

ANÁLISE ESTRUTURAL COM O SOFTWARE SCIA ENGINEER DA SUPERESTRUTURA DO PROJETO DE UMA PONTE RURAL DE 10 METROS NO MUNICÍPIO DE DOIS IRMÃOS DO TOCANTINS – TO, QUE DÁ ACESSO A COMUNIDADE DE AGRICULTORES FAMILIAR IMACULADO CORAÇÃO DE MARIA.

Jeydson Luckyann Ferst - e-mail: eng.luckyann@Gmail.com
MBA Projeto, Execução e Desempenho de Estruturas e Fundações
Instituto de Pós-Graduação - IPOG
Palmas, TO, 12 de dezembro de 2019

Resumo

As pontes são elementos estruturais essenciais ao desenvolvimento social e econômico de um local, já que interliga lugares, nações e culturas. Então é necessário que sejam eficientes do ponto de vista técnico, estético e econômico, como se verá a diante na parte teórica. Neste trabalho foi feita a análise estrutural da superestrutura do projeto de uma ponte rural de concreto armado no município de Dois Irmãos do Tocantins. Para a realização da análise fora utilizado um software comercial chamado SCIA Engineer, baseado no método dos elementos finitos (MEF). Como não havia informações do trem-tipo utilizado no projeto, fora feito anamnese e descobriu-se que era de 45 toneladas, esta que foi considerada a única ação variável no lançamento das cargas. As cargas foram calculadas e lançadas conforme as normas técnicas brasileiras (NBR'S). A análise realizada foi do tipo linear e constatou-se com os resultados que a locação do veículo-tipo no local correto, faz uma enorme diferença para o projeto, pois houve aumento exorbitante de tensões na longarina e laje quando o veículo foi posicionado próximo ao guarda-rodas.

Palavras-chave: Ponte; Análise estrutural; superestrutura; Laje; Longarina.

1. INTRODUÇÃO

Localizado no Vale do Araguaia de coordenadas Latitude S -09°15'30" Longitude O 49°03'52", o município de Dois Irmãos do Tocantins teve origem na descoberta de garimpos de cristal de rocha, com a descoberta desta atividade extrativista vieram povos diversificados dos estados do Pará, Maranhão e dos municípios de Araguacema, Pedro Afonso e Bela Vista. O nome “Dois Irmãos” foi dado em função da existência de dois morros paralelos que dominavam a paisagem local, sendo este emancipado em 04 de setembro de 1963. A área territorial do município é 3.757,036 Km², sua população é de 7.161 habitantes, sendo destes 2.777 residentes na zona urbana e 4.384 na rural conforme último levantamento do censo 2010, SOARES Et Al (2015).

Tendo em vista as informações sobre o município em questão, obserou-se que a maior parte de sua população reside no meio rural, haja visto que 61,22% da população está concentrada nesta zona.

A maioria das estradas rurais precisam da construção de pontes em algum ponto do seu trajeto devido a obstáculos como rios, correiros, ribeirões e dentre outros, haja visto que, se houver estradas em boas condições porém não haver pontes nos obstáculos citados torna-se um gargalo para o deslocamento das pessoas e escoamento da produção, gerando assim transtornos sociais e financeiros.

As pontes nas estradas rurais têm grande importância para o desenvolvimento de Dois Irmãos do Tocantins, seja do ponto de vista social ou do ponto de vista econômico, pois devem assegurar a entrada de insumos nas localidades agrícolas, o escoamento da produção e o livre deslocamento da população do meio rural.

Nas propriedades rurais localizadas na Região Comunidade de Agricultores Familiar Imaculado Coração de Maria, existe produção de produtos agrícolas, principalmente de grãos, como a soja, milho, entre outros e também da pecuária, havendo necessidade de ligação destas propriedades com Dois Irmãos e municípios vizinhos para comercialização da produção por meio de estradas vicinais funcionais, ou seja, com nenhum obstáculo que possa impedir o tráfego da população nem escoamento da produção, logo tem-se que ter pontes em condições transitáveis.

No que tange ao desenvolvimento deste trabalho, buscou-se fazer a análise estrutural da superestrutura do projeto de uma ponte em concreto armado implantada na Região Comunidade de Agricultores Familiar Imaculado Coração de Maria. Foi feita uma anamnese para verificar quais os veículos usuais que trafegam na Região, principalmente nos períodos de maior escoamento da produção agrícola, pois nessas ocasiões existem maiores utilizações de grandes maquinários agrícolas e caminhões com maior capacidade de carga, logo o projeto da ponte em questão tinha como veículo-tipo o de 45 toneladas. Em posse das informações colhidas foi feito o lançamento das cargas permanentes da ponte e da carga móvel em duas posições distintas, sendo o primeiro lançamento do trem-tipo no centro da laje, cujo os pneus do veículo passa sobre as vigas e o segundo passa com as rodas próximo ao guarda-rodas.

Constatou-se que o trem-tipo que passa com as rodas próximo ao guarda-rodas fora a pior situação para a estrutura, pois foi o que gerou os maiores esforços internos tanto para a longarina quanto para a laje.

Ficou evidente também que uma simples mudança de posição da carga móvel pode gerar um aumento de mais de 6000% nos esforços internos dos elementos estruturais.

2. DESENVOLVIMENTO

Este artigo é um estudo de caso de uma ponte projetada na zona rural de Dois Irmãos do Tocantins. Está dividido em quatro capítulos. Sendo que o capítulo 1 apresenta a introdução do tema.

O capítulo 2 apresenta o desenvolvimento desse trabalho, demonstrando a forma como está dividido.

No capítulo 3 é apresentado a revisão bibliográfica com conceitos e características relacionadas a estrutura estudada, a metodologia aplicada e as ferramentas utilizadas para obtenção dos resultados. Nessa etapa a pesquisa foi organizada compondo assim, toda metodologia e referencial teórico, permitindo uma melhor compreensão do tema abordado.

O capítulo 4 apresenta os resultados e discussões a respeito do assunto e dos estudos realizados, sendo obtidos resultados para análise e comparativos em relação as tensões obtidas pelos trem-tipo no centro da laje e na lateral.

O capítulo 5 reúne as conclusões obtidas através da revisão bibliográfica, juntamente com reflexões a respeito do desenvolvimento do tema, bem como sugestões de melhorias para desenvolvimento de trabalhos futuros e aplicação.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas no desenvolvimento dessa pesquisa.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. PONTES

A obra de arte é uma estrutura projetada para transpor obstáculos e permitir a continuidade do leito de uma via, podendo ser uma ponte ou um viaduto. A ponte tem como finalidade transpor vales profundos, rios, oceanos e outros locais alagados. Quando a ponte tem como finalidade a transposição de vales, outras vias ou obstáculos em geral não constituídos por água é, comumente, denominada viaduto PFEIL (1983).

As pontes sempre instigaram admiração ao longo da história da humanidade, por representar o domínio sobre a natureza, e conseqüentemente, desenvolvimento de uma localidade.

Sobre a importância das pontes, Wittfoht (1975), em seu livro, *Puente: Ejemplos Internacionales*, coloca que:

Desde que o homem habita este mundo, as pontes são a expressão de sua vontade de superar os obstáculos que encontra no caminho para atingir o seu objetivo. As pontes são testemunho do progresso, poder e decadência; nos falam da cultura dos povos e de sua mentalidade. Desde a obra modesta, somente funcional, até o monumento de formas aperfeiçoadas – mais ou menos carregada artisticamente – encontramos tal multiplicidade de expressões.

Conforme Pfeil (1983), a construção das obras de arte é feita normalmente através de projetos específicos, pois, cada obra possui particularidades que a torna distinta das demais, mas suas partes constituintes são as mesmas. Logo como afirma o autor citado este projeto teve particularidades que o fizeram ser distinto a muitas outras pontes com vãos semelhantes. No presente trabalho a obra de arte estudada é uma ponte e, nos próximos itens, são apresentadas a classificação e alguns conceitos importantes.

3.2. PARTES CONSTITUINTES

Segundo Pfeil (1979), quanto as partes constituintes, as pontes podem ser divididas em três: Superestrutura, Mesoestrutura e Infraestrutura, cujas características são:

- A infraestrutura ou fundação é a parte da ponte por meio da qual são transmitidos ao terreno de implantação da obra, rocha ou solo, os esforços recebidos da mesoestrutura. Constituem a infraestrutura os blocos, as sapatas, as estacas e os tubulões dentre outros.
- A mesoestrutura, constituída pelos pilares, é o elemento que recebe os esforços da superestrutura e os transmite à infraestrutura.
- A superestrutura, composta geralmente de lajes e vigas principais e secundárias, é o elemento de suporte imediato do estrado, que constitui a parte útil da obra, sob o ponto de vista de sua finalidade.

Há um elemento que os engenheiros não entram em consenso se faz parte da infraestrutura ou mesoestrutura, este é denominado encontro, que é fundamental para a maioria das pontes pela sua função de receber o empuxo dos aterros de acesso e evitar sua transmissão aos demais elementos das pontes. Os encontros são imprescindíveis principalmente em pontes que há o risco de erosões do aterro de acesso motivadas pelo curso de água, porém podem ser dispensáveis caso não haja risco de erosão. A Figura 1 ilustra a localização das partes constituintes das pontes.

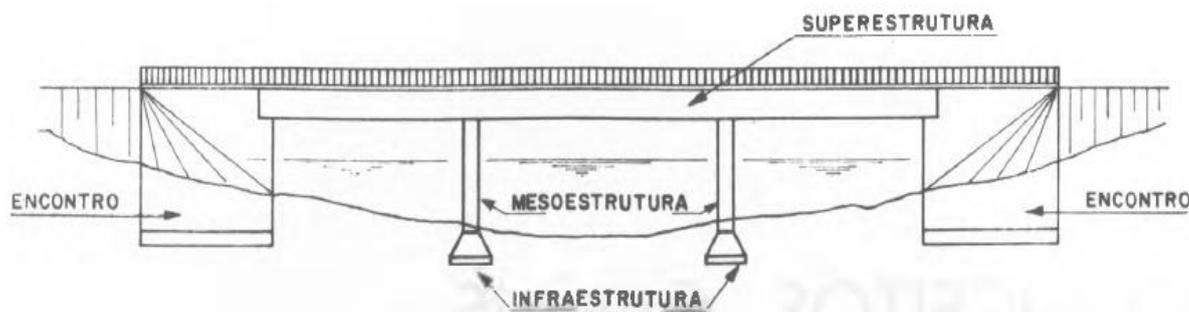


Figura 1 – Elementos constituintes de uma ponte. Fonte: PFEIL (1979).

3.3. CLASSIFICAÇÃO

Conforme Marchetti (2008), as pontes são classificadas da seguinte maneira:

- Segundo a extensão, que para vão até 2 metros é considerado bueiros, de 2 a 10 metros classifica-se como pontilhão e vão de 10 metros em diante já é ponte.
- Segundo a durabilidade, as pontes podem ser classificadas como permanentes ou provisórias. As pontes permanentes são aquelas construídas em caráter definitivo, deve ser durável até que forem alteradas as condições da estrada. As pontes provisórias são as construídas para durar de forma limitada, comumente até que se construa a obra definitiva, de maneira geral servem como desvio de tráfego. Pontes desmontáveis são construídas para uma duração limitada, sendo que diferem das provisórias devido a serem reaproveitáveis.
- Segundo a natureza do tráfego, podem ser rodoviárias, ferroviárias, rodoferroviária, passarelas, aeroviárias, pontes canal, pontes mistas e pontes aqueduto.
- Segundo o desenvolvimento planimétrico, ao considerar projeção do eixo da ponte em um plano horizontal (planta), pode-se classificar como pontes reta, ortogonais, esconsas e curvas.
- Segundo o desenvolvimento altímetro, ao considerar a projeção do eixo da ponte em plano vertical (elevação), pode-se classificar como pontes horizontais (em nível) em rampa, retilíneas ou curvilíneas.
- Segundo ao sistema estrutural, podem ser classificadas em pontes em laje, em vigas, em grelha, em pórticos, em arco, pênseis e estaiadas.
- Segundo o material da superestrutura, as pontes podem ser classificadas como de concreto armado, concreto protendido, pré-moldado, madeira, alvenaria e metálicas.
- Segundo o tipo estático da superestrutura, elas podem ser isostáticas ou hiperestática.
- Segundo o tipo construtivo da superestrutura, pode ser moldada in loco, onde a superestrutura é executada no próprio local da ponte, na posição definitiva, sobre escoramento apropriado (cimbramento, treliça etc.), apoiando-se diretamente nos pilares, ou pré-moldada, onde os elementos da superestrutura são executados fora do local definitivo (na própria obra, em canteiro apropriado ou em usina distante) e, a seguir, transportados e colocados sem os pilares. Esse processo construtivo é muito usual em pontes de concreto protendido, principalmente quando houver muita repetição de vigas principais.

3.4. TIPOS ESTRUTURAIS DE PONTES

Segundo Marchetti (2008), as pontes podem ser em laje, viga, pórtico, arco, estaiadas e pênséis. Conforme Figura 2. Logo abaixo será feita uma breve descrição de cada tipo estrutural.

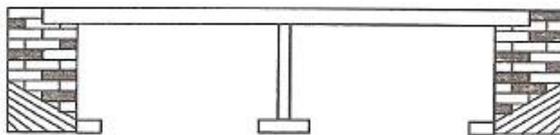
- Ponte em laje, é um sistema estrutural no qual não participa qualquer vigamento, geralmente adotada para pequenos vãos de no máximo 15 metros.
- Pontes em vigas, se caracterizam por apresentarem vinculações que não transmitem momentos fletores da superestrutura para a infraestrutura. Este tipo estrutural é o mais empregado atualmente no Brasil.
- Ponte em pórtico, sendo os pórticos formados pela ligação das vigas com os pilares ou com as paredes dos encontros, caracterizando a continuidade entre esses elementos em substituição às articulações, promovendo a transmissão dos momentos fletores da superestrutura para a infraestrutura. Neste tipo estrutural, parte da flexão da viga é transmitida para os pilares, possibilitando a redução dos momentos fletores na superestrutura à custa da flexão da infraestrutura.
- O arco é um tipo estrutural que tem um comportamento estrutural interessante, pois apresenta a possibilidade de ter os esforços de flexão reduzidos em função da sua forma. No caso de arcos de concreto, essa possibilidade de redução da flexão resultando na predominância da compressão, é adequada ao material, permitindo seu uso em pontes com grandes vãos com pequeno consumo do material. Podem Ser projetadas com tabuleiro superior (sustentado por montantes), com tabuleiro inferior (sustentado por tirantes ou pendurais).
- Nas pontes estaiadas de concreto, normalmente, apenas o tabuleiro é de concreto; pontes com tirantes de concreto são de uso muito restrito. Este esquema estrutural, que pode ser considerado igual ao de uma viga atirantada em vários pontos, é empregado para vãos muito grandes.
- As pontes pênséis são um sistema estrutural onde o tabuleiro contínuo é sustentado por vários cabos metálicos atirantados ligados a dois cabos maiores principais, denominados cabos portantes parabólicos, que, por sua vez, se interligam às torres de sustentação.

A transferência das cargas mais importantes às torres e às ancoragens em forma de pendurais é feita simplesmente por tração.

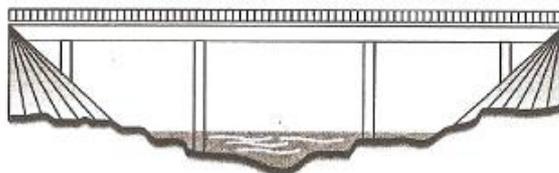
O vigamento metálico do tabuleiro pode ser uma treliça ou em caixão celular e deve possuir elevada rigidez à torção.

Os cabos portantes parabólicos ancoram-se profundamente no encontro ou maciço de concreto e não possuem praticamente nenhuma rigidez à flexão, o que leva o conjunto a ter um comportamento de instabilidade aerodinâmica.

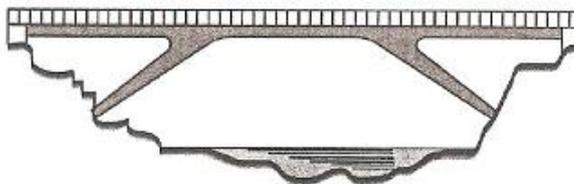
Ponte em laje



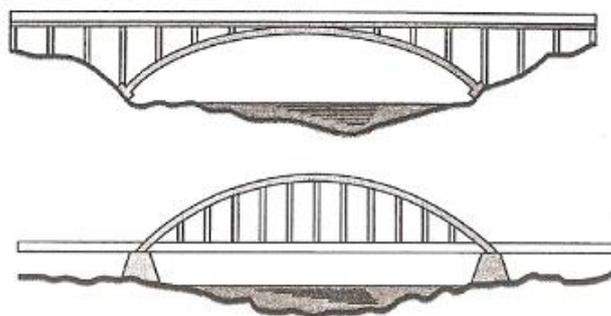
Ponte em viga



Ponte em pórtico



Ponte em arco



Ponte Pênsil

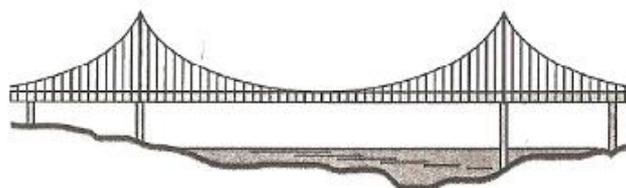


Figura 2 – Tipos estruturais de pontes. (Fonte: MARCHETTI, 2008).

3.5. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS

Segundo Pfeil (1979) o projeto geométrico de uma ponte é condicionado por diversos elementos, alguns dos quais são definidos a seguir:

- *Tramo de uma ponte*

É a parte da superestrutura localizada entre dois elementos consecutivos da mesoestrutura;

- *Vão teórico do tramo*

É a distância medida na horizontal entre os centros de dois apoios sucessivos;

- *Vão livre do tramo*

É a distância, medida na horizontal, entre os paramentos de dois pilares ou de pilares e encontros;

- *Altura de construção*

Em uma determinada seção é a distância medida na vertical, entre o ponto mais elevado da superfície do estrado e o ponto mais baixo da superestrutura, na seção considerada;

- *Altura livre abaixo da ponte*

Em uma determinada seção é a distância, medida na vertical, entre o ponto mais baixo da superestrutura e o ponto mais elevado do obstáculo transposto pela ponte, na seção considerada;

- *Escondidade*

Quando o eixo longitudinal da ponte não forma um ângulo reto com o eixo longitudinal do obstáculo transposto, diz-se que a ponte é oblíqua ou esconsa. Uma ponte é esconsa à direita ou à esquerda quando seu eixo longitudinal inclina-se para a direita ou para a esquerda da perpendicular ao eixo longitudinal do obstáculo transposto;

- *Largura das pontes rodoviárias*

As pontes rodoviárias podem ser divididas quanto à situação geográfica em urbanas e rurais.

As pontes urbanas possuem pistas de rolamento, com largura igual à da rua ou avenida onde se localiza a obra, e passeios correspondentes às calçadas da rua.

As pontes rurais são construídas com a finalidade de escoar o tráfego das rodovias. As rodovias apresentam pistas de rolamento e acostamento laterais. Os acostamentos servem a diversas finalidades, tais como:

- ✓ Desvios eventuais de veículos em tráfego;
- ✓ Parada de veículos;
- ✓ Trânsito de pedestres.

A primeira finalidade é importante para o acondicionamento psicológico do motorista. No caso de redução de largura ou eliminação do acostamento, produz-se um estrangulamento psicológico da estrada, o qual resulta em redução do escoamento do tráfego;

- *Gabaritos das pontes*

Denominam-se gabaritos os conjuntos de espaços livres que deve exibir o projeto de uma ponte, para atender a diversas finalidades. As pontes construídas sobre rodovias devem respeitar espaços livres, necessários para o tráfego de caminhões. Os gabaritos das ferrovias são mais altos, por ter eletrificação com cabos aéreos. As pontes construídas sobre vias navegáveis devem atender aos gabaritos de navegação dessas vias.

3.6. COMPONENTES GEOMÉTRICOS

Os componentes geométricos são apresentados conforme as partes constituintes das pontes, superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura nos próximos parágrafos, conforme SPERNAU (2013).

Da superestrutura: *guarda-corpos*, elementos das extremas laterais para proteção e contenção de pessoas; *passeios*, de uso dos pedestres, podem ser no nível da pista ou elevado; *barreiras* e *defensas*, elementos de contenção dos veículos sobre a pista, podendo ser em concreto armado (rígida) ou em laminas de aço (deformável); *lajes*, elementos de suporte do tabuleiro, recebem o pavimento sobre si; *transversinas*, vigas transversais que servem de apoio para laje e aumento de rigidez da superestrutura, pode ser ligada ou desligada das lajes;

vigas principais ou *longarinas*, elementos principais da superestrutura recebendo toda a carga desta; *alas*, placas laterais para contenção do solo de aterros; *cortinas*, contêm os aterros de acesso e também recebem os carregamentos verticais das lajes.

Da mesoestrutura: *aparelhos de apoio* fazem a ligação da superestrutura e mesoestrutura, alguns tipos comuns são Freyssinet ou apoios de neoprene; *pórticos ou pilares*, elementos verticais (pilares) e horizontais (vigas); *encontros*, elementos de contenção dos empuxos de terra nos acessos da ponte, evitando a transmissão destes para os demais elementos.

Da infraestrutura: este fora descrito no item 3.2 de forma objetiva.

Agora que se sabe o que são as pontes, quais as suas partes constituintes, classificação, tipos estruturais e sobre a geometria, podemos entrar na parte da análise estrutural que é o principal foco do artigo.

3.7. ANÁLISE ESTRUTURAL

A norma brasileira NBR 6118 (2014) define a análise estrutural como sendo o estabelecimento das distribuições de esforços internos, tensões, deformações e deslocamentos, em uma parte ou em toda a estrutura, com o objetivo de determinar os efeitos das ações, visando efetuar verificações de Estados Limites Últimos (ELU) e Estados Limites de Serviço (ELS).

A chegada e a evolução dos softwares disponíveis, permitem que a análise estrutural seja feita de forma mais realista, sem a necessidade das simplificações utilizadas nas décadas anteriores, de modo que hoje é possível analisar uma estrutura de forma global, levando em conta a interação entre os seus diversos componentes.

A análise estrutural de pontes está prevista no item 8.4 da NBR 7187 (2003), porém com a indicação de que deve ser realizada de acordo com o disposto na seção 14 da NBR 6118 (2014), que por sua vez, prevê a aplicação de cinco métodos, descritos a seguir, que se diferenciam pelo comportamento admitido para os materiais constituintes da estrutura. É exigida a conformidade com pelo menos um dos métodos para a aceitação do projeto.

3.7.1. ANÁLISE LINEAR

Este modelo admite o comportamento elástico-linear para os materiais. Os resultados da análise linear são, de modo geral, utilizados para a verificação de estado limite de serviço (ELS);

Quanto ao estado limite último (ELU), só poderá ser utilizado para situações em que, mesmo com tensões elevadas, seja possível garantir a ductilidade dos elementos estruturais.

3.7.2. ANÁLISE LINEAR COM REDISTRIBUIÇÃO

Após realizada a análise linear de uma estrutura, os efeitos das ações podem ser redistribuídos para as combinações de carregamento do ELU. As condições de equilíbrio e de ductilidade devem ser obrigatoriamente satisfeitas e todos os esforços internos devem ser recalculados para garantir o equilíbrio de cada um dos elementos estruturais e da estrutura como um todo.

As verificações de combinações de carregamento de ELS, ou de fadiga, podem ser feitas na análise linear sem redistribuição.

3.7.3. ANÁLISE PLÁSTICA

Plasticidade é a propriedade dos materiais de guardar deformações residuais.

Denomina-se análise estrutural plástica quando as não linearidades podem ser consideradas, admitindo-se comportamento rígido-plástico perfeito ou elasto-plástico perfeito para os materiais.

Para as estruturas reticuladas deve ser evitada a análise plástica quando se consideram os efeitos de segunda ordem global e quando não houver suficiente ductilidade para que as configurações adotadas sejam alcançadas.

Também deve ser evitado o cálculo plástico no caso de carregamento cíclico sujeito à fadiga.

3.7.4. ANÁLISE NÃO-LINEAR

A análise não-linear considera o comportamento não-linear dos materiais. Um material tem comportamento não-linear quando apresenta uma relação não-linear entre tensões e deformações, de modo que essa relação não pode ser definida por uma constante.

Para que a análise não-linear possa ser realizada é necessário que toda a geometria da estrutura, e todas as suas armaduras, sejam conhecidas, pois a resposta da análise depende de como a estrutura foi armada.

Uma análise não-linear complexa exige os softwares mais avançados devido à grande complexidade do cálculo iterativo, pois ao final de cada etapa, têm-se novos esforços, que permitem o cálculo de uma armadura diferente, de modo que tal armadura seja utilizada na interação seguinte. O processo é repetido até que a armadura obtida seja próxima à da etapa anterior.

Análise não-linear pode ser adotada tanto para verificação de estado limite último (ELU) como para verificação de estado limite de serviço (ELS).

3.7.5. ANÁLISE ATRAVÉS DE MODELOS FÍSICOS

Neste tipo de análise, o comportamento estrutural é determinado por meio de ensaios realizados com modelos físicos de concreto, considerando os critérios de semelhança mecânica.

Deve ser adotada uma metodologia nos ensaios que garanta a possibilidade de se obter a correta interpretação dos resultados. Obrigatoriamente devem ser obtidos resultados para todos os estados limites últimos e de serviço a serem empregados na análise da estrutura.

Os modelos físicos não são usualmente utilizados pelo alto custo dos ensaios, que necessitam de sofisticados equipamentos de laboratório e de pessoal treinado e especializado. Este tipo de análise é recomendado pela NBR 6118:2014, quando os modelos de cálculo são insuficientes, ou estão fora do escopo da referida norma. De modo geral, é utilizado apenas em obras de grande porte e de grande importância econômica.

Para que se possa fazer uma análise estrutural correta, deve-se fazer um levantamento minucioso de ações na estrutura. Essas ações devem ser corretamente lançadas na estrutura também para evitar erros na concepção e de análise estrutural, então logo abaixo será discorrido sobre as ações nas pontes.

3.8. AÇÕES NAS ESTRUTURAS DAS PONTES

Ações são as cargas que provocam esforços internos e deformações nas estruturas. Como as pontes que são um tipo particular de estrutura, a consideração das ações e da segurança deve ser feita de acordo com a norma NBR 8681 (2003) "Ações e segurança nas estruturas", que classifica as ações em permanentes, variáveis e excepcionais, conforme segue.

A NBR 7187 (2003), em sua seção 7, discorre sobre as ações a se considerar nos projetos de pontes.

3.8.1. AÇÕES PERMANENTES

Segundo a NBR 7187 (2003), as ações permanentes são "ações cujas intensidades podem ser consideradas como constantes ao longo da vida útil da construção. Também são

consideradas permanentes as que crescem no tempo, tendendo a um valor limite constante”. Entre as cargas permanentes estão peso próprio dos elementos estruturais, da pavimentação, dos trilhos, dos dormentes, dos lastros, dos revestimentos, das defensas, dos guarda-rodas, dos guarda-corpos e de dispositivos de sinalização, entram também os empuxos de terra e de líquidos, forças de protensão, deformações impostas, isto é, aquelas provocadas por fluência e retração do concreto, e por deslocamentos de apoios.

3.8.2. AÇÕES VARIÁVEIS

As ações variáveis são aquelas cujos valores apresentam variações significativas em torno de sua média, durante a vida útil da construção. Dentre os exemplos de ações variáveis estão as cargas móveis, as cargas de construção, as cargas de vento, o empuxo de terra provocado por cargas móveis, a pressão da água em movimento, efeito dinâmico do movimento das águas, as variações de temperatura.

Para o trabalho em questão, fora considerada apenas a carga móvel como ação variável, devido a análise estrutural ser somente da superestrutura, e não haver cargas de empuxo de solo, cargas devido a ação da água, a carga de vento ser desprezível pela altura da ponte do solo ser de somente 3,20 metros e o efeito da temperatura não é tão desfavorável, devido ao local da ponte ser bem sombreado e não haver incidência solar elevando a temperatura ambiente. Logo como disposto se dará enfoque a carga móvel como ação variável.

3.8.2.1 CARGA MÓVEL

A carga móvel, segundo a NBR 7188 (2013), é uma simplificação das cargas atuantes na rodovia, que é feita através de um veículo-tipo que reúne as características dos carregamentos provenientes do tráfego. Esse veículo-tipo deve ser considerado em sua posição mais desfavorável para o projeto estrutural de cada elemento. Quanto às cargas móveis previstas nesta norma, as estruturas de transposição classificam-se como segue:

- Classe 45 - na qual a base do sistema é um veículo-tipo de 450kN de peso total;
- Classe 30 - na qual a base do sistema é um veículo-tipo de 300kN de peso total;
- Classe 12 - na qual a base do sistema é um veículo-tipo de 120kN de peso total.

As cargas são definidas pela Tabela 1, que apresenta, de acordo com a classe da ponte, o peso total do veículo e a carga uniformemente distribuída. A localização do veículo na pista indica como as cargas devem ser distribuídas no tabuleiro para realizar o procedimento do cálculo (Figura 3).

Tabela 1 – Cargas dos veículos

Classe da ponte	Veículo		Carga uniformemente distribuída					
	Tipo	Peso Total		p		p'		Disposição da carga
		kN	tf	kN/m ²	kgf/m ²	kN/m ²	kgf/m ²	
45	45	450	45	5	500	3	300	Carga p em toda a pista
30	30	300	30	5	500	3	300	
12	12	120	12	4	400	3	300	Carga p' nos passeios

Fonte: NBR 7188 (1984), p. 2)

Uma descrição mais detalhada do trem-tipo está apresentada na Tabela 2. As dimensões dos trens-tipo estão apresentadas na Figura 4.

Tabela 2 – Características dos veículos

	Unidade	Tipo 45	Tipo 30	Tipo 12
Quantidade de eixos	Eixo	3	3	2
Peso total do veículo	kN - tf	450 - 45	300 - 30	120 - 12
Peso de cada roda dianteira	kN - tf	75 - 7,5	50 - 5	20 - 02
Peso de cada roda traseira	kN - tf	75 - 7,5	50 - 5	40 - 04
Peso de cada roda intermediária	kN - tf	75 - 7,5	50 - 5	-
Largura de contato b_1 de cada roda dianteira	m	0,50	0,40	0,20
Largura de contato b_3 de cada roda traseira	m	0,50	0,40	0,30
Largura de contato b_2 de cada roda intermediária	m	0,50	0,40	-
Comprimento de contato de cada roda	m	0,20	0,20	0,20
Área de contato de cada roda	m ²	0,2 x b	0,2 x b	0,2 x b
Distância entre os eixos	m	1,50	1,50	3,00
Distância entre os centros de roda de cada eixo	m	2,00	2,00	2,00

Fonte: NBR 7188 (1984), p. 3)

Conforme a NBR 7188 (2013), o veículo, além do peso, ainda possui as cargas geradas pelo impacto vertical e lateral. O impacto é considerado através de um acréscimo percentual na carga e é calculado através de um coeficiente dado pela Fórmula 1:

$$\varphi' = CIV \times CNF \times CIA \quad (1)$$

Onde:

CIV é o coeficiente de impacto vertical;

CNF é o coeficiente do número de faixas;

CIA é o coeficiente de impacto adicional.

Estes coeficientes serão melhor abordados logo abaixo depois das Figuras 3 e 4, para que se tenha um melhor entendimento.

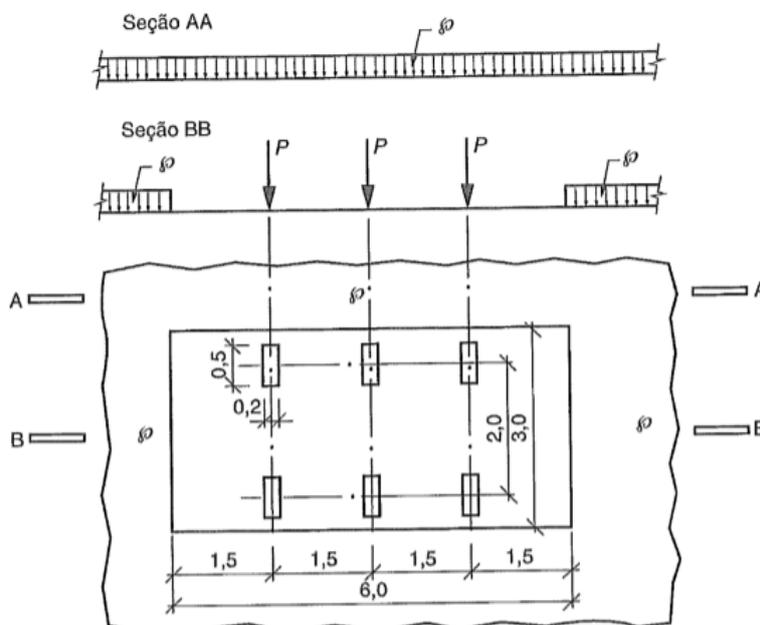


Figura 3 – Disposição das cargas estáticas. (Fonte: NBR 7188, 2013).

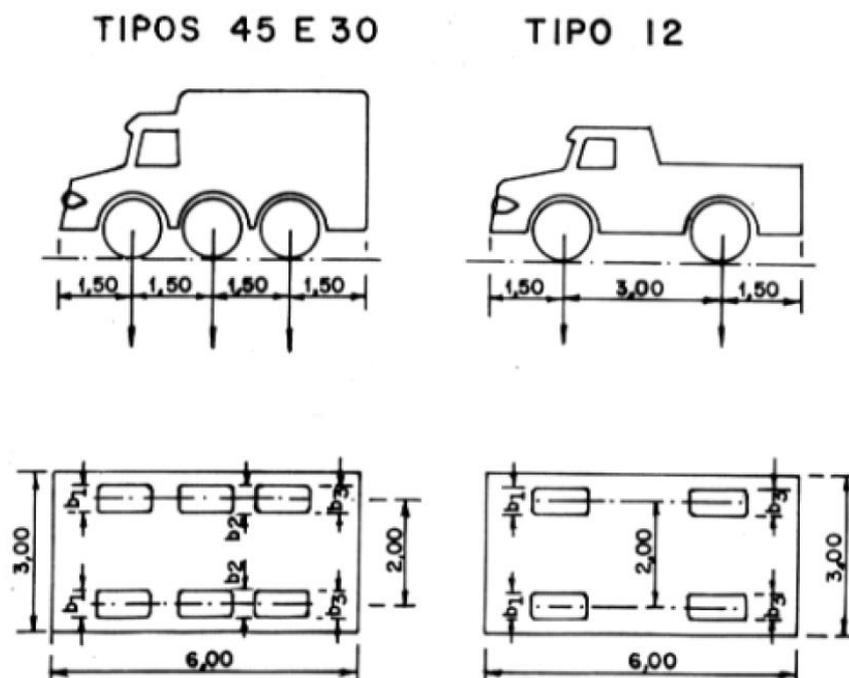


Figura 4 – Representação dos trens-tipo. (Fonte: NBR 7188, 1984)

O *CIV* tem a função de amplificar a ação da carga estática, simulando o efeito dinâmico da carga em movimento e a suspensão dos veículos automotores. Porém não simula e/ou elimina a necessidade de análise dinâmica nas estruturas sensíveis e/ou de baixa rigidez, em especial estruturas de aço e estruturas estaiadas. Este coeficiente é obtido pela Equação 2:

$$CIV = 1 + 1,06 \times (20/L + 50) \quad (2)$$

O *CNF* está relacionado à probabilidade de a carga móvel ocorrer em função do número de faixas. Acostamentos e faixas de segurança não são faixas de tráfego de rodovia. Este coeficiente é obtido pela Equação 3:

$$CNF = 1 - 0,05 * (n - 2) > 0,9 \quad (3)$$

Onde:

n é o número de faixas de tráfego rodoviário a serem carregadas sobre um tabuleiro.

O *CIA* consiste em um coeficiente destinado à majoração da carga móvel característica devido à imperfeição e/ou descontinuidade da pista de rolamento, no caso de juntas de dilatação e nas extremidades das obras, estruturas de transição e acessos. Ele possui os seguintes valores:

$CIA = 1,25$ para obras em concreto ou mistas;

$CIA = 1,15$ para obras em aço.

3.9. CÁLCULO DOS CARREGAMENTOS

Segundo a norma NBR 6118 (2014), um carregamento é definido pela combinação das ações que têm probabilidades não desprezíveis de atuarem simultaneamente sobre a estrutura, durante um período preestabelecido.

A combinação das ações deve ser feita de forma que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura. A verificação da segurança em relação aos estados-limites últimos (ELU) e aos estados limites de serviço (ELS) deve ser realizada em função de combinações últimas e combinações de serviço, respectivamente.

Em projetos de estruturas de concreto armado, todos elementos usualmente são dimensionados no estado limite último (ELU), e depois verificados em cada um dos estados limites de serviço (ELS).

Para a combinação última (ELU), o cálculo é feito para o esgotamento da capacidade resistente de elementos estruturais de concreto armado NBR 6118 (2014). O cálculo obedece à Equação 4.

$$Fd = \gamma g Fgk + \gamma \varepsilon g F\varepsilon gk + \gamma q (Fq1k + \sum \psi 0j Fqjk) + \gamma \varepsilon \psi 0 \varepsilon F\varepsilon k \quad (4)$$

Onde:

Fd é o valor de cálculo das ações para combinação última;

Fgk representa as ações permanentes diretas;

$F\varepsilon k$ representa as ações indiretas permanentes como a retração $F\varepsilon gk$ e variáveis como temperatura $F\varepsilon qk$;

Fqk representa as ações variáveis diretas das quais $Fq1k$ é escolhida principal;

γg representa o coeficiente de ponderação para ações permanentes;

$\gamma \varepsilon g$ representa o coeficiente de ponderação para ações indiretas permanentes (retração ou fluência);

γq representa o coeficiente de ponderação para as ações variáveis diretas;

$\gamma \varepsilon q$ representa o coeficiente de ponderação para as ações indiretas variáveis (temperatura);

$\psi 0j$ representa o fator de redução de combinação para as ações variáveis diretas;

$\psi 0\varepsilon$ representa o fator de redução de combinação para as ações variáveis indiretas.

Através das diversas verificações dos ELS, procura-se assegurar, em média, que o comportamento real das peças que compõe a estrutura seja adequado, isto é, dentro de limites sensoriais e funcionais aceitáveis.

Conforme a NBR 6118 (2014), há três tipos de combinações de serviço e estas se classificam de acordo com sua permanência na estrutura. Elas são as combinações quase permanentes, frequentes e raras, que serão apresentadas logo abaixo.

As combinações quase permanentes de utilização, podem atuar durante grande parte do período de vida da estrutura, e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado limite de deformações excessivas. Esta pode ser obtida pela Equação 5.

$$Fd,ser = \sum Fgi,k + \sum \psi 2j Fqj,k \quad (5)$$

As combinações frequentes de utilização, repetem-se muitas vezes durante o período de vida da estrutura, e sua consideração pode ser necessária na verificação dos estados limites de formação de fissuras, de abertura de fissuras e de vibrações excessivas. Podem também ser consideradas para verificações de estados limites de deformações excessivas decorrentes de vento ou temperatura que podem comprometer as vedações. Esta pode ser obtida pela Equação 6.

$$Fd,ser = \sum Fgik + \psi 1 Fq1k + \sum \psi 2j Fqjk \quad (6)$$

As combinações raras de utilização, ocorrem algumas vezes durante o período de vida da estrutura, e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado limite de formação de fissuras. Esta pode ser obtida pela Equação 7.

$$Fd,ser = \sum Fgik + Fq1k + \sum \psi 1j Fqjk \quad (7)$$

Onde:

Fd,ser é o valor de cálculo das ações para combinações de serviço;

$Fgik$ é o valor característico das ações permanentes diretas;

F_{q1k} é o valor característico das ações variáveis principais diretas;
 ψ_1 é o fator de redução de combinação frequente para ELS;
 ψ_2 é o fator de redução de combinação quase permanente para ELS.

3.10. METODOLOGIA

Para início do trabalho fora feito a localização da ponte estudada. Esta fica no município de Dois Irmãos do Tocantins, no estado do Tocantins, região do Vale do Araguaia, sentido a Comunidade de Agricultores Familiar Imaculado Coração de Maria de coordenadas latitude $9^{\circ}11'1.28''$ longitude $48^{\circ}49'23.25''$. A Figura 5 mostra a planta de situação do objeto de estudo.

Conforme a revisão bibliográfica a ponte estudada é de natureza rodoviária, classifica-se quanto ao tipo construtivo em moldada in loco, de concreto armado e quanto ao sistema estrutural é classificada como ponte em vigas. A parte constituinte da ponte estudada fora a superestrutura.

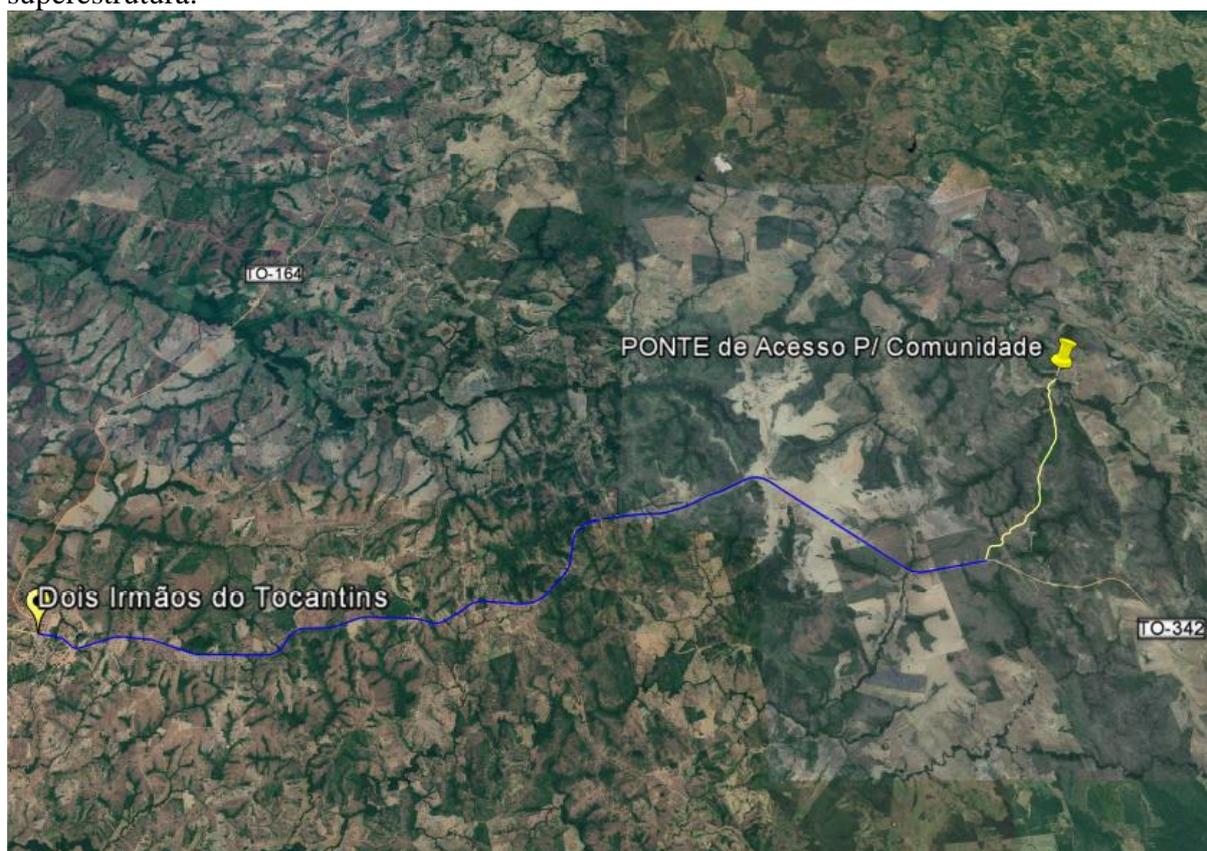
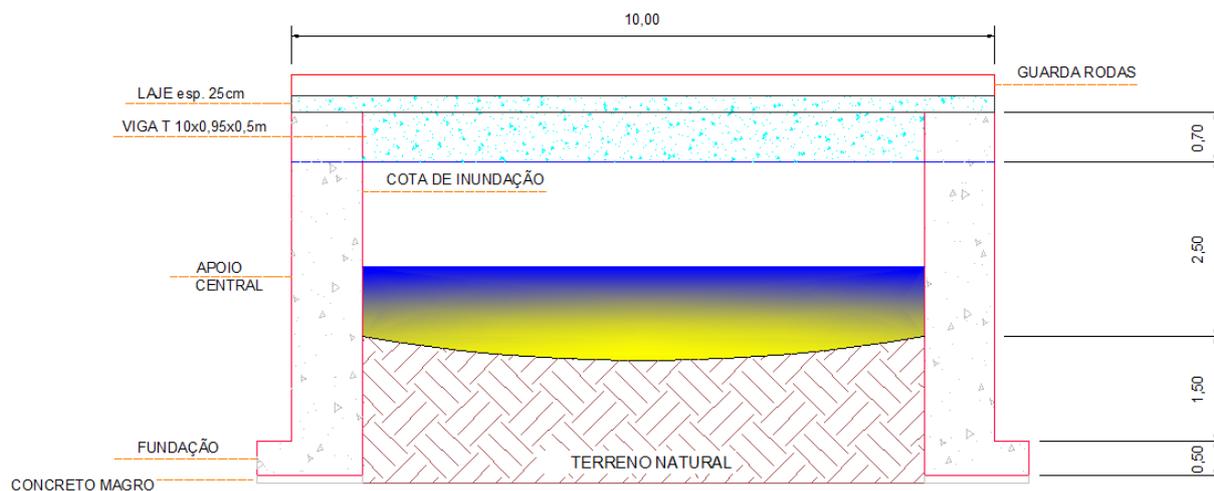


Figura 5 – Planta de situação da ponte sobre o rio surubim. (Fonte: Autor, 2019)

O trabalho foi paltado em um modelo de ponte em concreto armado, com vão de 10 metros apoiado sobre dois pegões paralelos e sem transversinas, vide Figuras 6 e 8. Quanto as dimensões a laje tem 4m de lagura por 10m de comprimento e 0,25m de espessura, o guarda-rodas tem 0,20m de lagura por 10m de comprimento e 0,30m de altura, as longarinas tem 0,50m de lagura por 10m de comprimento e 0,95m de altura contando a mesa colaborante da laje. A Figura 8 mostra a planta baixa da ponte estudada.



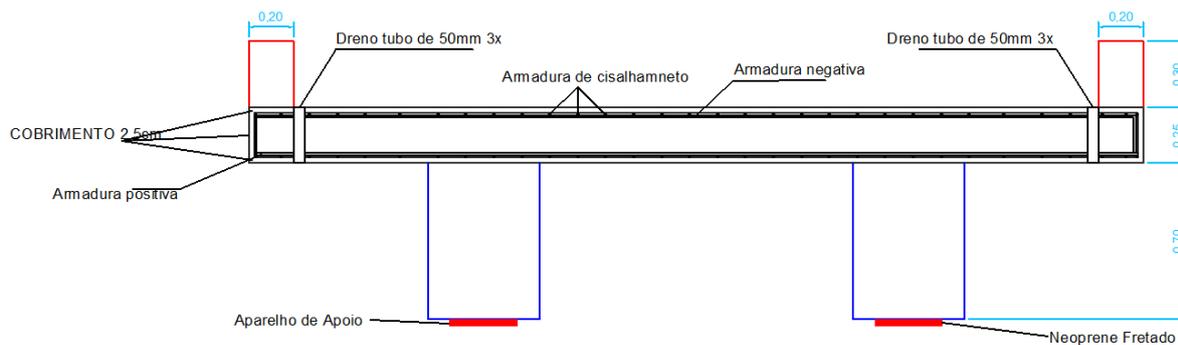
DETALHES CONSTRUTIVOS ESC. 1/75

Figura 6 – Corte da ponte. (Fonte: Autor, 2019)

Sobre o modelo estrutural tem-se uma laje maciça apoiada sobre duas vigas principais que por sua vez apóiam sobre os pegões. As longarinas contam com a colaboração da laje para a compressão do concreto, portanto são do tipo “T”. A Figura 7 mostra o corte da superestrutura.

O concreto empregado nas longarinas, laje e guarda-rodas fora de 25MPa, conforme especificações de projeto.

O aparelho de apoio neoprene fretado também fora modelado na estrutura para tornar a análise mais consistente. As características do material fora retirada de um catálogo técnico da Neoprex.



SEÇÃO TRANSVERSAL SUPER ESTRUTURA ESC. 1/25

Figura 7 – Corte da superestrutura. (Fonte: Autor, 2019)

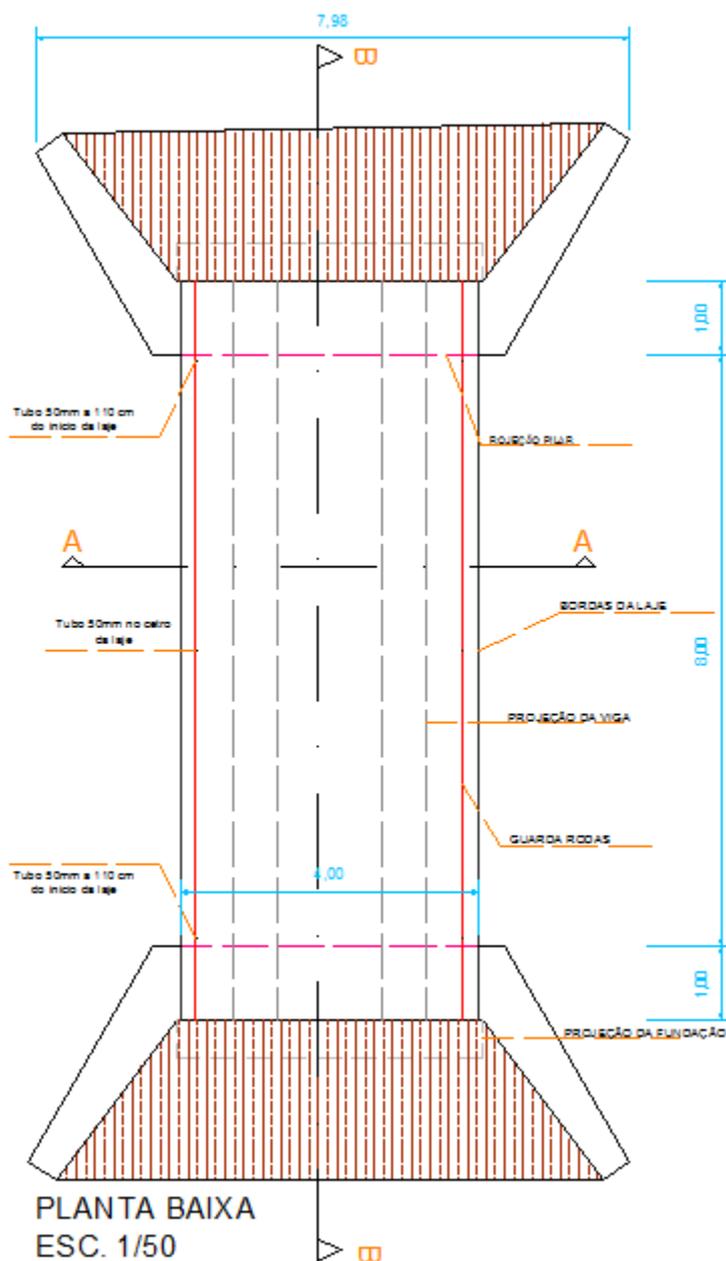


Figura 8 – Planta baixa. (Fonte: Autor, 2019)

Foram definidas as ações permanentes e variáveis atuantes na ponte, a partir das orientações da NBR 7187:2003 e da NBR 7188:2013.

O levantamento das ações permanentes transmitidas às longarinas indicou que essas foram oriundas do peso próprio dos elementos estruturais que compõem o tabuleiro da ponte. Como preconiza a NBR 7188:2013, para pontes rodoviárias, foi utilizado o veículo padronizado TB-450 para a determinação das ações variáveis. Ressalta-se que a carga móvel, determinada a partir do trem-tipo, foi considerada como a única ação variável atuante na estrutura da ponte. Anteriormente ao traçado das envoltórias dos esforços internos solicitantes, a carga móvel foi ajustada por coeficientes de ponderação e de impacto. As Figuras 9 e 10 mostram o modelo estrutural e o posicionamento da carga móvel no tabuleiro, para que se determinasse a pior situação da carga atuando na estrutura.

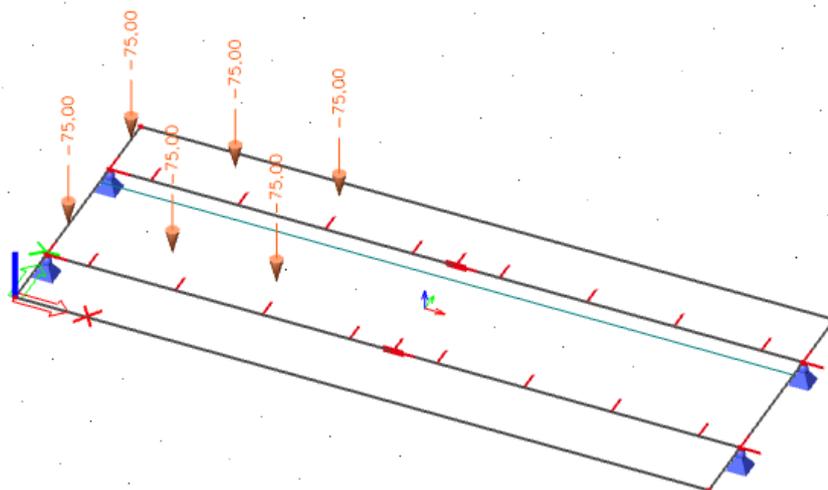


Figura 9 – Veículo posicionado com as rodas próximo ao guarda-rodas. (Fonte: Autor, 2019)

A superestrutura da ponte foi modelada no software SCIA Engineer da Nemetschek Group, empresa esta que tem sede em Munique Alemanha. Este programa é baseado no método dos elementos finitos e esta sendo muito difundido no Brasil e no mundo. A Figura 11 mostra a modelagem da superestrutura.

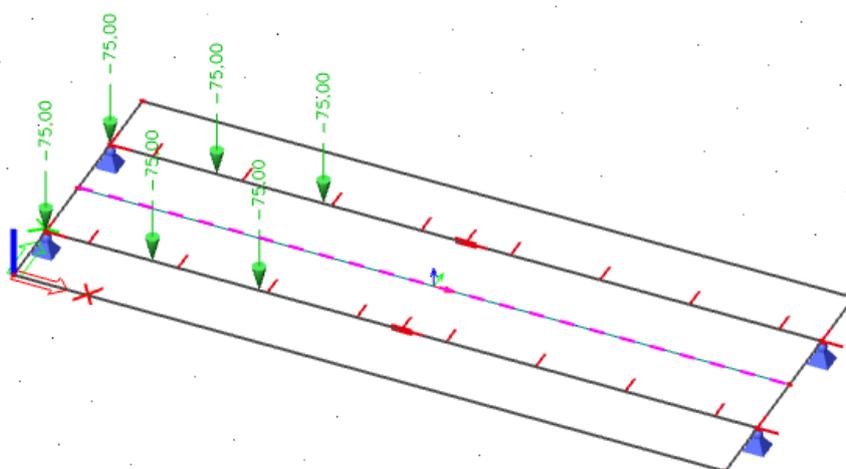


Figura 10 – Veículo posicionado com as rodas sobre as longarinas. (Fonte: Autor, 2019)

As combinações foram do tipo linear para o estado limite último e de serviço, todas feitas de forma manual dentro do SCIA Engineer. Foram feitas combinações de dimensionamento (ELU) e de verificações como deformação da estrutura, formação e abertura de fissuras e fadiga da laje e longarina.

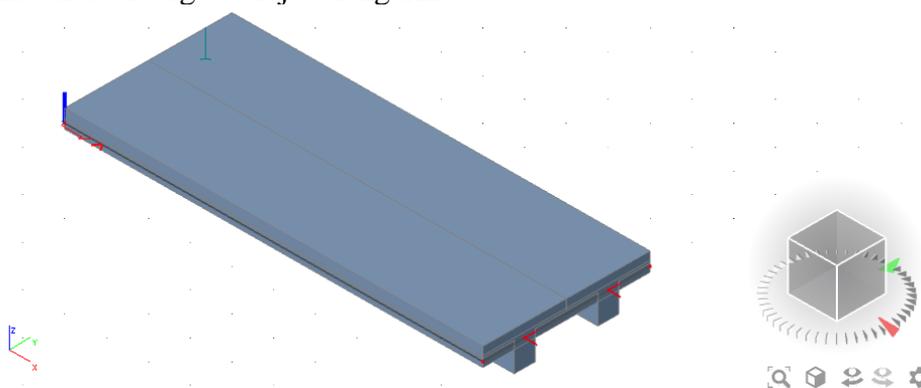


Figura 11 – Modelagem da ponte em 3D. (Fonte: Autor, 2019)

Para análise da laje no método dos elementos finitos, fora definido uma malha discretizada de 25cm. Vide Figura 12.

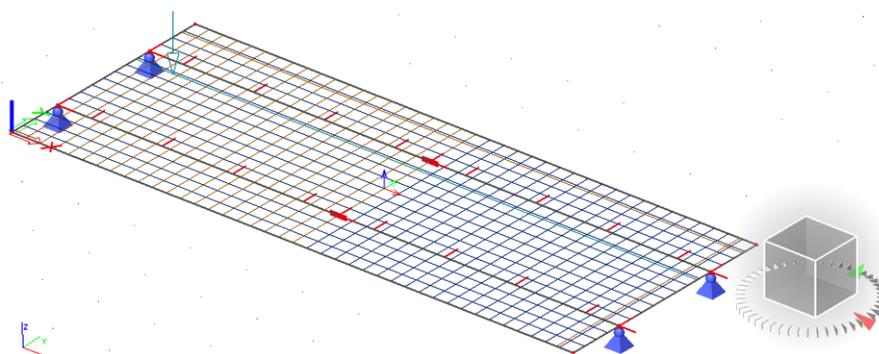


Figura 11 – Discretização da malha de elementos finitos de 25 por 25 centímetros. (Fonte: Autor, 2019)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os esforços calculados na análise estrutural e obtido através do software SCIA Engineer foram demonstrados nas Tabelas 3 e 4 para longarina e 5 e 6 para laje. As Figuras 12 e 13 demonstram a principal diferença entre os esforços nas vigas devido ao posicionamento do veículo e as Figuras 14 e 15 demonstram a principal diferença de distribuição de esforços na laje devido ao mesmo motivo.

Veículo Posicionado com as Rodas Próximas ao Guarda-Rodas					
Longarina	COMBINAÇÃO				
	Última	Quase Permanentes	Frequentes Fi	Frequentes Fa	Raras
Momento Fletor (Kn.m)	2238,32	613,41	739,04	924,69	1053,12
Momento Torçor (Kn.m)	199,66				
Esforço Cortante (Kn)	957,94				
Deformação (cm)	0,95				

Tabela 3 – Esforços interno da viga mais solicitada devido ao posicionamento do veículo. (Próprio Autor, 2019).

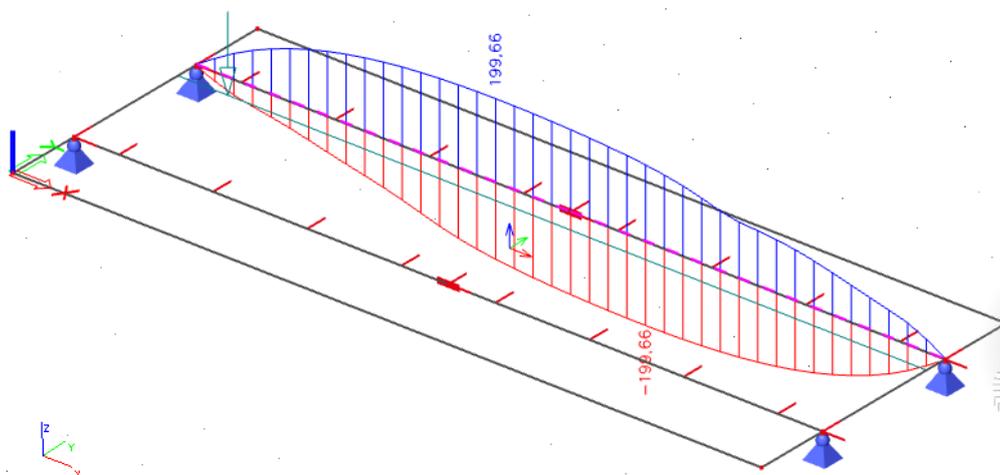


Figura 12 – Diagrama de momento torçor para veículo que passar com as rodas próximas ao guarda-rodas. (Fonte: Autor, 2019)

Veículo Posicionado no Centro da Ponte					
Longarina	COMBINAÇÃO				
	Última	Quase Permanentes	Frequentes Fi	Frequentes Fa	Raras
Momento Fletor (Kn.m)	1986,18	584,87	691,47	868,33	957,97
Momento Torçor (Kn.m)	3,12				
Esforço Cortante (Kn)	755,84				
Deformação (cm)		0,87			

Tabela 4 – Esforços internos das vigas devido ao veículo passar com as rodas sobre as mesmas. (Próprio Autor, 2019).

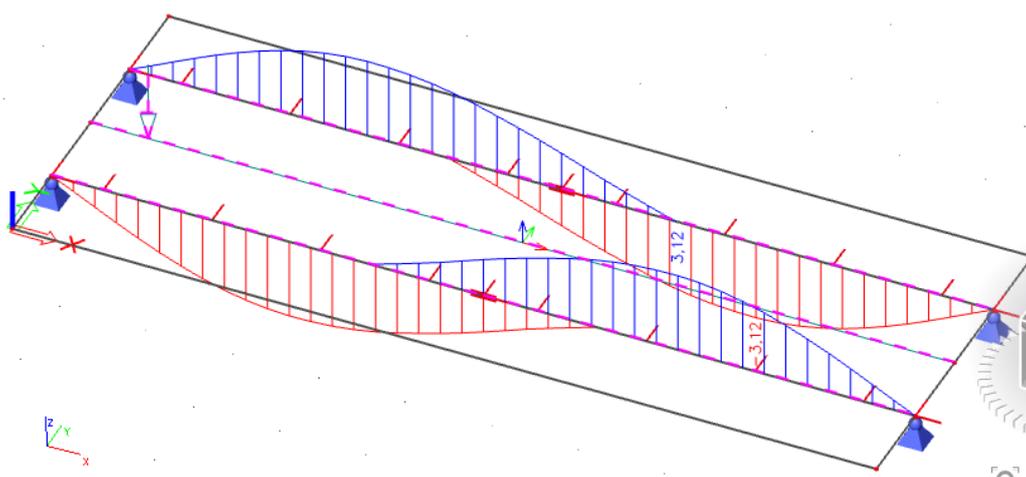


Figura 13 – Diagrama de momento torçor para veículo que passar com as rodas sobre a posição das vigas. (Fonte: Autor, 2019)

Em análise as Tabelas 3 e 4, observa-se prontamente que o veículo posicionado com as rodas próximo ao guarda-rodas produz as maiores solocitações na longarina, por exemplo, em relação ao momento fletor na combinação última foi 12,69% maior, na quase permanentes 4,88% maior, frequentes de fissuras 6,88% maior, frequentes de fadiga 6,49% maior e Raras 9,93% maior em relação ao veículo posicionado no centro da ponte. Se tratando de deformação da viga também houve acréscimo de 9,20% para o tem-tipo posicionado na extremidade da ponte.

Por meio das Figuras 12 e 13, observa-se também uma discrepância no diagrama de momento torçor, há uma diferença de 6399,36% a mais de torção na longarina para o veículo posicionado próximo ao guarda-rodas, esta é a maior diferença entre os valores, oque mostra que é indispensável a consideração das piores hipoteses do veículo na estrutura.

Veículo Posicionado com as Rodas Próximas ao Guarda-Rodas										
Laje	COMBINAÇÃO									
	Última		Quase Permanentes		Frequentes Fi		Frequentes Fa		Raras	
Momento Fletor (Kn.m)	X +	X -	X +	X -	X +	X -	X +	X -	X +	X -
	85,25	77,09	17,16	11,11	22,69	15,10	30,99	23,32	36,53	29,13
	Y +	Y -	Y +	Y -	Y +	Y -	Y +	Y -	Y +	Y -
Esforço Cortante (Kn)	537,52									
Deformação (cm)			0,79							

Tabela 5 – Esforços internos da laje devido ao veículo passar com as rodas próximo ao guarda-rodas (Próprio Autor, 2019).

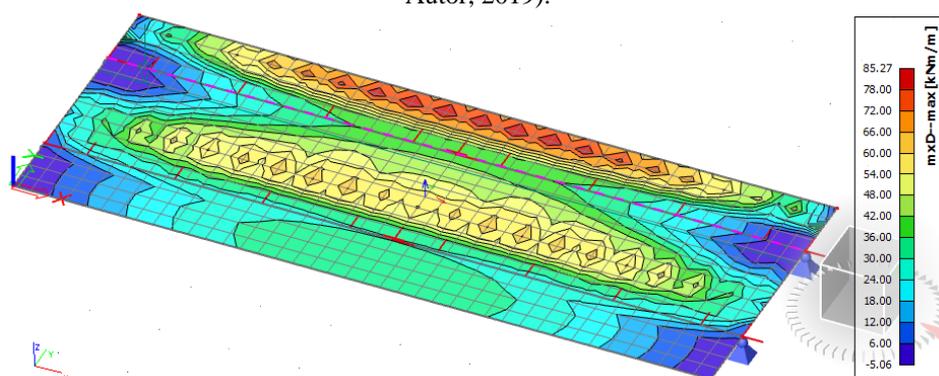


Figura 14 – Momento positivo da laje com veículo posicionado próximo ao guarda-rodas. (Fonte: Autor, 2019)

Veículo Posicionado no Centro da Ponte										
Laje	COMBINAÇÃO									
	Última		Quase Permanentes		Frequentes Fi		Frequentes Fa		Raras	
	X +	X -	X +	X -	X +	X -	X +	X -	X +	X -
Momento Fletor (Kn.m)	42,25	19,78	12,39	6,57	14,65	7,54	18,03	9,00	20,28	9,97
	Y +	Y -	Y +	Y -	Y +	Y -	Y +	Y -	Y +	Y -
	3,11	38,70	0,23	13,1	0,27	14,97	0,32	17,78	0,45	19,65
Esforço Cortante (Kn)	379,05									
Deformação (cm)			0,39							

Tabela 6 – Esforços internos da laje devido ao veículo passar com as rodas sobre o posicionamento da viga (Próprio Autor, 2019).

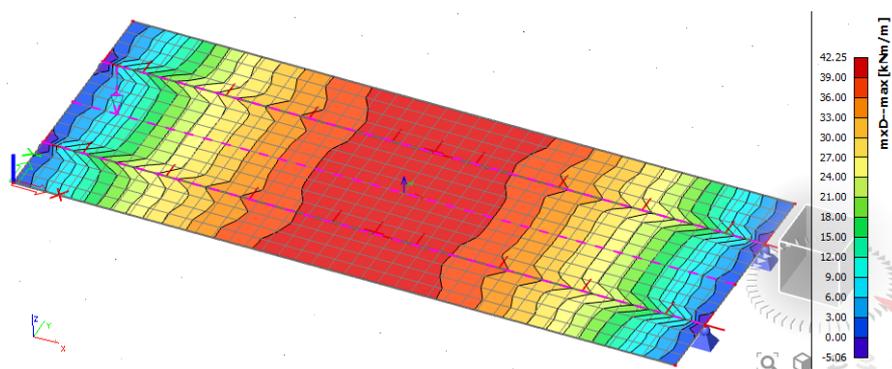


Figura 15 – Momento positivo da laje com veículo posicionado no centro. (Fonte: Autor, 2019)

As Tabelas 4 e 6, demonstram que o veículo posicionado com as rodas próximo ao guarda-rodas gera as maiores solocitações na laje, por exemplo, em relação ao momento fletor na direção “x” da combinação última foi maior 201,78% no positivo e 389,74% no negativo, na quase permanentes fora 3891,30% no positivo 230,23% no negativo, frequentes de fissuras 154,88% no positivo 200,27% no negativo, frequentes de fadiga 171,88% no positivo 259,11% no negativo e Raras 180,13% no positivo 292,18% no negativo. Já referente ao momento fletor na direção “y”, observa-se um aumento muito elevado em relação ao positivo, em média de 6001,83% entre os valores em todas as combinações. Este fato deve-se ao deslocamento da ação da carga móvel, haja visto que quando a carga passa sobre a posição da viga o momento fletor positivo na laje é mínimo, já que a viga absorve quase em sua totalidade o momento positivo, e quando a carga é deslocada para próximo ao guarda-rodas o

veículo não passa mais sobre as vigas que absorvia o momento positivo, gerando assim uma solicitação maior na laje. O mesmo acontece com o momento negativo só que em uma proporção bem menor.

Se tratando de deformação da laje, houve acréscimo de 202,56% para o tem-tipo posicionado na extremidade da ponte.

Analisando as Figuras 14 e 15, observa-se uma discrepância no diagrama de momento fletor, há uma distribuição de momento mais regular quando o veículo-tipo passa no centro da laje, gerando uma distribuição de esforços mais uniforme, com máxima de 42,25 Kn.m na parte central da mesma. Logo a distribuição é irregular para o veículo posicionado próximo ao guarda-rodas, com os esforços se concentrando nas proximidades das rodas do trem-tipo, e principalmente na aba da laje que fica em balanço, sendo o maior momento 85,27 Kn.m, que é mais de duas vezes maior que no modelo do veículo trafegando no centro da laje.

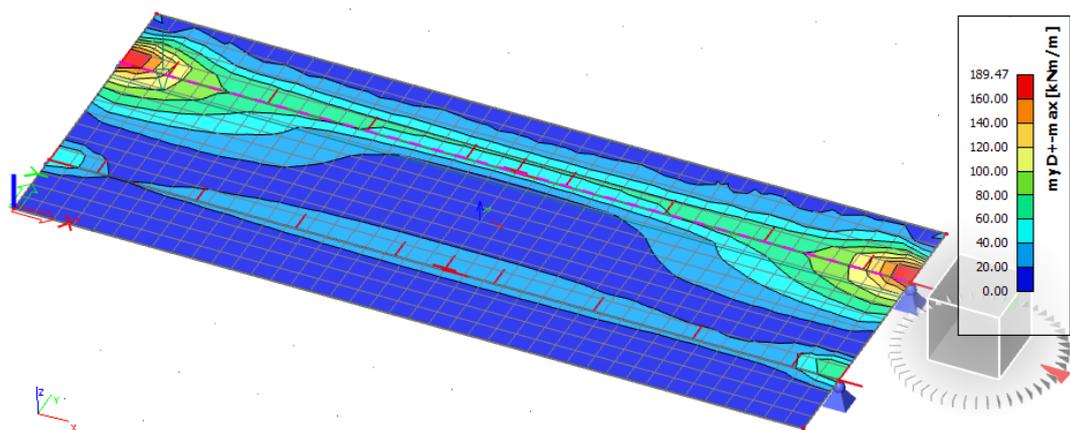


Figura 16 – Momento negativo da laje com veículo posicionado próximo ao guarda-rodas. (Fonte: Autor, 2019)

Outro ponto importante observado na análise estrutural da laje é demonstrado na Figura 16, que é um pico de momento negativo na ordem de 189,47 Kn.m na direção “y”, localizado na região de apoio da viga, como se fosse um esforço de punção na laje, porém quando se observa a viga como um todo o esforço predominante máximo é de 100 Kn.m, que é a faixa verde que se estende em toda extensão da longarina. O mesmo fenômeno ocorre com o esforço cortante na laje.

Referente a análise da Figura 16, entendo que o software interpretou como um pilar conectado a laje no ponto de apoio da longarina, gerando assim pico de esforços na laje que não seria condizente com o projeto.

5. CONCLUSÃO

Conforme consta nos resultados do estudo em questão, a análise estrutural bem feita é de fundamental importância para a vida útil da estrutura e principalmente para a segurança da mesma. Fora possível observar que tem que analisar cada situação possível de carregamento na estrutura, pois houve esforços que aumentaram cerca de mais de 6000% somente com a mudança no posicionamento da carga móvel.

É perceptível também que as longarinas tem 0,5m de base e 0,95m de altura, se observar o diagrama de momento torção para o caso da carga do veículo passando próximo ao guarda-rodas, vê-se que o caso de carga usado no projeto foi o supracitado, haja visto que esta largura de base não é usual em projetos de pontes de pequenos vãos, sendo mais comum 0,3 a 0,4m, a altura da viga também sugere que fora aumentada para melhorar a questão do momento torção que é muito alto, haja visto que a deformação da estrutura esta bem abaixo do que recomenda a NBR 6118:2014.

Os esforços cortante na laje apresentado na análise estrutural foram altos, e isso sugere que a laje provavelmente precisou de armadura de cisalhamento.

Em um apanhado geral, o estudo mostrou que a sensibilidade estrutural do engenheiro projetista é fundamental para um projeto de pontes durável e seguro para os usuários, pois o projetista deve ter grande experiência no lançamento de cargas na estrutura e indispensável senso crítico no lançamento do trem-tipo, procurando sempre as situações mais desfavoráveis para o dimensionamento da estrutura. A correta interpretação dos resultados gerado na análise estrutural também é imprescindível para que a estrutura seja corretamente dimensionada e deve-se haver um senso crítico também em relação aos resultados gerado pelo software na análise estrutural, sendo o engenheiro capaz de discernir quando um resultado apresentado não condiz com o modelo estrutural, afinal de contas um software não substituí o trabalho de um engenheiro, ele é apenas uma ferramenta que facilita o trabalho.

Para trabalhos futuros seria interessante que com os esforços obtido na análise estrutural fosse feito o dimensionamento e verificações da estrutura, para ver se atende ao estado limite último e de serviço.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7187 - Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7188 - Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7188 - Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre**. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681 - Ações e segurança nas estruturas – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

MARCHETTI, Osvaldemar . **Pontes de concreto armado**. Editora Blucher, São Paulo 2008.

PFEIL, W. **Pontes em concreto armado**. Editora Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1979.

PFEIL, W. **Pontes: Curso básico – projeto, construção e manutenção**. Editora Campus, Rio de Janeiro, 1983.

SOARES, A. O. et al. **Perfil socioeconômico dos municípios – Dois Irmãos do Tocantins**. Secretaria do Planejamento e Orçamento. Diretoria de Pesquisa e Informações Econômicas. Palmas, 2015.

SPERNAU, Wilson. **Notas de aula, Pontes ECV-5260**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

WITTFOHT, H. **Puentes Ejemplos Internacionales**. Editora Gustavo Gili, Barcelona, 1975.