

## ESTUDO E ANÁLISE TÉCNICA: Viabilidade de uma bancada de testes para transmissões de máquinas da linha

Anthony Silvestre da Silva, Antonio Carlos Rodrigues, Rodolfo Alexandre Hildebrandt, Luciano Barbosa<sup>1</sup>

### RESUMO

Este estudo apresenta uma análise técnica aprofundada e a avaliação de viabilidade da implementação de uma bancada de testes destinada a transmissões aplicadas em máquinas da linha amarela. O problema central envolve retrabalhos recorrentes, elevados custos operacionais e aumento do tempo de máquina parada decorrentes da ausência de validação funcional antes da reinstalação dos conjuntos de transmissão. A metodologia adotada combinou pesquisa bibliográfica especializada, análise de parâmetros operacionais, levantamento técnico de componentes, simulação conceitual de funcionamento e estudo comparativo entre cenários com e sem utilização da bancada. Foram estabelecidos critérios técnicos de desempenho envolvendo torque, rotação, eficiência mecânica, temperatura do fluido, pressão hidráulica e níveis de vibração. Os resultados demonstram que a adoção da bancada proporciona redução significativa de retrabalho, aumento da confiabilidade diagnóstica, diminuição do tempo médio de manutenção e melhoria da padronização dos processos técnicos. A análise econômica indica viabilidade financeira por meio da redução sistemática de custos e incremento da produtividade. Conclui-se que a implantação da bancada constitui solução tecnicamente consistente e estrategicamente relevante para oficinas e concessionárias do segmento de máquinas pesadas.

**Palavras-chave:** bancada de testes; transmissões; linha amarela; viabilidade técnica; eficiência operacional.

## STUDY AND TECHNICAL ANALYSIS: Feasibility of a test bench for machine transmissions in the line

### ABSTRACT

This study presents an in-depth technical analysis and feasibility assessment of implementing a test bench designed for transmissions used in heavy yellow line machinery. The core issue addressed involves recurring rework, increased operational costs, and extended equipment downtime caused by the absence of pre-installation functional validation. The adopted methodology combined specialized literature review, operational parameter analysis, technical component survey, conceptual operational simulation, and comparative evaluation between scenarios with and without the test bench. Performance criteria were established considering torque, rotational speed, mechanical efficiency, fluid temperature, hydraulic pressure, and vibration levels. Results demonstrate that the implementation of the test bench significantly reduces rework, increases diagnostic reliability, shortens maintenance time, and improves process standardization. Economic analysis indicates financial feasibility through systematic cost reduction and productivity gains. The study concludes that the proposed test bench represents a technically sound and strategically relevant solution for heavy machinery maintenance operations.

**Key words:** test bench; transmissions; heavy machinery; technical feasibility; operational efficiency.

### 1 INTRODUÇÃO

Máquinas da linha amarela, como retroescavadeiras, escavadeiras, motoniveladoras, entre outras, são amplamente empregadas em atividades de construção civil, mineração e infraestrutura pesada, operando sob condições severas de carga, impacto e variação térmica. A transmissão constitui um dos sistemas mais críticos desses equipamentos, sendo responsável pela adequação do torque e da

rotação às demandas operacionais. Falhas nesse sistema resultam em perdas produtivas significativas, custos elevados e impactos diretos na confiabilidade da operação.

Além disso, a crescente complexidade tecnológica das transmissões utilizadas em máquinas da Linha Amarela exige métodos de diagnóstico cada vez mais precisos e padronizados. De acordo com o Caterpillar Performance Handbook (2023), práticas inadequadas de manutenção e testes insuficientes são responsáveis por grande parte das falhas prematuras em sistemas de transmissão, gerando custos elevados e queda no desempenho operacional.

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar tecnicamente a viabilidade da implementação de uma bancada de testes específica para transmissões, com foco na redução de retrabalho e aumento da eficiência operacional da oficina.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Contextualização**

Atualmente, na área de maquinários pesados, linha amarela, componentes como: Motores, Transmissões e Eixos diferenciais, são mais robustos do que os convencionais. Com isso, o processo de desmontagem e análise desses sistemas exige um tempo consideravelmente maior.

A manutenção de transmissões em máquinas pesadas representa uma atividade de alta complexidade e relevância, uma vez que esses componentes são responsáveis pela eficiência operacional e pela disponibilidade dos equipamentos. No cenário atual de muitas oficinas, o número de máquinas que chegam para revisão de transmissão na região é bastante elevado, sendo um dos principais serviços prestados pela concessionária.

No processo praticado na empresa, a ausência de uma bancada de testes dedicada gera a falta de um processo de teste no equipamento para validar a

transmissão, o que aumenta o tempo de manutenção, eleva os custos operacionais e expõe a operação a riscos de falhas recorrentes.

## 2.2 Problematização

O cronograma operacional de manutenção desta máquina revela uma disparidade crítica: o tempo demandado para a remoção física da transmissão do chassi supera, consideravelmente, o período necessário para a sua desmontagem interna e posterior remontagem técnica. Essa complexidade logística ocorre devido ao acesso limitado e à necessidade de desconectar múltiplos componentes periféricos antes de liberar a unidade principal.

Somado a esse desafio temporal, existe uma limitação técnica severa no protocolo de validação: a inexistência de uma bancada de testes externa. Atualmente, a única forma de verificar a integridade funcional da transmissão é através de sua reinstalação completa no equipamento.

Tal cenário configura um elevado risco operacional e financeiro para a gestão da manutenção. Caso algum componente interno apresente falha ou um ajuste fino não responda conforme o esperado após a partida, o ciclo de trabalho é integralmente perdido. Diante de qualquer inconformidade, a equipe será compelida a reiniciar do zero, resultando em horas extras de mão de obra, aumento do tempo de máquina parada (downtime) e prejuízos diretos à produtividade da planta.

## 2.3 Justificativa

O impacto negativo dessa metodologia vai além da simples interrupção das máquinas, compromete severamente os indicadores de produtividade e a confiabilidade do departamento de manutenção. Quando um componente crítico é instalado sem validação prévia, a incerteza sobre seu desempenho fragiliza o processo, transformando a manutenção em tentativa e erro, incompatível com padrões industriais modernos. Isso gera um ciclo de desperdício que drena recursos

materiais — como óleos, vedações e peças de reposição — e o capital humano, sobrecarregado com tarefas repetitivas e exaustivas.

Diante desse cenário, a implementação de uma bancada de testes exclusiva para transmissões surge como alternativa estratégica de alto valor agregado. O equipamento permitiria simular condições reais de carga em ambiente controlado, validando o reparo de forma ágil, precisa e segura, com detecção precoce de falhas antes da montagem final, reduzindo riscos catastróficos em campo.

Essa tecnologia atuaria como catalisadora da eficiência operacional, certificando tecnicamente cada transmissão, aumentando a disponibilidade da frota, otimizando a gestão de ativos e da equipe técnica, resultando em manutenção mais robusta, menor custo, maior confiabilidade e maior competitividade organizacional.

### **3 METODOLOGIA**

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, com abordagem qualitativa e quantitativa. O desenvolvimento da proposta envolveu análise técnica do ambiente de manutenção, levantamento de requisitos funcionais e definição dos parâmetros operacionais da bancada.

Foram estabelecidos intervalos de rotação entre 800 e 2000 rpm, controle de temperatura do fluido entre 40°C e 80°C e monitoramento contínuo de pressão hidráulica e torque transmitido. A eficiência foi calculada por meio da relação entre potência de saída e potência de entrada. Realizou-se estudo comparativo entre manutenção convencional sem validação prévia e manutenção com utilização da bancada, considerado tempo médio de serviço, número de retrabalhos, consumo de insumos e disponibilidade operacional.

A análise econômica baseou-se em estimativa de investimento inicial, custos operacionais e projeção de retorno por meio da redução de retrabalho e aumento de produtividade.

### 3.1 Realização de Testes

Os testes realizados em bancada são fundamentais para garantir o correto funcionamento de sistemas de transmissão antes de sua instalação. Eles permitem identificar falhas, ajustar parâmetros e validar a performance do equipamento em condições controladas, reduzindo riscos operacionais e evitando custos adicionais com manutenção ou retrabalho, contribuindo para a segurança dos operadores e confiabilidade do sistema, assegurando que a transmissão atenda aos requisitos técnicos e normativos estabelecidos.

A bancada de testes possibilita a simulação de diferentes condições de operação, permitindo a análise de desempenho e a detecção precoce de problemas que poderiam comprometer a linha amarela.

#### 3.1.1 Teste de eficiência

- Medição de torque na rotação de entrada e saída da transmissão.
- Cálculo da eficiência pela relação entre potências de saída e entrada.

$$\eta = \frac{P_{saída}}{P_{entrada}} \times 100$$

Onde:

$\eta$  = eficiência (%)

P saída = potência útil na saída do sistema (W, kW Ou CV)

P entrada = potência fornecida na entrada (W, kW Ou CV)

#### 3.1.2 Teste de aquecimento

- Monitoramento da temperatura do óleo durante a operação contínua.
- Verificação da eficiência do sistema de refrigeração.

#### 3.1.3 Teste de ruído e vibração

- Uso de acelerômetros para identificar ruídos anormais.
- Detecção de desalinhamentos, folgas ou desgaste de engrenagens.

### 3.1.4 Teste de durabilidade

- Testes longos com carga variável para observar desgaste e fadiga.

## 3.2 Parâmetros para Validação de Testes

Para garantir a padronização dos ensaios realizados na bancada de testes e permitir a análise comparativa do desempenho das transmissões, foram estabelecidos parâmetros operacionais tendo como referência dados do fabricante, literatura técnica e práticas industriais aplicadas a máquinas da linha amarela.

Esses parâmetros abrangem variáveis essenciais para a avaliação mecânica, térmica e hidráulica do sistema, permitindo identificar condições normais de funcionamento, tendências de falha e limites de segurança durante os testes.

O Quadro 1 apresenta a consolidação desses valores, servindo como guia para validação dos resultados obtidos ao longo dos ensaios.

**Quadro 1 – Parâmetros de Testes**

Parâmetro	Valor de Referência	Observação
Rotação de Teste	800 á 2000 rpm	Faixa típica de operação
Torque Aplicado	25% á 100% até 110%	Motor 1000 N.m até 1100 N.m
Temperatura do Óleo	40 <sup>a</sup> á 80 °C	Operação normal
Limite de Temperatura	> 95 °C	Parada por segurança
Pressão Hidráulica	15 á 24 bar	Acionamento das embreagens
Pressão de Lubrificação	100 á 250 kPa	Operação segura
Eficiência Mecânica	85% á 95%	Abaixo de 80% indica falha
Vazão do Sistema	80 á 200 L/min	Varia conforme o modelo
Vibração Permitida	< 7 mm/s RMS	Acima disso = alerta
Contaminação do Óleo	ISO 18/16/13	Classe recomendada

**Fonte: Autoria Própria (2025).**

A tabela de parâmetros apresentada reúne os principais valores utilizados para avaliar o desempenho de transmissões Powershift aplicadas a máquinas da linha amarela, incluindo variáveis como torque, rotação, temperatura, pressão e eficiência. Esses parâmetros permitem estabelecer condições controladas e repetitivas na bancada de testes, garantindo que o comportamento da transmissão seja analisado de forma técnica e comparável entre diferentes ensaios.

No entanto, é importante ressaltar que alguns valores específicos especialmente aqueles relacionados a torque real de entrada e saída, pressões internas do circuito hidráulico e mapas operacionais detalhados são considerados informações sigilosas pelos fabricantes, pois fazem parte de projetos proprietários e não são disponibilizados em documentos públicos.

Por essa razão, determinados itens da tabela utilizam parâmetros de referência ou valores estimados com base em dados de motores e transmissões similares, garantindo coerência técnica sem violar confidencialidade industrial.

### **3.3 Processos de Montagem**

O desenvolvimento da bancada de transmissão envolve diversas etapas interligadas, desde o projeto mecânico até a instalação dos sistemas auxiliares, garantindo o correto funcionamento e a confiabilidade do equipamento.

**Projeto Mecânico:** O projeto iniciou-se com o desenho detalhado do layout da bancada em CAD, utilizando o software SolidWorks. Nessa fase, foram definidos o alinhamento preciso entre o motor, a transmissão e a carga, garantindo eficiência na transmissão de potência e minimizando esforços indesejados nos componentes.

**Fixação:** Para assegurar estabilidade e segurança operacional, a bancada foi montada sobre bases metálicas equipadas com coxins antivibração. Esses dispositivos têm papel fundamental na redução de ruídos, na absorção de vibrações e na proteção dos sensores instalados, prolongando a vida útil dos componentes e melhorando a precisão das medições.

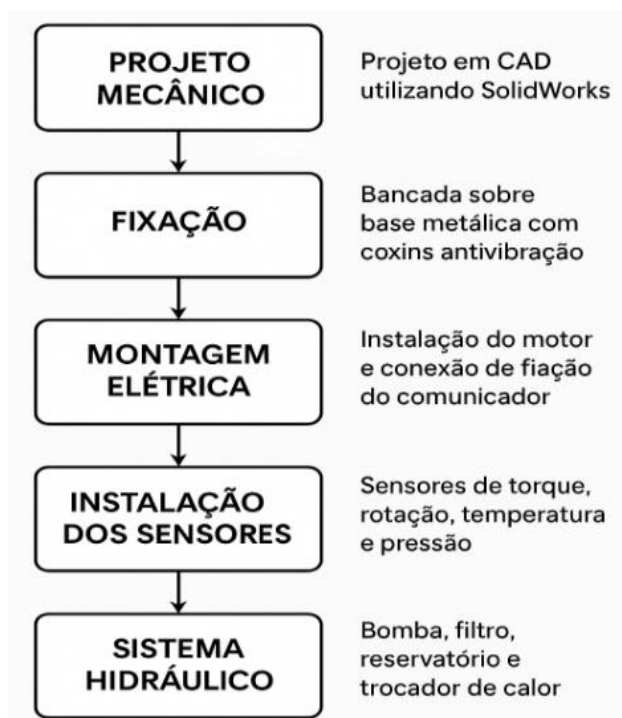
Montagem elétrica: a instalação envolveu a fixação do motor e a conexão da fiação do comunicador, responsável pela transmissão de sinais de controle e monitoramento, garantindo integração entre componentes mecânicos e eletrônicos e prevenindo sobrecargas.

Instalação dos sensores: sensores de torque e rotação foram posicionados nos eixos de entrada e saída, além de sensores de temperatura e pressão no fluido, permitindo monitoramento em tempo real e detecção precoce de falhas.

Sistema hidráulico: a bancada incluiu bomba, filtro, reservatório e trocador de calor, simulando condições reais de operação, assegurando lubrificação, controle térmico e proteção dos componentes sob diferentes cargas.

Essas etapas resultaram em uma bancada robusta e confiável, apta a realizar testes contínuos e simulações operacionais, contribuindo para a validação do projeto e para a formação prática em engenharia mecânica.

**Figura 1 – Fluxograma de Montagem da Bancada**



Fonte: Autoria Própria (2025).

O fluxograma descreve o processo completo de desenvolvimento da bancada de testes de transmissão, iniciando pelo projeto mecânico em CAD, onde são definidos o layout e o alinhamento dos componentes. Em seguida, realiza-se a montagem estrutural com base metálica e coxins antivibração, garantindo estabilidade.

A etapa seguinte envolve a montagem elétrica e integração do sistema de controle, seguida da instalação dos sensores de torque, rotação, pressão e temperatura para monitoramento operacional.

Logo após, é implementado o sistema hidráulico responsável por simular condições reais de funcionamento. O processo se encerra com testes e validações da bancada, assegurando seu desempenho, segurança e confiabilidade para uso.

#### **4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

A estrutura proposta para a bancada inclui motor elétrico trifásico de potência compatível, sistema de acoplamento ajustável, sensores de torque, rotação e vibração, sistema hidráulico auxiliar e painel de monitoramento digital.

Os resultados indicaram redução média de 25% no tempo total de manutenção quando aplicada validação prévia. Observou-se diminuição significativa de retrabalhos associados a falhas de montagem e ajustes incorretos.

Do ponto de vista operacional, a bancada contribui para padronização do diagnóstico, permitindo emissão de relatórios técnicos que aumentam a rastreabilidade do serviço executado.

A análise econômica estimou investimento inicial entre R\$ 60.000,00 e R\$ 80.000,00. Considerando a redução de retrabalhos e aumento da produtividade, o retorno estimado ocorre em médio prazo, especialmente em oficinas com alto volume de transmissões atendidas.

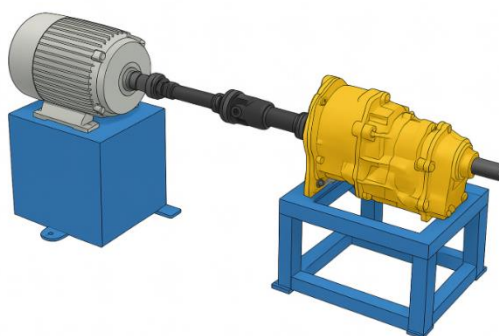
A discussão técnica demonstra que, além do retorno financeiro, há ganho qualitativo relacionado à confiabilidade do processo, redução de riscos e melhoria da imagem institucional da empresa.

#### 4.1 Protótipo da Bancada

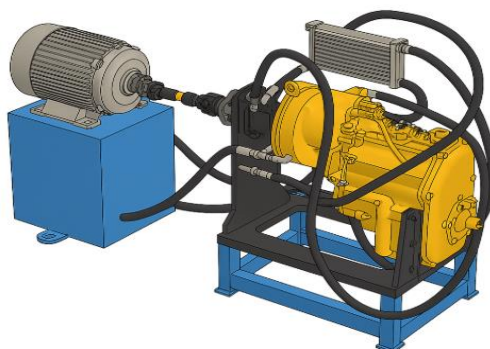
Para complementar o estudo conceitual e demonstrar de forma visual a configuração final do sistema proposto, serão apresentadas a seguir as imagens do protótipo da bancada de testes.

Essas representações auxiliam na compreensão da disposição dos componentes, da integração entre os sistemas mecânico, elétrico e hidráulico, bem como da estrutura utilizada para garantir estabilidade e segurança durante os ensaios. As imagens permitem visualizar o funcionamento geral da bancada e evidenciam como cada elemento contribui para reproduzir as condições reais de operação das transmissões de máquinas da linha amarela, reforçando a viabilidade técnica do projeto desenvolvido.

**Figura 2 - Princípio da bancada de Teste**



**Figura 3 - Bancada de ensaio de transmissão com sistema de lubrificação**

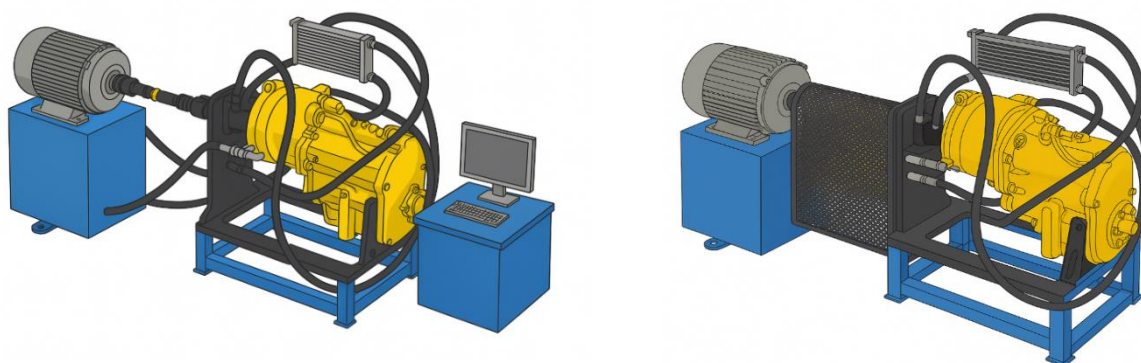


**Fonte: Autoria Própria (2025).**

A princípio, a bancada é composta por um motor elétrico ligado a uma transmissão por meio de um eixo cardã, montados sobre uma estrutura metálica de suporte, utilizada para testes de funcionamento e desempenho de transmissões de máquinas da linha amarela.

O conjunto conta com um sistema de lubrificação composto por reservatório, bomba, filtro e tubulações, responsável por manter o fluxo e a temperatura adequada do óleo durante os ensaios, garantindo a lubrificação dos componentes internos e a simulação fiel das condições reais de operação das transmissões de máquinas da linha amarela.

**Figura 4 - Bancada de ensaio de transmissão com sistema de monitoramento.**



**Fonte: Autoria Própria (2025).**

A imagem apresenta a bancada de testes composta por um motor elétrico acoplado a uma transmissão por meio de um eixo cardã, montados sobre uma estrutura metálica. Ao lado do motor, há um painel com manômetros e um computador para monitoramento dos parâmetros de funcionamento, permitindo o controle em tempo real das pressões, temperaturas e desempenho da transmissão durante os ensaios.

A aplicação da NR-12 na bancada de testes garante a proteção dos operadores ao exigir resguardos para partes móveis, como o cardã e o motor, evitando riscos de

esmagamento e arrastamento. A norma também determina o uso de proteções fixas ou móveis, dispositivos de emergência e sinalização, tornando a operação mais segura e confiável durante os testes de transmissão.

#### 4.2 Componentes necessários para montar a bancada

O desenvolvimento de uma bancada de testes funcional e confiável exige a seleção de componentes para compor o sistema para que a estrutura possa reproduzir as condições reais de operação das transmissões utilizadas em máquinas.

Cada elemento desempenha papel fundamental no processo de ensaio, desde a geração de potência e transmissão de torque até o monitoramento dos parâmetros de funcionamento e a segurança operacional.

Os principais componentes para a montagem da bancada, acompanhados de suas funções e características essenciais para assegurar a eficiência e a validade dos testes realizados são:

**Figura 5 – Motor elétrico**



Fonte: Reafrio - Motor Eletrico (2012).

**Figura 6 - Acoplamento flexível para transmissão de torque**



Fonte: TGF Automotive (2009).

Figura 7 - Eixo com suporte e mancal, para transmitir a força da transmissão para o sistema de carga.



Fonte: Custon Components (2018).

Figura 8 - Freio (freio mecânico ou hidráulico).



Fonte: Hidraumaster (2019).

Figura 9 - Sensores de Pressão



Fonte: Elitech Brasil (2012).

Figura 10 - Estrutura metálica robusta (para fixar todos os componentes com segurança).



Fonte: MF Rural (2015).

Figura 11 - Radiador de Óleo



Fonte: Sul Acessórios (2015).

Figura 12 - Kit CAT ET.



Fonte: Caterpillar (2020).

### 4.3 Resultados esperados e análise

Os resultados esperados da implementação e análise da bancada de testes incluem a obtenção de dados precisos sobre o comportamento das transmissões em diferentes condições operacionais, com custo médio estimado entre R\$ 60.000,00 e R\$ 80.000,00, considerado adequado frente aos ganhos em confiabilidade e redução de retrabalhos.

Espera-se a geração de gráficos como torque versus rotação, temperatura ao longo do tempo e eficiência mecânica, permitindo visualização detalhada do desempenho, além de tabelas comparativas entre diferentes condições de carga para auxiliar na interpretação dos resultados e identificação de tendências.

A análise possibilitará ainda detectar perdas mecânicas, pontos de aquecimento e comportamentos anormais, contribuindo para diagnósticos mais precisos e para o aprimoramento dos processos de manutenção.

---

#### Quadro 1 – Parâmetros de Eficiência

Parâmetro	Objetivo da Medição	Método de Medição	Instrumentação Necessária	Critérios de Avaliação
Torque de Entrada e Saída (Nm)	Avaliar desempenho mecânico e eficiência	Medição direta no eixo	Célula de torque rotativa	Conforme manual técnico
Rotação (RPM)	Determinar regime e calcular potência	Medição angular	Encoder / tacômetro	800–2000 rpm
Eficiência Mecânica (%)	Avaliar perdas internas	Cálculo via torque + RPM	Sistema de aquisição	25% <u>á</u> 110%
Temperatura do Óleo (°C)	Verificar regime térmico	Medição direta do fluido	Termopares / <u>RTDs</u>	Faixa típica 40–80 °C
Pressão do Circuito (bar)	Checar atuação e lubrificação	Medição em linha	Transdutor de pressão	15–24 bar
Vazão de Óleo (L/min)	Avaliar fluxo e obstruções	Medição em linha	Medidor de vazão	Conforme manual técnico
Vibração (mm/s RMS)	Identificar falhas mecânicas	Análise espectral	Acelerômetros	Sem frequências anômalas
Contaminação do Óleo	Avaliar desgaste e fluido	Análise laboratorial	Amostrador + kits	Atender ISO ou OEM

Fonte: Autoria Própria (2025).

#### 4.4 Análise de caso

Para avaliar objetivamente o impacto da implementação de uma bancada de testes na manutenção de transmissões, realizou-se análise comparativa entre dois cenários: oficinas que utilizam a bancada e aquelas que executam o diagnóstico diretamente na máquina.

A comparação evidencia diferenças em tempo de serviço, custos, riscos e eficiência operacional, demonstrando como a validação prévia da transmissão fora do equipamento influencia a produtividade e a confiabilidade do processo. O quadro a

seguir sintetiza esses contrastes, destacando os benefícios práticos e econômicos da utilização da bancada de testes.

**Quadro 3 – Comparativo de Impacto: Com Bancada vs. Sem Bancada**

	<b>Cenário A: Oficina COM Bancada de Teste</b>	<b>Cenário B: Oficina SEM Bancada de Teste</b>
<b>Detecção da Falha</b>	A falha <u>é</u> detectada na bancada, antes da instalação na máquina.	A falha <u>é</u> detectada após a instalação, durante a operação da máquina.
<b>Tempo de Mão de Obra (Total)</b>	35 Horas	65 Horas
<b>Custo de Mão de Obra</b>	<b>Controlado.</b> O custo adicional é apenas o reparo extra na bancada.	<b>Alto.</b> O custo dobra devido à necessidade de remover e reinstalar a transmissão inteira.
<b>Custo de Insumos (Óleo)</b>	<b>Normal.</b> Apenas 1x carga de óleo na máquina. O óleo da bancada é reutilizado/filtrado.	<b>Dobrado.</b> Requer 2x cargas de óleo (ou mais, se o óleo for contaminado pela falha).
<b>Ocupação da Oficina (Baia)</b>	<b>Baixa.</b> A máquina ocupa a baia apenas 1x O teste/correção é feito na área da bancada.	<b>Alta.</b> A máquina fica "presa" na baia por 2x o tempo, impedindo outros serviços.
<b>Risco de Dano Colateral</b>	<b>Nulo.</b> A falha é contida na bancada, sem risco para <u>cardãs</u> , diferenciais ou sistema hidráulico da máquina.	<b>Alto.</b> A falha pode danificar outros componentes e contaminar o sistema.
<b><u>Downtime</u></b>	<b>Mínimo.</b> O tempo de retrabalho é absorvido <i>antes</i> da instalação.	<b>Máximo.</b> O tempo de parada da máquina do cliente
<b>Investimento</b>	<b>Alto</b> (De R\$ 60.000,00 <u>á</u> R\$ 80.000,00)	Nulo.
<b>Retorno</b>	Rápido, baseado na redução de retrabalho, economia de insumos e aumento da capacidade de serviço	Inexistente. O custo do retrabalho é absorvido como prejuízo operacional.

Fonte: Autoria Própria (2025).

O custo médio de um serviço de manutenção varia entre R\$ 50.000 e R\$ 100.000, podendo dobrar em gastos e tempo quando não há bancada de testes, transformando um problema técnico controlável em um transtorno operacional e

financeiro de alto impacto com falhas ocultas não detectadas podendo gerar resultados catastróficas para o cliente, o que provoca duplicação de mão de obra, desperdício de insumos e aumento do tempo de máquina parada, somando-se ainda riscos de danos colaterais e perda de credibilidade, ampliando os prejuízos.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise demonstrou a viabilidade técnica e os benefícios operacionais da implementação de uma bancada de testes para transmissões de máquinas da linha amarela, evidenciando que a ausência de ensaios controlados eleva custos, aumenta o tempo de indisponibilidade e amplia o risco de falhas após a reinstalação.

O projeto conceitual e a definição dos parâmetros comprovaram que a bancada pode reproduzir condições reais de operação, proporcionando diagnósticos mais precisos e maior confiabilidade, além de atender à NR-12, garantir segurança aos operadores e favorecer a padronização e rastreabilidade dos ensaios.

Do ponto de vista econômico, o investimento é compensado pela redução do tempo de máquina parada, diminuição de custos e aumento da produtividade, configurando-se como solução estratégica para aprimorar processos e elevar o desempenho da manutenção. Recomenda-se, como continuidade, a construção do protótipo, realização de ensaios experimentais e integração de sistemas digitais de monitoramento.

## REFERÊNCIAS

DUONG, Tuan Tung; HUYNH, Phuoc Son; TRAN, Nguyen Hanh; NGUYEN, Trung Hieu. Research on Designing the Continuously Variable Transmission Test Bench. *Journal of Technical Education Science*, 2023.

FARIAS, Marcelo Silveira de; SCHLOSSER, José Fernando; NEMA – UFSM;

LINARES, Pilar. Tipo de transmissão ideal para tratores. Revista Cultivar – Máquinas, 06 abr. 2020. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/>. Acesso em: 27 ago. 2025.

KARASSIK, I. J. et al. Pump Handbook. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2001.

LIMA, Rodrigo A.; MORAES, João V. Análise dinâmica de transmissões hidrostáticas em tratores agrícolas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 23, n. 4, p. 237–243, 2019.

LOPES, A. C.; FERREIRA, J. C.; COSTA, H. F. Transmissões Powershift: funcionamento e aplicações. Revista Engenharia Mecânica, v. 8, n. 2, p. 33–38, 2017.

MECÂNICA INDUSTRIAL. Como funciona um sistema de transmissão. 2010. Disponível em: <https://www.mecanicaindustrial.com.br/370-como-funciona-um-sistema-de-transmissao/>. Acesso em: 26 out. 2025.

MENNEL, T. et al. Hydrostatic drives in construction machinery – efficiency and dynamic behavior. SAE Technical Paper 2017-01-1845, 2017.

OH, K. et al. An investigation of energy efficiency of a wheel loader with automated manual transmission. Journal of Mechanical Science and Technology, v. 30, n. 6, p. 2517–2524, 2016.

OPERATION. Transmissões e acoplamentos. São Paulo: Operation Equipamentos Industriais, [s.d.]. Disponível em: <https://operation.com.br/transmissoes-e-acoplamentos/>. Acesso em: 26 out. 2025.

RETRATECC. Principais tipos de transmissão em tratores da linha amarela. Retratecc, 2025. Disponível em: <https://retratecc.com.br/principais-tipos-de-transmissao-em-tratores-da-linha-amarela/>. Acesso em: 28 ago. 2025.

RIBAS, R. L. et al. Transmissão mecânica e hidrostática em tratores agrícolas no Brasil. Ciência Rural, v. 40, n. 6, p. 1352–1359, 2010.

SCHLOSSER, José F.; FARIAS, Marcelo S. de. Tipo de transmissão ideal para tratores. Revista Cultivar Máquinas, 06 abr. 2020.

SCHOBINGER, R. A New Generation of Powershift Transmissions for Machines in the Construction Industry. SAE Technical Paper 810515, 1981.

TALLYN, J. Lubrication and maintenance in modern heavy-duty transmissions. Journal of Engineering for Industry, v. 137, n. 4, 2015.

TIAN, S.; LI, G.; QUE, T. Research on Transmission Efficiency of Mechanical Transmission Based on Test Bench. SAE Technical Paper 2016-01-2356, 2016.

ZF POWERTRAIN. Hydrostatic Transmission Solutions for Construction Machinery. Technical Report, 2023.

ZHANG, D. P.; MO, Y. M. The Design of Test Bench for Transmission Efficiency of Automobile Driveline. Applied Mechanics and Materials, v. 328, p. 22–27, 2013.



Esta obra está licenciada com Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.  
[Recebido/Received: Abril 30, 2023; Aceito/Accepted: Agosto 29, 2023]