

MAXIMIZAR A VIDA ÚTIL DE COMPONENTES DE AMV FERROVIÁRIOS ATRAVÉS DE ANÁLISE PREDITIVA COM LINHA DE TENDENCIA RESUMO

NANDO GABRIEL MACHADO BEZERRA

BRENNO CASTRO TAVARES

RESUMO

Este projeto tem como foco maximizar a vida útil dos componentes de AMV (Aparelhos de Mudança de Via) ferroviários por meio da aplicação de análise preditiva com linha de tendência, visando maior eficiência na gestão de ativos e na manutenção ferroviária. A proposta parte da necessidade de reduzir falhas inesperadas, otimizar recursos e aumentar a confiabilidade operacional da via permanente. A metodologia adotada envolve a coleta contínua de dados operacionais e históricos de manutenção dos componentes dos AMVs, seguida da aplicação de técnicas estatísticas e modelos de previsão para identificar padrões de desgaste e comportamento ao longo do tempo. A construção de linhas de tendência permite antecipar o momento ideal para intervenções, evitando paradas não programadas e prolongando a vida útil dos ativos. O projeto consolidou-se como uma solução estratégica para a manutenção preditiva de AMVs, promovendo uma cultura de decisão baseada em dados e contribuindo diretamente para a sustentabilidade e longevidade dos ativos ferroviários.

Palavras chaves: AMV; análise preditiva; ferrovia; estatística.

ABSTRACT

This project focuses on maximizing the lifespan of railway turnout components (AMVs – Aparelhos de Mudança de Via) through the application of predictive analysis using trend lines, aiming to enhance asset management and maintenance efficiency in railway operations. The initiative addresses the need to reduce unexpected failures, optimize resource allocation, and improve the operational reliability of the permanent way. The adopted methodology involves the continuous collection of operational and maintenance history data from AMV components, followed by the application of statistical techniques and forecasting models to identify wear patterns and behavioral trends over time. The construction of trend lines enables the anticipation of ideal intervention periods, preventing unscheduled downtimes and extending the useful life of assets. The project

has proven to be a strategic solution for predictive maintenance of AMVs, fostering a data-driven decision-making culture and contributing directly to the sustainability and longevity of railway infrastructure.

Keywords: AMV; predictive analysis; railway; statistics.

Sumário

INTRODUÇÃO.....	3
METODOLOGIA.....	4
DESENVOLVIMENTO E CONCLUSÃO	4
CONCLUSÕES.....	10
REFERÊNCIAS	10

INTRODUÇÃO

A indústria ferroviária é um dos pilares da infraestrutura de transporte, desempenhando papel estratégico na movimentação de grandes volumes de cargas e passageiros em todo o Brasil. No coração dessa operação estão os Aparelhos de Mudança de Via (AMVs), equipamentos fundamentais que permitem a transposição de trens de uma linha férrea para outra, viabilizando manobras, cruzamentos e flexibilização das rotas operacionais.

O Aparelho de Mudança de Via - AMV tem a função de possibilitar a transposição do material rodante de uma linha para outra, para a utilização das derivações em trechos de linhas singelas. Além disso, também são encontrados em ferrovias com duas ou múltiplas vias, e são utilizados como travessões para transpor as composições de uma via para outra e, desta forma, tornar a operação ferroviária mais ágil e eficiente (PAIVA, 2016).

Esses dispositivos são compostos por uma série de componentes mecânicos — como agulhas, contratrilhos, jacaré e sistemas de acionamento — que operam sob altas cargas dinâmicas e repetitivas. Cada passagem de trem gera esforços concentrados que, ao longo do tempo, provocam desgastes progressivos, podendo levar a falhas mecânicas graves se não forem devidamente monitorados e tratados.

O acúmulo desses esforços, aliado à frequência de tráfego e à velocidade operacional dos trens, faz com que os AMVs sejam um dos pontos mais sensíveis da malha ferroviária em termos de manutenção. Quando não identificadas a tempo, falhas em seus componentes podem acarretar desde interrupções nas operações até acidentes com alto custo econômico e risco à segurança.

Tradicionalmente, a gestão da manutenção desses equipamentos é feita com base em rotinas fixas ou em reações a falhas já ocorridas. No entanto, essa abordagem se mostra limitada diante da complexidade operacional e da exigência crescente por eficiência e confiabilidade no setor ferroviário. É nesse cenário que surge a necessidade de incorporar estratégias de manutenção preditiva, baseadas na análise contínua dos dados de desgaste.

Este projeto propõe uma solução voltada à maximização da vida útil dos componentes de AMVs ferroviários por meio de análise preditiva, unificando a engenharia de computação com a mecânica utilizando linhas de tendência, com base em dados históricos de inspeções e medições. A aplicação dessa metodologia visa fornecer uma ferramenta de apoio à tomada de decisão na manutenção, a uma visão mais ampla nas inspeções prévias e solicitação de novos componentes o que possibilita antecipar falhas, planejar intervenções com maior precisão e reduzir custos operacionais, promovendo uma gestão mais inteligente e eficiente da infraestrutura ferroviária.

A proposta visa fornecer uma ferramenta de apoio à tomada de decisão na manutenção, a uma visão mais ampla nas inspeções prévias e na solicitação para trocas de novos componentes, permitindo intervenções mais precisas e eficientes.

METODOLOGIA

A pesquisa classifica-se como aplicada, pois o foco e interesse desta gira em torno de uma situação prática e circunstancial, visando precipuamente a solução de um problema objetivo (GIL, 2008). A presente investigação visa desenvolver um sistema de monitoramento de componentes de AMV, culminando na análise preditiva. A pesquisa foi realizada dentro da Vale na sede de Santa Inês – MA com a equipe de manutenção Eletro e AMV. O cenário do projeto apresenta 4 etapas para o seu desenvolvimento, no qual foram acompanhados semanalmente com o líder e os desenvolvedores da aplicação, com o objetivo de corrigir alguns erros e implementar novas melhorias.

DESENVOLVIMENTO E CONCLUSÃO

A primeira etapa do projeto consistiu na realização de um estudo teórico aprofundado com base nos procedimentos operacionais adotados pela empresa, com o objetivo de direcionar o trabalho para uma abordagem alinhada à realidade prática da manutenção ferroviária.

Foram realizados estudos voltados à compreensão do comportamento dos componentes dos AMVs ao longo do tempo, com ênfase na taxa de crescimento do desgaste e na identificação de padrões recorrentes de deterioração. Esse conhecimento foi essencial para o desenvolvimento do modelo preditivo e da linha de tendência implementada no sistema.

Além disso, foram conduzidas inspeções em campo, acompanhadas pela equipe de execução responsável pela manutenção dos AMVs. Durante essas atividades, foi possível observar na prática:

- O funcionamento das rotinas de manutenção preventiva;
- Os métodos utilizados na coleta e registro dos dados;
- Os parâmetros técnicos seguidos, conforme os procedimentos operacionais padrão;
- A forma de identificação e acompanhamento das cotas de desgaste dos componentes.

As cotas de salvaguardas que mais influenciam a troca de componentes identificados durante esse processo foram: Desgaste na ponta principal do Jacaré; Bitola Ponta Agulha - dorm n° 20-002; Desgaste Vertical TR Encosto Reto na PA; Desgaste Vertical TR Encosto Curvo na PA; Bitola no dormente n°10 - Lado Esq; Bitola no dormente n°10 - Lado Dir; Desg. Lateral TR enc. Reverso; Desg. Lateral TR enc. Reto. Essa vivência prática foi fundamental para garantir que o sistema desenvolvido estivesse em conformidade com a operação real, refletindo com fidelidade os processos e necessidades da equipe de manutenção.

Na segunda etapa do projeto, concentrou-se na análise da coleta de dados realizada pela equipe de campo, com o objetivo de compreender com detalhes os parâmetros registrados, a organização das informações e a disciplina operacional envolvida nesse processo. Essa análise foi fundamental para projetar uma modelagem de dados robusta e segura, o adequada ao armazenamento em banco de dados relacional escolhido, o MySQL, e compatível com o sistema de visualização proposto.

Durante essa fase, foram identificadas inconsistências na coleta de dados, especialmente relacionadas a erros de apropriação. Algumas informações registradas nos formulários digitais não condiziam com a realidade observada na via férrea, o que comprometia a precisão das análises preditivas e a confiabilidade das projeções de desgaste.

Diante desse cenário, foi iniciado um estudo específico para mitigar essas distorções, com foco em:

- Validar os dados coletados por meio de cruzamento com inspeções em campo;
- Estabelecer critérios mínimos de consistência na entrada de dados;
- Desenvolver rotinas no sistema capazes de filtrar ou corrigir informações incoerentes antes do armazenamento e análise.

Essa etapa foi essencial para garantir que a base de dados utilizada no cálculo da linha de tendência fosse representativa da realidade operacional, aumentando a eficácia das previsões geradas pelo sistema.

A terceira etapa deu início ao processo de desenvolvimento do sistema web, com o objetivo de criar uma plataforma capaz de armazenar, processar e visualizar os dados de manutenção dos AMVs de forma automatizada e confiável. O sistema foi construído com a seguinte arquitetura:

- Backend em Java (Spring Boot): responsável pela lógica de negócio, cálculos de tendência e tratamento estatístico dos dados;
- Frontend em ReactJS: desenvolvido para oferecer uma interface interativa e intuitiva, onde os dados dos AMVs são apresentados por TU (Travessão Universal);
- Banco de Dados MySQL: utilizado para persistência dos dados de inspeção, componentes e parâmetros técnicos.

Segundo Laudon e Laudon (2017), a principal vantagem de um sistema web é que ele permite atualizações e manutenções mais fáceis, uma vez que as atualizações podem ser feitas centralmente no servidor, sem a necessidade de atualizar os aplicativos instalados em cada dispositivo dos usuários.

O uso do Mysql como banco de dados foi escolhido com foco em segurança e alta performance, uma vez há um alto fluxo de dados para serem processados. O projeto de banco de dados é afetado pelas transações reais, pelo modo como os dados são distribuídos e pelas crescentes exigências de informações. Diante dessa necessidade, examinaremos os principais recursos (ROB; CORONEL, 2011).

Para a análise preditiva, foi implementado um modelo de regressão linear simples, utilizando a biblioteca Apache Commons Math – Simple Regression. O sistema realiza

os cálculos automaticamente a partir dos dados históricos de desgaste, traçando linhas de tendência que permitem prever o comportamento futuro dos componentes.

A regressão linear é uma tentativa de modelar uma equação matemática linear que descreva o relacionamento entre duas variáveis (CURRAL, 1994).

De acordo com MOREIRA et al (2020), no eixo Y do gráfico, tem a variável dependente (desfecho) que necessita ser descoberta e, no eixo X do gráfico, as variáveis independentes (preditoras) que exercem influência sobre a variável dependente. A variável Y deve ter distribuição normal ou aproximadamente normal.

A fim de aumentar a confiabilidade dos resultados, foi incorporado um mecanismo de eliminação de outliers. Esse processo consiste em analisar a média dos valores anteriores e posteriores ao ponto discrepante, aplicando uma aproximação para substituí-lo caso o desvio em relação à tendência seja estatisticamente relevante. Segundo Bento, Santos, 2018, os outliers são dados fora da normalidade que afetam negativamente a análise estatística e o entendimento das informações sendo necessário detectá-los e removê-los

Além disso, o sistema conta com uma classificação visual dos pontos por cores, baseada nos parâmetros definidos nos procedimentos operacionais da empresa:

- Verde: Monitoramento;
- Azul: P2;
- Amarelo: P1;
- Laranja: P1F;
- Vermelho: P0;

Essas classificações auxiliam a equipe técnica na tomada de decisão rápida e embasada, priorizando intervenções conforme o nível de criticidade identificado.

A quarta etapa do projeto consistiu na apresentação da aplicação para a equipe de execução e time de inspeção para que seja dado um feedback da aplicação a fim de garantir o seu total funcionamento. Além disso, o sistema foi colocado em prática com o objetivo de testar sua eficácia e avaliar seu impacto direto no processo de tomada de decisão da equipe de manutenção.

A turma de inspeção passou a utilizar o sistema como ferramenta de apoio nas inspeções prévias, realizando consultas antes de ir a campo sempre que ocorria algum evento envolvendo os AMVs. Através da análise da linha de tendência, da classificação por cores e do histórico de desgaste, foi possível antecipar diagnósticos e planejar melhor as intervenções, otimizando tempo e recursos.

O sistema também foi utilizado como base de análise para os relatórios técnicos (PPTs) semestrais da manutenção preventiva:

- No segundo semestre, o sistema ajudou a identificar:
 - 4 AMVs com necessidade de acompanhamento contínuo;
 - A troca de 3 componentes, sendo uma meia chave esquerda e duas meias chaves direitas.
- No terceiro semestre (PPT 3), a aplicação do sistema permitiu:
 - A identificação de 6 meias chaves com necessidade de troca imediata;
 - O acompanhamento de 4 meias chaves e 1 jacaré, conforme o nível de desgaste identificado.

Linha de Tendência TU209-L0001-AMV2091B

Legenda:

Monitoramento | P2 | P1 | P1F (Pré Restrição) | P0 (Restrição)

Imagem 1: Legenda dos níveis de desgastes

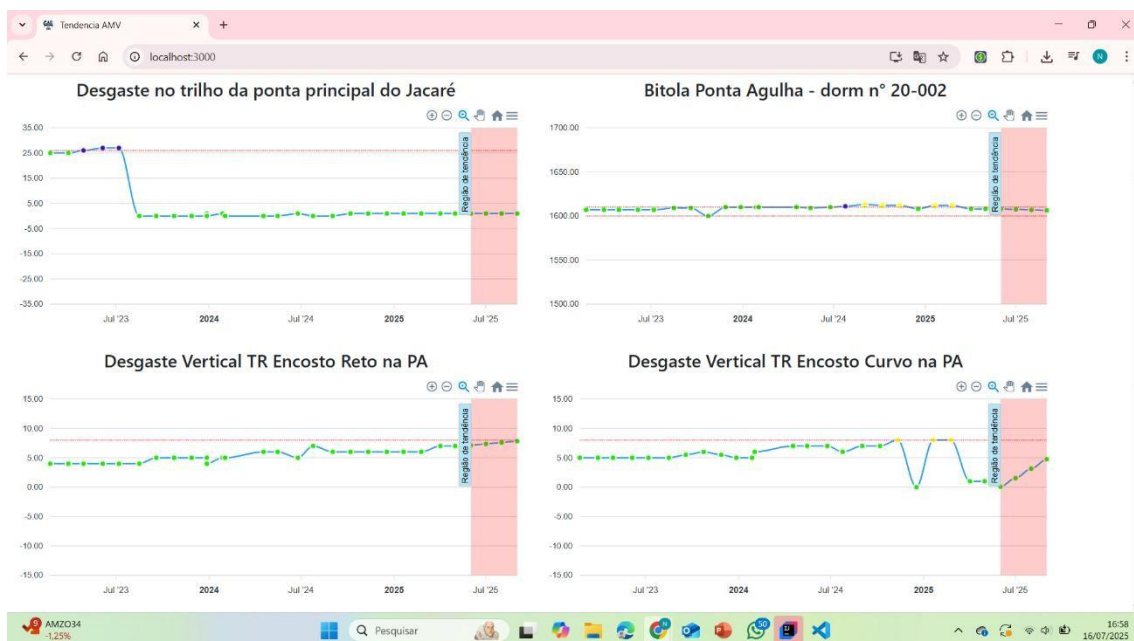


Imagem 2: Demonstração do Sistema com um AMV com seus gráficos de tendência

TU209-L0001-AMV2092C

Data de assentamento: 24/03/2021

Data de retirada: 20/02/2025

Tempo de uso: 3 anos e 10 meses

Acompanhamento dos últimos 7 meses:

06/06/2024 – 22.00 (Monitoramento)

09/07/2024 – 24.00 (Monitoramento)

12/08/2024 – 24.00 (Monitoramento)

17/09/2024 – 24.00 (Monitoramento)

17/10/2024 – 26.00 (P2)

27/11/2024 – 28.00 (P1)

02/01/2025 – 28.00 (P1)

Tendência:

02/02/2025 – 30.00 (P0)

02/03/2025 – 32.00 (P0)

02/04/2025 – 33.00 (P0)

02/05/2025 – 34.00 (P0)

Evolução de 7 meses:

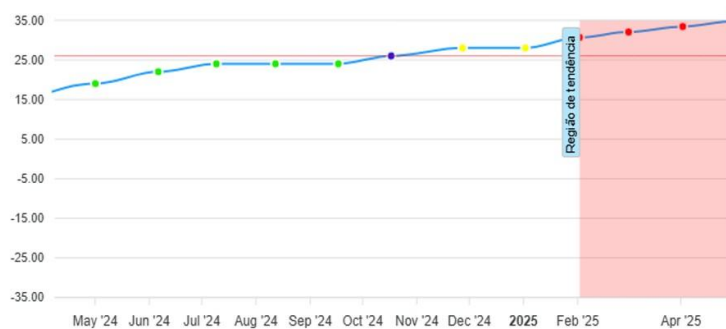


Imagem 3: Primeiro caso de sucesso em um Jacaré de um AMV

A imagem três demonstra o primeiro caso de sucesso do sistema, no qual foi identificado a tendência do jacaré de 30% de desgaste fora dos parâmetros seguros. Esse componente foi trocado com antecedência garantindo uma maior segurança na ferrovia. Esses resultados demonstram o potencial do sistema como uma ferramenta de apoio à

manutenção preditiva, permitindo maior assertividade nas decisões, reduzindo falhas inesperadas e garantindo maior segurança e disponibilidade da via férrea.

CONCLUSÕES

A implementação da análise preditiva com linha de tendência mostrou-se altamente eficaz, servindo como um excelente norteador para o planejamento e execução de manutenções e substituições de componentes, direcionando de forma assertiva na aprovação dos PPT (Plano de Priorização de Trabalho). Essa abordagem permitiu intervenções mais assertivas e oportunas ao longo da sede de Santa Inês – MA, na Estrada de Ferro Carajás (EFC), contribuindo significativamente para a confiabilidade operacional e a otimização dos recursos.

REFERÊNCIAS

CURRAL, J. **Statistics Packages: A General Overview**. Universidade de Glasgow, 1994.

BENTO, Guilherme Mossi; SANTOS, RT d. Avaliação de Métodos de remoção de outliers e seus impactos na precisão dos métodos de interpolação. **Simpósio Mato grossense de Mecanização Agrícola e Agricultura de Precisão**, 2018.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

LAUDON, Kenneth C.; LAUDON, Jane P. **Sistemas de Informação Gerenciais**. 14^a ed. São Paulo: Pearson, 2017. p. 171.

MOREIRA, Michele S.; RODRIGUES, Marina P.; FERREIRA, Charles F.; NIENOV, Otto H. **Bioestatística Quantitativa Aplicada. Programa de Pós- Graduação em Ciências da Saúde: Ginecologia e Obstetrícia**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

ROB, Peter; CORONEL, Carlos. **Sistemas de banco de dados. Projeto, implementação e Gerenciamento**, 2011.

PAIVA, C.E.L. **Super e infraestruturas ferroviárias: Critérios para projetos**. 1^a ed. Rio de Janeiro. Elsevier, 2016.