



DIMENSIONAMENTO DE LONGARINAS DE UMA PONTE EM CONCRETO ARMADO NA RODOVIA MS-274 SOBRE O RIO DOURADOS

¹Geyson Martins Rodrigues; ²Thiago Biaca de Sousa

¹Discente do Curso de Engenharia Civil da Universidade Paranaense – UNIPAR

²Docente do Curso de Engenharia Civil da Universidade Paranaense – UNIPAR

Resumo

As pontes são elementos essenciais para o sistema rodoviário brasileiro, visto que esse modal se caracteriza como principal sistema logístico do país, pois viabiliza a circulação de cargas com agilidade e facilita o acesso às cidades. Nesse contexto, se insere o sistema estrutural de pontes sobre vigas, que ocupa lugar de destaque no país, por ser relativamente simples e eficiente, com vantagens econômicas e construtivas notadamente conhecidas. Dessa forma, este trabalho de pesquisa apresenta o dimensionamento de longarinas de uma ponte hipotética, onde foi utilizado o local de implantação de uma ponte de madeira, localizada na rodovia MS-274 sobre o rio Dourados que faz ligação entre os municípios de Dourados e Deodópolis, Mato Grosso do Sul. Neste local, atualmente ocorre a construção de uma ponte em concreto para substituir a ponte em madeira, a obra faz parte do programa “Mais Pontes”, que visa fazer esta mudança em diversos pontos do Estado, para melhorar a infraestrutura, escoamento da produção e trânsito de passageiros e motoristas. Após a definição das dimensões da ponte a ser analisada, foi aplicado o método das longarinas independentes, método recomendado pela NBR 7188 (2013) e encontrados os esforços solicitantes através do software Ftool, em seguida, dimensionadas as longarinas pelo software TQS.

Palavras-chave: Pontes; Concreto Armado; Dimensionamento; Longarinas.

Abstract

Bridges are essential elements for the Brazilian highway system, as this modal is characterized as the main logistical system in the country, as it enables the movement of cargo with agility and facilitates access to cities. In this context, the structural system of bridges over beams is inserted, which occupies a prominent place in the country, for being relatively simple and efficient, with well-known economic and constructive advantages. Thus, this research work presents the dimensioning of stringers of a hypothetical bridge, where the place of implantation of a wooden bridge was used, located on the MS-274 highway over the Dourados river that connects the cities of Dourados and Deodópolis, Mato Grosso do Sul. At this location, a concrete bridge is currently being built to replace the wooden bridge, the work is part of the “Mais Pontes” program, which aims to make this change in various parts of the state, to improve infrastructure, production flow and transit of passengers and drivers. After defining the dimensions of the bridge to be analyzed, the independent stringers method was applied, the method recommended by NBR 7188 (2013) and the requesting efforts were found through the Ftool software, then the stringers were dimensioned by the TQS software.

Keywords: Bridges; Reinforced Concrete; Sizing; Stringers.



1 Introdução

Ponte é uma obra destinada a estabelecer a continuidade de uma via de qualquer natureza sobre algum obstáculo, estes obstáculos podem ser rios, córregos, braços de mar e entre outros. O conceito de viaduto é dado quando estes obstáculos transpostos são um vale ou uma via (DEBS; TAKEYA, 2007).

As pontes e viadutos tem como requisitos fundamentais a funcionalidade, segurança, economia, durabilidade e sua estética. As pontes também sofrem as agressões decorrentes do uso, da ação de agentes deletérios e dos impactos. Estes efeitos devem ser avaliados para garantir a vida útil e funcionalidade dessas obras, visto que os danos nas estruturas e aumento da velocidade de degradação podem ter origem na falta de manutenção (SCHMIDT, 2017).

Segundo Baroni (2009), as Obras de Arte Especiais (OAEs) viárias – tipo pontes e viadutos – estão submetidas a um regime de carregamento onde as cargas acidentais, variáveis ou oscilantes, são muito elevadas. Das diversas ações sob as quais pontes e viadutos estão submetidos podemos citar as cargas permanentes, aquelas que atuam com valores praticamente constantes durante a vida útil da construção, e as cargas acidentais que estão ou não atuando na estrutura durante determinado tempo.

Nas últimas décadas, houve um aumento do volume do tráfego e do peso dos veículos em circulação nas pontes brasileiras. Estas condições podem acarretar problemas de fissuração e fadiga das armaduras das pontes de concreto armado (MONTEIRO, 2017).

Entre os anos de 1960 e 1970, a rede rodoviária sofreu o maior desenvolvimento. As pontes eram construídas com o antigo padrão NB-6: 1960 – Cargas Móveis em Pontes Rodoviária, trem-tipo TB-24 e trem-tipo TB-36, a carga móvel da ponte rodoviária, onde o peso total dos veículos não excedia 36 toneladas e essa norma foi utilizada para o dimensionamento de pontes até o ano de 1984 (SANTOS, 2003).

Na versão atual, a norma NBR 7188 (2013) estipula novas categorias para os tipos de trem-tipo, são elas a TB-30 e TB-45, correspondendo a cargas de 30 e 45 toneladas, respectivamente, portanto, a carga máxima rodoviária passou a ser de 45 toneladas. Três eixos, cada eixo tem 15 toneladas.

Segundo Lazzari (2008), a concepção de pontes sempre foi um grande progresso para a sociedade, pois sua principal função é de transpor obstáculos, ou seja, ligar uma região à outra. A partir dela, é possível estreitar as relações comerciais e culturais entre cidades vizinhas separadas por rios ou vales, promovendo o desenvolvimento econômico e comercial, ou nas relações sociais e culturais. Desta forma, o conhecimento teórico e prático para elaboração de um projeto de uma ponte é imprescindível para o contínuo avanço deste desenvolvimento.

Com isso, o objetivo do trabalho é dimensionar as longarinas de uma ponte em concreto armado. Ponte localizada na rodovia MS-274 sobre o rio Dourados que faz a ligação entre os municípios de Dourados e Deodápolis, Mato Grosso do Sul.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Breve histórico

De acordo com Nunes (2019), desde os primórdios das civilizações antigas, as pontes são estruturas que inspiram a criatividade humana. A utilização de cipós e

madeiras foram as primeiras experiências para transposição de obstáculos. Constituindo um breve histórico sob a perspectiva estrutural do assunto de pontes, onde, atualmente engenheiros e arquitetos procuram ideais entre geometria, estética, solicitações, economia e materiais, temos que, as primeiras pontes surgiram de forma intuitiva e utilizando materiais básicos como recursos.

Desde os tempos antigos, as pontes de madeira têm sido amplamente utilizadas na construção, inicialmente constituídas estruturalmente com disposições muito simples. Vale ressaltar que com o emprego deste material foi possível desenvolver pontes com vãos consideráveis, tal como uma ponte sobre o Reno, construída em 1758 com um vão de 118 metros (LEONHARDT, 1979).

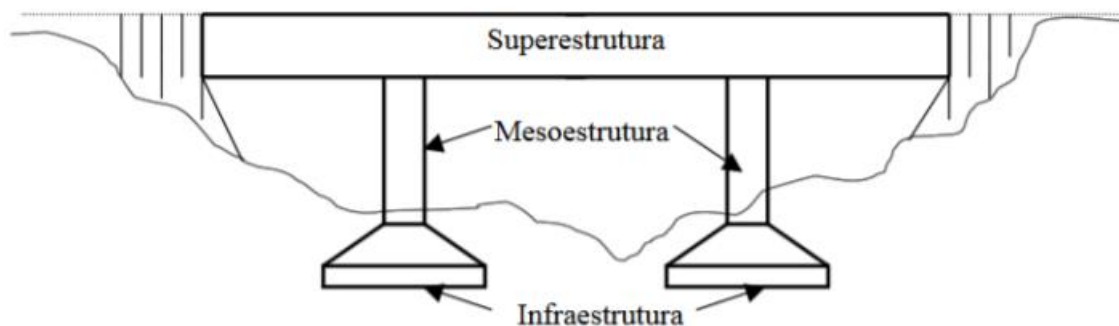
Após a utilização de madeira como recurso, começaram a empregar pedras como principal material para projetar pontes. Existem relatos de pontes romanas na Itália com mais de 2000 anos. As pontes romanas ganharam visibilidade pela sua estética e durabilidade. Os romanos descobriram, de forma empírica, que com a curvatura de um elemento, poderiam superar grandes vãos (LEONHARDT, 1979).

As primeiras pontes em concreto surgiram no início do século XX, eram confeccionadas de concreto simples em arco triarticulado, cujo material foi empregado para a substituição de pedra. Apesar de o concreto armado já ser utilizado para a concepção de tabuleiros de pontes de concreto simples, foi somente em 1912 que a construção de pontes de vigas e pórticos de concreto armado com um vão de até 30 metros começou. Em 1938 surgem as pontes de concreto protendido, cujas possibilidades construtivas superam as do concreto armado, onde o tempo de execução pode ser mais rápido e também possibilita atingir vãos maiores (DEBS; TAKEYA, 2007).

2.2 Elementos constituintes das pontes

Segundo Pfeil (1979), as pontes podem ser divididas em três partes principais: infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura, conforme ilustra a figura 1.

Figura 1: Elementos constituintes de pontes.



Fonte: MATTOS (2001)



2.2.1 Infraestrutura

É a parte por meio da qual são transmitidos ao terreno de implantação da obra (rocha ou solo) os esforços recebidos da mesoestrutura, a infraestrutura é constituída das fundações e seus blocos que podem ser rasas ou profundas (MENDES, 2017).

A NBR 6122 (2014) – Projeto e execução de fundações, as fundações rasas podem ser de blocos, sapatas ou radiers. Os blocos possuem alturas mais consideráveis, pois não utilizam armaduras na base para auxiliar na resistência aos esforços aplicados sobre ele e atuam apenas por compressão. As sapatas podem ter base em planta em formato quadrado, retangular ou trapezoidal, elas são mais esbeltas do que os blocos, pois têm além do concreto, armaduras para resistir a flexão imposta sobre ela e o radier é uma fundação rasa que se assemelha a uma placa de concreto que abrange todos os pilares da obra.

As estacas profundas ou tubulões são utilizados quando os esforços atuantes são elevados ou o solo onde vão ser apoiadas tem uma resistência menor do que a necessária em baixas profundidades (MENDES, 2017).

2.2.2 Mesoestrutura

É a parte da ponte que recebe os esforços da superestrutura e os transmite à infraestrutura, em conjunto com os esforços recebidos de outras forças atuantes na ponte, como pressões do vento e da água em movimento. A mesoestrutura é constituída por pilares, que transmite à infraestrutura os esforços recebidos da superestrutura com os esforços recebidos diretamente de outras forças solicitantes na ponte (PFEIL, 1979).

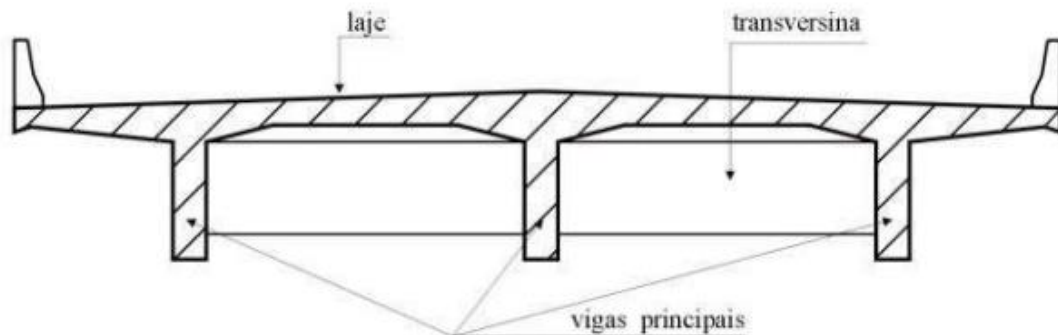
2.2.3 Superestrutura

A superestrutura é o elemento de suporte imediato do tabuleiro, composta geralmente de lajes e vigas principais e secundárias. A superestrutura é a parte da ponte destinada a vencer o obstáculo, é subdividida em duas partes: a estrutura principal, que tem a função de vencer o vão livre, e a estrutura secundária (tabuleiro), que recebe a ação direta das cargas e a transmite para a estrutura principal (DEBS; TAKEYA, 2009).

Para Mendes (2017), a superestrutura é dividida em longarinas, transversinas e laje. Mas também pode apresentar guarda-corpo e guarda-rodas.

As longarinas, ou vigas principais, são responsáveis por transmitir os esforços do tabuleiro para os pilares e as transversinas, ou vigas transversais, auxiliam na distribuição das cargas do tabuleiro para as longarinas, e também servem para travamento das longarinas, elas contribuem para aumento de rigidez do conjunto e aliviam as cargas sobre as longarinas, recebendo os carregamentos da laje. As lajes são os elementos que asseguram diretamente as pistas de rolamento, passeios e guarda-corpos ou guarda-rodas, conhecidos habitualmente como tabuleiro da ponte (VITÓRIO, 2002). De acordo com a figura 2, observa-se a laje, vigas principais e transversinas de uma ponte.

Figura 2: Vista transversal de uma ponte com longarinas múltiplas



Fonte: VITÓRIO (2002)

2.3 Classificação

Segundo Marchetti (2008), as pontes são classificadas quanto a natureza do tráfego, seu material de construção, tipo estrutural da superestrutura, o tempo de uso e quanto a mobilidade do tabuleiro. Quanto a natureza do tráfego, são divididas em pontes rodoviárias, para pedestres, aquedutos, ferroviárias, canal, aeroviárias e mistas.

Conforme o material de construção da estrutura tem-se pontes em pedra, madeira, concreto armado, concreto protendido e metálicas. A classificação quanto ao tipo estrutural da superestrutura, temos, pontes em lajes, vigas retas, treliças, pórticos, arcos, pênséis e estaiadas. (PFEIL, 1983).

Quanto ao tempo de uso podem ser definitivas ou provisórias. As permanentes são as pontes construídas em caráter definitivo, até que a vida útil da sua estrutura for atingida, ou haver mudança no traçado necessário. Já as pontes provisórias são construídas para uso em um espaço de tempo limitado, como, por exemplo, um desvio de tráfego ou até mesmo em casos emergenciais (MARCHETTI, 2008).

A mobilidade ou fixação do tabuleiro de uma ponte depende da necessidade do local onde será implantada na obra. Quando o tabuleiro da ponte deve ser construído em perfil longitudinal de uma estrada que não respeite a necessidade do tráfego fluvial do local, pode-se optar por mover o tabuleiro, seja totalmente ou apenas seu vão livre. Se esta movimentação é apenas de translação, ela pode ser corredeira, quando o movimento é horizontal; e levadiça, quando o movimento é vertical. No caso de a movimentação do tabuleiro ser rotativo, pode-se ter uma ponte basculante, se o giro é na vertical; ou giratória, quando o giro é horizontal (MARCHETTI, 2008).

2.3.1 Ponte em laje

A ponte em laje é um sistema construtivo de pontes onde não se usa vigas para sustentação das lajes e pode apresentar um sistema simplesmente apoiado em encontros. Este sistema estrutural possui algumas vantagens, como baixa altura de construção, boa resistência à torção e de rápida execução, possuindo também boa relação estética (MASON, 1977). Conforme a figura 3, pode ser observada uma ponte em laje.

Figura 3: Ponte em laje.



Fonte: LAJES HERTEL (2020)

2.3.2 Ponte em viga de alma cheia

Segundo Mason (1977), as pontes em viga de alma cheia possuem um sistema de vigas que suportam o tabuleiro e são muito utilizadas devido a uma boa distribuição dos esforços solicitantes na estrutura, bem como a diminuição do seu peso próprio. Nesse tipo de sistema, podem-se identificar dois elementos: as vigas longitudinais (também chamadas de vigas principais ou longarinas), e as vigas transversais (também chamadas de transversinas). A função da longarina é receber o carregamento do tabuleiro e das transversinas para distribuí-los a infraestrutura da ponte, ou seja, para os pilares, que por sua vez, distribuem para a fundação. Os principais esforços que atuam na longarina é o esforço de flexão e o esforço de cisalhamento oriundo dos momentos fletores e forças cortantes gerados pela solicitação de carregamento. A figura 4 mostra um exemplo de ponte em viga.

Figura 4: Ponte em viga. Ponte Presidente Costa e Silva.



Fonte: MARIORDO (2006)

2.3.3 Ponte treliçada

Pontes treliçadas são pontes que podem cobrir grandes vãos, geralmente metálicas, ou requerem plataformas móveis quando os navios passam. A treliça pode ser caracterizada como um conjunto de triângulos constituído por retas e dobradiças, apresentando duas grandes vantagens: a primeira é que os componentes solicitam apenas carga axial, a segunda permite maior altura, menor peso e flecha decrescente (PINHO, 2007). A figura 5 apresenta um modelo de ponte treliçada.

Figura 5: Ponte treliçada. Ponte Santa Margarida do Sado.

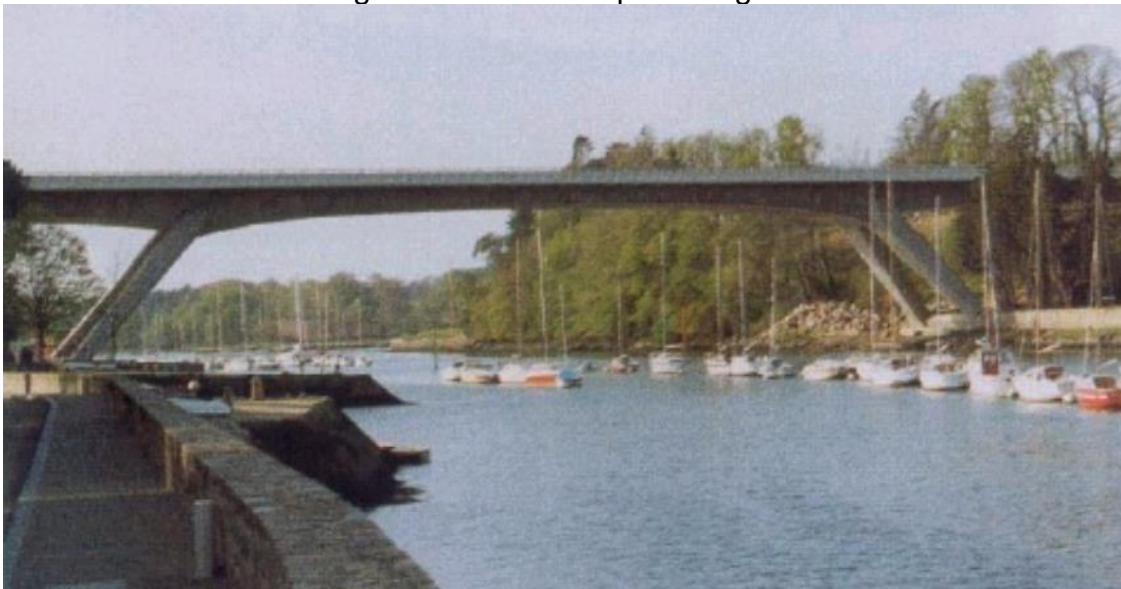


Fonte: TECNOVIA (2018)

2.3.4 Ponte em quadro rígido

De acordo com Pinho (2007), pontes em quadro rígido, também conhecido como pontes em pórtico, usualmente possuem pilares inclinados, necessitando fundações inclinadas, também. Estes pilares, normalmente, estão sujeitos a uma grande carga de compressão e esta solução é recomendada para terrenos de bom suporte de cargas. As vantagens da utilização desse sistema são devido ao custo mínimo com manutenção, pois não se utiliza articulações ou aparelhos de apoio, esbelteza nos pilares e distribuição homogênea das solicitações, as desvantagens desse sistema são as emendas em ângulo (altas solicitações). A figura 6 mostra uma ponte em quadro rígido.

Figura 6: Ponte em quadro rígido.



Fonte: UNEMAT (2018)

2.3.5 Ponte em arco

As pontes em arco é o sistema estrutural mais antigo de pontes, e possui relatos que foram construídas pelos romanos por volta de 100 a.C. Devido à sua geometria, permitem a utilização de concreto simples em pontes de grandes vãos. Isso ocorre quando o eixo do arco é projetado ao longo da linha de pressão devido ao carregamento permanente, aproveitando assim a boa resistência à compressão do concreto (PINHO, 2007). Conforme a figura 7, observa-se uma ponte em arco.

Figura 7: Ponte em arco. Ponte da Amizade.

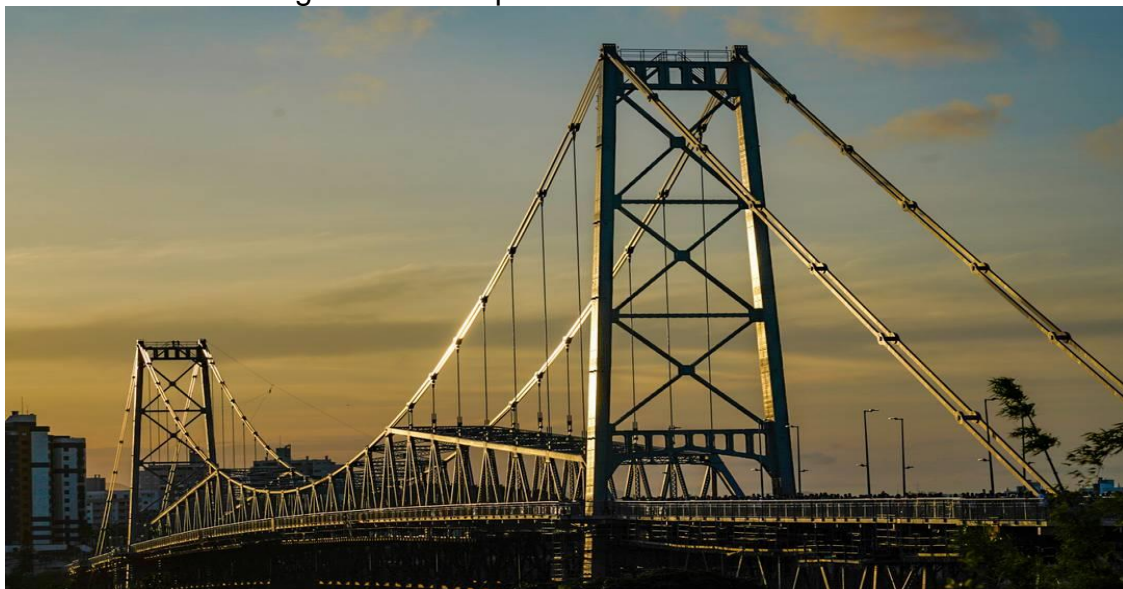


Fonte: GDIA (2020)

2.3.6 Ponte pênsil

A ponte pênsil ou suspensa é um sistema estrutural onde o tabuleiro é suspenso por cabos. Este tipo de estrutura consiste em torres de amarração conectadas por cabos parabólicos. Deste cabo, saem tirantes perpendiculares suportando o tabuleiro da ponte. A desvantagem desse sistema estrutural é que a ponte se torna muito leve, e pode se tornar instável sob a ação de ventos fortes, podendo entrar em estado de ressonância e desabar (MATTOS, 2001). A figura 8 exhibe uma ponte pênsil.

Figura 8: Ponte pênsil. Ponte Hercílio Luz.



Fonte: RICARDO WOLFFENBUTTEL (2019)

2.3.7 Ponte estaiada

O conceito de ponte estaiada consistem basicamente na suspensão do tabuleiro de uma ponte através de cabos ancorados ao topo de torres ou ao longo destas. Atualmente este tipo de solução de ponte é cada vez mais frequente em estruturas que exigem grandes vãos, devido a sua estabilidade e suas vantagens econômicas, onde há possibilidade do emprego de estruturas mais esbeltas, além de suas características estéticas cada vez mais procuradas por engenheiros civis e arquitetos no mundo todo (GOMES, 2013). A figura 9 apresenta um modelo de ponte estaiada.

Figura 9: Ponte estaiada. Ponte Octávio Frias de Oliveira.



Fonte: ITI (2019)

2.4 Carregamentos em pontes

Conforme Drun (2018), para a concepção de um projeto, devem ser precisamente analisadas as diferentes cargas e ações que podem ocorrer durante a longevidade de uma estrutura. Essas ações são classificadas em ações permanentes, ações variáveis e ações excepcionais.

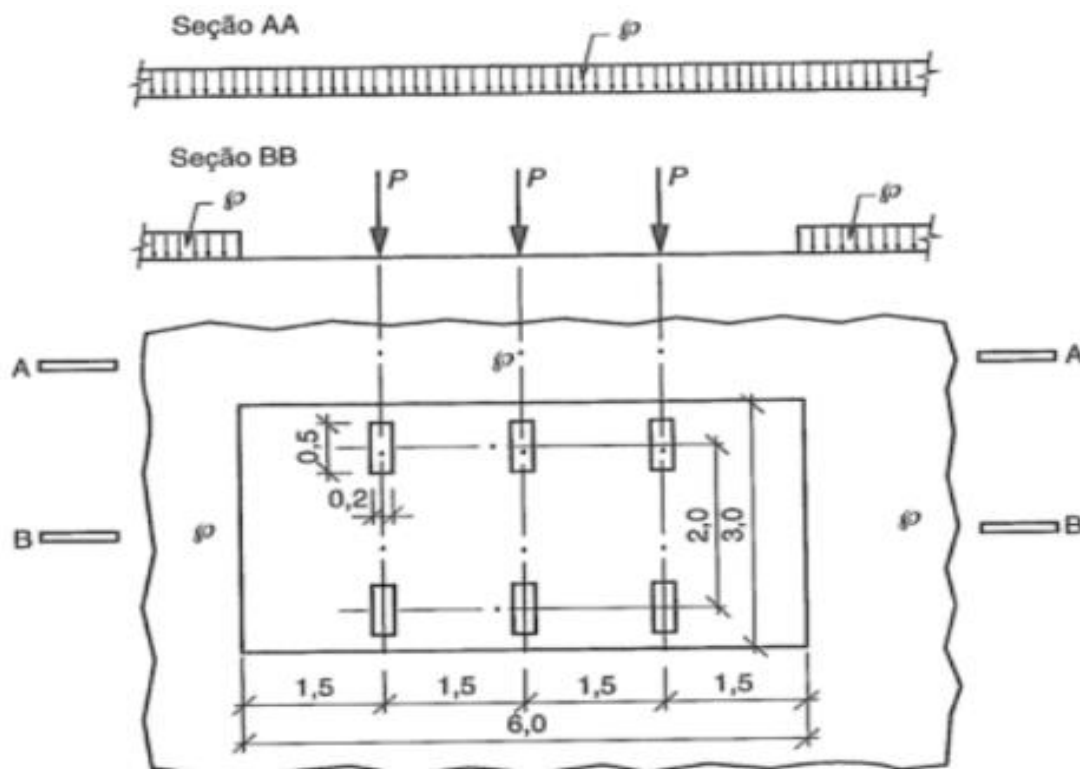
As ações permanentes são constantes ao longo de toda vida útil da estrutura e também as que crescem no tempo, tendendo a um valor limite constante. Ações variáveis são aquelas que atuam em um determinado tempo, como as cargas móveis, por exemplo, e as ações excepcionais correspondem a ações de duração extremamente curta e muito baixa probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, mas que devem ser consideradas no projeto de determinadas estruturas (NBR 7187: 2003).

Pela carga a ser aplicada à longarina especificada, é possível determinar quais solicitações são impostas pela carga de movimento no elemento. A linha de influência mostra como um determinado esforço numa seção varia quando uma carga concentrada move sobre a estrutura. Conforme o movimento do trem tipo sob a linha de influência, a tensão combinada de cada parte da viga longitudinal pode ser calculada (MARTHA, 1999).

2.5 Cargas móveis e trem-tipo

As cargas móveis são a representação em força, do tráfego de veículos e pessoas que circulam na ponte. A NBR 7188 (2013) – Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas, indica que a carga móvel rodoviária padrão que deve ser usada em seus cálculos é a TB-450 que é um veículo tipo de 450 kN, com seis rodas, $P = 75$ kN, três eixos de carga afastados entre si em 1,5 m, em torno por uma carga uniformemente distribuída constante $p = 5$ kN/m² (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013). A figura 10 mostra a disposição das cargas.

Figura 10: Disposição das cargas estáticas.



Fonte: NBR: 7188 (2013)

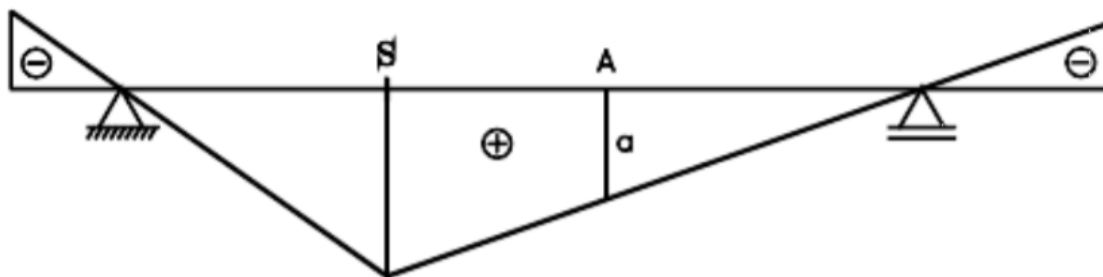
Em sua última versão, a norma NBR 7188 agrega fatores de majoração aplicados aos valores de carga móvel em movimentos verticais, são eles: O coeficiente de impacto vertical (CIV), coeficiente de número de faixas (CNF) e coeficiente de impacto adicional (CIA).

2.6 Linha de influência

A linha de influência (LI) representa graficamente os efeitos de um determinado deslocamento linear ou angular devido à carga unitária em movimento ao longo da estrutura (ALMEIDA, 2013).

A linha de influência descreve a mudança de efeito em uma seção causada pela posição da carga pontual que percorre sobre a estrutura. Portanto, através de seu perfil, pode-se obter as envoltórias limites de esforços, sendo a base para o dimensionamento de obras de engenharia que requer cargas móveis e/ou acidentais. Por exemplo, o LI do momento fletor até a seção transversal é apresentado graficamente ou através de um modelo de análise gerado por pontos e cargas distribuídas em toda a estrutura (HOLTZ, 2005). Conforme a figura 11, apresenta-se um exemplo de linha de influência.

Figura 11: Linha de influência de momento fletor para uma seção S.



Fonte: FTC (2015)

3 Metodologia

3.1 Caracterização da área de estudo

Devido ao intenso tráfego no estado de Mato Grosso do Sul, mostrou-se a necessidade de manter construções como pontes conforme o aumento da demanda da urbanização e desenvolvimento socioeconômico da região. Atualmente à área de estudo conta com a construção de uma ponte em concreto para substituir a antiga ponte de madeira. A Agência Estadual de Gestão de Empreendimentos (AGESUL), informou que a nova ponte terá 91,27 metros de extensão e 10 metros de largura. A obra faz parte do programa “Mais Pontes”, que visa fazer esta mudança em diversos pontos do Estado, para melhorar a infraestrutura, escoamento da produção e trânsito de passageiros e motoristas.

O local escolhido é uma ponte de madeira sobre o rio Dourados, localizada na rodovia MS-274, coordenadas: 22°04'09”S, 54°13' 45”W, fica na divisa entre os municípios de Dourados e Deodápolis, região sul do Estado de Mato Grosso do Sul. A ponte está situada no perímetro rural, com 70 metros de comprimento, é uma das maiores pontes que existem na região.

Dessa forma, o presente trabalho irá abordar o dimensionamento de longarinas de concreto armado para uma ponte com o mesmo comprimento da ponte de madeira, sendo

à distância total do obstáculo a ser vencido. A figura 12 mostra a ponte de madeira sobre o rio Dourados.

Figura 12: Ponte de madeira sobre o rio Dourados.



Fonte: AGESUL (2020)

3.2 Definição do trecho

Para a realização do dimensionamento, foi utilizado o comprimento de 70 metros e a ponte fracionada em 7 trechos, formando apoios a cada 10 metros. Dessa forma, cada longarina possui 10 metros de comprimento. A figura 13 mostra o local de implantação da ponte de madeira sobre o rio Dourados.

Figura 13: Localização da atual ponte.

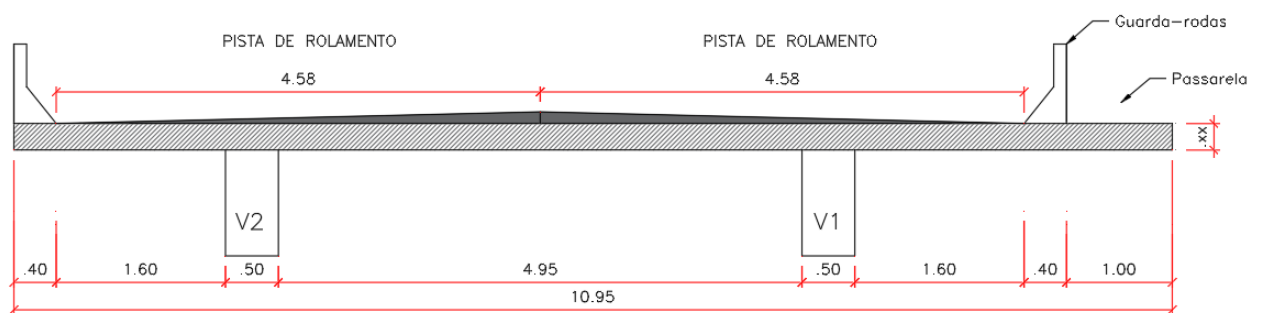


Fonte: GOOGLE EARTH (2020)

3.3 Dimensões da ponte analisada

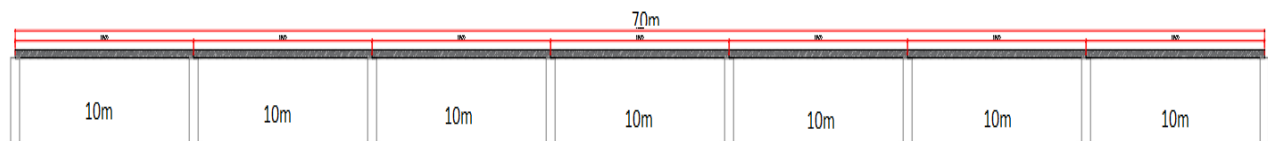
A ponte deste projeto é uma estrutura em vigas contínuas com sete tramos de 10 metros cada, totalizando 70 metros de comprimento. A largura é de 10,95 metros, obedece ao prescrito pelo DNIT e respeita as características da rodovia, como a faixa de rolamento e passeio para pedestres. A ponte possui 2 faixas de rolamento. Além destas, possui passeios para pedestres/ciclistas. Estas medidas podem ser conferidas na figura 14.

Figura 14: Seção transversal da ponte.



Fonte: O Autor (2021)

Figura 15: Seção longitudinal da ponte.



Fonte: O Autor (2021)

3.4 Método de cálculo

Com base nas dimensões definidas do projeto, é possível estabelecer as cargas permanentes e móveis, bem como esforços cortantes e momentos fletores que vão incidir sobre a estrutura, pelo método das longarinas independentes, conforme a norma NBR 7187/2003 – Projeto de pontes de concreto armado e concreto protendido; e pela NBR 7188/2013 – Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas.

O método das longarinas independentes, considera que a viga carregada absorve completamente a força concentrada aplicada na estrutura, sem a interferência das demais longarinas, ou seja, neste método, o tabuleiro é apoiado apenas nas longarinas. Este processo fornece uma aproximação satisfatória para tabuleiros com duas longarinas, entretanto, para estruturas de múltiplas longarinas, a aproximação da porção da carga na longarina é geralmente muito discrepante (DEBS; TAKEYA, 2007).

Como todos os vãos são iguais, dimensionamos apenas uma longarina de um vão e repetimos a viga para o restante da ponte.

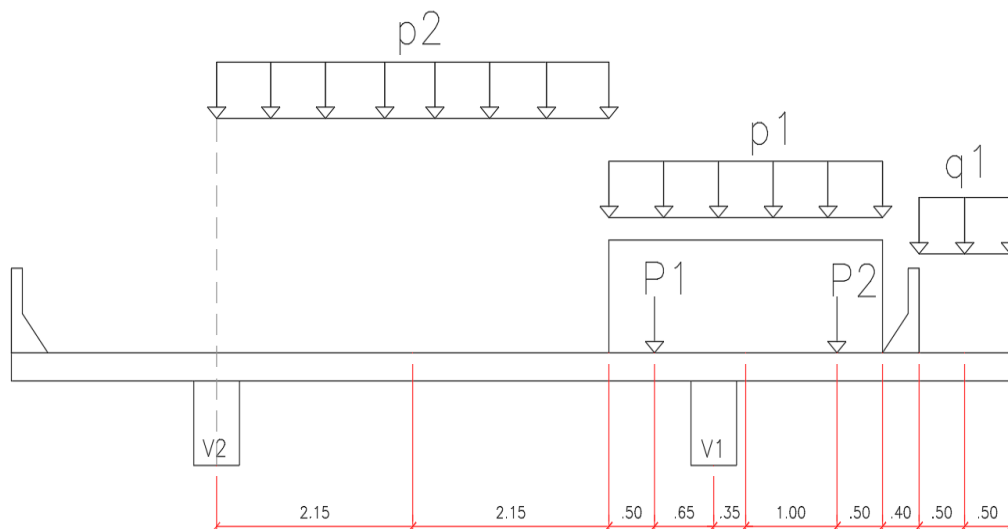
3.5 Determinação do trem-tipo

O carregamento móvel utilizado para este dimensionamento foi o TB-45, conforme recomendado pela NBR 7188 (2013). A carga móvel rodoviária padrão TB-45 é definida por um veículo tipo de 45 tf, com seis rodas, $P = 7,5$ tf, três eixos de carga afastados entre si em 1,5 m, com área de ocupação de 18,0 m², circundada por uma carga uniformemente distribuída constante $p = 0,5$ tf/m². Nos passeios para pedestres e ciclistas, foi adotado carga uniformemente distribuída de 0,3 tf/m².

3.6 Cálculo do trem-tipo

Considerando os veículos na direção longitudinal, as cargas móveis podem ocupar qualquer posição no tabuleiro. A faixa principal de tráfego é a mais importante para as solicitações, sendo necessário procurar a posição mais desfavorável desta faixa. No caso das duas vigas principais, foi analisada a linha de influência para a determinação da posição do trem-tipo para gerar a maior solicitação em uma das vigas. A NBR 7188 (2013) orienta para os cálculos que a roda do veículo encoste-se ao guarda-rodas da ponte, caracterizando o efeito mais desfavorável. A figura 16 exhibe a disposição dos carregamentos no sentido transversal da ponte.

Figura 16: Disposição dos carregamentos da ponte no sentido transversal.



Fonte: AUTOR (2021)

3.7 Majoração dos esforços característicos

De modo a majorar os valores das cargas móveis para projeto, devem ser calculados os coeficientes de impacto vertical, número de faixas e coeficiente de impacto adicional, seguindo as recomendações da NBR 7188 (2013), conforme as equações abaixo.

3.7.1 Coeficiente de impacto vertical – CIV

Conforme a NBR 7188:2013, obtemos o coeficiente de impacto vertical da seguinte maneira:

$CIV = 1,35$, para estruturas com vão inferior do que 10,0 m;

$CIV = 1 + 1,06 \times \left(\frac{20}{liv+50} \right)$, para estruturas com vão entre 10,0 m e 200,0 m.

(Equação 1)

Onde:

liv é o vão em metros, e que varia de acordo com o tipo de estrutura, sendo:

liv – média aritmética dos vãos nos casos de vãos contínuos ou;

liv – a extensão do próprio balanço para estruturas em balanço;

3.7.2 Coeficiente de número de faixas – CNF

O coeficiente de número de faixa (CNF), é a hipótese de a carga móvel suceder em conformidade com o número de faixas, é formulado da seguinte forma:

$CNF = 1 - 0,05 \times (n - 2) > 0,9$. (Equação 2)

Onde:

n é o número (inteiro) de faixas de fluxo rodoviário a serem carregadas em cima de um tabuleiro transversalmente contínuo. Acostamentos de estradas e faixas de segurança não são faixas de tráfego da rodovia.

3.7.3 Coeficiente de impacto adicional – CIA

Segundo a NBR 7188 (2013) – Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas, aponta que devido às imperfeições ou descontinuidades da pista, a carga móvel precisa ser majorada através do coeficiente de impacto adicional, nas extremidades da construção e nas juntas de dilatação, essas cargas possuem maiores esforços.

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

$CIA = 1,15$, para obras em aço.

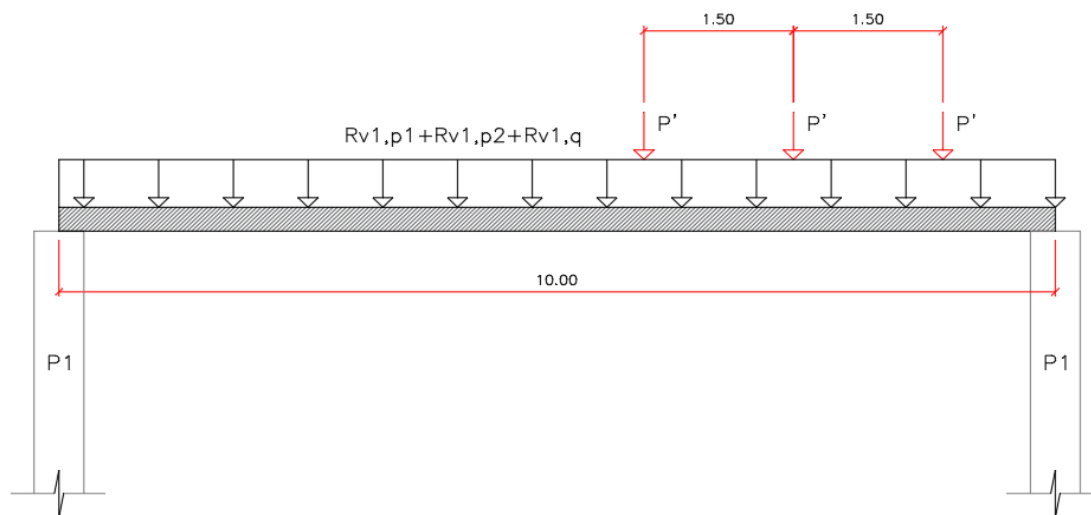
3.8 Homogeneização dos carregamentos

Para facilitar o lançamento do trem-tipo, fazemos a homogeneização dos carregamentos e encontramos os valores de linha de influência de momento fletor e força cortante, para o sentido longitudinal da ponte, da seguinte forma:

- a) $P' = Rv1,P - 2 \cdot Rv1,p1$ (Equação 3)
- b) $Rv1,p1 + Rv1,p2 + Rv1,q$ (Equação 4)

P' = Carga do eixo de roda do trem-tipo homogeneizado;
 $Rv1$ = Reação de apoio na viga V1.

Figura 17: Carregamentos no sentido longitudinal da ponte.



Fonte: O Autor (2021)

3.9 Obtenção da linha de influência

A obtenção da linha de influência, tendo como mesmo significado a simplificação da atuação dos carregamentos na região central da longarina, foi encontrada pelo software Ftool. O mesmo possui uma ferramenta chamada "loadtrain" que pode ser construída inserindo um veículo-tipo com a carga e distância necessárias, exibindo os esforços no ponto desejado.

A linha de influência independe do carregamento utilizado, ou seja, a mesma varia com a posição da carga unitária adimensional em movimento na estrutura, mostrando a influência de sua carga em um determinado ponto. Segue a ideia que a linha de influência independe se a mesma é referente ao veículo tipo TB-45 ou aos veículos que serão utilizados como comparativos não irá variar, apenas seus esforços finais, pois dependem da posição das suas cargas na respectiva linha.

3.10 Lançamento no TQS

Para avaliarmos os esforços da longarina no software TQS, deve-se utilizar o número de casos independentes de carregamentos, pois o software não possui um trem-tipo definido, dessa forma, simulamos o trem-tipo conforme a equação abaixo para obter esse resultado.

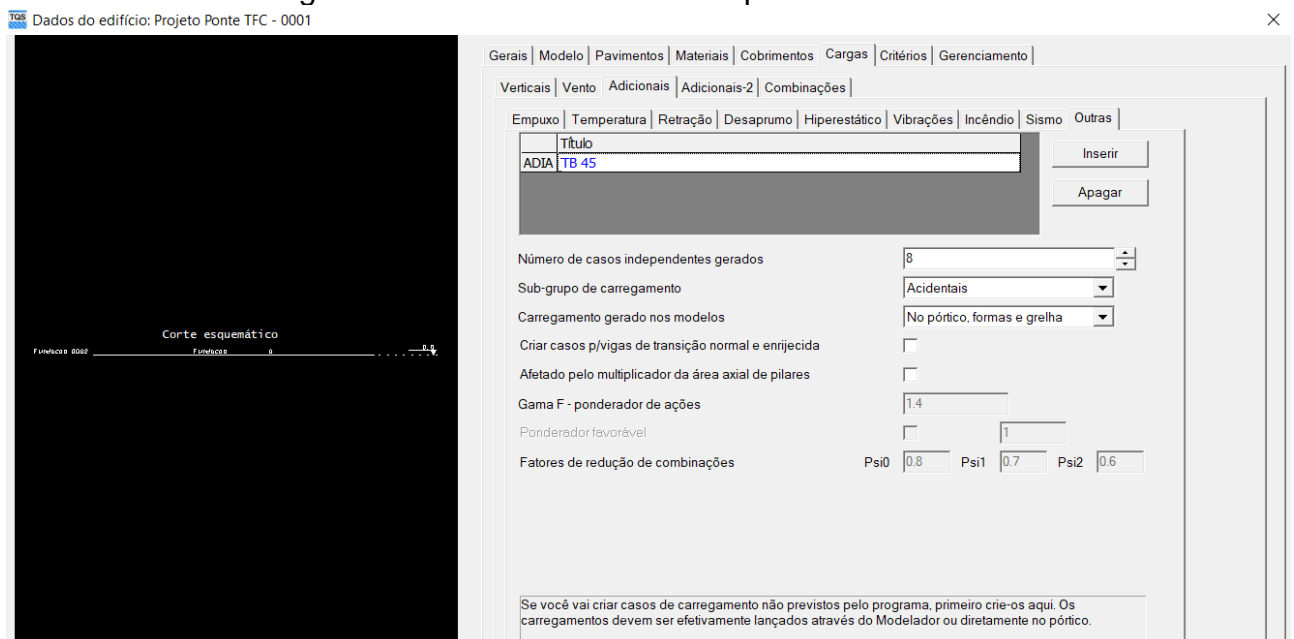
$$n = \left(\frac{L - \text{larg. trem tipo}}{p} \right) + 1 \quad (\text{Equação 5})$$

n é o número de casos independentes de carregamentos gerados no TQS, para simular o trem-tipo;

L é o comprimento da longarina;

p é a distância de cada caso independente, em que serão aplicados os carregamentos.

Figura 18: Numero de casos independentes.



Fonte: O Autor (2021)

3.11 Softwares utilizados

Para a obtenção dos resultados, foi utilizado os softwares Google Earth, para obtenção da topografia e localização da ponte. Autocad, para alguns desenhos técnicos. Ftool, para a análise estrutural da ponte. TQS, para o dimensionamento das armaduras da longarina. Sketchup, para a modelagem e Lumion, para a renderização das imagens da ponte.

4 Resultados e Discussão

4.1 Majoração dos esforços característicos

- a) Coeficiente de impacto vertical (CIV): para análise foi adotada uma ponte com vão de 10 m expressa da seguinte forma:

$$1 + 1,06 \times \left(\frac{20}{10+50} \right) = 1,35$$

b) Coeficiente de número de faixas (CNF): para a ponte estudada consideramos duas faixas de tráfego, dado:

$$CNF = 1 - 0,05 \times (2 - 2) = 1,0 > 0,9 = 1$$

c) Coeficiente de impacto adicional: 1,25 (para obras em concreto ou mistas)

d) Coeficiente de ponderação das cargas verticais:

$$\text{Total: } \varphi = CIV_{tot} \cdot CNF \cdot CIA = 1,35 \cdot 1 \cdot 1,25 = 1,69$$

4.2 Cálculo das reações de apoio da viga V1

Após a majoração dos esforços característicos, aplicamos aos valores das cargas do TB-45. Onde obtemos os valores dos carregamentos majorados e aplicamos sobre a viga no software Ftool.

Para o carregamento $P \cdot \varphi = 7,5 \text{ tf} \cdot 1,69 = 12,675 \text{ tf}$. Obtemos o valor de reação $RV1, P = 26,98 \text{ tf}$ para a viga V1. Conforme a figura abaixo.

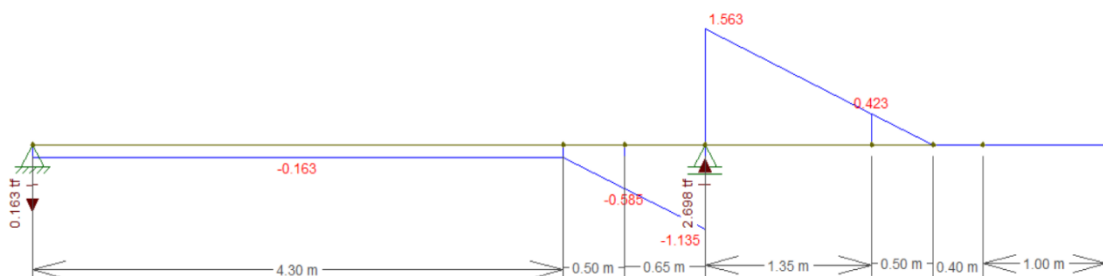
Figura 19: Reações de apoio da carga P.



Fonte: O Autor (2021)

Para o carregamento $p1 \cdot \varphi = 0,5 \text{ tf/m}^2 \cdot 1,69 = 0,845 \text{ tf/m}^2$. Obtemos o valor de reação $RV1, p1 = 2,70 \text{ tf/m}$ para a viga V1.

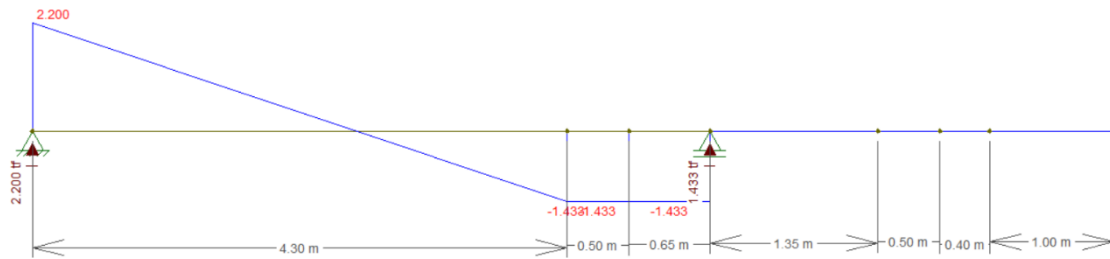
Figura 20: Reações de apoio da carga p1.



Fonte: O Autor (2021)

Para o carregamento $p2 \cdot \varphi = 0,5 \text{ tf/m}^2 \cdot 1,69 = 0,845 \text{ tf/m}^2$. Obtemos o valor de reação $RV1, p2 = 1,43 \text{ tf/m}$ para a viga V1.

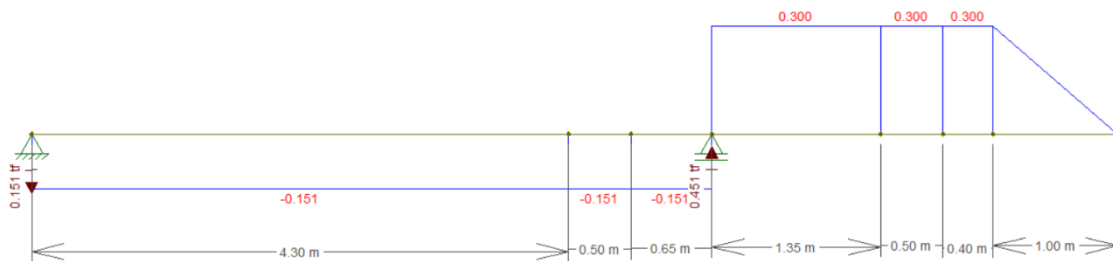
Figura 21: Reações de apoio da carga p2.



Fonte: O Autor (2021)

Para a carga de passeio, carregamento $q = 0,3 \text{ tf/m}^2$. A carga de passeio não é necessária ser majorada, visto que, os carregamentos são insignificantes em relação à ponte.

Figura 22: Reações de apoio da carga de passeio.

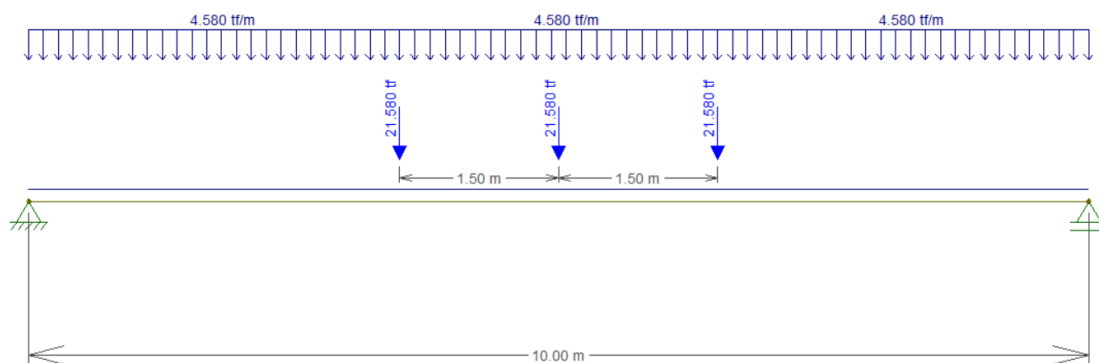


Fonte: O Autor (2021)

4.3 Homogeneização dos carregamentos

Para o sentido longitudinal da ponte, obtemos os valores de $P' = 26,98 \text{ tf} - 2 \cdot 2,70 \text{ tf/m} = 21,58 \text{ tf}$. E a somatória dos carregamentos, obtemos: $2,70 \text{ tf/m} + 1,43 \text{ tf/m} + 0,45 \text{ tf/m} = 4,58 \text{ tf/m}$. Em seguida, os carregamentos foram lançados no software Ftool. Conforme a figura 23 representa.

Figura 23: Carregamentos homogeneizados sobre a ponte.

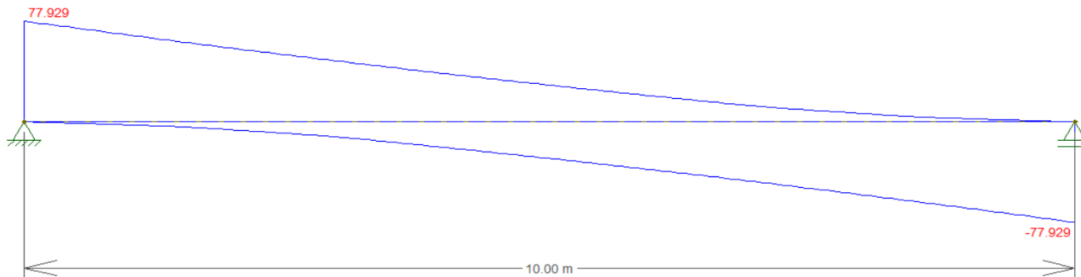


Fonte: AUTOR (2021)

4.4 Valores das linhas de influência

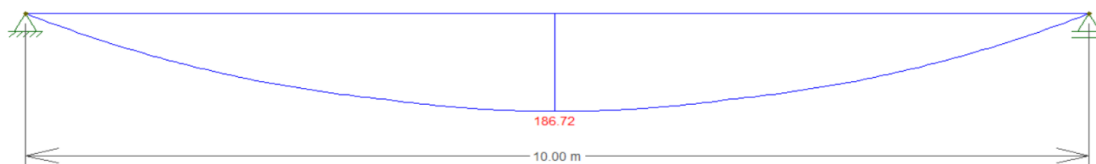
Os valores de linhas de influência encontrados foram de 77,929 Tf e -77,929 Tf para esforço cortante, e 186,2 Tf.m para momento fletor. Conforme as figuras 24 e 25.

Figura 24: Diagrama de esforço cortante.



Fonte: AUTOR (2021)

Figura 25: Diagrama de momento fletor.



Fonte: AUTOR (2021)

4.5 Lançamento da longarina no TQS

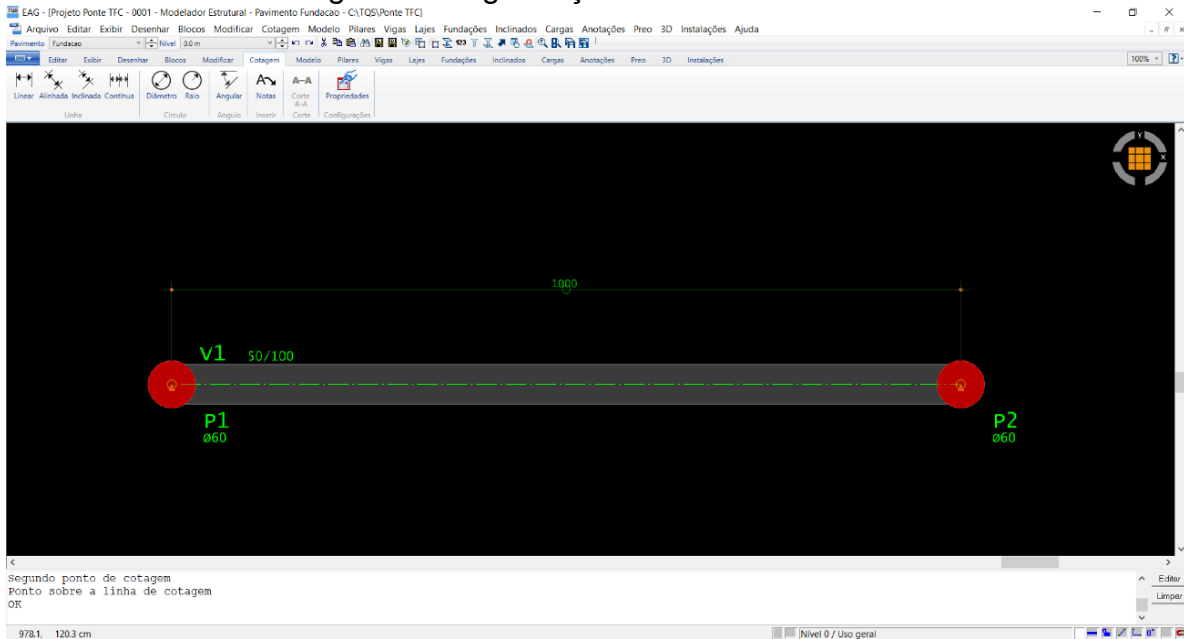
A partir dos esforços cortantes e momentos fletores, somando-se os esforços das cargas permanentes e móveis, é possível determinar a seção da longarina e as armaduras necessárias para resistir a estes esforços.

Para o lançamento no software TQS, utilizamos o número de casos independentes de carregamentos, expresso da seguinte forma:

$$n = (10) - (1,5 + 1,5) / 1 + 1 = 8 \text{ casos.}$$

Como o software não possui um trem-tipo padrão, precisamos dos números de casos independentes de carregamentos para simularmos as cargas móveis.

Figura 26: Viga lançada no software TQS.



Fonte: O Autor (2021)

4.6 Detalhamento da longarina

Foi adotada uma seção de viga de 50 cm/100 cm para resistir aos esforços solicitantes da ponte. Nas figuras abaixo podemos conferir o relatório, verificações da viga e o detalhamento da armadura da longarina no software TQS.

Figura 27: Relatório da longarina da ponte.

Viga	L (cm)	Vãos	Seção (cm)	H/L (%)	ρ_s (%)	ρ_{sw} (%)	Taxa de aço (kgf/m ³)
V1	1000 a 1000	1	50X100	10 a 10	0.54 a 1.58	0.11 a 0.41	158.5

L: Comprimento dos vãos das vigas
H/L: Relação entre altura e comprimento dos vãos das vigas
 ρ_s : Taxa geométrica de armadura longitudinal. Obtida em diversas seções ao longo do vão, não considera a armadura lateral.
 ρ_{sw} : Taxa geométrica de armadura transversal. Obtida nas faixas existentes no vão
Taxa de aço: Massa de aço por volume de concreto

Fonte: O Autor (2021)

Figura 28: Verificação da longarina no TQS.

Viga V1

Não foi necessário alterar a armadura dimensionada à flexão simples.

Resumo geral

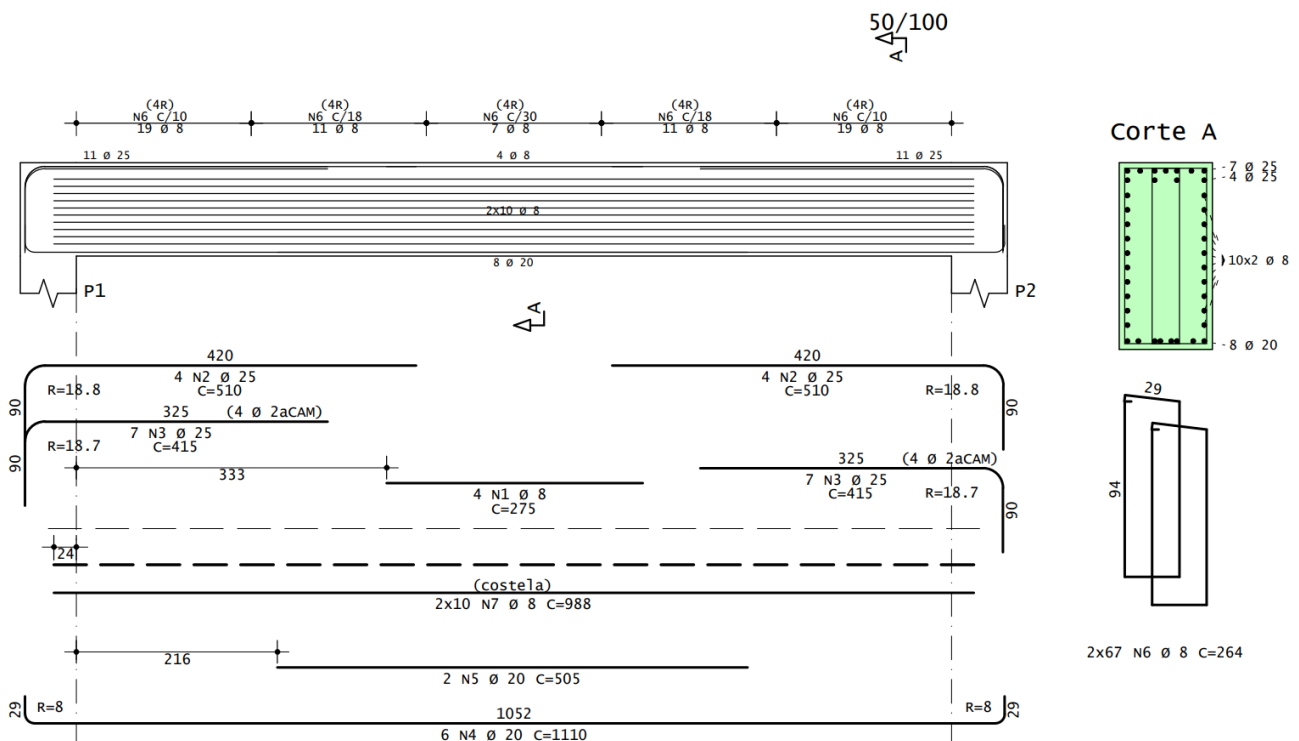
Viga	Situação
V1	OK

Vigas com tração elevada ($N_k > 50.0\% * f_{ckt,inf} * A_c$)
Não há vigas

Vigas com compressão elevada ($N_k > 10.0\% * f_{ck} * A_c$)
Não há vigas

Fonte: O Autor (2021)

Figura 29: Disposição das armaduras da longarina.



Fonte: O Autor (2021)

4.7 Modelagem da ponte

Para termos uma melhor visualização da ponte, foi feito o uso do software Sketchup para a modelagem 3D e utilizou-se o software Lumion, para renderizar as imagens.

A ponte modelada possui longarinas de 50 cm/ 100 cm, conforme dimensionada, transversinas de 20 cm/ 40 cm, pilares de 60 cm de diâmetro, guarda rodas e guarda-corpo. Conforme ilustra as figuras abaixo.

Figura 30: Render da ponte.



Fonte: O Autor (2021)

Figura 31: Render da ponte. Vista lateral.



Fonte: O Autor (2021)



5 Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo dimensionar as longarinas de uma ponte em concreto armado sobre o rio Dourados, localizada entre as cidades de Dourados e Deodápolis, no Mato Grosso do Sul. Através de análise estrutural pelo método das longarinas independentes. Obtemos um esforço cortante de 77,929 Tf e -77,929 Tf, e momento fletor máximo de 186,2 Tf.m. A partir dessas informações, pode-se dimensionar a longarina no software TQS, onde as dimensões de 50 cm/100 cm da longarina, atendeu os esforços solicitantes da ponte.

A partir das etapas descritas de determinação de cargas, pode-se atender aos objetivos iniciais do trabalho, onde foram determinados os esforços, as dimensões da longarina e as armaduras para estes esforços solicitantes com o método das longarinas independentes, recomendados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas.

A elaboração de projetos de pontes exige um grande trabalho devido as diversas áreas da engenharia abordadas em sua concepção. O desenvolvimento de um projeto estrutural possui uma complexidade elevada e de grande importância já que ele determina a segurança e a funcionalidade da obra. Deve ser realizado com calma e bastante atenção em todas as etapas do processo. Dessa forma, a pesquisa aborda apenas o dimensionamento das longarinas de uma ponte em concreto armado.

6 Referências

AGESUL. **Ponte de madeira sobre o rio Dourados**. Disponível em: <https://www.campograndenews.com.br/brasil/cidades/governo-lanca-licitacao-para-ponte-de-concreto-sobre-o-rio-dourados>. Acesso em: 10/06/2021

ALMEIDA, Maria Cascão Ferreira de. **Estruturas isostáticas**. Ed. 2. Rio de Janeiro: Oficina de textos, 2013, 168p.

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

_____. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 7187**: Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido – Procedimento Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 7188**: Carga móvel rodoviária e de pedestres em ponte, viadutos, passarelas e outras estruturas. Rio de Janeiro, 2013.

BARONI, Henriette Justina Manfredini et al. **Vida Útil de Fadiga de Elementos Estruturais de Concreto Armado de Pontes Rodoviária**. In: Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Curitiba (Brasil). 2009. p. 1-16. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Luiz-Carlos-Silva-Filho/publication/283732783_Vida_util_de_fadiga_de_elementos_estruturais_de_concreto_armado_de_pontes_rodoviarias/links/564633f108ae9f9c13e7427e/Vida-util-de-fadiga-de



elementos-estruturais-de-concreto-armado-de-pontes-rodoviaras.pdf. Acesso em: 11/05/2021

DEBS, Mounir Khalil El; TAKEYA, Toshiaki. **Introdução às pontes de concreto.** Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2007. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/pontes/Apost.%20Pontes%20-%20Mounir-Takeya.pdf>. Acesso em: 09/05/2021

DRUN, Anderson Gobbi; SOUZA, Rafael Alves de. **Comparação entre os veículos de carga atuais e o trem-tipo recomendado pela NBR 7188.** X Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://www.abpe.org.br/trabalhos2018/153.pdf>. Acesso em: 03/05/2021

FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS. **Linha de influência de momento fletor para uma seção S.** Disponível em: <https://engenhariacivilftc.files.wordpress.com/2015/10/pontes-ac3a7c3b5es-e-linha-de-influc3aancia.pdf>. Acesso em: 01/06/2021

GDIA. **Ponte em arco – Ponte da Amizade.** Disponível em: <https://gdia.com.br/noticia/protocolo-sanitario-para-reabertura-da-ponte-da-amizade-dever-ser-finalizado-nesta-semana>. Acesso em: 12/06/2021

GOMES, Renan Ribeiro Setubal. **Aspectos técnicos e construtivos do projeto de uma ponte estaiada.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2013, 131p. Disponível em: http://www.abpe.org.br/trabalhos/trab_77.pdf. Acesso em: 21/06/2021

GOOGLE EARTH. **Localização da atual ponte.** Disponível em: <https://earth.google.com/web/search/22%C2%B004%E2%80%9909%E2%80%99%E2%80%99S,+54%C2%B013%E2%80%99+45%E2%80%99%E2%80%99W/@-22.06927786,-54.22959797,280.27394764a,317.21027045d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCdEdpPBW8jRAY0W2z8QFDXAGeKC3Y5Z6T5AIVgWRqBA1LA>. Acesso em: 10/06/2021

HOLTZ, Gisele Cristina da Cunha. **Traçado automático de envoltórias de esforços em estrutura planas utilizando um algoritmo evolucionário.** Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <https://web.tecgraf.puc-rio.br/press/publication/Holtz2005b/Holtz2005b.pdf>. Acesso em: 01/06/2021

INSTITUTO TECNOLÓGICO INFORMAÇÃO. **Ponte estaiada – Octávio Frias de Oliveira.** Disponível em: <http://blog.itinovacao.org.br/ponte-estaiada-ii103x60cm/>. Acesso em: 11/06/2021

LAJES HERTEL. **Ponte em laje.** Disponível em: <https://www.lajeshertel.com.br/obras/pontes---laje-trelicada#prettyPhoto>. Acesso em: 11/06/2021

LAZZARI, Paula Manica. **Estudo de projeto estrutural de ponte rodoviária em arco inferior em concreto armado no município de Saudades/SC.** 2008. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/28542>. Acesso em: 12/05/2021



LEONHARDT, Fritz. **Construções de concreto: princípios básicos da construção de pontes de concreto**. Rio de Janeiro: Interciência, 1979, 242p.

MARCHETTI, Osvaldemar. **Pontes de concreto armado**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2008. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=gEeyDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP7&dq=Pontes+de+concreto+armado&ots=m70B5aWSYd&sig=n9kMZKOzTE-uho3ODIMtdSxHgRI#v=onepage&q=Pontes%20de%20concreto%20armado&f=false>. Acesso em: 10/05/2021

MARIORDO. **Ponte em viga – Ponte Presidente Costa e Silva**. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Ponte_Rio%E2%80%93Niter%C3%B3i. Acesso em: 11/06/2021

MARTHA, Luis Fernando Campos Ramos. **Cargas acidentais e linhas de influência**. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 1999, 111p.

MASON, Jayme. **Pontes em concreto armado e protendido**. Livros técnicos e científicos editora S.A. Rio de Janeiro, 1977, 269p.

MATTOS, Tales Simões. **Programa para análise de superestruturas de pontes de concreto armado e protendido**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001, 167p. Disponível em: <https://www.docsity.com/pt/programa-para-analise-de-superestruturas-de-pontes-de-concreto-armado-e-protendido-1/4899779/>. Acesso em: 07/06/2021

MENDES, Luis Carlos. **Pontes**. Rio de Janeiro: Eduff, 2017, 576p.

MONTEIRO, Patrícia Schipitosk. **Definição de parâmetros aplicáveis à modelagem da informação de pontes de concreto armado com enfoque no gerenciamento de manutenções**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017, 117p. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/48183/R%20-%20D%20-%20PATRICIA%20SCHIPITOSKI%20MONTEIRO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12/05/2021

NUNES, Patrícia Cristina Cunha. **Estudo das Pontes**. REVISTA TECNOLOGIAS EM PROJEÇÃO, v. 10, p. 121-134, 2019. Disponível em: <http://revista.faculdadeprojecao.edu.br/index.php/Projecao4/article/view/1547/1172>. Acesso em: 31/05/2021

PINHO, Fernando Ottoboni; BELLEI, Ildony Hélio. **Pontes e viadutos em vigas mistas**. 1ª ed. Rio de Janeiro, IBS/CBCA, 2007, 140p.

PFEIL, Walter. **Pontes em Concreto Armado**. Rio de Janeiro: LTC, 1979, 245p.



RICARDO WOLFFENBUTTEL. **Ponte pênsil – Hercílio Luz.** Disponível em: <https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/ao-vivo/ponte-hercilio-luz-florianopolis.ghtml>. Acesso em: 12/06/2021

SANTOS, Marcelo Ferreira dos. **Contribuição ao estudo do efeito de combinação de veículos de carga sobre pontes rodoviárias de concreto.** São Carlos, 2003, 170p. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-08062016-110930/publico/Dissert_Santos_MarceloF.pdf. Acesso em: 09/05/2021

SCHMIDT, Erika Pina. **Metodologia para a análise dinâmica de pontes curvas sob o efeito de tráfego pesado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2017, 166p. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-21062017-114407/en.php>. Acesso em: 10/05/2021

TECNOVIA. **Ponte treliçada – Ponte Santa Margarida do Sado.** Disponível em: <https://tecnovia.pt/portfolio-posts/ponte-de-santa-margarida-do-sado/>. Acesso em: 11/06/2021

UNEMAT. **Ponte em quadro rígido.** Disponível em: <https://docplayer.com.br/44901732-Sistemas-estruturais-pontes-em-portico-e-em-arco.html>. Acesso em: 12/06/2021

VITÓRIO, José Afonso Pereira. **Pontes rodoviárias: fundamentos, conservação e gestão.** 1ª. ed. Recife: CREA-PE, 2002. v. 01. 140p. Disponível em: http://vitorioemelo.com.br/publicacoes/Pontes_Rodoviaras_Fundamentos_Conservacao_Gestao.pdf. Acesso em: 08/06/2021