



SUBSTITUIÇÃO DE APARELHOS DE APOIO EM PONTES FERROVIÁRIAS: ESTUDOS DE CASO E BOAS PRÁTICAS PARA MANUTENÇÃO PREVENTIVA SEM IMPACTOS OPERACIONAIS

João Paulo Ferreira Martins de Souza¹; Eduardo Souza²; André Santiago³; Iago Souza⁴

¹ Souza, J. P. F. M — Brasil

² Souza, E. O. — Brasil

³ Santiago, A. — Brasil

⁴ Souza, I. — Brasil

RESUMO

A manutenção eficaz de pontes ferroviárias é crucial para a segurança, eficiência e longevidade das infraestruturas de transporte. Este artigo objetiva apresentar metodologia aplicada em dois casos reais de substituição de aparelhos de apoio em pontes ferroviárias, delineando as boas práticas e rigorosos controles de segurança e qualidade. A metodologia envolveu a revisão pormenorizada de cada caso, analisando procedimentos de substituição e estratégias para minimizar impactos operacionais. O trabalho detalha as abordagens de projeto e execução para ambas pontes, que adotaram aparelhos de apoio em Neoprene Fretado, em conjunto com técnicas específicas de elevação e calços para cada estrutura. Os resultados demonstraram que as substituições foram realizadas sem impactos operacionais significativos, evidenciando a capacidade da engenharia de executar intervenções complexas com minimização de interrupções e garantindo a continuidade do serviço, suprimindo tempo de interrupção usuais por OAE. As conclusões oferecem recomendações valiosas para futuras ações de manutenção, sublinhando a importância do planejamento detalhado, da aplicação de tecnologias adequadas e de procedimentos que assegurem a integridade estrutural e a ininterrupção operacional ferroviária.

Palavras-chave: Pontes ferroviárias, aparelhos de apoio, manutenção preventiva, estudos de caso, continuidade operacional, vida útil da estrutura.

1. INTRODUÇÃO

A infraestrutura ferroviária é a espinha dorsal de muitas economias, e a segurança e longevidade de suas pontes são de suma importância. Os aparelhos de apoio, componentes muitas vezes discretos, desempenham um papel vital na transmissão de cargas e na acomodação de movimentos estruturais causados por variações térmicas, frenagem e outros esforços.

Com o tempo, o desgaste natural e a corrosão podem comprometer a funcionalidade desses dispositivos, exigindo sua substituição. Para manter a confiabilidade do sistema deve-se aplicar a gestão de ativos e priorizar, planejar e programas tais substituições com o menor impacto operacional possível.

Este trabalho apresenta a metodologia aplicada em dois casos reais de substituição de aparelhos de apoio em pontes ferroviárias, destacando as boas práticas e controles de qualidade empregados com o foco em minimizar os impactos operacionais normalmente utilizados.



Diante dos casos explicitados, espera-se que este artigo sirva como guia prático de bolso para gestores, engenheiros e executores de como priorizar, planejar e executar a substituição destes dispositivos com a melhor eficácia possível e sem impacto operacional. A seguir apresenta-se uma breve fundamentação teórica sobre o tema.

1.1 Aparelhos de apoio

Os aparelhos de apoio utilizados em pontes ferroviárias são classificados principalmente em três categorias, cada uma com características distintas de desempenho, durabilidade e requisitos de manutenção.

1.1.1 APARELHOS DE APOIO FIXOS:

- **CARACTERÍSTICAS:** Permitem rotações, mas restringem movimentos de translação, sendo cruciais para a estabilidade da estrutura. Frequentemente encontrados na forma de articulações de concreto, como as articulações Freyssinet (Cordeiro, 2014; Vidal, 2017).
- **DURABILIDADE:** Possuem uma vida útil potencialmente longa, dependendo da integridade do material construtivo (concreto e aço) (Cordeiro, 2014).
- **MANUTENÇÃO:** Requerem inspeções para identificar fissuras, desgastes ou desagregação do material, garantindo a continuidade da função de ancoragem (Cordeiro, 2014; Bragança, 2023).

1.1.2 APARELHOS DE APOIO MÓVEIS:

- **CARACTERÍSTICAS:** Permitem tanto rotações quanto translações horizontais, acomodando a expansão e contração da estrutura. Podem ser metálicos (rolos, roletes) ou de outros materiais (Cordeiro, 2014; Vidal, 2017).
- **DURABILIDADE:** Apresentam uma vida útil variável, sendo suscetíveis a desgastes mecânicos e corrosão, especialmente em ambientes agressivos (Cordeiro, 2014).
- **MANUTENÇÃO:** Necessitam de inspeções regulares para detectar sinais de desgaste, corrosão, falhas mecânicas, limpeza e, quando aplicável, lubrificação de componentes (Cordeiro, 2014; Bragança, 2023).

1.1.3 APARELHOS DE APOIO ELASTOMÉRICOS (NEOPRENE):

- **CARACTERÍSTICAS:** Compostos por camadas de borracha sintética (neoprene) reforçadas com chapas de aço internas. Permitem pequenos movimentos horizontais e rotações através da deformação do elastômero. São amplamente utilizados por sua simplicidade e eficácia (Lan, 2020).
- **DURABILIDADE:** Possuem boa durabilidade, mas podem ser afetados por fatores ambientais como exposição a raios UV e produtos químicos, que podem causar endurecimento ou fissuras (Lan, 2020).
- **MANUTENÇÃO:** Inspeções periódicas são essenciais para detectar deformações excessivas, fissuras, extrusão da borracha ou degradação do material, indicando a necessidade de substituição (Lan, 2020; Cordeiro, 2014).



1.2 Programa de manutenção preventiva em aparelhos de apoio

A implementação de um programa de manutenção preventiva abrangente, que inclua inspeções regulares e intervenções oportunas, é fundamental para assegurar o desempenho adequado dos aparelhos de apoio. Tal programa não só prolonga a vida útil dos componentes, mas também garante a segurança e a continuidade operacional das pontes ferroviárias (Cordeiro, 2014; Bragança, 2023).

1.3 Metodologia e objetivo do trabalho

Para este trabalho serão apresentadas as boas práticas de substituição de aparelhos de apoios de dois ativos com foco na metodologia aplicada sem impacto na operação ferroviária. O objetivo principal é orientar para o leitor a seguir esta metodologia para minimizar o impacto na circulação de trens durante as manutenções.

No item seguinte será apresentado a metodologia e desenvolvimento do trabalho.

2. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

2.1 Detalhamento dos ativos

Os ativos de infraestrutura utilizados neste trabalho são duas Obras de Artes Especiais (OAEs) ferroviárias de portes diferentes, porém com os seus aparelhos de apoio no mesmo estado de degradação. Nas tabelas 01 e 02 apresentam-se os seus detalhamentos.

Tabela 1 – OAE 01

OAE 01 – PONTE METÁLICA EM VIGAS LONGARINA	
Data de construção	1978
Traçado	Retilínea
Bitola (m)	1,6
Comprimento (m)	22,2
Largura (m)	6,61
Área (m ²)	146,74
Número de vãos	1
Número de apoios	2
Classe ambiental	CAA-1
Gabarito vertical (m)	8,41
Gabarito horizontal (m)	14,65
Aparelho de apoio	Neoprene

Tabela 2 – OAE 02

OAE 02 – PONTE METÁLICA EM VIGAS LONGARINA CAIXÃO	
Data de construção	1972
Traçado	Esconsa
Bitola (m)	1,6
Comprimento (m)	9,5
Largura (m)	5,13
Área (m ²)	84,66
Número de vãos	1



Número de apoios	2
Classe ambiental	CAA-3
Gabarito vertical (m)	3,6
Gabarito horizontal (m)	5,13
Aparelho de apoio	Chapa metálica

2.2 Plano de manutenção do ativo

Aplicando-se o plano de manutenção com base na gestão de ativos da corporação, foram designadas manutenções preditivas e corretivas em tais ativos de forma a manter e prolongar seu tempo de vida útil, proporcionando assim o melhor desempenho na circulação de trens.

Para as OAEs 01 e 02, a substituição dos aparelhos de apoio foi necessária e fez parte do projeto de obra de manutenção entre outras atividades.

Optou-se pela substituição por aparelhos de apoio em neoprene fretado devido a sua aplicabilidade em sua instalação, resistência à intempéries e viabilidade econômica.

Um das principais e mais desafiadoras etapas da manutenção e a remoção dos aparelhos de apoio originais, na qual é necessário macaquear a estrutura e demolir parte dos seus apoios, de forma a permitir cortar os seus vínculos e conexões, como pinos, chumbadores e engastes, cortar as chapas de apoio e descolar o disposto da mesoestrutura da OAE sem danificar a estrutura.

Já a instalação dos novos aparelhos, que normalmente são concebidos em fábricas requer confecção de novos berços nivelados para receber as cargas da OAE. Tais berços são reforçados com armações em aço para garantir a resistência das cargas estáticas e a propriedade de absorver as cargas dinâmicas da OAE.

Esta etapa também é desafiadora, para concretagem dos berços é necessário demolição dos apoios do encontro de forma a manter toda a estrutura operacional. E ainda requer técnicas que permitem o preparo rápido de massa de concreto e chumbamento das armaduras sem também comprometer a circulação das composições.

Assim, deve-se planejar estas etapas criteriosamente de forma a permitir o comprimento do projeto com menor impacto possível na operação, garantir a segurança dos trabalhos e a qualidade da execução e projeto. No item seguinte será detalhado a metodologia aplicada para esta operação.

2.3 Metodologia de substituição dos aparelhos de apoio

A metodologia de toda esta operação será dividida em duas etapas, a de projeto e de execução. Na etapa de projeto, sendo esta a primeira, é onde detalha-se a solução aplicada na substituição com os dados de entrada reais da estrutura de forma prever toda a atividade sem impacto na operação de trens.

Além do projeto de substituição dos apoios deve-se também abordar desde os materiais utilizados, levantamentos geométricos, dimensionamento dos equipamentos a serem



utilizados, parâmetros de controle e planejamento, como também as cargas envolvidas e cotas de elevação e de limite de via permanente.

Já a metodologia de execução abordar as premissas necessárias para realizar a atividade com qualidade e segurança, como também o planejamento e cronograma de todo processo, aplicação dos checklists de liberação, monitoramento e aceitação dos serviços.

A seguir apresenta-se a metodologia de projeto e execução de substituição de aparelhos de apoio.

2.3.1 Metodologia de projeto substituição dos aparelhos de apoio

- I.** Aferição das cargas de projetos, estática e dinâmica.
- II.** Levantamento dimensional da estrutura e dos apoios.
- III.** Levantamento das interferências externas através dos seguintes pontos:
 - a.** Existência elementos de terceiros anexa às estruturas da OAE, dutos, instalações ou estruturas;
 - b.** Elementos de terceiros sobre a OAE ou na via permanente;
 - c.** Espaço para execução de consoles, apoios provisórios para macaqueamento, escoras e cimbramentos.
- IV.** Levantamento das interferências internas através dos seguintes pontos:
 - a.** Altura entre a cota de base do berço e via permanente para dimensionamento dos novos aparelhos de apoio.
 - b.** Existência de componentes secundários da estrutura da mesoestrutura/superestrutura como contraventamentos, diagonais, chapas, vigas e chumbadores.
- V.** Levantamento das premissas de via permanente, como cota de elevação e limite de flexão, de forma a evitar qualquer intervenção de via.
- VI.** Dimensionamento dos aparelhos de apoio e conferência da disposição real de espaço para sua locação no novo berço, sem impacto na estrutura da ponte e via permanente.
- VII.** Dimensionamento dos berços armados em aço em graute cimentício de alta resistência inicial.
- VIII.** Dimensionamento do volume de concreto a demolir e procedimento de acordo com disposição real do local, prever uso de técnica de usinagem abrasiva de alta precisão como o corte por fio diamantado.
- IX.** Dimensionamento dos elementos de apoio para macaqueamento na estrutura macaqueada: Orelhas metálicas, enrijecedores, vigas transversinas ou consoles.
- X.** Dimensionamento dos elementos de apoio para macaqueamento na estrutura de reação: Consoles, escoras, cimbramentos e chapas.
- XI.** Especificação das cargas de elevação.
- XII.** Dimensionamento dos macacos hidráulicos.
- XIII.** Planejamento do tempo do processo de forma não interromper a circulação.



2.3.2 Metodologia de execução substituição dos aparelhos de apoio

- I. Levantamento topográfico e definição das cotas de monitoramento;
- II. Verificação das informações de projeto em congruência com as disposições reais da obra;
- III. Conferência das interferências internas e externas, caso ainda exista elaborar projeto para readequação;
- IV. Locação dos novos apoios e dos elementos estruturais de apoio para macaqueamento;
- V. Conferência da locação dos novos aparelhos de apoio e verificar sua acomodação total em novo berço e encontro;
- VI. Verificação da locação dos chumbadores das chapas dos aparelhos de apoios e se há interferência com elementos estruturais da OAE.
- VII. Verificação da altura do novo aparelho de apoio e se não há interferência das cotas de via permanentes;
- VIII. Definição se haverá necessidade de intervalos operacionais;
- IX. Definição do tipo de escoramento e calçamento e se há espaço para toda estrutura provisória;
- X. Seleção de materiais necessários;
- XI. Planejamento detalhado de todo processo e elaboração de cronograma minuto a minuto em caso de intervalos;
- XII. Aplicação de check lists de segurança e qualidade para liberação e de monitoramento da atividade;
- XIII. Procedimento de aceitação e validação da estrutura pós atividade;
- XIV. Levantamento topográfico final para aferição das cotas de monitoramento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Aplicando-se as metodologias nas OAE 01 e 02 tem as seguintes definições.

- OAE 01
 - Definição de tipo de intervalos: Sem intervalos.
 - Estrutura de apoio para macaqueamento: Enrijecedor de diafragma da estrutura da ponte nos encontros 01 e 02.
 - Estrutura de reação para macaqueamento: Chapas metálicas apoiadas no próprio encontro.
 - Definição de calços: Chapas metálicas no próprio encontro.
- OAE 02
 - Definição de tipo de intervalos: Sem intervalos.
 - Estrutura de apoio para macaqueamento: Vigas transversinas no eixo dos apoios.
 - Estrutura de reação para macaqueamento: Chapas metálicas apoiadas no próprio encontro.
 - Definição de calços: Chapas metálicas no próprio encontro e cimbramento auxiliar em toda estrutura.

Na figura 1 apresenta-se as imagens de todo processo na OAE 01 e na figura 02 as imagens de todo o processo na OAE 02.



A: Vista do enrijecedores de apoio



B: Corte por fio diamantado.



C: Retirada da demolição.



D: Retirada dos aparelhos de apoio originais.



E: Armação dos berços.



F: Graute de alta resistência inicial.



G: Novo aparelho de apoio.



Figura 1 – Etapas de A a G do processo de substituição dos aparelhos de apoio da OAE 01

A: Transversina de apoio



B: Macaqueamento e calços



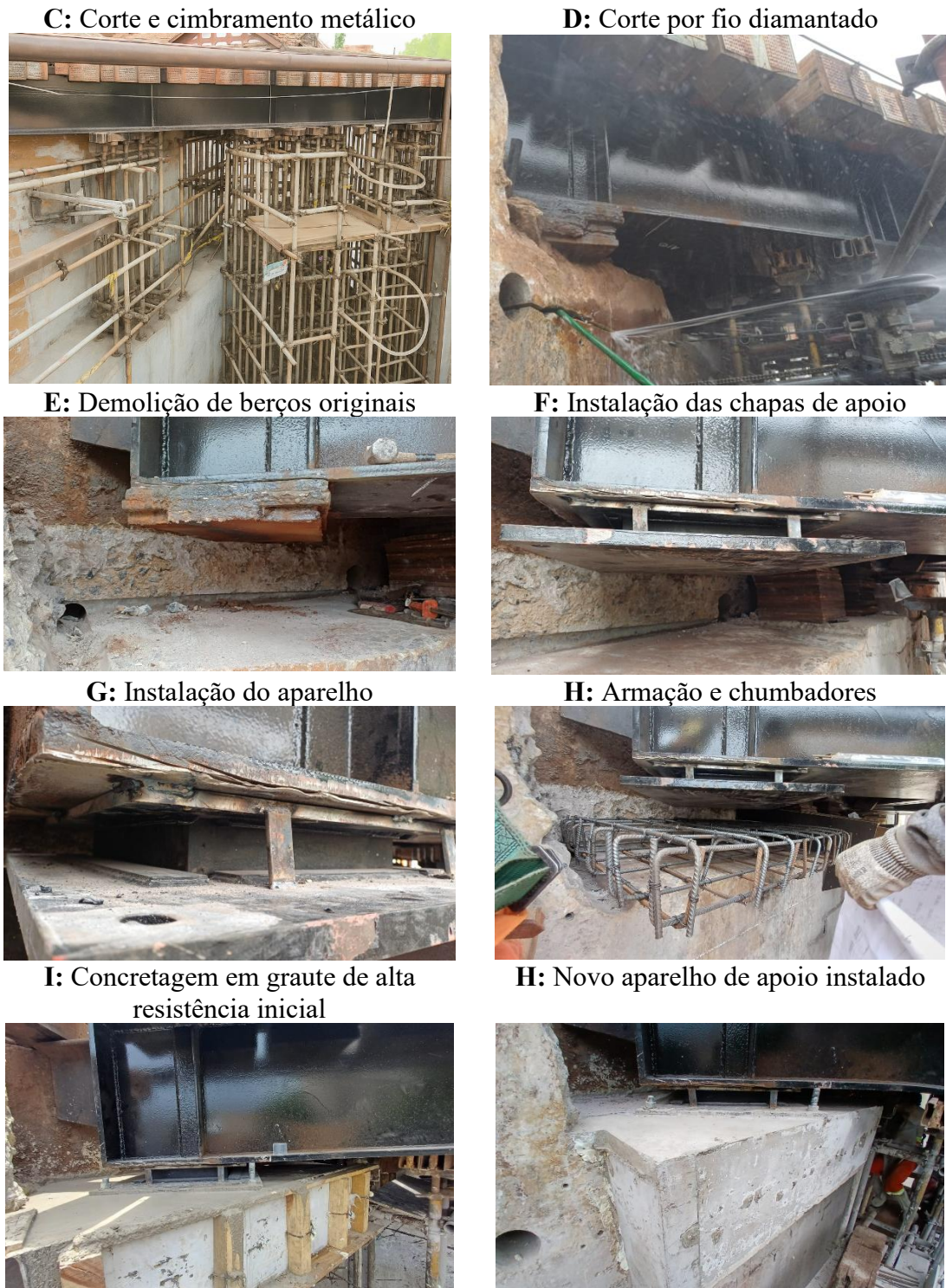


Figura 2 – Etapas do processo de substituição dos aparelhos de apoio da OAE 02

A aplicação da metodologia para ambas as OAEs permitiu completa substituição dos aparelhos de apoio com segurança e qualidade sem qualquer impacto na operações de circulação de trens. Em uma aplicação corriqueira desta atividade, usa-se por convecção o conjunto de intervalos operacionais que somam o total de 24 h para cada OAE. O uso desta metodologia suprimiu tais horas de interrupções na circulação de trens.



4. CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo primordial demonstrar a viabilidade e a eficácia da substituição de aparelhos de apoio em pontes ferroviárias sem a interrupção das operações, um desafio significativo na engenharia de manutenção de infraestruturas críticas. Através da análise e aplicação de uma metodologia específica em dois casos reais – as Obras de Artes Especiais (OAEs) 01 e 02 – os resultados obtidos corroboram de forma inequívoca esta premissa.

Para a OAE 01 a metodologia permitiu a substituição integral dos aparelhos de apoio sem a necessidade de quaisquer intervalos operacionais. Os procedimentos que envolveram o uso de enrijecedores de diafragma da estrutura da ponte para macaqueamento e chapas metálicas de reação no próprio encontro, juntamente com calços de chapas metálicas, foram efetivamente aplicados e resultaram na conclusão da obra com segurança e qualidade, preservando a circulação ininterrupta dos trens.

De maneira similar na OAE 02 os resultados foram igualmente bem-sucedidos. A aplicação da metodologia que incluiu vigas transversinas para macaqueamento, chapas metálicas de reação e um cimbramento auxiliar em toda a estrutura, também viabilizou a substituição completa dos aparelhos de apoio sem a interrupção do tráfego ferroviário.

A capacidade de realizar estas intervenções complexas suprimiu as aproximadamente 24 horas de interrupção operacional que seriam tipicamente necessárias para cada OAE, uma quantificação direta do sucesso da abordagem.

Estes resultados concretos demonstram que a aplicação de uma metodologia rigorosa e detalhada, que engloba um planejamento exaustivo de projeto e uma execução meticulosa, é capaz de otimizar significativamente os processos de manutenção.

O sucesso em ambas as OAEs prova que a manutenção preventiva de aparelhos de apoio pode ser conduzida de forma eficiente e segura, prolongando a vida útil das estruturas sem comprometer a funcionalidade e a disponibilidade da infraestrutura ferroviária.

A principal conclusão, portanto, é a validação prática de que intervenções críticas de engenharia em ferrovias podem ser executadas com mínima ou nenhuma interrupção operacional, estabelecendo um novo padrão para a gestão e a resiliência de ativos ferroviários.

5. REFERÊNCIAS

BRAGANÇA, C. S. C. **Desenvolvimento de metodologias para a identificação de danos em pontes ferroviárias com base em monitoramento indireto e aprendizado de máquina.** 2023. Projeto de Doutorado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

CORDEIRO, J. G. P. **Aparelhos de apoio em pontes: vida útil e procedimentos de substituição.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2014.

LAN, R. O. Aparelhos de apoio fretado de neoprene: uma revisão. **Revista Tecnologia**, [S. l.], v. 41, n. 1, p. 1-10, 2020.



MELO, L. R. T. **Estudo de efeitos dinâmicos de pontes ferroviárias considerando interação veículo-estrutura.** 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

VIDAL, M. **Aparelhos de apoio em pontes.** 2017. Trabalho Acadêmico – Centro Universitário Luterano de Santarém, Santarém, 2017.

REPLACEMENT OF SUPPORT DEVICES IN RAILWAY BRIDGES: CASE STUDIES AND BEST PRACTICES FOR PREVENTIVE MAINTENANCE WITHOUT OPERATIONAL IMPACTS

ABSTRACT

Effective maintenance of railway bridges is crucial for the safety, efficiency, and longevity of transportation infrastructures. This article aims to present the methodology applied in two real cases of bearing device replacement in railway bridges, outlining best practices and rigorous safety and quality controls. The methodology involved a detailed review of each case, analyzing replacement procedures and strategies to minimize operational impacts. The study details the design and execution approaches for both bridges, which adopted confined neoprene bearings, coupled with specific lifting techniques and shims for each structure. The results demonstrated that replacements were conducted without significant operational impacts, showcasing engineering's capability to execute complex interventions with minimized interruptions and ensure service continuity, thereby eliminating typical operational downtime per structure. The conclusions offer valuable recommendations for future maintenance actions, underscoring the importance of detailed planning, the application of appropriate technologies, and procedures that ensure both structural integrity and uninterrupted railway operation..

Keywords: *Railway bridges, bearing devices, preventive maintenance, case studies, operational continuity, structural lifespan.*