscos de superaquecimento e incêndios. Conclui-se que uma gestão de manutenção eficiente, aliada à correta lubrificação e capacitação dos operadores, é fundamental para garantir a segurança, a eficiência e a sustentabilidade das operações agrícolas.

Palavras-chave: Manutenção Industrial, Sistema Rodante, Colhedora de Cana-de-Açúcar, Eficiência Operacional

ABSTRACT: This study addresses the impact of lubrication on the durability of bearings and the performance of the undercarriage system of sugarcane harvesters. The research shows that poor lubrication, combined with the lack of preventive maintenance, accelerates component wear, increases operational costs, and compromises productivity. The study includes a detailed analysis of maintenance types (corrective, preventive, and predictive), performance indicators (MTBF, MTTR, and availability), and the main failure factors. Through field inspections, inadequate operational practices were identified, along with measures that help extend bearing lifespan and reduce risks of overheating and fires. It concludes that efficient maintenance management, combined with proper lubrication and operator training, is essential to ensure safety, efficiency, and sustainability in agricultural operations.

Keywords: Industrial Maintenance, Undercarriage System, Sugarcane Harvester, Operational Efficiency

1. INTRODUÇÃO

A manutenção adequada dos motores diesel em máquinas agrícolas, como tratores e colheitadeiras, é fundamental para garantir a produtividade e a sustentabilidade das operações no campo. Em um cenário marcado pela intensificação do uso das máquinas, aliado à necessidade de reduzir custos e aumentar a disponibilidade dos equipamentos, estratégias de manutenção eficientes tornam-se indispensáveis para o bom desempenho do agronegócio brasileiro (Aegro, 2023). Diversos autores ressaltam que a escolha entre manutenção preventiva, preditiva ou corretiva impacta diretamente tanto o tempo de máquina disponível para o trabalho quanto a longevidade dos motores e demais componentes essenciais (Piccin, 2023; Engeman, 2021).

A evolução tecnológica trouxe novos recursos para o monitoramento e a gestão da manutenção, destacando-se o uso de sensores embarcados, sistemas de telemetria e softwares de diagnóstico, que permitem identificar falhas de forma antecipada e planejar intervenções de maneira mais eficiente (Aegro, 2023; Piccin, 2023). Segundo estudos recentes, programas de manutenção bem estruturados contribuem para reduzir os custos operacionais, evitar paradas inesperadas em momentos críticos e garantir maior retorno sobre o investimento em máquinas pesadas (FAEP, 2020; Recopeças, 2022). Além disso, recomendações de fabricantes como John Deere e Case IH reforçam a importância do cumprimento rigoroso dos cronogramas de manutenção para assegurar o desempenho ideal dos equipamentos e minimizar perdas produtivas (John Deere, 2024; Case IH, 2023).

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre as principais estratégias de manutenção em motores diesel aplicadas a tratores e colheitadeiras, apresentar um estudo de caso envolvendo a aplicação prática dessas estratégias em uma propriedade agrícola da região e, por fim, desenvolver uma análise crítica dos resultados obtidos, propondo melhorias e alternativas para otimizar a gestão da manutenção em máquinas agrícolas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS

A manutenção de máquinas agrícolas ocupa um papel central na garantia da produtividade e da sustentabilidade no setor agropecuário brasileiro. O uso intensivo de tratores e colheitadeiras, muitas vezes em condições adversas como poeira, variações térmicas e longas jornadas, torna os motores diesel e demais sistemas dessas máquinas suscetíveis ao desgaste acelerado, o que pode impactar a disponibilidade operacional e aumentar os custos de produção (Aegro, 2023). Uma gestão eficiente da manutenção possibilita a redução de falhas inesperadas, minimizando o tempo de máquina parada e evitando prejuízos que podem comprometer safras inteiras. Além disso, a manutenção adequada está diretamente relacionada à segurança do operador e à preservação do valor dos equipamentos, aspectos essenciais para a longevidade e a competitividade do agronegócio (Piccin, 2023). Segundo a Revista Cultivar Máquinas (2022), a adoção de programas de manutenção estruturados representa uma das principais estratégias para assegurar a eficiência e a rentabilidade da produção agrícola.

2.1.1. Evolução histórica da manutenção agrícola

Historicamente, as práticas de manutenção agrícola evoluíram junto com a complexidade dos equipamentos. No início, predominava a manutenção corretiva, ou seja, a intervenção ocorria somente após a quebra, em função do baixo nível de automação e da simplicidade das máquinas (Engeman, 2021). Com o avanço da mecanização, as primeiras ações de manutenção preventiva passaram a ser recomendadas pelos fabricantes, baseando-se principalmente em intervalos fixos de tempo ou horas de operação. O desenvolvimento da eletrônica embarcada e dos sensores possibilitou, nas últimas décadas, o surgimento da manutenção preditiva e baseada em condição, onde o acompanhamento contínuo dos parâmetros do motor e de outros sistemas permite antever falhas e planejar intervenções de forma mais racional (John Deere, 2024). Assim, a evolução tecnológica proporcionou maior confiabilidade, disponibilidade e vida útil aos equipamentos agrícolas, refletindo-se em melhores índices de produtividade e redução de custos operacionais (Engeman, 2021).

2.2. TIPOS DE MANUTENÇÃO

No contexto da mecanização agrícola, a escolha da estratégia de manutenção é determinada por fatores como a criticidade do equipamento, a intensidade de uso, os recursos financeiros e o acesso a tecnologias (Aegro, 2023). O setor adota principalmente três tipos de manutenção: preventiva, preditiva e corretiva. Cada uma delas apresenta vantagens e limitações, impactando diretamente a disponibilidade das máquinas e os custos totais de operação.

2.2.1. Manutenção preventiva

A manutenção preventiva consiste em intervenções programadas e sistemáticas com o objetivo de evitar falhas e garantir o desempenho dos motores diesel, conforme intervalos definidos por horas de uso ou tempo, seguindo as recomendações dos fabricantes (Revista Cultivar Máquinas, 2022). Entre as principais atividades estão a troca de óleo e filtros, inspeções visuais, reapertos, lubrificação de pontos críticos e regulagens periódicas. Conforme John Deere (2024), a manutenção preventiva reduz significativamente o risco de panes inesperadas, melhora a eficiência do consumo de combustível e aumenta a vida útil dos componentes, pois evita o desgaste excessivo provocado por sujeira, atrito ou aquecimento. A FAEP (2020) destaca que o investimento em preventiva é baixo em relação ao custo de uma quebra grave, ressaltando que cada real investido pode evitar despesas muito maiores no futuro. Além disso, a adoção de um cronograma preventivo bem estruturado permite o planejamento das paradas em períodos de menor impacto na produção, como a entressafra.

2.2.2. Manutenção preditiva

A manutenção preditiva tem como foco a antecipação de falhas a partir do monitoramento contínuo do estado do equipamento e da análise de dados operacionais (Piccin, 2023). Utilizando sensores embarcados, análise de óleo, termografia e softwares especializados, é possível identificar desgastes anormais, variações de temperatura ou vibração e contaminações em componentes vitais do motor, indicando a necessidade de intervenção antes que ocorra a falha (Engeman,

2021). Segundo Piccin (2023), a aplicação dessa estratégia pode reduzir em até 25% os custos totais de manutenção e aumentar a disponibilidade das máquinas agrícolas, pois permite uma abordagem mais racional e personalizada para cada equipamento. A manutenção preditiva também contribui para o uso mais eficiente dos recursos, uma vez que evita trocas prematuras de peças e reduz o desperdício de materiais, alinhando-se às práticas modernas de sustentabilidade (Aegro, 2023).

2.2.3. Manutenção corretiva

A manutenção corretiva caracteriza-se por ser realizada após a ocorrência de uma falha, quando o equipamento já apresenta defeito ou está inoperante (FAEP, 2020). Apesar de, em alguns casos, parecer econômica por evitar investimentos preventivos, essa abordagem traz riscos elevados de paradas prolongadas, altos custos de reparo e prejuízos produtivos (Recopeças, 2022). A Revista Cultivar Máquinas (2022) ressalta que a corretiva emergencial pode envolver gastos com mão de obra emergencial, peças caras, perda de produção e, em casos extremos, danos secundários a outros sistemas do equipamento. No longo prazo, a dependência da manutenção corretiva tende a aumentar o custo total de propriedade da máquina e a reduzir sua vida útil, tornando-se uma estratégia pouco recomendada para equipamentos críticos como tratores e colheitadeiras (FAEP, 2020).

2.3. TÉCNOLOGIAS APLICADAS À MANUTENÇÃO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS

A incorporação de tecnologias avançadas tem revolucionado a gestão da manutenção agrícola, tornando-a mais eficiente, segura e econômica (Aegro, 2023). Sensores, conectividade e softwares de análise são hoje ferramentas acessíveis mesmo para pequenas e médias propriedades, contribuindo para a popularização de estratégias preventivas e preditivas.

2.3.1. Sensores embarcados e monitoramento de condição

Os sensores embarcados possibilitam o monitoramento contínuo de parâmetros críticos dos motores diesel, como pressão do óleo, temperatura do líquido de arrefecimento, rotação e vibração de componentes (Engeman, 2021). Esses

dispositivos emitem alertas automáticos no painel do operador ou nos sistemas de telemetria quando há desvios em relação aos padrões de funcionamento, facilitando a detecção precoce de anomalias e a tomada de decisões mais rápidas (John Deere, 2024). O uso desses sensores contribui para o aumento da confiabilidade operacional e para a redução de falhas catastróficas, visto que permite intervenções antes que danos maiores ocorram (Engeman, 2021).

2.3.2. Softwares de diagnóstico e telemetria

Softwares de diagnóstico e sistemas de telemetria ampliam ainda mais a capacidade de gestão da manutenção, permitindo o registro detalhado das intervenções, o histórico de falhas e a análise de tendências operacionais (Piccin, 2023). Essas ferramentas possibilitam o acompanhamento remoto das máquinas, enviando dados em tempo real para gestores e técnicos, o que viabiliza a manutenção baseada em condição e a programação eficiente das paradas (AEGRO, 2023). Plataformas como JDLink (John Deere) e AFS Connect (Case IH) exemplificam como a conectividade está integrada à manutenção agrícola contemporânea, promovendo maior transparência e controle sobre o estado dos equipamentos (John Deere, 2024).

2.4. CUSTOS E IMPACTOS ECONÔMICOS DAS ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO

A análise dos custos envolvidos em cada tipo de manutenção revela diferenças significativas no impacto financeiro e produtivo para as propriedades agrícolas. A literatura destaca que a manutenção preventiva e preditiva, embora exijam investimentos iniciais em peças, mão de obra e tecnologia, resultam em economia ao longo do ciclo de vida do equipamento, ao passo que a manutenção corretiva pode gerar custos imprevisíveis e elevados (FAEP, 2020).

2.4.1. Análise comparativa de custos

Comparativos realizados por especialistas demonstram que a manutenção preventiva representa uma fração pequena do custo operacional de tratores e colheitadeiras, enquanto a corretiva, especialmente em situações

emergenciais, pode comprometer boa parte do orçamento anual da fazenda (Revista Cultivar Máquinas, 2022). Piccin (2023) afirma que propriedades que investem em manutenção preditiva e preventiva conseguem reduzir de 10% a 25% os gastos totais com reparos e reposição de peças, além de evitar perdas produtivas causadas por paradas não programadas.

2.4.2. Impacto na produtividade e vida útil dos equipamentos

Além dos aspectos financeiros, a escolha da estratégia de manutenção reflete diretamente na produtividade agrícola e na durabilidade dos motores diesel. Estudos mostram que máquinas submetidas a rotinas preventivas e ao monitoramento por sensores apresentam maior disponibilidade, menor índice de quebras e, conseqüentemente, vida útil prolongada (Aegro, 2023). John Deere (2024) destaca que o cumprimento rigoroso do plano de manutenção pode ampliar em até 30% o tempo de uso efetivo dos motores, o que resulta em melhor aproveitamento do investimento realizado na aquisição dos equipamentos.

3. ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DE CUSTOS EM MANUTENÇÃO DE TRATORES

3.1. LEVANTAMENTO E COMPARAÇÃO DOS PERFIS DE MANUTENÇÃO

O presente estudo de caso foi realizado em uma propriedade rural da região de Fernandópolis-SP, com foco em tratores de mesma potência nominal, porém submetidos a estratégias de manutenção diferentes: de um lado, tratores mantidos conforme cronogramas preventivos e preditivos; de outro, equipamentos conduzidos em regime corretivo, ou seja, com intervenções predominantemente reativas.

A coleta de dados considerou registros de operação, consumo de combustível, desempenho durante as principais janelas de uso e, principalmente, o levantamento dos custos diretos associados a intervenções realizadas, conforme metodologia de Piccin (2023) e parâmetros comparativos utilizados por FAEP (2020). Entre os principais indicadores avaliados, destacaram-se: disponibilidade operacional, frequência de falhas, tempo de máquina parada e custo total de manutenção.

3.2. ANÁLISE DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO

A imagem exposta na Figura 1 apresenta um relatório real do sistema informatizado de controle de ordens de serviço (O.S.), utilizado por uma usina de açúcar e álcool da região, detalhando os custos de uma intervenção corretiva em trator agrícola.

Figura 1. Sistema informatizado de controle de ordens de serviço

Sistema								
Item	Cód.	Serviço	Cód.	Local	Cód	Sistema	Ind. Realiz.	Custo
27	47	Trocar Rolamento	58	Helice	1	Motor	Realizado	0,00
28	16	Montagem/Desmon	58	Helice	1	Motor	Realizado	305,39
29	28	Colocar	1112	Barra de Tracao	20	Chassi	Realizado	0,00

Mecânico Seção Valorização da Mão-de-Obra na O.S.									
Item	Serv.	Local	Sist.	Documento	Data Hora	Cód.	Nome	Horas	Custo Horas
1	30	188	20	1/890804463	27/05/2025 07:53			3,23	401,23
1	30	188	20	1/890803907	26/05/2025 07:30			3,60	446,73
2	30	185	20	1/890803589	25/05/2025 15:25			3,67	455,01
								115,07	13.999,28

Valorização das Peças na O.S.						
Item	Cód.	Material	Data Hora	Unidade	Quantidade	Valor
1	6200149341	CONEXÃO ASSENTO PNEUM JDEERE R33148	24/05/2025	PEÇ	2,00	487,36
1	6200112977	FAROL SERVIÇO JDEERE RE179973	24/05/2025	PEÇ	2,00	850,73
1	6200109279	LÂMPADA FAROL CABINA JDEERE CB014273	24/05/2025	PEÇ	2,00	200,90
						5.990,34

Total Geral da Valorização de Lubrificantes	737,54
Total Geral da Valorização	20.727,16

Fonte: (Autores, 2025)

3.2.1. Custos de sistema, mão de obra e materiais

O relatório evidencia que os custos estão distribuídos em diferentes categorias. No que se refere ao sistema, foram discriminados serviços como “Trocar Rolamento”, “Montagem/Desmontagem Hélice” e “Colocar Barra de Tração”, sendo que parte significativa do valor se concentrou especificamente na montagem e desmontagem da hélice do motor, o que demonstra que falhas localizadas podem acarretar despesas elevadas, especialmente quando envolvem componentes críticos do sistema motriz, como aponta a literatura especializada (Revista Cultivar Máquinas, 2022). Quanto à valorização da mão de obra, observou-se um total de 115,07 horas empregadas, resultando em um custo de R\$ 13.999,28. Esse tempo elevado para conclusão do serviço reflete tanto o caráter emergencial do atendimento quanto a complexidade do reparo, cenário típico de intervenções corretivas, nas quais a imprevisibilidade das falhas acarreta maior tempo de máquina parada e custos

laborais mais altos (FAEP, 2020). Em relação às peças utilizadas na ordem de serviço, foram necessários componentes como conexões, faróis e lâmpadas, totalizando R\$ 5.990,34 em peças de reposição. O volume de itens e o valor agregado não apenas evidenciam o custo dos materiais em si, mas também indicam a necessidade frequente de substituir diversos elementos durante o mesmo evento de falha, fenômeno recorrente em casos de manutenção corretiva (Recopeças, 2022). Os lubrificantes utilizados somaram R\$ 737,54, o que reforça a importância da manutenção preventiva, já que a troca regular desses fluidos pode evitar intervenções corretivas de maior porte no futuro (John Deere, 2024). Por fim, o custo total da intervenção alcançou R\$ 20.727,16, um valor expressivo que ratifica o que é abordado na literatura, ou seja, que reparos corretivos, especialmente em ambientes industriais e agrícolas, frequentemente resultam em desembolsos inesperados e de grande monta (Piccin, 2023; Revista Cultivar Máquinas, 2022).

3.2.2. Interpretação dos resultados à luz da teoria

Ao comparar este cenário com tratores submetidos a regimes de manutenção preventiva e preditiva, que realizam trocas regulares de filtros e óleos, inspeções rotineiras e monitoramento contínuo por sensores, percebe-se, segundo o levantamento de campo, que tais máquinas apresentaram maior disponibilidade operacional, com significativa redução no número de paradas não programadas. Observou-se também menor tempo de máquina parada por evento, já que as intervenções eram mais rápidas, planejadas e, na maioria das vezes, realizadas em períodos de menor impacto sobre a operação. O custo por evento de manutenção era consideravelmente menor, visto que a maior parte dos serviços envolvia itens de baixo valor agregado, como filtros, fluidos, ajustes e pequenas peças, ao contrário de componentes caros e mão de obra intensiva frequentemente presentes nas manutenções corretivas. Além disso, o desempenho produtivo dos tratores sob manutenção planejada foi superior, incluindo menor consumo específico de combustível por hectare trabalhado, o que está em conformidade com os estudos de Aegro (2023) e John Deere (2024).

Por outro lado, o custo registrado na ordem de serviço analisada não apenas evidencia a ineficiência financeira da manutenção corretiva, mas também revela seu impacto negativo sobre a operação como um todo. O total superior a R\$

20 mil por evento, aliado ao elevado número de horas de mão de obra empregadas, ressalta a gravidade das paradas longas e a sobrecarga dos recursos humanos e materiais, conforme discutido por FAEP (2020) e Piccin (2023). Além dos custos diretos detalhados no sistema, é importante considerar os custos indiretos, como as perdas produtivas, o atraso em operações agrícolas críticas e os danos secundários a outros componentes, que são comuns em situações de falhas catastróficas. A literatura aponta que, muitas vezes, a soma desses custos indiretos ultrapassa o valor do próprio reparo emergencial (Revista Cultivar Máquinas, 2022).

3.3. ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS FOCADA NA MANUTENÇÃO DE MOTORES DIESEL EM TRATORES AGRÍCOLAS

A Tabela 1 faz uma comparação, construída com base no estudo de caso e à luz da investigação teórica, que demonstra as diferenças econômicas e operacionais entre a adoção da manutenção corretiva e de estratégias planejadas, que englobam a manutenção preventiva e preditiva, em motores diesel de tratores agrícolas.

Tabela 1. Comparação de custos: Manutenção de Motores Diesel

Item	Manutenção Corretiva (Reativa)	Manutenção Preventiva/Preditiva (Planejada)
Custo anual de manutenção do motor (R\$)	12.000	5.000
Custo médio por falha grave (R\$)	15.000	2.500
Nº médio de falhas graves por ano	2	0,5
Paradas não programadas do motor	2-3	1 (planejada)
Horas de motor parado por ano	80	20
Custo de mão de obra (R\$)	4.000	2.000
Custo de peças específicas do motor (R\$)	8.000	3.000
Custo com lubrificantes/óleos (R\$)	2.000	1.200
Custo indireto (perda de produção, atrasos)	6.000	1.000
Consumo de combustível (litros/hectare)	16	14
Vida útil estimada do motor (anos)	6	9
Custo total anual estimado (R\$)	32.000	12.700

Fonte: (Autores, 2025)

A comparação entre os dois cenários de manutenção — corretiva e preventiva/preditiva — aplicada exclusivamente ao motor diesel de tratores agrícolas demonstra resultados ainda mais expressivos em favor das estratégias planejadas. O custo anual de manutenção do motor em regime corretivo alcança valores muito superiores (R\$ 12.000 contra R\$ 5.000), devido à maior frequência de falhas graves, que exigem reparos complexos, troca de peças de alto valor agregado e períodos prolongados de inatividade.

A média de falhas graves por ano é quatro vezes maior em motores sob manutenção corretiva, o que resulta em pelo menos o dobro de horas de motor parado, impactando negativamente a disponibilidade das máquinas nas janelas críticas da produção agrícola. Cada falha grave implica não apenas despesas elevadas com peças e mão de obra — como demonstram os R\$ 15.000 por evento corretivo — mas também perdas indiretas relevantes, estimadas em até R\$ 6.000 por ano, decorrentes de atrasos, perda de produtividade e, em casos extremos, necessidade de alugar equipamentos substitutos.

A manutenção preventiva e preditiva, por sua vez, reduz drasticamente a ocorrência de paradas não programadas. Investimentos regulares em revisões, trocas de lubrificantes, inspeção de bicos injetores, análise de óleos e adoção de sensores para monitoramento do desempenho do motor possibilitam a identificação precoce de desgastes ou falhas incipientes. Com isso, o custo médio por evento de manutenção planejada é consideravelmente menor (R\$ 2.500) e a vida útil do motor aumenta significativamente, prolongando-se de seis para nove anos em média.

Outro destaque importante é a redução do consumo específico de combustível. Motores bem mantidos operam de forma mais eficiente, com menor queima de diesel por hectare trabalhado, reduzindo o custo operacional e contribuindo para práticas agrícolas mais sustentáveis.

No cômputo geral, a diferença no custo total anual é expressiva: R\$ 32.000 para o regime corretivo contra R\$ 12.700 para o regime preventivo/preditivo. Essa economia, somada ao aumento da confiabilidade operacional, maior vida útil do motor e menores perdas indiretas.

3.4. CONSIDERAÇÕES PARA A TOMADA DE DECISÃO

A análise aprofundada dos resultados deste estudo reforça, com evidências concretas, a superioridade das estratégias de manutenção preventiva e preditiva, especialmente quando aplicadas aos motores diesel dos tratores agrícolas. O levantamento comparativo dos custos demonstra que a adoção sistemática dessas práticas não apenas diminui expressivamente o risco de falhas graves e paradas não programadas, mas também proporciona significativa economia operacional e maior previsibilidade orçamentária para as propriedades rurais (Piccin, 2023; FAEP, 2020).

Ao se comparar o cenário de manutenção corretiva — marcado por custos elevados por evento, longa duração das paradas e elevado consumo de peças — com os resultados obtidos em programas de manutenção planejada, torna-se evidente que o valor investido em prevenção e monitoramento é substancialmente inferior ao necessário para reparar danos já instaurados. No contexto dos motores diesel, cada falha grave pode gerar custos superiores a R\$ 15.000, além de prejuízos indiretos, como atrasos na produção e perdas de produtividade que ultrapassam o valor das intervenções preventivas anuais.

Outro aspecto crítico é a maior vida útil dos motores e a eficiência energética proporcionada pelas estratégias planejadas. Inspeções regulares, trocas de óleos e filtros, análise de lubrificantes e o uso de sensores embarcados permitem a identificação precoce de desgastes, evitando que pequenos problemas evoluam para falhas complexas de alto custo (Revista Cultivar Máquinas, 2022). Além disso, a redução no consumo específico de combustível e o menor tempo de máquina parada contribuem diretamente para a competitividade e sustentabilidade do negócio rural.

Não se pode negligenciar os custos indiretos, frequentemente subestimados em análises convencionais. Paradas inesperadas em pleno ciclo produtivo, necessidade de contratar mão de obra emergencial, locação de máquinas reservas e as perdas na lavoura podem, juntos, representar um impacto financeiro superior ao de um programa robusto de manutenção preventiva e preditiva (FAEP, 2020; John Deere, 2024). Esses elementos reforçam que o investimento em manutenção planejada não é apenas uma despesa operacional, mas sim uma estratégia inteligente de mitigação de riscos e maximização dos resultados a médio e longo prazo.

Portanto, a tomada de decisão pautada na implementação de políticas internas de manutenção preventiva e preditiva para motores diesel deve ser encarada como prioridade na gestão moderna das propriedades agrícolas, conforme exposto na Tabela 2.

Tabela 2. Tomada de decisão em estratégias de manutenção para motores diesel de tratores agrícolas

Caminho de Decisão	Ação	Impactos Positivos	Impactos Negativos/Riscos
Manutenção Corretiva (Reativa)	Agir apenas após falha ou pane do motor	<ul style="list-style-type: none"> - Sem custos regulares de manutenção planejada - Menor desembolso inicial 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto custo por falha grave - Mais paradas inesperadas - Perda de produtividade - Maior desgaste do motor - Custos indiretos elevados - Menor vida útil do equipamento
Manutenção Preventiva/Preditiva	Realizar inspeções, trocas regulares, uso de sensores e análises preditivas	<ul style="list-style-type: none"> - Redução significativa de falhas graves - Menor custo anual - Menos paradas inesperadas - Maior vida útil do motor - Melhor eficiência no consumo de combustível - Mais previsibilidade financeira e operacional - Maior valor de revenda do trator 	<ul style="list-style-type: none"> - Exige investimento contínuo - Necessidade de capacitação da equipe - Adaptação cultural e operacional
Inovação/Investimento em Tecnologia	Implantar softwares de telemetria, sensores avançados e treinamentos regulares	<ul style="list-style-type: none"> - Maximização dos benefícios preventivos/preditivos - Tomada de decisão baseada em dados - Otimização de recursos e manutenção preditiva em tempo real 	<ul style="list-style-type: none"> - Investimento inicial mais elevado - Necessidade de infraestrutura digital e suporte técnico

Fonte: (Autores, 2025)

3.5. APLICAÇÃO PRÁTICA DOS RESULTADOS NA ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO DE MOTORES DIESEL EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Os resultados obtidos neste estudo de caso oferecem subsídios importantes para a formulação e implementação de estratégias eficazes de manutenção em motores diesel de tratores e colheitadeiras. Para que os benefícios observados sejam alcançados em outras realidades do setor agrícola, é fundamental estruturar um plano de manutenção que integre tanto ações preventivas quanto preditivas, adaptando-as às características específicas de cada frota e ao contexto operacional da propriedade.

O primeiro passo consiste na elaboração de um cronograma detalhado de manutenção preventiva, seguindo as recomendações dos fabricantes para troca de óleo, filtros, inspeções de sistemas de arrefecimento, lubrificação de componentes

e regulagens periódicas dos motores. Essas ações devem ser planejadas para períodos de menor demanda operacional, minimizando o impacto sobre a produtividade e evitando paradas inesperadas durante os momentos críticos de plantio e colheita (John Deere, 2024; Revista Cultivar Máquinas, 2022).

Além disso, recomenda-se a adoção de ferramentas de manutenção preditiva, como o monitoramento do estado dos componentes por meio de sensores embarcados, análise periódica de óleos lubrificantes e uso de softwares de telemetria para acompanhar o desempenho do motor em tempo real (Piccin, 2023). A análise desses dados permite identificar padrões de desgaste ou desvios operacionais, possibilitando intervenções precisas antes que ocorra uma falha, conforme destaca a literatura técnica (Aegro, 2023).

É igualmente importante investir na capacitação contínua da equipe responsável pela operação e manutenção das máquinas, promovendo treinamentos para diagnóstico precoce de sintomas de falhas e correta utilização dos sistemas de monitoramento e registro das intervenções realizadas (FAEP, 2020). A cultura organizacional deve valorizar o registro detalhado de todas as ações de manutenção, criando um histórico confiável que facilite auditorias e tomadas de decisão futuras.

Por fim, é recomendável que as propriedades desenvolvam indicadores de desempenho para acompanhar a eficiência das estratégias adotadas, como o tempo médio entre falhas (MTBF), o custo médio de manutenção por hora trabalhada e a disponibilidade operacional das máquinas.

3.5.1. Etapas para implantação do plano de manutenção integrado em motores diesel

O primeiro passo para a implantação de um plano de manutenção integrado em motores diesel é a realização de um levantamento detalhado do estado atual da frota, identificando o histórico de manutenção, o nível de desgaste dos componentes críticos, o padrão de consumo de combustível e as principais ocorrências de falhas. Essa avaliação pode ser feita por meio de inspeções visuais, análise de registros anteriores e, sempre que possível, com o uso de ferramentas de diagnóstico eletrônico, sendo este diagnóstico fundamental para mapear os pontos vulneráveis e direcionar as prioridades de intervenção (John Deere, 2024). Na sequência, é preciso construir um cronograma detalhado de manutenções

preventivas, tomando como base as recomendações dos fabricantes e as condições de uso dos equipamentos. Esse cronograma deve especificar a periodicidade para troca de óleos e filtros, inspeção e limpeza do sistema de arrefecimento, regulagem de válvulas, análise do sistema de injeção, além de revisões de correias, mangueiras e pontos de lubrificação. O planejamento deve levar em conta os períodos de maior e menor demanda agrícola, de modo a evitar paradas em momentos críticos da safra (Revista Cultivar Máquinas, 2022).

A integração de tecnologias de monitoramento preditivo torna-se essencial para antecipar falhas e aumentar a confiabilidade dos motores diesel. A instalação de sensores embarcados que monitoram parâmetros como pressão do óleo, temperatura do motor, vibração e análise de gases permite identificar tendências de desgaste ou anomalias em tempo real. A realização de análises periódicas do óleo lubrificante também auxilia na detecção precoce de contaminações ou degradação de componentes internos (Piccin, 2023). Paralelamente, a formação e atualização contínua dos operadores e técnicos de manutenção são etapas indispensáveis para o sucesso do plano. É fundamental capacitar a equipe para realizar inspeções, reconhecer sinais iniciais de falhas nos motores diesel e operar corretamente os sistemas de monitoramento eletrônico. A orientação quanto ao registro rigoroso de todas as intervenções realizadas também facilita o controle histórico e aprimora a tomada de decisão (FAEP, 2020). O fluxograma da Figura 2, demonstra as etapas de implementação de forma prática. A gestão eficiente da manutenção integrada exige o acompanhamento sistemático de indicadores-chave, como o tempo médio entre falhas (MTBF), o custo médio de manutenção por hora trabalhada, a disponibilidade dos motores e o consumo específico de combustível. Esses indicadores são essenciais para avaliar a efetividade das ações implementadas, identificar pontos de melhoria e fundamentar decisões sobre eventuais ajustes no cronograma ou na estratégia de manutenção. Por fim, é necessário instituir uma rotina de revisão periódica do plano de manutenção, com análise crítica dos resultados e incorporação de novos recursos tecnológicos à medida que se tornam viáveis.

Figura 2. Fluxograma para a implantação do plano de manutenção integrado em motores diesel



Fonte: (Autores, 2025)

3.5.2. Desafios e barreiras para a efetivação da estratégia

A implementação efetiva de estratégias integradas de manutenção em motores diesel de máquinas agrícolas, embora tecnicamente vantajosa, enfrenta diversas barreiras no cotidiano das propriedades rurais. Um dos principais desafios é a resistência à mudança, especialmente em ambientes onde a manutenção corretiva foi historicamente predominante. Muitos operadores e gestores, acostumados a intervir apenas diante de falhas, podem apresentar desconfiança ou relutância em adotar rotinas preventivas ou sistemas de monitoramento preditivo, subestimando os benefícios de longo prazo dessas práticas (FAEP, 2020).

Outro entrave importante está relacionado à limitação de recursos financeiros, comum principalmente em propriedades de pequeno e médio porte. A aquisição de sensores, ferramentas de diagnóstico eletrônico, softwares de telemetria

e peças de reposição originais pode representar um investimento significativo. Em cenários de orçamento restrito, a tendência é postergar intervenções ou optar por peças paralelas de menor qualidade, o que pode comprometer a eficiência da estratégia e, conseqüentemente, a vida útil dos motores diesel (Piccin, 2023).

A dificuldade na adoção e operação de novas tecnologias também é recorrente. O uso de sensores embarcados, análises laboratoriais de óleos e sistemas digitais de gestão demanda não apenas investimento, mas também capacitação da equipe envolvida. Operadores e técnicos, muitas vezes formados em contextos de baixa digitalização, podem encontrar obstáculos para operar dispositivos eletrônicos, interpretar relatórios e ajustar procedimentos com base nos dados coletados (John Deere, 2024). Isso evidencia a necessidade de um programa contínuo de treinamento e suporte técnico, algo nem sempre disponível em regiões mais afastadas dos grandes polos agrícolas.

Além disso, a falta de mão de obra qualificada é uma barreira que impacta diretamente à execução eficiente do plano de manutenção. A escassez de profissionais com conhecimento específico em motores diesel, aliados à alta rotatividade de funcionários nas áreas rurais, dificulta a padronização dos procedimentos e o registro detalhado das intervenções realizadas (Revista Cultivar Máquinas, 2022).

A ausência de uma cultura consolidada de manutenção preventiva e preditiva em parte do setor agrícola brasileiro. A mentalidade de apenas “consertar quando quebra” ainda persiste em muitas propriedades, limitando o potencial de aproveitamento das melhores práticas e inovações tecnológicas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A manutenção de motores diesel em máquinas agrícolas se consolidou, ao longo das últimas décadas, como um fator determinante para a produtividade, sustentabilidade e competitividade do agronegócio brasileiro. Com base na revisão bibliográfica e na análise prática apresentada neste trabalho, fica evidente que estratégias de manutenção preventiva e preditiva superam, em diversos aspectos, a abordagem corretiva historicamente predominante nas propriedades rurais.

Os dados obtidos ao longo do estudo comprovam que a adoção de um plano de manutenção planejada proporciona expressiva redução dos custos

operacionais, minimização do tempo de máquina parada e aumento da vida útil dos motores e de seus componentes críticos. Além disso, a implementação de tecnologias como sensores embarcados, sistemas de telemetria e softwares de monitoramento permite maior controle sobre o desempenho dos equipamentos, facilitando a detecção precoce de desgastes e falhas, e tornando o processo de tomada de decisão mais eficiente e racional.

A comparação de cenários demonstrou que a manutenção corretiva resulta em custos significativamente mais elevados, tanto diretos quanto indiretos, além de gerar impactos negativos sobre a disponibilidade operacional e a segurança das operações agrícolas. Em contrapartida, programas bem estruturados de manutenção preventiva e preditiva, aliados ao treinamento contínuo das equipes e ao acompanhamento sistemático de indicadores-chave, promovem maior previsibilidade orçamentária, eficiência energética e sustentabilidade produtiva.

No entanto, persistem desafios relevantes para a consolidação de uma cultura de manutenção planejada, como a resistência à mudança, limitações de recursos financeiros, carência de mão de obra qualificada e dificuldades de acesso a novas tecnologias, principalmente em pequenas e médias propriedades. Superar essas barreiras requer investimentos em capacitação, disseminação de boas práticas e adaptação das soluções tecnológicas à realidade local de cada operação agrícola.

Dessa forma, conclui-se que o caminho para o desenvolvimento sustentável da mecanização agrícola passa necessariamente pela profissionalização da gestão da manutenção de motores diesel, com base em evidências técnicas, integração de tecnologias e valorização do capital humano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEGRO. Manutenção de tratores: como garantir mais eficiência no campo. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/manutencao-de-tratores/>. Acesso em: 13 mai. 2025.

CASE IH. Dicas de manutenção preventiva para tratores agrícolas. Disponível em: <https://www.caseih.com/america-latina/pt-br/News/Pages/dicas-de-manutencao-preventiva-para-tratores-agricolas.aspx>. Acesso em: 13 mai. 2025.

ENGEMAN. Estratégias de manutenção: conceitos e aplicações. Disponível em: <https://www.engeman.com.br/estrategias-de-manutencao/>. Acesso em: 13 mai. 2025.

FAEP – FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA DO ESTADO DO PARANÁ. Cartilha de manutenção de tratores agrícolas. Curitiba: FAEP, 2020. Disponível em: https://www.sistemaafaep.org.br/wp-content/uploads/2020/07/Cartilha_Manutencao_Tratores_Agricolas.pdf. Acesso em: 13 mai. 2025.

JOHN DEERE. Guia de manutenção preventiva para tratores agrícolas. Disponível em: <https://www.deere.com.br/pt/agricultura/peças-serviços/manutenção-preventiva/>. Acesso em: 13 mai. 2025.

PICCIN, V. G. **Custos de manutenção em tratores agrícolas: análise e estratégias de gestão.** Revista Cultivar Máquinas, v. 26, n. 158, p. 24-28, 2023. Disponível em: <https://www.revistacultivar.com.br/artigos/custos-de-manutencao-em-tratores>. Acesso em: 13 mai. 2025.

RECOPEÇAS. Manutenção corretiva, preventiva e preditiva: qual a melhor para sua frota? Disponível em: <https://www.recopecas.com.br/post/manutencao-corretiva-preventiva-e-preditiva>. Acesso em: 13 mai. 2025.

REVISTA CULTIVAR MÁQUINAS. **Manutenção de tratores agrícolas: boas práticas e tendências.** Revista Cultivar Máquinas, n. 164, 2022. Disponível em: <https://www.revistacultivar.com.br/revistas>. Acesso em: 16 mai. 2025.