

# DE FICHAS DE PAPEL À INTELIGÊNCIA OPERACIONAL: A TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA OFICINA DE RECUPERAÇÃO DE RODEIROS DE VAGÃO

Mariana Mourão Paiva e Arthur Arruda e Andrade.

## RESUMO

Este artigo apresenta a transformação digital do processo de recuperação de rodeiros na MRS Logística, por meio do desenvolvimento e implantação da aplicação “Casa de Rodas”. O projeto teve como objetivo substituir o controle manual, com decisões baseadas no conhecimento humano, baseado em fichas de papel por uma solução digital integrada, capaz de garantir rastreabilidade, padronização e inteligência operacional. Utilizando metodologia ágil e tecnologia low-code, a aplicação foi desenvolvida em duas versões, contemplando funcionalidades como inspeções digitais, gestão de ordens de manutenção, controle de materiais, rastreabilidade de componentes e integração entre oficinas. A digitalização proporcionou a geração de dados estruturados e a redução de erros operacionais, além de ser o principal habilitador na tomada de decisão baseada em indicadores confiáveis e de qualidade. Como resultado, a aplicação consolidou-se como um grande marco na transformação digital da manutenção ferroviária, promovendo uma mudança cultural nas oficinas. O projeto segue em evolução, com planos de integração e ampliação da inteligência analítica. A experiência da MRS Logística demonstra como a inovação tecnológica pode modernizar processos industriais complexos, aumentar a eficiência e contribuir para a confiabilidade do setor ferroviário.

**Palavras-chave:** transformação digital, manutenção ferroviária, rastreabilidade, low-code e inovação operacional.

## ABSTRACT

This article presents the digital transformation of the wheelset recovery process at MRS Logística through the development and implementation of the “Casa de Rodas” application. The project aimed to replace manual control based on paper forms with an integrated digital solution capable of ensuring traceability, standardization, and operational intelligence. Using agile methodology and low-code technology, the application was developed in two versions, featuring digital inspections, maintenance order management, material tracking, component traceability, and inter-shop integration. The digitalization enabled the generation of structured data and reduction of operational errors, becoming a key enabler for data-driven decision-making based on reliable and high-quality indicators. As a result, the application became a major milestone in the digital transformation of railway maintenance, fostering a cultural shift in the workshops. The project continues to evolve with plans for integration and expansion of analytical intelligence. MRS Logística experience demonstrates how technological innovation can modernize complex industrial processes, enhance efficiency, and contribute to the reliability of the railway sector.

**Keywords:** digital transformation, railway maintenance, traceability, low-code e operational innovation.

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	3
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA.....	3
1.2. TRANSFORMAÇÃO DIGITAL .....	3
1.3. DIGITALIZAÇÃO DA CASA DE RODAS DA MRS LOGÍSTICA .....	4
2. METODOLOGIA.....	6
2.1. ETAPAS.....	6
3. DESENVOLVIMENTO .....	7
3.1. PROJETO PILOTO .....	7
3.1.1. VISÃO GERAL DO MÓDULO MOBILE .....	8
3.1.1.1. INSPEÇÃO E RECEBIMENTO.....	8
3.1.1.2. ACOMPANHAMENTO DA MANUTENÇÃO.....	9
3.1.1.3. ACOMPANHAMENTO DA OFICINA.....	10
3.1.1.4. INSPEÇÃO FINAL DO RODEIRO .....	10
3.1.2. VISÃO GERAL DO MÓDULO WEB .....	11
3.1.2.1. TELA DE PERFIS.....	11
3.1.2.2. TELA DE PARÂMETROS .....	12
3.1.3. MEDIDAS DE SEGURANÇA .....	13
3.1.4. FINALIZAÇÃO DO PROJETO PILOTO .....	14
3.2. VERSÃO 1 DO APLICATIVO CASA DE RODAS.....	14
3.2.1. LAUDOS DE ULTRASSOM.....	14
3.2.2. GESTÃO DE LAUDOS.....	14
3.2.3. GESTÃO DAS ORDENS DE MANUTENÇÃO .....	15
3.2.4. GESTÃO DE SUCATEAMENTO DE EIXO .....	15
3.2.5. CONTABILIZAÇÃO DE ITENS CONSUMIDOS .....	16
3.2.6. FINALIZAÇÃO DA VERSÃO 1 E IMPLANTAÇÃO .....	17
3.3. VERSÃO 2 DO APLICATIVO CASA DE RODAS.....	17
3.3.1. SISTEMA DE TRANSFERÊNCIA DE ATIVOS .....	18
3.3.2. ETAPAS RASCUNHO.....	19
3.3.3. CONSULTA DO HISTÓRICO DE MANUTENÇÃO.....	19
3.3.4. IMPLANTAÇÃO DA VERSÃO 2.....	20
3.4. RESULTADOS E PRÓXIMOS PASSOS .....	20
4. CONCLUSÃO.....	21

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1.CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

O setor ferroviário brasileiro é centenário e data de 1835 quando foi promulgada no Brasil a Lei Feijó que autorizava a concessão de ferrovias que ligariam o Rio de Janeiro a Minas Gerais, Bahia e Rio Grande do Sul (ANTF História da Ferrovia, 2025).

Na década de 1990, o governo brasileiro passou para a iniciativa privada a concessão e o arrendamento de diversos trechos da ferrovia de carga (malhas Centro Oeste, Sudeste, Oeste, Sul, Tereza Cristina, Ferroeste, Nordeste, Paulista). As ferrovias, naquele momento, estavam sucateadas e os resultados eram deficitários.

Ao longo dos anos, a realidade da ferrovia de carga brasileira se transformou. Assim como em outros setores, o investimento em transformação digital na ferrovia brasileira vem garantindo a modernização de ativos rodantes e da malha ferroviária, o aumento da segurança ferroviária e, conseqüentemente, o aumento do volume transportado, conforme os gráficos abaixo.

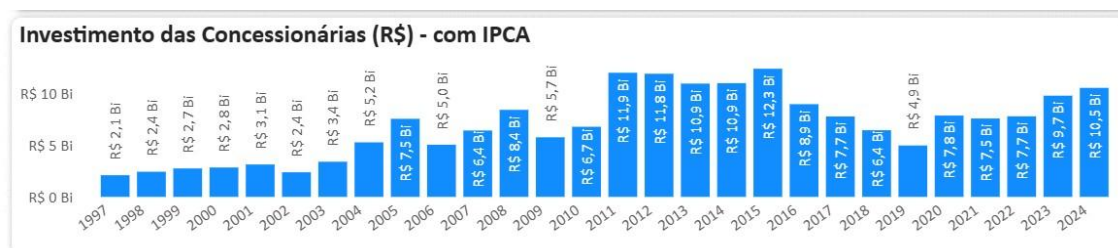


Figura 1: Investimento das Concessionárias (R\$) - com IPCA Fonte: ANTF Painel, 2025

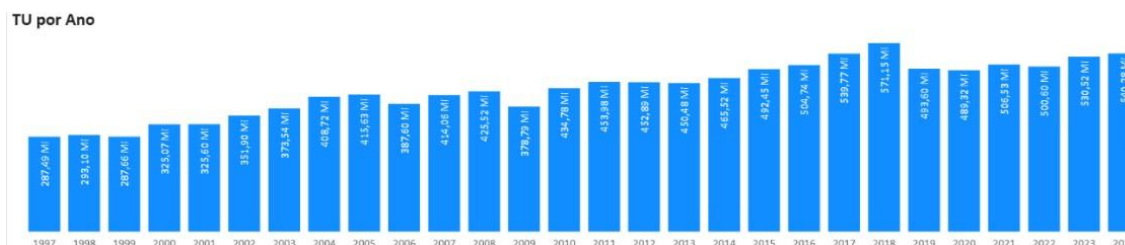


Figura 2: TU (Tonelada Útl) transportada por ano Fonte: ANTF painel, 2025

### 1.2.TRANSFORMAÇÃO DIGITAL

Para que a transformação digital tenha sucesso e seja escalável, é necessário que o foco seja a geração de valor. A transformação deve iniciar pela definição da estratégia

e ambição e passar pela mobilização da organização e, por fim, pela escalada das oportunidades (CHEONG et al, 2025).

Uma das estratégias para a transformação digital é garantir a digitalização dos processos analógicos. Digitalizar um processo não é somente adotar a tecnologia, mas também aplicar a reengenharia dos processos com foco na otimização

Com processos digitais, a companhia passa a ter dados estruturado sobre as suas operações e, passa a tomar decisão baseada em dados, sendo possível análise em tempo real se for necessário.

Com dados estruturados é possível definir estratégias preditivas e prescritivas que aumentam a eficiência, a produtividade e a precisão. Como resultado da digitalização é possível citar aumento da eficiência operacional, redução de custos e melhoria na experiência do cliente.

### **1.3.DIGITALIZAÇÃO DA CASA DE RODAS DA MRS LOGÍSTICA**

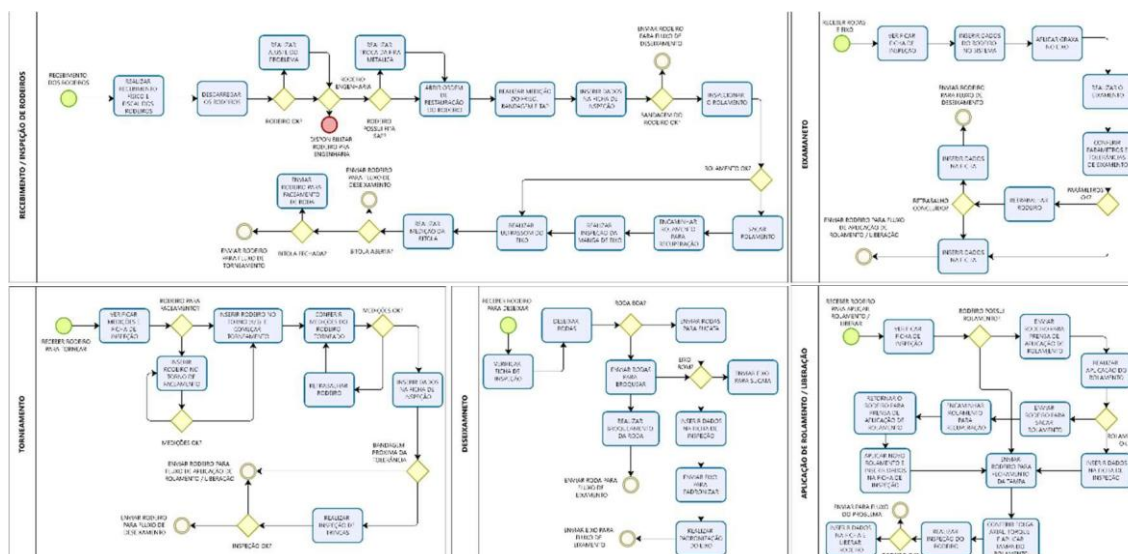
O presente trabalho tem como objetivo apresentar a digitalização do processo de recuperação de rodeiros de vagão na MRS Logística. O trabalho se justifica pela importância do componente rodeiro de vagão na ferrovia, composto pelo eixo e duas rodas, é responsável pelo suporte estrutural, movimentação e manobrabilidade e segurança dos vagões.

A recuperação dos rodeiros de vagão na MRS Logística é realizada em duas oficinas de produção industrial (Casa de Rodas), uma em Belo Horizonte (Horto Florestal) e outra em Conselheiro em Lafaiete. A companhia hoje possui mais de 90.000 rodeiros de vagão e conta com a recuperação média de mais de 22.000 rodeiros por ano, a um custo médio de mais de R\$ 40 milhões por ano.

O processo industrial da Casa de Rodas da MRS é complexo e era controlado de forma manual. Eram 65 decisões e/ou consultas executadas de acordo com o conhecimento do operador, sem trava ou indicação de acordo com a regra de negócio da companhia. O fluxo de trabalho era controlado em fichas de papel, com mais de 120 campos a serem preenchidos em 13 formulários de trabalho.

A falta de dados estruturados impossibilitava a rastreabilidade do processo de recuperação do rodeiro. Em situações de quebra ou defeito do componente durante o transporte ferroviário, era necessário buscar em arquivos de papel as fichas que continham as informações da última manutenção.

Não havia indicadores básicos de produção industrial como quantidade de itens na fila, produção diária, horas improdutivoas, produtividade, percentual de sucateamento, consumo de itens etc. A falta desses indicadores impactava diretamente o planejamento e controle da manutenção e as estratégias de recuperação dos rodeiros.



**Figura 3: Fluxo de Trabalho Casa de Rodas MRS Logística** Fonte: desenvolvida pelos autores

Dentro da estratégia de transformação digital da MRS, foi incluído a digitalização do processo de recuperação de rodeiros, com os seguintes alvos de geração de valor:

- Geração de dados estruturados;
- Digitalização das tomadas de decisão, com indicação do sistema de acordo com as regras de negócio;
- Acompanhamento do processo através de indicadores de gestão e de engenharia;
- Aumento da produtividade;
- Redução de custo.

A condução do projeto foi realizada em conjunto pela área de negócio (Casa de Rodas) e a tecnologia (Centro de Excelência de Ferramentas Digitais), com apoio da equipe de Gestão de Mudança. A parceria entre as áreas garantiu a mobilização da companhia e a entrega contínua de valor.

## 2. METODOLOGIA

Foi utilizada a metodologia ágil para o desenvolvimento da aplicação, método indicado para o desenvolvimento de produtos digitais. A competência *Agile Product Delivery* (APD) é uma abordagem centrada no cliente para definir, criar e lançar produtos e serviços em um fluxo contínuo de valor para clientes e usuários finais (SAFE SCALE AGILE, 2025).

A metodologia ágil se concentra na entrega de valor incremental por meio de equipes dedicadas. Na gestão ágil, o escopo é variável, o orçamento e o tempo são fixos e o sucesso é medido, total ou parcialmente, pelo retorno do cliente.

Com foco em gerar valor para o cliente (Casa de Rodas), a concepção do produto foi orientada pelos requisitos essenciais da aplicação, como funcionamento responsivo em dispositivos móveis e operação offline, além de uma tecnologia flexível capaz de suportar regras de negócio diversas e evoluções futuras. O design foi personalizado para proporcionar uma melhor experiência ao usuário, com controle de acesso por grupos, uso simultâneo por múltiplos usuários e integração com o ERP da companhia. Também foram considerados aspectos como rastreabilidade por meio de logs, banco de dados estruturado e construção de painéis de acompanhamento.

### 2.1. ETAPAS

Conforme a metodologia ágil, o projeto da Casa de Rodas foi construído em etapas sendo que, em cada uma estava clara a geração de valor pretendida. Antes de construir a solução digital era necessário ter clareza do problema e do potencial de geração de valor.

Na primeira etapa foram feitas revisão e reengenharia do processo de recuperação de rodeiros. Com foco na otimização do processo, cada etapa foi avaliada e classificada de acordo com a sua relevância e necessidade e foram mapeadas as tomadas de decisão e suas regras de negócio.

A segunda etapa foi a construção de uma Prova de Conceito na ferramenta Power Apps. A limitação da ferramenta era conhecida, mas por permitir a construção rápida e com baixo custo, foi escolhida para a construção de uma versão inicial que permitiu avaliar a usabilidade de uma aplicação na Casa de Rodas.

Com o sucesso da prova de conceito, a terceira etapa consistiu em estudo para definição da ferramenta de desenvolvimento do produto final, considerando os requisitos obrigatórios. Com o apoio da assessoria do Gartner, a MRS optou por uma ferramenta de *Low Code* (baixo código) que permite atingir escala, garante desempenho e flexibilidade e os controles necessários para o desenvolvimento e sustentação.

A entrega de aplicações corporativas exige conhecimento de engenharia de plataforma e arquitetura de componente. As ferramentas de *Low Code* entregam plataforma com recursos avançados de integração, orquestração, ambiente em nuvem e desenvolvimentos por componentes prontos (Gartner Magic Quadrant, 2025).

A ferramenta escolhida foi a líder do Quadrante Mágico do Gartner, a plataforma Mendix. Essa ferramenta possibilita o desenvolvimento rápido de sistemas complexos, permite desenvolvimento para dispositivo mobile, trabalho offline, múltiplos usuários internos e externos, integração facilitada com sistemas operacionais, controle de acesso e rastreabilidade por logs.

A partir da quarta etapa iniciou-se o desenvolvimento do produto digital. Ainda seguindo a metodologia ágil, o desenvolvimento iniciou com um piloto para então seguir para as versões um e dois da solução.

### 3. DESENVOLVIMENTO

#### 3.1. PROJETO PILOTO

Como o processo de recuperação de rodeiros é dinâmico, ou seja, o componente percorre uma esteira de produção passando por diversas áreas de atuação, havia a necessidade de que os apontamentos fossem realizados diretamente em dispositivos móveis. Ao mesmo tempo, também era essencial contar com um módulo administrativo que permitisse aos responsáveis pelos processos a configuração de parâmetros, a definição de regras e o acompanhamento da operação.

Para atender a essas demandas, a aplicação foi concebida em dois módulos complementares:

- **Módulo Mobile** – Voltado ao uso operacional por inspetores e operadores diretamente envolvidos na execução das etapas de manutenção;

- **Módulo Web** – Direcionado às funções gerenciais, administrativas e de parametrização das regras de engenharia.

Independente do módulo, todas as telas da aplicação seguem uma identidade visual padronizada, com campos e regras personalizadas conforme os requisitos específicos de cada etapa, tela e funcionalidade.

### 3.1.1. VISÃO GERAL DO MÓDULO MOBILE

Durante a fase piloto, foram desenvolvidas mais de 20 telas que suportam as principais etapas do processo de manutenção. O fluxo se inicia no módulo mobile, em que o operador recebe o rodeiro na linha de produção e consulta o seu número de série. Caso não exista uma ordem de serviço em andamento, o sistema direciona automaticamente o usuário para a primeira etapa: a Inspeção e Recebimento.

#### 3.1.1.1. INSPEÇÃO E RECEBIMENTO

Nessa inspeção inicial são coletadas informações cadastrais e dimensionais do rodeiro. A aplicação realiza, em tempo real, a validação das medidas com base em critérios de tolerância previamente definidos pela engenharia. Um sistema de *feedback* visual orienta o operador: medidas dentro da tolerância são sinalizadas em verde; fora da tolerância, em vermelho.

Colaborador: 00000002 - Operador

Modelo: Z - 6.1/2" x 9" Serial: 123456

### Inspeção e Recebimento

POP-RCR-0032 Início: 25/07/2025 10:18

Tipo de manga de eixo\*

Z - 6.1/2" x 9"

Bandagem A\* 55,00 ✓

Bandagem B\* 29,00 ✗

Friso A\* 27 ✓

Friso B\* 27 ✓

Motivo da entrada\* A - FRISO FINO

Número da fita 4316

Novo número do serial\* 123456

Número da nota fiscal\* 96852356

Cancelar Salvar

**Figura 4: Formulário de Inspeção e Recebimento com feedback** Fonte: Desenvolvida pelos próprios autores

Além da análise dimensional, o operador realiza uma avaliação qualitativa da condição do rodeiro e do motivo de sua entrada na oficina. Com base nesses dados, o sistema determina automaticamente o fluxo de manutenção adequado, podendo seguir

para o processo de deseixamento caso haja necessidade de substituição das rodas ou para o processo de torneamento caso seja possível recuperá-las.

Essa lógica de decisão segue os procedimentos operacionais da companhia. Com isso, a aplicação passou a assumir um papel central na condução do processo: as decisões operacionais deixaram de depender exclusivamente da interpretação dos operadores e passaram a ser guiadas por regras de negócio parametrizadas no sistema. Esse avanço assegura maior consistência, reduz a variabilidade entre execuções e fortalece o controle técnico sobre as etapas de manutenção.

A aplicação, portanto, consolida-se como uma ferramenta inteligente e robusta, que assegura a **padronização dos processos**, a **rastreabilidade das informações** e a **confiabilidade em todas as etapas da manutenção**.

### 3.1.1.2. ACOMPANHAMENTO DA MANUTENÇÃO

Após a inspeção inicial, o operador tem uma visão geral do processo de manutenção para o rodeiro que deu entrada no sistema. Nessa interface, é possível acompanhar o histórico completo do ativo, com destaque visual para as etapas já executadas (em verde) e as pendentes (em amarelo), além da identificação dos responsáveis e das datas de execução dos serviços concluídos. Essa funcionalidade oferece ao operador uma compreensão clara do andamento do processo, promovendo maior controle e previsibilidade ao fluxo produtivo.

Colaborador: 00000002 - Operador

## Etapas do rodeiro

Sincronizar

Serial: 123456 Tipo do rodeiro: Z - 6.1/2" x 9"

Inspeção e Recebimento	Inspeção de Ultrassom	Inspeção de Bitola
Inspeção de Rolamento	Inspeção de Manga	Facear
Tornear	Deseixar	Usinagem
Eixar	Broquear	Aplicar Rolamento
Aplicar Tampa	Sucatear Eixo	ICP II

Transferir rodeiro

Entrada: 25/07/2025 - 10:18  
Tempo de visita: 0 h 2 min

Histórico

Etapa: Inspeção e Recebimento  
Concluída: 25/07/2025 - 10:19  
Colaborador: Operador  
Matricula: 00000002  
Oficina: Horto Florestal (HF)

Legendas:  
■ Concluído    ■ Pendente  
■ Não habilitado    ■ Retrabalho

Consultar rodeiro    Processos

**Figura 5: Tela de etapas** Fonte: Desenvolvida pelos próprios autores

### 3.1.1.3. ACOMPANHAMENTO DA OFICINA

Para monitoramento da produtividade, a aplicação oferece também a tela de Processos, que apresenta uma visão geral da oficina: número de rodeiros aguardando serviço (amarelo), em execução (azul) e concluídos no dia (verde).



**Figura 6: Tela de processos** Fonte: Desenvolvida pelos próprios autores

Ao clicar em uma etapa, o operador acessa uma visão detalhada da fila de serviços, incluindo o modelo dos rodeiros e o tempo de espera de cada um. Essa funcionalidade permite uma gestão mais eficiente da carga de trabalho e da alocação de recursos.

### 3.1.1.4. INSPEÇÃO FINAL DO RODEIRO

Após realizar todas as etapas de manutenção necessárias, antes da liberação do rodeiro, um inspetor realiza uma auditoria final, revisando todas as informações registradas no sistema e inspecionando fisicamente o ativo. Durante a inspeção final, caso seja identificada alguma não conformidade, seja ela por algum dano físico ou uma inconsistência nos dados registrados pelo colaborador, o sistema permite o acionamento de retrabalhos. Nessa funcionalidade, o rodeiro é redirecionado para a etapa específica onde o problema foi detectado, permitindo que o serviço seja reexecutado. Após a aprovação, o rodeiro é liberado para ser novamente acoplado a um vagão.

Colaborador: 00000008 - Operador

< Etapas      Modelo: Z - 6.1/2" x 9"      Serial: 000001

### ICP II

POP-RCR-0003    Início: 25/07/2025 10:42

**Rolamento**

Ano de remanufatura\*  
2024      Você aprova esta informação?\*

Sim     Não

Semestre de remanufatura\*  
1º Semestre      Você aprova esta informação?\*

Sim     Não

Situação do rolamento\*  
FLEXIBILIZADO      Você aprova esta informação?\*

Sim     Não

Número do rolamento A\*  
5347      Você aprova esta informação?\*

Sim     Não

Ano de fabricação do rolamento A\*  
2024      Você aprova esta informação?\*

Sim     Não

Mês de fabricação do rolamento A\*  
1      Você aprova esta informação?\*

Sim     Não

Fabricante do rolamento A\*  
BRENCO      Você aprova esta informação?\*

Sim     Não

Terminar A\*  
Você aprova esta informação?\*

Sim     Não

Cancelar      Salvar

**Figura 7: Aprovações do ICP II Fonte: Desenvolvida pelos próprios autores**

Além disso, quando um rodeiro retorna à oficina para uma nova manutenção, a aplicação reaproveita automaticamente os dados cadastrais registrados na última intervenção. Informações como número das rodas, fabricante do eixo e demais atributos técnicos são recuperados do histórico do ativo, eliminando a necessidade de reentrada manual. Essa funcionalidade não apenas reduz o tempo de execução das etapas e minimiza erros de digitação, como também permite que o colaborador concentre seus esforços na execução do serviço. De forma estratégica, essa rastreabilidade de dados também possibilita que a companhia construa um histórico completo do ciclo de vida de cada componente, viabilizando análises técnicas mais precisas e decisões operacionais orientadas por dados.

### 3.1.2. VISÃO GERAL DO MÓDULO WEB

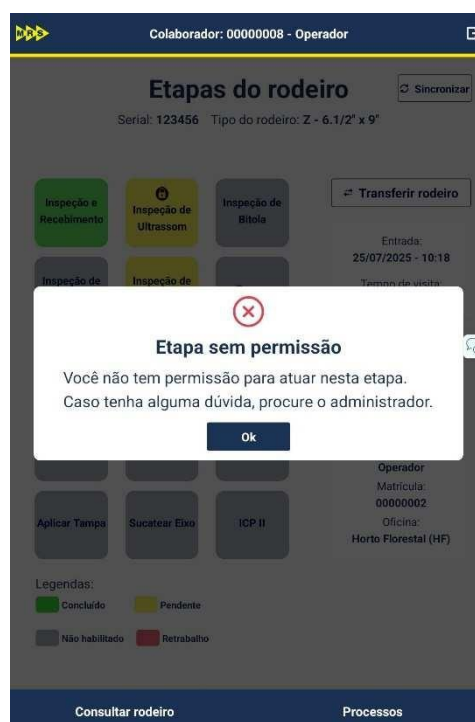
#### 3.1.2.1. TELA DE PERFIS

Para gerenciar toda a aplicação, os administradores têm acesso ao módulo Web, no qual podem configurar perfis de acesso por meio da tela de perfis. Nessa interface, é possível definir o tipo de usuário (Operador, Inspetor ou Administrador) e associar a cada colaborador as etapas para as quais possui treinamento e autorização.

Nome	Matricula	Oficina	Status	Tipo de perfil	Permissões (Qty.)	Ações
Administrador	00000001	Horto Florestal (HF)	Ativo	Administrador	0	[Edit]
Cliente Dados	00000004	Horto Florestal (HF)	Ativo	ClienteDados	0	[Edit]
Desenvolvedor	00000006	Horto Florestal (HF)	Ativo	Operacional Administrador Desenvolvedor Inspetor	18	[Edit]
Inspetor	00000003	Horto Florestal (HF)	Ativo	Inspetor	0	[Edit]
NaoAtribuido	00000005	Horto Florestal (HF)	Ativo	NaoAtribuido	0	[Edit]
Operacional	00000002	Horto Florestal (HF)	Ativo	Operacional	0	[Edit]

**Figura 8: Tela de Perfis Fonte: Desenvolvida pelos próprios autores**

Caso um operador tente acessar uma etapa para a qual não possui permissão, o sistema mobile bloqueia de forma automática o acesso, exibindo um ícone de bloqueio e uma mensagem de alerta informando a restrição. Essa funcionalidade garante que apenas usuários devidamente capacitados possam executar atividades, reforçando a segurança operacional e a conformidade com os procedimentos internos.



**Figura 9: Etapa sem permissão Fonte: Desenvolvida pelos próprios autores**

### 3.1.2.2. TELA DE PARÂMETROS

No módulo Web, o administrador conta com a tela de parâmetros, onde pode configurar todas as regras de tolerância utilizadas no processo. Isso inclui a definição de valores máximos e mínimos para medidas dimensionais, a personalização de listas de

opções disponíveis aos operadores e a atribuição de consequências específicas para cada escolha realizada.



Figura 10: Tela de parâmetros Fonte: Desenvolvida pelos próprios autores

Essa abordagem permite que a lógica de decisão da aplicação seja totalmente adaptável às diretrizes da engenharia, sem necessidade de alterações no código-fonte.

Todas as modificações realizadas são registradas em um histórico de alterações que pode ser exportado em uma planilha de excel, garantindo transparência e rastreabilidade sobre as regras aplicadas ao processo de manutenção.

### 3.1.3. MEDIDAS DE SEGURANÇA

Além de ser funcional, a aplicação também foi desenvolvida com foco na segurança das informações, protegendo dados e bloqueando acessos não autorizados. Para isso, foram implementadas diversas camadas de proteção, como:

- **Login corporativo:** os usuários acessam o sistema com suas credenciais da empresa, o que facilita a autenticação na plataforma;
- **Proteção contra acessos externos:** a aplicação conta com barreiras de segurança que impedem tentativas de acesso não autorizado vindas de fora da rede corporativa;
- **Distribuição segura do aplicativo mobile:** o app é disponibilizado exclusivamente pela loja interna da empresa, garantindo que apenas dispositivos corporativos autorizados possam instalá-lo.

Essas medidas asseguram que apenas pessoas com permissão tenham acesso à aplicação, mantendo os dados protegidos e a operação segura.

### **3.1.4. FINALIZAÇÃO DO PROJETO PILOTO**

Com base no desenvolvimento inicial feito em apenas 2 meses, a área de negócio avaliou o funcionamento da aplicação e validou sua capacidade de digitalizar, de forma eficaz, o processo de recuperação de rodeiros. A solução demonstrou aderência aos fluxos operacionais e atendeu aos requisitos essenciais definidos para o piloto.

No entanto, conforme a priorização estabelecida no escopo do projeto, identificouse a necessidade de desenvolvimentos complementares para viabilizar a implantação completa da aplicação na Casa de Rodas do Horto Florestal. Com isso, o projeto avançou para o desenvolvimento da Versão 1, que contemplou novas funcionalidades e melhorias voltadas à operação em escala real.

## **3.2. VERSÃO 1 DO APLICATIVO CASA DE RODAS**

A Versão 1 da aplicação teve como foco aprimorar a qualidade dos processos e a gestão operacional da oficina, com destaque para a confiabilidade dos dados, rastreabilidade dos ativos e automação de rotinas críticas. Entre os avanços implementados os principais são: emissão de laudos técnicos para controle de equipamentos, gestão de ordens de manutenção, rastreabilidade no sucateamento de componentes e controle automatizado de materiais consumidos.

### **3.2.1. LAUDOS DE ULTRASSOM**

Nessa nova versão, foi incorporada na aplicação mobile a funcionalidade de emissão de laudos de ultrassom, tanto diários quanto semanais. Esses laudos são exigências dos procedimentos internos para garantir que os equipamentos utilizados nas inspeções estejam operando dentro dos parâmetros técnicos de qualidade.

A aplicação simplifica significativamente essa rotina de controle, pois ao selecionar a identificação do equipamento de ultrassom, o sistema verifica automaticamente se os laudos obrigatórios estão disponíveis e dentro do prazo de validade. Isso garante conformidade com os padrões técnicos e reduz o risco de falhas operacionais por uso de equipamentos não validados.

### **3.2.2. GESTÃO DE LAUDOS**

Após a emissão de um laudo, o administrador pode acessar o módulo Web para consultar todos os documentos registrados na aplicação, através da tela de Gestão de

Laudos. Nela também é possível visualizar a lista completa de rodeiros que foram inspecionados utilizando determinado equipamento de ultrassom.



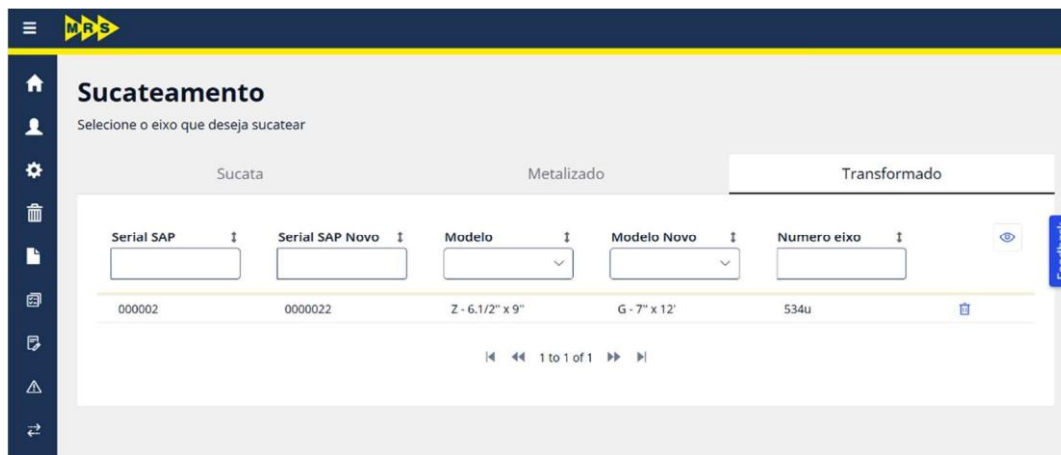
Figura 11: Consulta de laudos de ultrassom Fonte: Desenvolvida pelos próprios autores

### 3.2.3. GESTÃO DAS ORDENS DE MANUTENÇÃO

Para tornar a gestão do processo ainda mais robusta, foi incluída no módulo Web a tela de Gestão de Ordens, que permite ao administrador consultar informações mínimas das ordens de manutenção, incluindo identificação do rodeiro e datas de início e término da manutenção. Além disso, caso ocorra um erro de digitação crítico, como o operador informar que um item da inspeção está aprovado, quando na verdade ele está reprovado, o sistema permite invalidar a ordem, evitando que o erro comprometa o andamento do processo.

### 3.2.4. GESTÃO DE SUCATEAMENTO DE EIXO

Outra funcionalidade importante adicionada foi a tela de Gestão de Sucateamento, que mantém um registro completo de todos os eixos sucateados na aplicação. Essa tela também acompanha os eixos que passaram por processos críticos de usinagem, como transformação e metalização. Caso o operador não identifique, no momento da execução, uma falha que inviabilize a continuidade da manutenção, o administrador pode posteriormente sucatear o eixo de forma manual, garantindo que apenas componentes em conformidade sigam no processo.



**Figura 12: Tela de gestão de sucateamento Fonte: Desenvolvida pelos próprios autores**

### 3.2.5. CONTABILIZAÇÃO DE ITENS CONSUMIDOS

Outro requisito essencial para substituir definitivamente as fichas de papel foi o controle automatizado dos componentes consumidos durante a manutenção. No processo de recuperação de rodeiros, diversas peças podem ser substituídas, sendo as principais e mais críticas para o estoque da oficina os rolamentos, as rodas e os eixos.

Anteriormente, os responsáveis pelo controle de estoque precisavam analisar manualmente as fichas em papel e registrar, em planilhas, os dados cadastrais de cada item utilizado, para então realizar os lançamentos no sistema ERP da companhia. Com a digitalização, a aplicação passou a indicar automaticamente os rodeiros com manutenção finalizada e gerar relatório com os itens consumidos na manutenção.



**Figura 13: Itens Consumidos Fonte: Desenvolvida pelos próprios autores**

Com a funcionalidade de controle de itens consumidos concluída, a aplicação passou a cobrir as principais rotinas operacionais da oficina, encerrando assim a etapa de desenvolvimento funcional da Versão 1.

### 3.2.6. FINALIZAÇÃO DA VERSÃO 1 E IMPLANTAÇÃO

Encerrado o desenvolvimento, o projeto avançou para a fase de homologação. Nesse momento, a oficina foi mobilizada para passar por um processo estruturado de gestão da mudança, garantindo que todos os colaboradores estivessem preparados para a nova realidade digital.

A capacitação foi conduzida em três frentes complementares: inicialmente, os usuários participaram de um **treinamento teórico** por meio de videoaulas explicativas; em seguida, realizaram **atividades práticas** com o acompanhamento direto dos líderes e desenvolvedores do projeto; por fim, a **operação assistida** permitiu que utilizassem a aplicação com suporte em tempo real, garantindo maior segurança e autonomia no uso da ferramenta.

Com a aplicação sendo utilizada em larga escala, uma série de *feedbacks* valiosos foram coletados. Isso possibilitou a correção de pequenos erros, a implementação de melhorias na experiência do usuário e a identificação de casos especiais que exigiram ajustes no fluxo da aplicação.

Finalizado o processo de homologação, a aplicação foi oficialmente colocada em produção, substituindo definitivamente as fichas de papel. O desenvolvimento da Versão 1 marcou o primeiro passo concreto da digitalização e automação da oficina de recuperação de rodeiros, representando um marco histórico na transformação digital da manutenção ferroviária da MRS.

### 3.3. VERSÃO 2 DO APLICATIVO CASA DE RODAS

Consolidada a produção da primeira versão, o projeto evoluiu para uma nova fase: a expansão do sistema para a oficina de manutenção de Conselheiro Lafaiete. Essa fase representou um desafio técnico significativo, exigindo um esforço conjunto para padronizar os processos entre as duas oficinas e adaptar a aplicação às condições operacionais distintas de cada localidade.

Um dos principais objetivos dessa fase foi a implementação do compartilhamento de dados entre oficinas, permitindo que a manutenção de um rodeiro seja iniciada em uma unidade e concluída em outra. Essa é uma funcionalidade essencial, visto que a oficina de Lafaiete não possui capacidade para executar todas as etapas do processo. A integração de dados entre as oficinas amplia a flexibilidade operacional e fortalece a rastreabilidade

dos ativos ao longo de todo o ciclo de manutenção, consolidando um processo único de recuperação de rodeiros, mas que pode ser descentralizado entre duas localidades.

A expansão da aplicação para a Versão 2 incorporou duas novas etapas ao processo de manutenção: a Inspeção de Ultrassom de Roda e a Inspeção por Partículas Magnéticas. Essas atividades não foram priorizadas no escopo original devido às suas particularidades operacionais, já que são executadas apenas em situações específicas. A inclusão dessas etapas evidencia a flexibilidade e a adaptabilidade da plataforma Mendix, que permite a inclusão de novos processos ao fluxo de manutenção sem comprometer sua lógica. Essa capacidade de evolução contínua reforça a robustez da solução diante das complexidades operacionais das oficinas.

Em função dessas particularidades, as etapas foram implementadas exclusivamente nesta nova versão, com todas as regras de aplicação configuráveis pelo administrador. Essa abordagem garante que a solução permaneça flexível e adaptável às variações do processo de manutenção.

Como essas inspeções não são realizadas em ambas as oficinas, a aplicação passou a exigir a transferência do rodeiro sempre que ele atender aos critérios técnicos e a etapa necessária não estiver disponível na localidade atual. Para isso, foi desenvolvida uma funcionalidade específica de gestão de transferências, que garante segurança, rastreabilidade e controle sobre o processo.

### **3.3.1. SISTEMA DE TRANSFERÊNCIA DE ATIVOS**

A premissa central dessa funcionalidade é que cada usuário possui uma localidade atribuída pelo administrador, e a aplicação bloqueia o acesso a serviços em andamento em outras oficinas. Dessa forma, só é possível dar continuidade à manutenção de um rodeiro após sua transferência física ser registrada e confirmada.

Os operadores solicitam um pedido de transferência através da tela de etapas (figura 14). Essas solicitações são encaminhadas ao administrador, que pode aprovar ou reprovar a transferência. Uma vez aprovada, o rodeiro entra em modo de transferência, e a manutenção só poderá ser retomada após o recebimento ser confirmado pela oficina de destino. Ao chegar na nova localidade, todos os dados das etapas já executadas são reaproveitados, e o processo é retomado exatamente de onde parou, evitando retrabalho e garantindo a continuidade do histórico técnico do ativo.



**Figura 14: Solicitação de transferência** Fonte: Desenvolvida pelos próprios autores

### 3.3.2. ETAPAS RASCUNHO

Durante a rotina da oficina, podem ocorrer exceções como a parada dos maquinários para manutenção preventiva ou a realização de mutirões de torneamento aos finais de semana, com o objetivo de acelerar a produção em períodos de alta demanda. Nessas situações, é necessário que determinadas etapas sejam executadas antes mesmo da aplicação identificá-las como necessárias no fluxo padrão.

As etapas de rascunho foram desenvolvidas para que o operador possa optar por executar essas atividades de forma antecipada. A aplicação registra essas ações como um “rascunho”, e, quando o fluxo formal do rodeiro alcançar essas etapas, o sistema reconhece que elas já foram concluídas e avança automaticamente para as próximas fases.

Por se tratar de uma medida excepcional, o uso das etapas rascunho é controlado pelo administrador, que pode definir quais etapas estão habilitadas para execução antecipada, em quais dias da semana e horários estarão disponíveis, e em qual oficina a funcionalidade poderá ser utilizada

### 3.3.3. CONSULTA DO HISTÓRICO DE MANUTENÇÃO

Para facilitar o acesso às informações registradas, foi implementada a funcionalidade de consulta de ordens de serviço finalizadas. A partir do aplicativo mobile, o operador pode informar o serial do rodeiro e visualizar rapidamente os dados da última manutenção realizada, enquanto o administrador tem acesso a uma visão completa de

todos os serviços registrados. Essa funcionalidade torna o sistema mais transparente e acessível, contribuindo para auditorias mais ágeis e para a verificação eficiente das informações por usuários autorizados.

### **3.3.4. IMPLANTAÇÃO DA VERSÃO 2**

Ao longo do desenvolvimento da segunda versão, o mesmo processo de homologação e capacitação foi realizado na oficina do km 460. Após os ajustes necessários de cada funcionalidade, a aplicação foi sendo atualizada e ambas as oficinas passaram a operar em produção com o aplicativo Casa de Rodas. Esse marco consolidou a digitalização completa do processo de recuperação de rodeiros da MRS, possibilitando que todos os ativos submetidos à manutenção possam passar por um fluxo padronizado, com regras de negócio bem definidas e critérios técnicos rigorosamente avaliados.

## **3.4.RESULTADOS E PRÓXIMOS PASSOS**

A aplicação assegura confiabilidade no processo, rastreabilidade dos serviços prestados e a geração de dados estruturados e robustos, fundamentais para o gerenciamento da oficina. Tudo isso operando sob padrões elevados de segurança digital, reforçando o compromisso da companhia com a excelência operacional e a transformação digital da ferrovia.

Um dos resultados diretos da digitalização foi a redução de três postos de trabalho, com expectativa de que, ao longo do tempo, também haja uma diminuição das horashomem (HH) dedicadas ao preenchimento manual dos serviços. No entanto, o verdadeiro potencial de entrega de valor da aplicação está na sua capacidade de gerar indicadores a partir de dados estruturados.

Seguindo as diretrizes da Gerência de Dados da MRS, a aplicação está sendo preparada para contar com um processo seguro de extração e tratamento de dados, que permitirá a disponibilização das informações para a gestão de forma simplificada. Estão sendo construídos indicadores estratégicos de gestão e engenharia, como:

- Taxa de reprovação dos subcomponentes (eixo, roda e rolamento);
- Vida útil média de cada subcomponente;
- Tempo de ociosidade do rodeiro entre as etapas;
- Monitoramento da faixa dimensional da frota de rodeiros liberados;
- Monitoramento do Processo em Tempo Real

- Taxa de Retrabalho da Oficina (quantidade de etapas que precisaram ser refeitas)
- Entre outras.

Essa evolução transforma a aplicação em uma ferramenta de inteligência operacional, indo além da “simples” digitalização de processos. Ela se consolida como um pilar da transformação digital, que não apenas moderniza a operação, mas promove uma mudança cultural profunda na manutenção ferroviária, tornando-a orientada por dados. A partir desse novo paradigma, decisões passam a ser baseadas em informações concretas, confiáveis e em tempo real, elevando o nível de eficiência, controle e previsibilidade da manutenção.

Como próximo passo estratégico, o objetivo é realizar a integração da aplicação com o sistema ERP, permitindo que todo o gerenciamento de estoque, como consumo de componentes e a movimentação de itens, seja feito pela aplicação. Essa integração tem o potencial de ampliar ainda mais a eficiência da manutenção, eliminando etapas manuais, reduzindo retrabalho e garantindo que os dados operacionais estejam sincronizados com os sistemas corporativos da companhia.

## 4. CONCLUSÃO

Apesar de ser um modal estratégico para países com dimensões continentais como o Brasil, o setor ferroviário ainda representa apenas 20% da matriz de transporte nacional. As recentes mudanças no modelo de concessão e os altos investimentos no setor têm impulsionado o transporte ferroviário de cargas. No entanto, por se tratar de um setor centenário, a transformação digital torna-se um componente essencial para sustentar esse crescimento e modernizar suas operações.

O presente trabalho demonstra que a digitalização de processos vai muito além da simples adoção de tecnologia. Ela envolve reengenharia de processos, otimização de recursos e, principalmente, uma mudança cultural. No caso da MRS Logística, a digitalização do processo de recuperação de rodéis, que é um processo complexo e crítico para a produtividade da companhia, foi viabilizada por meio de uma aplicação *low-code* desenvolvida com metodologia ágil, garantindo flexibilidade e entrega contínua de valor.

A eliminação do papel na Casa de Rodas não representa o ponto final da transformação digital, mas sim o início de uma nova fase orientada por dados. Os

benefícios já colhidos incluem aumento da produtividade, padronização, rastreabilidade, confiabilidade e geração de dados estruturados. Esses dados permitirão que decisões estratégicas sobre produção, expansão e investimentos sejam tomadas com base em informações concretas e confiáveis.

Além disso, o acompanhamento detalhado dos componentes possibilitará a adoção de estratégias de manutenção prescritiva e preditiva, fundamentais para elevar a eficiência e a disponibilidade da frota ferroviária. A digitalização da Casa de Rodas da MRS é, portanto, um exemplo concreto de inovação tecnológica que materializa o futuro do setor ferroviário brasileiro.

## 5. REFERÊNCIAS

ANTF História da Ferrovia. Disponível em: <https://www.antf.org.br/boletimantf/historia-das-ferrovias/>. Acessado em 13 de julho de 2025.

CHEONG Erin Neus; SHEIBENREIF Don; GERMER Brandon et al. Maximize Digital Transformation Outcomes Using Gartner's Digital Business Building Blocks. Disponível em: <https://www.gartner.com/documentreader/document/6346579?ref=solrAll&refval=480356534&>. Acessado em 13 de julho de 2025.

Oleksandr Matvitsky, Kyle Davis, Akash Jain. Magic Quadrant for Enterprise Low-Code Application Platforms. Disponível em: <https://www.gartner.com/interactive/mq/5844247?ref=solrAll&refval=480374314>. Acessado em: 13 de julho de 2025.