



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

TÍTULO: A IMPORTÂNCIA E OS MÉTODOS PARA SUBSTITUIÇÃO DE APARELHOS DE APOIO ELASTOMÉRICOS COM ABORDAGEM DAS CONTRIBUIÇÕES TÉCNICAS COMPLEMENTARES UTILIZADAS NA PRESERVAÇÃO E LONGEVIDADE DE PONTES E VIADUTOS.

Matheus Amorim Zimerer
Marcelo Cavalcante da Silva
Universidade São Francisco
mazimerer@uol.com.br

¹Aluno Matheus Amorim Zimerer do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista

²Professor Orientador Marcelo Cavalcante Da Silva, Curso de Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista.

Resumo: O objetivo deste documento é enfatizar como a substituição dos aparelhos de apoio elastoméricos em pontes e viadutos é vital para a manutenção e preservação da infraestrutura viária. Este estudo aborda a importância desses aparelhos e seus métodos de substituição, bem como técnicas e procedimentos complementares, com foco na redução de danos provocados pelo uso contínuo e pelo tempo. A compreensão destas práticas é essencial para garantir a longevidade das estruturas e atender às demandas da sociedade.

Este trabalho examina detalhadamente esses métodos, técnicas e procedimentos complementares, destacando sua contribuição para a preservação e longevidade das pontes e viadutos. Isso é de grande relevância para a engenharia civil e é crucial para o desenvolvimento sustentável da infraestrutura viária, atendendo às crescentes demandas da sociedade por estruturas confiáveis e seguras.

Palavras-chave: Aparelhos de Apoio Elastoméricos, Pontes e Viadutos, Substituição, Preservação, Longevidade

Abstract: The objective of this document is to emphasize the importance of replacing elastomeric support devices in bridges and viaducts for the maintenance and preservation of the road infrastructure. This study addresses the significance of these devices and their replacement methods, as well as complementary techniques and procedures, with a focus on reducing damage caused by continuous use and the passage of time. Understanding these practices is essential to ensure the longevity of the structures and meet the demands of society.

This work thoroughly examines these methods, techniques, and complementary procedures, highlighting their contribution to the preservation and longevity of bridges and viaducts. This is of great relevance to civil engineering and is crucial for the sustainable development of road infrastructure, addressing society's increasing demands for reliable and safe structures.

Keywords: Elastomeric Bearing Devices, Bridges and Viaducts, Replacement, Preservation, Longevity

1. Introdução

Ao longo da história, as pontes têm sido elementos essenciais na conectividade e mobilidade das comunidades. Desde as antigas pontes de pedra até as modernas estruturas de concreto e aço, essas construções evoluíram para atender às crescentes demandas de uma sociedade em constante crescimento. No entanto, essa evolução também trouxe desafios, especialmente em relação à manutenção e preservação dessas infraestruturas. (IPT/SP, 2019).

Ao longo do tempo e devido à exposição contínua a cargas, intempéries e movimentos naturais, os aparelhos de apoio elastoméricos, responsáveis por sustentar pontes e viadutos e atuando como amortecedores entre os pilares e as vigas para aliviar os esforços estruturais, podem inevitavelmente sofrer desgaste e degradação. Este processo pode comprometer significativamente a funcionalidade dessas estruturas, tornando-as potencialmente inseguras para o uso público.

A preservação de pontes e viadutos desempenha um papel fundamental na engenharia civil, uma vez que essas estruturas são cruciais para a mobilidade e conectividade. Portanto, é essencial compreender não apenas os métodos de substituição, mas também as técnicas complementares que minimizam os danos.

Portanto, este estudo científico tem como objetivo explorar a importância fundamental desses aparelhos de apoio, os métodos envolvidos em sua substituição e as técnicas e procedimentos complementares necessárias para garantir a segurança, integridade e longevidade dessas **Obras de Arte Especiais**¹ da engenharia civil. (DNIT, 2019)

Além disso, esta pesquisa visa examinar como a substituição dos aparelhos de apoio elastoméricos impacta na preservação de pontes e viadutos, abrangendo aspectos técnicos, econômicos e ambientais. Compreender as práticas para essa troca de componentes e as tecnologias complementares que podem ser aplicadas em conjunto é de importância fundamental para garantir que essas infraestruturas continuem a cumprir seu papel crucial na sociedade.

Para promover a eficácia dessa abordagem abrangente, é necessário estabelecer uma colaboração interdisciplinar, envolvendo engenheiros, economistas e especialistas em meio ambiente (Johnson et al., 2022). Esta sinergia entre diferentes áreas proporciona uma análise mais abrangente, que não apenas considera as questões técnicas, mas também avalia os custos envolvidos e os potenciais impactos ambientais.

No contexto atual da engenharia civil, a prática da substituição de aparelhos de apoio elastoméricos ganha significativa relevância à medida que as infraestruturas envelhecem e enfrentam desafios decorrentes das mudanças climáticas e da intensificação do uso. Ao proporcionar aprimoramentos na capacidade de carga e na estabilidade estrutural, a substituição de aparelhos de apoio emerge como uma solução estratégica que depende de uma série de procedimentos obrigatórios com o objetivo principal de prolongar a vida útil de pontes, viadutos e outras estruturas cruciais na promoção da sustentabilidade a longo prazo das infraestruturas.

¹ **Obras de Arte Especiais** - Na construção civil é usado o jargão técnico de Obras de Arte Especiais (OAEs) para grandes construções de infraestrutura: pontes, rodovias, viadutos, túneis, ferrovias etc. Geralmente essas obras são destinadas a estruturar ou fortalecer redes viárias, circulações de pessoas, produtos e veículos. (DNIT, 2019)

2. Levantamento Bibliográfico

As pontes e viadutos representam uma parte significativa das infraestruturas de transporte, desempenhando o papel crucial de possibilitar a travessia de obstáculos naturais ou vias urbanas. Essas construções enfrentam uma ampla gama de desafios externos, incluindo a carga dinâmica de veículos, influências do vento, exposição à ação de águas fluviais e flutuações de temperatura. Além disso, a escolha de materiais e técnicas de construção deve levar em consideração as diferentes classes de agressividade ambiental, conforme estabelecido nas diretrizes da ABNT NBR 6118 (2014).

É fundamental que, ao planejar e implementar a substituição de componentes estruturais em pontes e viadutos, se leve em conta não apenas a funcionalidade imediata, mas também a sustentabilidade a longo prazo. Investimentos em tecnologias de monitoramento contínuo, manutenção preventiva e materiais de alta durabilidade desempenham um papel crucial na garantia da integridade dessas infraestruturas ao longo do tempo (Smith et al., 2019).

O termo "patologia," derivado das palavras gregas "páthos" (doença) e "lógos" (estudo), é amplamente empregado em diversas áreas da ciência, variando em suas definições de acordo com o campo de atuação (Silva, 2011). Na engenharia, a patologia assume uma relevância particular na área de reabilitação e conservação de várias estruturas.

No contexto das pontes e viadutos, as patologias referem-se a defeitos, danos e deterioração que, ao longo do tempo, impactam negativamente a integridade e o desempenho dessas estruturas. Entre as causas dessas patologias, o envelhecimento dos aparelhos de apoio elastoméricos emerge como um fator crítico (Smith, 2018). À medida que esses dispositivos envelhecem, eles podem perder suas propriedades elásticas, capacidade de absorver impactos e resistência à compressão, o que pode resultar em falhas estruturais e, conseqüentemente, em patologias (Brito et al., 2017).

A influência das patologias na longevidade das pontes e viadutos é considerável. A negligência no tratamento adequado e oportuno dessas questões pode acelerar a degradação das estruturas, encurtando sua vida útil e aumentando os custos associados à manutenção e recuperação estrutural.

Portanto, é fundamental adotar medidas proativas, como a substituição regular dos aparelhos de apoio elastoméricos, juntamente com avaliações precisas e estratégias eficazes de reparo e conservação, a fim de garantir a durabilidade dessas infraestruturas críticas (Frangopol et al., 2002).

A importância da avaliação do estado de conservação dos aparelhos de apoio é fundamental para assegurar o desempenho eficaz e a durabilidade das estruturas (Lima et al., 2019). Essa análise minuciosa desempenha um papel crucial na identificação de potenciais problemas que podem afetar adversamente a integridade das estruturas ao longo do tempo.

Para avaliar o estado de conservação dos aparelhos de apoio em estruturas, é essencial levar em consideração diversos fatores críticos. Essa análise abrangente não se limita apenas aos aspectos técnicos, mas também incorpora aspectos econômicos e ambientais.

Primeiramente, é crucial identificar os diferentes tipos de aparelhos de apoio presentes, tais como aparelhos fixos, móveis, elastoméricos, de chumbo e teflon. Cada tipo possui características distintas que afetam diretamente a capacidade da estrutura de suportar cargas e deformações.

Além disso, a textura, dimensões e o posicionamento dos aparelhos em relação aos apoios e à infraestrutura da estrutura são aspectos que requerem atenção minuciosa.

A compatibilidade dos aparelhos com as deformações externas e internas da estrutura, juntamente com deformações residuais e excentricidades em relação ao posicionamento projetado, também são elementos críticos a serem avaliados.

O estado de conservação dos aparelhos é de extrema importância, abrangendo aspectos como corrosão, ataque de agentes agressivos, deformação angular, ressecamento da borracha, fissuras nas articulações, esmagamentos e deformações incompatíveis.

Por fim, é necessário considerar a influência da protensão, uma vez que essa força adicional pode afetar significativamente o desempenho dos aparelhos de apoio (Johnson et al., 2022).

3. Materiais e Métodos

Sempre que uma inspeção detectar que os aparelhos de apoio não estão mais funcionando de forma eficaz, é essencial iniciar o processo de substituição desses componentes.

O objetivo é garantir que os novos aparelhos transmitam os esforços de acordo com as especificações do projeto da ponte, mantendo a segurança e o desempenho estrutural.

A substituição geralmente envolve uma operação conhecida como "macaqueamento", que é uma prática estabelecida em engenharia de pontes (Neoprex, 2021). Em projetos de novas pontes e viadutos, é obrigatório incorporar consoles na estrutura, localizados sob os apoios das vigas. Esses consoles são projetados para acomodar macacos hidráulicos, que têm a função de elevar a superestrutura. Isso permite a remoção dos aparelhos antigos e a instalação dos novos de maneira segura e eficiente.

No projeto das formas de uma estrutura, é fundamental indicar com precisão a localização dos pontos onde os macacos serão posicionados. Além disso, é necessário incluir instruções detalhadas sobre as condições de utilização das pistas ou os limites de carregamento da estrutura durante o processo de substituição. Essas diretrizes visam garantir a segurança e eficácia do procedimento.

A previsão de troca dos aparelhos de apoio geralmente resulta na criação de nichos embutidos na estrutura, cujas dimensões variam de acordo com a carga para a qual são projetados. Durante o planejamento da substituição, é crucial verificar a estrutura para determinar o levantamento necessário, que é geralmente de 1,3 a 1,5 vezes o recalque previsto para o aparelho. Isso deve ser acrescido de uma margem que permita a remoção adequada dos aparelhos.

Normalmente, o valor a ser considerado no projeto devido a esse levantamento não ultrapassa 20 mm, embora um aumento de 10 mm no nível da estrutura possa ser suficiente para a remoção dos aparelhos. É importante destacar que, durante esse processo, é essencial prever se as armaduras são adequadas e verificar todos os elementos estruturais, conforme mencionado anteriormente.

É crucial seguir as orientações detalhadas em conformidade com as normas e regulamentos aplicáveis, garantindo a segurança e a eficácia da operação de substituição de aparelhos de apoio (Catálogo Neoprex, página 56).

Para obras mais antigas que passam por processos de alargamento e reforço, é necessário adicionar consoles adicionais, geralmente nos pilares existentes. Isso é fundamental para facilitar a substituição dos aparelhos de apoio, garantindo a integridade da estrutura.

A instalação de consoles em pilares de pontes e viadutos é um procedimento crítico para permitir a substituição de aparelhos de apoio e garantir a integridade estrutural das obras. Os consoles podem ser feitos de diversos materiais, como metais, concreto armado ou concreto protendido, e podem envolver o uso de barras rosqueadas para ancoragem. A seguir, será explicado o processo de instalação desses consoles.

3. Dimensionamento para Macaqueamento e Procedimentos Complementares

Após a solicitação da troca dos aparelhos de apoio, é fundamental basear-se nos projetos existentes para considerar os cuidados relacionados à armadura e aos pontos de apoio para o macaqueamento estrutural. A operação de substituição deve ser cuidadosamente estudada e planejada.

No processo de planejamento e dimensionamento para o macaqueamento e procedimentos complementares, é fundamental ressaltar a importância dos passos necessários para realizar com êxito essa operação. Isso inclui não apenas o projeto e dimensionamento dos consoles, mas também a remoção de obstáculos, como juntas de dilatação ou lajes de transição, ou até detritos que podem bloquear causando atrito e impedindo o alteamento da estrutura.

O planejamento deve abordar como essas etapas estão interligadas, uma vez que a remoção eficaz de obstáculos é crucial para permitir que a estrutura se mova adequadamente durante o macaqueamento. Qualquer atrito ou bloqueio pode impedir o deslocamento necessário para a retirada dos aparelhos de apoio, tornando essas etapas essenciais para o sucesso da operação de substituição. Portanto, o projeto e dimensionamento devem ser realizados considerando os requisitos estruturais, as cargas envolvidas e a remoção de quaisquer obstáculos que impeçam o movimento adequado da estrutura.

3.1. Perfuração do Pilar

Em situações que demandam a utilização de barras rosqueadas, a fase de perfuração do pilar é uma etapa crítica, requerendo atenção especial para garantir a eficácia e a segurança do processo. Durante essa etapa, é imperativo seguir cuidados específicos para assegurar a integridade estrutural do pilar e o correto ancoramento das barras rosqueadas.

Antes de iniciar a perfuração, é crucial realizar um estudo detalhado da estrutura do pilar. Isso inclui a identificação da localização de armaduras existentes e a análise das condições gerais do concreto, visando preservar a integridade da estrutura durante e após o processo.

A profundidade e o diâmetro dos furos devem ser precisamente determinados de acordo com as especificações do projeto. Isso requer uma avaliação cuidadosa das cargas previstas e das características das barras rosqueadas a serem instaladas, garantindo uma ancoragem robusta e eficiente.

A seleção e utilização de equipamentos apropriados são fundamentais para o sucesso da perfuração. Brocas específicas, ajustadas ao tipo de concreto e às dimensões necessárias, devem ser escolhidas para garantir a qualidade dos furos e evitar danos à estrutura.

Medidas devem ser implementadas para controlar as vibrações e a produção de poeira durante a perfuração. Isso não apenas protege a integridade da estrutura adjacente, mas também contribui para a segurança dos trabalhadores e minimiza potenciais impactos ambientais.

Durante o processo, é essencial realizar verificações contínuas para garantir que a perfuração esteja ocorrendo conforme o planejado. Isso envolve a monitorização da precisão da localização, profundidade e diâmetro dos furos, assegurando a conformidade com as especificações do projeto.

Após a conclusão da perfuração, a remoção eficiente de detritos é vital. Isso não apenas prepara o local para a instalação das barras rosqueadas, mas também evita possíveis interferências que poderiam comprometer a ancoragem e a eficácia do processo.

Antes de prosseguir com a instalação das barras rosqueadas, é aconselhável realizar testes preliminares para verificar a qualidade dos furos. Esses testes podem incluir inspeções visuais, medições de profundidade e diâmetro, assegurando que as condições ideais foram alcançadas.

3.2. Fixação dos Consoles

A etapa de fixação dos consoles representa um ponto crucial no processo de substituição dos aparelhos de apoio elastoméricos, sendo necessário empregar métodos precisos para garantir uma ancoragem segura e eficiente.

Antes da instalação de qualquer tipo de console, o pilar existente deve ser adequadamente preparado. Além da limpeza da superfície e, em alguns casos, da remoção do concreto danificado ou de qualquer corrosão existente na superfície da peça, é fundamental considerar a necessidade de supersaturar os pilares com água. Isso envolve o processo de molhagem dos pilares, garantindo que absorvam água suficiente para evitar trincas rente à ligação, especialmente em casos de uso de barras rosqueadas e concreto armado.

Além disso, ao realizar os estudos preliminares, é crucial analisar os projetos existentes para verificar a armadura já presente nos pilares. Essa verificação é essencial para preservar a integridade da armadura e garantir que a operação de substituição ocorra de maneira eficaz e segura.

A escolha do método de fixação deve ser orientada pelo tipo de console utilizado. No caso de consoles metálicos, a soldagem é uma opção viável, proporcionando uma conexão robusta e durável. Para consoles de concreto, o uso de epóxi de alta resistência é preferencial, garantindo uma ligação sólida com a estrutura.

Adicionalmente, durante o processo de fixação, é fundamental realizar verificações periódicas para garantir a correta aderência dos consoles aos pilares. Isso inclui a avaliação da distribuição de carga e a detecção de eventuais pontos de tensão que possam comprometer a eficácia da fixação a longo prazo. Essa atenção aos detalhes é crucial para assegurar não apenas a estabilidade imediata, mas também a durabilidade e segurança contínuas da estrutura após a substituição dos aparelhos de apoio.

3.3. Soldagem de Consoles Metálicos

No processo de soldagem, é imperativo empregar técnicas adequadas para evitar distorções e danos à estrutura. A qualificação dos soldadores e a conformidade com as normas de soldagem são essenciais para assegurar a integridade da ligação. Além disso, é fundamental realizar inspeções visuais e, quando necessário, ensaios não destrutivos para verificar a qualidade das soldas.

Figura 1 – Console metálico



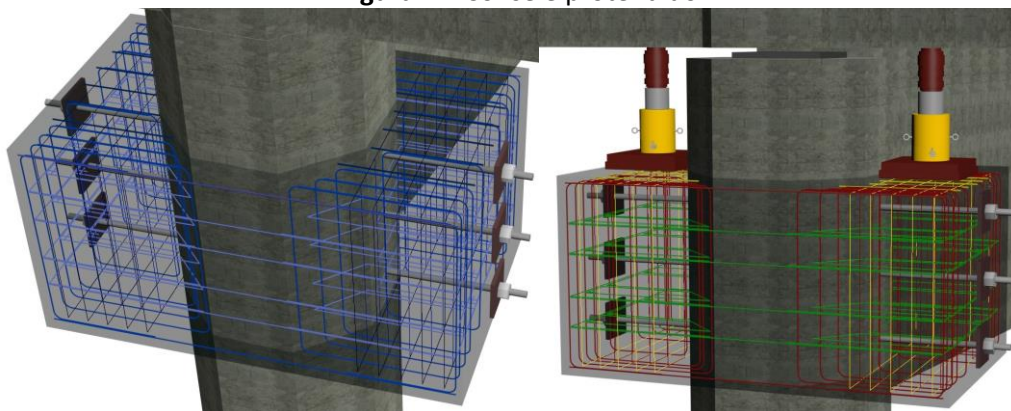
Fonte: Autor, 2023, Píer Cattaline, Porto de Paranaguá / PR

Na fixação de consoles de concreto, a aplicação de epóxi de alta resistência demanda atenção especial à preparação da superfície. A limpeza adequada e a remoção de resíduos são cruciais para garantir uma aderência eficaz. Certifique-se de seguir as especificações do fabricante quanto à aplicação do epóxi, incluindo temperatura e tempo de cura.

3.4. Fixação com Barras Rosqueadas

Em determinadas situações, a fixação das barras rosqueadas nos furos previamente perfurados é adotada. Após a inserção das barras, a protensão subsequente é essencial para garantir uma ancoragem firme. Controle preciso da protensão e verificação da conformidade com as cargas previstas são etapas críticas.

Figura 2 – Console protendido



Fonte: Autor, 2023, Ilustração em 3D

Independentemente do método escolhido, é crucial garantir o alinhamento e o posicionamento precisos dos consoles. Isso contribui não apenas para a estabilidade estrutural, mas também para a eficácia da operação como um todo. A utilização de gabaritos e dispositivos de posicionamento pode ser considerada para assegurar uma instalação correta.

3.5. Verificação da Conformidade com Normas

Todo o processo de fixação deve estar em conformidade com as normas e regulamentos aplicáveis. Certifique-se de que os materiais utilizados, os métodos empregados e os procedimentos adotados atendam aos padrões estabelecidos pela engenharia estrutural e pelas diretrizes normativas.

Após a fixação dos consoles, a realização de testes de carga é recomendada para verificar a resistência e estabilidade da conexão. Esses testes proporcionam a validação prática da eficácia do método escolhido, assegurando a segurança e o desempenho da estrutura.

A proteção contra corrosão e a manutenção adequada dos consoles e das barras rosqueadas, se aplicáveis, são cruciais para garantir a durabilidade do sistema ao longo do tempo.

É importante mencionar que a instalação de consoles em pilares de pontes e viadutos requer conhecimento técnico especializado e deve ser realizada de acordo com as normas e regulamentações pertinentes (ACI, 2019; AASHTO, 2020). Essas medidas visam garantir a segurança e a eficácia da instalação, contribuindo para a preservação de pontes e viadutos.

3.6. Substituição e Dimensionamento de Aparelhos de Apoio

No contexto da substituição de aparelhos de apoio elastoméricos, a etapa de dimensionamento assume uma relevância crucial para assegurar não apenas a eficácia da substituição, mas também a adaptabilidade da estrutura às demandas crescentes ao longo do tempo. Abaixo, são apresentadas as normas e cuidados essenciais para o dimensionamento de aparelhos de apoio, considerando os desafios adicionais impostos pelo aumento do tráfego e do peso de veículos de carga.

Ao introduzir novos aparelhos de apoio, é imperativo considerar os desafios impostos pelo aumento do tráfego e pela presença de veículos mais pesados. A estrutura original pode não ter sido inicialmente projetada para suportar tais cargas, e, portanto, a inserção de novos aparelhos deve levar em conta esses fatores adicionais. A avaliação cuidadosa das cargas futuras é essencial para evitar sobrecargas e garantir a segurança a longo prazo.

A verificação adequada de aparelhos de apoio é um procedimento essencial para garantir a segurança e eficácia das estruturas. Embora tabelas de pré-dimensionamento possam oferecer uma orientação inicial, é crucial destacar que a utilização dessas tabelas não isenta o engenheiro projetista da responsabilidade de realizar uma verificação completa do aparelho.

Inicialmente, consulte tabelas de pré-dimensionamento disponíveis para obter estimativas iniciais. Essas tabelas oferecem diretrizes para diferentes tipos de aparelhos de apoio, levando em consideração variáveis como carga, tipo de estrutura e condições específicas.

A utilização das tabelas de pré-dimensionamento é um ponto de partida, mas não substitui a verificação completa. O engenheiro projetista deve realizar cálculos detalhados considerando as especificidades do projeto, levando em conta variáveis como carga permanente, carga variável, tipo de material e geometria do aparelho.

Para garantir padrões internacionais de segurança e desempenho, é fundamental realizar as verificações de acordo com a Euronorma EN 1337. Essa norma estabelece critérios específicos para o dimensionamento de aparelhos de apoio, abrangendo aspectos como resistência mecânica, durabilidade e funcionalidade.

Deve se levar em consideração a verificação às variáveis específicas do projeto, como tipo de carga predominante, condições ambientais, e características da estrutura de suporte.

Além da resistência mecânica, é crucial analisar a resiliência do aparelho de apoio e sua capacidade de absorver deformações, especialmente em situações de carga extrema.

É de extrema importância registrar e documentar todos os cálculos, verificações e decisões tomadas durante os processos de dimensionamento. Isso é essencial para auditorias, revisões e para assegurar a rastreabilidade do projeto.

É crucial reconhecer que estruturas antigas podem não ter sido projetadas para suportar as demandas crescentes da atualidade. O aumento do tráfego e o peso adicional de veículos mais modernos impõem esforços adicionais à estrutura.

Durante o dimensionamento, leve em consideração não apenas as cargas atuais, mas também os possíveis cenários futuros, garantindo que os aparelhos de apoio dimensionados estejam preparados para enfrentar desafios de longo prazo.

3.7. Métodos de Macaqueamento Estrutural na Substituição de Aparelhos de Apoio

Existem diferentes abordagens para o macaqueamento estrutural na substituição de aparelhos de apoio, cada uma com suas características específicas. Entre esses métodos, dois se destacam pela sua eficácia e aplicabilidade.

3.7.1. Método Tradicional - Liberação do Tabuleiro

No método tradicional de elevação de estruturas, a prioridade é a liberação integral do tabuleiro para movimentação, uma operação que vai além da simples substituição dos aparelhos de apoio.

Começamos removendo elementos restritivos, como juntas de dilatação e lajes de transição, permitindo um deslocamento fluido do tabuleiro e criando espaço adequado para a execução do procedimento.

Durante o sensível processo de elevação, ajustamos cuidadosamente a altura para superar o recalque existente e atingir a elevação necessária para a substituição do aparelho de apoio. Essa etapa exige uma precisão notável, considerando as características específicas da estrutura e a necessidade imperativa de manutenção para assegurar a estabilidade futura.

É crucial realizar verificações metódicas dos limites de pressões e forças aplicadas ao longo de toda a operação. Essas verificações são fundamentais para garantir a integridade estrutural e evitar possíveis danos decorrentes de cargas excessivas, reforçando, assim, o compromisso com a segurança.

Além disso, a avaliação do ambiente local desempenha um papel preponderante no sucesso da operação, especialmente quando se trata da interrupção do tráfego. Vale destacar

que caso a estrutura não esteja interditada durante a manutenção, o tráfego é obrigatoriamente interrompido apenas durante o procedimento de macaqueamento para a substituição dos aparelhos de apoio, a fim de evitar acidentes decorrentes das elevações da estrutura presentes durante o procedimento.

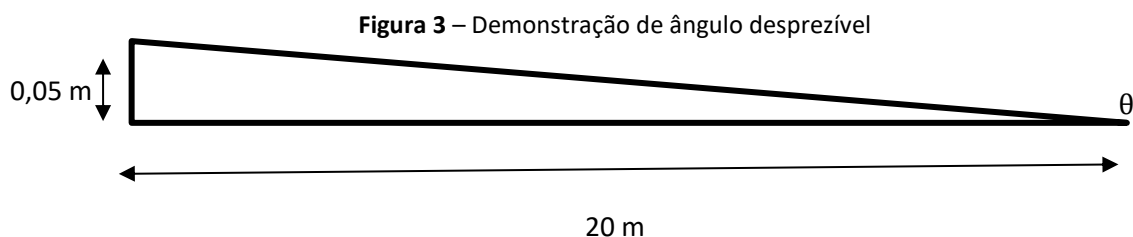
A presença de tráfego e as condições ambientais devem ser minuciosamente consideradas, com a identificação de variáveis externas permitindo ajustes no plano de elevação. Isso não apenas promove a eficácia na troca do aparelho de apoio, mas também garante a segurança operacional e estrutural a longo prazo, levando em conta o impacto direto da interrupção do tráfego apenas durante o procedimento específico.

Ao integrar esses elementos ao método tradicional de elevação, não apenas otimizamos a eficiência operacional, mas também priorizamos a segurança estrutural, garantindo resultados duradouros para o sucesso da operação, mesmo em cenários desafiadores como a interrupção temporária do tráfego.

No caso de vãos mais extensos, a análise estrutural vai além da altura a ser alcançada. O comprimento total do vão é minuciosamente levado em consideração, proporcionando uma compreensão abrangente da relação entre a elevação e as condições de carga ao longo do tabuleiro, contribuindo para a estabilidade global da estrutura.

É fundamental destacar que a validação prática da nossa abordagem não se restringe apenas aos cálculos teóricos, mas pode ser concretizada por meio de software especializado, como o Ftool. A simulação de um vão extenso com a aplicação da elevação através desse software não apenas proporciona uma representação visual e quantitativa dos resultados esperados durante a operação, mas também fortalece a confiabilidade da estratégia adotada, consolidando, assim, a segurança estrutural almejada.

Para demonstrar como a elevação da estrutura não acrescenta esforços e tensões adicionais, podemos considerar em um triângulo retângulo para calcular o ângulo θ , com base de 20 metros e altura de 0,05 metros, usando a tangente, é:



Fonte: Autor, 2023

$$\theta = \text{Arctan}(200,05)$$

Calculando o valor numérico:

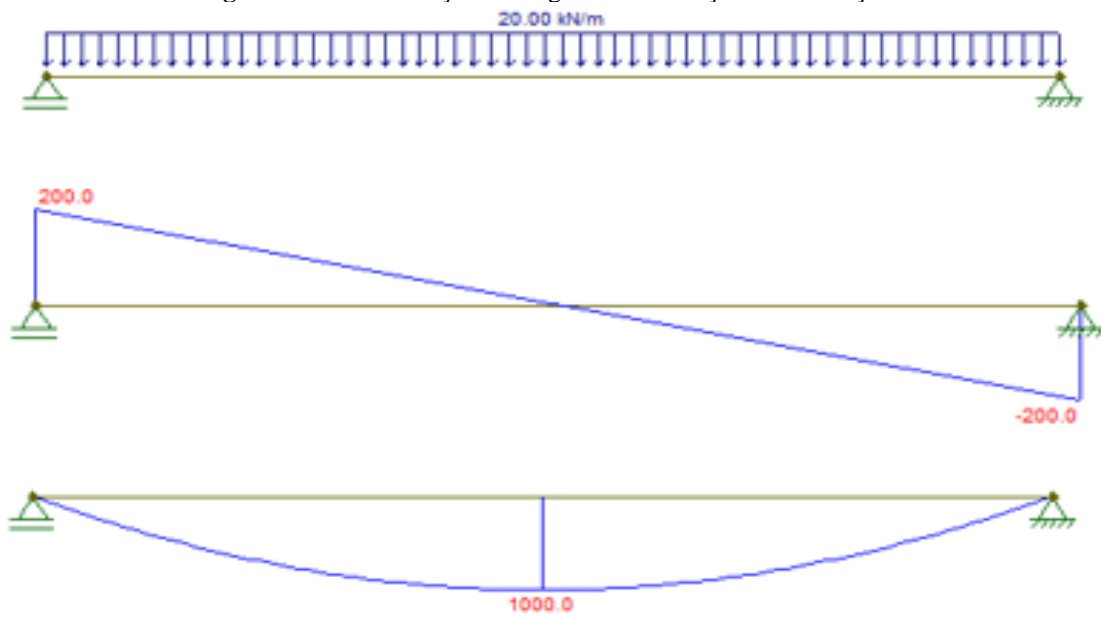
$$\theta \approx \text{Arctan}(0,0025)$$

$$\theta \approx 0,143^\circ$$

Portanto, o ângulo θ é aproximadamente 0,143 graus.

Demonstração com o Software Ftool, para o vão de 20 metros, sem elevação

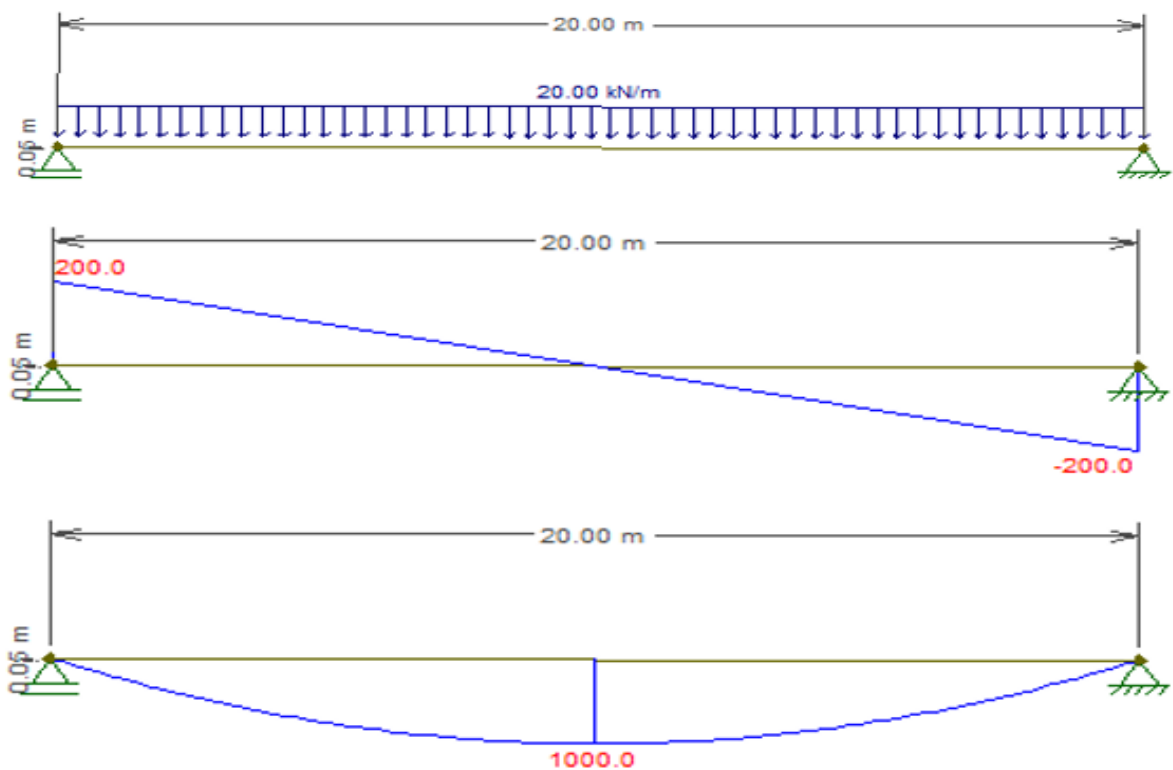
Figura 4 – Demonstração de diagrama de esforços sem elevação



Fonte: Autor, 2023, Diagrama de esforços pelo software Ftool

Para o vão de 20 metros, com 5 centímetros de elevação

Figura 5 – Demonstração de diagrama de esforços com elevação de 5 centímetros



Fonte: Autor, 2023 Diagrama de esforços pelo software Ftool

Pontando, pode-se constatar que mesmo com a elevação de 5 centímetros, os valores dos diagramas de força cortante e momento permaneceram inalterados.

3.7.2. Método com Escoramento - Procedimento Detalhado

O processo de escoramento inicia-se com a aplicação de macacos hidráulicos, assegurando uma estabilidade cuidadosamente controlada e segura para a estrutura. Este método, notavelmente, permite a troca dos aparelhos de apoio sem a interrupção do tráfego, o que é especialmente importante em rodovias onde a continuidade do fluxo não pode ser interrompida.

Uma vez que a estrutura esteja devidamente escorada, avance para a etapa de quebra do cobrimento das almofadas ou capitéis, que são os blocos de apoio essenciais para as vigas longarinas. É fundamental manter uma margem de aproximadamente 2 centímetros abaixo do aparelho de apoio durante esse processo, garantindo precisão na execução.

Com o cobrimento removido, abre-se espaço para a desinstalação do aparelho de apoio antigo. Essa fase é crucial para possibilitar a inserção do novo aparelho de apoio, que será meticulosamente fixado no talão inferior da viga longarina.

Durante a fixação do novo aparelho de apoio, é necessário um cuidado especial para assegurar a firmeza e estabilidade necessárias. Para otimizar esse processo, os destroços do bloco quebrado são reaproveitados de maneira estratégica, criando um suporte sólido sob o novo aparelho. Esse suporte não apenas contribui para a estabilidade, mas também desempenha um papel fundamental na manutenção da posição desejada.

A reutilização dos destroços não só se revela uma prática eficiente, mas também demonstra uma abordagem sustentável, minimizando o desperdício de materiais. Este método proporciona uma solução integral, abordando não apenas a substituição do aparelho de apoio, mas também considerando a importância da estabilidade estrutural e a eficiência na utilização dos recursos disponíveis.

Em suma, a combinação precisa de escoramento, remoção do cobrimento, desinstalação e instalação do aparelho de apoio, aliada ao uso inteligente dos destroços, representa uma abordagem abrangente e técnica para a manutenção estrutural. Este procedimento detalhado não apenas visa a eficácia operacional, mas também ressalta a importância da segurança e estabilidade durante todo o processo, elementos fundamentais para o sucesso desta intervenção estrutural.

Figura 6 – Fixação do novo aparelho de apoio



Fonte: Autor, 2021, Viaduto na rodovia SP 255, Avaré / SP

Após o aparelho de apoio novo ser posicionado, uma forma de madeira é colocada para moldar a região onde o bloco foi quebrado, e graute é aplicado. Esse material possui secagem rápida e uma grande resistência estrutural.

Figura 7 – Aplicação do graute e remoção do escoramento



Fonte: Autor, 2021, Ponte sobre o Rio Piranhas, São Bento / PB

Mantenha a estrutura escorada até que o graute tenha tempo suficiente para curar completamente. Após a cura, a remoção do escoramento é realizada, e o novo aparelho de apoio está pronto para operar normalmente.

3.8. Estratégias Alternativas em Casos Restritos: Criando Estrutura de Reação para Escoramento e Apoio de Macacos Hidráulicos

Em situações em que a presença de macacos hidráulicos é inviável devido à falta de espaço ou à impossibilidade de instalar consoles de qualquer tipo, torna-se imperativo desenvolver uma estrutura de reação. Essa estrutura desempenha um papel crucial, atuando como suporte para o escoramento e proporcionando o apoio necessário para a operação dos macacos hidráulicos.

Essa abordagem requer uma análise minuciosa das condições do local e demanda soluções personalizadas para garantir a estabilidade e segurança durante o processo de substituição de aparelhos de apoio. A criação cuidadosa dessa estrutura de reação é essencial para assegurar que o escoramento seja eficiente e que os macacos hidráulicos possam operar de maneira controlada e segura, mesmo em condições desafiadoras de espaço. Essas estratégias oferecem soluções adaptáveis às necessidades específicas de cada projeto, proporcionando eficiência e segurança na substituição dos aparelhos de apoio.

Figura 8 – Estruturas de reação



Fonte: Autor, 2021, Ponte sobre o Rio Piranhas, São Bento / PB

Após o macaqueamento estrutural, é essencial seguir procedimentos específicos para garantir a eficácia do processo e a segurança contínua da estrutura. Alguns dos procedimentos importantes pós-macaqueamento incluem:

É importante realizar uma inspeção detalhada de toda a estrutura para identificar qualquer dano potencial causado pelo macaqueamento. Isso pode incluir avaliação de fissuras, deformações ou outros sinais de estresse excessivo.

3.9. Implementação de Sistemas de Monitoramento Contínuo para Integridade Estrutural

Implementando sistemas de monitoramento contínuo pode ajudar a acompanhar a integridade estrutural ao longo do tempo. Sensores e instrumentação apropriados podem ser instalados para detectar eventuais deslocamentos, deformações ou variações nas condições estruturais. A adaptação da estrutura às mudanças nas demandas de tráfego é um processo contínuo. Realizando avaliações periódicas das condições estruturais, reavaliando as cargas e realizando ajustes no dimensionamento conforme necessário. A implementação de sistemas de monitoramento contínuo pode ser uma prática valiosa para garantir a integridade da estrutura ao longo do tempo.

Realizando testes de carga adicionais para garantir que a estrutura seja capaz de suportar as cargas previstas após o macaqueamento. Isso ajuda a validar a eficácia do processo e a verificar se a estrutura atende aos requisitos de projeto.

Estabeleça um programa de manutenção preventiva para abordar qualquer desgaste potencial ao longo do tempo. Isso pode incluir a aplicação de revestimentos protetores, a substituição de componentes desgastados e a realização de ajustes conforme necessário.

Mantenha um registro documentado com fotos de todos os procedimentos realizados durante e após o macaqueamento. Isso inclui relatórios de inspeção, resultados de testes, registros de manutenção e outras informações relevantes. Essa documentação é crucial para futuras avaliações e auditorias.

Figura 9 – Reportagem da troca dos aparelhos de apoio



Fonte: Autor, 2021, Viaduto dos Açorianos, Porto Alegre / RS

Certifique-se de que a equipe de manutenção esteja devidamente treinada para monitorar, manter e lidar com quaisquer problemas que possam surgir após o macaqueamento. Isso inclui a familiarização com os sistemas de monitoramento e a compreensão dos procedimentos de resposta a emergências.

Mantenha uma comunicação contínua com engenheiros estruturais, especialistas em macaqueamento e outros profissionais relevantes. Isso permite a troca de informações valiosas sobre a integridade estrutural e a implementação de quaisquer recomendações adicionais.

Esses procedimentos ajudarão a assegurar que a estrutura permaneça estável, segura e em conformidade com os padrões de engenharia após o macaqueamento. A abordagem cuidadosa e sistemática dessas etapas é crucial para o sucesso a longo prazo da intervenção estrutural.

4. Contribuições e Técnicas Complementares

A manutenção da integridade estrutural de pontes e viadutos é essencial para garantir a segurança e durabilidade dessas estruturas ao longo do tempo. Diversas contribuições e técnicas complementares desempenham um papel crucial nesse processo, abordando diferentes aspectos que impactam diretamente na preservação e funcionamento adequado das infraestruturas. A seguir, são apresentados argumentos que justificam a relevância de cada uma dessas contribuições:

O monitoramento contínuo das condições das pontes e viadutos é fundamental para acompanhar a integridade estrutural de forma proativa. A implementação de sistemas de sensores proporciona a coleta constante de dados, permitindo a identificação precoce de potenciais problemas. Essa abordagem não apenas previne danos significativos, mas também possibilita a tomada imediata de medidas corretivas, evitando impactos severos na estrutura.

4.1. Técnicas de Proteção Contra Corrosão

Considerando a exposição constante a ambientes corrosivos, a aplicação de técnicas de proteção contra corrosão é vital. Revestimentos anticorrosivos, proteção catódica e a escolha de materiais resistentes desempenham um papel essencial na preservação da estrutura, prolongando sua vida útil em ambientes agressivos.

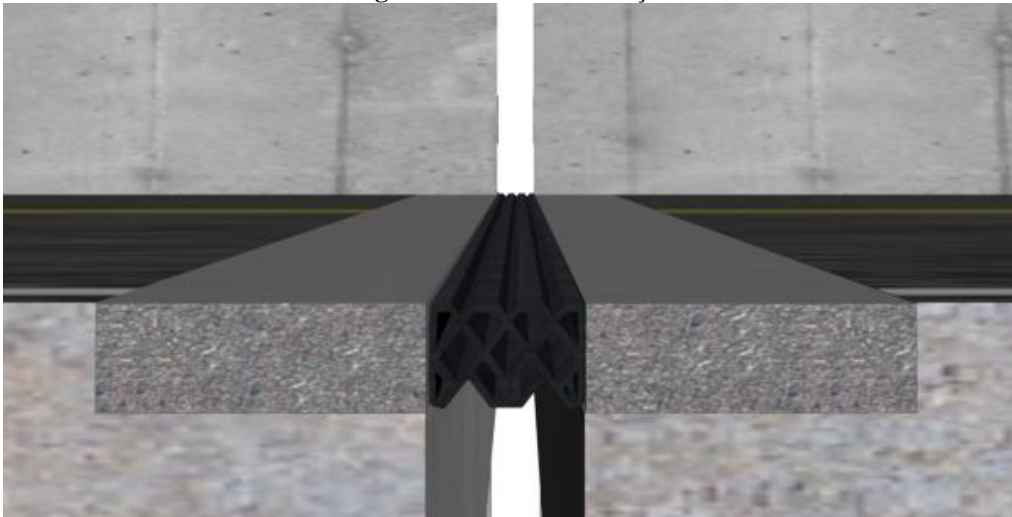
Inspeções regulares desempenham um papel crucial na avaliação do estado de conservação dos aparelhos de apoio elastoméricos e outros componentes estruturais. Programas de inspeção bem elaborados possibilitam a identificação prévia de potenciais problemas, evitando que estes se agravem ao longo do tempo.

4.2. Juntas de Dilatação

Juntas de dilatação desempenham um papel crucial ao permitirem movimentos naturais da estrutura, evitando o surgimento de trincas e fissuras, além de desempenharem funções adicionais essenciais. Além de proporcionar acomodação adequada para a expansão e contração, essas juntas atuam como barreiras eficazes contra a entrada de poeira e detritos nos vãos estruturais, prevenindo potenciais danos e facilitando a manutenção. Ainda mais, contribuem para evitar a percolação indesejada de água, salvaguardando a integridade da estrutura contra os efeitos corrosivos da umidade.

Dessa forma, as juntas de dilatação não só prolongam a vida útil dos aparelhos de apoio elastoméricos como também preservam a qualidade estrutural ao prevenir problemas decorrentes de acúmulo de sujeira, detritos e infiltrações. Essa abordagem multifuncional reforça a importância estratégica das juntas de dilatação na manutenção preventiva e no desempenho consistente ao longo do tempo.

Figura 8 – Junta de Dilatação



Fonte: Autor, 2023, Ilustração em 3D

4.3. Lajes de Transição

Lajes de transição desempenham um papel vital na distribuição uniforme de cargas, evitando concentração excessiva de esforços. Contribuem para uma transição suave entre partes da ponte, reduzindo impactos nas áreas de apoio e nos aparelhos elastoméricos. A minimização de deslocamentos diferenciais preserva a estabilidade e integridade global da estrutura.

4.4. Drenagem Eficiente

Sistemas de drenagem eficientes previnem o acúmulo de água, evitando corrosão e deterioração prematura dos componentes estruturais.

Além disso, contribuem para a preservação dos aparelhos de apoio elastoméricos, reduzindo exposição a condições adversas e prolongando sua vida útil. A drenagem eficiente também minimiza riscos de erosão do solo, promovendo estabilidade.

4.5. Sistemas de Proteção Climática

Sistemas de proteção climática, como barreiras contra o vento e chuva, são essenciais na redução do impacto direto dos elementos climáticos nos aparelhos de apoio e outras partes da estrutura. Contribuem significativamente para minimizar a exposição a agentes agressivos, como água salgada em regiões costeiras, prevenindo a corrosão. A redução do desgaste prematuro dos materiais garante durabilidade e integridade a longo prazo.

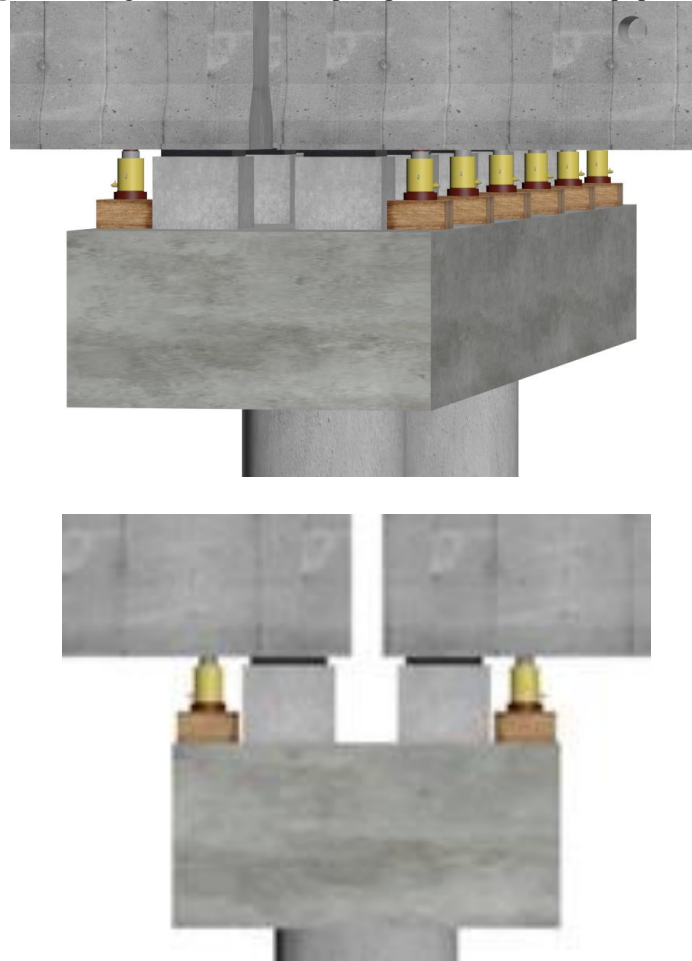
4.6. Sistema para Facilitar Manutenções Futuras

Considerando a importância da manutenção contínua para garantir a longevidade das estruturas, a implementação de sistemas que facilitem intervenções futuras é crucial. A inclusão de espaços predeterminados para a instalação de macacos hidráulicos, como uma viga travessa robusta, durante a fase de projeto, representa uma abordagem inovadora.

Essa previsão estratégica não apenas simplifica as operações de manutenção, permitindo um acesso eficiente para elevação da estrutura quando necessário, mas também otimiza o tempo e os recursos dedicados a essas tarefas. Ao integrar um sistema que antecipa as necessidades de

manutenção, a estrutura se torna mais resiliente e econômica a longo prazo, demonstrando um compromisso com a sustentabilidade e a eficiência operacional. Essa prática não apenas assegura a continuidade da integridade estrutural, mas também destaca um enfoque proativo na gestão do ciclo de vida da infraestrutura.

Figura 9 – Viga travessa robusta para posicionamento de equipamentos



Fonte: Autor, 2023, Ilustração em 3D

4.7. Contribuição da Protensão e Concreto Protendido

A aplicação da protensão e a incorporação do concreto protendido desde as fases iniciais do projeto desempenham um papel significativo nas técnicas complementares para preservação e manutenção da integridade estrutural de pontes e viadutos.

A protensão, ao introduzir esforços prévios nas estruturas, contribui diretamente para a prevenção de fissuras e trincas, atuando como um reforço estrutural preventivo. Esse método de reforço proporciona maior resistência a cargas, minimizando os efeitos de deformações ao longo do tempo.

Além disso, ao considerar o concreto protendido desde a fase de projeto, é possível otimizar a distribuição de esforços e garantir uma maior durabilidade da estrutura. A técnica permite a redução de seções transversais e o controle mais preciso de deformações, resultando em estruturas mais eficientes e sustentáveis.

Figura 10 – Construção de vigas longarinas protendidas



Fonte: Autor, 2023, Construção de viaduto, Alphaville / SP

Ao integrar a protensão nas técnicas complementares mencionadas anteriormente, estabelece-se uma abordagem abrangente para a preservação da integridade estrutural. A combinação dessas práticas não só fortalece a resistência das estruturas contra agentes externos, como também prolonga significativamente a vida útil da infraestrutura, reduzindo a necessidade de intervenções corretivas futuras. Essa sinergia entre a protensão e as técnicas complementares destaca-se como uma estratégia inovadora e eficaz para enfrentar os desafios de preservação em longo prazo.

Essas técnicas, quando consideradas em conjunto, proporcionam uma abordagem abrangente para a preservação e manutenção da integridade estrutural de pontes e viadutos ao longo do tempo, assegurando sua funcionalidade e segurança.

5. Conclusão

Neste estudo, exploramos a importância crucial da substituição de aparelhos de apoio elastoméricos em pontes e viadutos, juntamente com as técnicas complementares necessárias para garantir a preservação, segurança e longevidade dessas infraestruturas. Durante nossa análise, destacamos as seguintes descobertas e contribuições significativas:

A substituição periódica de aparelhos de apoio elastoméricos é fundamental para a integridade das estruturas de pontes e viadutos. Esses componentes desempenham um papel vital na capacidade das estruturas de suportar cargas e movimentos, garantindo a segurança do público que as utiliza.

Além da substituição, a combinação de métodos de monitoramento contínuo, técnicas de proteção contra corrosão e inspeções regulares desempenha um papel essencial na preservação das estruturas. O monitoramento contínuo fornece dados em tempo real sobre o comportamento da estrutura, permitindo a detecção precoce de problemas e a tomada de medidas preventivas. As técnicas de proteção contra corrosão protegem as estruturas em ambientes corrosivos, prolongando sua vida útil. As inspeções regulares garantem que quaisquer problemas potenciais sejam identificados e resolvidos a tempo, evitando a deterioração significativa.

A sinergia dessas práticas otimizadas visa a segurança, durabilidade e longevidade das pontes e viadutos. Ao adotar uma abordagem abrangente que não apenas considera a funcionalidade imediata, mas também a sustentabilidade a longo prazo, a engenharia civil contribui para o desenvolvimento sustentável da infraestrutura viária.

Refletindo sobre a relevância deste estudo para a engenharia civil e o desenvolvimento sustentável da infraestrutura viária, é imperativo reconhecer que as pontes e viadutos desempenham um papel crucial na conectividade e mobilidade das comunidades. Eles são fundamentais para o crescimento econômico, o bem-estar da sociedade e o desenvolvimento global. Portanto, garantir que essas estruturas permaneçam seguras, funcionais e duradouras é de responsabilidade primordial da engenharia civil.

Além disso, à medida que enfrentamos desafios como mudanças climáticas, tráfego crescente e exigências de sustentabilidade, a pesquisa e a aplicação de técnicas avançadas para a preservação de pontes e viadutos são essenciais. Um sistema de transporte eficiente e seguro é um dos principais focos do desenvolvimento sustentável, e nosso estudo contribui para garantir que essa infraestrutura crítica cumpra seu papel na sociedade do presente e do futuro.

Portanto, concluímos que a substituição de aparelhos de apoio elastoméricos e a implementação de técnicas complementares são pilares para garantir estruturas confiáveis e seguras. O comprometimento com a manutenção apropriada e a aplicação de métodos avançados contribuem para um futuro de infraestrutura viária sustentável e para atender às crescentes demandas da sociedade por estruturas que conectem, protejam e promovam o desenvolvimento.

6. Referencial Bibliográfico

1. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2020). AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 9th Edition. American Association of State Highway and Transportation Officials.
2. American Concrete Institute (ACI). (2019). ACI 318-19: Building Code Requirements for Structural Concrete. American Concrete Institute.
3. Frangopol, D. M., Chen, G., & Liu, W. (2002). Bridge maintenance, safety, management and life-cycle optimization. *Journal of Bridge Engineering*, 7(1), 36-42.
4. Johnson, E. A., Davis, S. L., & Smith, P. R. (2022). Collaborative Approaches to Bridge Bearing Replacement: Integrating Engineering, Economics, and Environmental Perspectives. *Journal of Infrastructure Engineering*, 28(2), 04022034.
5. Lima, J. S., Real, M. V., & Rebelo, C. (2019). Evaluation of the Performance of Elastomeric Bearings in the Rehabilitation of Bridges. In *Advances in Sustainable Construction Materials and Geotechnical Engineering* (pp. 119-128). Springer.
6. MAURER, Neoprex. catálogo técnico. Disponível em: https://www.neoprexmaurer.com.br/_files/ugd/1419b6_77b50b26bc884296b90473cc5e5f5495.pdf Acesso em: 10 nov. 2023.
7. MELO, Vitorio E. Pontes e Viadutos Rodoviários: Projeto e Execução. Disponível em: https://vitorioemelo.com.br/publicacoes/Pontes_Viadutos_Rodoviaros.pdf. Acesso em: 10 nov. 2023
8. Meira, G. R. (2015). Manual de patologia de estruturas. Editora Pini.
9. OPET. Conservação e Manutenção de Pontes e de Obras de Arte Especiais. *Revista de Engenharias*, [S.l.], v. 2, n. 2, p. 7, jul. 2021. Disponível em: https://www.opet.com.br/faculdade/revista-engenharias/pdf/v2n2/ConservacaoEManutencaoDePontesEDeObrasDeArteEspeciais_v2n2-7.pdf. Acesso em: 10 nov. 2023.
10. Silva, J. L. L. (2011). Patologia das construções: Terminologia e conceituação. *Revista da Estrutura*, 5(1), 43-64.
11. Smith, J. R., Johnson, M. K., & Brown, C. L. (2019). Bridge Maintenance, Safety Management, Resilience and Sustainability: Proceedings of the Sixth International IABMAS Conference, Stresa, Lake Maggiore, Italy, 8-12 July 2012. CRC Press.
12. Silva, J. R., Santos, M. L., & Ferreira, A. B. (2020). Bridge Rehabilitation Techniques: A Comprehensive Overview. *International Journal of Bridge Engineering*, 8(1), 1-21.