



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de
maio de 2014
RIO DE JANEIRO

Realização:



COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Análise de Elementos Finitos para Estudo de Reforços Estruturais em Pontes Ferroviárias de Concreto Armado

Carlos Alberto Medeiros¹

¹ Universidade de Mogi das Cruzes / Departamento de Engenharia / carlosmedeiros@umc.br

Resumo

Diversas pontes da malha ferroviária de São Paulo foram projetadas para atender o trem-tipo TB-20. Como atualmente pretende-se escoar minério de ferro através dessa malha ferroviária, o trem-tipo deve ser modificado para o TB-360. Assim, novas pontes devem ser projetadas ou deve-se buscar reforçar as pontes existentes de forma a atender essa nova condição de trem-tipo. Outra exigência a ser respeitada é que devido ao fluxo contínuo de escoamento ao longo da malha ferroviária, grandes períodos de interrupção na operação da via não são permitidos. O presente trabalho apresenta uma análise de elementos finitos desenvolvida para validar uma proposta de reforço estrutural a ser adotada em pontes ferroviárias de concreto armado em seção caixão, projetada originalmente para o TB-20, com o objetivo de garantir a utilização do trem-tipo TB-360 e que também possibilite a execução de reforços na estrutura da ponte sem causar grandes impactos de interrupção na operação da via ferroviária.

Palavras-chave

Pontes Ferroviárias; Concreto Armado; Trem-tipo; Reforços Estruturais; Elementos Finitos.

Introdução

Atualmente pretende-se escoar minério de ferro através da malha ferroviária de São Paulo e também aumentar as velocidades de operação em via de maneira a garantir cumprimento de prazos e de volumes de escoamento exigidos pelos operadores de logística.

Contudo, as pontes ferroviárias existentes ao longo dessa malha foram projetadas originalmente para o trem-tipo TB-20 (antiga ABNT NB 7:43). Assim, novas pontes devem ser projetadas e construídas ou deve-se buscar reforçar as pontes existentes de forma a atender essa nova configuração de carga.

Outro requisito a ser respeitado é que o fluxo de escoamento ao longo dessa malha ferroviária deve ser preservado, ou seja, não são permitidos grandes períodos de interrupção na operação da via. E caso se decida em reforçar as estruturas das pontes existentes, a execução de reforços estruturais deve ser planejada e realizada de uma maneira a não causar grandes períodos de parada na operação da via ferroviária.



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



O presente trabalho apresenta um estudo via análise de elementos finitos para uma proposta de reforço estrutural a ser adotada em pontes ferroviárias de concreto armado em seção caixão de forma a garantir a utilização do trem-tipo TB-360 (ABNT NBR 7189) e que também possibilite a execução de reforços estruturais sem prejudicar a operação da via ferroviária.

Descrição da Obra de Arte Especial

A Obra de Arte Especial (OAE) em questão possui uma superestrutura em laje caixão em concreto armado e com dois tramos de 9.85m, sendo cada tramo apoiado em um encontro com alas e engastado num pilar interno.

Conforme a Figura 1, a Superestrutura da OAE atual, projetada para o trem-tipo TB-20, consiste de uma seção caixão composta de uma laje superior de 20 cm, de uma laje inferior de 15 cm e duas vigas longitudinais laterais de 40 cm de espessura. A altura do caixão é de 70 cm. Nela está disposta uma camada de aproximadamente 30 cm de espessura de lastro, sobre a qual estão dispostos os dormentes que fixam os trilhos.

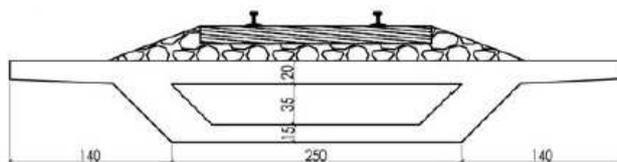


Figura 1 – Seção Transversal do tabuleiro.

Figura 2 apresenta uma vista lateral da Superestrutura e Mesoestrutura da OAE.

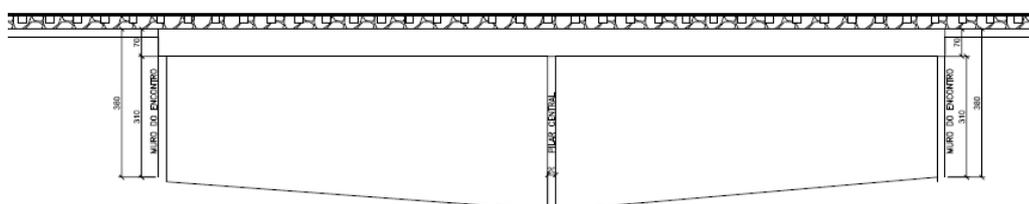


Figura 2 – Vista lateral da OAE.

Para garantir a operação da via com o TB-360 foram propostos reforços de perfil I metálico para a seção caixão da Superestrutura e engrossamento do corpo dos pilares da Mesoestrutura, como ilustrado na Figura 3.

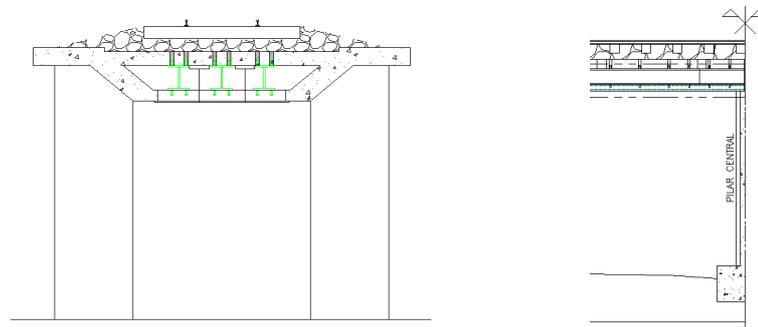


Figura 3 – Reforços na estrutura da OAE para garantir utilização do TB-360.

Características dos materiais

- Concreto estrutural: $f_{ck} \geq 25$ MPa (Superestrutura e Mesoestrutura);
Módulo de elasticidade: $E_{cs} = 23800$ MPa
- Perfil “I” soldado de aço com espessuras de alma e mesas de 25.4mm;
Módulo de elasticidade: $E_s = 210000000$ kN/m²
- Coeficiente de Poisson: Concreto $\mu = 0.20$ e Aço $\mu = 0.30$;
- Peso específico: $\gamma_{concreto} = 25$ kN/m³; $\gamma_{aço} = 78.50$ kN/m³ e $\gamma_{lastro.} = 18$ kN/m³.

Ações consideradas

- Permanentes: devido ao peso próprio das estruturas de concreto, enchimentos com lastro, dormentes de concreto, trilhos e reforços de perfil I metálico;
- Variáveis para a Superestrutura:
 - Trem tipo ferroviário de classe TB 20 para a situação existente;
 - Trem tipo ferroviário de classe TB 360 para a situação projetada;
 - Coeficiente de impacto vertical $\phi=1.434$.

Combinação de verificação

A estrutura da OAE foi verificada para a combinação ultima (ELU), estabelecida conforme a expressão abaixo:

$$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_q F_{qk}$$

Onde:

- γ_g – Fator de majoração para ações permanentes. Adotando-se $\gamma_g = 1.40$;
- F_{gk} – Ações permanentes.
- γ_q – Fator de majoração para ações variáveis. Adotando-se $\gamma_q = 1.40$;
- F_{qk} – Ação variável.



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



Etapas executivas

A estrutura da OAE foi analisada para três situações de estrutura de OAE e de condição de trem-tipo, conforme descritos na Figura 4.

| | |
|--|---|
| | |
| Escoramentos previstos para execução de reforços. | Situação (1): Estrutura atual da OAE com operação do TB-20. |
| | |
| Situação (2): Execução de reforços na OAE e de escoramentos com operação do TB-20. | Situação (3): Estrutura da OAE reforçada para operação do TB-360. |

Figura 4 – Estruturas de OAE e respectiva condição de trem-tipo.

Modelagem e análise de elementos finitos

Um modelo tridimensional de elementos finitos foi desenvolvido usando o software ANSYS para avaliação da estrutura da ponte em relação às etapas executivas propostas.

A estrutura da ponte em concreto armado e os reforços propostos em perfil “I” metálicos foram modelados com elementos de casca SHELL181. Na modelagem do cimbramento foi adotado o elemento de viga BEAM188. Os trilhos foram modelados por elementos de barras fictícias com a finalidade de aplicação de carregamentos.



As condições de contorno adotadas nos modelos de elementos finitos foram:

- A interação solo-estrutura foi representada por restrições de todas as translações para a infraestrutura da OAE e das fundações dos cimbramentos.
- Nas regiões dos encontros foram restringidas as translações na direção vertical para a laje inferior.
- Ações permanentes devido ao peso próprio das estruturas foram aplicadas nos modelos de elementos finitos por meio de cargas gravitacionais. No caso do peso próprio dos trilhos foram aplicadas cargas por unidade de comprimento.
- Ações variáveis devido aos trens-tipo (TB-20 e TB-360) foram simuladas por meio de cargas concentradas e uniformemente distribuídas aplicadas ao longo dos trilhos.

Figura 5 a Figura 8 apresentam vistas e detalhes dos modelos de elementos finitos adotados nas análises estruturais da OAE.

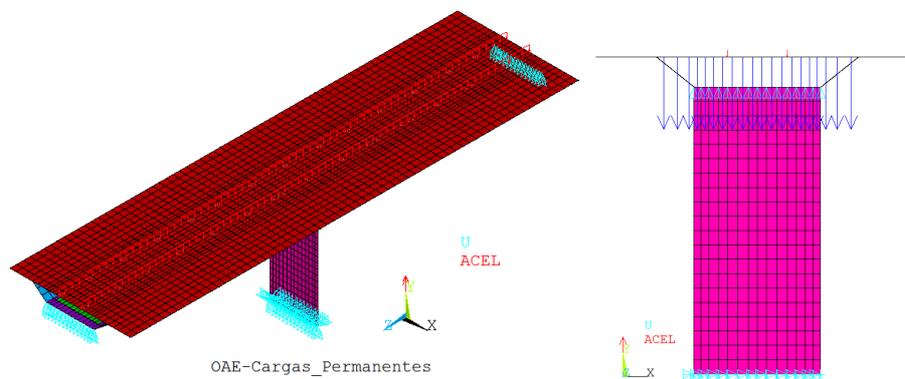


Figura 5 – Estrutura da OAE atual para o TB-20.

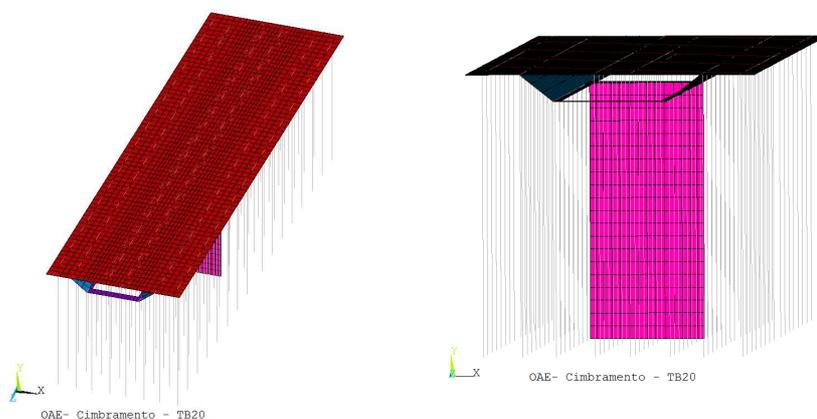


Figura 6 – Estrutura da OAE com execução de reforços e operação de via com TB-20.

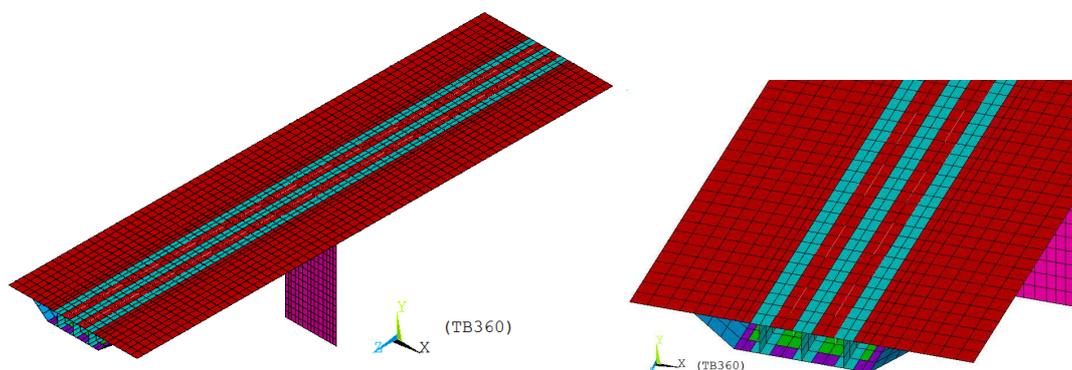


Figura 7 – Estrutura da OAE projetada para a utilização do TB-360.

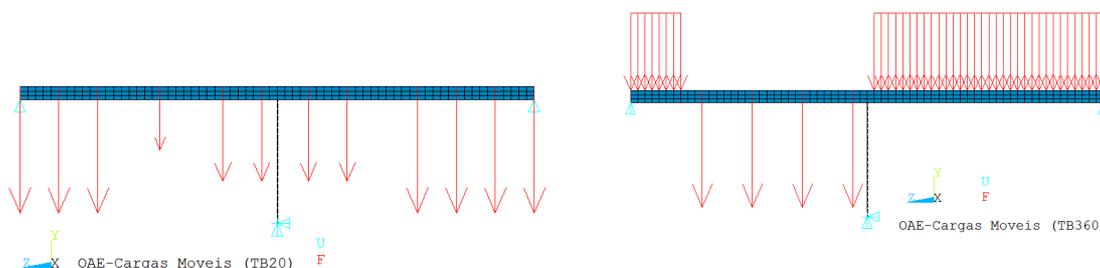


Figura 8 – Cargas móveis: Trens-tipos TB-20 e TB-360.

Metodologia de análise e de validação da OAE para as etapas executivas

A metodologia de análise e de validação da OAE em relação às etapas executivas foi realizada conforme os seguintes passos:

1. Coletar resultados de máxima tensão de von Mises para elementos estruturais da ponte obtidos a partir das análises de elementos finitos.
2. Realizar uma análise quantitativa e qualitativa dos resultados.
3. Após as análises dos resultados, a estrutura da OAE estaria validada para as etapas executivas de reforços quando os resultados de máximas tensões de von Mises obtidos para as situações (2) e (3) não excedessem os resultados obtidos para a situação (1).



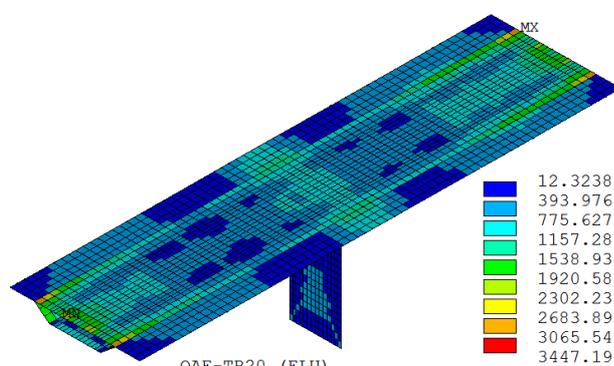
Conclusões

Tabela 1 lista um resumo de resultados de máxima tensão de von Mises (MPa) em elementos estruturais da ponte e obtidos para cada situação de estrutura de OAE e para respectiva condição de trem-tipo.

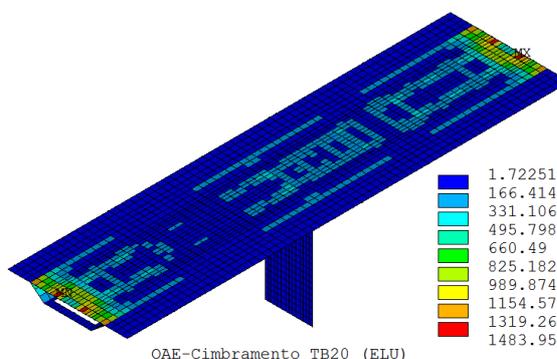
Tabela 1 – Resultados de máximas tensões de von Mises.

| Situação | Máxima Tensão von Mises (MPa) | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|---------------------|---------------|----------------|---------------|
| | Laje Superior | | | Laje Inferior | | | Vigas Longitudinais | | | Pilar Central |
| | Meio vão | Apoio Central | Apoio Encontro | Meio vão | Apoio Central | Apoio Encontro | Meio vão | Apoio Central | Apoio Encontro | |
| OAE Atual com TB-20 | 9,20 | 13,50 | 19,20 | 11,50 | 25,58 | 19,34 | 10,91 | 22,06 | 15,37 | 24,31 |
| OAE com execução de reforços para TB-20 | 3,31 | 3,31 | 13,20 | 0,00 | 1,15 | 0,88 | 1,27 | 1,87 | 4,30 | 1,75 |
| OAE Projetada para TB-360 | 7,80 | 11,96 | 3,60 | 9,80 | 18,45 | 6,60 | 9,31 | 13,65 | 6,42 | 11,41 |

Figura 9 a Figura 14 apresentam resultados de tensão de von Mises (tf/m^2) obtidos das análises de elementos finitos para situações de estrutura de OAE e de condições de trens-tipo.



OAE Atual para o TB-20



OAE com execução de reforços e com operação de via com o TB-20

Figura 9 – Resultados de tensões de von Mises - Superestrutura e Mesoestrutura.

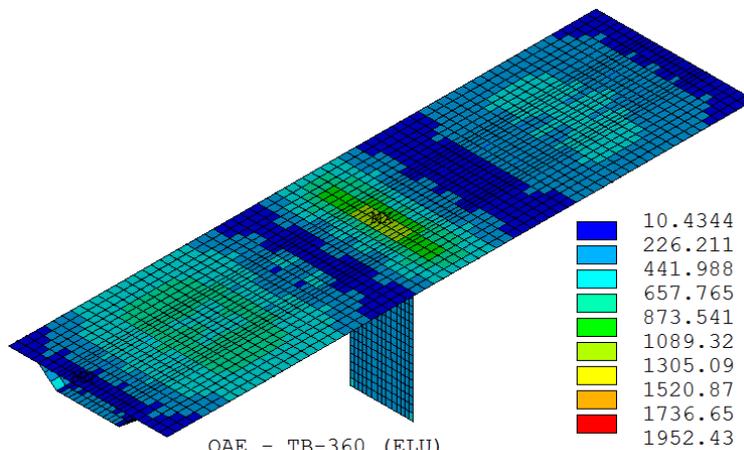


VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21,22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

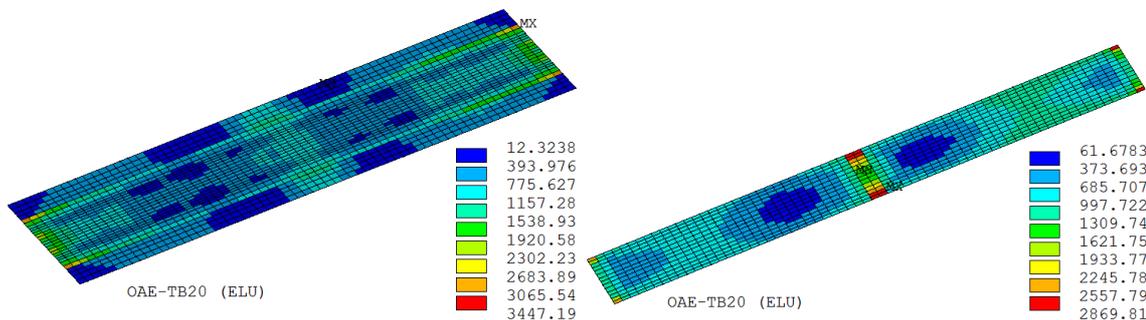
Realização:



OAE - TB-360 (ELU)

OAE Projetada para utilização do TB-360

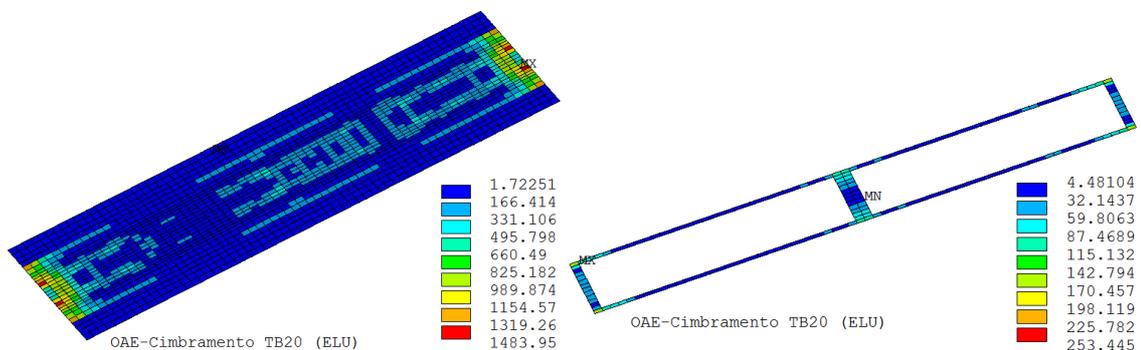
Figura 10 – Resultados de tensões de von Mises - Superestrutura e Mesoestrutura.



OAE-TB20 (ELU)

OAE-TB20 (ELU)

OAE Atual para o TB-20



OAE-Cimbramento TB20 (ELU)

OAE-Cimbramento TB20 (ELU)

OAE com execução de reforços e com operação de via com o TB-20

Figura 11 – Resultados de tensões de von Mises - Lajes superior e inferior.

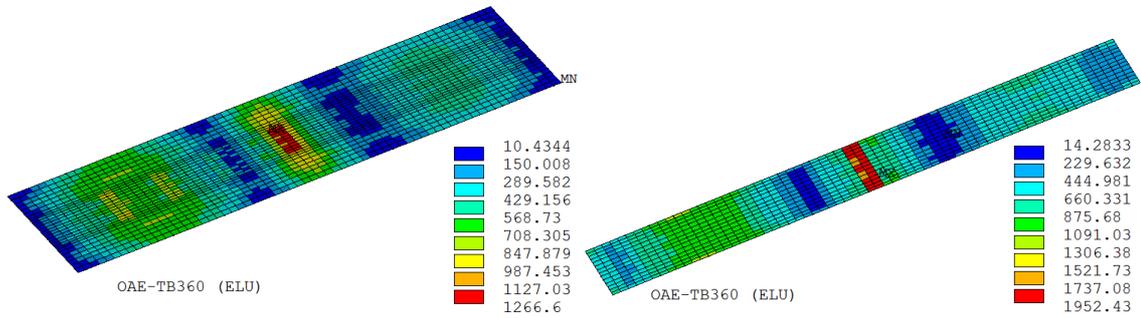


VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

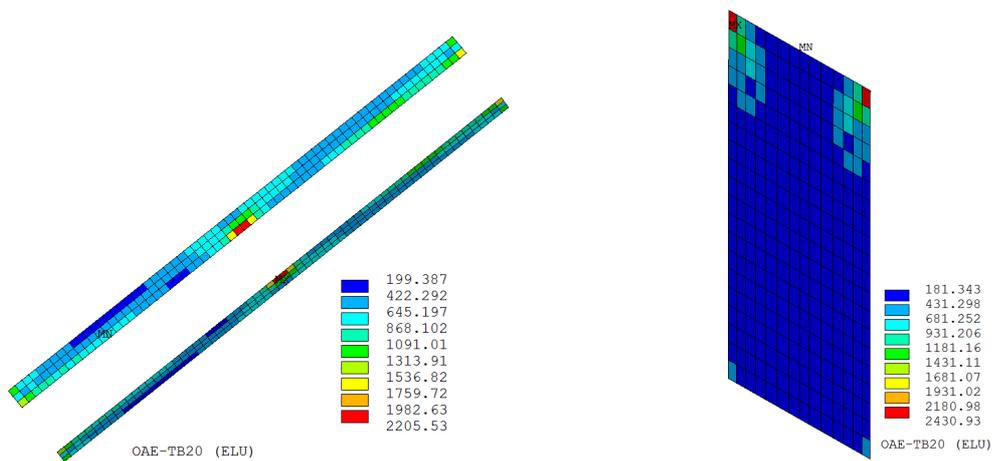
COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:

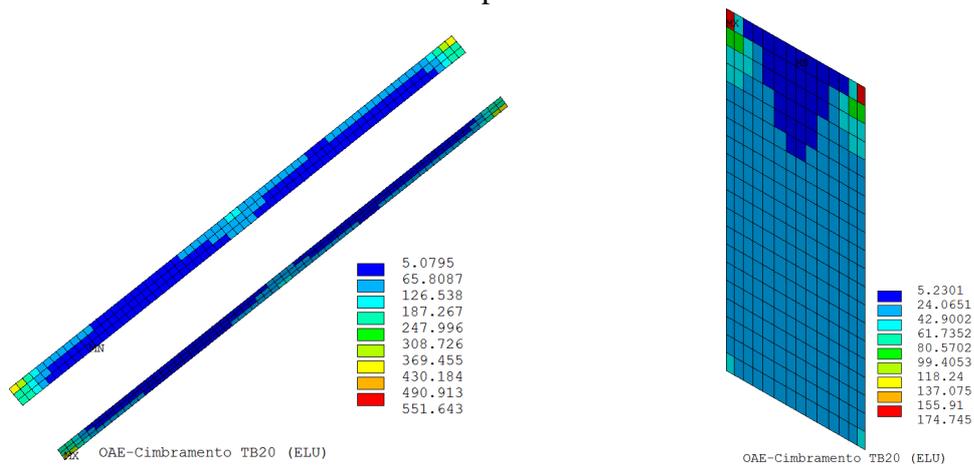


OAE Projetada para utilização do TB-360

Figura 12 – Resultados de tensões de von Mises - Lajes superior e inferior.



OAE Atual para o TB-20



OAE com execução de reforços e com operação de via com o TB-20

Figura 13 – Resultados de tensões de von Mises - Vigas longitudinais e pilar central.



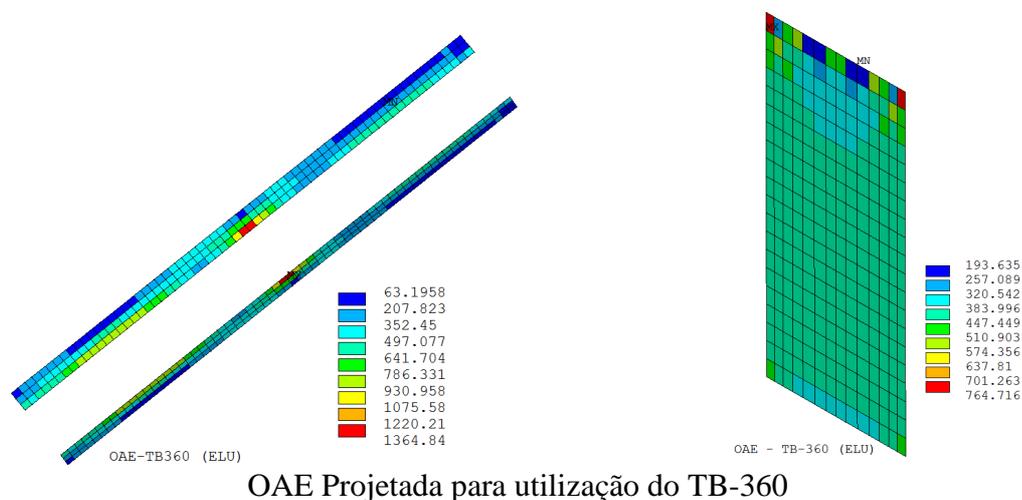
VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21,22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

Realização:



COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI



OAE Projetada para utilização do TB-360

Figura 14 – Resultados de tensões de von Mises - Vigas longitudinais e pilar central.

A partir dos resultados apresentados anteriormente, constata-se que os valores de tensão de von Mises obtidos para as situações (2) e (3) são menores que os obtidos para a situação (1). Dessa forma, conclui-se que a estrutura da OAE atende as etapas de execução de reforços propostos para garantir a futura utilização do TB-360 e sem causar impactos de interrupção de operação de via quando da utilização do TB-20.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7187 – Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7189 – Cargas móveis para projeto estrutural de obras ferroviárias. Rio de Janeiro, 1985.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681 – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10839 – Execução de obras de arte especiais em concreto armado e concreto protendido. Rio de Janeiro, 1989.
- BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Manual de projeto de obras-de-arte especiais. Rio de Janeiro, 1996. (IPR. Publ., 698).