

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DOUGLAS DE OLIVEIRA RODRIGUES

**DETERMINAÇÃO DOS ESFORÇOS NAS LONGARINAS DE UMA
PONTE DE CONCRETO ARMADO**

CAMPO MOURÃO

2019

DOUGLAS DE OLIVEIRA RODRIGUES

DETERMINAÇÃO DOS ESFORÇOS NAS LONGARINAS DE UMA PONTE DE CONCRETO ARMADO

Trabalho apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil - DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof. Me. Angelo Giovanni Bonfim Corelhano

CAMPO MOURÃO

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

**DETERMINAÇÃO DOS ESFORÇOS NAS LONGARINAS DE UMA PONTE DE CONCRETO
ARMADO**

por

Douglas de Oliveira Rodrigues

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 8h30min do dia 10 de junho de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof^a. Ana Raiza Ciscoto Yoshioka

((UTFPR))

Prof. Me. Candido Ricardo Tomazoni Coreia

(UTFPR)

Prof. Me. Angelo Giovanni Bonfim

Corelhano

(UTFPR)

Orientador

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenadora do Curso de Engenharia Civil:

Prof. Dr. Paula Cristina de Souza

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

Dedico este trabalho a Deus por permitir e me agraciar com essa maravilhosa e assustadora experiencia chamada graduação em engenharia civil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado forças para superar todos os obstáculos e anseios.

A meus pais João e Sonia por me permitirem realizar um sonho. E por todo apoio e compreensão que me deram ao longo desse tempo.

A minha esposa Lívia, por ser simplesmente a pessoa mais maravilhosa e inspiradora que já conheci. Por sempre estar ao meu lado me encantando e apoiando a cada passo que eu dou.

Ao meu orientador, Professor Giovanni por todo apoio, ajuda e compreensão.

E a todo o corpo docente do Departamento Acadêmico de construção Civil, que cada qual no seu jeito, transmitiu seus conhecimentos e principalmente inspirou-me a exercer com orgulho e ética essa honrada profissão.

“Um viajante que se recusa a atravessar uma ponte até que tenha pessoalmente testado a solidez de cada uma de suas partes não irá muito longe; alguma coisa tem que ser arriscada, mesmo em matemática.” Horace Lamb

RESUMO

O presente trabalho visa determinar os esforços atuantes nas longarinas de uma ponte de concreto armado, seguindo as normas padronizadas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Visto que este tipo de estrutura, classificada como obra de arte especial é de suma importância para que o homem possa transpassar barreiras e exercer seu direito inerente de ir e vir. Para determinar as cargas atuantes, baseou-se nas normas ABNT NBR 7187:2003 (Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido – Procedimento) e ABNT NBR 7188:2013 (Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas). A partir das cargas obtidas, aplicou-se a metodologia de Engesser-Courbon que através de linhas de influência determinou-se a parcela de carga distribuída em cada viga. Ao analisarmos a linha de influência, foi possível encontrar a viga mais solicitada e dimensionar as armaduras longitudinais e transversais através da norma ABNT NBR 6118:2014 (Projeto de estruturas de concreto – Procedimento) e ABNT NBR 7187:2003. Para o desenvolvimento deste trabalho, utilizou-se também o software ftool® versão 4.00.04 e o software FlexCisTor versão 2.8.

Palavras-chave: Dimensionamento, Ponte, Concreto armado.

ABSTRACT

The present work aims to determine the efforts of the stringer of a reinforced concrete bridge, following the norms standardized by ABNT (Brazilian Association of Technical Standards). Since this type of structure, classified as a special work of art, is of utmost importance for man to run through barriers and exercise his inherent right to come and go. In order to determine the active loads, it was based on the ABNT NBR 7187: 2003 (Reinforced Concrete and Concrete Bridges Project - Procedure) and ABNT NBR 7188: 2013 (Mobile road and pedestrian load on bridges, overpasses, walkways and other structures). From the loads obtained, the Engesser-Courbon methodology was applied, which, through influence lines, determined the parcel of load distributed in each beam. When analyzing the influence line, it was possible to find the most requested beam and to dimension the longitudinal and transverse reinforcement through ABNT NBR 6118: 2014 (Concrete Structures Project - Procedure) and ABNT NBR 7187: 2003. Were also used for the development of this work the softwares ftool® version 4.00.04 and FlexCisTor software version 2.8.

Key words: Design, Bridge, Reinforced concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Vista geral de uma ponte, mostrando os principais elementos Constituintes.....	4
Figura 2: Vista inferior de uma ponte.....	5
Figura 3: Tipos estruturais de pontes.....	6
Figura 4: Ilustração da esconsidade à direita (a) e à esquerda.....	8
Figura 5: Trem-tipo.....	9
Figura 6: Exemplo da linha de influência devido a aplicação da carga Q no ponto m.....	13
Figura 7: Cargas aplicada e linhas de influência obtidas.....	14
Figura 8: Corte Transversal.....	17
Figura 9: Detalhamento de faixas.....	18
Figura 10: Corte transversal Barreira New Jersey.....	20
Figura 11: Seção transversal. Carregamentos permanente em cada viga.....	21
Figura 12: Carregamento permanente ao longo da viga V2.....	22
Figura 13: Seção transversal, ponto de posicionamento da roda do Trem-Tipo.....	23
Figura 14: Distância do eixo da ponte.....	23
Figura 15: Seção transversal, influência nas vigas.....	24
Figura 16: Carregamento e área de influência.....	25
Figura 17: Diagramas trem-tipo no apoio.....	27
Figura 18: Diagramas trem-tipo no meio do vão.....	28
Figura 19: Dados de entrada no software RLF – FlexCisTor v2.8.....	29
Figura 20: Quadro resumo das armaduras encontradas.....	29
Figura 21: Quadro de ferros possíveis para a armadura longitudinal.....	30
Figura 22: Quadro de ferros possíveis para a armadura de pele.....	30
Figura 23: Quadro de ferros possíveis para a armadura transversal (estribos)..	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parcela de carga de cada viga de acordo com a equação de Engesser-Courbon.....	24
--	----

LISTA DE SIMBOLOS

kN/m^3	QuiloNewton por metro cúbico unidade de peso específico
Q	Carga aplicada
Q	Carga distribuída
P	Força peso
N	Número de faixas de tráfego
kN/m^2	QuiloNewton por metro quadrado unidade de carga distribuída
Liv	Vão, expresso em metros
Hf	Força horizontal devido a frenagem
B	Largura efetiva em metros da carga distribuída
L	comprimento concomitante em metros (m), da carga distribuída
Bw	Largura de alma
γ	Peso específico
A	Área
CIV	Coefficiente de Impacto Vertical
CNF	Coefficiente de Número de Faixas
CIA	Coefficiente de Impacto Adicional
PP_{total}	Peso permanente total
P_{v1}	Carga móvel P atuante na viga V1
F_d	Valor de cálculo das ações para combinação última
F_{gk}	Ações permanentes diretas
$F_{\varepsilon gk}$	Ações indiretas permanentes (retração e temperatura)
F_{qk}	Ações variáveis diretas, na qual F_{q1k} é escolhida como principal
$\gamma_g, \gamma_{\varepsilon g}, \gamma_q, \gamma_{\varepsilon q}$	Coefficientes de ponderação de combinação das ações
$\psi_{0j}, \psi_{0\varepsilon}$	Coefficientes de ponderação das ações

LISTA DE ABREVIações

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
CIV	Coeficiente de Impacto Vertical
CNF	Coeficiente de Número de Faixas
CIA	Coeficiente de Impacto Adicional
CBUQ	Concreto betuminoso usinado a quente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	2
2.1 OBJETIVO GERAL	2
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
3 JUSTIFICATIVA	3
4 REFERENCIAL TEORICO	4
4.1 PONTES E VIADUTOS	4
4.2 ELEMENTOS PARA A ELABORAÇÃO DOS PROJETOS	7
4.2.1 ELEMENTOS GEOMÉTRICOS	7
4.2.2 ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE UMA PONTE.....	7
4.3 SOLICITAÇÕES DAS PONTES	8
4.3.1 AÇÕES PERMANENTES	8
4.4 LINHAS DE INFLUÊNCIA	12
4.4.1 CONCEITOS.....	12
4.4.2 PROCEDIMENTO DAS SUPERFÍCIES DE INFLUÊNCIA.....	13
4.5 EQUAÇÃO DE ENGESSER-COURBON	14
5 MATERIAIS E MÉTODOS	16
5.1 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS UTILIZADOS	16
5.2 PRÉ DIMENSIONAMENTO	16
5.3 PROGRAMAS UTILIZADOS	18
5.4 CÁLCULO DAS AÇÕES	19
5.4.1 CÁLCULO DAS AÇÕES PERMANENTES	19
5.4.2 TREM TIPO E LINHA DE INFLUÊNCIA	22
5.4.2.1 SOMATÓRIA DAS AÇÕES MÓVEIS:.....	26
5.5 DETERMINAÇÃO DOS ESFORÇOS SOLICITANTES	27

5.5.1 COMBINAÇÃO DAS AÇÕES.....	28
6 CONCLUSÃO	32
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
APÊNDICE A.....	35

1 INTRODUÇÃO

As pontes fazem parte da vida do ser humano há muitos anos, auxiliando no anseio de ir e vir inerente ao homem. Segundo Leonhardt (1979), desde a antiguidade encontram-se entre os povos primitivos pontes de madeira ou de cordas, na forma de vigas, vigas escoradas e vigas armadas simples. Os povos civilizados desde cedo construíram pontes com arte: os chineses venciam vãos de até mais de 18m com vigas de granito; os carpinteiros alemães e suíços no século XVIII atingiram um elevado grau de perfeição na construção de pontes de madeira. A ponte de madeira sobre o Reno em Schaffhausen, construída em 1758 pelo mestre carpinteiro J.U. Grubenmann, tinha o considerável vão de 118m.

Ainda segundo Leonhardt (1979) as primeiras pontes de concreto surgiram em 1900, podendo destacar a ponte Sandö construída em 1941, com 280 metros de vão livre.

Atualmente as pontes e viadutos são comumente chamadas de obras de arte. Tal nomenclatura faz jus a sua rica história e a seu complexo projeto e execução. O projeto possui o seu início na concepção de sua finalidade e necessidade, podendo ser uma ponte ou viaduto. Segundo Marchetti (2008), denomina-se Ponte a obra destinada a permitir a transposição de obstáculos, podendo ser rios ou braços de mar. Denomina-se Viaduto quando o obstáculo transposto é um vale ou outra via. Gama (2014) determina que para a completa realização do seu projeto são exigidos conhecimentos em diversas áreas da engenharia civil, como geotecnia, topografia, projeto de estradas, hidrologia, materiais construtivos e fundações. Assim como para a realização de cálculos das cargas e suas respectivas distribuições, são obrigatórios conhecimentos das disciplinas relacionadas a sistemas estruturais, como mecânica dos sólidos, isostática, teoria das estruturas e concreto armado.

1 **2 OBJETIVOS**

2 **2.1 OBJETIVO GERAL**

3 O presente trabalho tem como objetivo o cálculo e determinação dos esforços
4 aplicados ao longo das longarinas de um viaduto de concreto armado.

5 **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 6 • Analisar o comportamento de um viaduto de concreto de acordo com a
7 ABNT NBR 6118:2014, ABNT NBR 7187:2003 e ABNT NBR 7188:2013;
- 8 • Traçar os gráficos de esforços cortante e momento fletor para a análise
9 comportamental devido ao carregamento;
- 10 • Apresentar as reações adquiridas ao longo da estrutura, nos vãos e
11 apoios, para que o viaduto se torne uma estrutura estável;
- 12 • Traçar os gráficos de linha de influência.

13

1 **3 JUSTIFICATIVA**

2 O presente tema foi escolhido por representar a soma dos conhecimentos
3 adquiridos ao longo do curso, realizando o estudo de uma estrutura, que apresenta a
4 cada dia inovações e desafios em todo o mundo. Por ser uma estrutura complexa e
5 imponente faz com que seu estudo e o de suas normas sejam um desafio maravilhoso
6 e apaixonante. Apesar de ter o seu surgimento no final do século XVIII, as pontes de
7 concreto ainda têm muito a que serem estudadas e sua execução foge do comum dentro
8 da engenharia, sendo verdadeiras obras de artes especiais.

9

1 4 REFERENCIAL TEÓRICO

2 4.1 PONTES E VIADUTOS

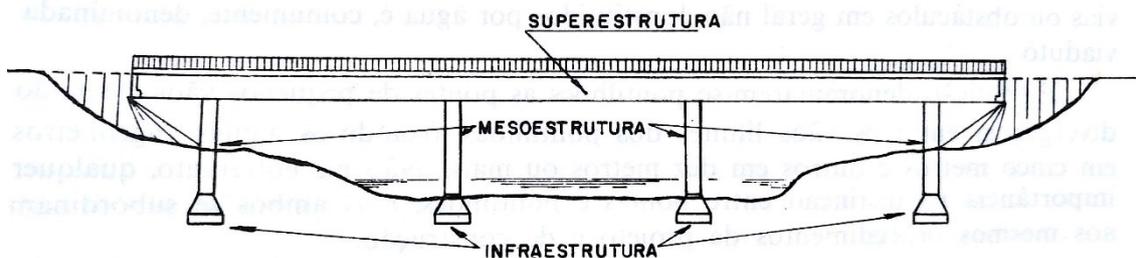
3 Para Pfeil (1979), denomina-se ponte a obra destinada à transposição de
4 obstáculos à continuidade do leito normal de uma via, tais como rios, braços de mar,
5 vales profundos, outras vias etc. Ou seja, pontes são aqueles elementos rodoviários
6 destinados à transposição de obstáculos naturais ou já criados pelo homem.

7 4.1.1 ELEMENTOS CONSTITUINTES

8 ‘Segundo Pfeil (1979), a estrutura do ponto de vista funcional é dividida em 3
9 partes principais: infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura.

10

11 Figura 2 Vista geral de uma ponte, mostrando os principais elementos constituintes.



12

13 Fonte: PFEIL (1979, p.2)

14 A infraestrutura ou fundação tem como finalidade transmitir ao terreno, rocha
15 ou solo, os esforços recebidos pela mesoestrutura. Constituem a infraestrutura:
16 blocos, sapatas, estacas, tubulões, assim como os elementos de ligação, como por
17 exemplo blocos de coroamento e vigas de enrijecimento desses blocos.

18 A mesoestrutura é o elemento que recebe os esforços da superestrutura e os
19 transmite à infraestrutura, em conjunto com a ação recebida diretamente, como
20 pressões do vento e da água em movimento. Constituída geralmente por pilares.

21 A superestrutura é composta geralmente por lajes, vigas (principais e
22 secundárias), também conhecidas como longarinas e transversinas respectivamente,
23 sendo o elemento de suporte direto das cargas e esforços de solicitação de uso
24 conforme figura 2.

25

26

1 Figura 2: Vista inferior de uma ponte.



2

3

Fonte: Mostra de Produção Universitária (2010,p2.)

4 **4.1.2 CLASSIFICAÇÕES DAS PONTES**

5

Para Pfeil (1979), a classificação pode ser realizada levando em consideração várias características, tendo as mais comuns como a extensão do vão, a finalidade, os materiais utilizados para a sua construção, tipo estrutural, durabilidade e o tipo de tráfego a ser empregado.

6

9 **4.1.2.1 CLASSIFICAÇÃO QUANTO À FINALIDADE**

10

As pontes podem ser rodoviárias, ferroviárias ou passarelas. Podem ainda serem destinadas como suporte para tubulações de água, esgoto, gás e até óleos.

11

12 **4.1.2.2 CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO MATERIAL**

13

As pontes podem ser de madeira, de pedra, de concreto armado, protendido e/ou metálicas.

14

15 **4.1.2.3 CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO TIPO ESTRUTURAL**

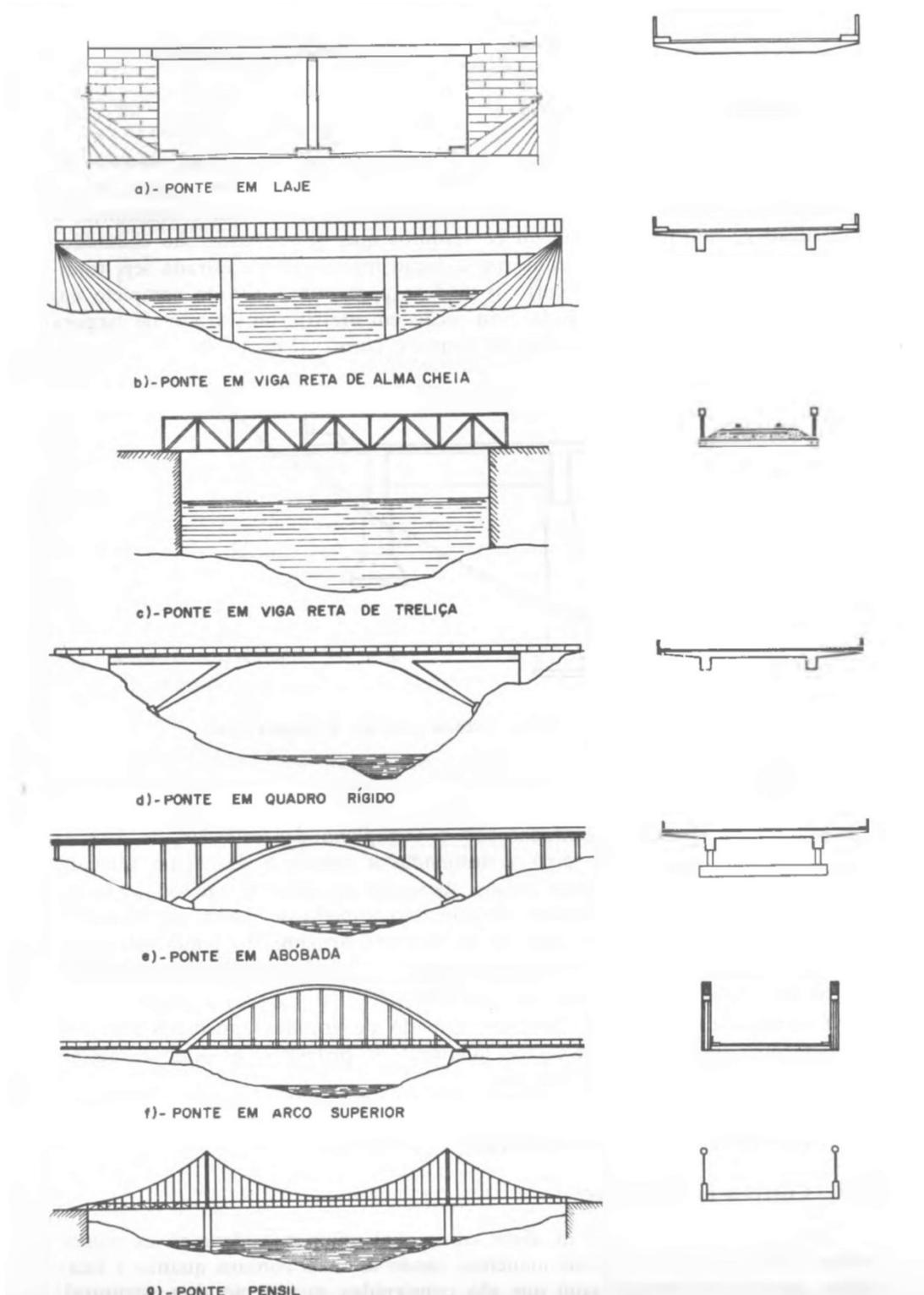
16

Quanto ao tipo estrutural as pontes podem ser em laje, em vigas retas, de alma cheia, em treliça, em quadros rígidos, em arcos ou abóbadas, pênséis ou suspensas.

17

18 Conforme figura 3, podemos ver alguns exemplos de tipos estruturais de pontes.

1 Figura 3: Tipos estruturais de pontes.



2

3

Fonte: PFEIL (1979, p.5)

1 4.2 ELEMENTOS PARA A ELABORAÇÃO DOS PROJETOS

2 4.2.1 ELEMENTOS GEOMÉTRICOS

3 Na análise de Pfeil (1979), os elementos devem subordinar-se das
4 características da via e seu próprio estrado. Os elementos geométricos da via
5 dependem das condições técnicas estabelecidas pelo órgão público a cuja jurisdição
6 pertence, DNIT DNER, DER, Prefeituras etc. Já os elementos geométricos de estrado
7 dependem das características funcionais da ponte.

8 4.2.2 ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE UMA PONTE

9 Segundo Pfeil (1979) o projeto é condicionado por diversos elementos que são
10 definidos abaixo:

11 *Tramo de uma ponte* – é a parte de sua superestrutura situada entre dois
12 elementos sucessivos da mesoestrutura;

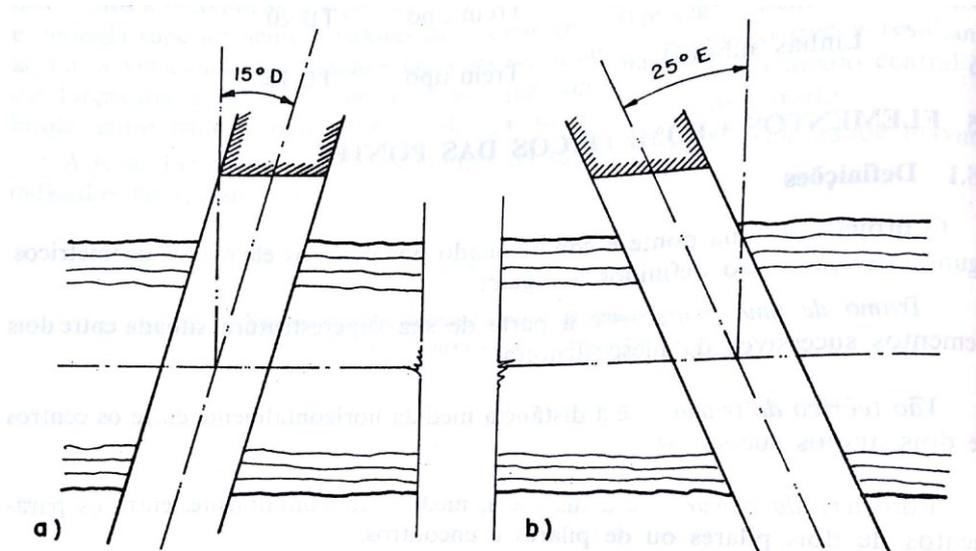
13 *Vão teórico do tramo* – é a distância medida horizontalmente entre os centros
14 de dois aparelhos de apoios sucessivos;

15 *Altura de construção* – em uma determinada seção, é a distância medida
16 verticalmente entre o ponto mais alto da superfície do estrado e o ponto mais baixo
17 da superestrutura. É um elemento de suma importância, pois pode condicionar o tipo
18 de estrutura a ser adotado;

19 *Altura livre embaixo da ponte* – é a distância, medida verticalmente, entre o
20 ponto mais baixo da superestrutura e ponto mais alto do obstáculo transposto pela
21 ponte. Em um rio, a altura livre é medida durante a máxima enchente; já em uma via
22 transposta por um viaduto, a altura é medida até o ponto mais alto da superfície de
23 rolamento da via (gabarito); e, no caso de uma ferrovia, a será medida até o topo dos
24 trilhos;

25 *Escondade* – quando o eixo longitudinal da ponte não forma um ângulo reto
26 com o eixo longitudinal do obstáculo transposto, diz-se que a ponte é oblíqua ou
27 esconsa. Uma ponte é esconsa à direita ou à esquerda quando seu eixo longitudinal
28 se inclina para a direita ou para a esquerda do perpendicular ao eixo longitudinal do
29 obstáculo transposto. Ver exemplo na figura 4.

1 Figura 4: Ilustração da esconsidade à direita (a) e à esquerda.



2

3 Fonte: PFEIL (1979, p.26)

4 4.3 SOLICITAÇÕES DAS PONTES

5 4.3.1 AÇÕES PERMANENTES

6 As cargas permanentes podem ser referidas como a carga produzida pelo
 7 próprio peso da estrutura e por elementos que estão permanentemente fixos à
 8 estrutura. A ABNT NBR 7187:2003 (Projeto de pontes de concreto armado e de
 9 concreto protendido -Procedimento) traz como necessária a verificação para peso
 10 próprio dos elementos estruturais, peso da pavimentação, dos trilhos, dos dormentes,
 11 dos lastros, dos revestimentos, das barreiras, dos guarda-rodas, dos guarda-corpos,
 12 de dispositivos de sinalização, os empuxos de terra e de líquidos, desde que estes
 13 atuem de maneira contínua.

14 Com a obtenção dos valores de carga permanente conseguimos traçar os
 15 diagramas de esforços normal, cortante, momento e, se houver, também momento
 16 torçor.

17 4.3.1.1 PAVIMENTAÇÃO

18 De acordo com a ABNT NBR 7187:2003, na avaliação das cargas devidas ao
 19 peso da pavimentação deve ser adotado o peso específico do material — ou o mínimo

1 de 24 kN/m³ — prevendo-se uma carga adicional de 2 kN/m², para possível
2 recapeamento futuro.

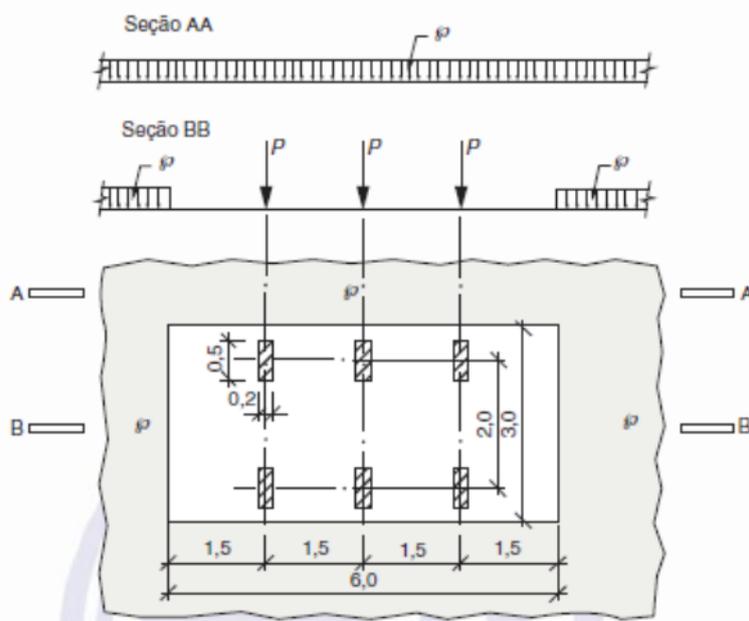
3 4.3.1.2 PESO PRÓPRIO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

4 De acordo com a ABNT NBR 7187:2003, deve-se adotar no mínimo 25 kN/m³
5 de peso próprio para o concreto armado.

6 4.3.2 AÇÕES VARIÁVEIS.

7 As ações variáveis, aplicadas nas estruturas de pontes, viadutos e passarelas,
8 estão previstas e normatizadas pela ABNT NBR 7188:2013 - Carga móvel rodoviária
9 e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Cargas móveis
10 são todas as cargas produzidas pelo tráfego de veículos e pessoas que circulam na
11 ponte. A ABNT NBR 7188:2013 define cargas estáticas, a sua disposição e
12 intensidade, para verificações e dimensionamento dos elementos estruturais. A carga
13 móvel rodoviária padrão TB-450 é constituída por um veículo tipo de 450 kN, com seis
14 rodas, $P = 75$ kN (sendo P o valor estático de uma roda do veículo), três eixos de carga
15 afastados entre si em 1,5 m, com área de ocupação de 18,0 m², circundada por uma
16 carga uniformemente distribuída constante $p = 5$ kN/m² (sendo p o valor estático da
17 carga móvel uniformemente distribuída), conforme Figura 5.

18 Figura 5: Trem-tipo



19

20 Fonte: ANBT NBR 7188 (2013)

1 4.3.2.1 TREM-TIPO

2 Segundo Pfeil (1979), a carga móvel, também conhecida como carga útil, pode
 3 se localizar em posições variáveis sobre o tabuleiro da ponte. Para isso, o veículo
 4 deve ser orientado no sentido do tráfego e ter sua posição variada longitudinalmente
 5 (seção mais solicitada) e transversalmente (viga mais solicitada). No
 6 dimensionamento, consideram-se todas essas posições pelo método da linha de
 7 influência para gerar uma combinação de cargas. O veículo, além do peso, ainda
 8 possui as cargas geradas pelo impacto vertical e lateral. O impacto é considerado
 9 através de um acréscimo percentual na carga.

10 A ABNT NBR 7188:2013 determina as seguintes cargas a serem consideradas no
 11 cálculo do trem-tipo:

12 A carga P , em quilonewtons, é a carga estática concentrada e aplicada no nível do pavimento,
 13 com valor característico e sem qualquer majoração. A carga p , em quilonewtons por metro
 14 quadrado, é a carga uniformemente distribuída, aplicada no nível do pavimento, com valor
 15 característico e sem qualquer majoração.

16 A carga concentrada Q , em quilonewtons, e a carga distribuída q , em quilonewtons por metro
 17 quadrado, são os valores da carga móvel aplicados no nível do pavimento, iguais aos valores
 18 característicos ponderados pelos coeficientes de impacto vertical (CIV), do número de faixas.
 19 (CNF) e de impacto adicional (CIA). (p.3).

20 As cargas ponderadas, Q e q , são obtidas através das equações, 1 e 2
 21 respectivamente.

$$Q = P \times CIV \times CNF \times CIA \quad (1)$$

$$q = p \times CIV \times CNF \times CIA \quad (2)$$

22 4.3.2.2 COEFICIENTES

23 A normatização traz ainda três coeficientes que devem ser aplicados ao trem-
 24 tipo. Coeficiente de impacto vertical (CIV); Coeficiente do número de faixas (CNF);
 25 Coeficiente de impacto adicional (CIA).

26

27

28

4.3.2.2.1 COEFICIENTE DE IMPACTO VERTICAL

O CIV simula o efeito dinâmico da carga em movimento e a suspensão dos veículos automotores, amplificando a ação da carga estática. Seu cálculo é obtido através da equação 3.

$$CIV = 1 + 1,06 \times \left(\frac{20}{Liv + 50} \right) \quad (3)$$

4.3.2.2.2 COEFICIENTE DO NÚMERO DE FAIXAS

O CNF é a probabilidade de a carga móvel ocorrer em função do número de faixas. É obtido através da equação 4.

$$CNF = 1 - 0,05 \times (n - 2) > 0,9 \quad (4)$$

Acostamentos e faixas de segurança não são considerados.

Este coeficiente não deve ser aplicado no dimensionamento de elementos estruturais transversais ao sentido do tráfego (lajes, transversinas etc.).

4.3.2.2.3 COEFICIENTE DE IMPACTO ADICIONAL

O CIA é destinado à majoração da carga móvel característica, devido à imperfeição e/ou descontinuidade da pista de rolamento. A ABNT NBR 7188:2013 coloca que para obras em concreto CIA=1,25.

4.3.2.3 CARGAS NOS PASSEIOS

A ABNT NBR 7188:2013 orienta a adoção de uma carga distribuída de 5 kN/m² ao longo de todo o passeio. Sendo que a ação dessa carga não é ponderada pelos coeficientes acima tipificados.

4.3.2.4 COMBINAÇÕES

A ABNT NBR 6118:2014 determina que para garantir a segurança das estruturas de concreto as mesmas devem ser verificadas quanto ao Estado Limite

1 Último e aos Estados Limites de Serviço. Neste trabalho, iremos analisar apenas
2 quanto ao Estado Limite Último.

3 O Estado Limite Último (ELU) é um estado que, pela sua ocorrência, determina
4 a paralisação do uso da construção, em todo ou em parte. ELU verifica a perda de
5 equilíbrio como corpo rígido; o esgotamento da capacidade resistente em seu todo ou
6 em parte, admitindo a capacidade de adaptação plástica da estrutura através da
7 redistribuição de solicitações internas; e no caso de pontes, quanto a vibrações
8 excessivas e fadiga.

9 A referida norma apresenta na tabela 11.3 (página 67) o cálculo da combinação
10 última das ações para o esgotamento da capacidade resistente de elementos
11 estruturais de concreto armado, que deve obedecer a equação 5.

$$F_d = \gamma_g \times F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} \times F_{\varepsilon gk} + \gamma_q \times \left(F_{q1k} + \sum \psi_{0j} \times F_{qjk} \right) + \gamma_{\varepsilon q} \times \psi_{0\varepsilon} \times F_{\varepsilon qk} \quad (5)$$

12

13 4.4 LINHAS DE INFLUÊNCIA

14 4.4.1 CONCEITOS

15 Pfeil (1979) define como linha de influência uma solicitação S em um ponto m,
16 linha essa cuja ordenadas fornecem os valores Sm para diversas posições de uma
17 carga unitária. A variável Sm representa as ordenadas para cada solicitação S, nos
18 diferentes pontos aplicados, ilustrando a área do diagrama na linha correspondente,
19 conforme figura 6.

20

21

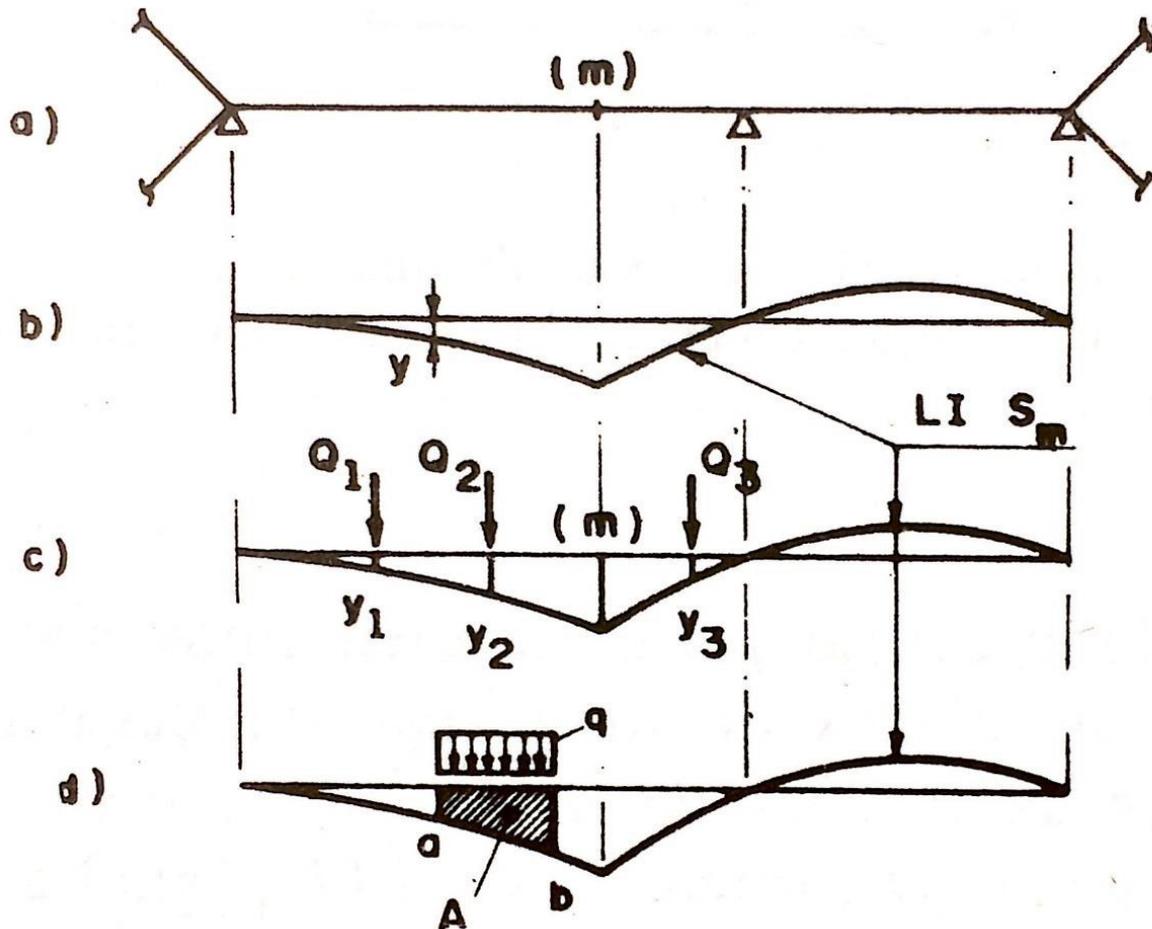
22

23

24

25

1 Figura 6: Exemplo da linha de influência devido a aplicação da carga Q no ponto m



2

3 Fonte: PFEIL (1979), pág. 105

4 Ainda, Pfeil (1979) determina que, em consequência da superposição, a
 5 solicitação S_m produzida por diversas cargas Q é dada pela soma $\sum Q x y$. Para a
 6 carga distribuída q , aplicada entre os pontos a, b a solicitação S_m é dada pela
 7 $\int_a^b Q y dx$.

8 4.4.2 PROCEDIMENTO DAS SUPERFÍCIES DE INFLUÊNCIA

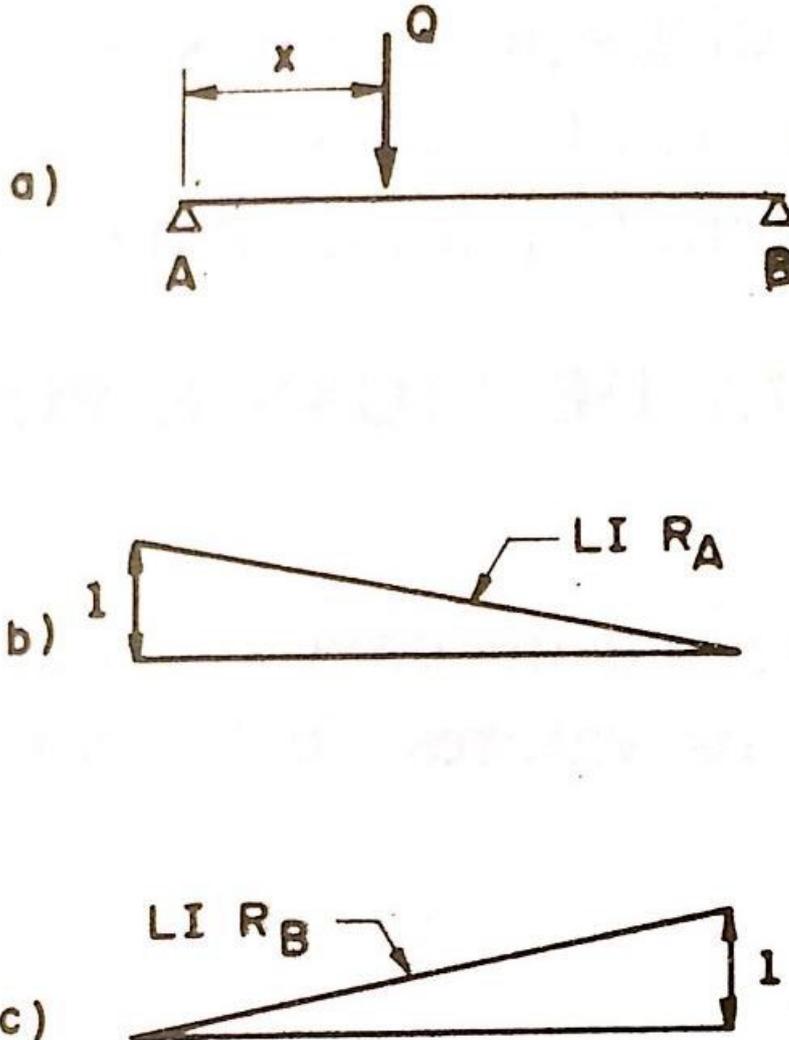
9 Em estruturas em barras, podemos considerar o procedimento de superfícies
 10 de influência. Segundo Pfeil (1979), as superfícies de influência descrevem os efeitos
 11 (momento fletor, força cortante etc.) num determinado ponto da laje, produzidos por
 12 uma força unitária atuante noutro ponto qualquer.

13 Podemos determinar as linhas de influência desenhando os diagramas de
 14 solicitações desejadas para diversas posições de uma carga unitária, efetuando-se
 15 depois, uma troca de ordenadas. Porém, esse processo espontâneo só é conveniente

1 para estruturas muito simples, tornando-se muito trabalhoso em estruturas
 2 estaticamente indeterminadas. A figura 7 abaixo apresenta a semelhança entre os
 3 processos de linhas e superfícies de influência.

4

5 Figura 7: Cargas aplicada e linhas de influência obtidas.



6

7 Fonte: PFEIL (1979), pág. 106

8 4.5 EQUAÇÃO DE ENGESSER-COURBON

9 O método de Engesser-Courbon introduz a hipótese de que as vigas
 10 transversais (transversinas) são rígidas quando comparadas com as vigas
 11 longitudinais (longarinas). Além disso, a rigidez à torção das vigas longitudinais é
 12 desprezada. Assim, a distribuição das cargas entre as vigas longitudinais pode ser
 13 feita através da equação 6.

$$P_i = \frac{P}{N} \pm \frac{P_e}{\sum X_i^2} \times X_i \quad (6)$$

- 1 Em seu trabalho, Oliveira et al. (2018) mostra a eficácia do método de
- 2 Engesser-Courbon para pontes de longarinas. Portanto este é método adotado de
- 3 cálculo, visto a sua simplicidade comparado com demais métodos.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS UTILIZADOS

- CONCRETO

Peso específico=25 KN/m³

Fck=20 MPa

- AÇO

tipo: CA-50A

Peso específico = 77 KN/m³

- PAVIMENTAÇÃO

Tipo de pavimentação: asfáltica

Peso específico = 24 KN/m³

Conforme recomendação da ABNT NBR 7187:2003 deve adicionar na pavimentação o peso de 2 KN/m² prevendo possível recapeamento futuro.

5.2 PRÉ DIMENSIONAMENTO

Encontrou-se uma grande dificuldade no pré-dimensionamento da estrutura, pois grande parte dos profissionais da área o faz baseado em suas experiências. A literatura sobre pontes raramente abrange esse tema, até mesmo os trabalhos acadêmicos encontrados, e citados na bibliografia, utilizam-se do dimensionamento de estruturas já executadas.

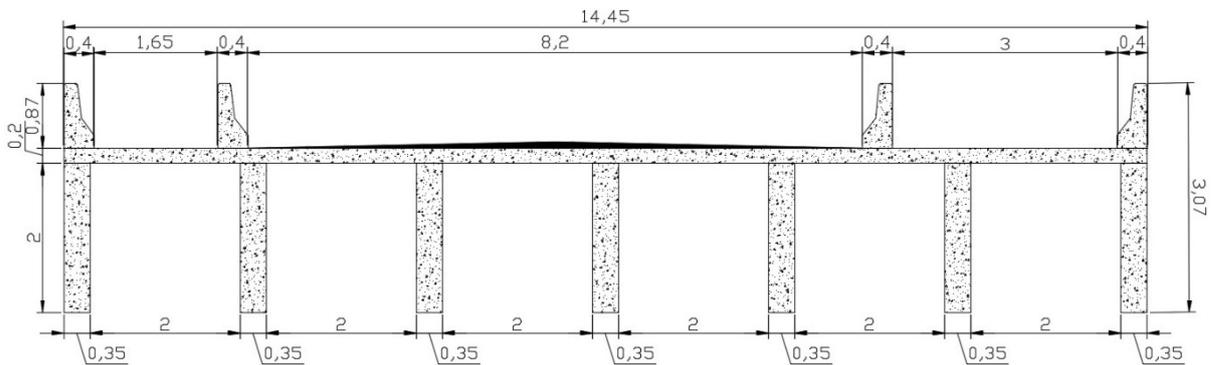
Adotou-se no projeto lajes maciças de 20 cm de espessura, tal espessura foi escolhida baseando-se na sua comum adoção nos diversos trabalhos acadêmicos encontrados, em conformidade com a ANBT NBR 7187:2003 cuja recomendação sugere espessura mínima de 15 cm.

Um fator importante neste tipo de obra é a verificação da esbeltez da viga, definida para relação h/L , ou seja, altura da viga dividida pelo seu comprimento. Dependendo da esbeltez adotada a obra transmitirá uma sensação de leveza e elegância ou de robustez exagerada. Conforme (DNER, 1996, p.117) a esbeltez pode

1 variar entre $h/L=1/5$ e $h/L=30$. Conforme recomendação técnica do engenheiro
 2 Gilberto Piva¹, foi adotado a relação $h/L=1/10$.

3 Baseando-se nos projetos encontrados com características similares a este,
 4 adotou-se uma largura de alma b_w na viga de 35 cm, em conformidade com a ABNT
 5 NBR 7187:2003 que recomenda uma largura de alma b_w mínima de 20 cm. Conforme
 6 figura 8.

7 Figura 8: Corte Transversal.



8

9 Fonte: Autor (2019)

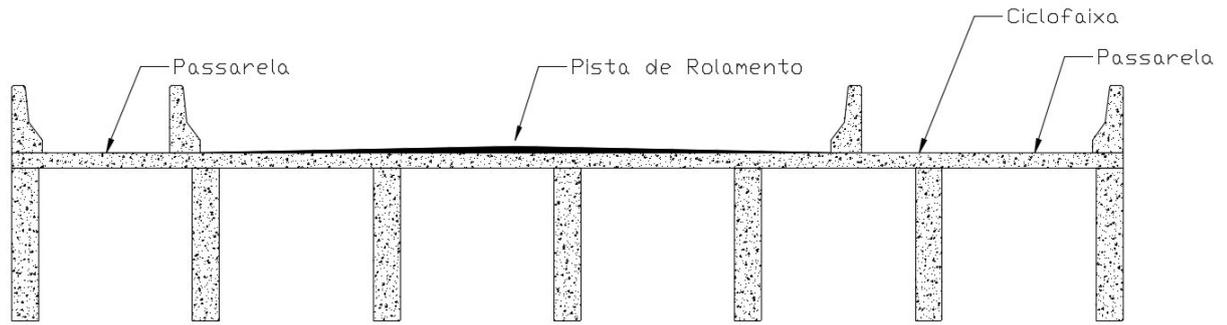
10 O sistema estrutural a ser adotado consiste em uma série de vigas longarinas sob
 11 um tabuleiro formado por painéis transversais. As longarinas são peças dispostas
 12 longitudinalmente, responsáveis por suportar o peso próprio dos elementos e
 13 carregamentos acidentais. O tabuleiro é apoiado nas longarinas no sentido
 14 transversal, sendo dimensionado para resistir à carga acidental do veículo-tipo. Uma
 15 camada de concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) deverá cobrir o tabuleiro,
 16 com a função de proteger o tabuleiro da umidade e da abrasão provocada pelos
 17 veículos; o guarda-rodas e a defesa são mecanismos posicionados na borda,
 18 devendo ser dimensionados para evitar que o veículo escape da ponte.

19 O viaduto estudado apresenta as seguintes características (figura 9):

- 20 • Comprimento de 20 metros;
- 21 • Largura de 14,45 metros;
- 22 • 2 faixas de tráfego;
- 23 • 1 ciclovia;
- 24 • 2 passarelas.

¹ – Orientação fornecida por Gilberto Piva, no 1º Seminário Sul Brasileiro de Pontes e Estruturas, em Curitiba, em novembro de 2017.

1 Figura 9: Detalhamento de faixas.



2

3

Fonte: Autor (2019)

4

5 5.3 PROGRAMAS UTILIZADOS

6

7

8 Para a análise das tensões e cargas aplicadas ao longo de toda a estrutura,
9 utilizamos o software Ftool® versão 4.00.04, desenvolvido pela PUC-Rio, o qual
10 emprega o Método dos Elementos Finitos (MEF).

11

12

13

14

O Método dos Elementos Finitos é a mais eficiente ferramenta numérica de resolução de equações diferenciais com condições de contorno (e iniciais), como as que regem os Modelos matemáticos dos sistemas físicos contínuos, seja da mecânica dos sólidos deformáveis, condução de calor e de massa ou eletromagnetismo. (SORIANO, 2009, p.IX).

15

16 Ainda segundo SORIANO (2009), o MEF está consolidado, tendo suas bases
17 matemáticas perfeitamente esclarecidas, sendo assim amplamente usando em
18 softwares de análise na engenharia, como ANSYS®, NASTRAN®, COMOS®,
19 ABAQUS®, ALGOR®, SAP® E ADINA®.

20

Para o cálculo das armaduras de aço da longarina, utilizamos o software RLF-FlexCisTor versão 2.8, desenvolvido pelo Eng. M.Sc. Reginaldo Lopes Ferreira.

5.4 CÁLCULO DAS AÇÕES

5.4.1 CÁLCULO DAS AÇÕES PERMANENTES

As ações permanentes são compostas pelo peso da manta asfáltica, barreira, tabuleiro e vigas.

Para a realização dos cálculos das cargas permanentes na ponte, adotamos o peso específico do concreto armado como $\gamma_{\text{CONCRETO}} = 25 \text{ kN/m}^3$ e o peso específico do CBUQ como $\gamma_{\text{CBUQ}} = 26 \text{ KN/m}^3$. A seção transversal da ponte é mostrada na figura 8.

Para o Cálculo do peso próprio da estrutura, dividiu-se a área complexa em figuras geométricas conhecidas. A carga permanente é dada pela equação 7, aplicada separadamente à cada elemento conforme as equações 8 e 11.

$$Peso = \gamma \times h \quad (7)$$

- Manta asfáltica

$$Peso_{manta} = 24 \times 0,08 \quad (8)$$

$$Peso_{manta} = 1,92 \text{ KN/m}^2 \quad (9)$$

Conforme determina a ABNT NBR 7187:2003.

$$Peso_{manta} = 1,92 + 2 = 3,92 \text{ KN/m}^2 \quad (10)$$

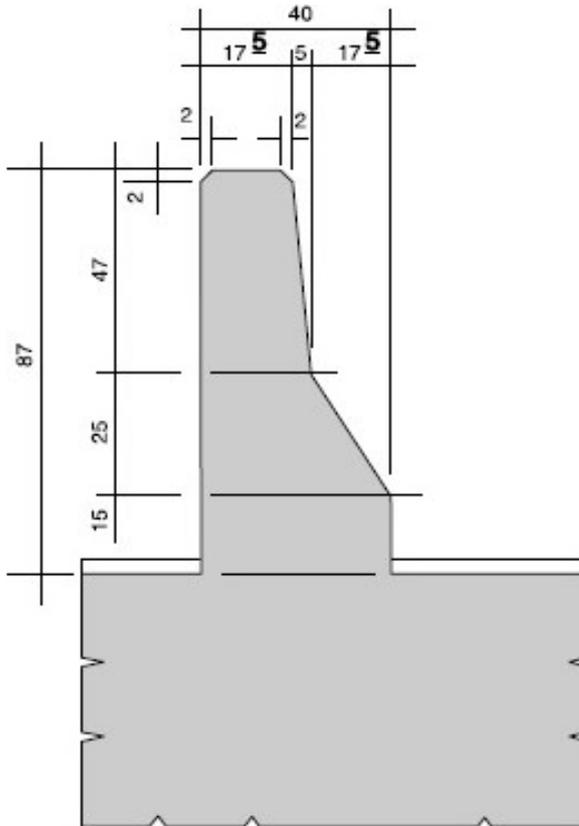
- Tabuleiro

$$Peso_{\text{Tabuleiro}} = 25 \times 0,20 = 5 \text{ KN/m}^2 \quad (11)$$

1 • Barreira tipo New Jersey

2 Para o cálculo da barreira New Jersey (representada pela figura 10) devemos
 3 multiplicar a sua área pelo peso específico do concreto e posteriormente multiplicar
 4 sua cota de atuação, conforme equação 14.

5 Figura 10: Corte transversal Barreira New Jersey



6

7 Fonte: Autor (2019)

$$\text{Área}_{New Jersey} = \left[(87 \times 40) - (47 \times 17,5) - \left(\frac{25 \times 17,5}{2} \right) - \left(\frac{47 \times 5}{2} \right) \right] \quad (12)$$

$$\text{Área}_{New Jersey} = 2.321,25 \text{ cm}^2 = 0,2321 \text{ m}^2 \quad (13)$$

8

$$\text{Peso}_{New Jersey} = 0,2321 \times 25 \quad (14)$$

$$\text{Peso}_{New Jersey} = 5,8025 \text{ KN} \quad (15)$$

9

1
2
3

- Viga

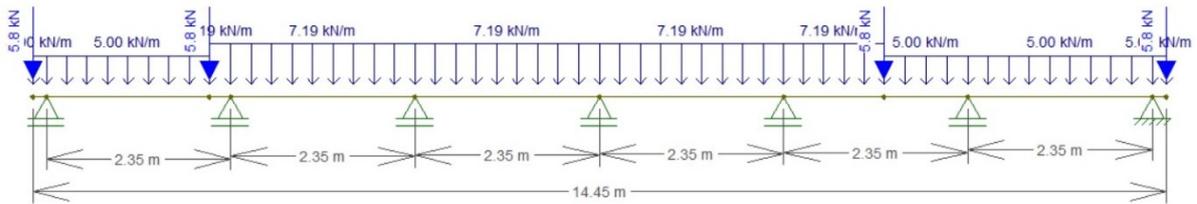
$$Peso_{viga} = 25 \times 0,35 \times 2,00 \tag{16}$$

$$Peso_{viga} = 17,5\text{KN/m} \tag{17}$$

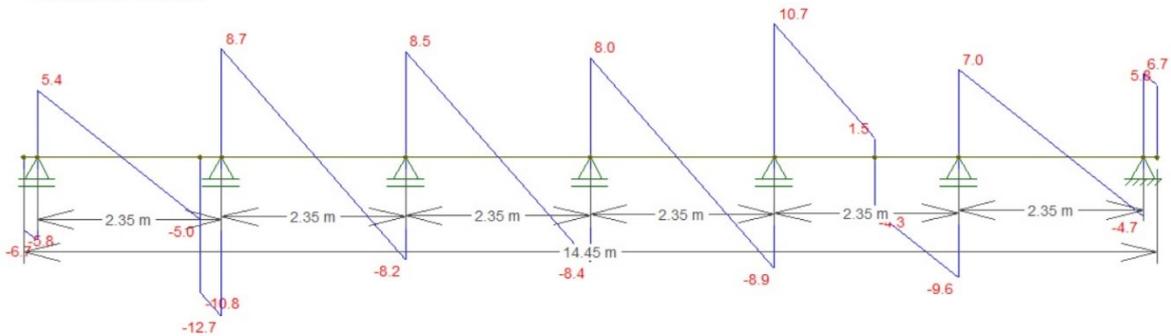
4 Para efetuar o cálculo das ações permanentes atuantes em cada viga,
5 devemos utilizar os esforços encontrados nas equações, 9, 11 e 15, aplicá-los
6 conforme figura 11 e somar os esforços encontrados, aqueles obtidos da equação 17,
7 conforme figura 12.

8 Figura 11: Seção transversal. Carregamentos permanente em cada viga.

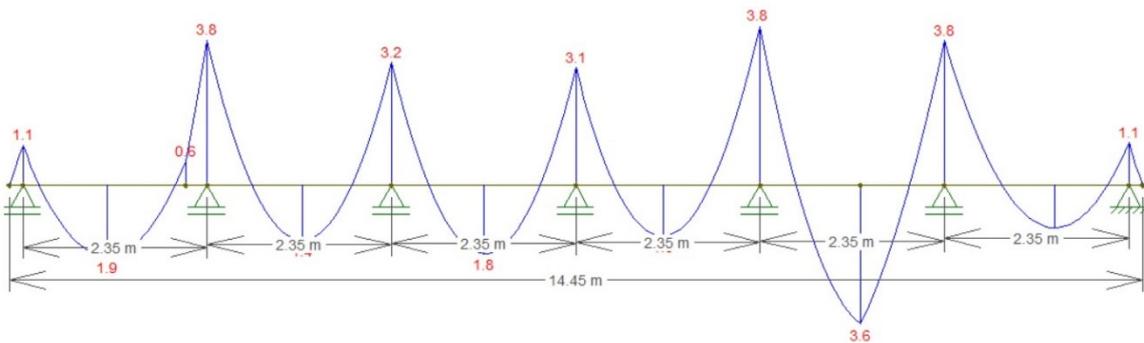
- Carregamento



- Cortante em kN



- Momento Fletor em kN.m

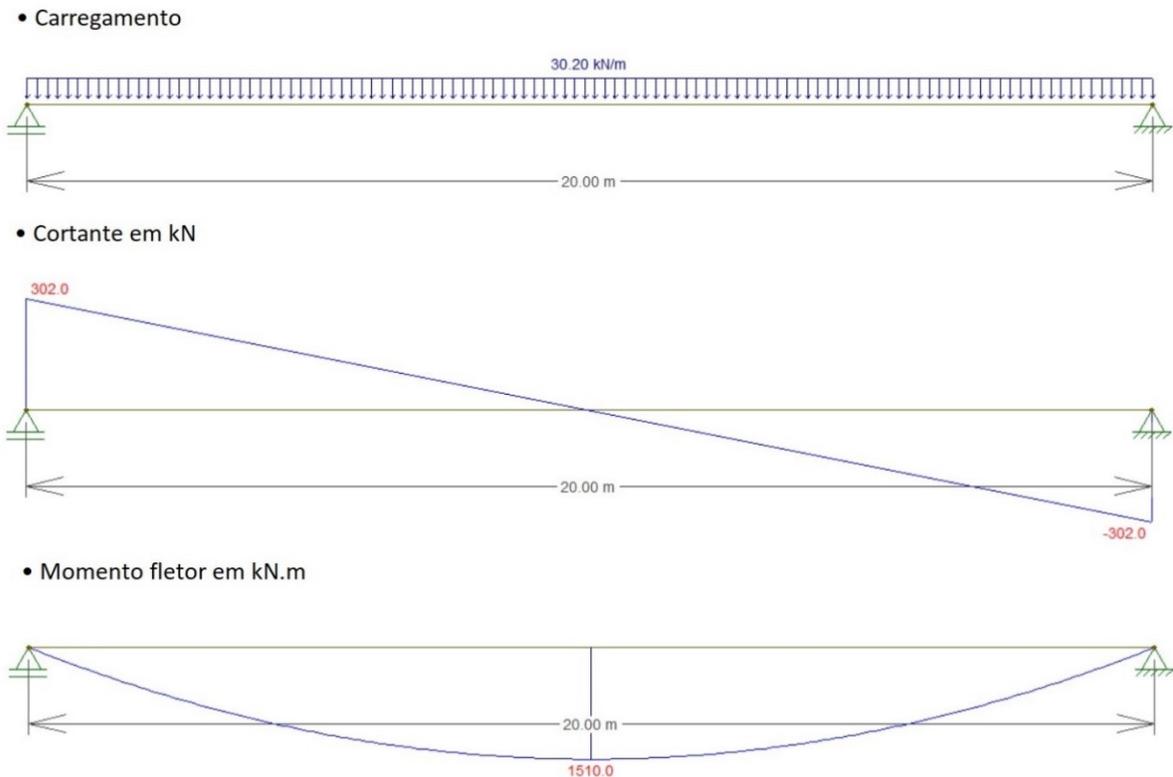


9

10 Fonte: Autor (2019).

1 Conforme podemos verificar na figura 11, a viga mais solicitada com
 2 carregamento permanente do tabuleiro é a viga v2.

3 Figura 12: Carregamento permanente ao longo da viga V2.



4

5 Fonte: Autor (2019).

6 **5.4.2 TREM TIPO E LINHA DE INFLUÊNCIA**

7 Para o cálculo das ações devido ao trem tipo, deve-se analisar o posicionamento
 8 do mesmo. Recomenda-se escolher as piores situações para posicionamento. Para
 9 este estudo, adotou-se o trem-tipo a no ponto P a 2 metros e 45 centímetros da borda
 10 do viaduto na seção transversal, conforme figura abaixo, em duas situações: no meio
 11 do viaduto, longitudinalmente, ocasionando o maior momento fletor sobre as
 12 longarinas, e no início da ponte sobre os apoios, ocasionando a maior força cortante
 13 nas longarinas (figura 13 e 14).

14

15

16

17

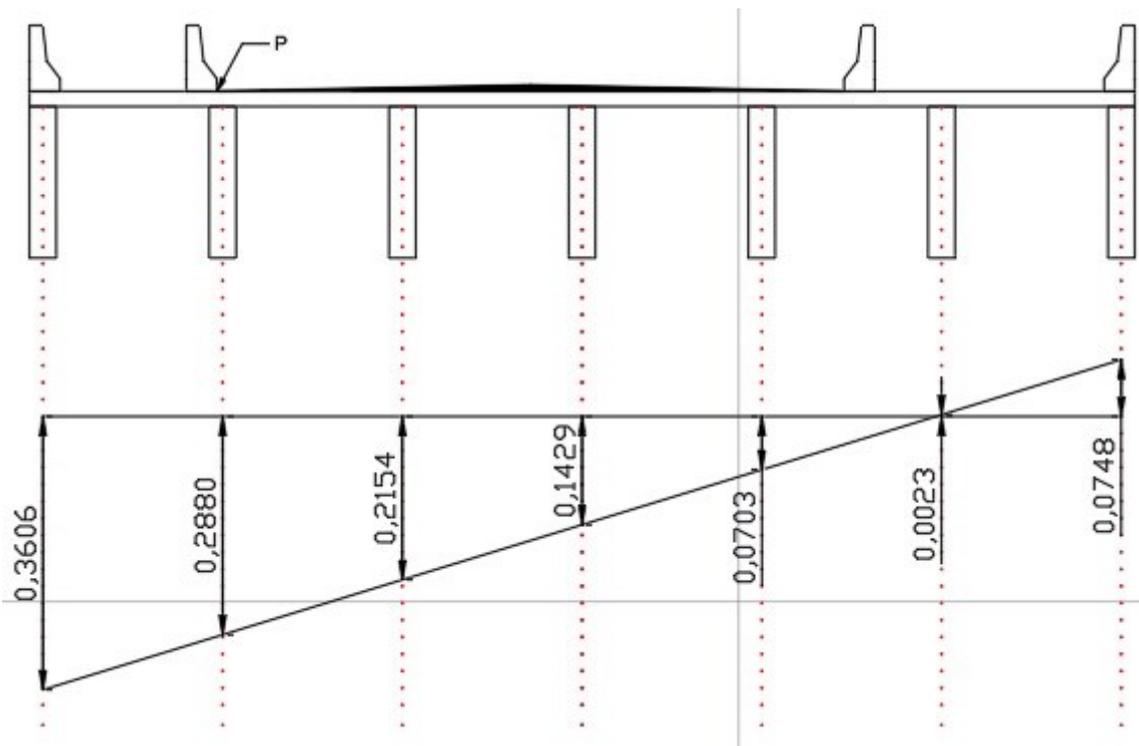
1 Aplicando a mesma equação para as demais vigas, obtém-se as respectivas
2 parcelas de carga, conforme tabela 1.

3 **Tabela 1 – Parcela de carga de cada viga de acordo com a equação de Engesser-Courbon**

Vigas	P_i
V1	0,3606P
V2	0,2880P
V3	0,2154P
V4	0,1429P
V5	0,0703P
V6	-0,0023P
V7	-0,0748P

4

5 Figura 15: Seção transversal, influência nas vigas.



6

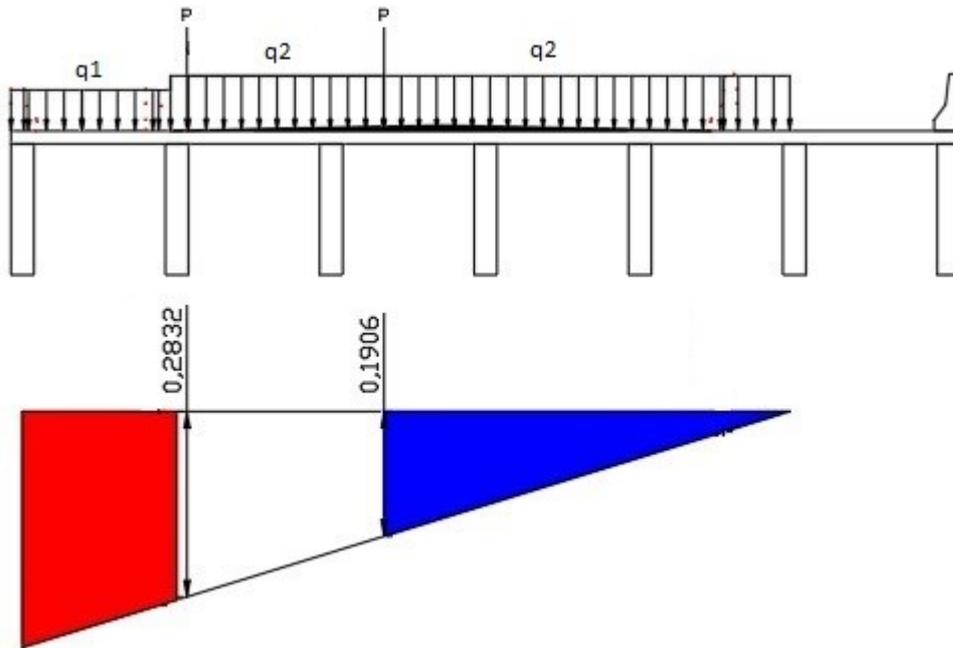
7 Fonte: Autor (2019)

8 Conforme verificado, a viga mais solicitada é a V1. Por questões de segurança,
9 calcula-se os esforços na v1, replicando-os para as demais vigas.

10

11

1 Figura 15: Carregamento e área de influência



2

3 Fonte: Autor (2019)

4 As áreas de influências são: 0,7621m para a carga distribuída, q1 (em
5 vermelho); 0,7551m para a carga ao longo do trem-tipo, q2 (em branco); e de 0,5883m
6 para a carga adjacente ao trem-tipo, q2 (em azul).

7 A NBR 7188 (ABNT,2013) recomenda a utilização dos coeficientes de
8 ponderação CIV (Coeficiente de Impacto Vertical), CNF (Coeficiente do Número de
9 Faixas) e CIA (Coeficiente de Impacto Adicional).

10 Coeficiente de Impacto Vertical

$$CIV = 1 + 1,06 \times \left(\frac{20}{20 + 50} \right) \quad (19)$$

11

$$CIV = 1,3028$$

13 Coeficiente do Número de faixas

$$CNF = 1 - 0,05 \times (2 - 2) > 0,9 \quad (20)$$

14

$$CNF = 1$$

15

1 Coeficiente de Impacto Adicional

$$2 \quad CIA = 1,25$$

$$C = CIV \times CNF \times CIA \quad (21)$$

3 Com todos os coeficientes calculados separadamente iremos uni-los no coeficiente
4 único C, conforme equação 22 e 23.

5

$$C = 1,3028 \times 1 \times 1,25 = 1,6285 \quad (22)$$

6

7

8 Aplicando a equação 24 temos que:

$$qn' = \text{Área} \times qn \quad (23)$$

9

10 Carga concentrada 1: 0,2832.P

11 Carga concentrada 2: 0,1906.P

12 Carga distribuída na passarela q1 (área vermelha): 0,7621.3=2,2863kN/m

13 Carga distribuída q2 (área branca): 0,7551.5=3,7755kN/m

14 Carga distribuída q2 (área azul): 0,5883.5=2,9415kN/m

15 **5.4.2.1 SOMATÓRIA DAS AÇÕES MÓVEIS:**

16 Com base nas equações anteriores temos que as cargas móveis atuantes são:

17 Carga concentrada:

$$P_{v1} = (0,2832 \times 75 + 0,1906 \times 75) \times 1,6285 = 57,8687kN \quad (24)$$

18

19 Cargas distribuídas:

20

$$q1 = 2,2863 \text{ kN/m}$$

21 Para o cálculo de q2 devemos aplicar os coeficientes calculados na equação 22.

$$q2 = 1,6285 \times (3,7755 + 2,9415) = 10,9386kN/m \quad (25)$$

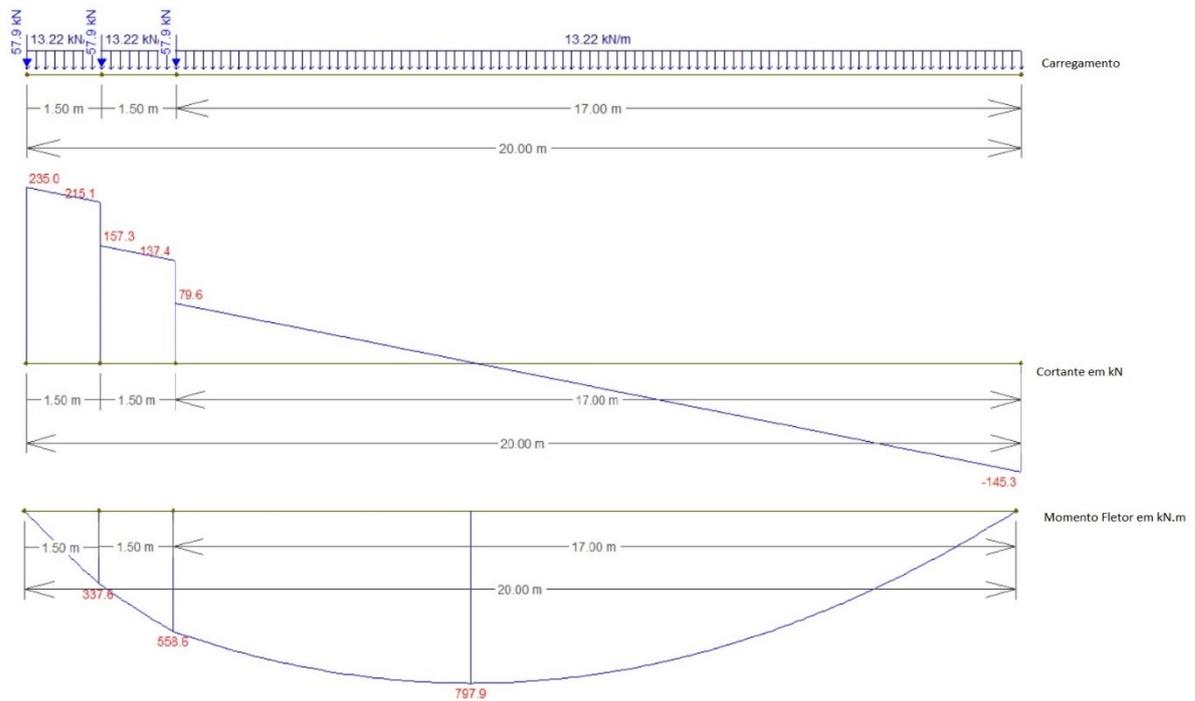
1 Portanto temos que:

$$q_{total,q} = 13,2249 \text{ kN/m}$$

2 5.5 DETERMINAÇÃO DOS ESFORÇOS SOLICITANTES

3 Aplicando as cargas das ações móveis no *software* FTOOL®, obtemos os
4 diagramas mostrados nas figuras 17 e 18.

5 Figura 17: Diagramas trem-tipo no apoio.



6

7 Fonte: Autor (2019)

8

9

10

11

12

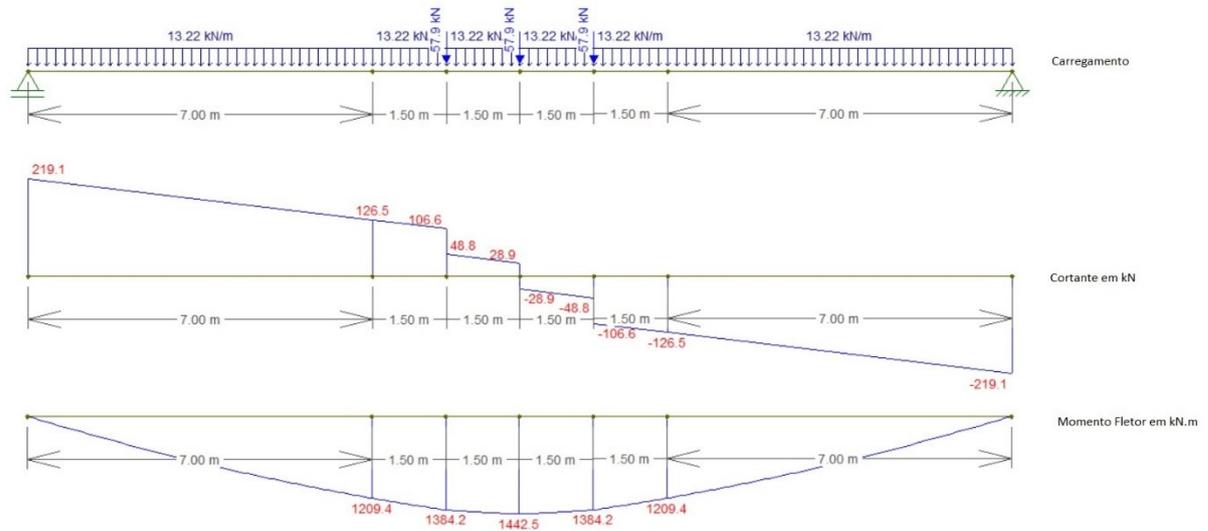
13

14

15

16

1 Figura 18: Diagramas trem-tipo no meio do vão.



2

3 Fonte: Autor (2019)

4 **5.5.1 COMBINAÇÃO DAS AÇÕES**

5

6 Empregando a equação 5, conforme ABNT NBR 6118:2013, temos que:

7

$$M_d = 1,4 \times M_{gk} + 1,4 \times M_{gk} \quad (27)$$

8 Sendo assim, temos que:

$$M_d = 1,4 \times 1510 + 1,4 \times 1.442,5 \quad (28)$$

9

$$M_d = 4.133,5 \text{ kN.m} \quad (29)$$

10

$$V_d = 1,4 \times 302 + 1,4 \times 235,00 \quad (30)$$

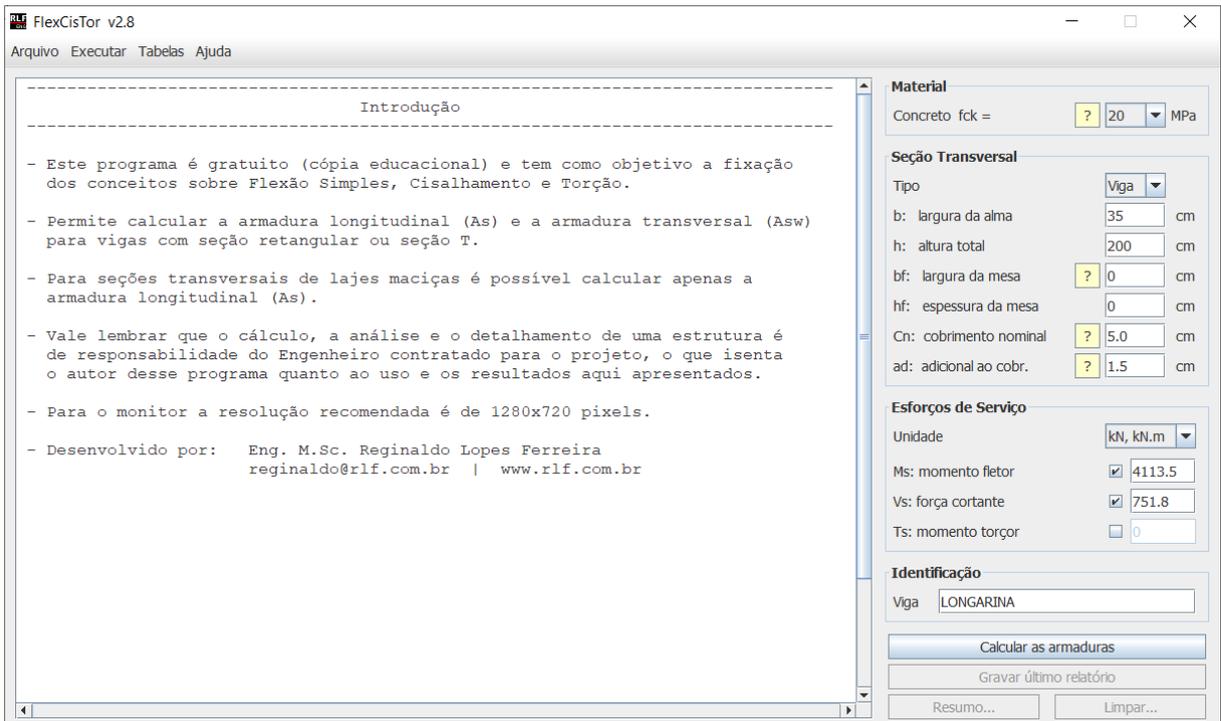
11

$$V_d = 751,8 \text{ kN.m} \quad (31)$$

12

13 Os valores de cálculo M_d e V_d (equações 29 e 31), e as características dos
 14 materiais adotados (tópico 5.1), foram utilizados como dados de entrada no *software*
 15 RLF-FlexCisTor versão 2.8, conforme mostra as figuras 19 a 23.

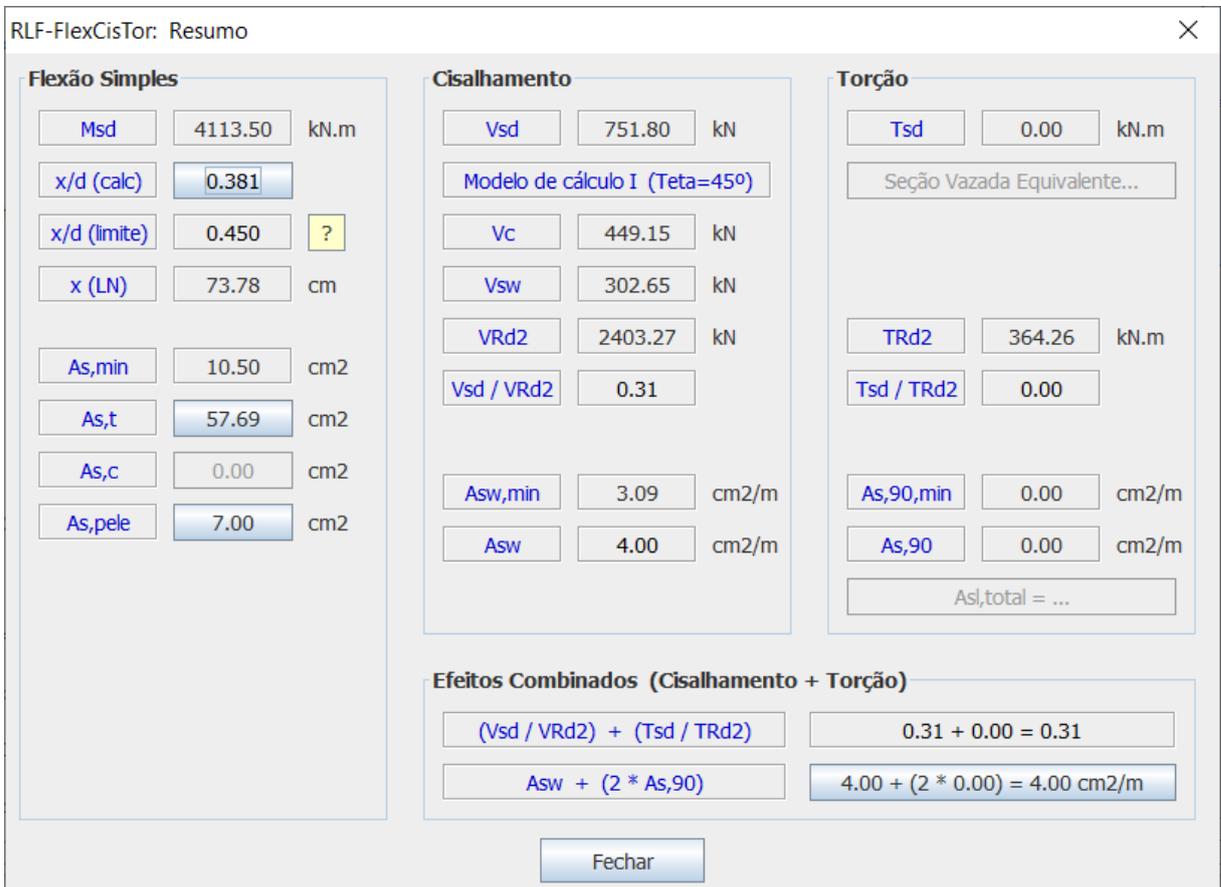
1 Figura 19: Dados de entrada no software RLF – FlexCisTor v2.8.



2

3 Fonte: Autor (2019).

4 Figura 20: Quadro resumo das armaduras encontradas.



5

6 Fonte: Autor (2019).

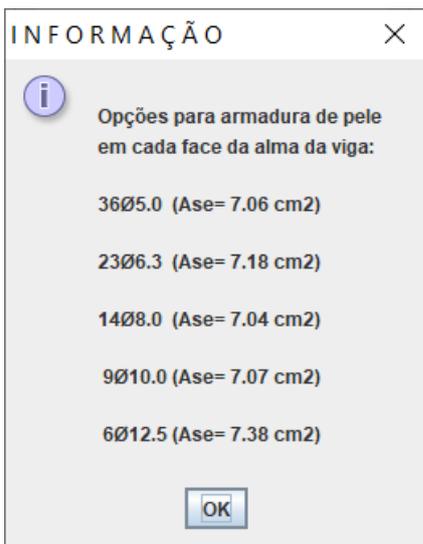
1 Figura 21: Quadro de ferros possíveis para a armadura longitudinal.



2

3 Fonte: Autor (2019).

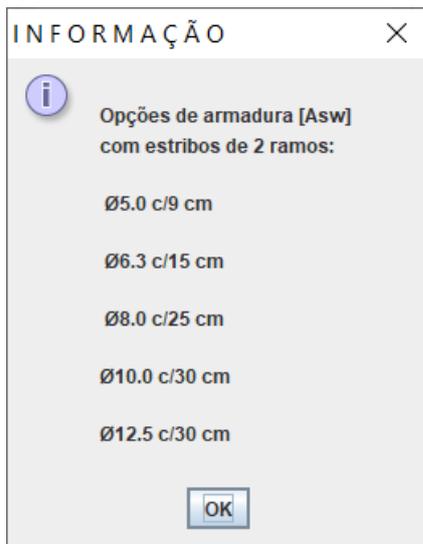
4 Figura 22: Quadro de ferros possíveis para a armadura de pele.



5

6 Fonte: Autor (2019).

1 Figura 23: Quadro de ferros possíveis para a armadura transversal (estribos).



2

3 Fonte: Autor (2019).

4 No apêndice A, encontra-se o relatório obtido através do software.

1 **6 CONCLUSÃO**

2 Neste trabalho, levantou-se as recomendações da ABNT NBR 7187:2003
3 (“Projeto de Pontes de Concreto Armado e de Concreto Protendido – Procedimento”),
4 tais como os esforços permanentes e móveis. Para fins de estudo, foi considerado
5 apenas o estado limite último para o dimensionamento. A obtenção de um melhor
6 comportamento da estrutura frente ao seu carregamento e, conseqüentemente, maior
7 conforto de seus usuários depende da verificação destes cálculos incluindo os estados
8 limites de serviço, de maneira a promover o controle de fissuração, deformações
9 máximas e vibração excessiva.

10 No dimensionamento da estrutura foram utilizadas as ações recomendadas
11 pela ABNT NBR 7187:2003, exceto o cálculo da ação do vento. Recomenda-se um
12 estudo mais aprofundado que contemple essa ação.

13 Foi Calculada a situação mais crítica que poderá ocorrer nas longarinas,
14 contudo recomenda-se o estudo da ação conjunta de todas as longarinas a fim de
15 verificar a possibilidade de utilizar uma armadura menor ou seção menor das
16 longarinas afim de economizar material.

17 O estudo da ponte foi importante para revisar e fixar conteúdos aprendidos ao
18 longo do curso.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2

3 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e
4 Segurança nas Estruturas – procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

5 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7187**: Projeto de pontes
6 de concreto armado e de concreto protendido - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

7 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7188**: Carga móvel
8 rodoviária e de pedestre em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Rio de
9 Janeiro, 2013.

10 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projetos de
11 estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

12 DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER 698**: MANUAL
13 DE PROJETO DE OBRAS-DE-ARTE ESPECIAIS. Rio de Janeiro, 1996.

14 FERREIRA, Reginaldo Lopes. **RLF-FlexCisTor**. [S. l.], 2018. Disponível em:
15 <http://www.rlf.com.br/flexcistor.html>. Acesso em: 10 abr. 2019.

16 GAMA, Janaína Almeida Bacelar. **Pontes de concreto armado**. 2014. 58 f. TCC
17 (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais
18 Aplicadas, Brasília, 2014. Disponível em:
19 <http://repositorio.uniceub.br/bitstream/235/6420/1/21159923.pdf>. Acesso em: 25
20 set. 2018.

21 LEONHARDT, Fritz. **CONSTRUÇÕES DE CONCRETO VOL 6: PRINCÍPIOS**
22 **BÁSICOS DA CONSTRUÇÃO DE PONTES DE CONCRETO**. Rio de Janeiro: Editora
23 Interciência, 1979.

24 MARCHETTI, Osvaldemar. **Pontes de Concreto Armado**. São Paulo: Blucher, 2008.
25 248 p.

26 MARTHA, Luiz Fernando et al. **Ftool**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em:
27 <https://www.ftool.com.br/>. Acesso em: 10 abr. 2019.

28 MOSTRA DE PRODUÇÃO UNIVERSITÁRIA, 9., 2010, Rio Grande. **Análise de**
29 **tabuleiros de pontes através do Método de Engesser-Courbon e do Método dos**

- 1 **Elementos Finitos.** Rio Grande: Furg, 2010. 4 p. Disponível em:
2 <<https://propesp.furg.br/anaismpu/cd2010/cic/826.doc>>. Acesso em: 20 abr. 2019.
- 3 OLIVEIRA, Charles Jaster de et al. **Métodos de Distribuição de Cargas na Seção**
4 **Transversal de Pontes com Vigamento Múltiplo: Correlação com Resultados**
5 **Experimentais.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS,
6 10., 2018, Rio de Janeiro. **Anais...** . Rio de Janeiro: Cbpe, 2018. p. 1 - 10. Disponível
7 em: <<http://www.abpe.org.br/trabalhos2018/080.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2019.
- 8 PFEIL, Walter. **PONTES EM CONCRETO ARMADO: ELEMENTOS DE PROJETOS,**
9 **SOLICITAÇÕES, DIMENSIONAMENTOS.** Rio de Janeiro. Livros técnicos científicos
10 editora S.A. 1979
11
- 12 SORIANO, Humberto Lima. **Elementos Finitos:** Formulação e Aplicação na Estática
13 e Dinâmica das Estruturas. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2009. 411 p.

1 APÊNDICE A

2 >> Viga: LONGARINA 12/06/2019 - 00:59:13 h

3 -----
4 Seção transversal:

5
6 $b= 35$ $h= 200$ $bf= 0$ $hf= 0$ ($d= 193.5$ cm | $Cn= 5.0$ | $ad= 1.500$)

7
8 $Ac= 7000$ cm² | $I_x= 23333333.33$ cm⁴ | $Y_{cg}= 100.00$ cm

9
10 Materiais:

11
12 Concreto $f_{ck}= 20$ MPa | $E_{cs}= 21287.37$ MPa

13
14 $f_{ct,m}= 2.21$ MPa | $f_{ctk,inf}= 1.55$ MPa

15
16 Aço CA-50 (f_{yk} e $f_{ywk}= 500$ MPa; $f_{ywd}= 435$ MPa)

17
18 >>> Flexão Simples

19
20 M_r : momento de fissuração= $(1.5 * f_{ctk,inf} * I_x) / Y_{cg}$

21
22 $M_{sd}= 4113.50$ kN.m

23
24 $x/d(\text{calc})= 0.381$ | $x/d(\text{limite})= 0.450$

25
26 $x_{LN}(\text{calc})= 73.78$ cm | $x_{LN}(\text{limite})= 87.08$ cm

27
28 Domínio [3] | $esd= 5.68\%$ | $ecd= 3.50\%$

29
30 $A_{s,min}(M_{d,min})= 6.49$ cm² ($M_{d,min}= 536.39$ kN.m)

31
32 $A_{s,min}(f_{ck})= 10.50$ cm² ($= 0.150\% * b * h$)

33

34

1 $A_{s,t} = 57.69 \text{ cm}^2$: 115Ø8.0 ou 74Ø10.0 ou 47Ø12.5 ou 29Ø16.0 ou 19Ø20.0 ou
2 12Ø25.0

3

4 $A_{s,c} = 0.00 \text{ cm}^2$:

5

6 Armadura de pele (NBR 6118:2014, item 17.3.5.2.3):

7

8 $A_{s,pele} = 0.10\% * (b * h) \Rightarrow$ em cada face da alma da viga.

9

10 $A_{s,pele} = 7.00 \text{ cm}^2$: 36Ø5.0 ou 23Ø6.3 ou 14Ø8.0 ou 9Ø10.0 ou 6Ø12.5

11

12 >>> Cisalhamento (Modelo de cálculo I \Rightarrow bielas: $\theta = 45^\circ$)

13

14 $V_{sd} = 751.80 \text{ kN}$

15

16 $V_{sd} = (V_c = 449.15 \text{ kN}) + (V_{sw} = 302.65 \text{ kN})$

17

18 VR_{d2} : força cortante resistente de cálculo (NBR 6118-2014, item 17.4.2.2)

19

20 $VR_{d2} = 0.27 * (1 - f_{ck}/250) * f_{cd} * b * d$

21

22 $VR_{d2} = 2403.27 \text{ kN} \mid V_{sd}/VR_{d2} = 0.31$

23

24 Armadura Transversal:

25

26 $A_{sw,min}$: NBR 6118:2014, item 17.4.1.1.1

27

28 $\rho_{sw,min} \geq 0.2 * (f_{ct,m} / f_{yk}) \rightarrow \rho_{sw,min} = 0.0884\%$

29

30 $A_{sw,min} = 3.09 \text{ cm}^2/\text{m} (= b * \rho_{sw,min})$

31

32

33 $A_{sw(calc)} = [V_{sw} / (0.9 * d * f_{ywd}) * 100] = 4.00 \text{ cm}^2/\text{m}$

34

1 $A_{sw}(adot) = 4.00 \text{ cm}^2/\text{m}$

2

3 Opções de armadura considerando estribo com 2 ramos:

4

5 $\emptyset 5.0\text{c}/9$ ou $\emptyset 6.3\text{c}/15$ ou $\emptyset 8.0\text{c}/25$ ou $\emptyset 10.0\text{c}/30$ ou $\emptyset 12.5\text{c}/30$

6

7 * Espaçamento máximo entre estribos (NBR 6118:2014, item 18.3.3.2):

8

9 Como $V_{sd} \leq 0.67 * V_{Rd2} \rightarrow S_{max} = 116.1 \text{ cm} (= 0,6.d \leq 30 \text{ cm})$

10

11