



Avaliação da capacidade portante dos pilares da ponte sobre o rio Imbiruçu

Aislan Yuri Figueirêdo Souza¹, Alexandre de Macêdo Wahrhaftig²

¹ Universidade Estadual de Feira de Santana / Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental / ADS Engenharia e Inovação / aislan.yuri@ads.eng.br / aislanyurifs@gmail.com

² Universidade Estadual de Feira de Santana / Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental / Universidade Federal da Bahia / Departamento de Construção e Estruturas / alixa@ufba.br

Resumo

A evolução do carregamento rodoviário ao longo das décadas impôs desafios significativos à infraestrutura existente. Os projetos que usavam veículos-tipo com peso bruto total de 24 toneladas-força, para classes superiores, passaram a considerar veículos de 45 toneladas-força. Essa transição reflete a mudança do tráfego no país, colocando em evidência a necessidade de adequação das pontes construídas sob normativas anteriores. Particularmente, a ponte sobre o Rio Imbiruçu, localizada na BR-324 (BA), foi projetada em 1975 segundo a norma NB-6/1960, que recomendava trem-tipo 36 toneladas-força. Isso deixa a estrutura em desconformidade com o carregamento prescrito pela atual NBR 7188/2024. Motivado por essa evidência, neste trabalho, foi analisada a capacidade portante dos pilares dessa ponte, utilizando-se modelagem computacional baseada no Método dos Elementos Finitos (MEF), avaliando três cenários distintos: (1) condições originais de projeto; (2) atualização ao trem-tipo 45; e (3) introdução da interação solo-estrutura (ISE). Os resultados indicam que o trem-tipo 45 aumentou em 10,12% a força axial e em 8,51% os momentos fletores nos pilares. Por outro lado, a consideração da ISE aproximou os momentos dos valores originais, mesmo frente ao trem-tipo 45.

Palavras-Chave: Pilares, pontes rodoviárias, NBR 7188/2024, Método dos Elementos Finitos, interação solo-estrutura.

Introdução

A NBR 7187/2021 (Projeto de pontes viadutos e passarelas de concreto) define ponte como estrutura sujeita à ação de carga em movimento, com posicionamento variável, chamada de carga móvel, utilizada para transportar um obstáculo natural como rio, córrego, vale etc.

As pontes desempenham um papel fundamental no desenvolvimento econômico de qualquer nação ao facilitar o transporte de mercadorias, o deslocamento de pessoas e a integração entre diferentes regiões. No Brasil, onde o transporte rodoviário é o modal predominante e movimenta mais de 60% das cargas e passageiros, segundo o DNIT (2004), a infraestrutura de pontes é essencial para garantir a eficiência logística e a competitividade econômica do país. De acordo com Lima et al. (2018), a presença de pontes bem conservadas reduz significativamente os custos operacionais de transporte, aumenta a segurança e melhora o fluxo comercial entre os estados brasileiros. Além disso, a conectividade proporcionada pelas pontes incentiva o turismo e contribui para a inclusão social, permitindo que comunidades isoladas tenham acesso a serviços de saúde, educação e oportunidades de emprego.

Atualmente, o Brasil possui aproximadamente 120 mil pontes em operação (Santos, 2024). A sua grande maioria foi construída a partir de 1940. Tendo em vista um número tão elevado de pontes existentes, e o aumento do carregamento rodoviário nos últimos 80 anos, a avaliação da capacidade portante das pontes existentes se torna um tema de relevante importância.

O aumento do carregamento rodoviário nas estradas brasileiras nesse período pode ser observado pelas atualizações nos normativos que assessoram a elaboração dos projetos estruturais de pontes, principalmente no que se refere à carga móvel. A carga móvel adotada em projetos de obras de arte especiais (OAEs) é caracterizada por um veículo tipo atuando em simultaneidade com um carregamento distribuído, denominado como carregamento de multidão. O peso total bruto (PBT) deste veículo tipo costuma nomear a classe da ponte. A NBR 7188/2024 (Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas), em vigência atualmente, prescreve a classificação das pontes em dois grupos: Classe 45, para as pontes projetadas para um veículo tipo com PBT de 450 quilonewtons (kN) (ou 45 tf, considerando a gravidade igual a 10 m/s^2) mais um carregamento de multidão de 5 quilonewtons por metro quadrado (kN/m^2) (ou 500 kgf/m^2), e em Classe 24, para as pontes projetadas para um veículo tipo com PBT de 240 quilonewtons (ou 24 tf) mais carregamento de multidão de 4 kN/m^2 (ou 400 kgf/m^2).

Histórico

O histórico das normas de projeto de pontes rodoviárias no Brasil reflete o avanço das técnicas de engenharia e a necessidade de adaptação às crescentes demandas de tráfego. O Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do DNIT apresenta, em seu capítulo cinco, um panorama da evolução das regulamentações e dos critérios de carregamento adotados desde os anos 1940 até os dias atuais. A análise desse histórico permite compreender a adequação das estruturas às exigências de cada época, bem como os desafios impostos pelo aumento do volume e peso dos veículos ao longo das décadas.

Até 1950, as pontes eram projetadas de acordo com a norma NB-6/1946, que estipulava um modelo de carregamento baseado em um rolo compressor de 240 kN, acompanhado por caminhões de 90 kN por faixa de trânsito, além de uma carga de multidão de $4,5 \text{ kN/m}^2$ (**Figura 1**).

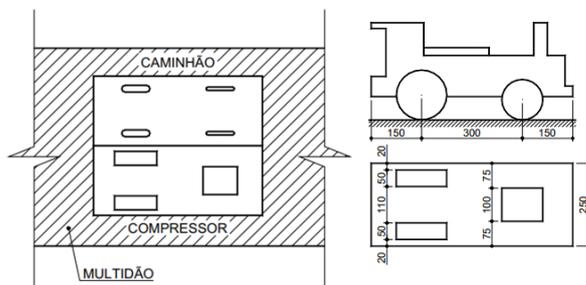


Figura 1 – Trem-tipo 24, NB-6/1946. Fonte: DNIT, 2004.

Com a implementação da norma NPER/1949, vigente entre 1950 e 1960, houve um aumento na carga admissível dos caminhões para 120 kN, enquanto o restante dos critérios permaneceu inalterado (**Figura 2**).

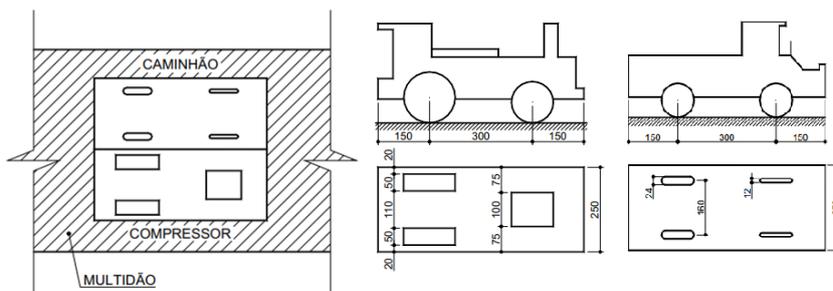


Figura 2 – Trem-tipo 24, NPER/1949. Fonte: DNIT, 2004.

A partir de 1960, com a introdução da norma NB-6/1960, houve uma reformulação significativa nos critérios de carregamento, estabelecendo-se um veículo-tipo com peso bruto total (PBT) de 360 kN. Além disso, foi definida uma carga de multidão de 5 kN/m² para a faixa de tráfego ocupada pelo veículo-tipo e de 3 kN/m² para as demais faixas (**Figura 3**).

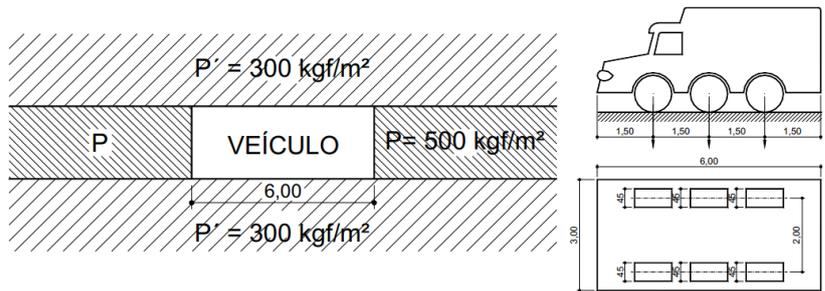


Figura 3 – Trem-tipo 36, NB-6/1960. Fonte: DNIT, 2004.

Entre 1985 e 2013, as pontes eram projetadas com a norma NBR 7188/1984, que prescrevia um veículo tipo de 450 kN, associado a uma carga de multidão de 5 kN/m² nas faixas de tráfego, e de 3 kN/m² nos passeios (**Figura 4**). Em 2013 entrou em vigência a revisão da NBR 7188, que trouxe em seu anexo a previsão do transporte de Cargas de Veículos Especiais, apresentando um veículo PBT igual a 5120 kN. A norma apresenta condições específicas para a consideração desta carga especial, como a interdição da estrutura ao tráfego dos demais veículos, velocidade constante inferior a 5 km/h, suspensão do tráfego deste veículo especial quando houver ventos com velocidade acima dos 20 km/h. Salienta-se que toda esta verificação deve ser conduzida para um estado limite último em combinação excepcional, conforme NBR 8681. Reitera-se também que a consideração deste veículo especial se apresenta como uma verificação adicional às verificações cabíveis para o trem tipo 45. É importante registrar que, neste trabalho, o esse trem-tipo não será objeto de análise.

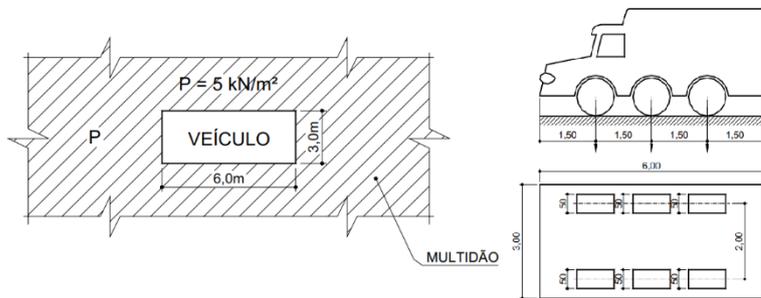


Figura 4 – Trem-tipo 45, NBR 7188/1984. Fonte: DNIT, 2004.

A tabela 1 apresenta um resumo do histórico dos carregamentos rodoviários das pontes brasileiras ao longo dos últimos 80 anos.

Tabela 1 – Histórico da evolução do carregamento rodoviários da OAEs

Período	Norma de Projeto	Trem-tipo	Veículo	Multidão
Até 1950	NB-6/1946	24	240 kN + 90 kN	4,5 kN/m ²
1950 e 1960	NPER / 1949	24	240 kN + 120 kN	4,5 kN/m ²
1960 e 1985	NB-6/1960	36	360 kN	5 kN/m ² / 3 kN/m ²
A partir de 1985	NBR 7188/1984 (revisões em 2013 e 2024)	45	450 kN	5 kN/m ² / 3 kN/m ²

kN = quilonewton;

Características da ponte sobre o rio Imbiruçu

A ponte sobre o Rio Imbiruçu (**Figura 5**), localizada na rodovia BR-324, no trecho entre Salvador e Feira de Santana, possui 27 metros de comprimento e 11,40 metros de largura, totalizando aproximadamente 310 m² de tabuleiro. A seção transversal, (**Figura 5d**), é composta por: duas faixas de rolamento, com 3,75 metros cada; uma faixa de segurança de 0,60 metros em um dos bordos; um acostamento de 2,50 metros no outro bordo; e barreiras de concreto padrão New Jersey, com 0,40 metros de largura cada.

O projeto original dessa obra de arte especial (OAE) data de 1975 e está disponível com memória de cálculo detalhada. De acordo com esses documentos, a ponte sobre o Rio Imbiruçu foi projetada como uma OAE classe 36, conforme a norma NB-6/1960, utilizando o trem-tipo 36 (TB-36) como carregamento padrão. Os materiais especificados no projeto, (**Figura 5a**), incluem concreto estrutural com resistência à compressão (f_{ck}) de 18 MPa e armaduras em aço CA-50, com limite de escoamento (f_{yk}) de 500 MPa.

A concepção da superestrutura da ponte é baseada em um sistema de vigas com vãos compensados, (**Figura 5b**), composto por um vão central de 19 metros e dois balanços extremos de 4 metros cada. Vigas de concreto armado com seção transversal de (40 x 190) cm no vão e (80 x 190) cm nos apoios e três transversinas no tabuleiro, (**Figura 5c**), sendo uma no meio do vão central e as demais sobre os apoios. A transmissão de cargas da superestrutura para a mesoestrutura é realizada por meio de aparelhos de apoio em elastômero fretado, (**Figura 5e**), assentados no topo dos pilares.

A mesoestrutura é composta por dois apoios, cada um dotado de dois pilares circulares de concreto armado, com 80 cm de diâmetro. Esses pilares são interligados na base por uma viga de concreto armado com seção transversal de (30 x 80) cm.

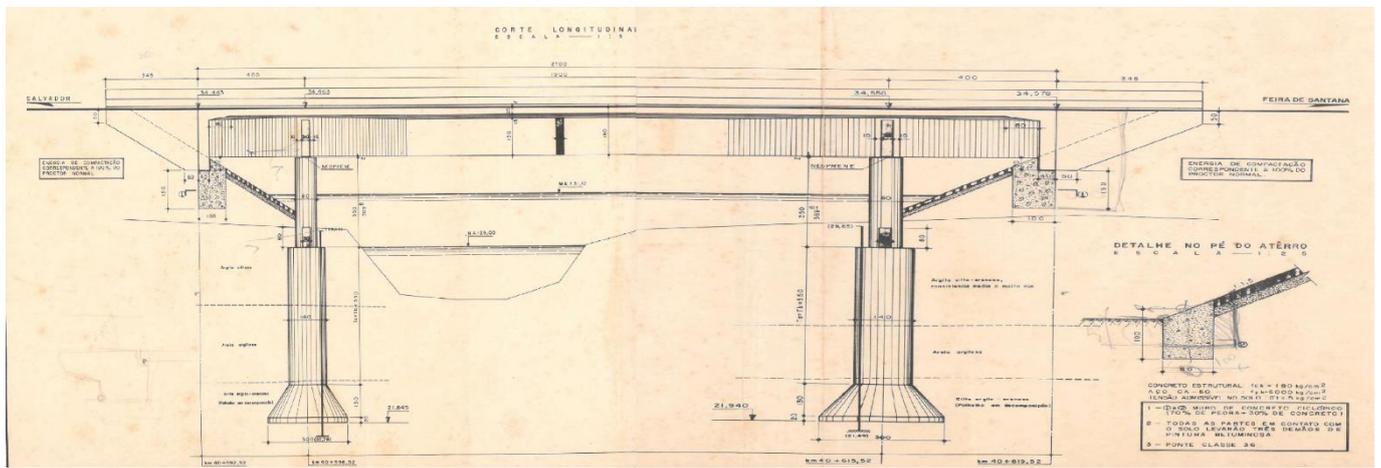
A infraestrutura da ponte é constituída por tubulões a ar comprimido, com diâmetro de 140 cm e base alargada de 300 cm. Os fustes dos tubulões apresentam 5,50 metros de profundidade, enquanto os alargamentos das bases possuem 1,50 metros de profundidade. As bases foram assentadas em material impenetrável à percussão.

A memória de cálculo também inclui as sondagens realizadas à época do projeto, que identificaram um subsolo composto por camadas superficiais com argila siltosa, nas camadas intermediárias presença de areia argilosa, e, nas camadas mais profundas, silte argilo-arenoso e folhelho em decomposição.

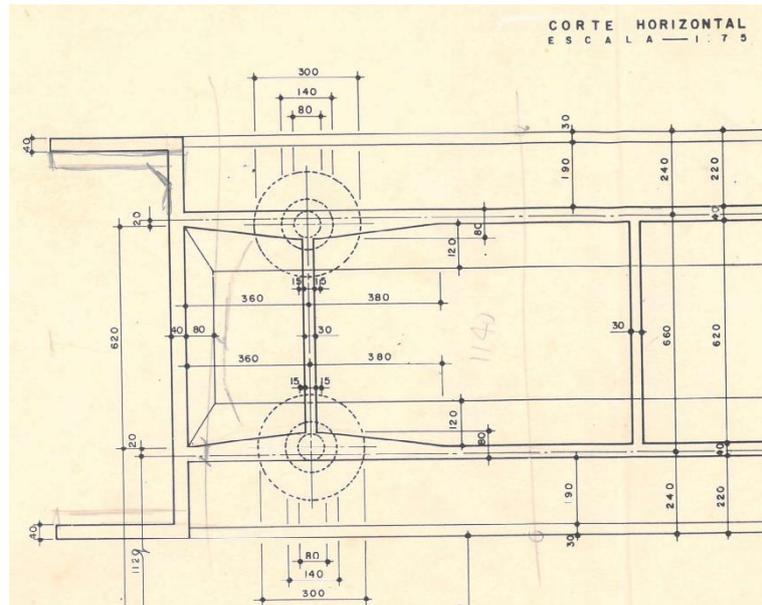
Salienta-se então que apesar de estar em utilização, a ponte sobre o rio Imbiruçu foi projetada para um carregamento inferior ao especificado atualmente pela NBR 7188/2024. Este aspecto destaca a relevância da avaliação da capacidade estrutural dessa ponte frente ao carregamento atualmente prescrito, trazendo como contribuição toda evolução tecnológica dos procedimentos de processamento e cálculo estrutural.

0.2. MATERIAIS : Concreto Estrutural : $f_{ck} = 180 \text{ kg/cm}^2$
Armação em Aço CA-50 : $f_{yk} = 5000 \text{ kg/cm}^2$
0.3. NORMAS : CEB/FIP , NB-1 , NB-2 , NB-6 e Anexo da BB-3/67.

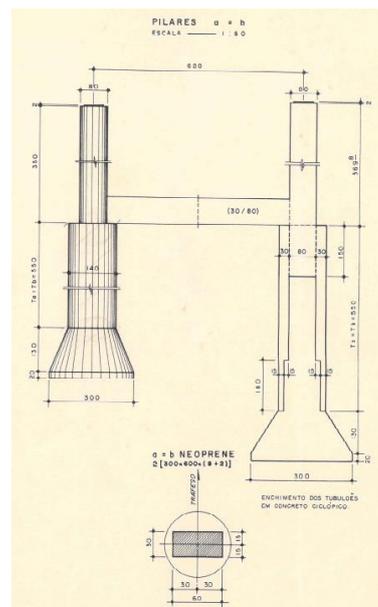
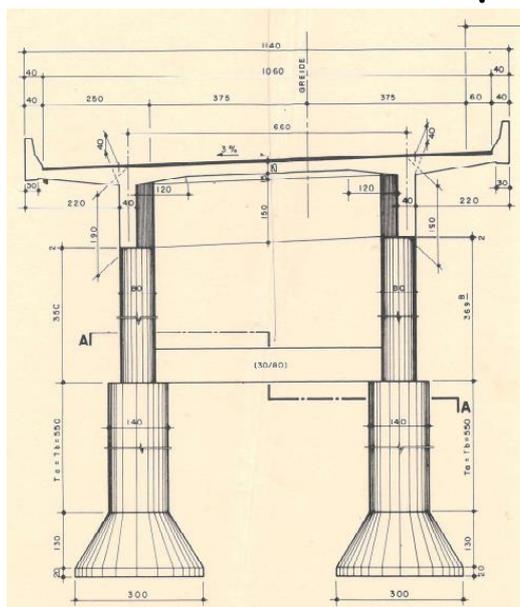
(a) concreto e aço



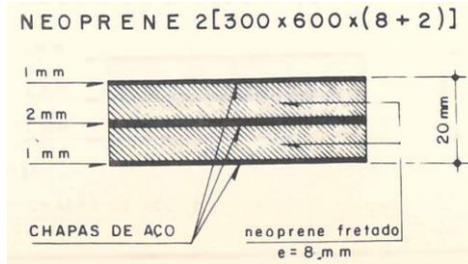
(b) perfil longitudinal.



(c) vista em planta



(d) seção transversal.



(e) detalhe dos aparelhos de apoios.
Figura 5 – Especificações e perfis.

Interação solo-estrutura

A interação solo-estrutura é um fenômeno fundamental na engenharia civil, no qual o solo e a estrutura interagem mutuamente, influenciando seu comportamento global. Esse processo desempenha um papel decisivo na estabilidade e na integridade das estruturas, pois recalques diferenciais ou deformações do solo podem alterar a distribuição de esforços nos elementos estruturais. Modelos simplificados, como os que consideram fundações rígidas, muitas vezes não capturam adequadamente esses efeitos, tornando essencial o uso de abordagens mais avançadas para o dimensionamento seguro e eficiente das fundações (Alonso, 2012; Aoki & Lopes, 1975).

Dentre os modelos utilizados para representar essa interação, destaca-se o Modelo de Winkler, uma abordagem clássica que considera o solo como um meio descontínuo, composto por um conjunto de molas independentes, cuja rigidez é proporcional ao coeficiente de reação do solo. O modelo de Winkler é amplamente utilizado em análises preliminares e no dimensionamento de fundações superficiais e profundas, proporcionando uma solução prática para diversos problemas da engenharia geotécnica (Terzaghi, 1955; Alonso, 2012).

Análise estrutural da ponte sobre o rio Imbiruçu

Desde 1985 todas as pontes implantadas em rodovias federais e vias de grande circulação devem ser projetadas para o trem tipo 45, A ponte sobre o rio Imbiruçu foi projetada em 1975, para o trem-tipo 36, especificado pela NB-6/1960, estando em não conformidade com o carregamento de projeto em vigência. Por essa razão, é necessário avaliar a capacidade portante da estrutura para o carregamento especificado pela norma atual. Para isso, é preciso calcular os esforços solicitantes com base nos seguintes cenários: Cenário 1: Condições originais de projeto; Cenário 2: Atualização do carregamento rodoviário e Cenário 3: Atualização do carregamento rodoviário + consideração da ISE.

A estrutura da ponte foi modelada no programa de análise estrutural STRAP, *Structural Analysis Program*. O STRAP utiliza o Método dos Elementos Finitos (MEF) que consiste em dividir um sistema contínuo em pequenas partes interconectadas, chamadas elementos finitos, que são modelados por meio de equações diferenciais. A solução dessas equações para cada elemento individual é então combinada para fornecer uma solução aproximada para o sistema como um todo. O MEF é uma técnica numérica amplamente utilizada na engenharia para resolver problemas complexos de análise estrutural, térmica, fluido-dinâmica e eletromagnética (Zienkiewicz & Taylor, 2000). Na prática, o MEF é especialmente vantajoso para resolver problemas com geometrias não triviais, condições de contorno não convencionais e propriedades materiais heterogêneas, onde soluções analíticas exatas seriam difíceis de serem aplicadas. A modelagem é feita por meio da discretização da estrutura em uma malha, com nós comuns conectando os elementos, e cada nó pode ter vários graus de liberdade, como deslocamento e rotação (Bathe, 2006). A seguir, são apresentadas as características da modelagem elaborada, como os materiais e propriedades geométricas que compõem os elementos estruturais (**Tabela 2** e **Tabela 4**), condições de contorno (**Figura 6**) e carregamentos (**Tabela 4**).

Tabela 2 – Materiais

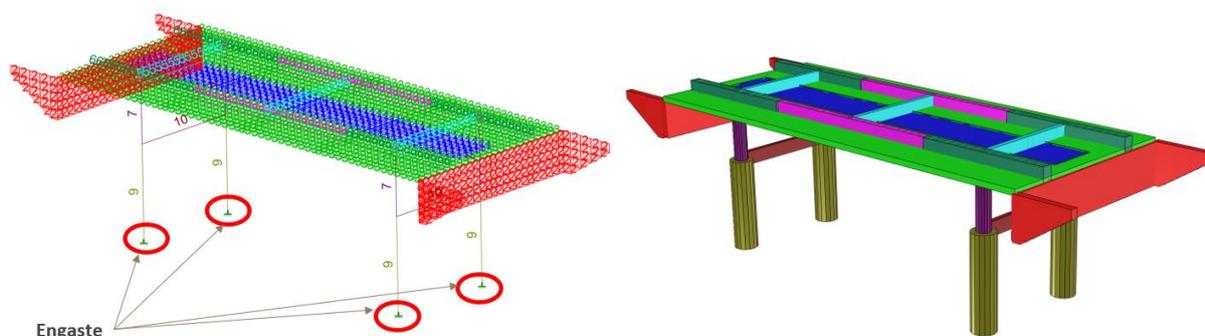
Material	Módulo de Elasticidade (MPa)	Coefficiente de Poisson	Peso Específico (kN/m ³)	Coefficiente de Dilatação Térmica (°C ⁻¹)
C18	20,195.0	0,20	25	0,10E-4
NEO	4.0	0,20	14	0,10E-4

Tabela 3 – Propriedades Geométricas dos elementos estruturais

Propriedade	Material	Elemento	Seção (cm)
1	C18	Laje (entre eixo)	espessura 25
2	C18	Cortinas Alas	espessura 40
3	C18	Laje (balanços)	espessura 32.5
4	C18	Viga Longarina (seção típica)	40/150
5	C18	Transversina	30/150
6	C18	Viga Longarina (seção apoio)	60/150
7	C18	Pilares	D80
8	NEO	Aparelhos de Apoio	60/30
9	C18	Tubulão	D140
10	C18	Viga de travamento	30/80

Tabela 4 – Lista de Carregamentos

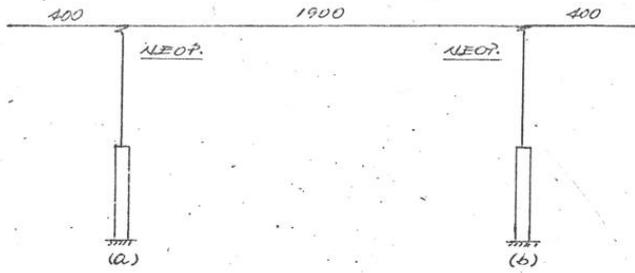
Nº	Carregamentos
1	Peso Próprio dos Elementos Estruturais Superestrutura
2	Peso Próprio dos Elementos Estruturais Meso/infraestrutura
3	Peso Próprio Pavimentação e Defensas de Concreto
4	Empuxo de terra
5	Trem-tipo 36 (Veículo + Multidão)
6	Frenagem e Aceleração
7	Vento
8	Temperatura e Retração

**Figura 6 – Modelagem em MEF.**

Cenário 1

O primeiro cenário se caracteriza por restituir as condições e premissas de cálculo estabelecidas na memória de cálculo original. A memória de cálculo original da ponte (**Figura 7**) indica que a meso e infraestrutura foram calculadas desconsiderando qualquer contribuição das interação solo-estrutura.

Esquema estrutural



Composto pilar + Tubulões

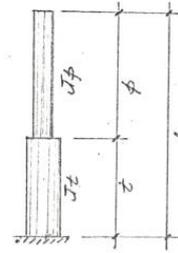


Figura 7 – Esquema estático, projeto original.

Inicialmente, a estrutura da ponte foi modelada (Cenário 1) conforme as premissas de projeto original. Portanto, adotou-se o carregamento rodoviário do projeto original, o trem tipo 36. As condições de contorno também foram mantidas. Os tubulões tiveram suas bases engastadas, conforme foi reproduzido na memória de cálculo do projetista. Os resultados obtidos por essa modelagem convergiram aos da memória de cálculo.

Conforme é possível identificar nas figuras 8 e 9, os resultados obtidos pela modelagem via MEF do Cenário 1 (**Figura 9**), convergem com os resultados apresentados pela memória de cálculo original do projeto (**Figura 8**). A carga axial apresenta variação de 0,57%, o momento longitudinal apresenta variação de 0,25%, e o momento transversal de 2,91%.

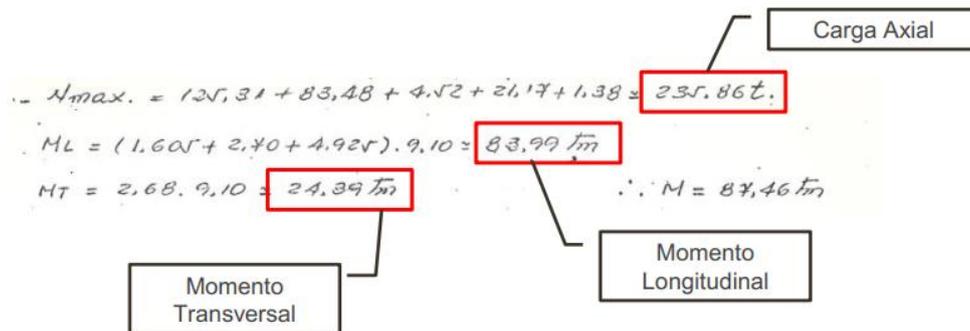


Figura 8 – Resultados, memória de cálculo original.

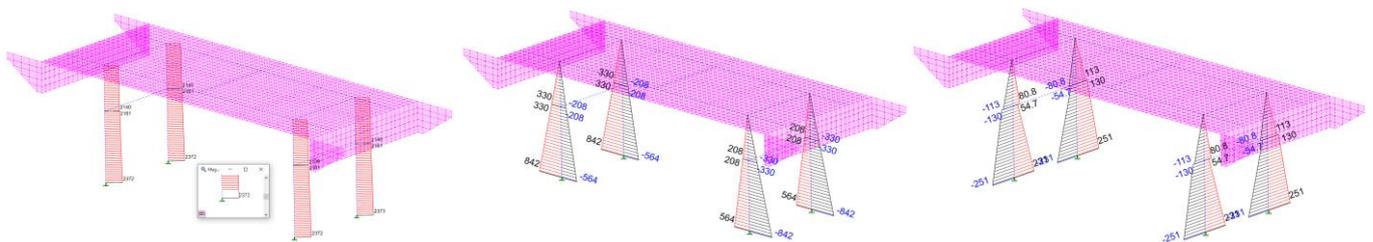


Figura 9 – Cenário 1 - Resultados.

Tabela 5 – Comparação: Projeto Original – Cenário 1 MEF (TB-36)

Esforço Solicitante	Projeto Original	MEF Cenário 1	Diferença
Carga Axial	2358,6 kN	2372,0 kN	0,57%
Momento Longitudinal	839,9 kNm	842,0 kNm	0,25%
Momento Transversal	239,0 kNm	251,0 kNm	2,91%
Momento Resultante	874,6 kNm	878,6 kNm	0,46%

kN = quilonewton; kNm = quilonewton vezes metro

Cenário 2

Após a modelagem em MEF, apresentada no Cenário 1, desenvolveu-se o Cenário 2. O Cenário 2 é caracterizado pela atualização do carregamento rodoviário do trem-tipo 36 (NB-6/1960) para o trem-tipo 45 (NBR 7188/2024). Além desta atualização, foi inserido também o carregamento de empuxo de água em movimento, desconsiderado no projeto original. A relação dos carregamentos consta na **Tabela 6**.

Tabela 6 – Lista de Carregamentos adicionados

Nº	Carregamentos adicionados
9	Empuxo de água em movimento
10	Trem-tipo 45 (Veículo + Multidão), em substituição ao TB36

Após a inserção dos carregamentos na modelagem por elementos finitos, os esforços solicitantes resultaram ser 2612 kN de carga axial, 904 kNm de momento longitudinal e 303 kNm de momento transversal.

Tabela 7 – Comparação: Cenário 1 MEF (TB-36) – Cenário 2 MEF (TB-45)

Esforço Solicitante	MEF Cenário 1	MEF Cenário 2	Diferença
Carga Axial	2372,0 kN	2612,0 kN	10,12%
Momento Longitudinal	842,0 kNm	904,0 kNm	7,36%
Momento Transversal	251,0 kNm	303,0 kNm	20,72%
Momento Resultante	878,6 kNm	953,4 kNm	8,51%

kN = quilonewton; kNm = quilonewton vezes metro

Cenário 3

Estabelecido o acréscimo de carga proveniente da atualização do carregamento rodoviário, classe 36 para classe 45, NB-6/1960 para NBR 7188/2024, desenvolveu-se o Cenário 3. O Cenário 3 é caracterizado pela introdução da interação solo-estrutura (ISE). A modelagem computacional (**Figura 10**) foi atualizada mantendo-se o trem tipo 45 como carregamento rodoviário, adicionando-se a ISE por meio do modelo de Winkler, adotando-se os valores de módulo de reação (K), para o caso de argilas pré-adensadas e os valores da constante do coeficiente de reação horizontal (ηh), para solos de comportamento arenoso e argilas normalmente adensadas. Esses valores foram adotados tomando como referência as tabelas apresentadas por Davisson (1963) e as sondagens localizados dentro dos documentos do projeto original.

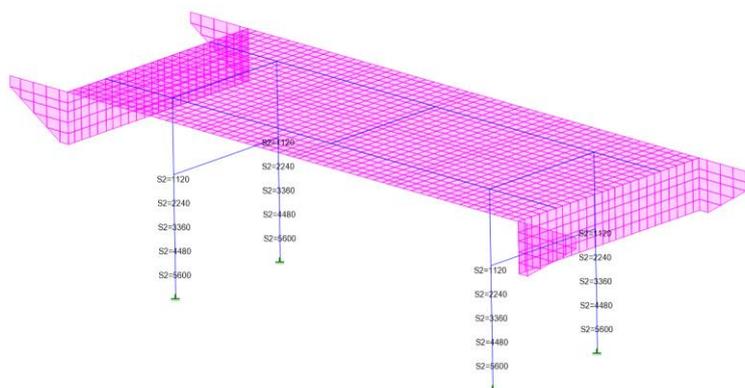


Figura 10 – Modelagem com a consideração ISE.

Após a introdução da ISE na modelagem os esforços solicitantes resultaram em 2612 kN de carga axial, 860 kNm de momento longitudinal e 288 kNm de momento transversal.

Tabela 8 – Comparação: Cenário 2 MEF (TB-45) – Cenário 3 MEF (TB-45 + ISE)

Esforço Solicitante	MEF Cenário 2	MEF Cenário 3	Diferença
Carga Axial	2612,0 kN	2612,0 kN	0,00%
Momento Longitudinal	904,0 kNm	860,0 kNm	- 4,87%
Momento Transversal	303,0 kNm	288,0 kNm	- 4,95%
Momento Resultante	953,4 kNm	906,9 kNm	- 4,88%

kN = quilonewton; kNm = quilonewton vezes metro

Ao comparar os resultados do Cenário 3 com o Cenário 2, constata-se que a consideração da ISE não modifica a carga axial, mas reduz os momentos fletores em aproximadamente 4,90%.

Tabela 9 – Comparação: Cenário 1 MEF (TB-36) – Cenário 3 MEF (TB-45 + ISE)

Esforço Solicitante	MEF Cenário 1	MEF Cenário 3	Diferença
Carga Axial	2372,0 kN	2612,0 kN	10,12%
Momento Longitudinal	842,0 kNm	860,0 kNm	2,14%
Momento Transversal	251,0 kNm	288,0 kNm	14,74 %
Momento Resultante	874,6 kNm	906,9 kNm	3,22 %

kN = quilonewton; kNm = quilonewton vezes metro

Ao comparar os resultados do Cenário 3 com o Cenário 1, constata-se um aumento de 10,12% e 3,22% de carga axial e momento resultante, respectivamente.

Conclusões

Neste trabalho foi realizada a avaliação da capacidade portante dos pilares da ponte sobre o Rio Imbiruçu. O estudo evidenciou que a transição do trem-tipo 36 para o trem-tipo 45 resultou em um aumento considerável dos esforços estruturais, o que pode comprometer a segurança e a durabilidade da estrutura ao longo do tempo.

A análise numérica baseada no Método dos Elementos Finitos demonstrou que a consideração da interação solo-estrutura contribui para uma melhor distribuição dos esforços, reduzindo os momentos fletores e aproximando os resultados das condições originais de projeto. Esse fator ressalta a importância da adoção de abordagens mais atuais na modelagem estrutural. Os resultados podem ser sintetizados da seguinte forma:

Cenário 1: A modelagem em MEF apresentou convergência em relação aos resultados da memória de cálculo do projeto original, com variações de 0,57% para a carga axial e 0,46% para os momentos.

Cenário 2: A atualização do carregamento rodoviário, combinada com a introdução do empuxo de água em movimento, resultou em um aumento das solicitações estruturais, com acréscimos de 10,12% na carga axial e 8,51% nos momentos.

Cenário 3: A consideração da ISE na modelagem via MEF levou a uma redução de 4,88% nos momentos fletores, enquanto a carga axial permaneceu inalterada.

É importante concluir enfatizando que a segurança das obras de infraestrutura depende diretamente da adequação dos critérios de projeto às condições reais de uso e às evoluções tecnológicas. A utilização de modelos computacionais avançados e a análise detalhada das condições geotécnicas são essenciais para prever com maior precisão o comportamento das estruturas ao longo do tempo

Para trabalhos futuros faz-se necessário avaliar o dimensionamento estrutural desses pilares à luz da NBR 6118/2023.

Referências

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre. NBR 7188/2024, Rio de Janeiro, 2024.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto de pontes, viadutos e passarelas de concreto. NBR 7187/2021, Rio de Janeiro, 2021.
- ALONSO, U. R. Dimensionamento de fundações profundas. 2º ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2012.
- BATHE, K. J. Finite Element Procedures. Prentice Hall, 2006.
- DAVISSON, M. T. Estimating Buckling Loads for Piles. 2ª. PCSMFE, São Paulo, 1963.
- DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias. IPR 709, Rio de Janeiro, 2004.
- DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Projeto Executivo: Ponte sobre o Rio Imbiruçu - BR-324. Elaborado por: Consórcio TENPO-DORSCH. 1975.
- TERZAGHI, K. Theoretical Soil Mechanics. New York: John Wiley & Sons, 1955.
- SANTOS, A.F.; BONATTE, M.S.; SOUSA, H.S.; BITTENCOURT, T.N.; MATOS, J.C.. Panorama geral das pontes rodoviárias brasileiras. IBRACON. 2024.
- ZIENKIEWICZ, O. C., & Taylor, R. L. The Finite Element Method: Volume 1 – The Basis. Butterworth-Heinemann, 2000.