



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA - UFPB**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA - CT**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MARCELO SANTOS DA SILVA JÚNIOR**

**COMPARATIVO ENTRE AS ÁREAS DE ARMADURA EM LONGARINAS DE  
PONTE RODOVIÁRIA DIMENSIONADAS ATRAVÉS DAS ANÁLISES PSEUDO-  
ESTÁTICA E DINÂMICA TRANSIENTE**

**JOÃO PESSOA**

**2019**

**MARCELO SANTOS DA SILVA JÚNIOR**

**COMPARATIVO ENTRE AS ÁREAS DE ARMADURA EM LONGARINAS  
DE PONTE RODOVIÁRIA DIMENSIONADAS ATRAVÉS DAS ANÁLISES  
PSEUDO-ESTÁTICA E DINÂMICA TRANSIENTE**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal da  
Paraíba como requisito para a  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Civil.**

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Andrea  
Brasiliano Silva.**

**JOÃO PESSOA**

**2019**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

J95c Junior, Marcelo Santos da Silva.  
COMPARATIVO ENTRE AS ÁREAS DE ARMADURA EM LONGARINAS DE  
PONTE RODOVIÁRIA DIMENSIONADAS ATRAVÉS DAS ANÁLISES  
PSEUDO-ESTÁTICA E DINÂMICA TRANSIENTE / Marcelo Santos  
da Silva Junior. - João Pessoa, 2019.  
168 f. : il.

Orientação: Andrea Brasiliano Silva.  
TCC (Especialização) - UFPB/CT.

1. Análise Transiente. 2. Pseudo-Estática. 3. Ponte. 4.  
Dimensionamento. 5. Concreto Armado. 6. Custo. 7.  
Ansys. I. Silva, Andrea Brasiliano. II. Título.

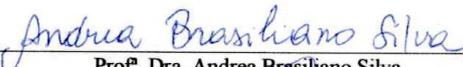
UFPB/BC

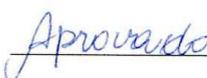
**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**MARCELO SANTOS DA SILVA JÚNIOR**

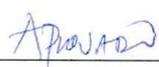
**COMPARATIVO ENTRE AS ÁREAS DE ARMADURAS EM LONGARINAS DE  
PONTE RODOVIÁRIA DIMENSIONADAS ATRAVÉS DE ANÁLISES PSEUDO-  
ESTÁTICA E DINÂMICA TRANSIENTE**

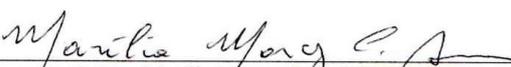
Trabalho de Conclusão de Curso em 09/05/2019 perante a seguinte Comissão Julgadora:

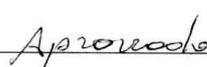
  
\_\_\_\_\_  
Prof.ª. Dra. Andrea Brasiliano Silva  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

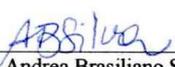
  
\_\_\_\_\_  
Aprovado

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Hidelbrando José Farkat Diógenes  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

  
\_\_\_\_\_  
Aprovado

  
\_\_\_\_\_  
Prof.ª. Dra. Marília Marcy Cabral de Araújo  
Unidade Acadêmica De Engenharia Civil /UFCG

  
\_\_\_\_\_  
Aprovado

  
\_\_\_\_\_  
Prof.ª. Dra. Andrea Brasiliano Silva  
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

A Deus, por sua infinita bondade. Aos meus pais, Marcelo e Cláudia, e avós, Hélio e Dida, por sempre estarem ao meu lado.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por sua infinita graça e bondade. Por ter me capacitado e dado forças para ultrapassar mais uma etapa. Sem Ele nada sou.

A toda a minha família. Em especial aos meus pais Marcelo Santos da Silva e Cláudia Valéria Fortes de Oliveira dos Santos, por sempre acreditarem em mim, estarem ao meu lado sempre e fazerem de tudo para me ver feliz. Aos meus avós, Hélio de Oliveira dos Santos e Enilde Fortes de Oliveira, por sempre zelarem pelo meu bem-estar e buscarem fazer o que é melhor pra mim. Aos meus irmãos, Matheus Fortes de Oliveira dos Santos e Lucas Fortes de Oliveira Santos Silva, por serem meus amigos, companheiros e desejarem o melhor pra mim.

À minha professora orientadora, Dra. Andrea Brasiliano Silva, por toda paciência, dedicação, além de ter se demonstrado uma amiga ao longo do percurso de elaboração deste trabalho.

Ao professor Dr. Hidelbrando José Farkat Diógenes, pela disponibilidade, auxílio e ensinamentos os quais contribuíram para que eu me apaixonasse pela Engenharia Civil.

Ao meu amigo Orlando Gabriel, por me auxiliar na elaboração deste trabalho, pois sem tal auxílio não teria sido possível a concretização de mais essa etapa, e pelo apoio emocional. Aos meus amigos Orlando Matheus e Eduardo por todo suporte ao longo desse projeto.

A toda família Civil Dortmund e 'agregados'. Vocês são amigos que fiz ao longo do curso e espero levar por toda a vida. Sem vocês a caminhada não teria sido a mesma.

A toda equipe da GEPP-DEX-Cagepa, pela contribuição com o meu crescimento pessoal e profissional. Em especial aos engenheiros Osvaldo Rodrigues e Neyde Limeira, pela amizade e ensinamentos. Ao engenheiro Henri Netto, pela amizade, oportunidade e ensinamentos.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente, citados aqui ou não, minha eterna gratidão.

“A persistência é o caminho para o êxito.”

Charles Chaplin

## RESUMO

O presente trabalho apresenta o comparativo entre as áreas de armadura de uma longarina de ponte, sendo esta dimensionada a partir de análises dinâmica transiente, a partir do *software* Ansys *Workbench* 19.2 versão acadêmica, e pseudo-estática com o uso de linhas de influência e coeficientes de impacto. Neste são apresentados os esforços encontrados, os métodos de dimensionamento e por fim é discutida a diferença obtida nos dimensionamentos. Chega-se a conclusão de que embora mais demorada, a análise transiente pode ocasionar um projeto mais econômico.

**Palavras-Chaves:** Análise Transiente; Pseudo-estática; Ponte; Dimensionamento; Concreto Armado; Custo, Ansys.

## **ABSTRACT**

*This work presents the comparison between the cost of a bridge stringer applying both transient dynamic analyses, using the Ansys Workbench 19.2 academic version software, and Pseudo-static, using influence lines and impact coefficients. Also in this work the internal forces determined by the analysis and the sizing methods are presented. Finally a discussion about the differences obtained in sizing is presented.. Based on the obtained results, it could be concluded that the transient analysis can lead to a more economical project, although it requires more processing time.*

**Keywords:** *Transient analysis; Pseudo-Static; Bridge Sizing Reinforced concrete; Economics, Ansys.*

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	OBJETIVO GERAL	14
1.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>15</b>
2.1	PONTES	15
2.2	ANÁLISE PSEUDO-ESTÁTICA	18
2.3	ANÁLISE DINÂMICA	18
2.3.1	ANÁLISE TRANSIENTE	18
2.4	DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL	18
2.5	ESTADOS LIMITES	19
2.6	DOMÍNIOS DE DEFORMAÇÃO	19
2.7	ANSYS <i>WORKBENCH</i> 19.2 ( <i>ACADEMIC VERSION</i> )	21
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>21</b>
3.1	APRESENTAÇÃO DOS MODELOS	21
3.2	ANÁLISE ESTRUTURAL	24
3.2.1	DETERMINAÇÃO DO CARREGAMENTO PERMANENTE	24
3.2.1.1	PESO PRÓPRIO	24
3.2.1.2	PAVIMENTAÇÃO	25
3.2.1.3	GUARDA-RODAS	25
3.2.1.4	GUARDA-CORPO	25
3.2.1.5	TRANVERSINAS	26
3.2.1.6	VIGAS DE FECHAMENTO	26
3.2.2	ANÁLISE ESTÁTICA	27
3.2.2.1	CARREGAMENTO ACIDENTAL	27
3.2.3	ANÁLISE DINÂMICA - ANSYS	35
3.2.3.1	MODELO NUMÉRICO DAS LONGARINAS	35
3.2.3.2	CONDIÇÕES DE CONTORNO	36
3.2.3.3	ANÁLISE TRANSIENTE	37
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>42</b>

<b>4.1 ESFORÇOS DE CÁLCULO</b> .....	<b>42</b>
4.1.1 ANÁLISE ESTÁTICA.....	43
4.1.2 ANÁLISE DINÂMICA.....	46
<b>4.2 DIMENSIONAMENTO DAS LONGARINAS</b> .....	<b>57</b>
4.2.1 DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO.....	57
4.2.1.1 COMPORTAMENTO DAS SEÇÕES.....	58
4.2.1.2 DIMENSIONAMENTO: SEÇÕES ‘T’.....	59
4.2.1.3 ARMADURAS MÍNIMAS.....	59
4.2.1.4 ARMADURAS MÁXIMAS.....	60
4.2.1.5 ARMADURA DE PELE.....	60
4.2.1.6 ARMADURAS LONGITUDINAIS.....	60
4.2.2 DIMENSIONAMENTO AO CISALHAMENTO.....	66
4.2.2.1 RUPTURA POR ESMAGAMENTO.....	67
4.2.2.2 ARMADURA MÍNIMA.....	68
4.2.2.3 ARMADURAS TRANSVERSAIS.....	68
<b>4.3 VERIFICAÇÃO À FADIGA</b> .....	<b>74</b>
4.3.1 VERIFICAÇÃO DA FADIGA NA ARMADURA LONGITUDINAL.....	74
4.3.2 VERIFICAÇÃO DA FADIGA NA ARMADURA TRANSVERSAL.....	76
4.3.3 ARMADURAS FINAIS.....	78
4.3.3.1 ARMADURAS – ANÁLISE ESTÁTICA.....	78
4.3.3.2 ARMADURAS – ANÁLISE TRANSIENTE.....	83
<b>5 ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>89</b>
5.1 ENVOLTÓRIAS DEVIDAS AO CARREGAMENTO ACIDENTAL.....	90
5.2 ARMADURAS LONGITUDINAIS.....	96
5.3 ARMADURAS TRANSVERSAIS.....	100
5.4 ARMADURA LONGITUDINAL MÁXIMA.....	105
5.5 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO.....	105
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>105</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>107</b>
<b>APÊNDICE A – ENVOLTÓRIAS DEVIDAS AO CARREGAMENTO ACIDENTAL-ANÁLISE DINÂMICA</b> .....	<b>108</b>

**APÊNDICE B – ÁREAS TOTAIS DE ARMADURAS SEM CORREÇÃO DEVIDO A FADIGA..... 136**

**APÊNDICE C – ENVOLTÓRIAS DEVIDAS AO CARREGAMENTO ACIDENTAL - COMPARAÇÃO ..... 142**

**APÊNDICE D - ÁREAS TOTAIS DE ARMADURAS COM CORREÇÃO DEVIDO A FADIGA..... 161**

**ANEXO A – TABELA DOS COEFICIENTES KC E KS..... 168**

## 1 INTRODUÇÃO

A evolução do conhecimento humano tem sido exponencial ao longo dos anos. Isso se deve, em grande parte, à facilidade cada vez maior de obtenção de informações.

Com o incremento da ciência e tecnologia, o entendimento do comportamento das estruturas tem se tornado cada vez maior, a partir do desenvolvimento de análises onerosas de forma célere, que possibilita a constante inovação na engenharia, resultando em estruturas cada vez mais econômicas e complexas.

Embora, haja a possibilidade de realização de análise cada vez mais complexas, análises simplificadas são feitas rotineiramente, uma vez que demandam menos tempo e proporcionam resultados satisfatórios no quesito da segurança. Contudo, podem resultar em estruturas menos econômicas quando comparadas às dimensionadas, a partir de análises minuciosas.

A análise estrutural permite a determinação do comportamento da estrutura, a partir da determinação de suas respostas quando submetida a ações externas. De maneira que a segurança seja garantida e com base nas respostas obtidas, os elementos estruturais são dimensionados.

As ações que incidem sobre as estruturas podem ser de natureza estática, ou seja, não variam sua intensidade, posição, direção e sentido ao longo do tempo; ou de natureza dinâmica que são aquelas em que há essa variação.

Os carregamentos dinâmicos geram esforços internos nas estruturas. Estes, por sua vez, demandam uma quantidade considerável de tempo para serem determinados, além de requererem um maior conhecimento sobre o comportamento estrutural.

Com o objetivo de garantir o correto dimensionamento das estruturas, assegurando sua segurança e funcionalidade, as normas técnicas sugerem a incorporação de coeficientes que majorem as cargas aplicadas de modo a simular os efeitos causados pelo carregamento dinâmico. Isto, por sua vez, pode gerar uma estrutura antieconômica.

Este trabalho tem como principal inspiração a possibilidade de uma maior economia no projeto de estruturas submetidas a carregamentos dinâmicos, através de uma análise que considere os efeitos gerados por esses tipos de carregamentos.

Com o intuito de uma melhor compreensão, o trabalho foi dividido nas seguintes partes: referencial teórico, parte que ilustra os conceitos básicos utilizados para o desenvolvimento das análises; metodologia, que abordará o meio utilizado para se obter os resultados; e, por fim, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos nos dois últimos tópicos citados.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho tem como objetivo geral o comparativo das áreas de armadura em longarinas de ponte rodoviária dimensionada a partir das análises pseudo-estática - considerando o carregamento majorado por coeficientes de impacto - e dinâmica transiente. E tem por escopo verificar se o maior tempo demandado para se desenvolver a análise dinâmica reflete em uma economia significativa de insumos.

### **1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Definir os carregamentos a serem aplicados;
- Obter as envoltórias de momento fletor e esforço cortante, a partir de uma análise pseudo-estática realizada seguindo os critérios estabelecidos na norma ABNT NBR 7188/2013 – Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas;
- Desenvolver os modelos da longarina no *software* de elementos finitos Ansys Workbench 19.2 (*Academic Version*) e realizar a análise transiente;
- Dimensionar a longarina para resistir aos esforços obtidos através de cada análise;
- Realizar o comparativo a partir dos resultados obtidos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 PONTES

Segundo El Debs e Takeya (2007), as pontes são construções que tem por finalidade a continuidade de uma via de qualquer natureza. Em função da natureza do obstáculo a ser ultrapassado, essas podem ser:

- Ponte (propriamente dita): Quando o obstáculo é constituído por alguma superfície líquida;
- Viaduto: Quando o obstáculo é uma via ou um vale.

Em relação aos aspectos estruturais, as pontes podem ser divididas em:

- Superestrutura: Parte da ponte que ultrapassa o obstáculo e onde há a aplicação direta das cargas;
- Mesoestrutura: Localizada entre a superestrutura e a infraestrutura, tendo como objetivos principais permitir certa mobilidade da superestrutura e transmitir as reações de apoio à infraestrutura;
- Infraestrutura: Tem como função receber as cargas da superestrutura por meio dos aparelhos de apoio e transmiti-las ao solo.

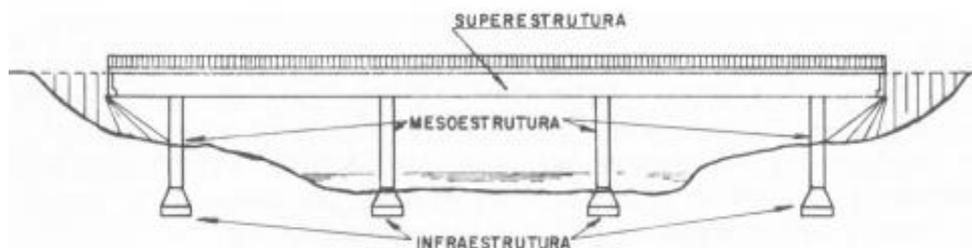


Figura 1 – Esquema ilustrativo da composição de pontes;  
Fonte: Pfeil (1979)

As seções transversais das pontes podem conter os seguintes elementos (EL DEBS E TAKEYA, 2007):

- Pista de rolamento: Largura disponibilizada para o tráfego de veículos;

- Acostamento: Largura adicionada à pista de rolamento que se destina à utilização de veículos em casos de emergência;
- Defesa: Elemento de proteção aos veículos, o qual se posiciona de forma lateral ao acostamento;
- Passeio: Faixa destinada ao tráfego de pedestres;
- Guarda-roda: Elemento que visa não permitir a invasão de veículos nos passeios;
- Guarda-corpo: Elemento cuja função é a proteção dos pedestres.

Em relação à seção longitudinal, tem-se (EL DEBS; TAKEYA, 2007):

- Comprimento da ponte (vão total): Distância horizontal entre as seções extremas da ponte, medida em relação ao eixo longitudinal;
- Vão: Distância horizontal entre os eixos de dois apoios consecutivos;
- Vão-livre: Distância entre as faces de dois apoios consecutivos;
- Altura de construção: Distância vertical entre o ponto mais alto e o mais baixo da superestrutura;
- Altura livre: Distância entre o ponto mais alto do obstáculo e o mais baixo da superestrutura.

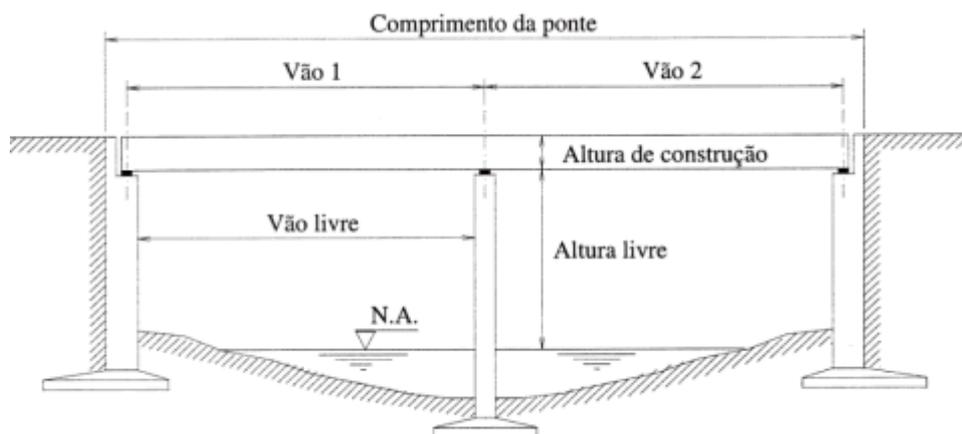


Figura 2 – Elementos constituintes da seção longitudinal da ponte;  
Fonte: EL Debs e Takeya (2007, p.11)

As cargas de utilização da ponte não possuem um caráter estático. Devido a isso é preciso considerar os efeitos dinâmicos do carregamento, determinar a envoltória dos esforços solicitantes e verificar a possível fadiga dos materiais que a constituem.

As cargas a serem consideradas estão definidas na norma ABNT NBR 7188: *Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestres*. Segundo esta, a carga móvel deve ser considerada como constituída por um veículo e por cargas  $q'$  e  $q$ .

A carga  $q'$  deve ser aplicada nos passeios e a carga  $q$  na pista de rolamento, acostamentos e afastamentos, exceto na área ocupada pelo veículo. Elas têm como função simular a ação de multidão e de veículos afastados das zonas onde as cargas solicitam mais a estrutura, de modo a facilitar o cálculo.

As cargas  $q$  e  $q'$  devem ser posicionadas de modo a gerar o maior momento fletor possível na seção.

Com o intuito de se estabelecer a carga móvel, a NBR 7188 classifica as pontes rodoviárias em três tipos:

- Classe 45: veículo padrão, possuindo peso de 450kN;
- Classe 30: veículo padrão, possuindo peso de 300kN;
- Classe 12: veículo padrão, possuindo peso de 120kN.

Para o dimensionamento, as cargas móveis são majoradas de modo a simular os efeitos dinâmicos que ocorrem na estrutura. Os coeficientes de majoração são três:

- Coeficiente de impacto vertical (CIV). Varia de acordo com a seção transversal;
- Coeficiente do número de faixas (CNF). Varia de acordo com o número de faixas de tráfego da ponte;
- Coeficiente de impacto adicional (CIA). Varia de acordo com o material constituinte da ponte.

A forma como é aplicada a majoração e o modo de obter cada um desses coeficientes podem ser encontrados na NBR 7188.

## **2.2 ANÁLISE PSEUDO-ESTÁTICA**

Análise estática é a área da análise estrutural, que visa o estudo das ações atuantes num corpo quando essas não variam ao longo do tempo. Nesta, os esforços atuantes na estrutura podem ser determinados através das equações de equilíbrio estático.

Na análise pseudo-estática o carregamento é considerado estático. Contudo, para simular os efeitos causados pela variação do mesmo ao longo do tempo, são utilizados artifícios como, por exemplo, a majoração das cargas por meio de coeficientes ponderadores.

## **2.3 ANÁLISE DINÂMICA**

A análise dinâmica é aquela que tem como objeto as estruturas submetidas a carregamentos que variam ao longo do tempo. Logo, as respostas da estrutura às ações externas não podem ser determinadas a partir das equações de equilíbrio estático.

### **2.3.1 ANÁLISE TRANSIENTE**

Análise transiente é a análise dinâmica por meio da qual as tensões, deformações, deslocamentos e esforços internos de uma estrutura são determinados considerando uma carga que varia em função do tempo.

## **2.4 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL**

Conforme Carvalho e Filho (2014), o dimensionamento de uma estrutura consiste no impedimento da sua ruína total ou parcial durante sua execução e utilização. Entendendo que ruína representa não só a ruptura da estrutura, mas também a sua inutilização.

De forma sucinta, o dimensionamento estrutural consiste em uma das seguintes opções (CARVALHO E FILHO, 2014):

- Comprovar a resistência de uma seção conhecida às solicitações mais desfavoráveis que poderão ocorrer ao longo de sua vida útil;
- Dimensionar uma seção parcialmente definida de modo que essa venha a suportar as máximas solicitações a que poderá estar sujeita.

## 2.5 ESTADOS LIMITES

Segundo Carvalho e Filho (2014), os estados limites considerados para o dimensionamento de estruturas de concreto são: o estado limite último e o estado limite de serviço.

O estado limite último está relacionado ao colapso ou inutilização total ou parcial da estrutura, enquanto os estados limites de serviço são os associados ao conforto do usuário, boa utilização funcional da estrutura e sua durabilidade.

Os estados limites de serviço são originados por ações que pode ser combinadas, segundo o tempo de permanência na estrutura, de três maneiras (CARVALHO E FILHO,2014):

- Combinações quase permanentes: combinações de as ações que podem atuar sobre a estrutura por mais da metade de sua vida útil;
- Combinações frequentes: são aquelas que se repetem, durante o período de utilização da estrutura, por volta de  $10^5$  em 50 anos ou que tenham duração total de aproximadamente 5% desse período;
- Combinações raras: são aquelas que podem atuar, no máximo, algumas horas ao longo da vida útil da estrutura.

## 2.6 DOMÍNIOS DE DEFORMAÇÃO

De acordo com Carvalho e Filho (2014), na ruína da seção transversal submetida à flexão, no estado limite último, as deformações específicas de cálculo do aço e do concreto atingem os valores máximos das deformações específicas desses materiais.

Existem seis domínios de deformação os quais representam as diversas possibilidades de ruína da seção. Eles são definidos pelo conjunto de deformações específicas do concreto e do aço ao longo de uma seção transversal retangular, submetida a ações normais, com armadura simples de tração.

A seguir serão elencados os domínios e algumas características dos mesmos:

- Domínio 1 (tração não uniforme, sem compressão):
  - A seção resistente é composta pelo aço, não havendo participação do concreto, pois ele se encontra fissurado;
- Domínio 2 (flexão simples ou composta):
  - Não ocorre a ruptura do concreto. Portanto, ela se dá de maneira dúctil, com aviso prévio, garantindo maior segurança à estrutura;
  - A seção resistente é composta por aço tracionado e concreto comprimido;
- Domínio 3 (flexão simples (seção subarmada) ou composta):
  - A ruptura do concreto juntamente com o escoamento do aço, portanto, os dois materiais são aproveitados plenamente, o que torna o dimensionamento econômico;
  - A ruína acontece após grandes deformações;
  - A seção resistente é composta por aço tracionado e concreto comprimido.
- Domínio 4 (flexão simples (seção superarmada) ou composta):
  - A seção resistente é composta do aço tracionado e concreto comprimido;
  - A ruptura é frágil, uma vez que ocorre pela ruína do concreto, sem que haja o escoamento do aço;
- Domínio 4a (flexão composta com armaduras comprimidas):
  - A seção resistente é composta por aço e concreto comprimidos;
  - Armaduras comprimidas e pequena região de concreto tracionado;
  - Ruptura frágil. O concreto se rompe com encurtamento da armadura;
- Domínio 5 (compressão não uniforme, sem tração):
  - A seção resistente é composta por aço e concreto comprimidos;

- O concreto se rompe com encurtamento da armadura, logo a ruptura é frágil.

As vigas devem ser dimensionadas para os domínios 2 e parte do domínio 3 (até  $x/d=0,45$ , para concretos com  $f_{ck} \leq 50$  MPa) para que a ruptura se dê de maneira dúctil, com avisos, garantindo assim uma maior segurança da estrutura.

## **2.7 ANSYS WORKBENCH 19.2 (ACADEMIC VERSION)**

O Ansys é um *software* de análise estrutural que tem como base o método dos elementos finitos. A partir deste *software* são criadas geometrias, as quais podem ser submetidas aos mais variados carregamentos com o objetivo de se analisar o comportamento da estrutura.

O programa realiza análises estática, dinâmica, modal, transiente, harmônica, entre outras.

## **3 METODOLOGIA**

### **3.1 APRESENTAÇÃO DOS MODELOS**

Os modelos de longarina utilizados neste trabalho foram aqueles propostos por Souza (2017), tendo sido definidos três modelos de pontes:..

- Ponte A: Vão interno de 15m e balanços de 3,75m, totalizando 22m;
- Ponte B: Vão interno de 21m e balanços de 4,5m, totalizando 30m;
- Ponte C: Vão interno de 27m e balanços de 6,5m, totalizando 40m.

Os modelos considerados são estruturas compostas por duas vigas principais, simplesmente apoiadas, com balanços laterais, cujo material adotado foi concreto armado com resistência característica de 25 MPa. (SOUSA, 2017).

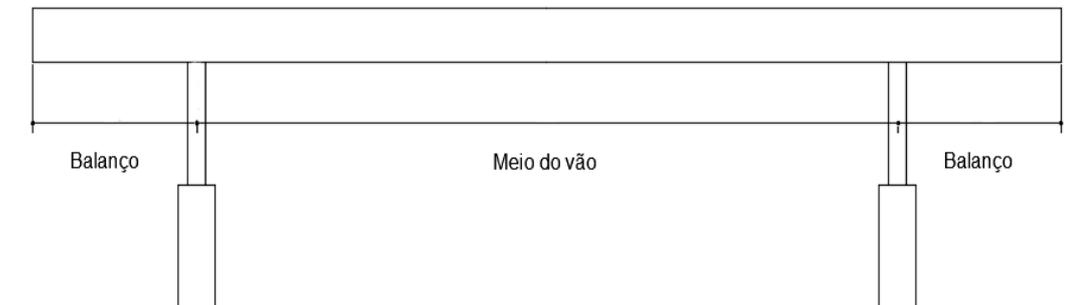


Figura 3 - Vista longitudinal geral das pontes.  
Fonte: Sousa ( 2017)

As seções transversais adotadas neste trabalho têm como base as estabelecidas por Sousa (2017) de acordo com os critérios no Manual de Projeto de Obras-de-Arte Especial do DNIT, para estruturas com duas vigas principais.



Figura 4 – Seção transversal típica de pontes com duas longarinas.  
Fonte: (DNIT, 1996)

Sousa (2017) admitiu três tipos diferentes de seção, uma para cada tipo de ponte, ambas com 13m de largura total, 2,60m de acostamento, 3,50m de pista de rolamento e longarinas com base de 0,40m que se alarga para 0,80m nas proximidades dos pilares para diminuir a tensão de compressão devido ao elevado valor de esforço cortante. A diferença entre essas reside na altura das longarinas, a qual foi escolhida em função do vão da ponte. As figuras 5, 6 e 7 ilustram as seções transversais das pontes A, B e C, respectivamente.

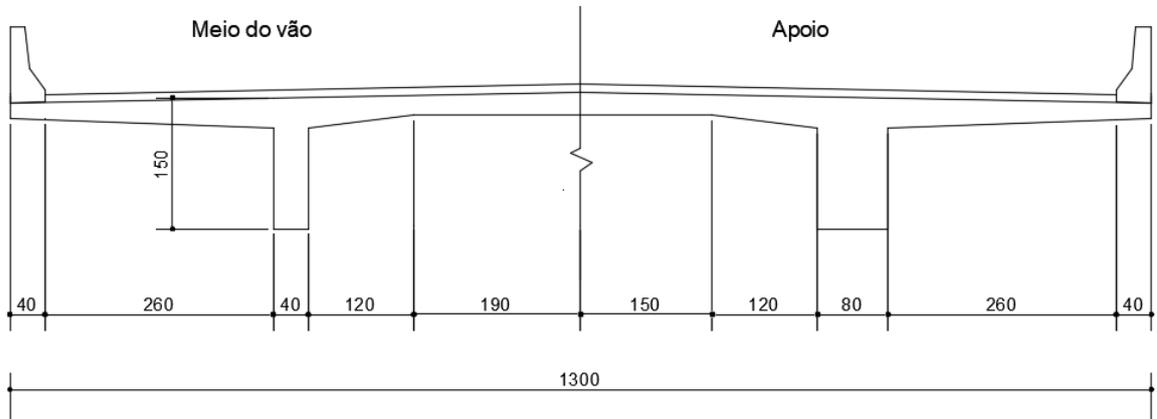


Figura 5 – Seção transversal da Ponte A (22 m).  
Fonte: Sousa (2017).

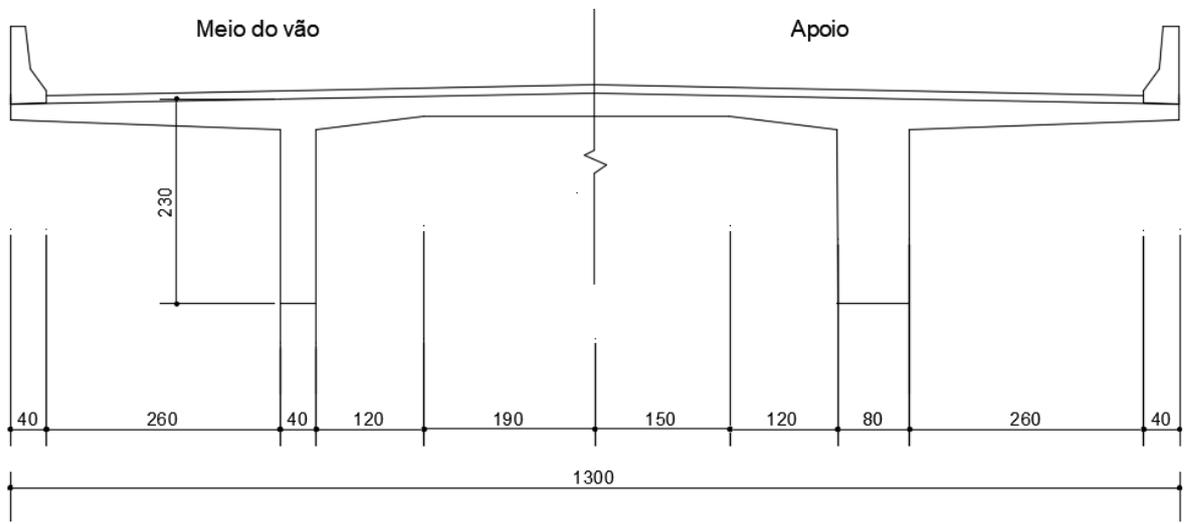


Figura 6 - Seção transversal da ponte B (30 m).  
Fonte: Sousa (2017).

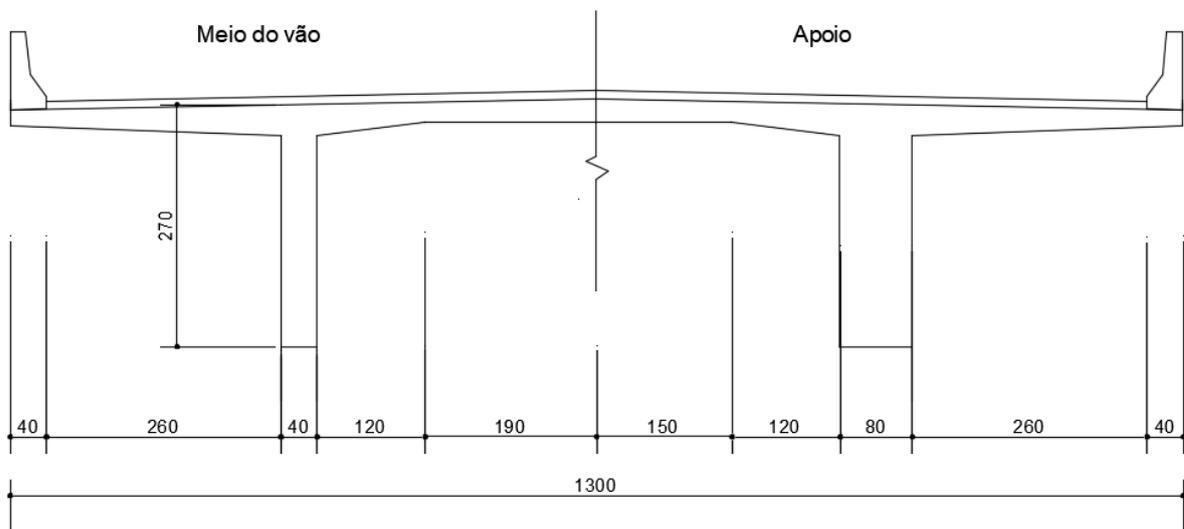


Figura 7 – Seção transversal da ponte C (40 m).  
Fonte: Sousa (2017)

Ainda conforme Souza (2017), as medidas geométricas das pontes adotadas foram estabelecidas em concordância com as indicações mínimas do DNIT para pontes de classe de projeto I-B (Pista simples) executada em região plana.

Neste trabalho serão estudadas as três seções transversais em cada ponte. Para uma melhor compreensão nas etapas seguintes, as seções das pontes A, B e C definidas por Sousa (2017) serão identificadas, respectivamente, por:

- Seção transversal 1;
- Seção transversal 2;
- Seção transversal 3.

## **3.2 ANÁLISE ESTRUTURAL**

### **3.2.1 DETERMINAÇÃO DO CARREGAMENTO PERMANENTE**

#### **3.2.1.1 PESO PRÓPRIO**

Para a determinação do peso próprio foram feitas as seguintes considerações:

- Altura da laje do tabuleiro igual a 30cm;
- Engrosso da base das longarinas se estende por 1m na região dos apoios;

A partir dessas considerações, mediu-se a área total de cada seção transversal no meio do vão (sem engrosso) e na região dos pilares (com engrosso). Seguem os valores encontrados:

- Seção 1 (Meio do vão): 6,12 m<sup>2</sup>;
- Seção 1 (Região dos apoios): 6,854 m<sup>2</sup>;
- Seção 2 (Meio do vão): 6,76 m<sup>2</sup>;
- Seção 2 (Região dos apoios): 8,134 m<sup>2</sup>;
- Seção 3 (Meio do vão): 7,08 m<sup>2</sup>
- Seção 3 (Região dos apoios): 8,774 m<sup>2</sup>

Tendo em vista que apenas metade da área transversal contribui para a carga de cada longarina e que o peso específico do concreto armado é igual a  $25 \text{ KN/m}^3$ , obtiveram-se os carregamentos linearmente distribuídos referentes ao peso próprio:

- Longarina seção 1 (Meio do vão):  $76,5 \text{ KN/m}$ ;
- Longarina seção 1 (Região dos apoios):  $85,675 \text{ KN/m}$ ;
- Longarina seção 2 (Meio do vão):  $84,5 \text{ KN/m}$ ;
- Longarina seção 2 (Região dos apoios):  $101,675 \text{ KN/m}$ ;
- Longarina seção 3 (Meio do vão):  $88,5 \text{ KN/m}$ ;
- Longarina seção 3 (Região dos apoios):  $109,675 \text{ KN/m}$ .

### **3.2.1.2 PAVIMENTAÇÃO**

Admitiu-se para o pavimento uma espessura mínima de 5 cm junto ao guarda-rodas com inclinação de 2% até o meio do vão, de modo a permitir o escoamento da água da chuva.

Sendo o peso específico do pavimento igual a  $22 \text{ KN/m}^3$  e a área de pavimento que contribuirá com a carga da longarina de  $0,6805 \text{ m}^2$ , obtém-se um carregamento de  $14,971 \text{ kN/m}$ .

### **3.2.1.3 GUARDA-RODAS**

O guarda-rodas escolhido foi o do tipo *New Jersey*, cuja área da seção transversal é igual a  $0,1865 \text{ m}^2$ .

Como o peso específico do concreto armado é igual a  $25 \text{ kN/m}^3$  e considerando que a seção transversal da ponte contará com um guarda-rodas de cada lado, conclui-se que o carregamento aplicado na longarina será de  $4,6625 \text{ kN/m}$ .

### **3.2.1.4 GUARDA-CORPO**

A carga de contribuição do guarda-corpo é de  $1 \text{ kN/m}$ , conforme utilizado por Araújo (2013)

### 3.2.1.5 TRANVERSINAS

As transversinas possuem uma altura de 1,10 metros, 25 cm de largura e comprimento igual a largura da seção transversal que é de 13 m. O contato dessas com a longarina ocorre no meio do vão e nas regiões dos apoios.

A partir dos dados acima descritos, tem-se que a reação da transversina na longarina será uma carga pontual de 22,69 kN.

### 3.2.1.6 VIGAS DE FECHAMENTO

As vigas de fechamento tem seção em 'L', sendo sua espessura de 20 cm e altura igual a da longarina da ponte a qual faz parte e geram uma carga pontual na ponta do balanço.

Essa carga depende do peso próprio do concreto armado, que é igual a 25 kN/m, da área da seção transversal e do comprimento da viga, o qual é igual a 13 metros.

As áreas das seções transversais das vigas de fechamento valem:

- Seção 1: 0,18 m<sup>2</sup>;
- Seção 2: 0,26 m<sup>2</sup>;
- Seção 3: 0,30 m<sup>2</sup>.

Com isso obtém-se a reação da viga de fechamento para cada seção:

- Seção 1: 58,50 kN;
- Seção 2: 84,50 kN
- Seção 3: 97,50 kN.

### 3.2.2 ANÁLISE ESTÁTICA

#### 3.2.2.1 CARREGAMENTO ACIDENTAL

Para a definição do carregamento acidental, foram utilizados o trem-tipo e os coeficientes de ponderação determinados por SOUSA (2017), baseados na ABNT NBR 7188/2013, para as pontes A, B e C.

Para obtenção do trem-tipo foram aplicadas a carga móvel padrão ( $P=4,5\text{tf}$ ) e a carga de multidão ( $p=0,5\text{ tf/m}^2$ ) na seção transversal de modo a se obter os maiores esforços na longarina. Chegando à configuração apresentada na figura (8), a qual foi construída no Ftool® (MARTHA, 2015) :

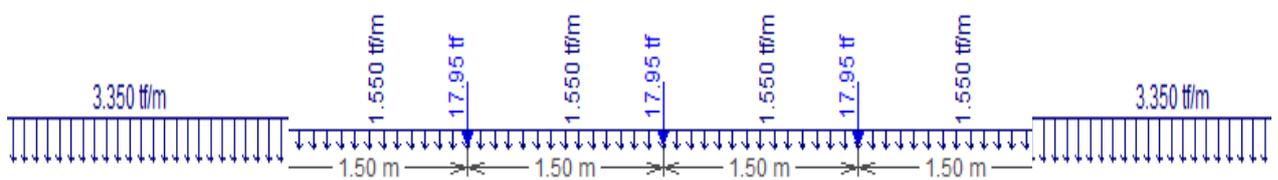


Figura 8 - Trem-tipo longitudinal.  
Fonte: Sousa (2017)

Após essa etapa, obteve-se o arranjo simplificado do trem-tipo (figura 9), também construída no Ftool® (MARTHA, 2015), o qual será utilizado para obtenção dos esforços nas longarinas.

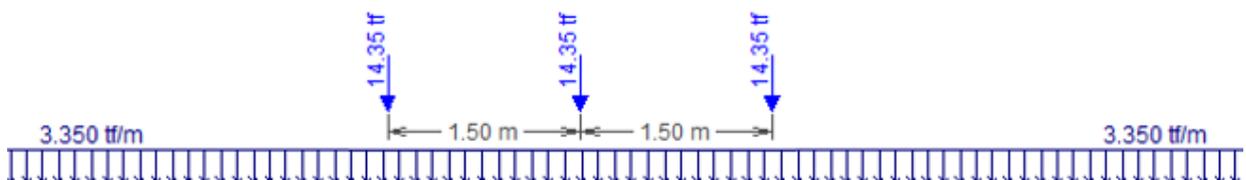


Figura 9 - Trem-tipo simplificado.  
Fonte: Sousa (2017)

Em seguida, foram obtidos os coeficientes de ponderação segundo especificado na NBR 7188/2013, os quais irão majorar o trem-tipo simplificado com o intuito de simular os efeitos dinâmicos da carga móvel atuante sobre a ponte.

Tabela 1 – Cálculo dos coeficientes de ponderação para as pontes A, B e C.

Coeficientes de ponderação das cargas	Ponte A		Ponte B		Ponte C	
	Balanço	Vão central	Balanço	Vão central	Balanço	Vão central
	3,5 m	15 m	4,5 m	21 m	6,5 m	27 m
CIV - Coeficiente de impacto vertical	1,35	1,33	1,35	1,3	1,35	1,28
CNF - Coeficiente de número de faixas	1	1	1	1	1	1
CIA - Coeficiente de impacto adicional	1	1	1	1	1	1
CIV*CNF*CIA	1,35	1,33	1,35	1,3	1,35	1,28

Fonte: Sousa (2017)

A tabela (2) apresenta os valores das cargas majorados conforme seu posicionamento sobre a viga.

Tabela 2 - Cargas acrescidas de todos os coeficientes de ponderação.

Trem-tipo majorado	Ponte A		Ponte B		Ponte C	
	Balanço	Vão central	Balanço	Vão central	Balanço	Vão central
Cargas pontuais (tf)	19,37	19,03	19,37	18,63	19,37	18,3
Carga distribuída (tf/m)	4,52	4,44	4,52	4,35	4,52	4,27

Fonte: Sousa (2017)

Para a obtenção das envoltórias dos esforços devido às cargas acidentais, foi utilizado o programa Ftool® (MARTHA, 2015). Através do modo *Load Train* aplicou-se o trem-tipo e depois obtiveram-se as envoltórias. No resultado final foi feita a combinação das envoltórias obtidas para cada trecho, uma vez que o programa não permite a aplicação de apenas um coeficiente de ponderação.

A divisão das seções de cálculo para cada longarina foi feita conforme Sousa (2017). As figuras 10 a 12 demonstram o seccionamento adotado:

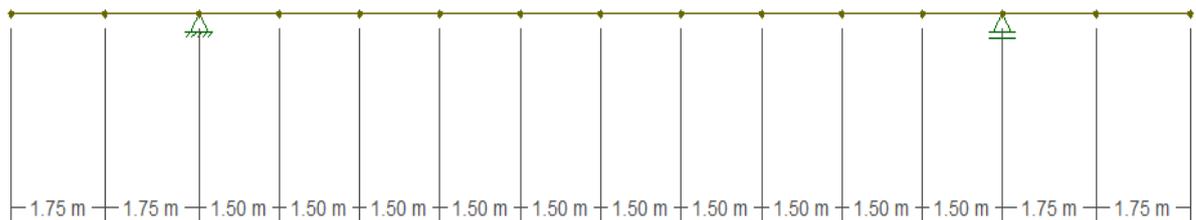


Figura 10 – Seccionamento da longarina – Ponte A.  
Fonte: Sousa (2017)

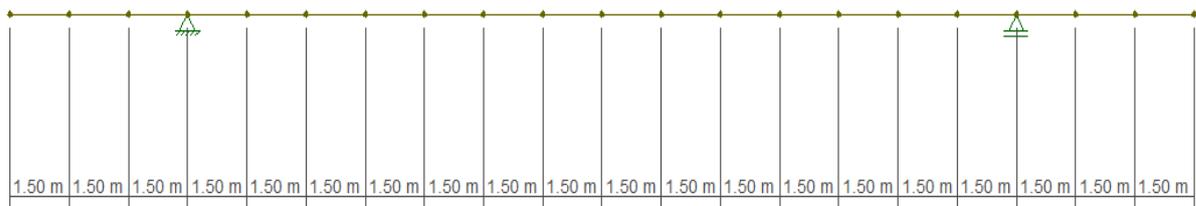


Figura 11 – Seccionamento da longarina - Ponte B.  
Fonte: Sousa (2017)

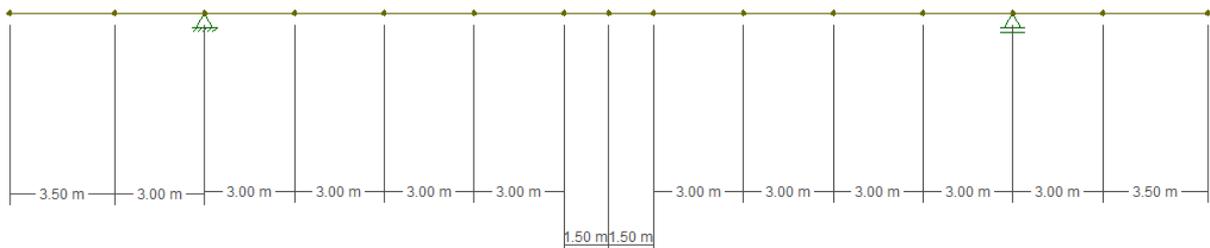


Figura 12 – Seccionamento da longarina - Ponte C.  
Fonte: Sousa (2017)

Como os coeficientes de ponderação independem da altura da longarina, o valor dos esforços devido à carga acidental irão variar de acordo com o tipo de ponte, não com a seção escolhida.

Os momentos fletores e esforços cortantes encontrados são o máximo (positivo e negativo) para as seções de cada tipo de ponte. Seus valores e envoltórias estão apresentados nas tabelas 3 a 8 e figuras 13 a 18, respectivamente.

Tabela 3 - Momentos fletores máximos e mínimos - Ponte A.

<b>PONTE TIPO A</b>			
<b>SEÇÃO</b>	<b>POSIÇÃO (m)</b>	<b>MOMENTO FLETOR (kNm)</b>	
		<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>
<b>0</b>	0,00	0,00	0,00
<b>1</b>	1,75	-447,94	0,00
<b>2</b>	3,50	<b>-1411,70</b>	0,00
<b>3</b>	5,00	-1297,69	1113,11
<b>4</b>	6,50	-1183,68	1960,19
<b>5</b>	8,00	-1069,67	2541,25
<b>6</b>	9,50	-955,65	2912,28
<b>7</b>	11,00	-841,64	<b>3045,29</b>
<b>8</b>	12,50	-955,65	2912,28
<b>9</b>	14,00	-1069,67	2541,25
<b>10</b>	15,50	-1183,68	1960,19
<b>11</b>	17,00	-1297,69	1113,11
<b>12</b>	18,50	<b>-1411,70</b>	0,00
<b>13</b>	20,25	-447,94	0,00
<b>14</b>	22,00	0,00	0,00

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 4 - Momentos fletores máximos e mínimos - Ponte B.

<b>PONTE TIPO B</b>			
<b>SEÇÃO</b>	<b>POSIÇÃO (m)</b>	<b>MOMENTO FLETOR (kNm)</b>	
		<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>
<b>0</b>	0,00	0,00	0,00
<b>1</b>	1,50	-334,91	0,00
<b>2</b>	3,00	-1054,63	0,00
<b>3</b>	4,50	<b>-2159,13</b>	0,00
<b>4</b>	6,00	-2036,98	1329,03
<b>5</b>	7,50	-1914,82	2444,56
<b>6</b>	9,00	-1792,67	3346,58
<b>7</b>	10,50	-1670,51	4035,10
<b>8</b>	12,00	-1548,36	4529,70
<b>9</b>	13,50	-1426,20	4849,95
<b>10</b>	15,00	-1304,04	<b>4956,71</b>
<b>11</b>	16,50	-1426,20	4849,95
<b>12</b>	18,00	-1548,36	4529,70
<b>13</b>	19,50	-1670,51	4035,10
<b>14</b>	21,00	-1792,67	3346,58

15	22,50	-1914,82	2444,56
16	24,00	-2036,98	1329,03
17	25,50	<b>-2159,13</b>	0,00
18	27,00	-1054,63	0,00
19	28,50	-334,91	0,00
20	30,00	0,00	0,00

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 5 - Momentos fletores máximos e mínimos - Ponte C.

<b>PONTE TIPO C</b>			
<b>SEÇÃO</b>	<b>POSIÇÃO (m)</b>	<b>MOMENTO FLETOR (kNm)</b>	
		<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>
0	0,00	0,00	0,00
1	3,50	-1411,71	0,00
2	6,50	<b>-3787,01</b>	0,00
3	9,50	-3470,31	2854,42
4	12,50	-3153,61	4972,79
5	15,50	-2836,91	6355,11
6	18,50	-2520,21	7091,16
7	20,00	-2361,86	<b>7183,16</b>
8	21,50	-2520,21	7091,16
9	24,50	-2836,91	6355,11
10	27,50	-3153,61	4972,79
11	30,50	-3470,31	2854,42
12	33,50	<b>-3787,01</b>	0,00
13	36,50	-1411,71	0,00
14	40,00	0,00	0,00

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 6 – Esforços cortantes máximos e mínimos - Ponte A.

<b>PONTE TIPO A</b>			
<b>SEÇÃO</b>	<b>POSIÇÃO (m)</b>	<b>ESFORÇO CORTANTE (kN)</b>	
		<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>
0	0,00	-189,96	0,00
1	1,75	-457,50	0,00
(esq.)2	3,50	-725,03	0,00
(dir.)2	3,50	-94,06	<b>848,56</b>
3	5,00	-97,33	730,53
4	6,50	-107,13	619,02
5	8,00	-159,47	514,05
6	9,50	-238,31	415,60
7	11,00	-323,69	323,69
8	12,50	-415,60	238,31
9	14,00	-514,05	159,47

10	15,50	-619,02	107,13
11	17,00	-730,53	97,33
(esq.)12	18,50	<b>-848,56</b>	94,06
(dir.)12	18,50	0,00	725,03
13	20,25	0,00	457,50
14	22,00	0,00	189,96

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 7 – Esforços cortantes máximos e mínimos - Ponte B.

PONTE TIPO B			
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	ESFORÇO CORTANTE (kN)	
		MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-189,96	0,00
1	1,50	-446,41	0,00
2	3,00	-702,87	0,00
(esq.)3	4,50	-769,36	0,00
(dir.)3	4,50	-102,79	<b>978,27</b>
4	6,00	-105,08	877,42
5	7,50	-111,94	781,10
6	9,00	-123,36	689,42
7	10,50	-175,40	602,28
8	12,00	-235,10	519,71
9	13,50	-299,40	441,69
10	15,00	-368,26	368,26
11	16,50	-441,69	299,40
12	18,00	-519,71	235,10
13	19,50	-602,28	175,40
14	21,00	-689,42	123,36
15	22,50	-781,10	111,94
16	24,00	-877,42	105,08
(esq.)17	25,50	<b>-978,27</b>	102,79
(dir.)17	25,50	0,00	769,36
18	27,00	0,00	702,87
19	28,50	0,00	446,41
20	30,00	0,00	189,96

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 8 – Esforços cortantes máximos e mínimos - Ponte C.

PONTE TIPO C			
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	ESFORÇO CORTANTE (kN)	
		MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-189,96	0,00
1	3,50	-725,03	0,00
(esq.) 2	6,50	-858,01	0,00
(dir.) 2	6,50	-140,20	<b>1108,49</b>
3	9,50	-147,18	930,03
4	12,50	-168,11	765,53
5	15,50	-247,03	614,98

<b>6</b>	18,50	-355,70	478,38
<b>7</b>	20,00	-415,29	415,29
<b>8</b>	21,50	-478,38	355,70
<b>9</b>	24,50	-614,98	247,03
<b>10</b>	27,50	-765,53	168,11
<b>11</b>	30,50	-930,03	147,18
<b>(esq.)12</b>	33,50	<b>-1108,49</b>	140,20
<b>(dir.)12</b>	33,50	0,00	858,01
<b>13</b>	36,50	0,00	725,03
<b>14</b>	40,00	0,00	189,96

Fonte: Autoria Própria.

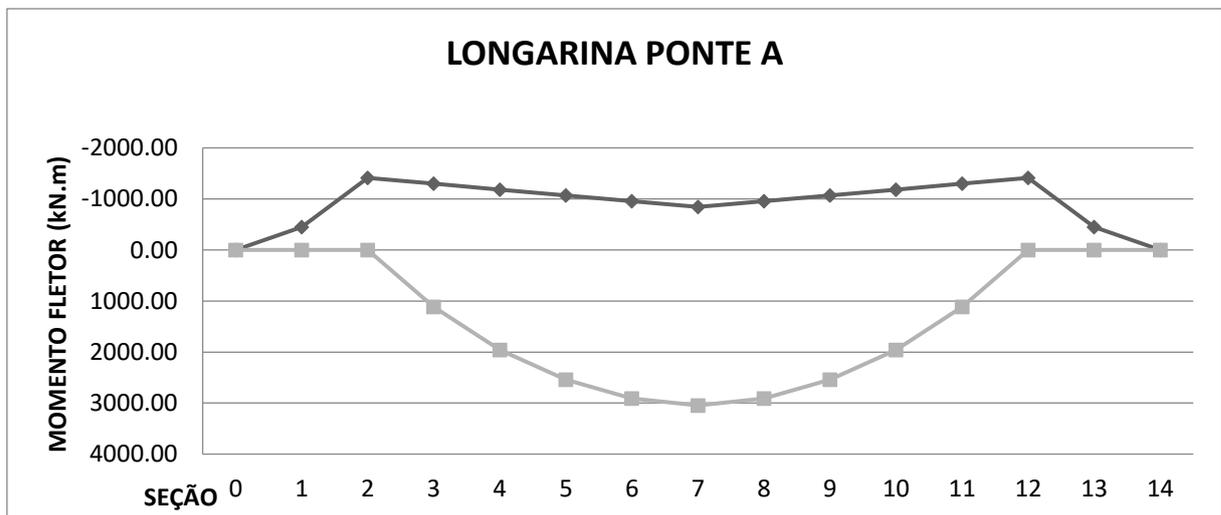


Figura 13 - Envolvória de momento fletor - Ponte A.

Fonte: Autoria Própria.

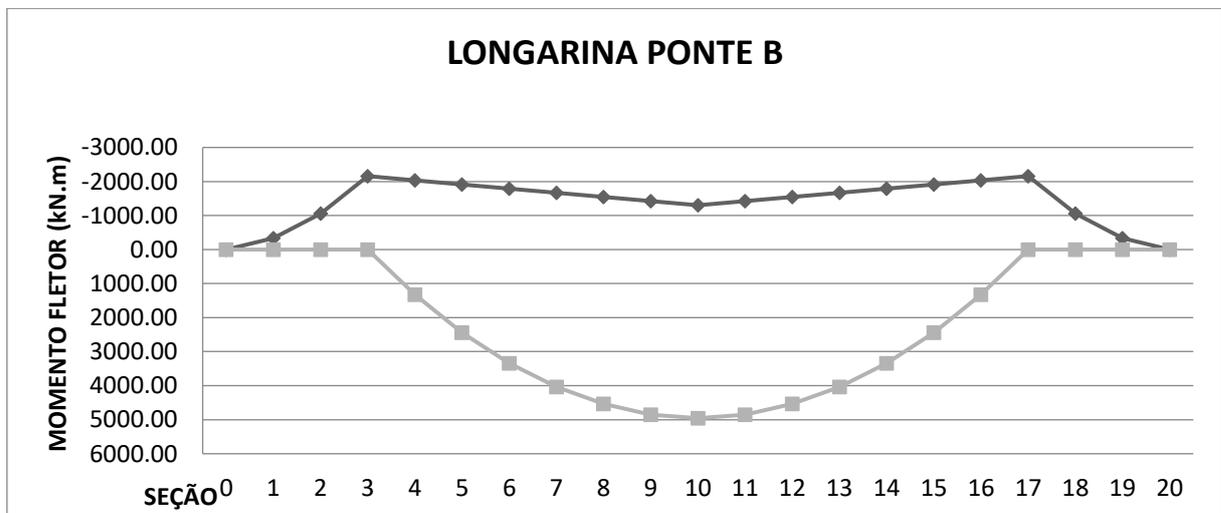


Figura 14 - Envolvória de momento fletor - Ponte B.

Fonte: Autoria Própria.

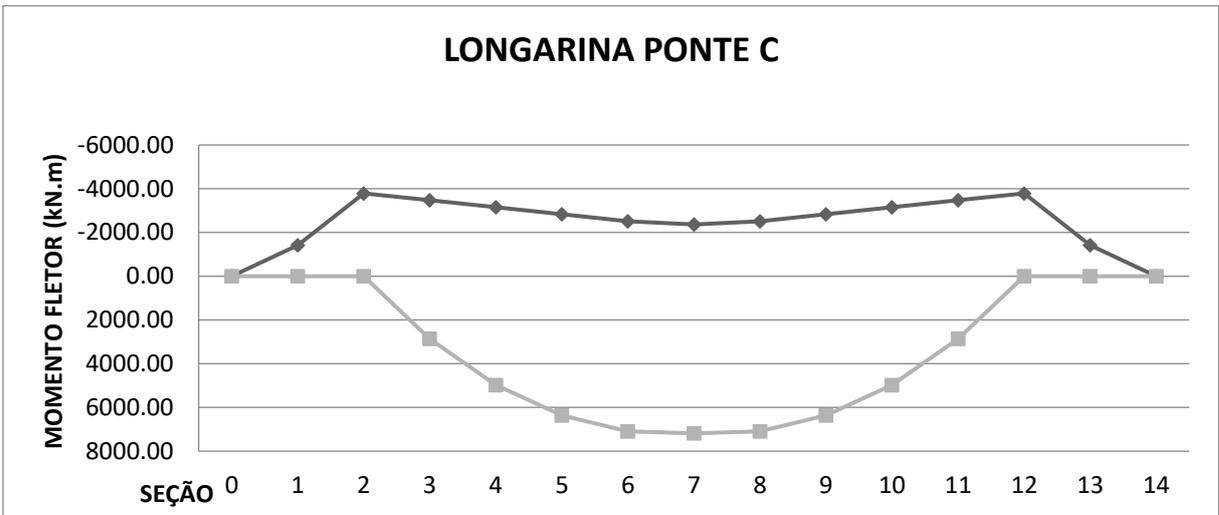


Figura 15 - Envoltória de momento fletor - Ponte C.  
Fonte: Autoria Própria.

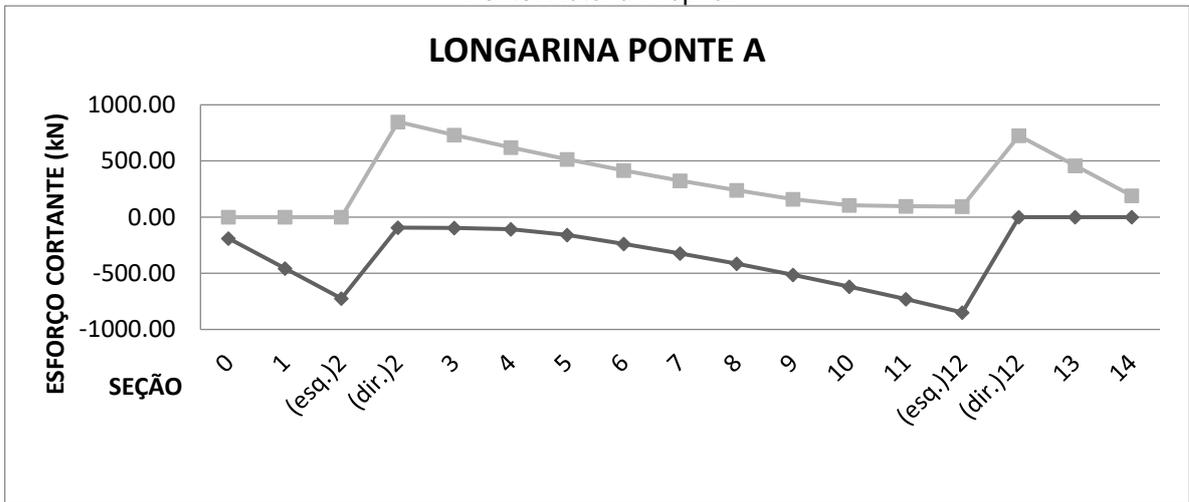


Figura 16 - Envoltória de esforço cortante - Ponte A.  
Fonte: Autoria Própria.

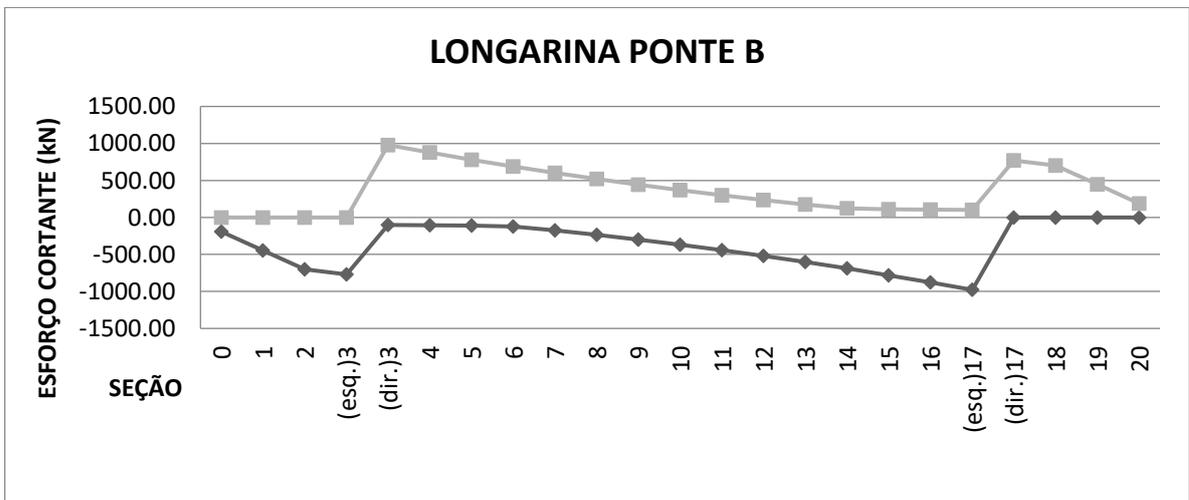


Figura 17 - Envoltória de esforço cortante - Ponte B.  
Fonte: Autoria Própria.

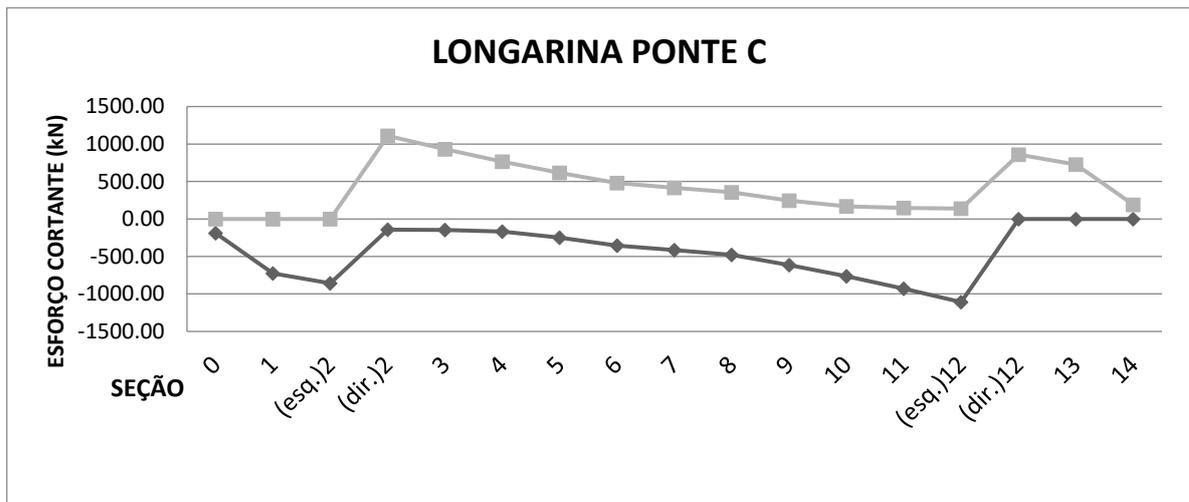


Figura 18 - Envoltória de esforço cortante - Ponte B.  
Fonte: Autoria Própria.

### 3.2.3 ANÁLISE DINÂMICA - ANSYS

#### 3.2.3.1 MODELO NUMÉRICO DAS LONGARINAS

Primeiramente, criou-se a geometria da viga através do *Ansys Design Modeler*. Nesse foram definidos nós através do comando *points*. Foi atribuído um nó para cada seção das longarinas – as seções escolhidas foram as mesmas descritas no item 3.2.2.1. do presente trabalho – , mais um 50cm antes e outro 50 cm depois dos nós dos apoios.

Feito isso, foram formados os trechos das longarinas através do comando *line bodies*, ligando todos os nós. Depois, definiu-se a área da seção de cada trecho através do comando *cross section*. As seções na região de 1 metro em cada apoio ficaram com uma largura de 80 cm, as demais com 40 cm. Estabelecidas as seções, aplicou-se o comando *form part* para unir os trechos, transformando-o em único elemento. A figura 19 ilustra a geometria da longarina com seção transversal 1 da ponte A:

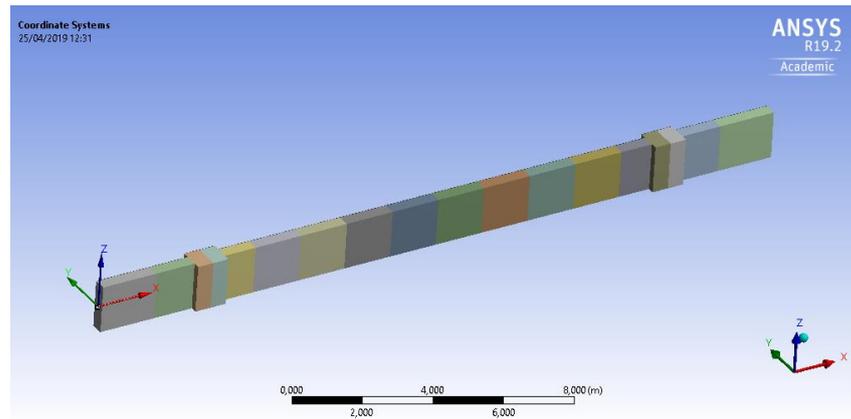


Figura 19 - Geometria – Modelo numérico – Longarina ponte A seção transversal 1  
Fonte: Autoria Própria.

Formada a geometria, elaborou-se o material referente ao concreto armado através do *Ansys Engineering Data*. As propriedades definidas no programa estão expressas na tabela 9:

Tabela 9 – Propriedades do concreto

Propriedades do Concreto		
$\rho_c$	Massa Específica	2500 kg/m <sup>3</sup>
$F_{ck}$	Resistência característica à Compressão	25 MPa
$E_c$	Módulo de Elasticidade	28000 MPa
$\nu$	Coefficiente de Poisson	0,20

Fonte: (SOUSA, 2017)

Por meio do *Ansys Mechanical*, aplicaram-se as propriedades à viga e gerou-se a malha de elementos finitos através do comando *mesh*.

### 3.2.3.2 CONDIÇÕES DE CONTORNO

As longarinas em questão se comportam como vigas bi apoiadas com balanço e, para que operem como tal, foi preciso estabelecer limites ao seu deslocamento. De modo a alcançar esse objetivo foram escolhidos dois tipos de apoio da mesma forma que Sousa (2017), o apoio do tipo *Displacement* que inibe a translação e o *Fixed Rotation* que não permite a rotação em torno dos eixos determinados.

Foram aplicados três *Displacement*:

- No trecho de um metro correspondente ao primeiro apoio. Limitou-se a translação nos eixos X, Y e Z;
- No trecho de um metro correspondente ao segundo apoio. Impediu-se a translação ao longo dos eixos Y e Z;
- Nos demais trechos, restringindo a translação em Y.

De modo a permitir a rotação apenas em torno do eixo Y foi aplicado um apoio do tipo *Fixed Rotation* no eixo da viga, não permitindo a rotação em torno de X e Z.

A figura 20 apresenta a aplicação dos apoios na longarina da ponte A, de seção transversal 1:

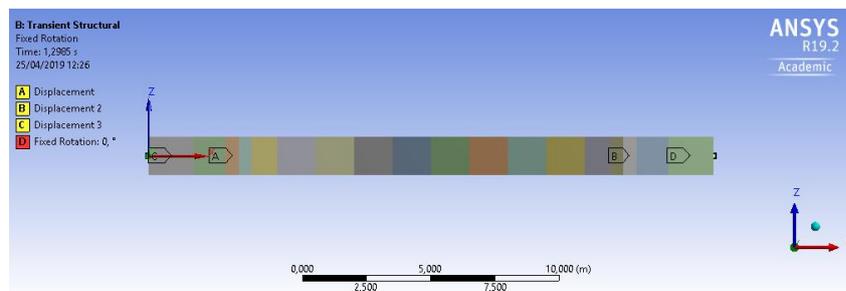


Figura 20 – Condições de contorno – Modelo numérico – Longarina ponte A seção transversal 1  
Fonte: Autoria Própria.

### 3.2.3.3 ANÁLISE TRANSIENTE

Para a realização da análise transiente fez-se necessário a utilização do *plugin Transient Structural* do software *Ansys Workbench*.

Nesse, semelhante a SOUSA (2017), buscou-se modelar o carregamento de modo a simular a passagem do veículo padrão TB-450 com as velocidades de 60 km/h, 80 km/h e 100 km/h. Para isso, as cargas foram aplicadas sobre cada trecho da longarina através do comando *Line Pressure* com intensidade de  $-75000\text{N/m}$ , paralelas ao eixo Z. O comando atua como uma carga distribuída ao longo do trajeto de aplicação.

As longarinas foram seccionadas conforme expresso no item 3.2.2.1. O tempo de permanência da carga foi escolhido como sendo igual ao necessário para um eixo do veículo padrão percorrer o trecho que está sendo submetido ao esforço.

Esse procedimento foi realizado para todas as longarinas nas três velocidades acima citadas.

A tabela 10 exemplifica o modo de aplicação da carga no *software*. Nessa podemos observar o veículo percorrendo o trecho compreendido entre as seções 4 e 5 da ponte A a 100km/h.

Tabela 10 – Esforços cortantes máximos e mínimos - Ponte C.

Seção	Posição(m)	Tempo (s)	FX (N/m)	FY (N/m)	FZ (N/m)
0	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00
1	1,75	0,063	0,00	0,00	0,00
2	3,50	0,126	0,00	0,00	0,00
3	5,00	0,180	0,00	0,00	0,00
4	6,50	0,234	0,00	0,00	-75000,00
5	8,00	0,288	0,00	0,00	-75000,00
6	9,50	0,342	0,00	0,00	0,00
7	11,00	0,396	0,00	0,00	0,00
8	12,50	0,450	0,00	0,00	0,00
9	14,00	0,504	0,00	0,00	0,00
10	15,50	0,558	0,00	0,00	0,00
11	17,00	0,612	0,00	0,00	0,00
12	18,50	0,666	0,00	0,00	0,00
13	20,25	0,729	0,00	0,00	0,00
14	22,00	0,792	0,00	0,00	0,00

Fonte: Autoria Própria.

Após a determinação do carregamento para cada trecho são definidas as respostas que serão obtidas pelo *software*. Como o objetivo é traçar as envoltórias de momento fletor e esforço cortante, foram adicionados, em *solutions* com o comando *insert*, os resultados *Directional Bending Moment* e *Directional Shear force* para cada seção. Dessa forma, será possível obter todos os valores dos esforços ao longo do tempo em cada seção.

Após isso, utilizou-se o comando *solve* para o programa gerar as respostas.

A partir dos resultados fornecidos pela análise do Ansys, se tornou possível traçar as envoltórias com os esforços máximos e mínimos de cada longarina. As

tabelas 11 e 12 ilustram os resultados obtidos e as figuras de 21 a 26 as envoltórias para a longarina da ponte A com seção transversal 1. Os resultados das demais vigas e suas envoltórias se encontram no Apêndice A.

Tabela 11 – Momentos fletores máximos e mínimos análise transiente - Ponte A Seção Transversal 1

MOMENTOS FLETORES PONTE A SEÇÃO TRANSVERSAL 1 (kN.m)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60 KM/H		80 KM/H		100 KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-1,24	1,91	-1,24	1,92	-1,24	1,92
1	1,75	-161,71	5,28	-161,82	5,35	-161,83	9,25
2	3,50	-165,86	3,94	-167,60	4,72	-169,15	5,31
3	5,00	<b>-267,23</b>	7,13	<b>-270,91</b>	8,50	-265,02	9,43
4	6,50	-86,90	94,44	-86,31	93,82	-86,28	90,69
5	8,00	-15,06	216,56	-15,39	216,92	-12,66	210,05
6	9,50	-13,08	304,31	-13,22	310,34	-13,35	296,33
7	11,00	-11,71	<b>334,53</b>	-11,81	<b>334,88</b>	-11,90	<b>330,35</b>
8	12,50	-8,35	304,87	-9,86	301,84	-9,59	301,54
9	14,00	-10,14	216,19	-10,77	219,08	-10,94	211,92
10	15,50	-87,86	94,42	-88,89	93,70	-86,49	91,71
11	17,00	-265,73	11,18	-264,37	11,29	<b>-267,25</b>	11,39
12	18,50	-163,66	6,32	-165,92	6,33	-168,93	6,38
13	20,25	-116,80	0,85	-117,60	0,84	-118,44	0,78
14	22,00	-0,08	0,08	-0,11	0,11	-0,13	0,14

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 12 – Esforços cortantes máximos e mínimos análise transiente - Ponte A Seção Transversal 1

ESFORÇOS CORTANTES PONTE A SEÇÃO TRANSVERSAL 1 (kN)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KM/H		100KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-0,14	33,67	-0,09	33,67	-0,18	33,67
1	1,75	-4,81	178,38	-4,95	179,98	-8,43	181,50
2	3,50	-464,71	<b>495,00</b>	-469,34	<b>504,34</b>	-473,77	<b>506,75</b>
3	5,00	-200,37	3,89	-196,79	4,19	-195,05	4,32
4	6,50	-176,48	8,64	-176,79	5,56	-170,49	10,62
5	8,00	-145,14	24,43	-146,95	26,09	-140,71	22,73
6	9,50	-111,35	48,77	-109,63	48,67	-109,87	48,34

<b>7</b>	11,00	-79,67	79,34	-77,25	78,46	-79,60	77,52
<b>8</b>	12,50	-49,21	111,46	-48,68	110,29	-46,27	108,25
<b>9</b>	14,00	-24,43	145,13	-23,84	143,92	-22,41	143,94
<b>10</b>	15,50	-8,14	175,91	-9,98	178,44	-5,87	172,89
<b>11</b>	17,00	-6,90	200,47	-5,80	200,66	-5,39	198,87
<b>12</b>	18,50	<b>-493,19</b>	393,72	<b>-500,68</b>	395,81	<b>-509,76</b>	393,83
<b>13</b>	20,25	-155,38	0,78	-154,67	0,77	-153,96	0,72
<b>14</b>	22,00	-32,88	0,02	-32,90	0,02	-32,92	0,01

Fonte: Autoria Própria.

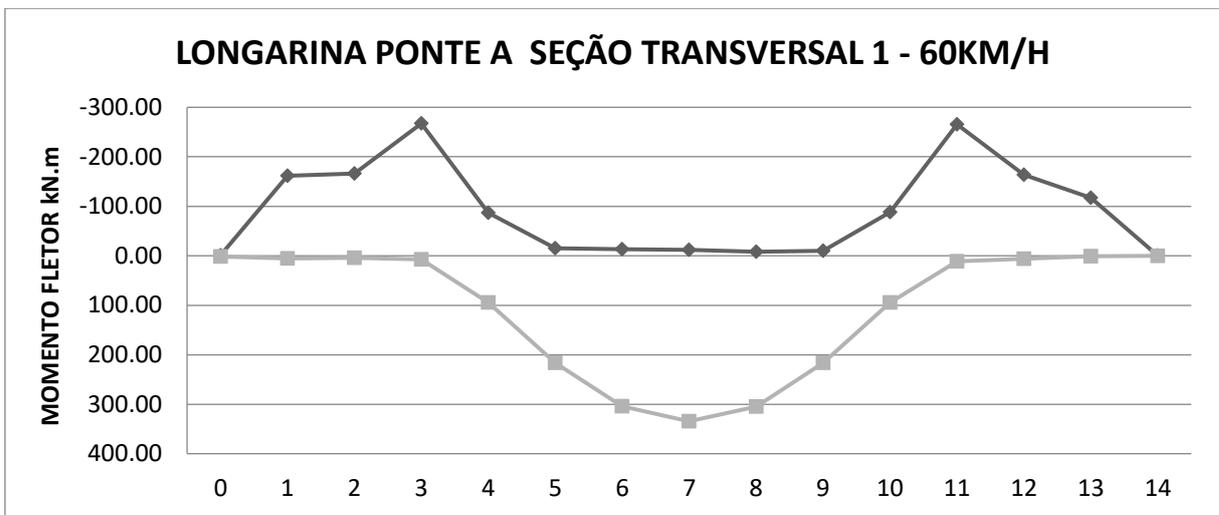


Figura 21 - Envoltória de momento fletor - Ponte A seção transversal 1 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

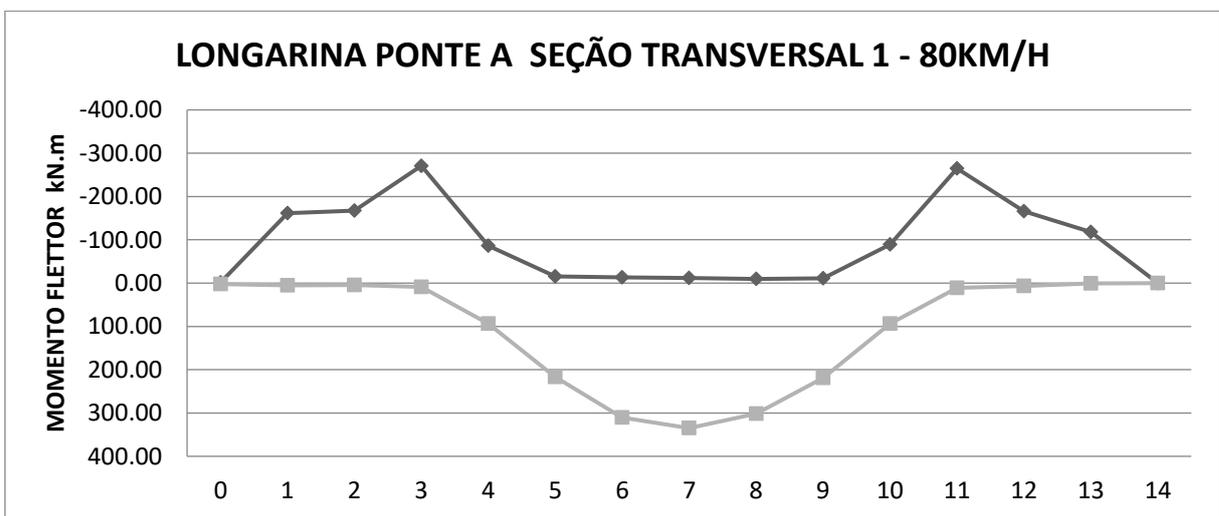


Figura 22 - Envoltória de momento fletor - Ponte A seção transversal 1 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

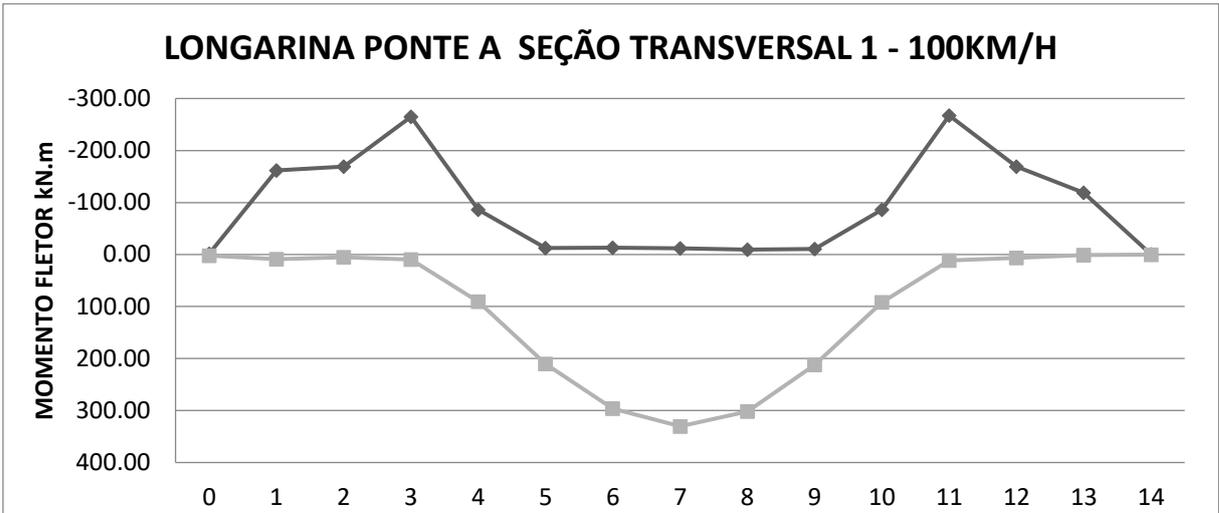


Figura 23 - Envoltória de momento fletor - Ponte A seção transversal 1 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

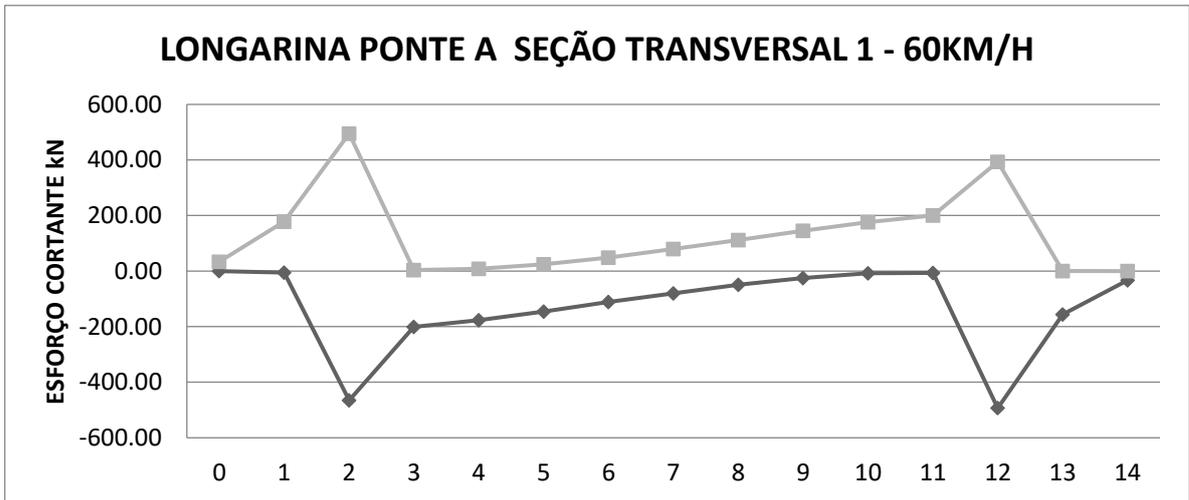


Figura 24 - Envoltória de esforço cortante - Ponte A seção transversal 1 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

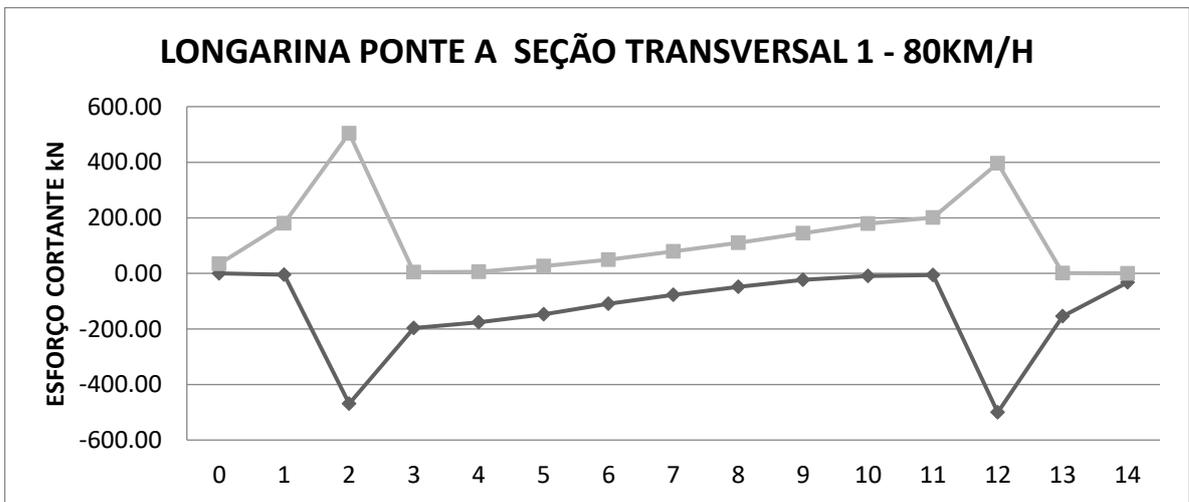


Figura 25- Envoltória de esforço cortante - Ponte A seção transversal 1 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

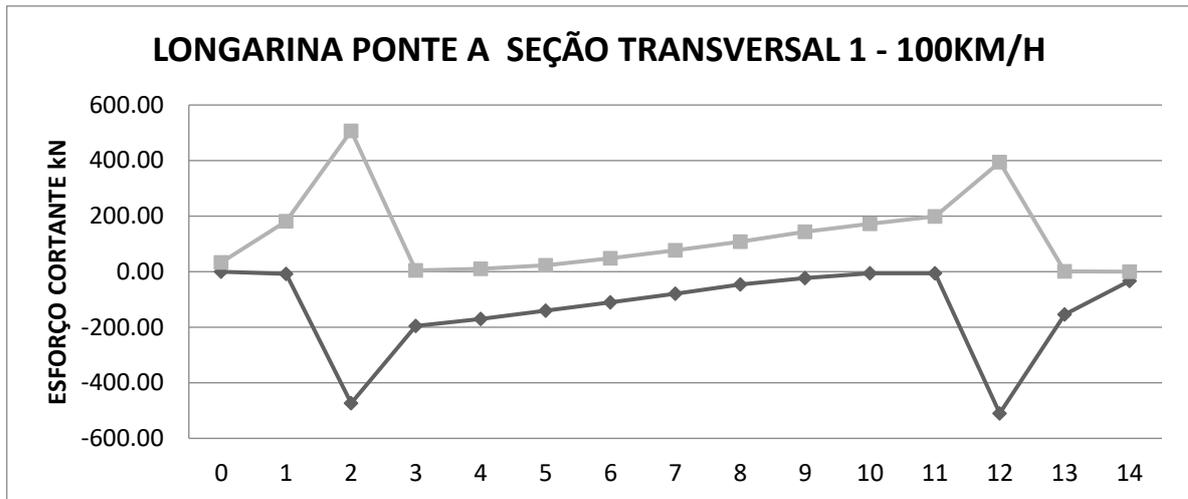


Figura 26- Envoltória de esforço cortante - Ponte A seção transversal 1 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 ESFORÇOS DE CÁLCULO

Somando as solicitações permanentes e acidentais acrescidas dos coeficientes de ponderação encontra-se a envoltória das solicitações em serviço. Sua nomenclatura advém do fato de representarem as solicitações efetivas nos elementos em estudo. Para o cálculo dos esforços de dimensionamento das longarinas foi utilizada a combinação última, a qual majora as solicitações de serviço por coeficientes apropriados.

Os coeficientes utilizados foram os indicados nas tabelas 2 e 4 (p.9 e 10) da ABNT NBR 8681:2003, expressos abaixo:

- Coeficientes de majoração das ações:
  - Ações Permanentes:  $\gamma_g = 1,35$ ;
  - Ações Acidentais:  $\gamma_q = 1,5$ ;

Quando o carregamento permanente não atuar como agente desestabilizador a referida norma indica a adoção de  $\gamma_g = 1,0$ .

#### 4.1.1 ANÁLISE ESTÁTICA

Assumindo como base a combinação última indicada no item 4.1 obtiveram-se os momentos fletores e esforços cortantes de cálculo para as longarinas.

As tabelas de 13 a 15 indicam os resultados para os momentos fletores obtidos através da análise estática.

Tabela 13 – Momentos fletores de cálculo análise estática - Ponte A

MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO ANÁLISE ESTÁTICA - PONTE A							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	SEÇÃO TRANSVERSAL 1		SEÇÃO TRANSVERSAL 2		SEÇÃO TRANSVERSAL 3	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	1,75	-1009,13	-249,79	-1087,06	-307,52	-1126,13	-336,46
2	3,50	<b>-3191,50</b>	-795,52	<b>-3381,83</b>	-936,50	<b>-3477,34</b>	-1007,25
3	5,00	-1814,91	2001,77	-1905,78	1953,94	-1951,04	1930,27
4	6,50	-862,83	4312,83	-890,73	4350,01	-904,16	4369,30
5	8,00	-127,35	5932,45	-110,29	6030,33	-100,99	6080,32
6	9,50	391,55	6944,62	435,60	7078,93	458,54	7147,33
7	11,00	693,84	<b>7307,36</b>	746,89	<b>7453,82</b>	774,37	<b>7528,35</b>
8	12,50	391,55	6944,62	435,60	7078,93	458,54	7147,33
9	14,00	-127,35	5932,45	-110,29	6030,33	-100,99	6080,32
10	15,50	-862,83	4312,83	-890,73	4350,01	-904,16	4369,30
11	17,00	-1814,91	2001,77	-1905,78	1953,94	-1951,04	1930,27
12	18,50	<b>-3191,50</b>	-795,52	<b>-3381,83</b>	-936,50	<b>-3477,34</b>	-1007,25
13	20,25	-1009,13	-249,79	-1087,06	-307,52	-1126,13	-336,46
14	22,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 14 – Momentos fletores de cálculo análise estática - Ponte B

MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO ANÁLISE ESTÁTICA - PONTE B							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	SEÇÃO TRANSVERSAL 1		SEÇÃO TRANSVERSAL 2		SEÇÃO TRANSVERSAL 3	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	1,50	-767,03	-196,05	-831,83	-244,05	-864,23	-268,05
2	3,00	-2403,69	-608,70	-2557,59	-722,70	-2634,81	-779,90
3	4,50	<b>-4911,41</b>	-1239,05	<b>-5180,06</b>	-1438,05	<b>-5314,93</b>	-1537,95
4	6,00	-2954,68	2332,14	-3076,63	2263,74	-3137,41	2229,81
5	7,50	-1557,16	5630,71	-1580,21	5695,82	-1590,99	5729,39
6	9,00	-376,28	8316,59	-318,43	8490,92	-288,20	8579,84

7	10,50	588,04	10389,83	708,89	10649,21	770,82	10780,92
8	12,00	1335,74	11879,77	1501,59	12199,90	1586,22	12362,26
9	13,50	1866,76	12815,65	2059,61	13172,23	2158,04	13353,22
10	15,00	2181,26	<b>13139,00</b>	2383,11	<b>13507,73</b>	2486,04	<b>13694,80</b>
11	16,50	1866,76	12815,65	2059,61	13172,23	2158,04	13353,22
12	18,00	1335,74	11879,77	1501,59	12199,90	1586,22	12362,26
13	19,50	588,04	10389,83	708,89	10649,21	770,82	10780,92
14	21,00	-376,28	8316,59	-318,43	8490,92	-288,20	8579,84
15	22,50	-1557,16	5630,71	-1580,21	5695,82	-1590,99	5729,39
16	24,00	-2954,68	2332,14	-3076,63	2263,74	-3137,41	2229,81
17	25,50	<b>-4911,41</b>	-1239,05	<b>-5180,06</b>	-1438,05	<b>-5314,93</b>	-1537,95
18	27,00	-2403,69	-608,70	-2557,59	-722,70	-2634,81	-779,90
19	28,50	-767,03	-196,05	-831,83	-244,05	-864,23	-268,05
20	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 15 – Momentos fletores de cálculo análise estática - Ponte C

MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO ANÁLISE ESTÁTICA - PONTE C							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	SEÇÃO TRANSVERSAL 1		SEÇÃO TRANSVERSAL 2		SEÇÃO TRANSVERSAL 3	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	1,75	-3189,94	-794,35	-3378,94	-934,35	-3473,71	-1004,55
2	3,50	<b>-8940,83</b>	-2415,05	<b>-9398,35</b>	-2753,95	<b>-9628,25</b>	-2924,25
3	5,00	-4241,15	5868,34	-4350,30	5859,99	-4404,28	5856,62
4	6,50	-1121,16	12588,69	-1014,51	12871,67	-959,39	13015,59
5	8,00	1132,44	17035,34	1382,99	17512,59	1510,91	17754,79
6	9,50	2519,63	19342,94	2842,18	19917,38	3006,40	20208,59
7	11,00	2888,32	<b>19644,08</b>	3219,77	<b>20230,54</b>	3388,60	<b>20527,96</b>
8	12,50	2519,63	19342,94	2842,18	19917,38	3006,40	20208,59
9	14,00	1132,44	17035,34	1382,99	17512,59	1510,91	17754,79
10	15,50	-1121,16	12588,69	-1014,51	12871,67	-959,39	13015,59
11	17,00	-4241,15	5868,34	-4350,30	5859,99	-4404,28	5856,62
12	18,50	<b>-8940,83</b>	-2415,05	<b>-9398,35</b>	-2753,95	<b>-9628,25</b>	-2924,25
13	20,25	-3189,94	-794,35	-3378,94	-934,35	-3473,71	-1004,55
14	22,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Autoria Própria.

Estão ilustrados nas tabelas de 16 a 18 os valores de cálculo dos esforços cortantes obtidos através da análise estática.

Tabela 16 – Esforços cortantes de cálculo análise estática - Ponte A

ESFORÇOS CORTANTES DE CÁLCULO ANÁLISE ESTÁTICA - PONTE A							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	SEÇÃO TRANSVERSAL 1		SEÇÃO TRANSVERSAL 2		SEÇÃO TRANSVERSAL 3	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-363,92	-58,50	-399,02	-84,50	-416,57	-97,50
1	1,75	-992,54	-226,89	-1046,57	-266,91	-1073,66	-286,97
(esq.)2	3,50	-1627,39	-399,88	-1705,65	-457,85	-1745,04	-487,03
(dir.)2	3,50	596,56	<b>2268,68</b>	660,60	<b>2355,14</b>	692,87	<b>2398,69</b>
3	5,00	442,79	1890,65	490,75	1955,39	514,97	1988,09
4	6,50	283,74	1528,51	319,73	1577,10	337,87	1601,59
5	8,00	60,87	1176,16	84,80	1208,47	96,96	1224,88
6	9,50	-201,76	833,61	-189,80	849,77	-183,72	857,98
7	11,00	-489,51	489,51	-489,51	489,51	-489,51	489,51
8	12,50	-833,61	201,76	-849,77	189,80	-857,98	183,72
9	14,00	-1176,16	-60,87	-1208,47	-84,80	-1224,88	-96,96
10	15,50	-1528,51	-283,74	-1577,10	-319,73	-1601,59	-337,87
11	17,00	-1890,65	-442,79	-1955,39	-490,75	-1988,09	-514,97
(esq.)12	18,50	<b>-2268,68</b>	-596,56	<b>-2355,14</b>	-660,60	<b>-2398,69</b>	-692,87
(dir.)12	18,50	399,88	1627,39	457,85	1705,65	487,03	1745,04
13	20,25	226,89	992,54	266,91	1046,57	286,97	1073,66
14	22,00	58,50	363,92	84,50	399,02	97,50	416,57

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 17 – Esforços cortantes de cálculo - análise estática - Ponte B

ESFORÇOS CORTANTES DE CÁLCULO - ANÁLISE ESTÁTICA - PONTE B							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	SEÇÃO TRANSVERSAL 1		SEÇÃO TRANSVERSAL 2		SEÇÃO TRANSVERSAL 3	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-363,92	-58,50	-399,02	-84,50	-416,57	-97,50
1	1,50	-943,48	-202,86	-994,73	-240,82	-1020,49	-259,90
2	3,00	-1523,05	-347,22	-1590,45	-397,15	-1624,42	-422,31
(esq.)3	4,50	-1823,89	-496,19	-1912,87	-562,10	-1957,70	-595,30
(dir.)3	4,50	872,19	<b>2853,01</b>	960,16	<b>2971,77</b>	1004,58	<b>3031,74</b>
4	6,00	719,89	2500,76	791,78	2597,81	828,16	2646,93
5	7,50	565,24	2161,40	625,16	2242,30	655,47	2283,21
6	9,00	403,74	1828,99	451,70	1893,73	475,92	1926,43
7	10,50	181,33	1503,40	217,32	1551,99	235,46	1576,48
8	12,00	-52,58	1184,66	-28,65	1216,96	-16,49	1233,38
9	13,50	-293,39	872,74	-281,43	888,89	-275,35	897,10
10	15,00	-556,36	556,36	-556,36	556,36	-556,36	556,36
11	16,50	-872,74	293,39	-888,89	281,43	-897,10	275,35
12	18,00	-1184,66	52,58	-1216,96	28,65	-1233,38	16,49
13	19,50	-1503,40	-181,33	-1551,99	-217,32	-1576,48	-235,46
14	21,00	-1828,99	-403,74	-1893,73	-451,70	-1926,43	-475,92
15	22,50	-2161,40	-565,24	-2242,30	-625,16	-2283,21	-655,47
16	24,00	-2500,76	-719,89	-2597,81	-791,78	-2646,93	-828,16
(esq.)17	25,50	<b>-2853,01</b>	-872,19	<b>-2971,77</b>	-960,16	<b>-3031,74</b>	-1004,58
(dir.)17	25,50	496,19	1823,89	562,10	1912,87	595,30	1957,70

18	27,00	347,22	1523,05	397,15	1590,45	422,31	1624,42
19	28,50	202,86	943,48	240,82	994,73	259,90	1020,49
20	30,00	58,50	363,92	84,50	399,02	97,50	416,57

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 18 – Esforços cortantes de cálculo análise estática - Ponte C

ESFORÇOS CORTANTES DE CÁLCULO ANÁLISE ESTÁTICA - PONTE C							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	SEÇÃO TRANSVERSAL 1		SEÇÃO TRANSVERSAL 2		SEÇÃO TRANSVERSAL 3	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-363,92	-58,50	-399,02	-84,50	-416,57	-97,50
1	1,75	-1621,30	-395,37	-1694,13	-449,32	-1730,74	-476,44
(esq.)2	3,50	-2216,63	-688,60	-2327,33	-770,60	-2383,01	-811,84
(dir.)2	3,50	1104,74	<b>3438,04</b>	1216,64	<b>3589,10</b>	1273,23	<b>3665,49</b>
3	5,00	801,05	2774,49	884,90	2887,69	927,36	2945,01
4	6,50	480,92	2137,97	540,84	2218,86	571,15	2259,77
5	8,00	73,83	1522,38	109,82	1570,97	127,96	1595,46
6	9,50	-377,89	927,70	-365,93	943,85	-359,85	952,06
7	11,00	-626,89	626,89	-626,89	626,89	-626,89	626,89
8	12,50	-927,70	377,89	-943,85	365,93	-952,06	359,85
9	14,00	-1522,38	-73,83	-1570,97	-109,82	-1595,46	-127,96
10	15,50	-2137,97	-480,92	-2218,86	-540,84	-2259,77	-571,15
11	17,00	-2774,49	-801,05	-2887,69	-884,90	-2945,01	-927,36
(esq.)12	18,50	<b>-3438,04</b>	-1104,74	<b>-3589,10</b>	-1216,64	<b>-3665,49</b>	-1273,23
(dir.)12	18,50	630,10	2137,66	770,60	2327,33	811,84	2383,01
13	20,25	336,87	1542,32	449,32	1694,13	476,44	1730,74
14	22,00	0,00	284,94	84,50	399,02	97,50	416,57

Fonte: Autoria Própria.

#### 4.1.2 ANÁLISE DINÂMICA

Por meio da combinação e dos coeficientes descritos no item 4.1, se tornou possível conseguir os valores de cálculo dos momentos fletores e esforços cortantes que solicitam as longarinas considerando o veículo padrão à 60km/h, 80km/h e 100km/h.

As tabelas de 19 a 27 ilustradas a seguir se referem aos valores de momento fletores de cálculo decorrente da análise transiente para as longarinas em estudo.

Tabela 19 – Momentos fletores análise dinâmica - Ponte A seção transversal 1

PONTE A SEÇÃO TRANSVERSAL 1							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60 KM/H		80 KM/H		100 KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-1,86	2,87	-1,86	2,88	-1,86	2,88
1	1,75	-579,78	-329,30	-579,95	-329,19	-579,96	-323,34
2	3,50	<b>-1322,74</b>	-1068,04	<b>-1325,35</b>	-1066,88	<b>-1327,68</b>	-1065,99
3	5,00	-134,45	277,10	-139,97	279,14	-131,13	280,54
4	6,50	1182,44	1454,45	1183,33	1453,52	1183,37	1448,83
5	8,00	2044,19	2391,62	2043,70	2392,16	2047,79	2381,86
6	9,50	2508,74	2984,83	2508,53	2993,87	2508,34	2972,86
7	11,00	2679,97	<b>3199,34</b>	2679,83	<b>3199,86</b>	2679,70	<b>3193,07</b>
8	12,50	2515,84	2985,67	2513,57	2981,12	2513,98	2980,67
9	14,00	2051,58	2391,07	2050,63	2395,40	2050,38	2384,66
10	15,50	1181,00	1454,43	1179,45	1453,35	1183,05	1450,35
11	17,00	-132,20	283,17	-130,16	283,33	-134,48	283,49
12	18,50	-1319,44	-1064,47	-1322,83	-1064,46	-1327,35	-1064,38
13	20,25	-512,42	-335,95	-513,62	-335,96	-514,88	-336,04
14	22,00	-0,12	0,12	-0,17	0,16	-0,19	0,21

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 20 – Momentos fletores análise dinâmica - Ponte A seção transversal 2

PONTE A SEÇÃO TRANSVERSAL 2							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60 KM/H		80 KM/H		100 KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-1,79	2,00	-1,79	2,00	-1,79	2,00
1	1,75	-640,87	-411,01	-641,02	-410,49	-641,04	-403,78
2	3,50	<b>-1541,24</b>	-1252,16	<b>-1544,27</b>	-1252,08	<b>-1547,16</b>	-1251,53
3	5,00	-175,92	206,31	-177,71	206,80	-181,73	207,17
4	6,50	1204,12	1489,83	1204,65	1487,58	1204,21	1486,88
5	8,00	2085,98	2488,00	2085,56	2486,18	2085,14	2486,17
6	9,50	2587,66	3116,47	2592,62	3117,40	2592,13	3120,62
7	11,00	2776,82	<b>3346,49</b>	2776,43	<b>3336,89</b>	2776,08	<b>3344,67</b>
8	12,50	2603,03	3118,57	2601,55	3115,48	2601,98	3113,41
9	14,00	2097,41	2489,42	2095,39	2487,47	2095,75	2482,24
10	15,50	1203,79	1489,64	1204,09	1487,57	1204,11	1487,76
11	17,00	-177,30	217,08	-176,27	217,46	-175,79	217,80
12	18,50	-1528,70	-1244,19	-1526,73	-1243,96	-1526,51	-1243,74
13	20,25	-587,71	-413,40	-589,56	-413,50	-591,18	-413,25
14	22,00	-0,06	0,07	-0,11	0,09	-0,18	0,14

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 21 – Momentos fletores análise dinâmica - Ponte A seção transversal 3

PONTE A SEÇÃO TRANSVERSAL 3							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60 KM/H		80 KM/H		100 KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-1,67	1,76	-1,67	1,76	-1,67	1,77
1	1,75	-675,73	-451,68	-675,88	-450,14	-675,91	-447,18
2	3,50	<b>-1647,10</b>	-1344,66	<b>-1654,55</b>	-1344,78	<b>-1655,51</b>	-1344,41
3	5,00	-197,79	170,78	-196,62	170,86	-194,68	171,35
4	6,50	1218,06	1510,59	1218,18	1506,72	1217,14	1504,71
5	8,00	2104,77	2541,00	2104,19	2540,97	2103,63	2541,26
6	9,50	2632,89	3190,45	2633,05	3178,71	2632,63	3179,10
7	11,00	2828,40	<b>3420,17</b>	2827,57	<b>3415,10</b>	2826,75	<b>3416,63</b>
8	12,50	2645,70	3185,59	2644,97	3183,48	2644,52	3190,68
9	14,00	2118,63	2540,36	2117,42	2537,91	2117,13	2534,76
10	15,50	1217,40	1510,43	1218,72	1507,44	1219,10	1508,19
11	17,00	-194,38	181,20	-194,37	181,95	-197,74	182,69
12	18,50	-1630,75	-1335,99	-1629,67	-1335,52	-1633,21	-1112,42
13	20,25	-626,80	-452,34	-628,43	-452,37	-629,95	-452,10
14	22,00	-0,07	0,07	-0,10	0,08	-0,17	0,12

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 22 – Momentos fletores análise dinâmica - Ponte B seção transversal 1

MOMENTO FLETOR PONTE B SEÇÃO TRANSVERSAL 1 (kN.m)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KM/H		100 KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-2,41	2,54	-2,43	2,55	-2,45	2,56
1	1,50	-453,59	-240,89	-453,80	-237,70	-454,01	-228,85
2	3,00	-1455,57	-772,70	-1485,17	-762,36	-1479,44	-732,12
3	4,50	<b>-2095,27</b>	-1662,46	<b>-2112,56</b>	-1663,07	<b>-2116,70</b>	-1644,01
4	6,00	-450,94	272,79	-442,56	273,50	-453,27	293,30
5	7,50	1495,52	1970,38	1496,54	1977,34	1501,10	1979,70
6	9,00	3071,93	3499,91	3072,95	3493,88	3073,56	3497,31
7	10,50	4233,78	4741,23	4231,97	4732,68	4232,24	4743,34
8	12,00	4989,52	5655,28	4987,83	5642,93	4986,65	5636,75
9	13,50	5456,30	6220,19	5458,47	6200,53	5456,57	6200,12
10	15,00	5632,07	<b>6423,96</b>	5631,72	<b>6396,12</b>	5631,16	<b>6413,21</b>
11	16,50	5459,43	6217,12	5458,91	6203,11	5458,39	6190,78
12	18,00	4997,25	5651,60	4999,27	5642,08	4997,98	5650,22
13	19,50	4244,91	4739,17	4244,40	4728,61	4242,61	4732,21
14	21,00	3071,67	3501,45	3074,26	3497,99	3073,28	3494,73
15	22,50	1491,92	1972,67	1496,97	1975,95	1493,57	1974,13
16	24,00	-458,11	285,47	-441,93	285,73	-447,46	286,69

17	25,50	-2055,70	-1653,82	-2044,87	-1654,40	-2050,34	-1653,92
18	27,00	-1335,68	-815,53	-1334,81	-816,32	-1335,99	-815,04
19	28,50	-397,40	-262,77	-397,15	-262,73	-398,30	-262,61
20	30,00	-0,22	0,25	-0,21	0,26	-0,26	0,29

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 23 – Momentos fletores análise dinâmica - Ponte B seção transversal 2

MOMENTO FLETOR PONTE B SEÇÃO TRANSVERSAL 2 (kN.m)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KM/H		100 KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-1,25	2,11	-1,26	2,12	-1,28	2,14
1	1,50	-512,41	-322,22	-512,77	-317,54	-513,13	-315,42
2	3,00	-1561,16	-964,34	-1571,85	-960,38	-1593,89	-950,72
3	4,50	<b>-2420,38</b>	-1917,22	<b>-2415,22</b>	-1922,30	<b>-2442,58</b>	-1920,74
4	6,00	-525,16	185,58	-523,21	176,52	-527,20	179,99
5	7,50	1545,83	2040,17	1545,32	2020,56	1548,08	2023,83
6	9,00	3227,02	3669,24	3226,04	3662,19	3226,39	3665,36
7	10,50	4419,96	4983,90	4419,39	4988,65	4416,98	4975,71
8	12,00	5229,11	5949,34	5241,58	5966,29	5243,51	5938,76
9	13,50	5731,51	6568,07	5741,16	6564,29	5747,43	6549,22
10	15,00	5927,32	<b>6769,04</b>	5926,02	<b>6780,06</b>	5924,48	<b>6779,90</b>
11	16,50	5749,04	6540,95	5747,93	6561,58	5746,81	6547,81
12	18,00	5253,33	5964,59	5261,52	5964,68	5256,24	5934,73
13	19,50	4434,71	4984,44	4444,68	4989,84	4437,74	4979,11
14	21,00	3227,60	3669,20	3226,19	3662,70	3226,22	3663,02
15	22,50	1549,38	2023,18	1544,51	2021,34	1547,57	2021,15
16	24,00	-522,12	209,32	-530,95	203,78	-525,31	205,60
17	25,50	-2360,63	-1898,62	-2357,38	-1905,15	-2355,14	-1904,13
18	27,00	-1485,12	-963,05	-1479,62	-962,60	-1486,17	-962,28
19	28,50	-460,37	-325,52	-459,22	-325,38	-460,46	-325,28
20	30,00	-0,15	0,16	-0,15	0,15	-0,18	0,16

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 24 – Momentos fletores análise dinâmica - Ponte B seção transversal 3

MOMENTO FLETOR PONTE B SEÇÃO TRANSVERSAL 3 (kN.m)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KM/H		100 KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-0,93	1,90	-0,95	1,92	-0,96	1,93
1	1,50	-541,69	-355,59	-542,05	-354,51	-542,42	-351,93
2	3,00	-1626,59	-1039,45	-1644,84	-1039,96	-1669,29	-1035,66
3	4,50	<b>-2578,10</b>	-2052,14	<b>-2578,46</b>	-2043,26	<b>-2607,61</b>	-2046,93
4	6,00	-553,92	130,41	-569,01	145,89	-560,67	139,93
5	7,50	1580,57	2057,03	1568,34	2075,15	1576,32	2060,61

6	9,00	3305,09	3756,80	3305,85	3753,87	3305,56	3748,46
7	10,50	4497,61	5121,81	4509,01	5111,83	4519,78	5128,26
8	12,00	5347,42	6109,27	5354,38	6125,26	5366,72	6125,93
9	13,50	5880,03	6743,36	5883,28	6748,36	5890,15	6735,50
10	15,00	6078,46	<b>6936,11</b>	6081,92	<b>6981,09</b>	6079,72	<b>6942,98</b>
11	16,50	5898,90	6742,09	5897,24	6758,12	5895,59	6713,96
12	18,00	5388,98	6104,20	5376,68	6137,65	5381,87	6106,67
13	19,50	4533,53	5119,50	4527,42	5120,83	4532,24	5112,76
14	21,00	3305,41	3756,98	3303,63	3752,13	3304,92	3750,41
15	22,50	1581,60	2056,86	1566,83	2068,43	1573,80	2052,76
16	24,00	-552,64	159,63	-570,75	159,71	-567,51	162,17
17	25,50	-2516,45	-2029,12	-2510,60	-2032,83	-2511,80	-2031,40
18	27,00	-1561,05	-1038,13	-1558,65	-1038,33	-1561,77	-1037,83
19	28,50	-491,43	-357,19	-492,71	-357,25	-492,39	-357,10
20	30,00	-0,17	0,13	-0,16	0,15	-0,17	0,14

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 25 – Momentos fletores análise dinâmica - Ponte C seção transversal 1

MOMENTOS FLETORES PONTE C SEÇÃO TRANSVERSAL 1 (kN.m)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KMK/H		100KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-24,23	24,97	-24,25	24,99	-24,26	25,01
1	3,50	-2324,36	-798,58	-2324,69	-685,55	-2325,02	-593,78
2	6,50	<b>-4559,39</b>	-3132,42	-4594,72	-2886,23	<b>-4560,17</b>	-3058,28
3	9,50	277,58	1585,56	241,96	1941,56	240,50	1592,25
4	12,50	4693,12	5750,55	4717,60	5783,47	4672,38	5772,37
5	15,50	7214,35	8764,60	7041,27	8835,70	7279,62	8880,25
6	18,50	8496,71	10039,94	8074,68	10095,93	8476,57	10160,90
7	20,00	8649,99	<b>10180,14</b>	8217,42	10408,42	8630,08	10170,31
8	21,50	8475,42	10166,30	8072,51	<b>10413,50</b>	8444,19	<b>10221,95</b>
9	24,50	7192,41	8844,58	7016,83	8895,93	7212,36	8776,11
10	27,50	4678,95	5686,86	4628,40	5688,48	4584,61	5705,61
11	30,50	155,56	1595,40	49,04	1951,00	178,39	1632,68
12	33,50	-4414,39	-3119,89	<b>-4620,80</b>	-3163,88	-4432,81	-3172,56
13	36,50	-1784,53	-859,78	-1778,35	-874,33	-1918,18	-867,37
14	40,00	-9,34	9,33	-8,70	8,77	-9,01	8,89

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 26 – Momentos fletores análise dinâmica - Ponte C seção transversal 2

MOMENTOS FLETORES PONTE C SEÇÃO TRANSVERSAL 2 (kN.m)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KMK/H		100KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-20,11	21,15	-20,13	21,19	-20,14	21,23

1	3,50	-2445,74	-1205,19	-2446,69	-1152,28	-2447,62	-1085,54
2	6,50	<b>-5111,86</b>	-3638,40	<b>-5121,10</b>	-3666,80	<b>-5141,15</b>	-3431,75
3	9,50	289,85	1500,49	255,73	1498,43	324,08	1728,68
4	12,50	4973,82	5966,37	4967,73	5948,88	4970,35	5967,01
5	15,50	7557,78	9269,98	7560,43	9237,36	7575,52	9207,27
6	18,50	8980,62	10586,49	8974,98	10668,54	8740,46	10597,61
7	20,00	9159,01	<b>10625,43</b>	9158,44	<b>10679,62</b>	8894,41	10885,18
8	21,50	8951,10	10596,69	8949,93	10611,78	8719,64	<b>10887,69</b>
9	24,50	7610,28	9264,22	7610,10	9225,46	7511,16	9431,56
10	27,50	4965,60	5953,27	4935,73	5961,04	4939,41	5969,94
11	30,50	276,61	1529,59	304,39	1531,48	112,85	1736,66
12	33,50	-4812,98	-3481,52	-4766,51	-3513,62	-4990,18	-3515,38
13	36,50	-1967,20	-1079,05	-1974,04	-1075,34	-2001,26	-1086,14
14	40,00	-7,73	7,86	-7,89	8,07	-7,43	7,56

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 27 – Momentos fletores análise dinâmica - Ponte C seção transversal 3

MOMENTOS FLETORES PONTE C SEÇÃO TRANSVERSAL 3 (kN.m)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KM/H		100KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-17,14	17,22	-17,16	17,27	-17,19	17,31
1	3,50	-2457,23	-1314,60	-2458,21	-1303,33	-2459,20	-1296,60
2	6,50	<b>-5330,80</b>	-3872,99	<b>-5351,20</b>	-3871,82	<b>-5371,58</b>	-3808,47
3	9,50	284,26	1483,88	324,04	1472,43	282,41	1530,67
4	12,50	5055,00	6116,50	5050,14	6129,90	5045,29	6139,81
5	15,50	7757,74	9531,39	7754,31	9432,48	7750,86	9549,39
6	18,50	9210,95	10913,97	9208,38	10905,57	9205,01	10935,57
7	20,00	9376,51	<b>10942,68</b>	9375,51	<b>10924,29</b>	9371,02	<b>11032,47</b>
8	21,50	9166,25	10904,52	9164,52	10890,11	9158,58	11004,72
9	24,50	7794,01	9524,38	7793,59	9444,01	7789,69	9567,54
10	27,50	5108,94	6118,23	5089,12	6111,91	5065,74	6124,44
11	30,50	307,09	1525,85	341,68	1528,31	235,27	1530,25
12	33,50	-5045,24	-3666,89	-4983,53	-3703,16	-5081,27	-3713,53
13	36,50	-2062,67	-1193,00	-2057,18	-1188,41	-2086,93	-1196,39
14	40,00	-6,78	7,06	-6,97	7,08	-6,64	6,91

Fonte: Autoria Própria.

As tabelas de 28 a 36 esboçam os valores de cálculo dos esforços cortantes resultantes da análise transiente.

Tabela 28 – Esforços cortantes análise dinâmica - Ponte A seção transversal 1.

ESFORÇOS CORTANTES PONTE A SEÇÃO TRANSVERSAL 1 (kN)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60 KM/H		80 KM/H		100 KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-79,18	50,51	-79,11	50,51	-79,25	50,51
1	1,75	-313,51	267,57	-313,72	269,97	-318,95	272,25
2	3,50	-1236,91	<b>1738,34</b>	-1243,85	<b>1752,35</b>	-1250,50	<b>1755,97</b>
3	5,00	-300,56	800,70	-295,19	801,15	-292,58	801,35
4	6,50	-264,72	612,94	-265,19	608,32	-255,74	615,90
5	8,00	-217,71	441,74	-220,43	444,22	-211,07	439,18
6	9,50	-167,03	283,35	-164,45	283,21	-164,81	282,71
7	11,00	-134,82	134,33	-131,20	133,01	-134,73	131,61
8	12,50	-284,02	167,19	-283,23	165,44	-279,61	162,38
9	14,00	-441,74	217,70	-440,85	215,88	-438,71	215,91
10	15,50	-612,19	263,87	-614,95	267,66	-608,79	259,34
11	17,00	-805,22	300,71	-803,56	300,99	-802,95	298,31
12	18,50	<b>-1735,62</b>	1130,42	<b>-1746,86</b>	1133,55	<b>-1760,48</b>	1130,58
13	20,25	-233,07	307,46	-232,01	307,45	-230,94	307,37
14	22,00	-49,32	79,00	-49,36	79,00	-49,38	79,00

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 29 – Esforços cortantes análise dinâmica - Ponte A seção transversal 2

ESFORÇOS CORTANTES PONTE A SEÇÃO TRANSVERSAL 2 (kN)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60 KM/H		80 KM/H		100 KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-114,13	50,01	-114,16	50,01	-114,24	50,01
1	1,75	-363,85	249,08	-364,19	251,45	-369,96	253,74
2	3,50	-1180,06	<b>1713,60</b>	-1185,91	<b>1717,68</b>	-1191,55	<b>1725,23</b>
3	5,00	-299,33	866,87	-297,21	866,44	-290,58	869,72
4	6,50	-260,70	661,38	-259,20	659,23	-259,50	662,68
5	8,00	-216,32	476,19	-216,18	476,71	-217,05	477,24
6	9,50	-168,99	303,31	-164,91	303,86	-165,54	300,44
7	11,00	-135,51	136,65	-133,23	133,54	-136,67	134,48
8	12,50	-301,51	168,98	-303,69	164,43	-299,12	165,06
9	14,00	-475,40	216,87	-476,71	215,49	-475,45	215,22
10	15,50	-663,33	262,16	-662,46	260,21	-663,47	257,24
11	17,00	-874,34	300,29	-874,48	295,43	-874,61	296,88
12	18,50	<b>-1720,79</b>	1111,25	<b>-1715,23</b>	1116,83	<b>-1714,15</b>	1115,36
13	20,25	-230,40	361,81	-230,30	361,73	-231,39	361,94
14	22,00	-49,22	114,10	-49,24	114,10	-49,30	114,10

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 30 – Esforços cortantes análise dinâmica - Ponte A seção transversal 3

ESFORÇOS CORTANTES PONTE A SEÇÃO TRANSVERSAL 3 (kN)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60 KM/H		80 KM/H		100 KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-131,66	49,88	-131,69	49,88	-131,71	49,88
1	1,75	-389,48	243,99	-390,84	248,91	-393,12	248,64
2	3,50	-1178,94	<b>1727,95</b>	-1184,43	<b>1722,10</b>	-1189,71	<b>1728,11</b>
3	5,00	-294,50	901,18	-294,57	900,77	-294,11	901,24
4	6,50	-260,19	689,47	-260,22	688,75	-260,91	691,91
5	8,00	-217,32	497,12	-212,58	492,98	-212,18	496,52
6	9,50	-168,08	312,76	-165,39	312,66	-166,65	308,48
7	11,00	-137,48	137,42	-134,69	134,19	-137,61	135,54
8	12,50	-313,21	168,65	-313,71	166,04	-310,37	163,70
9	14,00	-495,00	215,45	-494,97	214,11	-494,72	217,26
10	15,50	-689,97	259,49	-690,24	257,75	-690,50	256,26
11	17,00	-911,03	296,69	-911,31	293,63	-911,57	293,54
12	18,50	<b>-1720,75</b>	1120,45	<b>-1724,45</b>	1122,93	<b>-1728,52</b>	1122,45
13	20,25	-230,28	388,93	-230,06	388,90	-231,63	389,12
14	22,00	-49,22	131,65	-49,24	131,65	-49,30	131,65

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 31 – Esforços cortantes análise dinâmica - Ponte B seção transversal 1

ESFORÇOS CORTANTES PONTE B SEÇÃO TRANSVERSAL 1 (kN)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KM/H		100 KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-79,31	43,08	-79,34	43,08	-79,55	43,08
1	1,50	-301,16	257,64	-305,27	267,53	-315,67	261,41
2	3,00	-487,79	383,75	-498,96	404,97	-504,77	422,82
3	4,50	-1853,44	<b>2528,07</b>	-1933,38	<b>2514,24</b>	-1950,31	<b>2508,09</b>
4	6,00	-319,56	1196,25	-323,42	1195,99	-319,32	1200,33
5	7,50	-300,72	1001,04	-293,45	1000,73	-291,83	1005,12
6	9,00	-275,06	813,07	-267,05	816,26	-275,81	813,67
7	10,50	-242,46	637,54	-239,36	641,74	-234,06	640,63
8	12,00	-206,81	470,63	-203,67	472,67	-203,21	467,84
9	13,50	-169,80	308,72	-165,23	307,83	-169,05	310,22
10	15,00	-148,14	149,28	-146,48	146,31	-144,87	144,18
11	16,50	-308,49	170,37	-307,41	165,81	-308,53	168,71
12	18,00	-470,80	206,73	-472,14	202,79	-471,54	200,27
13	19,50	-637,21	241,67	-641,19	239,54	-638,82	238,76
14	21,00	-812,53	273,95	-814,34	267,03	-813,67	267,50
15	22,50	-1005,21	300,32	-1002,10	294,08	-1003,37	298,91
16	24,00	-1202,49	321,02	-1199,10	319,56	-1200,78	318,15

17	25,50	<b>-2542,47</b>	1659,53	<b>-2505,18</b>	1669,77	<b>-2523,21</b>	1661,61
18	27,00	-337,79	471,95	-336,66	471,54	-333,50	472,18
19	28,50	-213,95	276,07	-213,51	276,16	-214,13	276,24
20	30,00	-42,27	79,00	-42,24	79,00	-42,35	79,01

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 32 – Esforços cortantes análise dinâmica - Ponte B seção transversal 2

ESFORÇOS CORTANTES PONTE B SEÇÃO TRANSVERSAL 2 (kN)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60 KM/H		80 KM/H		100 KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-114,22	42,85	-114,21	42,85	-114,23	42,85
1	1,50	-332,78	238,25	-337,66	241,80	-340,55	248,33
2	3,00	-541,61	353,93	-543,62	355,26	-545,84	385,94
3	4,50	-1681,28	<b>2489,86</b>	-1718,16	<b>2494,55</b>	-1774,89	<b>2481,26</b>
4	6,00	-317,16	1295,17	-319,68	1295,04	-322,29	1295,05
5	7,50	-302,30	1084,40	-296,60	1082,87	-299,28	1084,34
6	9,00	-266,27	887,88	-270,02	880,60	-262,86	881,40
7	10,50	-234,98	690,75	-241,65	686,10	-228,36	691,83
8	12,00	-206,94	507,07	-205,64	502,56	-201,06	506,88
9	13,50	-168,03	328,21	-169,04	325,16	-169,70	327,45
10	15,00	-148,54	148,87	-146,85	145,77	-146,34	145,09
11	16,50	-324,93	169,13	-325,55	167,10	-327,62	170,42
12	18,00	-507,83	201,12	-502,69	204,53	-507,85	198,89
13	19,50	-694,45	240,36	-684,72	240,83	-690,57	229,22
14	21,00	-880,25	268,28	-878,88	270,30	-879,49	263,61
15	22,50	-1096,16	290,82	-1091,94	294,87	-1090,71	296,84
16	24,00	-1310,14	319,79	-1305,83	316,79	-1304,54	322,61
17	25,50	<b>-2493,09</b>	1619,79	<b>-2506,87</b>	1587,87	<b>-2477,58</b>	1615,82
18	27,00	-339,09	542,43	-332,19	542,64	-331,35	542,81
19	28,50	-212,04	329,35	-210,06	329,50	-212,55	329,61
20	30,00	-42,29	114,12	-42,21	114,12	-42,33	114,12

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 33 – Esforços cortantes análise dinâmica - Ponte B seção transversal 3

ESFORÇOS CORTANTES PONTE B SEÇÃO TRANSVERSAL 3 (kN)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KM/H		100 KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-131,75	42,75	-131,70	42,76	-131,72	42,76
1	1,50	-357,22	232,77	-358,21	238,28	-361,48	246,42
2	3,00	-576,72	357,21	-576,44	359,94	-578,60	383,76
3	4,50	-1664,93	<b>2499,14</b>	-1700,00	<b>2516,55</b>	-1754,01	<b>2517,33</b>
4	6,00	-316,58	1346,25	-316,13	1349,30	-315,53	1348,13
5	7,50	-295,14	1126,36	-290,76	1128,06	-292,73	1127,55

6	9,00	-269,76	914,60	-265,29	921,36	-273,51	914,81
7	10,50	-233,60	720,47	-237,83	723,78	-238,37	710,18
8	12,00	-205,88	522,08	-205,77	529,25	-202,64	518,21
9	13,50	-167,81	337,46	-169,68	337,07	-166,71	333,81
10	15,00	-149,16	149,53	-146,76	146,82	-146,98	146,63
11	16,50	-337,38	167,12	-332,10	167,40	-338,07	166,53
12	18,00	-521,99	205,04	-523,50	207,63	-526,08	194,30
13	19,50	-719,95	232,55	-719,03	243,27	-717,51	231,38
14	21,00	-913,04	268,62	-921,28	271,61	-915,38	266,37
15	22,50	-1134,76	291,24	-1135,37	297,32	-1135,97	297,32
16	24,00	-1355,26	315,42	-1355,88	318,00	-1356,50	322,86
17	25,50	<b>-2489,18</b>	1616,64	<b>-2526,39</b>	1618,07	<b>-2514,48</b>	1612,07
18	27,00	-338,42	577,30	-332,96	577,19	-330,44	577,44
19	28,50	-211,59	355,67	-210,77	355,61	-211,89	355,77
20	30,00	-42,24	131,67	-42,30	131,67	-42,32	131,67

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 34 – Esforços cortantes análise dinâmica - Ponte C seção transversal 1

ESFORÇOS CORTANTES PONTE C SEÇÃO TRANSVERSAL 1 (kN)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KM/H		100KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-82,09	105,06	-83,36	105,08	-84,40	105,09
1	3,50	-665,25	682,59	-719,59	699,69	-763,64	699,68
2	6,50	-4570,41	<b>4687,85</b>	-4600,11	<b>4963,70</b>	-4660,26	<b>5024,00</b>
3	9,50	-628,20	1458,21	-663,44	1546,17	-641,25	1445,76
4	12,50	-496,47	1063,36	-512,75	1131,18	-523,71	1052,86
5	15,50	-326,81	691,11	-317,13	696,18	-305,00	688,47
6	18,50	-209,34	399,14	-227,93	410,36	-227,69	435,39
7	20,00	-217,58	210,03	-219,83	237,81	-233,46	251,49
8	21,50	-393,32	198,92	-403,46	224,78	-417,48	239,12
9	24,50	-715,42	347,37	-768,91	370,43	-687,80	321,20
10	27,50	-1056,67	532,02	-1142,39	570,90	-1032,89	502,53
11	30,50	-1464,01	626,85	-1554,02	675,39	-1437,08	639,24
12	33,50	<b>-4937,16</b>	3372,81	<b>-5517,66</b>	3942,96	<b>-5207,61</b>	3860,46
13	36,50	-469,08	636,01	-459,98	629,02	-529,34	632,45
14	40,00	-98,75	81,38	-98,63	81,21	-100,27	81,28

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 35 – Esforços cortantes análise dinâmica - Ponte C seção transversal 2

ESFORÇOS CORTANTES PONTE C SEÇÃO TRANSVERSAL 2 (kN)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KM/H		100KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-114,63	103,69	-114,85	103,71	-115,83	103,73

1	3,50	-633,17	630,63	-658,75	634,34	-689,42	638,03
2	6,50	-3956,61	<b>4614,82</b>	-3974,91	<b>4514,02</b>	-3993,36	<b>4537,27</b>
3	9,50	-594,14	1564,39	-579,24	1576,39	-579,53	1603,97
4	12,50	-508,32	1128,04	-495,89	1119,33	-483,27	1168,27
5	15,50	-304,56	740,82	-331,02	750,65	-297,62	751,33
6	18,50	-194,49	408,18	-197,45	414,23	-216,48	413,48
7	20,00	-210,41	210,62	-208,56	215,21	-212,03	218,96
8	21,50	-401,46	197,85	-407,48	206,72	-413,30	201,68
9	24,50	-745,72	310,59	-744,53	328,47	-773,28	352,29
10	27,50	-1130,36	511,25	-1130,71	494,33	-1184,71	568,19
11	30,50	-1580,66	579,98	-1581,01	578,54	-1601,46	681,72
12	33,50	<b>-4561,72</b>	3175,86	<b>-4467,97</b>	3194,01	<b>-5158,72</b>	3573,66
13	36,50	-468,93	692,42	-472,13	694,15	-474,57	689,00
14	40,00	-98,61	115,93	-98,57	115,96	-98,93	115,86

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 36 – Esforços cortantes análise dinâmica - Ponte C seção transversal 3

ESFORÇOS CORTANTES PONTE C SEÇÃO TRANSVERSAL 3 (kN)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KMK/H		100KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-132,03	102,61	-132,12	102,62	-132,19	102,64
1	3,50	-662,67	601,38	-667,84	609,44	-671,08	617,51
2	6,50	-3766,14	<b>4582,17</b>	-3805,89	<b>4469,52</b>	-3845,64	<b>4616,82</b>
3	9,50	-600,87	1599,14	-600,32	1600,06	-614,87	1601,79
4	12,50	-514,14	1161,55	-474,57	1158,69	-514,65	1167,43
5	15,50	-328,41	769,89	-322,26	761,37	-329,87	772,10
6	18,50	-200,22	409,67	-200,75	422,08	-201,29	421,21
7	20,00	-211,14	208,17	-212,70	211,97	-207,38	213,36
8	21,50	-414,32	198,74	-419,03	200,64	-407,98	199,88
9	24,50	-764,92	325,77	-761,60	322,20	-776,97	341,18
10	27,50	-1180,87	509,46	-1181,35	481,49	-1182,78	526,19
11	30,50	-1648,45	596,79	-1648,95	588,23	-1649,93	611,64
12	33,50	<b>-4555,61</b>	3102,08	<b>-4366,46</b>	3149,78	<b>-4657,76</b>	3134,03
13	36,50	-468,96	718,97	-466,59	721,04	-477,84	717,36
14	40,00	-98,65	133,19	-98,56	133,24	-98,86	133,16

Fonte: Autoria Própria.

## 4.2 DIMENSIONAMENTO DAS LONGARINAS

O dimensionamento consiste na determinação da armadura necessária para um elemento estrutural, com base nos materiais, na seção transversal e nos esforços solicitantes.

Os materiais considerados para as longarinas serão:

- Concreto:  $f_{ck} = 25$  MPa;
- Aço: CA-50.

Os esforços utilizados no dimensionamento à flexão e ao cisalhamento foram os expostos ao longo do item 4.1.

Seguindo as recomendações das normas NBR 8681:2003 e NBR 6118:2014 foram utilizados coeficientes de minoração da resistência para os materiais que irão resistir aos esforços. Sendo:

- Coeficiente de minoração da resistência do concreto:  $\gamma_c = 1,4$ ;
- Coeficiente de minoração da resistência do aço:  $\gamma_s = 1,15$ .

O dimensionamento foi feito objetivando a resistência das seções ao estado último de tensões.

### 4.2.1 DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO

O dimensionamento à flexão foi feito sem considerar o efeito da fadiga. Nesse foi utilizado o cálculo mediante equações com coeficiente K, explanado por BASTOS (2015). De acordo com o mesmo, esse método visa facilitar o cálculo manual e se baseia na tabulação de coeficientes  $K_c$  e  $K_s$ , relativos à resistência do concreto e à tensão na armadura tracionada, para diferentes posições da linha neutra, a qual é expressa por  $\beta_x = x/d$ . A formulação dos coeficientes  $K_c$  e  $K_s$ , respectivamente, se encontra nas equações 1 e 2:

$$K_c = \frac{b_w x d^2}{M_d} \quad (1); \quad K_s = A_s \frac{M_d}{d} \quad (2).$$

Com:

- $b_w$  : Largura da seção transversal;
- $d$  : Altura útil da seção transversal;
- $M_d$  : Momento fletor de cálculo;
- $A_s$ : Área de armadura longitudinal necessária.

A tabela fornecedora dos valores de  $K_c$  e  $K_s$  se encontra no Anexo A do presente trabalho.

Desse modo, encontra-se a área de aço necessária para a seção resistir aos esforços que a solicitam.

#### 4.2.1.1 COMPORTAMENTO DAS SEÇÕES

As seções que sofrem a ação de momento fletor positivo se comportam como viga 'T', onde a laje do tabuleiro é a mesa e contribui para a resistência à flexão da seção.

A largura da mesa ( $b_f$ ) foi determinada de acordo com os critérios estabelecidos pela NBR 6118. Seguem os valores de  $b_f$  para as longarinas de cada modelo de ponte:

- Ponte A:
  - Seções cujo  $b_w$  é igual a 40cm:  $b_f = 260,50$  cm;
  - Seções cujo  $b_w$  é igual a 80cm:  $b_f = 300,50$  cm;
- Ponte B:
  - Seções cujo  $b_w$  é igual a 40cm:  $b_f = 332,50$  cm;
  - Seções cujo  $b_w$  é igual a 80cm:  $b_f = 372,50$  cm;
- Ponte C:
  - Seções cujo  $b_w$  é igual a 40cm:  $b_f = 404,50$  cm;
  - Seções cujo  $b_w$  é igual a 80cm:  $b_f = 444,50$  cm.

A altura da mesa ( $h_f$ ) é igual para todas as longarinas e mede 30cm.

As seções submetidas a momento fletor negativo, não se comportam como vigas T, logo não há colaboração da mesa para resistir à flexão, e a seção usada para o dimensionamento é a retangular.

#### 4.2.1.2 DIMENSIONAMENTO: SEÇÕES 'T'

A seção T pode, no seu dimensionamento, ser considerada uma seção retangular cuja área é igual à largura da mesa colaborante ( $hf$ ) multiplicada pela altura da seção ( $h$ ). Desde que, a seguinte condição seja satisfeita:

$$0,8\beta x \leq \frac{hf}{d} \quad (3)$$

Com:

-  $\beta x$  : Profundidade da linha neutra;

-  $d$  : Altura útil da seção

Assim, seu dimensionamento pode ser feito considerando as mesmas equações desenvolvidas para seções retangulares.

No trabalho em questão, essa condição foi satisfeita para todas as longarinas.

#### 4.2.1.3 ARMADURAS MÍNIMAS

Visando evitar a ruptura frágil da seção de concreto após o surgimento da primeira fissura, a NBR 6118 sugere, para o cálculo das armaduras, um valor mínimo de momento. Este valor seria o mínimo necessário para promover a ruptura da seção de concreto, sendo sua resistência a tração igual ao  $f_{ctk,sup}$ .

A armadura mínima é a área de aço necessária para resistir ao momento mínimo acima citado.

Segundo BASTOS (2015), para vigas de 40cm e 80cm, a taxa de aço mínima é igual a 0,179% e 0,245% da área da seção de concreto, respectivamente. Considerando os seguintes fatores:

- Aço CA-50;
- $\gamma_c = 1,4$ ;

- $\gamma_s = 1,15$ ;
- $d/h = 0,8$ .

#### **4.2.1.4 ARMADURAS MÁXIMAS**

De acordo com a NBR 6118, a soma das armaduras de tração e compressão não pode ser maior que 4% da área da seção fora das zonas de emenda, para assegurar a ductilidade e não haver a nulidade dos ensaios que originaram as prescrições de funcionamento do conjunto aço-concreto.

#### **4.2.1.5 ARMADURA DE PELE**

Propondo o combate à fissuração superficial devida à retração do concreto a NBR 6118 aponta a adesão de uma armadura lateral (armadura de pele) para vigas cuja altura ultrapasse 60 cm.

A armadura de pele deve ser composta por aço CA-50 ou CA-60 com espaçamento não superior a 20 cm. Sua área mínima, em cada face da alma da viga, deve ser igual a 0,10% da área da seção transversal da alma.

#### **4.2.1.6 ARMADURAS LONGITUDINAIS**

De modo a obter a resistência à flexão das seções transversais no estado limite último de utilização, foram dimensionadas armaduras longitudinais que resistissem aos esforços solicitantes.

##### **➤ ARMADURAS- ANÁLISE PSEUDO - ESTÁTICA**

As tabelas de 37 a 39 indicam a área de aço necessária para as longarinas resistirem às tensões originadas da flexão, considerando nos momentos fletores de cálculo os esforços acidentais obtidos da análise pseudo-estática.

Com:

- As(+): Armadura de combate ao momento fletor positivo;
- As(-): Armadura de combate ao momento fletor negativo;
- As Pele: Armadura de pele.

Tabela 37 – Armaduras longitudinais análise estática - Ponte A

ARMADURAS LONGITUDINAIS LONGARINAS PONTE A									
SEÇÃO	SEÇÃO TRANSVERSAL 1			SEÇÃO TRANSVERSAL 2			SEÇÃO TRANSVERSAL 3		
	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )
0	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
1	17,94	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
2	<b>59,10</b>	18,00	<b>12,00</b>	<b>37,75</b>	27,60	<b>18,40</b>	<b>32,73</b>	32,40	<b>21,60</b>
3	33,61	34,10	6,00	21,27	20,90	9,20	18,36	16,20	10,80
4	15,34	76,67	6,00	13,80	46,53	9,20	16,20	39,41	10,80
5	9,00	105,47	6,00	13,80	64,51	9,20	16,20	54,84	10,80
6	9,00	123,46	6,00	13,80	75,73	9,20	16,20	64,47	10,80
7	9,00	<b>129,91</b>	6,00	13,80	<b>83,21</b>	9,20	16,20	<b>67,90</b>	10,80
8	9,00	123,46	6,00	13,80	75,73	9,20	16,20	64,47	10,80
9	9,00	105,47	6,00	13,80	64,51	9,20	16,20	54,84	10,80
10	15,34	76,67	6,00	13,80	46,53	9,20	16,20	39,41	10,80
11	33,61	34,10	6,00	21,27	20,90	9,20	18,36	16,20	10,80
12	<b>59,10</b>	18,00	<b>12,00</b>	<b>37,75</b>	27,60	<b>18,40</b>	<b>32,73</b>	32,40	<b>21,60</b>
13	17,94	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
14	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 38 – Armaduras longitudinais análise estática - Ponte B

ARMADURAS LONGITUDINAIS LONGARINAS PONTE B									
SEÇÃO	SEÇÃO TRANSVERSAL 1			SEÇÃO TRANSVERSAL 2			SEÇÃO TRANSVERSAL 3		
	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )
0	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
1	13,64	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
2	46,29	9,00	6,00	28,55	13,80	9,20	24,80	16,20	10,80
3	<b>94,59</b>	18,00	<b>12,00</b>	<b>57,82</b>	27,60	<b>18,40</b>	<b>50,02</b>	32,40	<b>21,60</b>
4	61,28	39,73	6,00	34,34	24,22	9,20	29,53	16,20	10,80
5	28,84	100,10	6,00	17,64	60,93	9,20	16,20	51,68	10,80
6	9,00	147,85	6,00	13,80	90,83	9,20	16,20	77,39	10,80
7	9,00	184,71	6,00	13,80	118,87	9,20	16,20	97,24	10,80
8	9,00	220,00	6,00	13,80	136,18	9,20	16,20	111,50	10,80
9	9,00	237,33	6,00	13,80	147,04	9,20	16,20	125,68	10,80

10	9,00	<b>243,31</b>	6,00	13,80	<b>150,78</b>	9,20	16,20	<b>128,89</b>	10,80
11	9,00	237,33	6,00	13,80	147,04	9,20	16,20	125,68	10,80
12	9,00	220,00	6,00	13,80	136,18	9,20	16,20	111,50	10,80
13	9,00	184,71	6,00	13,80	118,87	9,20	16,20	97,24	10,80
14	9,00	147,85	6,00	13,80	90,83	9,20	16,20	77,39	10,80
15	28,84	100,10	6,00	17,64	60,93	9,20	16,20	51,68	10,80
16	61,28	39,73	6,00	34,34	24,22	9,20	29,53	16,20	10,80
17	<b>94,59</b>	9,00	<b>12,00</b>	<b>57,82</b>	27,60	<b>18,40</b>	<b>50,02</b>	32,40	<b>21,60</b>
18	46,29	9,00	6,00	28,55	13,80	9,20	24,80	16,20	10,80
19	13,64	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
20	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 39 – Armaduras longitudinais análise estática - Ponte C

ARMADURAS LONGITUDINAIS LONGARINAS PONTE C									
SEÇÃO	SEÇÃO TRANSVERSAL 1			SEÇÃO TRANSVERSAL 2			SEÇÃO TRANSVERSAL 3		
	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )
0	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
1	66,16	9,00	6,00	35,88	13,80	9,20	31,34	16,20	10,80
2	<b>211,93</b>	18,00	<b>12,00</b>	<b>103,96</b>	27,60	<b>18,40</b>	<b>86,87</b>	32,40	<b>21,60</b>
3	81,68	104,33	<b>12,00</b>	48,12	59,64	9,20	39,74	50,64	10,80
4	19,93	223,80	<b>12,00</b>	13,80	130,99	9,20	16,20	112,54	10,80
5	9,00	315,47	6,00	13,80	185,97	9,20	16,20	160,19	10,80
6	9,00	358,20	6,00	13,80	211,51	9,20	16,20	182,33	10,80
7	9,00	<b>378,33</b>	6,00	13,80	<b>214,84</b>	9,20	16,20	<b>185,21</b>	10,80
8	9,00	358,20	6,00	13,80	211,51	9,20	16,20	182,33	10,80
9	9,00	315,47	6,00	13,80	185,97	9,20	16,20	160,19	10,80
10	19,93	223,80	<b>12,00</b>	13,80	130,99	9,20	16,20	112,54	10,80
11	81,68	104,33	<b>12,00</b>	48,12	59,64	9,20	39,74	50,64	10,80
12	<b>211,93</b>	18,00	<b>12,00</b>	<b>103,96</b>	27,60	<b>18,40</b>	<b>86,87</b>	32,40	<b>21,60</b>
13	66,16	9,00	6,00	35,88	13,80	9,20	31,34	16,20	10,80
14	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80

Fonte: Autoria Própria.

A profundidade da linha neutra de todas as seções, com exceção das seções referentes ao apoio da longarina da ponte C com seção transversal 1, se limitou ao valor máximo estipulado pela NBR 6118 de  $x/d=0,45$ , sendo assim dimensionadas nos domínios 2 e 3 de deformação.

Foi alterada a posição da linha neutra das seções com  $x/d > 0,45$  e presentes no domínio 4, através da inserção de uma armadura longitudinal resistente na região comprimida (armadura dupla). Esta irá contribuir com a resistência do concreto à compressão e fará com que a ruptura da seção não se dê de maneira frágil.

### ➤ ARMADURAS – ANÁLISE TRANSIENTE

Para se dimensionar as seções, tomou-se para cada uma o maior dos esforços de cálculo obtidos da análise transiente para as velocidades de 60km/h, 80km/h e 100km/h. As tabelas de 40 a 42, indicam a área de aço necessária para resisti-los.

Sendo:

- $A_{s(+)}$ : Armadura de combate ao momento fletor positivo;
- $A_{s(-)}$ : Armadura de combate ao momento fletor negativo;
- As Pele: Armadura de pele.

Tabela 40 – Armaduras longitudinais análise transiente - Ponte A

ARMADURAS LONGITUDINAIS LONGARINAS PONTE A									
SEÇÃO	SEÇÃO TRANSVERSAL 1			SEÇÃO TRANSVERSAL 2			SEÇÃO TRANSVERSAL 3		
	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )
<b>0</b>	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
<b>1</b>	10,31	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
<b>2</b>	<b>23,60</b>	18,00	<b>12,00</b>	<b>27,60</b>	27,60	<b>18,40</b>	<b>32,40</b>	32,40	<b>21,60</b>
<b>3</b>	11,73	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
<b>4</b>	9,00	28,71	6,00	13,80	19,72	9,20	16,20	16,20	10,80
<b>5</b>	9,00	44,29	6,00	13,80	30,15	9,20	16,20	26,45	10,80
<b>6</b>	9,00	56,50	6,00	13,80	36,67	9,20	16,20	32,10	10,80
<b>7</b>	9,00	<b>59,76</b>	6,00	13,80	<b>38,84</b>	9,20	16,20	<b>33,97</b>	10,80
<b>8</b>	9,00	56,36	6,00	13,80	36,65	9,20	16,20	32,11	10,80
<b>9</b>	9,00	44,35	6,00	13,80	30,16	9,20	16,20	26,45	10,80
<b>10</b>	9,00	28,71	6,00	13,80	19,72	9,20	16,20	16,20	10,80
<b>11</b>	11,15	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
<b>12</b>	22,61	18,00	<b>12,00</b>	<b>27,60</b>	27,60	<b>18,40</b>	<b>32,40</b>	32,40	<b>21,60</b>
<b>13</b>	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
<b>14</b>	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 41 – Armaduras longitudinais análise transiente - Ponte B

ARMADURAS LONGITUDINAIS LONGARINAS PONTE B									
SEÇÃO	SEÇÃO TRANSVERSAL 1			SEÇÃO TRANSVERSAL 2			SEÇÃO TRANSVERSAL 3		
	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )
0	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
1	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
2	27,50	9,00	6,00	17,79	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
3	<b>37,63</b>	18,00	<b>12,00</b>	<b>27,60</b>	27,60	<b>18,40</b>	<b>32,40</b>	32,40	<b>21,60</b>
4	18,45	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
5	12,40	39,00	6,00	13,80	26,83	9,20	16,20	23,64	10,80
6	9,00	67,31	6,00	13,80	44,01	9,20	16,20	38,61	10,80
7	9,00	89,01	6,00	13,80	57,88	9,20	16,20	50,77	10,80
8	9,00	104,81	6,00	13,80	68,09	9,20	16,20	59,56	10,80
9	9,00	114,45	6,00	13,80	74,28	9,20	16,20	67,79	10,80
10	9,00	<b>117,66</b>	6,00	13,80	<b>76,30</b>	9,20	16,20	<b>69,77</b>	10,80
11	9,00	114,39	6,00	13,80	74,21	9,20	16,20	67,88	10,80
12	9,00	104,75	6,00	13,80	68,07	9,20	16,20	59,67	10,80
13	9,00	88,94	6,00	13,80	57,89	9,20	16,20	50,70	10,80
14	9,00	67,34	6,00	13,80	44,01	9,20	16,20	38,61	10,80
15	12,47	38,94	6,00	13,80	26,64	9,20	16,20	23,58	10,80
16	18,54	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
17	36,55	9,00	<b>12,00</b>	<b>27,60</b>	27,60	<b>18,40</b>	<b>32,40</b>	32,40	<b>21,60</b>
18	24,74	9,00	6,00	16,59	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
19	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
20	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 42 – Armaduras longitudinais análise transiente - Ponte C

ARMADURAS LONGITUDINAIS LONGARINAS PONTE C									
SEÇÃO	SEÇÃO TRANSVERSAL 1			SEÇÃO TRANSVERSAL 2			SEÇÃO TRANSVERSAL 3		
	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )
0	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
1	44,78	9,00	6,00	25,99	13,80	9,20	22,19	16,20	10,80
2	88,49	18,00	12,00	<b>54,60</b>	27,60	<b>18,40</b>	48,47	32,40	21,60
3	9,00	33,08	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
4	9,00	102,82	6,00	13,80	60,73	9,20	16,20	53,09	10,80
5	9,00	157,87	6,00	13,80	94,34	9,20	16,20	82,57	10,80
6	9,00	180,64	6,00	13,80	108,57	9,20	16,20	94,56	10,80

<b>7</b>	9,00	185,04	6,00	13,80	110,78	9,20	16,20	95,39	10,80
<b>8</b>	9,00	<b>185,13</b>	6,00	13,80	<b>110,80</b>	9,20	16,20	95,15	10,80
<b>9</b>	9,00	158,15	6,00	13,80	95,98	9,20	16,20	82,73	10,80
<b>10</b>	9,00	101,43	6,00	13,80	60,76	9,20	16,20	52,96	10,80
<b>11</b>	9,00	33,24	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
<b>12</b>	<b>88,99</b>	22,50	<b>15,00</b>	52,99	27,60	<b>18,40</b>	45,85	32,40	21,60
<b>13</b>	36,94	9,00	6,00	21,25	13,80	9,20	18,83	16,20	10,80
<b>14</b>	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80

Fonte: Autoria Própria.

Nenhuma seção necessitou de armadura dupla. Todas estão dentro do intervalo de domínios proposto pela NBR 6118.

### ➤ ÁREAS TOTAIS DE ARMADURAS LONGITUDINAIS

As figuras de 27 a 29 ilustram a área total de armadura longitudinal nas seções das longarinas da ponte A, quando dimensionadas a partir dos esforços obtidos das análises pseudo-estática e dinâmica transiente. Os gráficos referentes às demais longarinas, como também às longarinas da ponte A, se encontram no apêndice B.

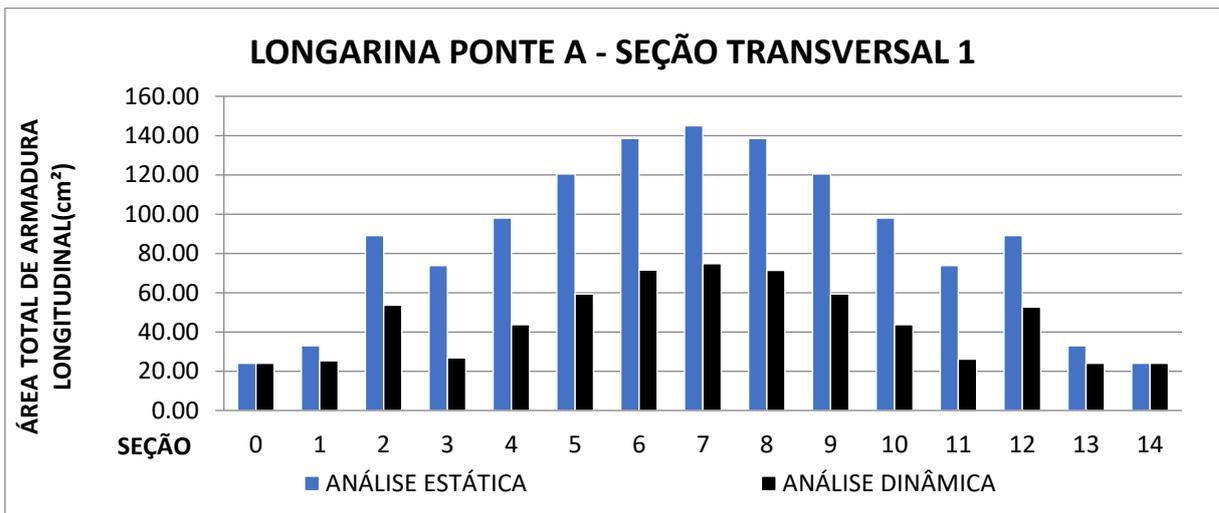


Figura 27 – Áreas totais de armadura longitudinal – longarina da ponte A seção transversal 1.

Fonte: Autoria Própria.

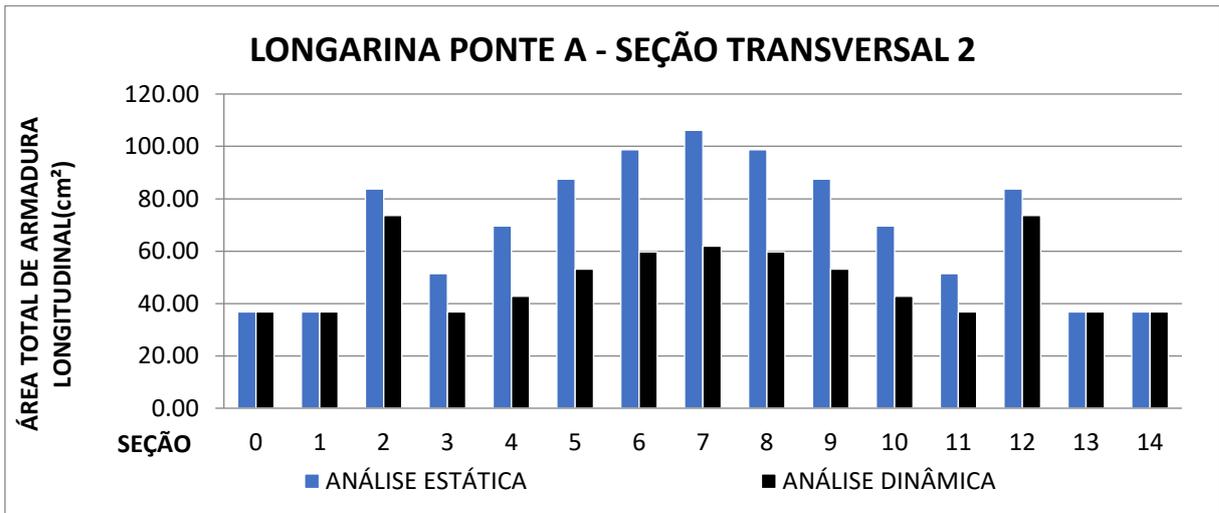


Figura 28 – Áreas totais de armadura longitudinal – longarina da ponte A seção transversal 2.  
Fonte: Autoria Própria.

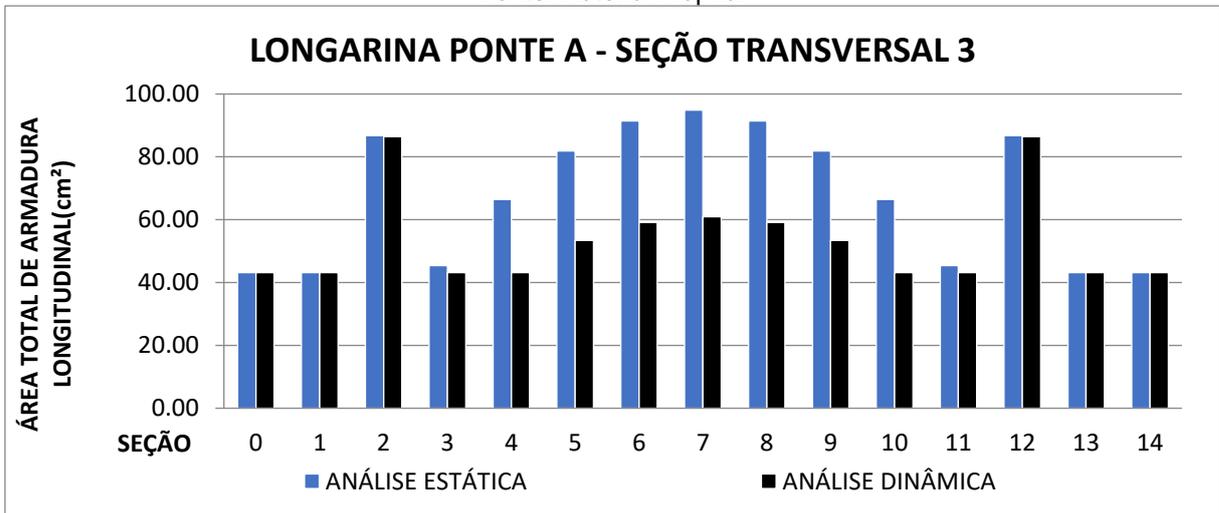


Figura 29 – Áreas totais de armadura longitudinal – longarina da ponte A seção transversal 3.  
Fonte: Autoria Própria.

#### 4.2.2 DIMENSIONAMENTO AO CISALHAMENTO

A NBR 6118:2014 admite para o cálculo das armaduras transversais dois modelos: o Modelo de Cálculo I que é baseado na treliça clássica de Ritter-Mörsch e o Modelo de Cálculo II que admite a ‘treliça generalizada’. Nesse trabalho foi utilizado para o dimensionamento das armaduras transversais o Modelo de Cálculo I.

O modelo de treliça proposto por Ritter-Mörsch admite que o comportamento de uma viga fissurada por cisalhamento se assemelha a uma treliça isostática com diagonais inclinadas a 45°. Nela, cada barra da treliça representa uma parte da viga: o banzo superior é o concreto comprimido pela flexão, o banzo inferior representa a

armadura longitudinal de combate à tração, as diagonais comprimidas são as bielas de compressão do concreto e as diagonais tracionadas são os estribos.

Considerando os estribos à 90°, armaduras transversais foram obtidas por:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{sw}}{0,9x d x f_{ywd}} \quad (4),$$

$$\text{sendo: } V_{sw} = V_{sd} - V_c \quad (5), \text{ com } V_c = 0,6x f_{ctd} x b x d \quad (6);$$

Onde:

$A_{sw} / s$ : Taxa de armadura vertical;

$V_{sw}$ : Parcela do esforço cortante absorvida pelos estribos;

$V_c$ : Parcela do esforço cortante absorvida por mecanismos complementares ao de treliça;

$V_{sd}$ : Esforço cortante de cálculo;

$f_{ctd}$ : Resistência de cálculo do concreto ao cisalhamento;

$f_{ywd}$ : resistência de cálculo ao escoamento do aço, tendo seu valor limite igual a 435 MPa.

#### 4.2.2.1 RUPTURA POR ESMAGAMENTO

Para evitar a ruptura por esmagamento das bielas comprimidas é preciso limitar o esforço solicitante ( $V_{sd}$ ) a:

$$V_{rd2} = 0,27x \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) x f_{cd} x b x d \quad (7); \text{ Onde:}$$

$V_{rd2}$ : Esforço resistente da seção;

$f_{ck}$ : Resistência à compressão característica do concreto;

$f_{cd}$ : Resistência à compressão de cálculo do concreto.  $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$ .

#### 4.2.2.2 ARMADURA MÍNIMA

A NBR 6118 preconiza para vigas submetidas à força cortante a existência de uma taxa de armadura transversal mínima, constituída por estribos, a qual é dada por meio da seguinte fórmula:

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b w x s x \sin \alpha} \geq 0,2 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \quad (8).$$

Onde:

$A_{sw}$ : Área da seção transversal de cada estribo;

$s$ : Espaçamento dos estribos;

$\alpha$ : Ângulo de inclinação dos estribos em relação ao eixo longitudinal da viga;

$f_{ctm}$ : Resistência média à tração do concreto.

#### 4.2.2.3 ARMADURAS TRANSVERSAIS

As armaduras transversais foram dimensionadas de modo a obter a não ruptura da seção por cisalhamento.

##### ➤ ARMADURAS – ANÁLISE PSEUDO - ESTÁTICA

As tabelas de 43 a 45 indicam a área de aço necessária para as longarinas resistirem às tensões originadas do cisalhamento, além dos esforços solicitantes de cálculo e resistentes da seção.

Tabela 43 – Armaduras transversais análise pseudo-estática - Ponte A

ARMADURAS TRANSVERSAIS LONGARINAS PONTE A									
SEÇÃO	SEÇÃO TRANSVERSAL 1			SEÇÃO TRANSVERSAL 2			SEÇÃO TRANSVERSAL 3		
	Asw (cm <sup>2</sup> )	Vsd (kN)	Vrd2 (kN)	Asw (cm <sup>2</sup> )	Vsd (kN)	Vrd2 (kN)	Asw (cm <sup>2</sup> )	Vsd (kN)	Vrd2 (kN)
<b>0</b>	4,10	363,92	2534,14	4,10	399,02	3922,71	4,10	416,57	4617,00
<b>1</b>	9,51	992,54	2534,14	4,10	1046,57	3922,71	4,10	1073,66	4617,00
<b>2</b>	23,98	<b>2268,68</b>	<b>5068,29</b>	10,91	<b>2355,14</b>	<b>7845,43</b>	8,21	<b>2398,69</b>	<b>9234,00</b>
<b>3</b>	<b>25,23</b>	1890,65	2534,14	<b>14,25</b>	1955,39	3922,71	<b>11,24</b>	1988,09	4617,00

4	18,89	1528,51	2534,14	9,97	1577,10	3922,71	7,52	1601,59	4617,00
5	12,72	1176,16	2534,14	5,80	1208,47	3922,71	4,10	1224,88	4617,00
6	6,73	833,61	2534,14	4,10	849,77	3922,71	4,10	857,98	4617,00
7	4,10	489,51	2534,14	4,10	489,51	3922,71	4,10	489,51	4617,00
8	6,73	833,61	2534,14	4,10	849,77	3922,71	4,10	857,98	4617,00
9	12,72	1176,16	2534,14	5,80	1208,47	3922,71	4,10	1224,88	4617,00
10	18,89	1528,51	2534,14	9,97	1577,10	3922,71	7,52	1601,59	4617,00
11	<b>25,23</b>	1890,65	2534,14	<b>14,25</b>	1955,39	3922,71	<b>11,24</b>	1988,09	4617,00
12	23,98	<b>2268,68</b>	<b>5068,29</b>	10,91	<b>2355,14</b>	<b>7845,43</b>	8,21	<b>2398,69</b>	<b>9234,00</b>
13	9,50	992,54	2534,14	4,10	1046,57	3922,71	4,10	1073,66	4617,00
14	4,10	363,92	2534,14	4,10	399,02	3922,71	4,10	416,57	4617,00

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 44 – Armaduras transversais análise pseudo-estática - Ponte B

ARMADURAS LONGITUDINAIS LONGARINAS PONTE B									
SEÇÃO	SEÇÃO TRANSVERSAL 1			SEÇÃO TRANSVERSAL 2			SEÇÃO TRANSVERSAL 3		
	Asw (cm <sup>2</sup> )	Vsd (kN)	Vrd2 (kN)	Asw (cm <sup>2</sup> )	Vsd (kN)	Vrd2 (kN)	Asw (cm <sup>2</sup> )	Vsd (kN)	Vrd2 (kN)
0	4,10	363,92	2534,14	4,10	399,02	3922,71	4,10	416,57	4617,00
1	8,65	943,48	2534,14	4,10	994,73	3922,71	4,10	1020,49	4617,00
2	18,80	1523,05	2534,14	10,12	1590,45	3922,71	7,74	1624,42	4617,00
3	34,21	<b>2853,01</b>	<b>5068,29</b>	17,88	<b>2971,77</b>	<b>7845,43</b>	13,40	<b>3031,74</b>	<b>9234,00</b>
4	<b>35,91</b>	2500,76	2534,14	<b>21,51</b>	2597,81	3922,71	<b>17,57</b>	2646,93	4617,00
5	29,97	2161,40	2534,14	17,49	2242,30	3922,71	14,07	2283,21	4617,00
6	24,15	1828,99	2534,14	13,55	1893,73	3922,71	10,64	1926,43	4617,00
7	18,45	1503,40	2534,14	9,69	1551,99	3922,71	7,28	1576,48	4617,00
8	12,87	1184,66	2534,14	5,90	1216,96	3922,71	4,10	1233,38	4617,00
9	7,41	872,74	2534,14	4,10	888,89	3922,71	4,10	897,10	4617,00
10	4,10	556,36	2534,14	4,10	556,36	3922,71	4,10	556,36	4617,00
11	7,41	872,74	2534,14	4,10	888,89	3922,71	4,10	897,10	4617,00
12	12,87	1184,66	2534,14	5,90	1216,96	3922,71	4,10	1233,38	4617,00
13	18,45	1503,40	2534,14	9,69	1551,99	3922,71	7,28	1576,48	4617,00
14	24,15	1828,99	2534,14	13,55	1893,73	3922,71	10,64	1926,43	4617,00
15	29,97	2161,40	2534,14	17,49	2242,30	3922,71	14,07	2283,21	4617,00
16	<b>35,91</b>	2500,76	2534,14	<b>21,51</b>	2597,81	3922,71	<b>17,57</b>	2646,93	4617,00
17	34,21	<b>2853,01</b>	<b>5068,29</b>	17,88	<b>2971,77</b>	<b>7845,43</b>	13,40	<b>3031,74</b>	<b>9234,00</b>
18	18,80	1523,05	2534,14	10,12	1590,45	3922,71	7,74	1624,42	4617,00
19	8,65	943,48	2534,14	4,10	994,73	3922,71	4,10	1020,49	4617,00
20	4,10	363,92	2534,14	4,10	399,02	3922,71	4,10	416,57	4617,00

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 45 – Armaduras transversais análise pseudo-estática - Ponte C

ARMADURAS TRANSVERSAIS LONGARINAS PONTE C			
SEÇÃO	SEÇÃO TRANSVERSAL 1	SEÇÃO TRANSVERSAL 2	SEÇÃO TRANSVERSAL 3

	Asw (cm <sup>2</sup> )	Vsd (kN)	Vrd2 (kN)	Asw (cm <sup>2</sup> )	Vsd (kN)	Vrd2 (kN)	Asw (cm <sup>2</sup> )	Vsd (kN)	Vrd2 (kN)
<b>0</b>	4,10	363,92	2534,14	4,10	399,02	3922,71	4,10	416,57	4617,00
<b>1</b>	20,52	1621,30	2534,14	11,29	1694,13	3922,71	8,76	1730,74	4617,00
<b>2</b>	<b>44,45</b>	<b>3438,04</b>	<b>5068,29</b>	<b>24,86</b>	<b>3589,10</b>	<b>7845,43</b>	19,49	<b>3665,49</b>	<b>9234,00</b>
<b>3</b>	40,70	2774,49	2534,14	24,79	2887,69	3922,71	<b>20,43</b>	2945,01	4617,00
<b>4</b>	29,56	2137,97	2534,14	17,23	2218,86	3922,71	13,85	2259,77	4617,00
<b>5</b>	18,78	1522,38	2534,14	9,90	1570,97	3922,71	7,47	1595,46	4617,00
<b>6</b>	8,38	927,70	2534,14	4,10	943,85	3922,71	4,10	952,06	4617,00
<b>7</b>	4,10	626,89	2534,14	4,10	626,89	3922,71	4,10	626,89	4617,00
<b>8</b>	8,38	927,70	2534,14	4,10	943,85	3922,71	4,10	952,06	4617,00
<b>9</b>	18,78	1522,38	2534,14	9,90	1570,97	3922,71	7,47	1595,46	4617,00
<b>10</b>	29,56	2137,97	2534,14	17,23	2218,86	3922,71	13,85	2259,77	4617,00
<b>11</b>	40,70	2774,49	2534,14	24,79	2887,69	3922,71	<b>20,43</b>	2945,01	4617,00
<b>12</b>	<b>44,45</b>	<b>3438,04</b>	<b>5068,29</b>	<b>24,86</b>	<b>3589,10</b>	<b>7845,43</b>	19,49	<b>3665,49</b>	<b>9234,00</b>
<b>13</b>	20,52	1621,30	2534,14	11,29	1694,13	3922,71	8,76	1730,74	4617,00
<b>14</b>	4,10	363,92	2534,14	4,10	399,02	3922,71	4,10	416,57	4617,00

Fonte: Autoria Própria.

As seções 3 e 11 da longarina da ponte C com seção transversal 1, rompem por esmagamento da biela comprimida. A fim de evitar que isso ocorra, optou-se por alargar a base delas para 80 cm, assim sendo, a condição Vrd2 maior ou igual a Vsd fica plenamente satisfeita.

Nenhuma outra viga sofreu esmagamento em alguma seção.

### ➤ ARMADURAS – ANÁLISE TRANSIENTE

Os esforços utilizados para o dimensionamento ao cisalhamento foram os máximos atuantes sobre as seções obtidos das análises feitas para as três velocidades anteriormente mencionadas. As tabelas de 46 a 48 ilustram as áreas de armadura, os esforços solicitantes e os de resistência.

Tabela 46 – Armaduras transversais análise transiente- Ponte A

<b>ARMADURAS TRANSVERSAIS PONTE A</b>									
<b>SEÇÃO</b>	<b>SEÇÃO TRANSVERSAL 1</b>			<b>SEÇÃO TRANSVERSAL 2</b>			<b>SEÇÃO TRANSVERSAL 3</b>		
	Asw	Vsd	Vrd2	Asw	Vsd	Vrd2	Asw	Vsd	Vrd2

	(cm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	(cm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	(cm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)
<b>0</b>	4,10	79,25	2534,14	4,10	114,24	3922,71	4,10	131,71	4617,00
<b>1</b>	4,10	318,95	2534,14	4,10	369,96	3922,71	4,10	393,12	4617,00
<b>2</b>	15,01	1755,97	<b>5068,29</b>	<b>8,21</b>	<b>1725,23</b>	<b>7845,43</b>	<b>8,21</b>	1728,11	<b>9234,00</b>
<b>3</b>	6,16	801,35	2534,14	4,10	869,72	3922,71	4,10	901,24	4617,00
<b>4</b>	4,10	615,90	2534,14	4,10	662,68	3922,71	4,10	691,91	4617,00
<b>5</b>	4,10	444,22	2534,14	4,10	477,24	3922,71	4,10	497,12	4617,00
<b>6</b>	4,10	283,35	2534,14	4,10	303,86	3922,71	4,10	312,76	4617,00
<b>7</b>	4,10	134,82	2534,14	4,10	136,67	3922,71	4,10	137,61	4617,00
<b>8</b>	4,10	284,02	2534,14	4,10	303,69	3922,71	4,10	313,71	4617,00
<b>9</b>	4,10	441,74	2534,14	4,10	476,71	3922,71	4,10	495,00	4617,00
<b>10</b>	4,10	614,95	2534,14	4,10	663,47	3922,71	4,10	690,50	4617,00
<b>11</b>	6,23	805,22	2534,14	4,10	874,61	3922,71	4,10	911,57	4617,00
<b>12</b>	<b>15,09</b>	<b>1760,48</b>	<b>5068,29</b>	<b>8,21</b>	1720,79	<b>7845,43</b>	<b>8,21</b>	<b>1728,52</b>	<b>9234,00</b>
<b>13</b>	4,10	307,46	2534,14	4,10	361,94	3922,71	4,10	389,12	4617,00
<b>14</b>	4,10	79,00	2534,14	4,10	114,10	3922,71	4,10	131,65	4617,00

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 47 – Armaduras transversais análise transiente- Ponte B

<b>ARMADURAS TRANSVERSAIS LONGARINAS PONTE B</b>									
<b>SEÇÃO</b>	<b>SEÇÃO TRANSVERSAL 1</b>			<b>SEÇÃO TRANSVERSAL 2</b>			<b>SEÇÃO TRANSVERSAL 3</b>		
	Asw (cm <sup>2</sup> )	Vsd (kN)	Vrd2 (kN)	Asw (cm <sup>2</sup> )	Vsd (kN)	Vrd2 (kN)	Asw (cm <sup>2</sup> )	Vsd (kN)	Vrd2 (kN)
<b>0</b>	4,10	79,55	2534,14	4,10	114,23	3922,71	4,10	131,75	4617,00
<b>1</b>	4,10	315,67	2534,14	4,10	340,55	3922,71	4,10	361,48	4617,00
<b>2</b>	4,10	504,77	2534,14	4,10	545,84	3922,71	4,10	578,60	4617,00
<b>3</b>	28,53	2528,07	<b>5068,29</b>	12,48	2494,55	<b>7845,43</b>	8,46	2517,33	<b>9234,00</b>
<b>4</b>	13,15	1200,33	2534,14	6,78	1295,17	3922,71	5,10	1349,30	4617,00
<b>5</b>	9,73	1005,12	2534,14	4,40	1084,40	3922,71	4,10	1128,06	4617,00
<b>6</b>	6,42	816,26	2534,14	4,10	887,88	3922,71	4,10	921,36	4617,00
<b>7</b>	4,10	641,74	2534,14	4,10	691,83	3922,71	4,10	723,78	4617,00
<b>8</b>	4,10	472,67	2534,14	4,10	507,07	3922,71	4,10	529,25	4617,00
<b>9</b>	4,10	310,22	2534,14	4,10	328,21	3922,71	4,10	337,46	4617,00
<b>10</b>	4,10	149,28	2534,14	4,10	148,87	3922,71	4,10	149,53	4617,00
<b>11</b>	4,10	308,53	2534,14	4,10	327,62	3922,71	4,10	338,07	4617,00
<b>12</b>	4,10	472,14	2534,14	4,10	507,85	3922,71	4,10	526,08	4617,00
<b>13</b>	4,10	641,19	2534,14	4,10	694,45	3922,71	4,10	719,95	4617,00
<b>14</b>	6,39	814,34	2534,14	4,10	880,25	3922,71	4,10	921,28	4617,00
<b>15</b>	9,73	1005,21	2534,14	4,53	1096,16	3922,71	4,10	1135,97	4617,00
<b>16</b>	13,19	1202,49	2534,14	6,95	1310,14	3922,71	5,17	1356,50	4617,00
<b>17</b>	<b>28,78</b>	<b>2542,47</b>	<b>5068,29</b>	<b>12,62</b>	<b>2506,87</b>	<b>7845,43</b>	<b>8,55</b>	<b>2526,39</b>	<b>9234,00</b>
<b>18</b>	4,10	472,18	2534,14	4,10	542,81	3922,71	4,10	577,44	4617,00
<b>19</b>	4,10	276,24	2534,14	4,10	329,61	3922,71	4,10	355,77	4617,00
<b>20</b>	4,10	79,01	2534,14	4,10	114,12	3922,71	4,10	131,67	4617,00

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 48 – Armaduras transversais análise transiente- Ponte C

ARMADURAS TRANSVERSAIS LONGARINAS PONTE C									
SEÇÃO	SEÇÃO TRANSVERSAL 1			SEÇÃO TRANSVERSAL 2			SEÇÃO TRANSVERSAL 3		
	Asw (cm <sup>2</sup> )	Vsd (kN)	Vrd2 (kN)	Asw (cm <sup>2</sup> )	Vsd (kN)	Vrd2 (kN)	Asw (cm <sup>2</sup> )	Vsd (kN)	Vrd2 (kN)
0	4,10	105,09	2534,14	4,10	115,83	3922,71	4,10	132,19	4617,00
1	5,50	763,64	2534,14	4,10	689,42	3922,71	4,10	671,08	4617,00
2	72,21	5024,00	<b>5068,29</b>	36,46	4614,82	<b>7845,43</b>	28,63	4616,82	<b>9234,00</b>
3	19,20	1546,17	2534,14	10,27	1603,97	3922,71	7,53	1601,79	4617,00
4	11,94	1131,18	2534,14	5,35	1168,27	3922,71	4,10	1167,43	4617,00
5	4,32	696,18	2534,14	4,10	751,33	3922,71	4,10	772,10	4617,00
6	4,10	435,39	2534,14	4,10	414,23	3922,71	4,10	422,08	4617,00
7	4,10	251,49	2534,14	4,10	218,96	3922,71	4,10	213,36	4617,00
8	4,10	417,48	2534,14	4,10	413,30	3922,71	4,10	419,03	4617,00
9	5,60	768,91	2534,14	4,10	773,28	3922,71	4,10	776,97	4617,00
10	12,13	1142,39	2534,14	5,53	1184,71	3922,71	4,10	1182,78	4617,00
11	19,34	1554,02	2534,14	10,25	1601,46	3922,71	7,99	1649,93	4617,00
12	<b>80,85</b>	<b>5517,66</b>	<b>5068,29</b>	<b>42,61</b>	<b>5158,72</b>	<b>7845,43</b>	<b>29,02</b>	<b>4657,76</b>	<b>9234,00</b>
13	4,10	636,01	2534,14	4,10	694,15	3922,71	4,10	721,04	4617,00
14	4,10	100,27	2534,14	4,10	115,96	3922,71	4,10	133,24	4617,00

Fonte: Autoria Própria.

O trecho 12 da longarina da ponte c com seção transversal 1, não suporta o esforço solicitado, uma vez que Vrd2 é menor que Vsd, como ilustrado na tabela. Para fazer com que a seção suporte ao esforço cortante, a seção deverá ser alargada para 100 cm.

#### ➤ ÁREAS TOTAIS DE ARMADURAS TRANSVERSAIS

As figuras de 30 a 32 ilustram as áreas totais de armadura transversal nas seções das longarinas da ponte A, quando dimensionadas a partir dos esforços obtidos das análises pseudo-estática e dinâmica transiente. Os gráficos referentes às demais longarinas, como também às longarinas da ponte A, se encontram no apêndice B.

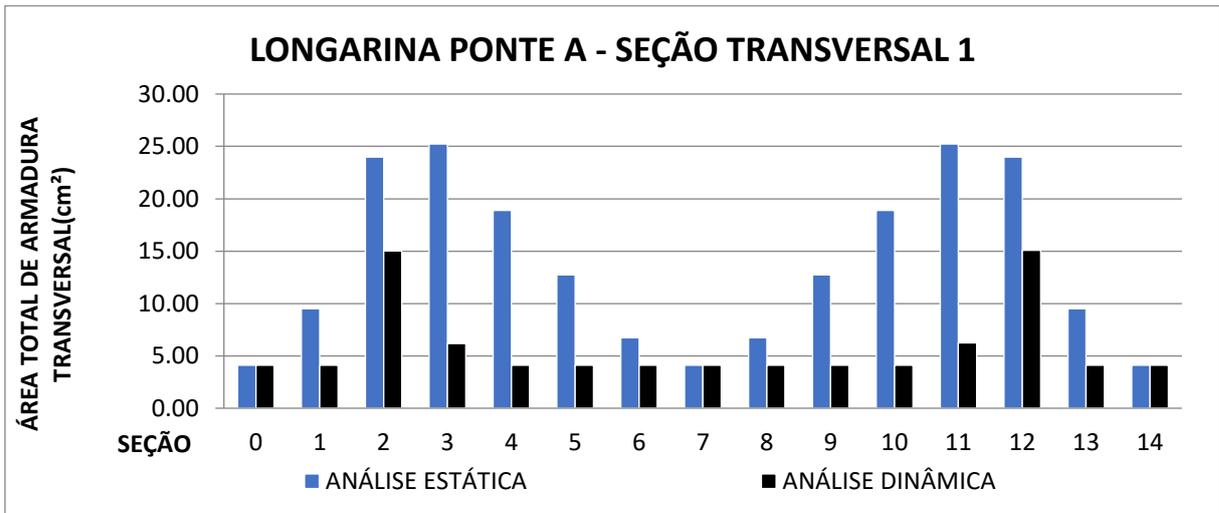


Figura 30 – Áreas totais de armadura transversal – longarina da ponte A seção transversal 1.  
Fonte: Autoria Própria.

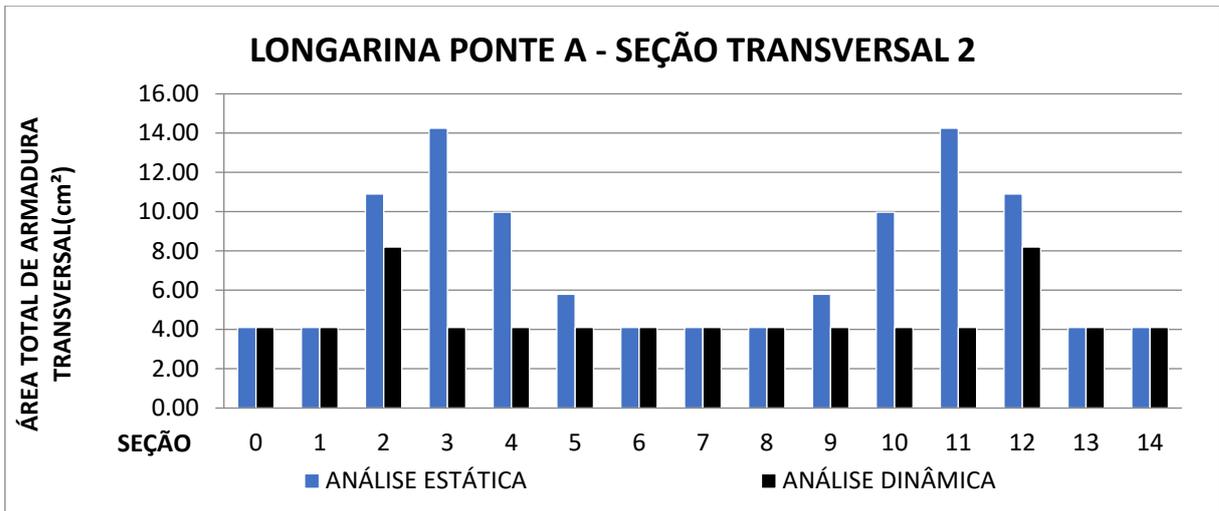


Figura 31 – Áreas totais de armadura transversal – longarina da ponte A seção transversal 2.  
Fonte: Autoria Própria.

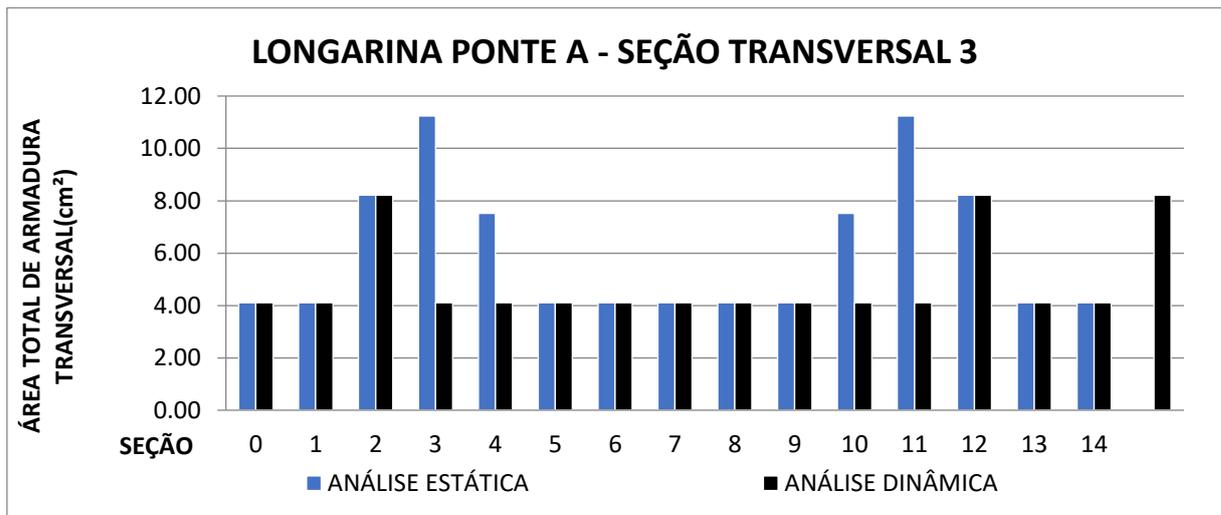


Figura 32 – Áreas totais de armadura transversal – longarina da ponte A seção transversal 3.  
Fonte: Autoria Própria.

### 4.3 VERIFICAÇÃO À FADIGA

A fadiga é a alteração mecânica gerada nos materiais, quando sujeitos a ações que produzem variações de solicitações com frequências relativamente altas (ARAÚJO, 2013).

Devido à atuação de ações repetidas, após o concreto pode fissurar excessivamente e romper após uma alta quantidade de ciclos. Mesmo que a solicitação seja inferior à máxima solicitação estática.

De acordo com El Debs e Takeya (2007) o comportamento à fadiga das estruturas de concreto armado está relacionado às propriedades do aço e do concreto, assim como com a interação entre eles.

#### 4.3.1 VERIFICAÇÃO DA FADIGA NA ARMADURA LONGITUDINAL

De acordo com a NBR 6118:2014, devem ser limitadas as variações de tensões nas barras da armadura longitudinal a valores admissíveis, com o objetivo de prevenir a ruptura por fadiga.

A flutuação de tensão admissível ( $\Delta_{fsd,fad}$ ) para barras retas ou dobradas com diâmetro de dobramento maior que 25 vezes o diâmetro da barra varia de 150 MPa a 190 MPa, em função do diâmetro desta. No presente trabalho, foram consideradas barras com diâmetro igual a 25 mm, sendo o  $\Delta_{fsd,fad}$  igual a 175 MPa.

Segundo Araújo (2013), quando a variação das tensões de serviço nas armaduras ( $\Delta\sigma_s$ ) for superior à  $\Delta f_{sd, fad} / \gamma_{fat}$ , podendo admitir  $\gamma_{fat}$  igual a 1,5, as áreas de aço calculadas, no estágio III, deverão ser majoradas por um coeficiente de fadiga  $K$ .

$$K = \frac{\gamma_{fat} * \Delta\sigma_s}{\Delta f_{sd, fad}} \quad (9)$$

Dessa maneira, as variações de estarão limitadas à  $\Delta f_{sd, fad} / \gamma_{fat}$ .

A variação de tensão ( $\Delta\sigma_s$ ) é definida como:

$$\Delta\sigma_s = \sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{m\acute{i}n} \quad (10),$$

Onde:

- $\sigma_{m\acute{a}x}$ : Tensão normal máxima na armadura;
- $\sigma_{m\acute{i}n}$ : Tensão normal mínima na armadura.

As tensões de serviço podem ser encontradas através de uma combinação frequente de ações, adotando-se coeficientes de minoração ( $\Psi_1$ ) (ARAÚJO,2013). Para longarinas de pontes,  $\Psi_1$  é igual a 0,5.

As tensões máxima e mínima são obtidas a partir do máximo momento de serviço ( $M_{s, m\acute{a}x}$ ) e momento mínimo de serviço ( $M_{s, m\acute{i}n}$ ), respectivamente. Onde:

$$M_{s, m\acute{a}x} = M_{gk} + M_{qk, m\acute{a}x} * \Psi_1 \quad (11);$$

$$M_{s, m\acute{i}n} = M_{gk} + M_{qk, m\acute{i}n} * \Psi_1 \quad (12);$$

Com:

- $M_{gk}$ : Momento característico devido ao carregamento permanente;
- $M_{qk, m\acute{a}x}$ : Momento máximo característico devido ao carregamento acidental;
- $M_{qk, m\acute{i}n}$ : Momento mínimo característico devido ao carregamento acidental.

O cálculo das tensões na armadura é feito admitindo que a seção se encontra no limite do estágio II, ou seja, a distribuição de tensões na região comprimida é linear e o concreto tracionado não resiste aos esforços (ARAÚJO,2013).

### 4.3.2 VERIFICAÇÃO DA FADIGA NA ARMADURA TRANSVERSAL

Faz-se necessária a verificação da variação de tensão nas armaduras transversais, para as cargas em serviço. Com o intuito de impedir a ruptura por fadiga.

Para estribos, a flutuação de tensão admissível ( $\Delta_{fsd,fad}$ ) é fixada em 85 MPa, desde que o diâmetro de dobramento do estribo não seja menor que três vezes o comprimento da barra e o diâmetro desta seja no máximo igual a 10 mm.

Assim como na verificação da fadiga na armadura longitudinal, a variação das tensões de serviço nas armaduras transversais ( $\Delta\sigma_{sw}$ ) não pode superar a  $\Delta_{fsd,fad} / \gamma_{fat}$ , podendo admitir  $\gamma_{fat}$  igual a 1.

A variação das tensões de serviço é definida pela equação 13. Podendo ser encontrada a partir de uma combinação frequentes de ações, adotando o coeficiente de minoração ( $\Psi_1$ ) como 0,5.

$$\Delta\sigma_{sw} = \sigma_{wm\acute{a}x} - \sigma_{wm\grave{a}n} \quad (13),$$

Onde:

- $\sigma_{wm\acute{a}x}$ : Tensão de cisalhamento máxima na armadura;
- $\sigma_{wm\grave{a}n}$ : Tensão de cisalhamento mínima na armadura.

A partir dos esforços cortantes, máximo ( $V_{s,m\acute{a}x}$ ) e mínimo ( $V_{s,m\grave{a}n}$ ), podem ser obtidas, respectivamente, as tensões de cisalhamento máxima ( $\sigma_{sw,m\acute{a}x}$ ) e mínima ( $\sigma_{sw,m\grave{a}n}$ ).

Os valores de  $V_{s,m\acute{a}x}$  e  $V_{s,m\grave{a}n}$  são dados por:

-Se  $V_{gk} > 0$ , então:

$$V_{s,m\acute{a}x} = V_{gk} + V_{qk,m\acute{a}x} * \Psi_1 \quad (14);$$

$$V_{s,m\grave{a}n} = V_{gk} + V_{qk,m\grave{a}n} * \Psi_1 \quad (15).$$

-Se  $V_{gk} < 0$ , então:

$$V_{s, \text{máx}} = -(V_{gk} + V_{qk, \text{mín}} * \Psi_1) \quad (16);$$

$$V_{s, \text{máx}} = -(V_{gk} + V_{qk, \text{máx}} * \Psi_1) \quad (17).$$

Onde:

- $V_{gk}$ : Esforço cortante característico devido ao carregamento permanente;
- $V_{qk, \text{máx}}$ : Esforço cortante máximo característico devido ao carregamento accidental;
- $V_{qk, \text{mín}}$ : esforço cortante mínimo característico devido ao carregamento accidental.

As equações 18 e 19 ilustram a obtenção de  $\sigma_{sw, \text{máx}}$  e  $\sigma_{sw, \text{mín}}$ , respectivamente:

$$\sigma_{sw, \text{máx}} = \frac{V_{s, \text{máx}} - 0,5 * V_c}{0,9 * d * A_{sw}/s} \quad (18);$$

$$\sigma_{sw, \text{mín}} = \frac{V_{s, \text{mín}} - 0,5 * V_c}{0,9 * d * A_{sw}/s} \quad (19).$$

Onde:

- $V_c$ : Parcela do esforço cortante absorvida por mecanismos complementares ao de treliça;
- $A_{sw}$ : Área de armadura transversal;
- $s$ : Espaçamento dos estribos;
- $d$ : Altura útil da seção.

Caso  $\sigma_{sw, \text{máx}}$  ou  $\sigma_{sw, \text{mín}}$  resulte em um valor negativo, deverá ser adotado o resultado deste igual a 0.

Uma vez obtida a variação de tensão, caso ela supere a tensão máxima admissível, o valor da armadura obtida deverá ser majorado pelo coeficiente  $K$ .

Onde:

$$K = \frac{\gamma_{fat} * \Delta\sigma_{sw}}{\Delta f_{sd, fat}} \quad (20).$$

### 4.3.3 ARMADURAS FINAIS

Nos itens 4.3.3.1 e 4.3.3.2 estarão ilustrados os valores finais das armaduras longitudinais e transversais, obtidas a partir da verificação da fadiga.

#### 4.3.3.1 ARMADURAS – ANÁLISE ESTÁTICA

As tabelas de 49 a 51 ilustram os valores das armaduras longitudinais:

Tabela 49 – Armaduras longitudinais corrigidas análise pseudo-estática - Ponte A

ARMADURAS LONGITUDINAIS LONGARINAS PONTE A									
SEÇÃO	SEÇÃO TRANSVERSAL 1			SEÇÃO TRANSVERSAL 2			SEÇÃO TRANSVERSAL 3		
	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )
0	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
1	17,94	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
2	<b>59,10</b>	18,00	<b>12,00</b>	<b>37,75</b>	27,60	<b>18,40</b>	<b>32,73</b>	32,40	<b>21,60</b>
3	33,61	56,93	6,00	22,12	31,55	9,20	19,43	25,01	10,80
4	15,34	106,48	6,00	13,80	65,30	9,20	16,20	54,72	10,80
5	9,00	123,56	6,00	13,80	75,52	9,20	16,20	63,23	10,80
6	9,00	133,06	6,00	13,80	81,16	9,20	16,20	67,91	10,80
7	9,00	<b>133,93</b>	6,00	13,80	<b>83,21</b>	9,20	16,20	<b>68,30</b>	10,80
8	9,00	133,06	6,00	13,80	81,16	9,20	16,20	67,91	10,80
9	9,00	123,56	6,00	13,80	75,52	9,20	16,20	63,23	10,80
10	15,34	106,48	6,00	13,80	65,30	9,20	16,20	54,72	10,80
11	33,61	56,93	6,00	22,12	31,55	9,20	19,43	25,01	10,80
12	<b>59,10</b>	18,00	<b>12,00</b>	<b>37,75</b>	27,60	<b>18,40</b>	<b>32,73</b>	32,40	<b>21,60</b>
13	17,94	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
14	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 50 – Armaduras longitudinais corrigidas análise pseudo-estática - Ponte B

ARMADURAS LONGITUDINAIS LONGARINAS PONTE B									
SEÇÃO	SEÇÃO TRANSVERSAL 1			SEÇÃO TRANSVERSAL 2			SEÇÃO TRANSVERSAL 3		
	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )
0	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
1	13,64	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
2	46,29	9,00	6,00	28,55	13,80	9,20	24,80	16,20	10,80
3	<b>94,59</b>	18,00	<b>12,00</b>	<b>57,82</b>	27,60	<b>18,40</b>	<b>50,02</b>	32,40	<b>21,60</b>
4	61,28	69,89	6,00	39,77	37,30	9,20	34,38	28,47	10,80

5	28,84	147,75	6,00	17,64	90,59	9,20	16,20	75,91	10,80
6	9,00	176,43	6,00	13,80	107,71	9,20	16,20	90,14	10,80
7	9,00	197,20	6,00	13,80	120,15	9,20	16,20	100,41	10,80
8	9,00	220,00	6,00	13,80	136,18	9,20	16,20	111,50	10,80
9	9,00	237,33	6,00	13,80	147,04	9,20	16,20	125,68	10,80
10	9,00	<b>243,31</b>	6,00	13,80	<b>150,78</b>	9,20	16,20	<b>128,89</b>	10,80
11	9,00	237,33	6,00	13,80	147,04	9,20	16,20	125,68	10,80
12	9,00	220,00	6,00	13,80	136,18	9,20	16,20	111,50	10,80
13	9,00	197,20	6,00	13,80	120,15	9,20	16,20	100,41	10,80
14	9,00	176,43	6,00	13,80	107,71	9,20	16,20	90,14	10,80
15	28,84	147,75	6,00	17,64	90,59	9,20	16,20	75,91	10,80
16	61,28	69,89	6,00	39,77	37,30	9,20	34,38	28,47	10,80
17	<b>94,59</b>	9,00	<b>12,00</b>	<b>57,82</b>	27,60	<b>18,40</b>	<b>50,02</b>	32,40	<b>21,60</b>
18	46,29	9,00	6,00	28,55	13,80	9,20	24,80	16,20	10,80
19	13,64	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
20	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 51 – Armaduras longitudinais corrigidas análise pseudo-estática - Ponte C

ARMADURAS LONGITUDINAIS LONGARINAS PONTE C									
SEÇÃO	SEÇÃO TRANSVERSAL 1			SEÇÃO TRANSVERSAL 2			SEÇÃO TRANSVERSAL 3		
	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )
0	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
1	66,16	9,00	6,00	35,88	13,80	9,20	31,34	16,20	10,80
2	<b>211,93</b>	18,00	<b>12,00</b>	<b>103,96</b>	27,60	<b>18,40</b>	<b>86,87</b>	32,40	<b>21,60</b>
3	81,68	184,79	<b>12,00</b>	48,12	111,58	9,20	39,74	91,85	10,80
4	19,93	282,82	<b>12,00</b>	13,80	171,89	9,20	16,20	143,63	10,80
5	9,00	322,45	6,00	13,80	195,07	9,20	16,20	162,90	10,80
6	9,00	358,20	6,00	13,80	211,51	9,20	16,20	182,33	10,80
7	9,00	<b>378,33</b>	6,00	13,80	<b>214,84</b>	9,20	16,20	<b>185,21</b>	10,80
8	9,00	358,20	6,00	13,80	211,51	9,20	16,20	182,33	10,80
9	9,00	322,45	6,00	13,80	195,07	9,20	16,20	162,90	10,80
10	19,93	282,82	<b>12,00</b>	13,80	171,89	9,20	16,20	143,63	10,80
11	81,68	184,79	<b>12,00</b>	48,12	111,58	9,20	39,74	91,85	10,80
12	<b>211,93</b>	18,00	<b>12,00</b>	<b>103,96</b>	27,60	<b>18,40</b>	<b>86,87</b>	32,40	<b>21,60</b>
13	66,16	9,00	6,00	35,88	13,80	9,20	31,34	16,20	10,80
14	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80

Fonte: Autoria Própria.

As figuras de 33 a 35 apresentam as áreas totais de armadura longitudinal:

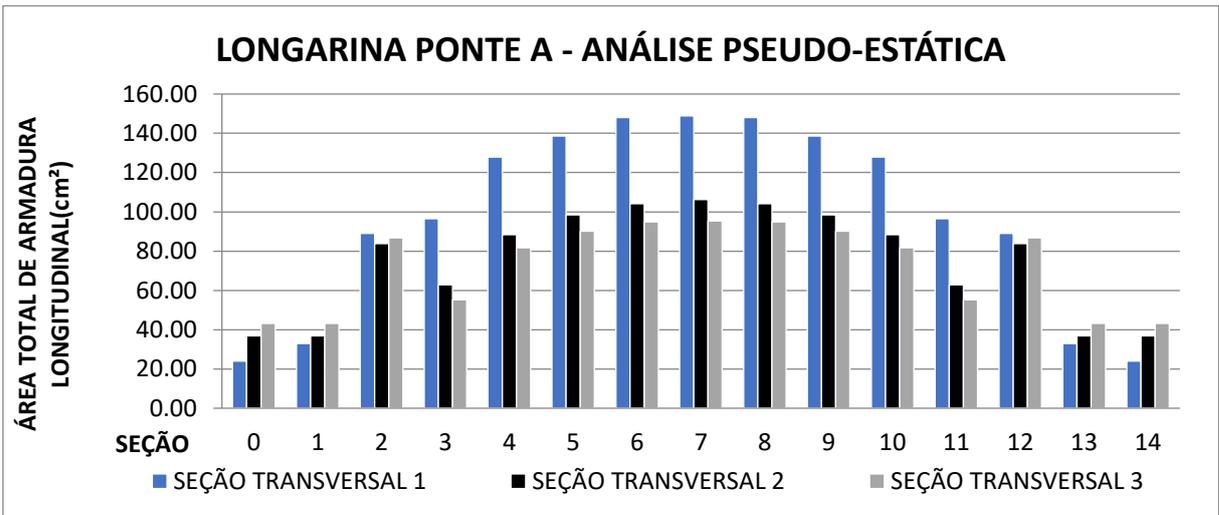


Figura 33 – Áreas finais de armadura longitudinal – longarina da ponte A- Análise pseudo-estática.  
Fonte: Autoria Própria.

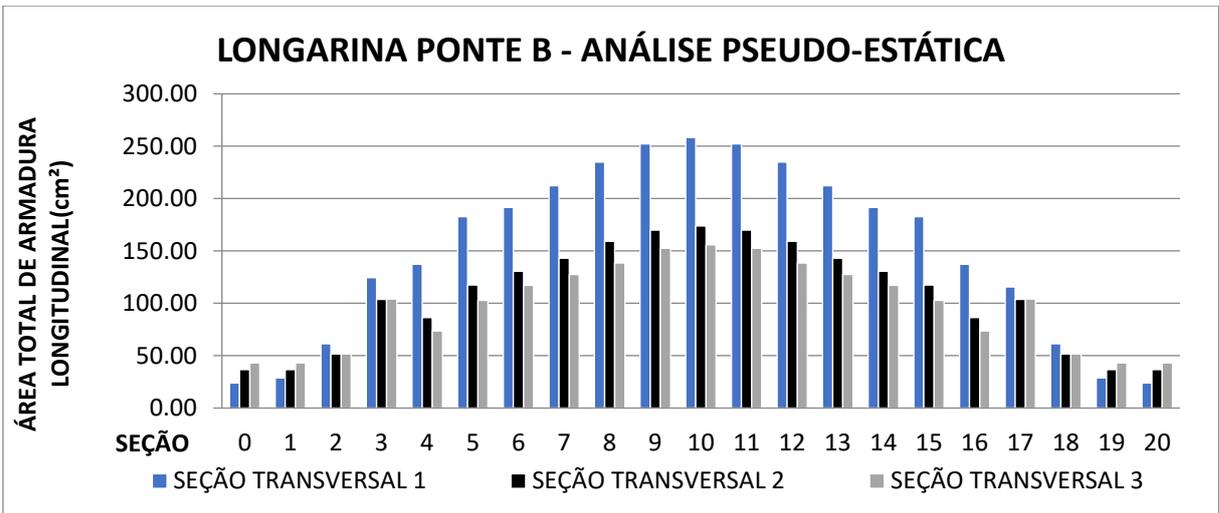


Figura 34 – Áreas finais de armadura longitudinal – longarina da ponte B- Análise pseudo-estática.  
Fonte: Autoria Própria.

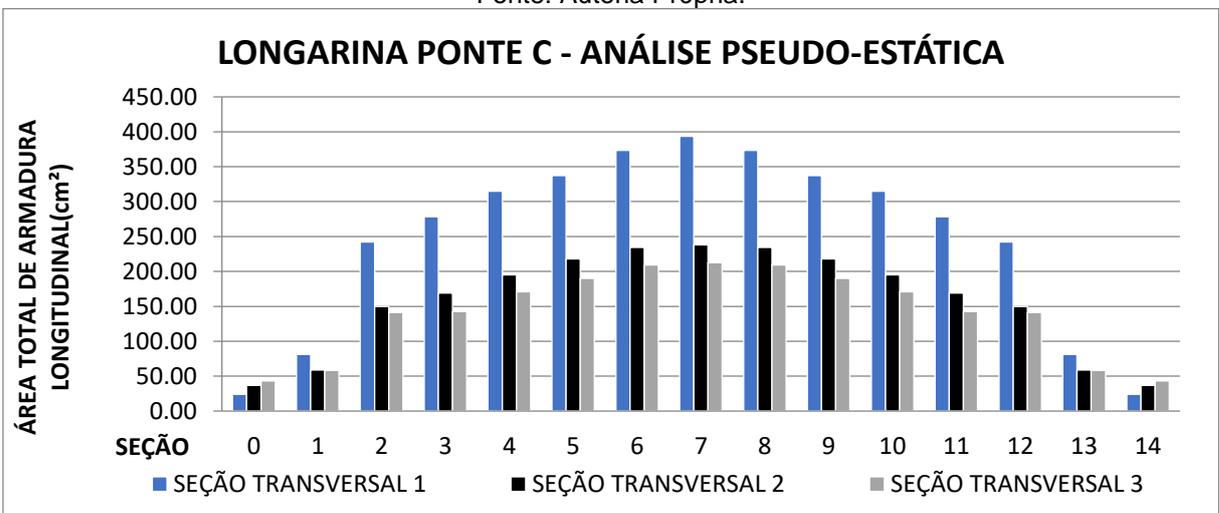


Figura 35 – Áreas finais de armadura longitudinal – longarina da ponte C- Análise pseudo-estática.  
Fonte: Autoria Própria.

As tabelas de 52 a 54 e as figuras de 36 a 38 ilustram os valores das armaduras transversais:

Tabela 52 – Armaduras transversais corrigidas análise pseudo-estática - Ponte A

<b>ARMADURAS TRANSVERSAIS LONGARINAS PONTE A</b>			
<b>SEÇÃO</b>	<b>SEÇÃO TRANSVERSAL 1</b>	<b>SEÇÃO TRANSVERSAL 2</b>	<b>SEÇÃO TRANSVERSAL 3</b>
	Asw (cm <sup>2</sup> )	Asw (cm <sup>2</sup> )	Asw (cm <sup>2</sup> )
<b>0</b>	4,10	4,10	4,10
<b>1</b>	20,48	8,56	5,23
<b>2</b>	<b>42,20</b>	<b>27,26</b>	<b>21,61</b>
<b>3</b>	37,06	23,94	20,34
<b>4</b>	32,51	21,00	17,84
<b>5</b>	29,77	13,50	9,04
<b>6</b>	12,44	4,10	4,10
<b>7</b>	4,10	4,10	4,10
<b>8</b>	12,44	4,10	4,10
<b>9</b>	29,77	13,50	9,04
<b>10</b>	32,51	21,00	17,84
<b>11</b>	37,06	23,94	20,34
<b>12</b>	<b>42,20</b>	<b>27,26</b>	<b>21,61</b>
<b>13</b>	20,48	8,56	5,23
<b>14</b>	4,10	4,10	4,10

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 53 – Armaduras transversais corrigidas análise pseudo-estática - Ponte B

<b>ARMADURAS LONGITUDINAIS LONGARINAS PONTE B</b>			
<b>SEÇÃO</b>	<b>SEÇÃO TRANSVERSAL 1</b>	<b>SEÇÃO TRANSVERSAL 2</b>	<b>SEÇÃO TRANSVERSAL 3</b>
	Asw (cm <sup>2</sup> )	Asw (cm <sup>2</sup> )	Asw (cm <sup>2</sup> )
<b>0</b>	4,10	4,10	4,10
<b>1</b>	18,04	6,73	4,10
<b>2</b>	31,47	20,33	17,27
<b>3</b>	<b>48,40</b>	<b>31,26</b>	<b>26,56</b>
<b>4</b>	43,98	28,41	24,14
<b>5</b>	39,98	25,83	21,94
<b>6</b>	36,39	23,51	19,97
<b>7</b>	34,81	22,49	19,11
<b>8</b>	30,02	13,66	9,18
<b>9</b>	13,60	4,10	4,10
<b>10</b>	4,10	4,10	4,10
<b>11</b>	13,60	4,10	4,10
<b>12</b>	30,02	13,66	9,18
<b>13</b>	34,81	22,49	19,11

14	36,39	23,51	19,97
15	39,98	25,83	21,94
16	43,98	28,41	24,14
17	<b>48,40</b>	<b>31,26</b>	<b>26,56</b>
18	31,47	20,33	17,27
19	18,04	6,73	4,10
20	4,10	4,10	4,10

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 54 – Armaduras transversais corrigidas análise pseudo-estática - Ponte C

ARMADURAS TRANSVERSAIS LONGARINAS PONTE C			
SEÇÃO	SEÇÃO TRANSVERSAL 1	SEÇÃO TRANSVERSAL 2	SEÇÃO TRANSVERSAL 3
	Asw (cm <sup>2</sup> )	Asw (cm <sup>2</sup> )	Asw (cm <sup>2</sup> )
0	4,10	4,10	4,10
1	32,46	20,97	17,81
2	<b>55,90</b>	<b>36,11</b>	<b>30,68</b>
3	48,22	31,15	26,47
4	41,80	27,00	22,94
5	38,59	24,93	19,50
6	15,24	4,10	4,10
7	4,10	4,10	4,10
8	15,24	4,10	4,10
9	38,59	24,93	19,50
10	41,80	27,00	22,94
11	48,22	31,15	26,47
12	<b>55,90</b>	<b>36,11</b>	<b>30,68</b>
13	20,52	11,29	8,76
14	4,10	4,10	4,10

Fonte: Autoria Própria.

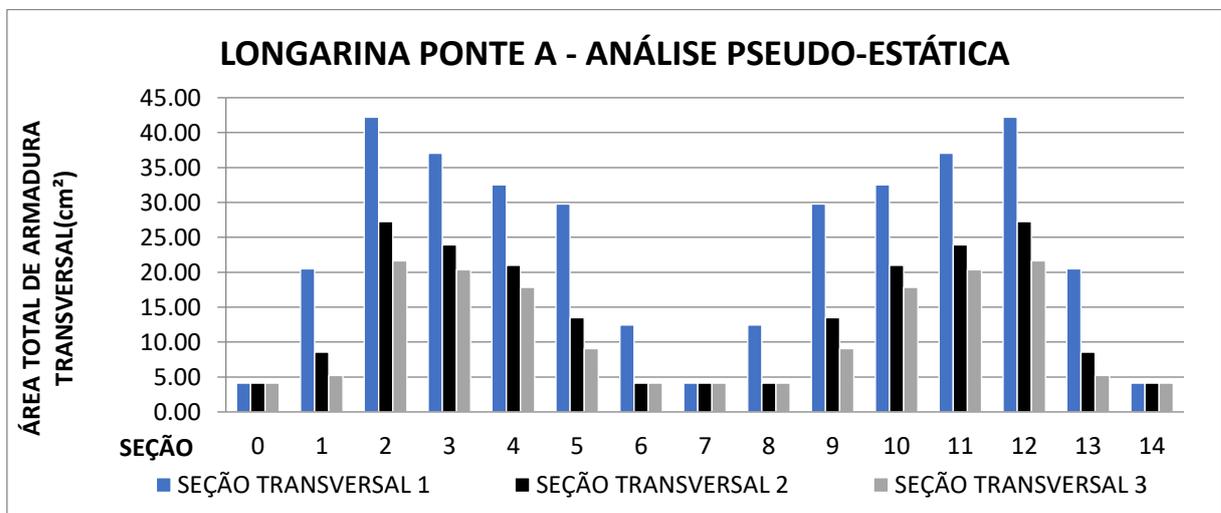


Figura 36 – Áreas finais de armadura transversal – longarina da ponte A- Análise pseudo-estática.

Fonte: Autoria Própria.

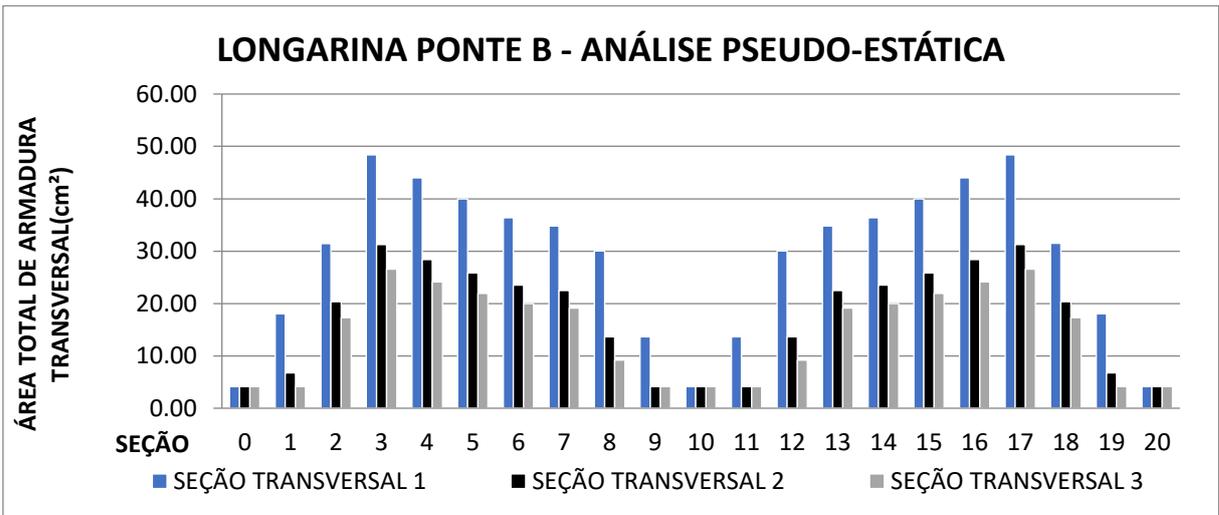


Figura 37 – Áreas finais de armadura transversal – longarina da ponte B- Análise pseudo-estática. Fonte: Autoria Própria.

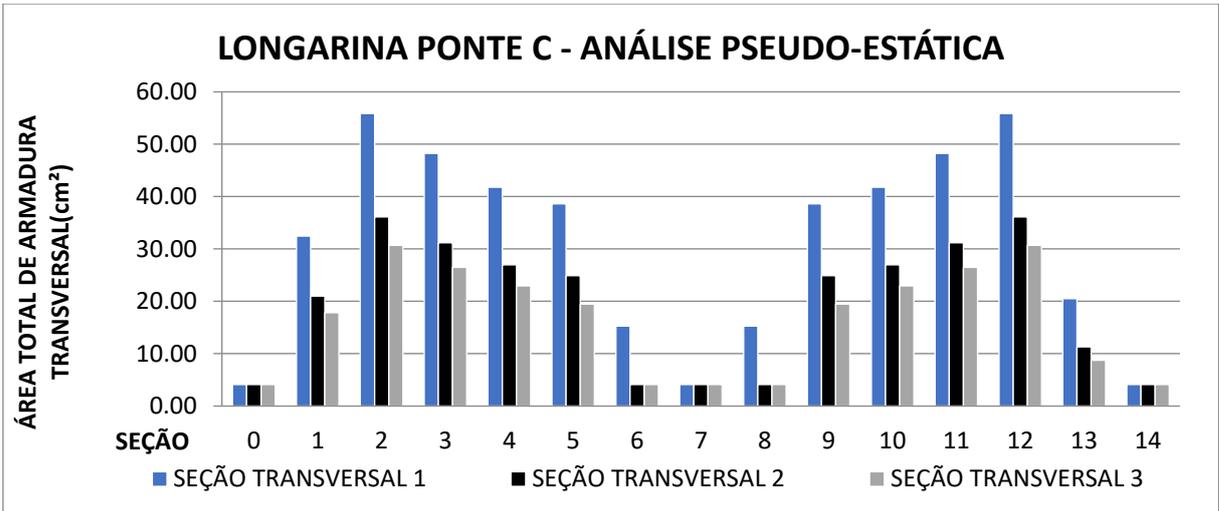


Figura 38 – Áreas finais de armadura transversal – longarina da ponte C- Análise pseudo-estática. Fonte: Autoria Própria.

### 4.3.3.2 ARMADURAS – ANÁLISE TRANSIENTE

As tabelas de 55 a 57 ilustram os valores das armaduras longitudinais:

Tabela 55 – Armaduras longitudinais corrigidas análise transiente - Ponte A

ARMADURAS LONGITUDINAIS LONGARINAS PONTE A									
SEÇÃO	SEÇÃO TRANSVERSAL 1			SEÇÃO TRANSVERSAL 2			SEÇÃO TRANSVERSAL 3		
	As(-) (cm²)	As(+) (cm²)	As Pele (cm²)	As(-) (cm²)	As(+) (cm²)	As Pele (cm²)	As(-) (cm²)	As(+) (cm²)	As Pele (cm²)
0	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
1	10,31	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80

2	23,60	18,00	12,00	27,60	27,60	18,40	32,40	32,40	21,60
3	9,00	9,11	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
4	9,00	24,78	6,00	13,80	15,94	9,20	16,20	16,20	10,80
5	9,00	40,76	6,00	13,80	26,62	9,20	16,20	22,92	10,80
6	9,00	53,22	6,00	13,80	33,38	9,20	16,20	28,78	10,80
7	9,00	56,89	6,00	13,80	35,80	9,20	16,20	30,85	10,80
8	9,00	53,08	6,00	13,80	33,36	9,20	16,20	28,78	10,80
9	9,00	40,81	6,00	13,80	26,63	9,20	16,20	22,91	10,80
10	9,00	24,78	6,00	13,80	15,94	9,20	16,20	16,20	10,80
11	9,00	9,05	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
12	23,60	18,00	12,00	27,60	27,60	18,40	32,40	32,40	21,60
13	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
14	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 56 – Armaduras longitudinais corrigidas análise transiente - Ponte B

<b>ARMADURAS LONGITUDINAIS LONGARINAS PONTE B</b>									
<b>SEÇÃO</b>	<b>SEÇÃO TRANSVERSAL 1</b>			<b>SEÇÃO TRANSVERSAL 2</b>			<b>SEÇÃO TRANSVERSAL 3</b>		
	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )
0	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
1	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
2	27,50	9,00	6,00	17,79	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
3	37,63	18,00	12,00	27,60	27,60	18,40	32,40	32,40	21,60
4	9,00	13,14	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
5	9,00	33,73	6,00	13,80	21,83	9,20	16,20	16,20	10,80
6	9,00	59,63	6,00	13,80	39,25	9,20	16,20	33,88	10,80
7	9,00	84,33	6,00	13,80	53,37	9,20	16,20	46,25	10,80
8	9,00	100,54	6,00	13,80	63,83	9,20	16,20	55,25	10,80
9	9,00	110,58	6,00	13,80	70,26	9,20	16,20	63,51	10,80
10	9,00	114,20	6,00	13,80	72,53	9,20	16,20	65,70	10,80
11	9,00	110,53	6,00	13,80	70,19	9,20	16,20	63,61	10,80
12	9,00	100,47	6,00	13,80	63,81	9,20	16,20	55,36	10,80
13	9,00	84,25	6,00	13,80	53,38	9,20	16,20	46,19	10,80
14	9,00	59,65	6,00	13,80	39,25	9,20	16,20	33,89	10,80
15	9,00	33,66	6,00	13,80	21,64	9,20	16,20	16,20	10,80
16	9,00	13,01	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
17	36,55	9,00	12,00	27,60	27,60	18,40	32,40	32,40	21,60
18	24,74	9,00	6,00	16,59	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
19	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
20	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 57 – Armaduras longitudinais corrigidas análise transiente - Ponte C

ARMADURAS LONGITUDINAIS LONGARINAS PONTE C									
SEÇÃO	SEÇÃO TRANSVERSAL 1			SEÇÃO TRANSVERSAL 2			SEÇÃO TRANSVERSAL 3		
	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )	As(-) (cm <sup>2</sup> )	As(+) (cm <sup>2</sup> )	As Pele (cm <sup>2</sup> )
0	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80
1	44,78	9,00	6,00	25,99	13,80	9,20	22,19	16,20	10,80
2	88,49	18,00	12,00	54,60	27,60	18,40	48,47	32,40	21,60
3	9,00	37,61	6,00	13,80	20,03	9,20	16,20	16,20	10,80
4	9,00	102,82	6,00	13,80	60,73	9,20	16,20	53,09	10,80
5	9,00	157,87	6,00	13,80	94,34	9,20	16,20	82,57	10,80
6	9,00	180,64	6,00	13,80	108,57	9,20	16,20	94,56	10,80
7	9,00	185,04	6,00	13,80	110,78	9,20	16,20	95,39	10,80
8	9,00	185,13	6,00	13,80	110,80	9,20	16,20	95,15	10,80
9	9,00	158,15	6,00	13,80	95,98	9,20	16,20	82,73	10,80
10	9,00	101,43	6,00	13,80	60,76	9,20	16,20	52,96	10,80
11	9,00	42,05	6,00	13,80	22,08	9,20	16,20	16,20	10,80
12	88,99	22,50	15,00	52,99	27,60	18,40	45,85	32,40	21,60
13	36,94	9,00	6,00	21,25	13,80	9,20	18,83	16,20	10,80
14	9,00	9,00	6,00	13,80	13,80	9,20	16,20	16,20	10,80

Fonte: Autoria Própria.

As figuras de 39 a 41 apresentam as áreas totais de armadura longitudinal:

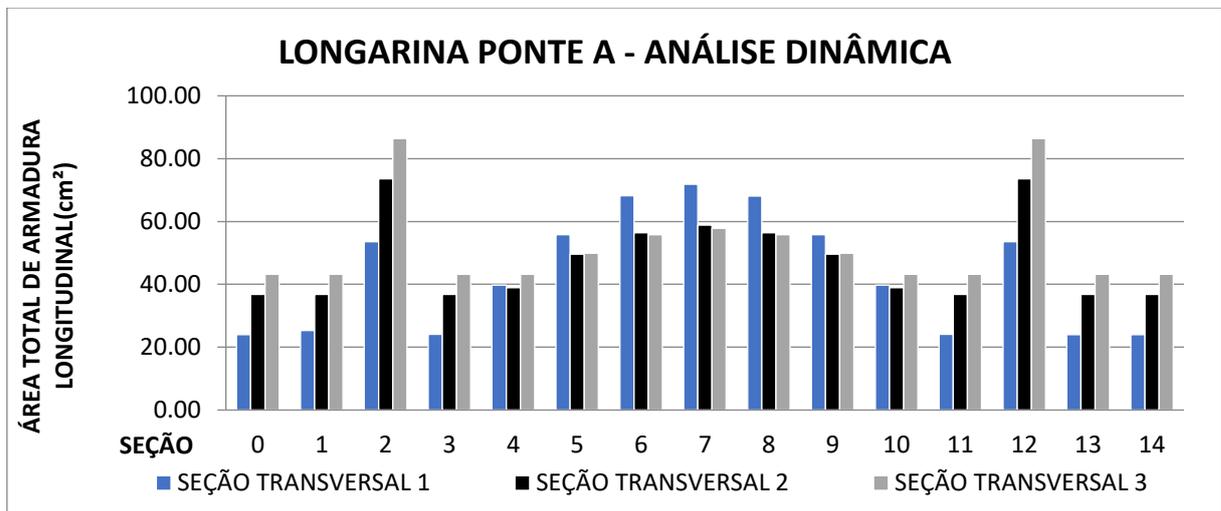


Figura 39 – Áreas finais de armadura longitudinal – longarina da ponte A- Análise dinâmica.

Fonte: Autoria Própria.

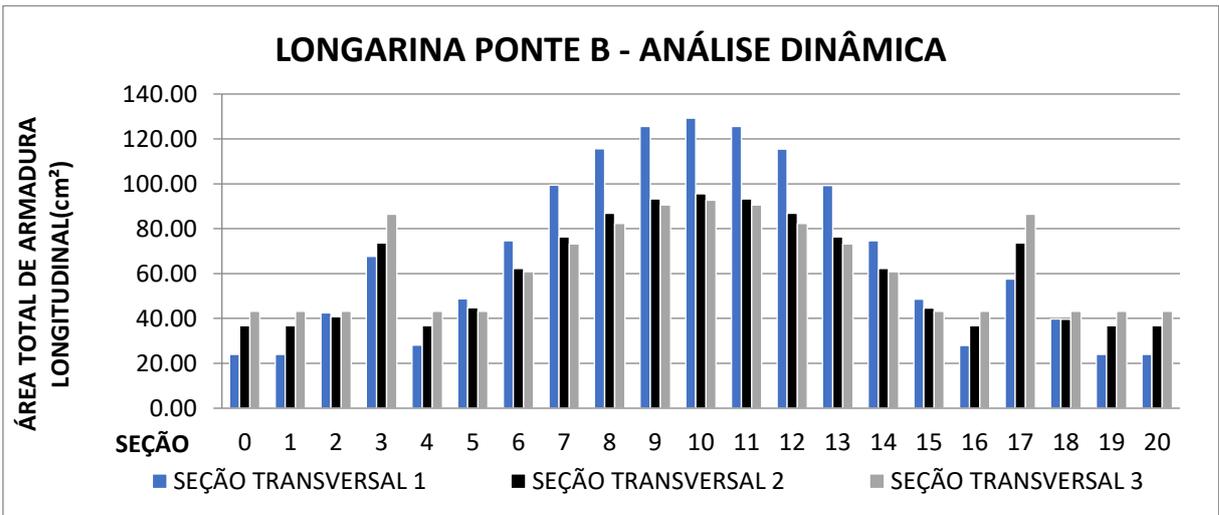


Figura 40 – Áreas finais de armadura longitudinal – longarina da ponte B- Análise dinâmica.  
Fonte: Autoria Própria.

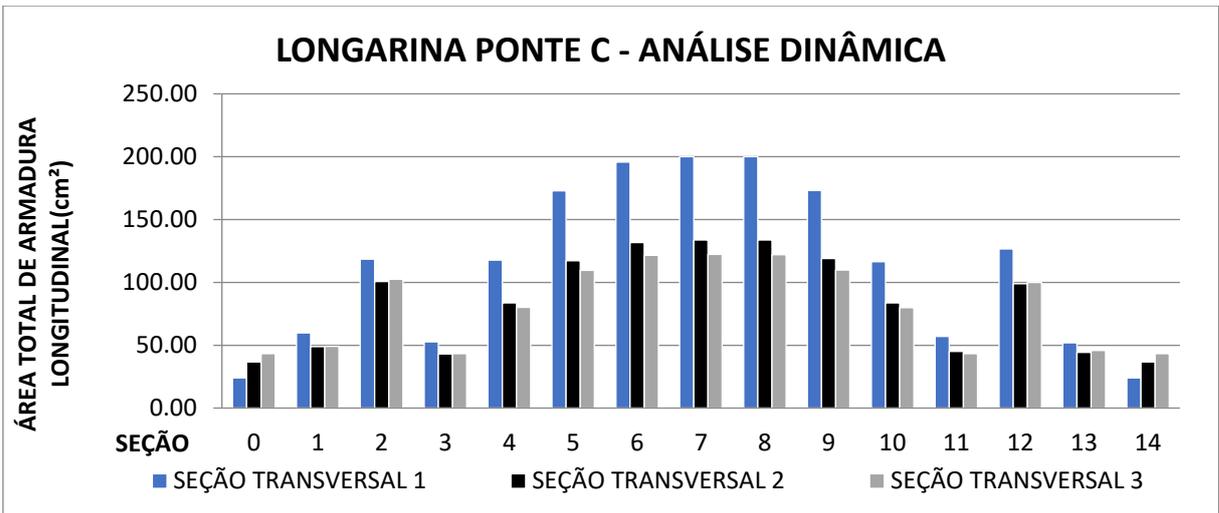


Figura 41 – Áreas finais de armadura longitudinal – longarina da ponte C- Análise dinâmica.  
Fonte: Autoria Própria.

As tabelas de 58 a 60 e figuras de 42 a 44 ilustram os valores das armaduras transversais:

Tabela 58 – Armaduras transversais corrigidas análise transiente - Ponte A

ARMADURAS TRANSVERSAIS LONGARINAS PONTE A			
SEÇÃO	SEÇÃO TRANSVERSAL 1	SEÇÃO TRANSVERSAL 2	SEÇÃO TRANSVERSAL 3
	Asw (cm²)	Asw (cm²)	Asw (cm²)
0	4,10	4,10	4,10
1	4,10	4,10	4,10
2	43,89	18,55	10,63
3	9,16	5,97	4,97
4	8,39	5,30	4,58

5	7,75	4,10	4,10
6	4,10	4,10	4,10
7	4,10	4,10	4,10
8	4,10	4,10	4,10
9	7,59	4,10	4,10
10	8,43	5,34	4,54
11	9,29	6,08	5,18
12	40,54	18,46	10,64
13	4,10	4,10	4,10
14	4,10	4,10	4,10

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 59 – Armaduras transversais corrigidas análise transiente - Ponte B

<b>ARMADURAS TRANSVERSAIS LONGARINAS PONTE B</b>			
<b>SEÇÃO</b>	<b>SEÇÃO TRANSVERSAL 1</b>	<b>SEÇÃO TRANSVERSAL 2</b>	<b>SEÇÃO TRANSVERSAL 3</b>
	Asw (cm <sup>2</sup> )	Asw (cm <sup>2</sup> )	Asw (cm <sup>2</sup> )
0	4,10	4,10	4,10
1	4,10	4,10	4,10
2	12,05	4,10	4,10
3	72,31	38,68	31,18
4	13,15	6,78	5,49
5	9,73	6,09	5,11
6	8,87	5,75	4,96
7	8,48	5,49	4,74
8	8,19	4,10	4,10
9	4,10	4,10	4,10
10	4,10	4,10	4,10
11	4,10	4,10	4,10
12	8,17	4,10	4,10
13	8,44	5,53	4,75
14	8,76	5,61	4,92
15	9,73	6,22	5,27
16	13,19	6,95	5,71
17	64,37	35,93	29,10
18	10,18	4,10	4,10
19	4,10	4,10	4,10
20	4,10	4,10	4,10

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 60 – Armaduras transversais corrigidas análise transiente - Ponte C

<b>ARMADURAS TRANSVERSAIS LONGARINAS PONTE C</b>			
<b>SEÇÃO</b>	<b>SEÇÃO TRANSVERSAL 1</b>	<b>SEÇÃO TRANSVERSAL 2</b>	<b>SEÇÃO TRANSVERSAL 3</b>

	Asw (cm <sup>2</sup> )	Asw (cm <sup>2</sup> )	Asw (cm <sup>2</sup> )
0	4,10	4,10	4,10
1	22,15	7,48	4,10
2	174,48	94,15	75,50
3	24,78	13,60	10,92
4	19,85	11,68	9,35
5	12,63	8,36	6,01
6	4,10	4,10	4,10
7	4,10	4,10	4,10
8	4,10	4,10	4,10
9	16,10	9,20	6,09
10	21,60	13,16	9,79
11	25,37	15,24	11,66
12	179,15	104,63	76,18
13	18,34	7,57	4,58
14	4,10	4,10	4,10

Fonte: Autoria Própria.

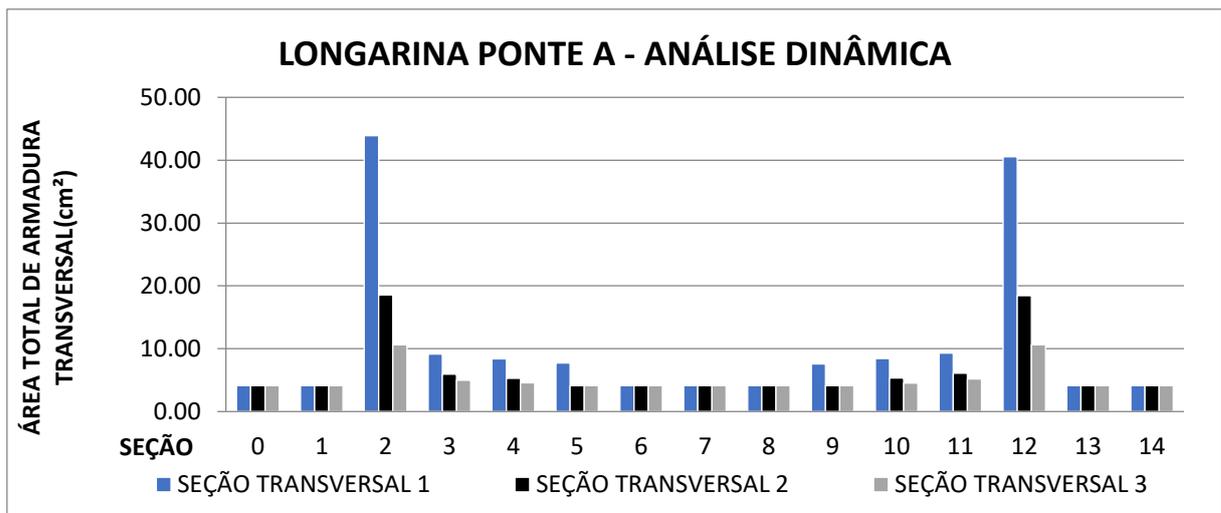


Figura 42 – Áreas finais de armadura transversal – longarina da ponte A - Análise dinâmica.

Fonte: Autoria Própria.

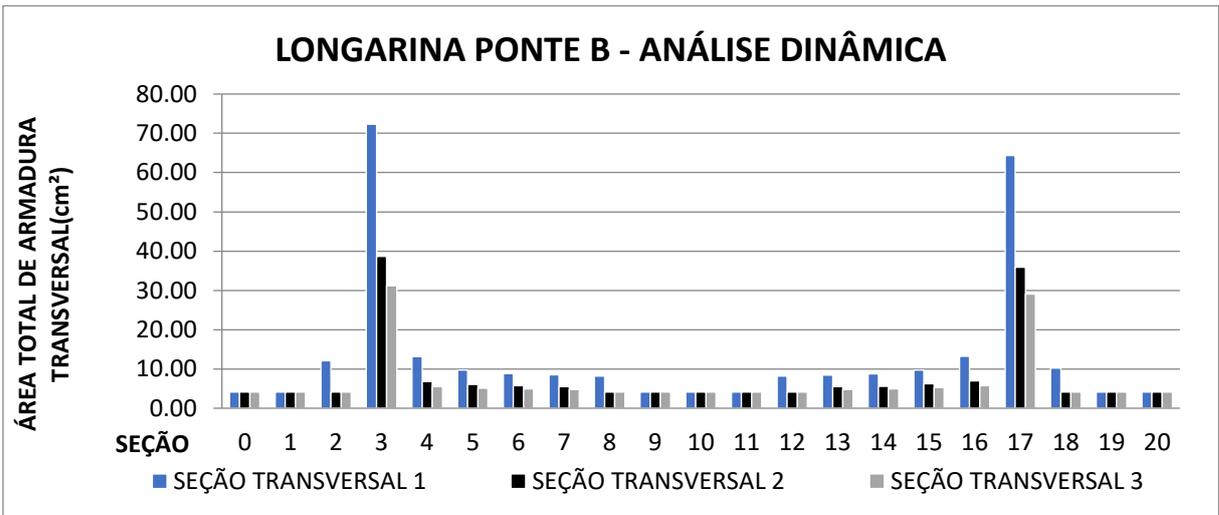


Figura 43 – Áreas finais de armadura transversal – longarina da ponte B - Análise dinâmica.  
Fonte: Autoria Própria.

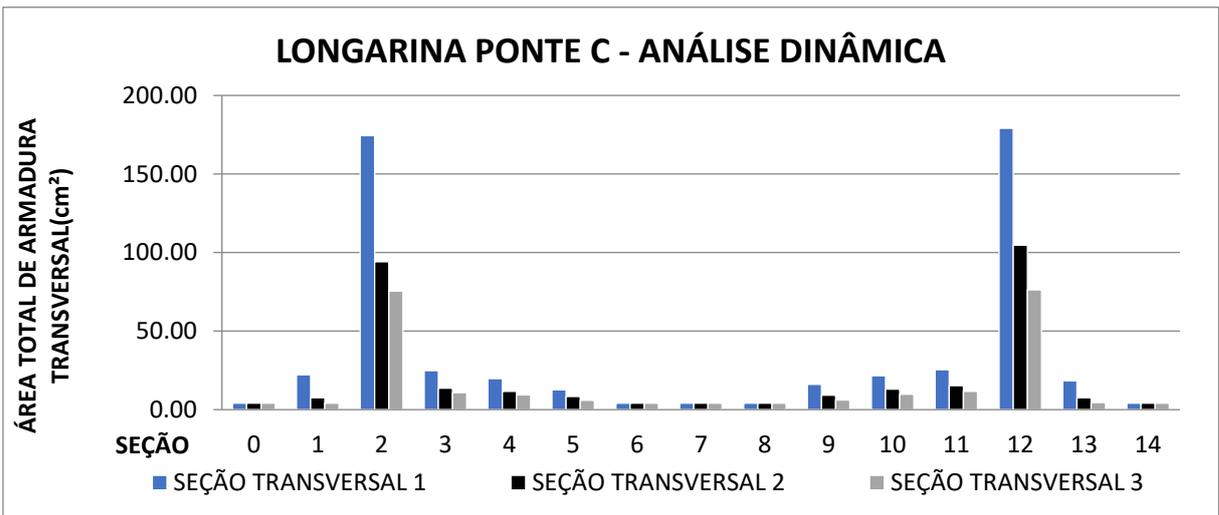


Figura 44 – Áreas finais de armadura transversal – longarina da ponte C - Análise dinâmica.  
Fonte: Autoria Própria.

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com base nos resultados obtidos ao longo de todo o item 4, puderam ser feitas comparações dos puderam ser feitas comparações entre acerca da taxa de aço das longarinas quando dimensionadas a partir da análise pseudo-estática e quando da transiente. Pôde-se também verificar a diferença entre as envoltórias dos esforços oriundos do carregamento acidental, obtidas por meio das análises pseudo-estática e dinâmica transiente.

## 5.1 ENVOLTÓRIAS DEVIDAS AO CARREGAMENTO ACIDENTAL

As figuras 45 a 62 permitem a comparação entre as envoltórias dos esforços devidos ao carregamento acidental, obtidas a partir das análises pseudo-estática e dinâmica transiente.

Neste item serão apresentas as diferenças entre as envoltórias, considerando para a obtenção dos esforços decorrentes da análise transiente o carregamento se movendo à 80 km/h. No apêndice C serão apresentadas as diferenças entre as envoltórias, considerando para a análise transiente as velocidades de 60 km/h, 100 km/h e, também, 80 km/h.

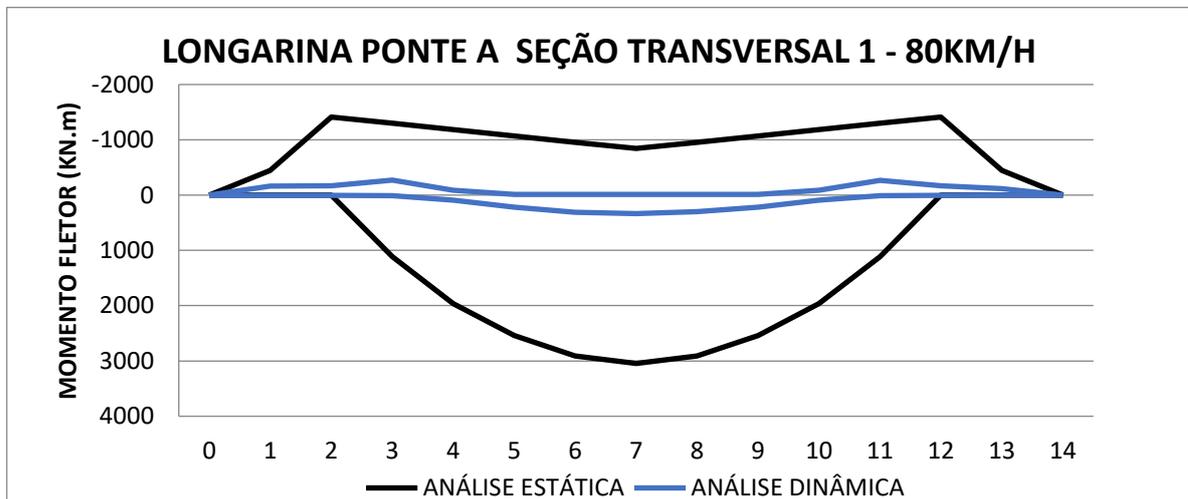


Figura 45 – Envoltórias de momento fletor carga acidental - Ponte A seção transversal 1 - 80km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

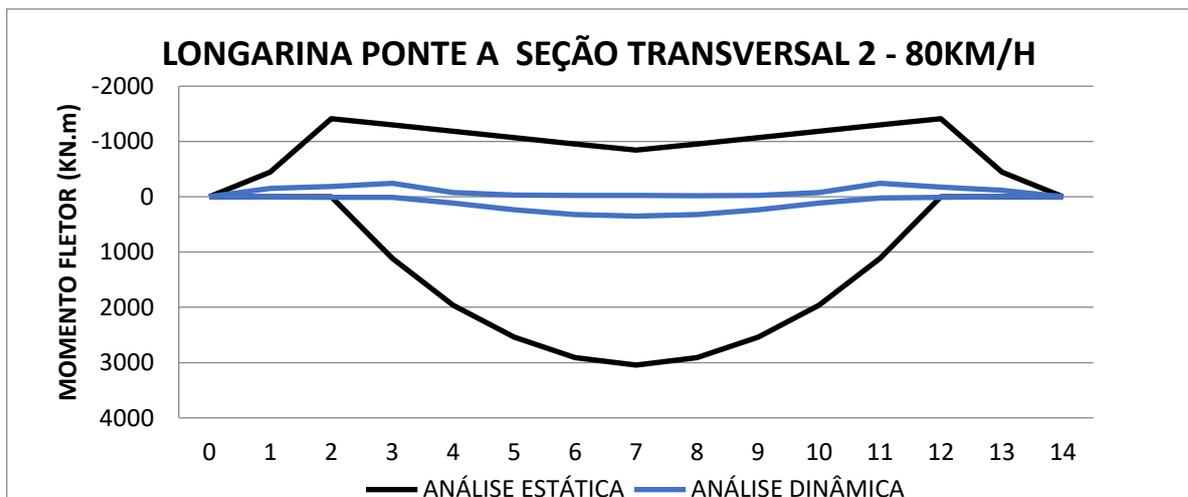


Figura 46 – Envoltórias de momento fletor carga acidental - Ponte A seção transversal 2 - 80km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

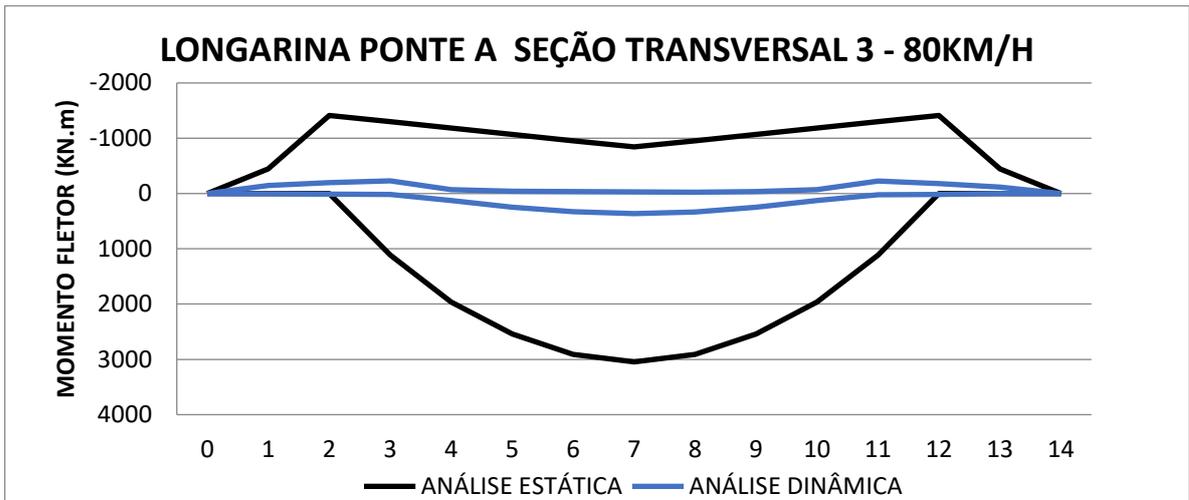


Figura 47 – Envolvórias de momento fletor carga acidental - Ponte A seção transversal 3 - 80km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

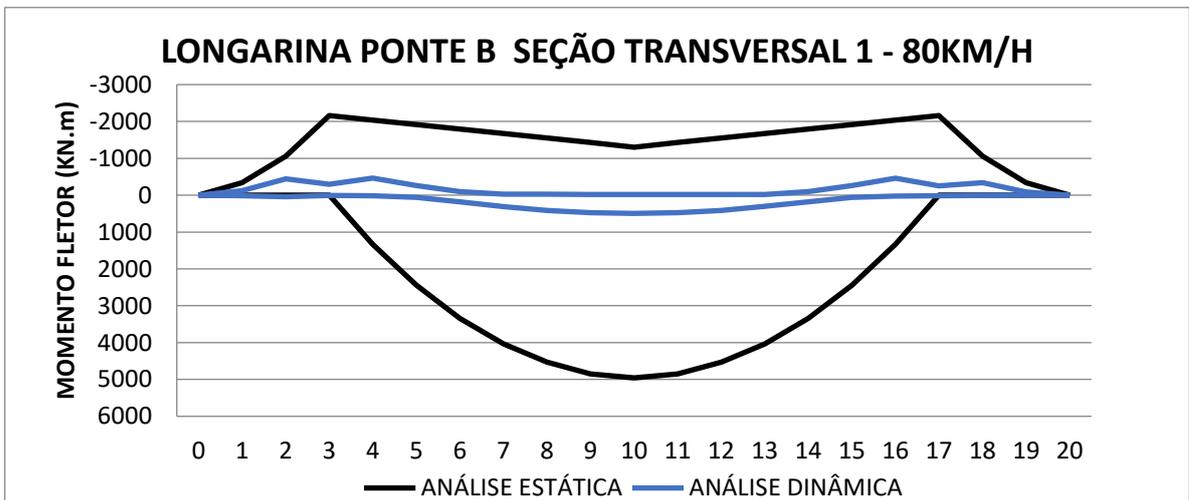


Figura 48 – Envolvórias de momento fletor carga acidental - Ponte B seção transversal 1 - 80km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

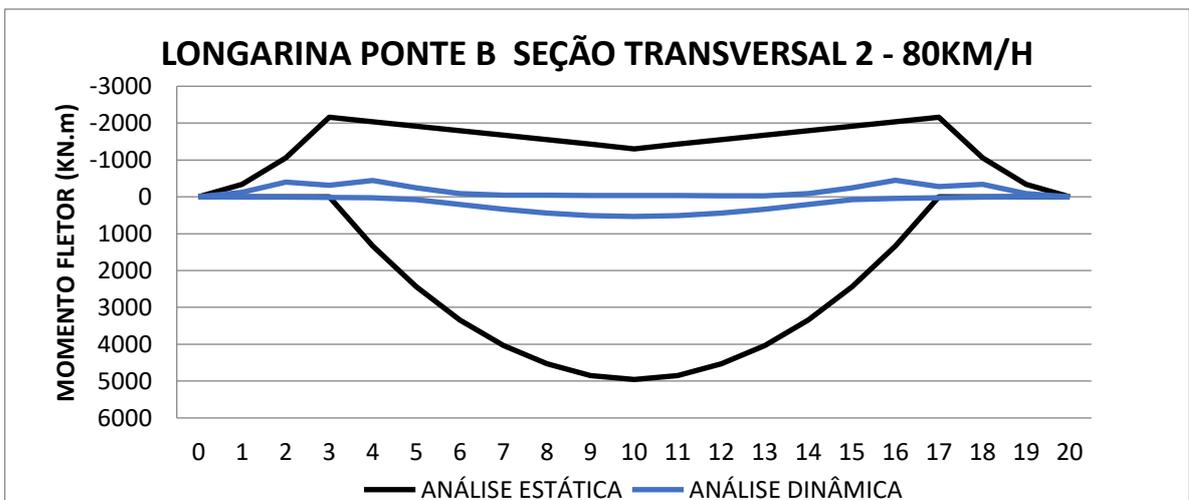


Figura 49 – Envolvórias de momento fletor carga acidental - Ponte B seção transversal 2 - 80km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

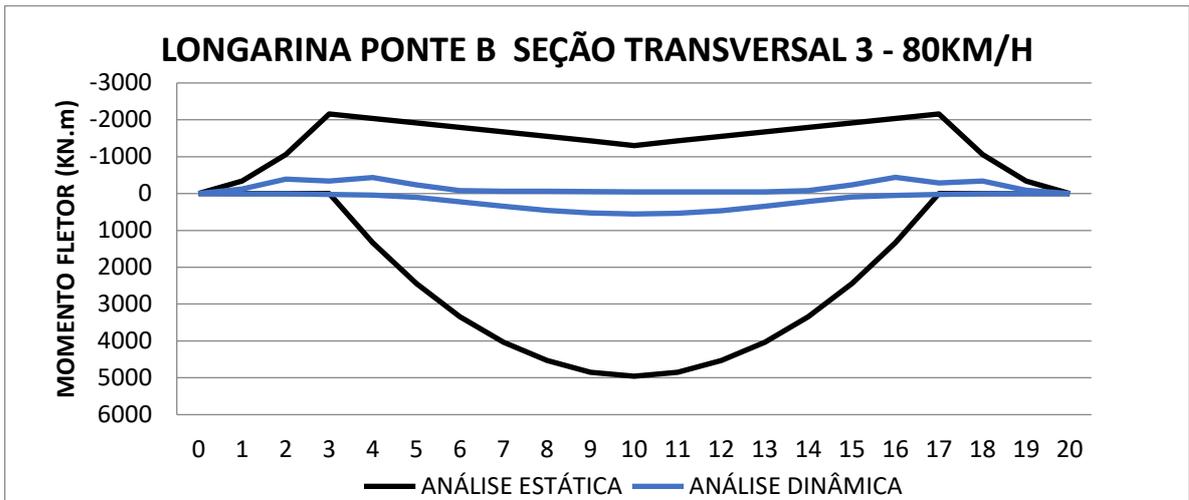


Figura 50 – Envolvórias de momento fletor carga acidental - Ponte B seção transversal 3 - 80km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

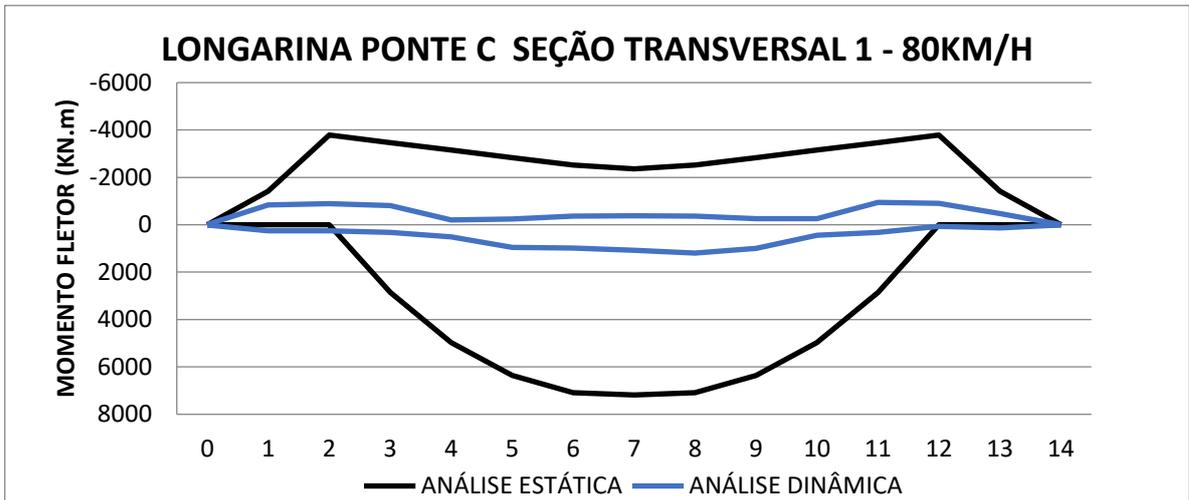


Figura 51 – Envolvórias de momento fletor carga acidental - Ponte C seção transversal 1 - 80km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

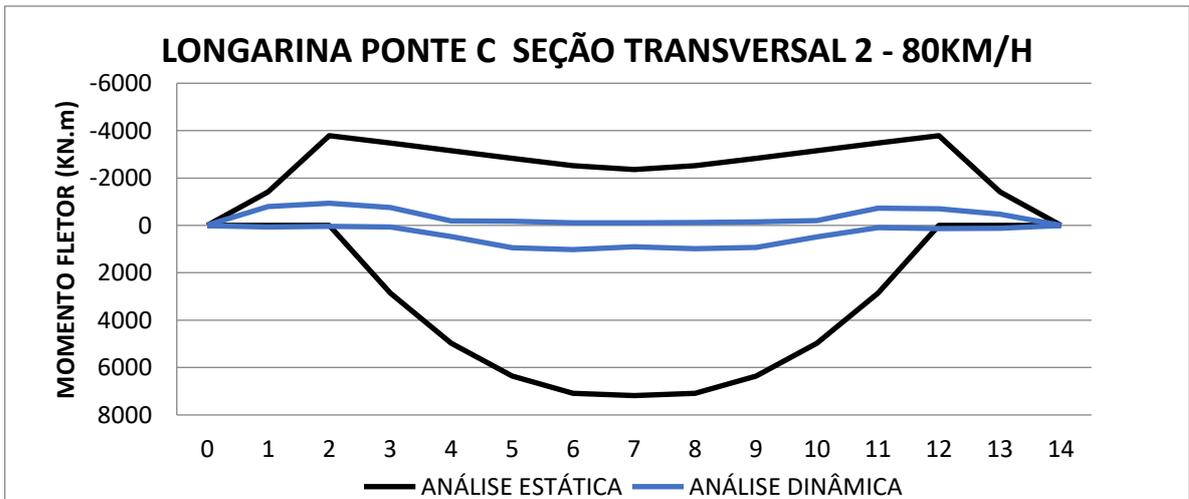


Figura 52 – Envolvórias de momento fletor carga acidental - Ponte C seção transversal 2 - 80km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

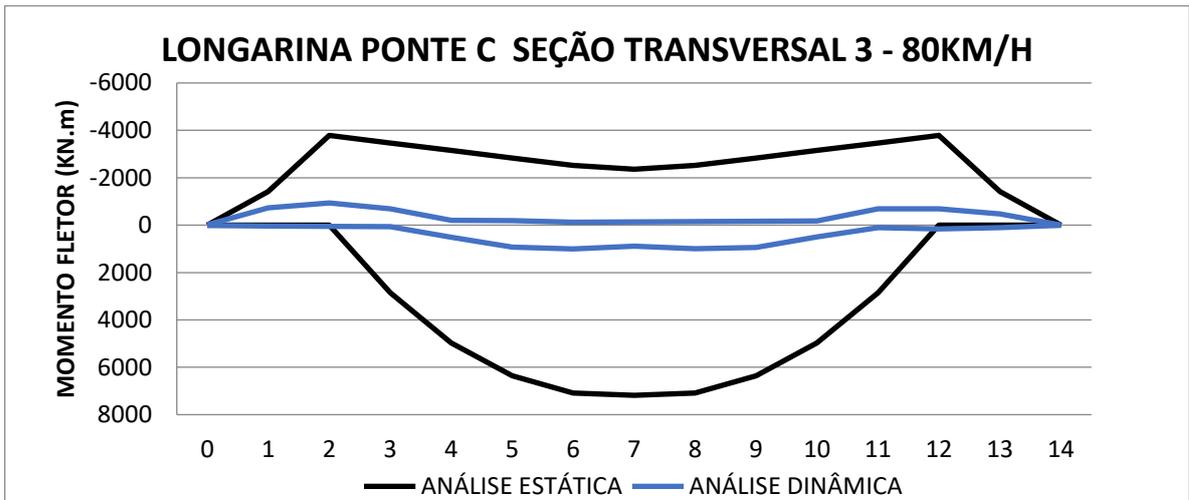


Figura 53 – Envolvórias de momento fletor carga accidental - Ponte C seção transversal 3 – 80 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

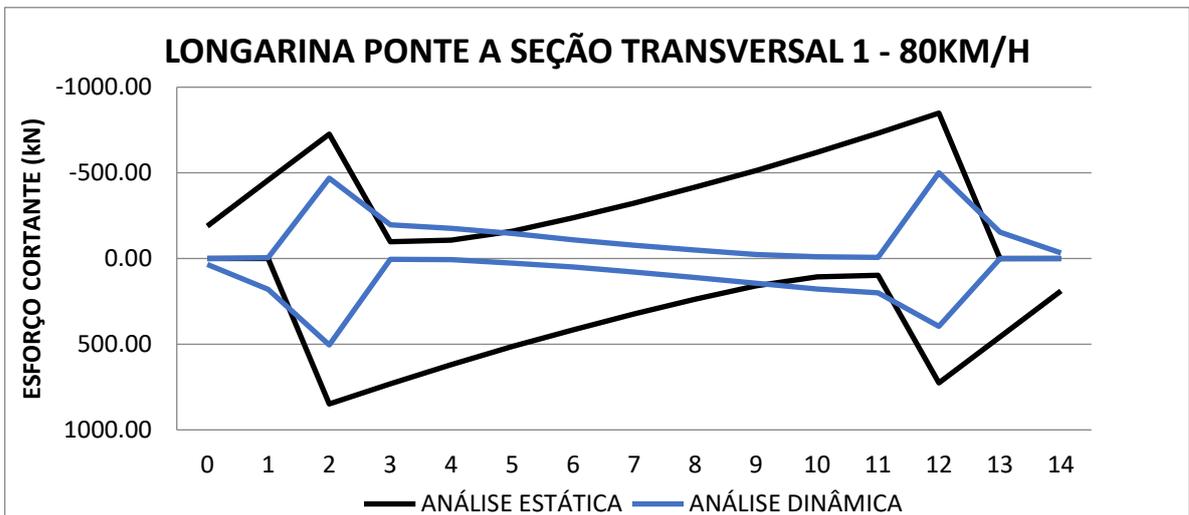


Figura 54 – Envolvórias de esforço cortante carga accidental - Ponte A seção transversal 1 – 80 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

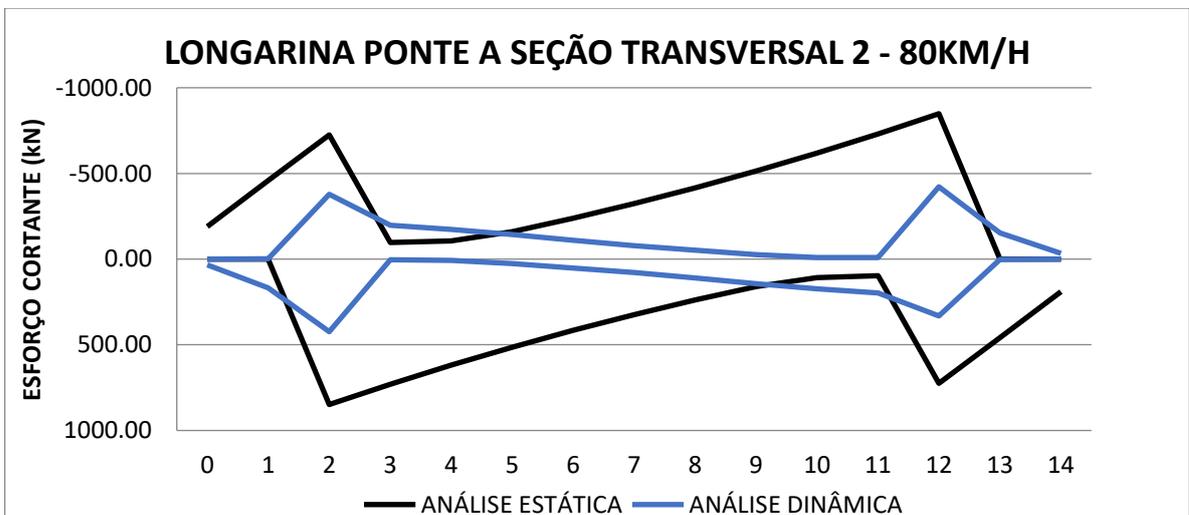


Figura 55 – Envolvórias de esforço cortante carga accidental - Ponte A seção transversal 2 – 80 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

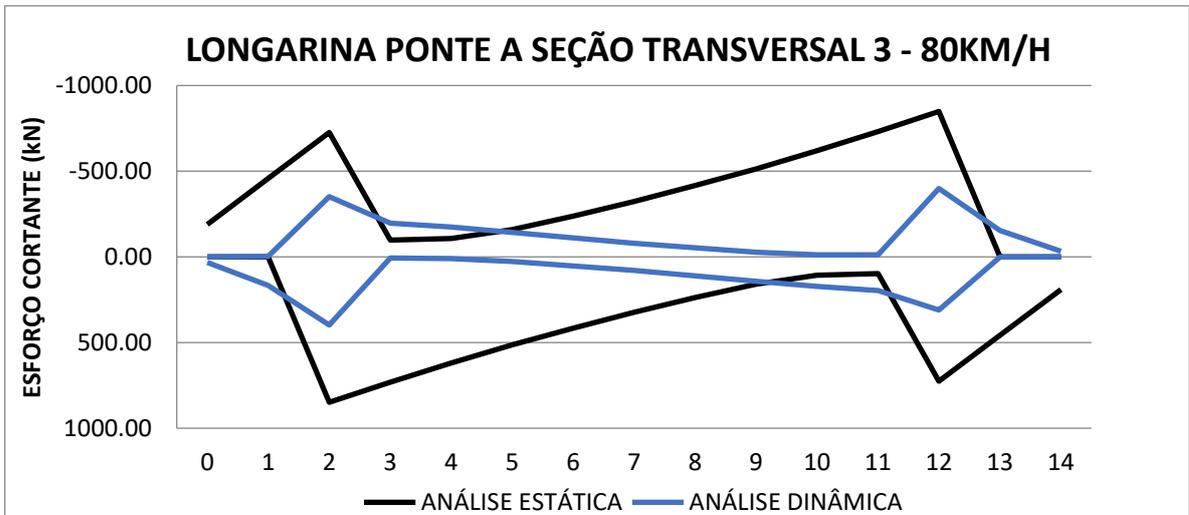


Figura 56 – Envolvórias de esforço cortante carga acidental - Ponte A seção transversal 3 – 80 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

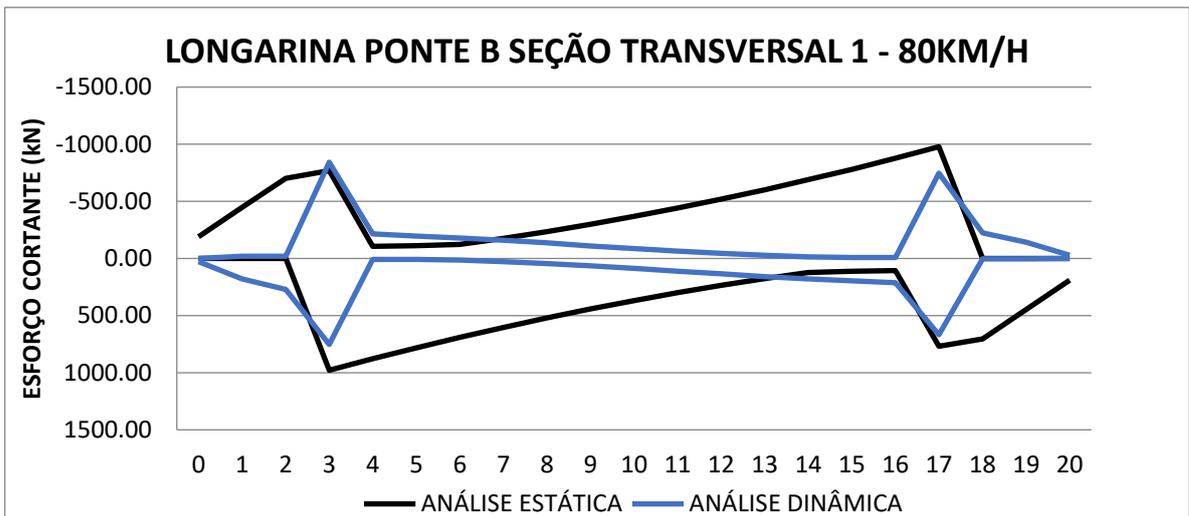


Figura 57 – Envolvórias de esforço cortante carga acidental - Ponte B seção transversal 1 – 80 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

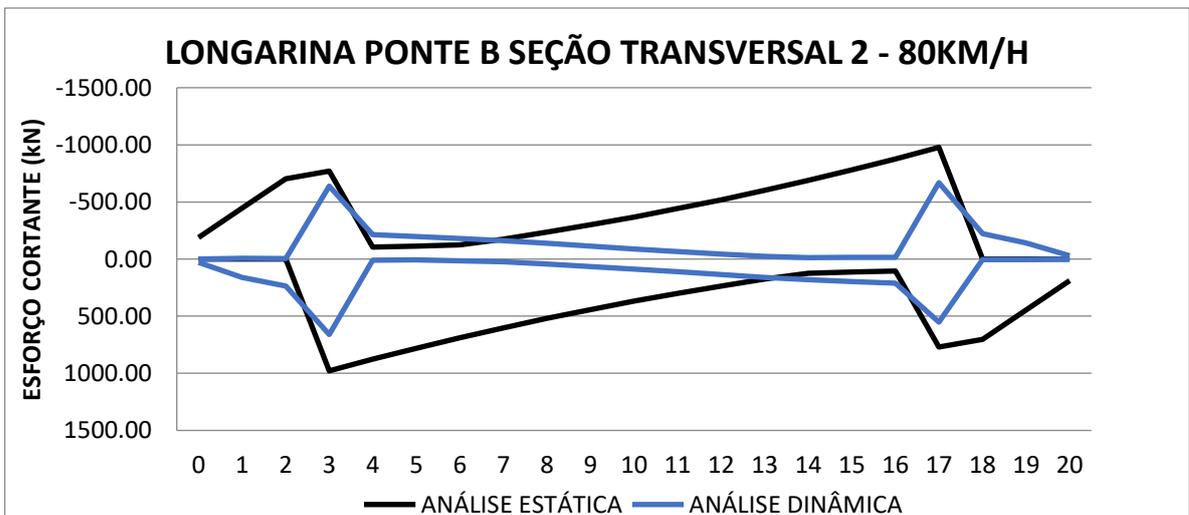


Figura 58 – Envolvórias de esforço cortante carga acidental - Ponte B seção transversal 2 – 80 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

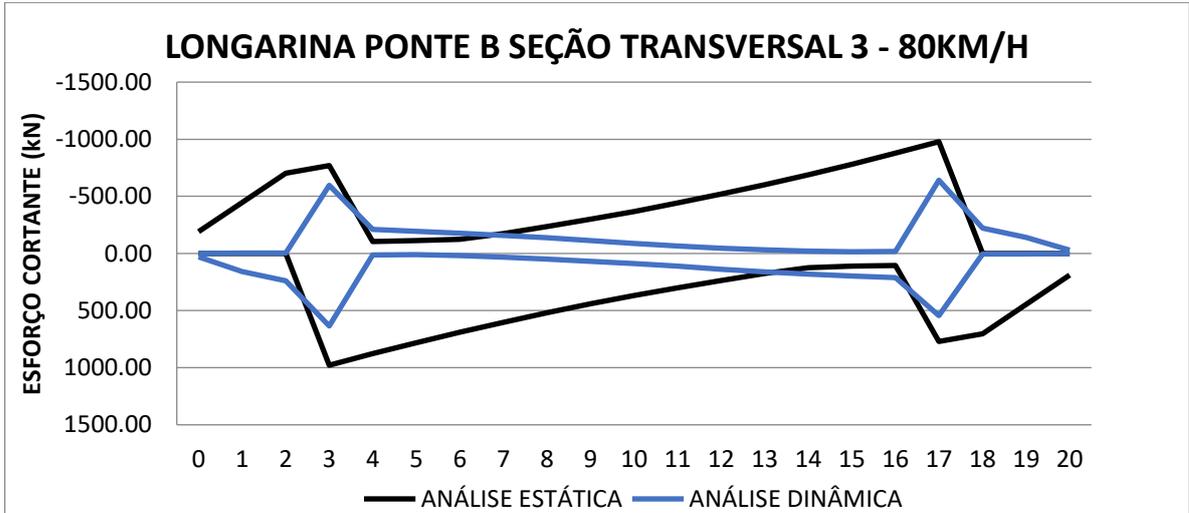


Figura 59 – Envolvórias de esforço cortante carga acidental - Ponte B seção transversal 3 – 80 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

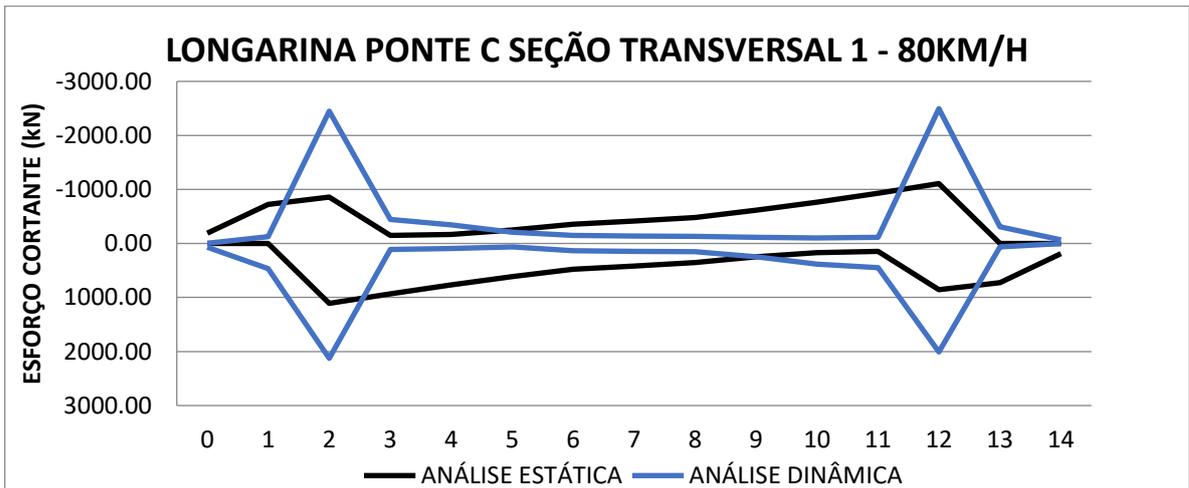


Figura 60 – Envolvórias de esforço cortante carga acidental - Ponte C seção transversal 1 – 80 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

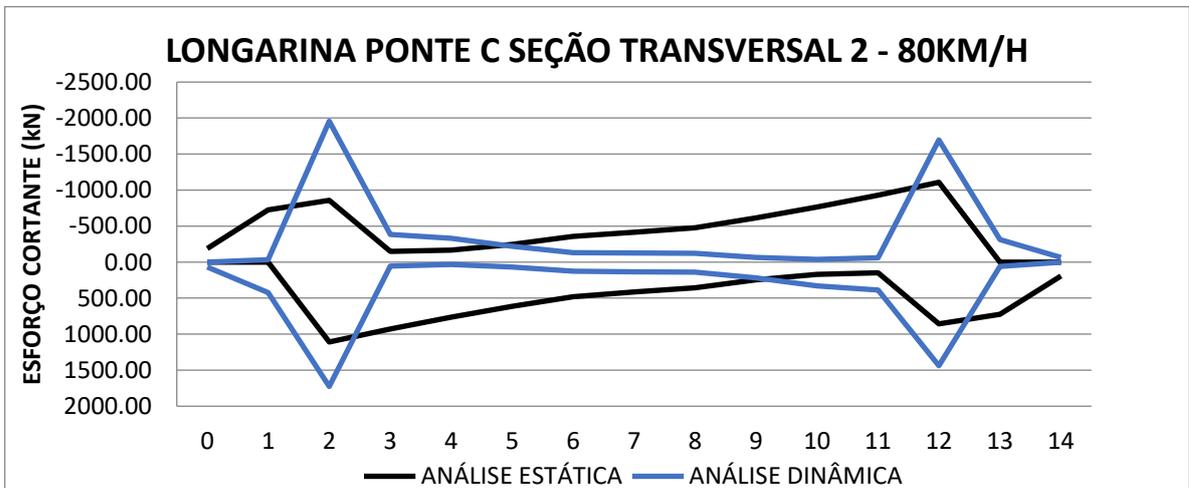


Figura 61 – Envolvórias de esforço cortante carga acidental - Ponte C seção transversal 2 – 80 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

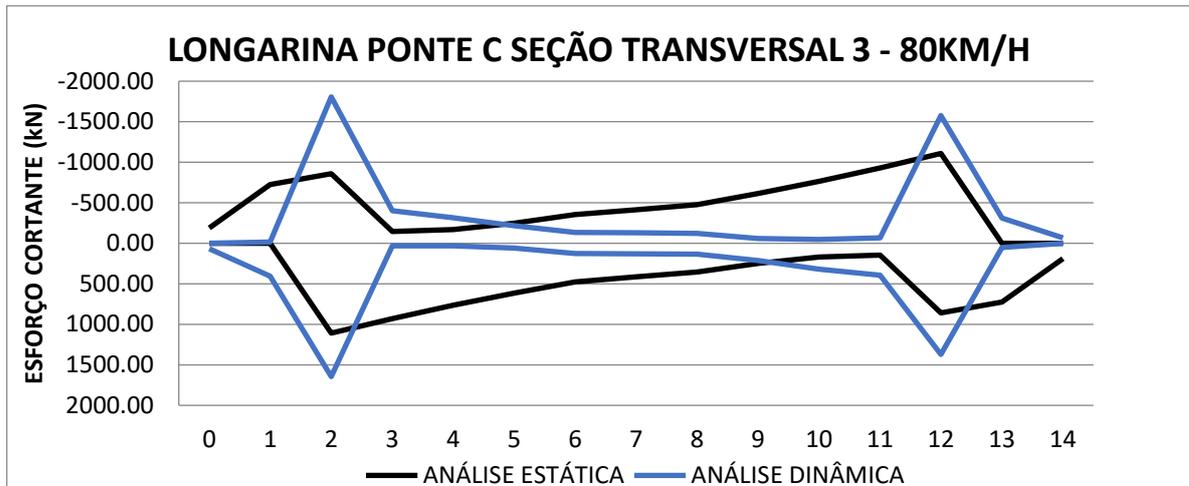


Figura 62 – Envoltórias de esforço cortante carga accidental - Ponte C seção transversal 3 – 80 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

## 5.2 ARMADURAS LONGITUDINAIS

As tabelas 61 a 63 ilustram a relação entre as armaduras em cada seção para cada uma das longarinas. Nas colunas estão expressas em porcentagem a razão entre a armadura longitudinal resultante da análise pseudo-estática, e a armadura obtida por meio da análise dinâmica transiente, como mostrado na equação (21):

$$As\% = \frac{As_{Pseudo - estática}}{As_{Transiente}} \times 100 \quad (21)$$

Será expressa essa relação para as armaduras que combatem o momento fletor negativo ( $As(-)$ ), para as que resistem aos esforços de flexão positivos ( $As(+)$ ) e para a área total de armadura longitudinal presente em cada seção ( $Ast$ ).

Tabela 61 – Relação entre as armaduras longitudinais das longarinas da ponte A

RELAÇÃO ENTRE ARMADURAS LONGITUDINAIS - LONGARINAS DA PONTE A									
SEÇÃO	SEÇÃO TRANSVERSAL 1			SEÇÃO TRANSVERSAL 2			SEÇÃO TRANSVERSAL 3		
	As(-) %	As(+) %	Ast %	As(-) %	As(+) %	Ast %	As(-) %	As(+) %	Ast %
0	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1	174,00	100,00	130,14	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2	250,40	100,00	166,23	136,78	100,00	113,79	101,01	100,00	100,38
3	<b>373,44</b>	624,94	400,41	<b>160,27</b>	228,62	170,83	<b>119,96</b>	154,41	127,89
4	170,44	429,73	321,33	100,00	409,72	226,77	100,00	<b>337,78</b>	<b>189,17</b>
5	100,00	303,17	248,51	100,00	283,74	198,57	100,00	275,84	180,74
6	100,00	250,00	217,02	100,00	243,12	184,74	100,00	235,99	170,16
7	100,00	235,43	207,17	100,00	232,42	180,62	100,00	221,39	164,74

<b>8</b>	100,00	250,69	217,48	100,00	243,28	184,81	100,00	235,97	170,15
<b>9</b>	100,00	302,76	248,27	100,00	283,58	198,50	100,00	275,94	180,76
<b>10</b>	170,44	429,73	321,33	100,00	<b>409,77</b>	<b>226,78</b>	100,00	<b>337,78</b>	<b>189,17</b>
<b>11</b>	<b>373,44</b>	<b>628,74</b>	<b>401,33</b>	<b>160,27</b>	228,62	170,83	<b>119,96</b>	154,41	127,89
<b>12</b>	250,46	100,00	166,24	136,78	100,00	113,79	101,01	100,00	100,38
<b>13</b>	199,33	100,00	137,25	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>14</b>	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Autoria Própria.

As maiores diferenças entre as armaduras se deram na longarina de seção transversal 1, onde foram obtidos para armadura negativa, positiva e total, respectivamente, os valores de 373,44%, 628,74% e 401,33%.

Na seção 11 foi evidenciada a maior variação dos valores de armadura negativa, positiva e total.

Tabela 62 – Relação entre as armaduras longitudinais das longarinas da ponte B

RELAÇÃO ENTRE ARMADURAS LONGITUDINAIS - LONGARINAS DA PONTE B									
SEÇÃO	SEÇÃO TRANSVERSAL 1			SEÇÃO TRANSVERSAL 2			SEÇÃO TRANSVERSAL 3		
	As(-) %	As(+) %	Ast %	As(-) %	As(+) %	Ast %	As(-) %	As(+) %	Ast %
<b>0</b>	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>1</b>	151,51	100,00	119,32	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>2</b>	168,32	100,00	144,21	160,46	100,00	126,37	153,08	100,00	119,90
<b>3</b>	251,37	100,00	184,22	209,51	100,00	141,07	154,39	100,00	120,40
<b>4</b>	<b>680,91</b>	531,67	487,37	<b>288,20</b>	270,32	234,45	<b>212,21</b>	175,76	170,49
<b>5</b>	320,40	438,07	374,71	127,82	415,08	261,98	100,00	<b>468,58</b>	<b>238,22</b>
<b>6</b>	100,00	295,88	256,51	100,00	274,40	209,96	100,00	266,02	192,40
<b>7</b>	100,00	233,85	213,64	100,00	225,13	187,45	100,00	217,09	173,93
<b>8</b>	100,00	218,82	203,39	100,00	213,37	183,34	100,00	201,80	168,39
<b>9</b>	100,00	214,62	200,93	100,00	209,27	182,32	100,00	197,87	168,68
<b>10</b>	100,00	213,05	199,93	100,00	207,89	181,91	100,00	196,17	168,16
<b>11</b>	100,00	214,72	201,01	100,00	209,48	182,46	100,00	197,59	168,51
<b>12</b>	100,00	218,96	203,51	100,00	213,43	183,38	100,00	201,42	168,17
<b>13</b>	100,00	234,06	213,80	100,00	225,08	187,42	100,00	217,40	174,09
<b>14</b>	100,00	295,75	256,42	100,00	274,40	209,96	100,00	266,01	192,39
<b>15</b>	320,40	438,90	375,20	127,82	<b>418,57</b>	<b>263,04</b>	100,00	<b>468,58</b>	<b>238,22</b>
<b>16</b>	<b>680,91</b>	<b>537,21</b>	<b>489,73</b>	<b>288,20</b>	270,32	234,45	<b>212,21</b>	175,76	170,49
<b>17</b>	258,83	100,00	200,87	209,51	100,00	141,07	154,39	100,00	120,40
<b>18</b>	187,11	100,00	154,23	172,09	100,00	130,21	153,08	100,00	119,90
<b>19</b>	151,51	100,00	119,32	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>20</b>	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: (Próprio, 2019)

Nas seções 4 e 16 da longarina com seção transversal 1 houve uma relação de 680,91% entre as armaduras negativas provenientes das análises já discutidas. A maior variação entre as armaduras positivas ocorreu também na seção 16, com um valor de 537,21%. A maior discrepância entre a armadura total proveniente da análise pseudo-estática e transiente também se deu na seção 16, chegando a uma relação de 489,73%.

Vale salientar que as maiores diferenças se deram em pontos próximos aos apoios.

Tabela 63 –Relação entre as armaduras longitudinais das longarinas da ponte C

RELAÇÃO ENTRE ARMADURAS LONGITUDINAIS - LONGARINAS DA PONTE C									
SEÇÃO	SEÇÃO TRANSVERSAL 1			SEÇÃO TRANSVERSAL 2			SEÇÃO TRANSVERSAL 3		
	As(-) %	As(+) %	Ast %	As(-) %	As(+) %	Ast %	As(-) %	As(+) %	Ast %
<b>0</b>	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>1</b>	147,75	100,00	135,77	138,05	100,00	120,19	141,25	100,00	118,61
<b>2</b>	239,49	100,00	204,18	190,42	100,00	149,08	179,24	100,00	137,48
<b>3</b>	<b>907,57</b>	<b>491,36</b>	<b>529,34</b>	<b>348,72</b>	<b>557,15</b>	<b>392,55</b>	<b>245,30</b>	<b>566,95</b>	<b>329,59</b>
<b>4</b>	221,46	275,07	267,15	100,00	283,06	232,77	100,00	270,55	213,05
<b>5</b>	100,00	204,25	195,20	100,00	206,77	185,84	100,00	197,28	173,31
<b>6</b>	100,00	198,30	190,76	100,00	194,81	178,24	100,00	192,83	172,21
<b>7</b>	100,00	204,46	196,63	100,00	193,93	177,78	100,00	194,16	173,39
<b>8</b>	100,00	193,49	186,48	100,00	190,89	175,27	100,00	191,62	171,37
<b>9</b>	100,00	203,89	194,89	100,00	203,23	183,27	100,00	196,91	173,06
<b>10</b>	221,46	278,83	270,33	100,00	282,92	232,69	100,00	271,22	213,40
<b>11</b>	<b>907,57</b>	439,42	488,09	<b>348,72</b>	505,39	374,69	<b>245,30</b>	<b>566,95</b>	<b>329,59</b>
<b>12</b>	238,14	<b>80,00</b>	191,26	196,18	100,00	151,49	189,49	100,00	141,09
<b>13</b>	179,09	100,00	156,25	168,84	100,00	133,06	166,45	100,00	127,30
<b>14</b>	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Autoria Própria.

Diferente do que ocorreu nas longarinas das pontes A e B, onde os maiores valores da relação entre as armaduras se deram apenas nas vigas de seção transversal 1, nas longarinas da ponte C o maior As(+) % se deu nas seções 3 e 11 da longarina de seção transversal 3, com o valor de 566,95%.

Na seção 3 da longarina de seção transversal 1 ocorreram os maiores As(-) % e Ast % ,respectivamente iguais a 907,57 % e o igual a 529,34%.

Na seção 12 da viga com seção transversal 1, temos que a armadura positiva devida à análise transiente foi maior do que a devida à análise pseudo-estática. Isto ocorreu pelo fato da largura da seção 12 na viga submetida à análise transiente ter sido aumentada para 100 cm enquanto a largura desta mesma seção na viga submetida à análise pseudo-estática ter permanecido 80 cm, além de em ambos os casos a armadura necessária ter sido a armadura mínima.

### ➤ ÁREAS TOTAIS DE ARMADURAS LONGITUDINAIS

As figuras de 63 a 65 permitem a comparação entre a área total de armadura longitudinal nas seções das longarinas da ponte A, quando dimensionadas a partir dos esforços obtidos das análises pseudo-estática e dinâmica transiente. Os gráficos referentes às demais longarinas, como também às longarinas da ponte A, se encontram no apêndice D.

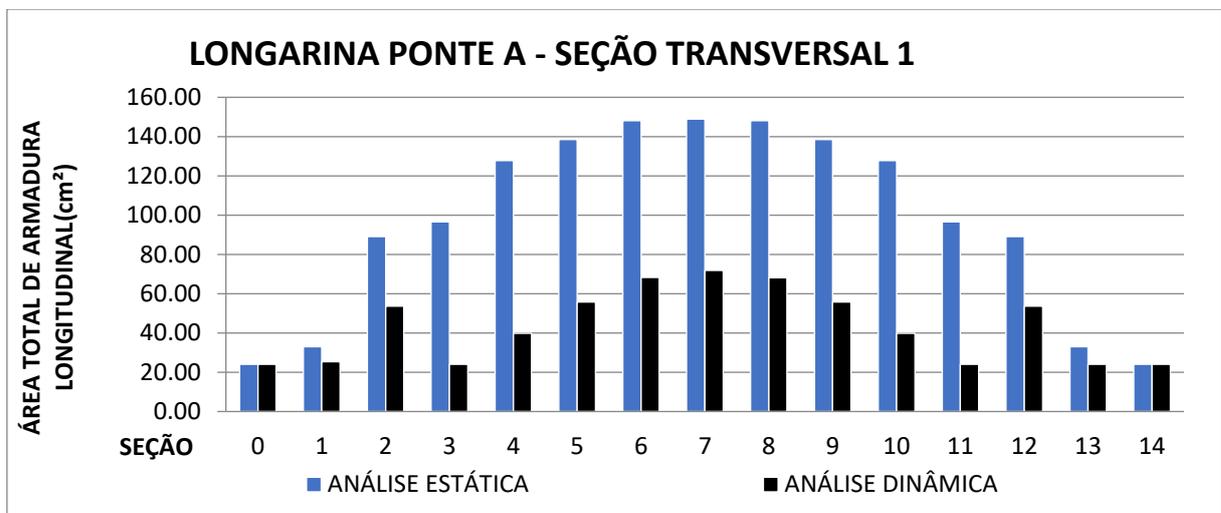


Figura 63 – Áreas finais de armadura longitudinal – longarina da ponte A seção transversal 1.

Fonte: Autoria Própria.

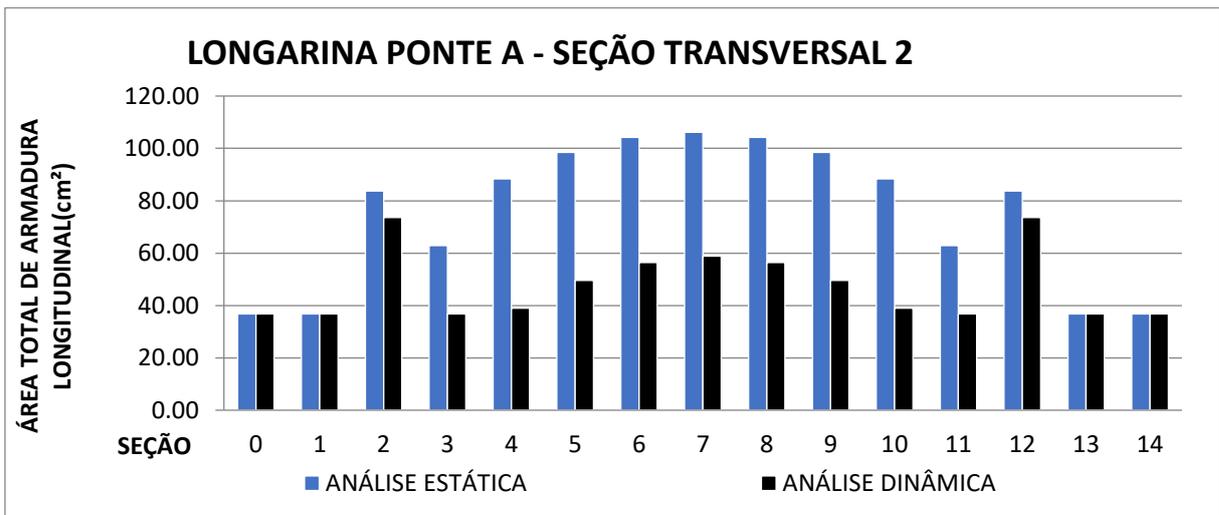


Figura 64 – Áreas finais de armadura longitudinal – longarina da ponte A seção transversal 2.  
Fonte: Autoria Própria.

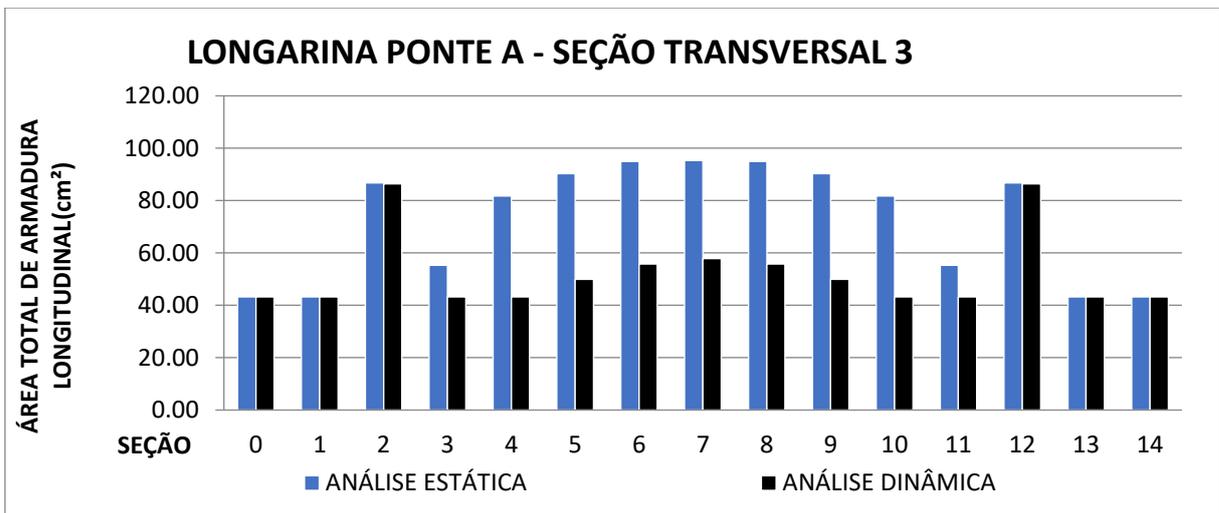


Figura 65 – Áreas finais de armadura longitudinal – longarina da ponte A seção transversal 3.  
Fonte: Autoria Própria.

### 5.3 ARMADURAS TRANSVERSAIS

A relação entre a armadura transversal obtida por meio da análise pseudo-estática ( $A_{swp}$ ) e pela transiente ( $A_{swtr}$ ), será expressa da mesma forma que ocorreu para as armaduras longitudinais no item 5.1. Através da razão entre as duas e em porcentagem.

$$A_{sw} \% = \frac{A_{sw \text{ Pseudo-estática}}}{A_{sw \text{ Transiente}}} \times 100 \quad (22)$$

Os valores dessa razão para cada seção de cálculo estão contidos nas tabelas de 64 a 66, assim como o  $A_{swp}$  e o  $A_{swtr}$ .

Tabela 64 –Relação entre as armaduras transversais das longarinas da ponte A

RELAÇÃO ENTRE ARMADURAS TRANSVERSAIS - LONGARINAS DA PONTE A									
SEÇÃO	SEÇÃO TRANSVERSAL 1			SEÇÃO TRANSVERSAL 2			SEÇÃO TRANSVERSAL 3		
	$A_{swp}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{swtr}$ (cm <sup>2</sup> )	Asw %	$A_{swp}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{swtr}$ (cm <sup>2</sup> )	Asw %	$A_{swp}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{swtr}$ (cm <sup>2</sup> )	Asw %
<b>0</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>
<b>1</b>	20,48	4,10	<b>499,04</b>	8,56	4,10	208,56	5,23	4,10	127,53
<b>2</b>	42,20	43,89	<b>96,14</b>	27,26	18,55	146,99	21,61	10,63	203,35
<b>3</b>	37,06	9,16	404,44	23,94	5,97	<b>401,30</b>	20,34	4,97	<b>409,15</b>
<b>4</b>	32,51	8,39	387,47	21,00	5,30	396,35	17,84	4,58	389,34
<b>5</b>	29,77	7,75	384,29	13,50	4,10	328,86	9,04	4,10	220,29
<b>6</b>	12,44	4,10	303,04	4,10	4,10	100,00	4,10	4,10	100,00
<b>7</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>
<b>8</b>	12,44	4,10	303,04	4,10	4,10	100,00	4,10	4,10	100,00
<b>9</b>	29,77	7,59	392,17	13,50	4,10	328,86	9,04	4,10	220,29
<b>10</b>	32,51	8,43	385,39	21,00	5,34	393,14	17,84	4,54	393,32
<b>11</b>	37,06	9,29	398,84	23,94	6,08	393,86	20,34	5,18	393,03
<b>12</b>	42,20	40,54	104,09	27,26	18,46	147,67	21,61	10,64	203,22
<b>13</b>	20,48	4,10	<b>499,03</b>	8,56	4,10	208,58	5,23	4,10	127,44
<b>14</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>

Fonte: Autoria Própria.

A maior diferença entre as armaduras transversais ocorreu na viga de seção transversal 1, na seção 1, e foi de 499,04%.

No meio do vão e na ponta de cada balanço, as armaduras obtidas por meio das diferentes análises foram iguais e com o valor correspondendo à armadura mínima.

Na seção 2 da viga de seção transversal 1 a armadura referente à análise pseudo-estática deu menor que a transiente. Isso ocorre devido ao acréscimo de armadura referente à resistência à fadiga ter tido um valor superior quando considerados os esforços resultantes da análise transiente.

Tabela 65 –Relação entre as armaduras transversais das longarinas da ponte B

RELAÇÃO ENTRE ARMADURAS TRANSVERSAIS - LONGARINAS DA PONTE B			
SEÇÃO	SEÇÃO TRANSVERSAL 1	SEÇÃO TRANSVERSAL 2	SEÇÃO TRANSVERSAL 3

	Aswp (cm <sup>2</sup> )	Aswtr (cm <sup>2</sup> )	Asw %	Aswp (cm <sup>2</sup> )	Aswtr (cm <sup>2</sup> )	Asw %	Aswp (cm <sup>2</sup> )	Aswtr (cm <sup>2</sup> )	Asw %
<b>0</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>
<b>1</b>	18,04	4,10	<b>439,51</b>	6,73	4,10	163,98	4,10	4,10	100,00
<b>2</b>	31,47	12,05	261,06	20,33	4,10	495,30	17,27	4,10	420,82
<b>3</b>	48,40	72,31	<b>66,93</b>	31,26	38,68	<b>80,83</b>	26,56	31,18	<b>85,20</b>
<b>4</b>	43,98	13,15	368,10	28,41	6,78	418,92	24,14	5,49	<b>439,82</b>
<b>5</b>	39,98	9,73	410,86	25,83	6,09	423,83	21,94	5,11	429,83
<b>6</b>	36,39	8,87	410,22	23,51	5,75	408,72	19,97	4,96	402,94
<b>7</b>	34,81	8,48	410,43	22,49	5,49	409,43	19,11	4,74	403,52
<b>8</b>	30,02	8,19	366,62	13,66	4,10	332,86	9,18	4,10	223,68
<b>9</b>	13,60	4,10	331,49	4,10	4,10	100,00	4,10	4,10	100,00
<b>10</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>
<b>11</b>	13,60	4,10	331,49	4,10	4,10	100,00	4,10	4,10	100,00
<b>12</b>	30,02	8,17	367,44	13,66	4,10	332,86	9,18	4,10	223,68
<b>13</b>	34,81	8,44	412,38	22,49	5,53	406,86	19,11	4,75	402,03
<b>14</b>	36,39	8,76	415,50	23,51	5,61	419,03	19,97	4,92	405,60
<b>15</b>	39,98	9,73	410,79	25,83	6,22	415,56	21,94	5,27	416,35
<b>16</b>	43,98	13,19	333,58	28,41	6,95	408,73	24,14	5,71	422,80
<b>17</b>	48,40	64,37	<b>75,19</b>	31,26	35,93	<b>87,02</b>	26,56	29,10	<b>91,28</b>
<b>18</b>	31,47	10,18	309,03	20,33	4,10	<b>495,37</b>	17,27	4,10	420,81
<b>19</b>	18,04	4,10	<b>439,57</b>	6,73	4,10	163,99	4,10	4,10	100,00
<b>20</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>

Fonte: Autoria Própria.

Diferente do ocorrido com a ponte A, a longarina que apresentou o maior valor de Asw % foi a de seção transversal 2. O maior valor foi de 495,37 % e ocorreu na seção 18 que faz parte do apoio.

As seções no meio do vão continuaram com armadura mínima.

Vale ressaltar que nas seções 3 e 17, referentes aos apoios, Aswtr foi maior que Aswp para todas as longarinas. Isso ocorre devido a majoração da taxa de aço com o intuito de resistir à fadiga ter sido maior quando consideradas os esforços oriundos da análise transiente.

Tabela 66 – Relação entre as armaduras transversais das longarinas da ponte C

<b>RELAÇÃO ENTRE ARMADURAS TRANSVERSAIS - LONGARINAS DA PONTE C</b>			
<b>SEÇÃO</b>	<b>SEÇÃO TRANSVERSAL 1</b>	<b>SEÇÃO TRANSVERSAL 2</b>	<b>SEÇÃO TRANSVERSAL 3</b>

	Aswp (cm <sup>2</sup> )	Aswtr (cm <sup>2</sup> )	Asw %	Aswp (cm <sup>2</sup> )	Aswtr (cm <sup>2</sup> )	Asw %	Aswp (cm <sup>2</sup> )	Aswtr (cm <sup>2</sup> )	Asw %
<b>0</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>
<b>1</b>	32,46	22,15	146,53	20,97	7,48	280,46	17,81	4,10	<b>434,09</b>
<b>2</b>	55,90	174,48	32,04	36,11	94,15	38,36	30,68	75,50	40,64
<b>3</b>	48,22	24,78	194,64	31,15	13,60	229,04	26,47	10,92	242,37
<b>4</b>	41,80	19,85	210,53	27,00	11,68	231,09	22,94	9,35	245,44
<b>5</b>	38,59	12,63	305,63	24,93	8,36	<b>298,04</b>	19,50	6,01	324,35
<b>6</b>	15,24	4,10	<b>371,40</b>	4,10	4,10	100,00	4,10	4,10	100,00
<b>7</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>
<b>8</b>	15,24	4,10	<b>371,40</b>	4,10	4,10	100,00	4,10	4,10	100,00
<b>9</b>	38,59	16,10	239,70	24,93	9,20	271,03	19,50	6,09	320,10
<b>10</b>	41,80	21,60	193,54	27,00	13,16	205,25	22,94	9,79	234,39
<b>11</b>	48,22	25,37	190,10	31,15	15,24	204,39	26,47	11,66	227,07
<b>12</b>	55,90	179,15	<b>31,20</b>	36,11	104,63	<b>34,51</b>	30,68	76,18	<b>40,28</b>
<b>13</b>	20,52	18,34	111,88	11,29	7,57	149,19	8,76	4,58	191,31
<b>14</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>	4,10	4,10	<b>100,00</b>

Fonte: Autoria Própria.

A maior variação de armaduras ocorreu no no trechos 1 da longarina de seção transversal 3 e foi de 434,09%.

Nos trechos 2 e 12, referentes aos apoios, Aswtr superou Aswp. Isto se deve ao acréscimo de armadura para combate à fadiga, como já mencionado anteriormente.

### ➤ ÁREAS TOTAIS DE ARMADURAS TRANSVERSAIS

As figuras de 66 a 68 permitem a comparação entre a área de armadura transversal nas seções das longarinas da ponte A, quando dimensionadas a partir dos esforços obtidos das análises pseudo-estática e dinâmica transiente. Os gráficos referentes às demais longarinas, como também às longarinas da ponte A, se encontram no apêndice D.

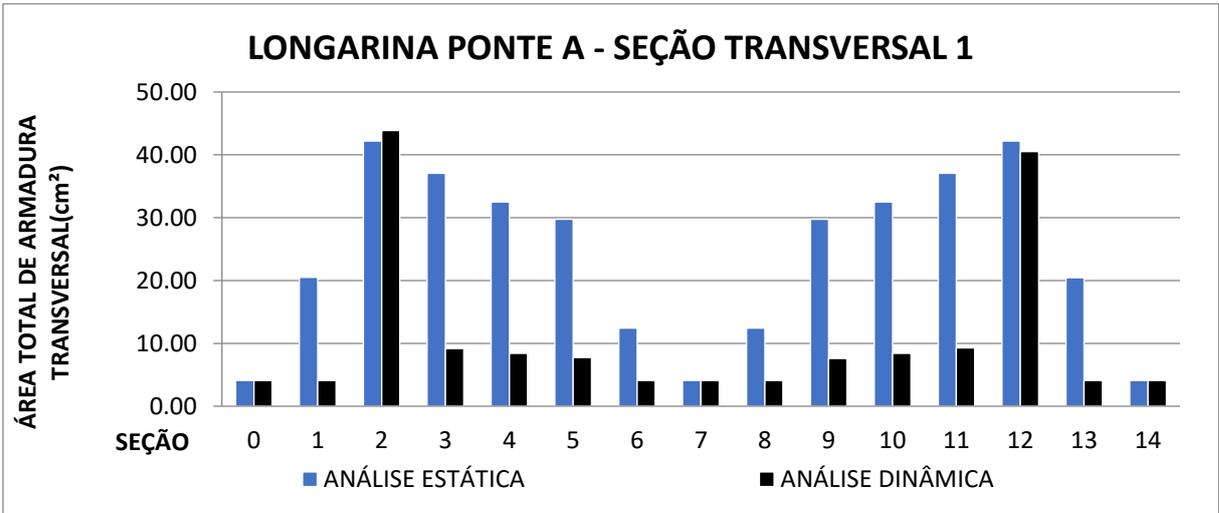


Figura 66 – Áreas finais de armadura transversal – longarina da ponte A seção transversal 1.  
Fonte: Autoria Própria.

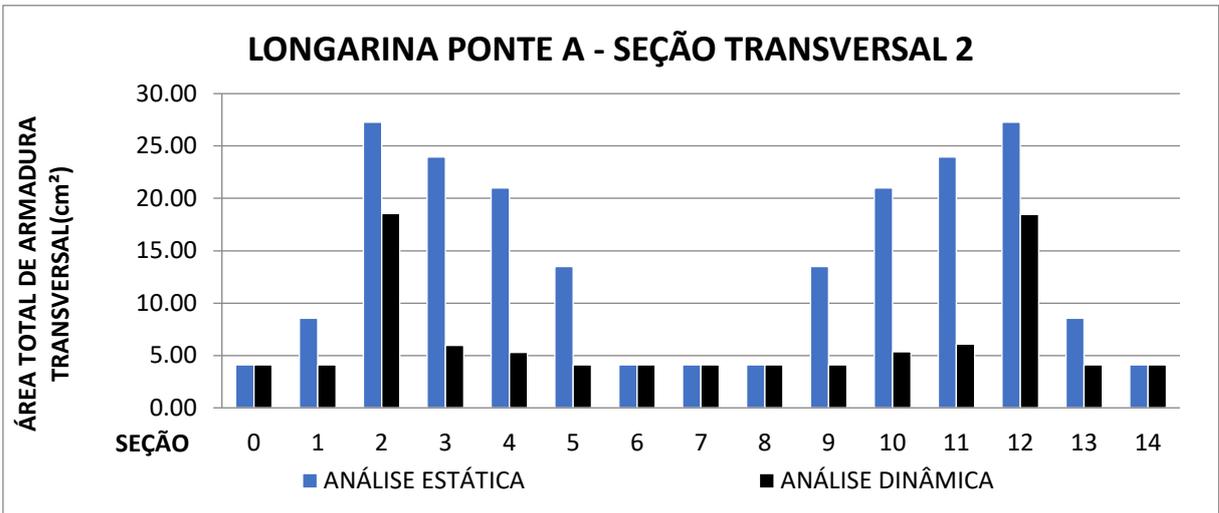


Figura 67 – Áreas finais de armadura transversal – longarina da ponte A seção transversal 2.  
Fonte: Autoria Própria.

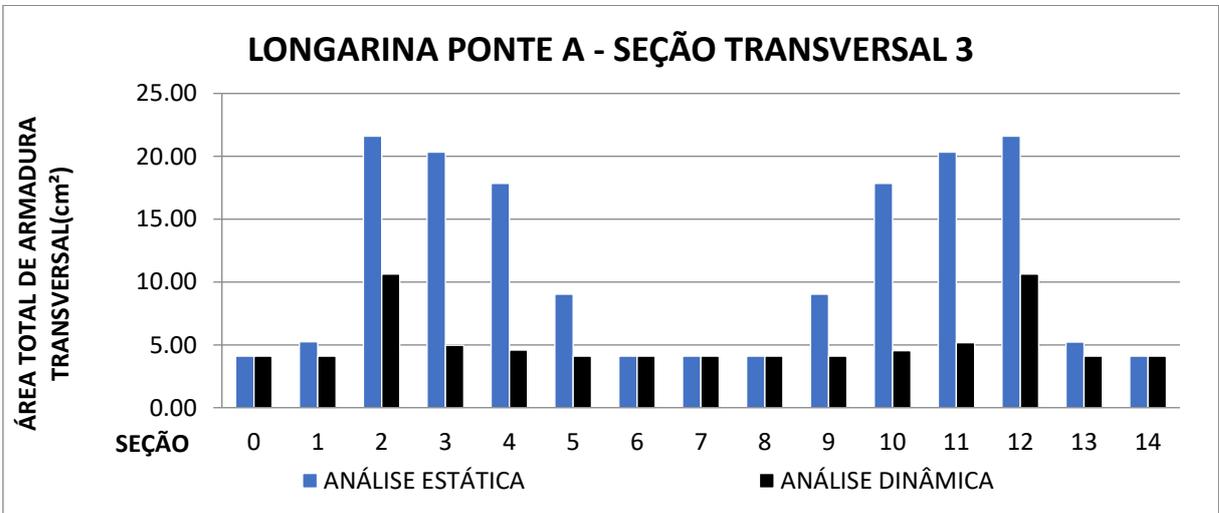


Figura 68 – Áreas finais de armadura transversal – longarina da ponte A seção transversal 2.  
Fonte: Autoria Própria.

#### **5.4 ARMADURA LONGITUDINAL MÁXIMA**

Segundo a NBR 6118:2014 as longarinas das pontes B e C, dimensionadas a partir da análise pseudo-estática, pertencentes a seção transversal 1, não obedecem aos critérios de segurança, uma vez que somados  $A_s(+)$  e  $A_s(-)$ , a taxa de armadura longitudinal é maior que 4% da área da seção de concreto. Logo, elas não poderiam ser executadas.

O critério de armadura máxima foi obedecido para todas as seções das longarinas das pontes A, B e C, quando a análise feita foi a transiente.

#### **5.5 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO**

A longarina da ponte C com seção transversal 1, tanto para a análise pseudo-estática quanto para a transiente, possui uma seção que rompe por ruptura do concreto. Ou seja,  $V_{rd2} < V_{sd}$ .

Na análise transiente, a seção que rompe é a 12, que corresponde a um dos apoios. Para garantir que a seção resista, aumentou-se sua largura para 100 cm.

A seção que não resiste quando a análise feita foi a pseudo-estática é a de número 3. Para impedir sua ruptura, sua base foi alargada para 80cm.

### **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Através do presente trabalho, foi possível conhecer a variação no resultado do dimensionamento de uma longarina de ponte rodoviária, quando consideradas as respostas obtidas através de análises estática e dinâmica transiente.

De uma forma geral, o dimensionamento das seções quando analisadas pela ótica da dinâmica transiente forneceu valores finais menores do que quando considerada a análise estática. Isso se deve a forma de aplicação das cargas. Pois, enquanto na análise pseudo-estática há o posicionamento do trem-tipo de modo a submeter à viga aos maiores valores de esforços, na análise dinâmica o

carregamento é aplicado diretamente sobre o eixo da viga considerando seu movimento real ao longo da estrutura.

Embora a análise dinâmica requeira um maior conhecimento sobre a estrutura e demande maior tempo, notou-se que essa implica em um projeto mais econômico.

Para trabalhos futuros, sugere-se o dimensionamento, por meio da análise dinâmica, das demais estruturas componentes da ponte. Outro tema de grande relevância seria o estudo da forma de aplicação da carga dinâmica, de modo a obter-se os valores de esforços cada vez mais condizentes com a realidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7188: *carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre*. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7187: *projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido-procedimentos*. Rio de Janeiro, 2003.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8681: *ações e segurança nas estruturas-procedimento*. Rio de Janeiro, 2003.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118: *projeto de estruturas de concreto-procedimento*. Rio de Janeiro, 2014.
- ARAÚJO, Daniel de Lima. *Projeto de ponte de concreto armado com duas longarinas*. Goiás: UFG, 2013.
- BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. *Flexão normal simples-vigas*. Bauru,SP: Feb-UNESP, 2015,(notas de aula).
- BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. *Dimensionamento de vigas de concreto armado à esforço cortante*. Bauru,SP: Feb-UNESP, 2017,(notas de aula).
- CARVALHO,R.C;FIGUEIREDO FILHO, J. R. *Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado*. 4.ed. São carlos, SP:EdUFScar,2014.
- EL DEBS, M.K.; TAKEYA,T. *Introdução às pontes de concreto*. São Carlos, SP: EESC-USP,2007. (notas de aula).
- MARCHETTI, Osvaldemar. *Pontes de concreto armado*. 1ª. São Paulo: Blucher, 2008.
- MARTHA, Luiz Fernando. *Análise de Estruturas*. Rio de janeiro. Elsevier,2010.
- SOUSA, Monique Gabrielly Silva. *Comparativo entre respostas das análises pseudo-estática e dinâmica de uma longarina de ponte rodoviária*. 2017. 64f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

## APÊNDICE A – ENVOLTÓRIAS DEVIDAS AO CARREGAMENTO ACIDENTAL- ANÁLISE DINÂMICA

Tabela 67 – Momentos fletores máximos e mínimos análise transiente - Ponte A Seção Transversal 1

MOMENTOS FLETORES PONTE A SEÇÃO TRANSVERSAL 1 (kN.m)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60 KM/H		80 KM/H		100 KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-1,24	1,91	-1,24	1,92	-1,24	1,92
1	1,75	-161,71	5,28	-161,82	5,35	-161,83	9,25
2	3,50	-165,86	3,94	-167,60	4,72	-169,15	5,31
3	5,00	<b>-267,23</b>	7,13	<b>-270,91</b>	8,50	-265,02	9,43
4	6,50	-86,90	94,44	-86,31	93,82	-86,28	90,69
5	8,00	-15,06	216,56	-15,39	216,92	-12,66	210,05
6	9,50	-13,08	304,31	-13,22	310,34	-13,35	296,33
7	11,00	-11,71	<b>334,53</b>	-11,81	<b>334,88</b>	-11,90	<b>330,35</b>
8	12,50	-8,35	304,87	-9,86	301,84	-9,59	301,54
9	14,00	-10,14	216,19	-10,77	219,08	-10,94	211,92
10	15,50	-87,86	94,42	-88,89	93,70	-86,49	91,71
11	17,00	-265,73	11,18	-264,37	11,29	<b>-267,25</b>	11,39
12	18,50	-163,66	6,32	-165,92	6,33	-168,93	6,38
13	20,25	-116,80	0,85	-117,60	0,84	-118,44	0,78
14	22,00	-0,08	0,08	-0,11	0,11	-0,13	0,14

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 68 – Momentos fletores máximos e mínimos análise transiente - Ponte A Seção Transversal 2

MOMENTOS FLETORES PONTE A SEÇÃO TRANSVERSAL 2 (kN.m)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60 KM/H		80 KM/H		100 KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-1,19	1,33	-1,20	1,34	-1,20	1,34
1	1,75	-150,48	2,76	-150,58	3,11	-150,59	7,58
2	3,50	-184,64	8,08	-186,66	8,13	-188,59	8,49
3	5,00	-241,76	13,06	<b>-242,95</b>	13,39	<b>-245,63</b>	13,64
4	6,50	-76,01	114,47	-75,65	112,97	-75,94	112,50
5	8,00	-31,22	236,79	-31,50	235,58	-31,78	235,57
6	9,50	-28,78	323,76	-25,47	324,38	-25,80	326,53
7	11,00	-23,56	<b>356,22</b>	-23,82	<b>349,82</b>	-24,05	<b>355,01</b>
8	12,50	-18,53	325,16	-19,52	323,10	-19,23	321,72
9	14,00	-23,60	237,74	-24,95	236,44	-24,71	232,95
10	15,50	-76,23	114,34	-76,03	112,96	-76,01	113,09
11	17,00	<b>-242,68</b>	20,24	-241,99	20,49	-241,67	20,72
12	18,50	-176,28	13,39	-174,97	13,55	-174,82	13,69
13	20,25	-115,04	1,17	-116,27	1,10	-117,35	1,27

14	22,00	-0,04	0,05	-0,08	0,06	-0,12	0,09
----	-------	-------	------	-------	------	-------	------

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 69 – Momentos fletores máximos e mínimos análise transiente - Ponte A Seção Transversal 3

MOMENTOS FLETORES PONTE A SEÇÃO TRANSVERSAL 3 (kN.m)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60 KM/H		80 KM/H		100 KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-1,11	1,17	-1,11	1,18	-1,11	1,18
1	1,75	-147,67	1,70	-147,77	2,72	-147,79	4,69
2	3,50	-191,54	10,09	-196,51	10,00	-197,15	10,25
3	5,00	<b>-229,94</b>	15,77	<b>-229,16</b>	15,82	-227,87	16,15
4	6,50	-68,95	126,07	-68,87	123,49	-69,57	122,15
5	8,00	-41,40	249,42	-41,79	249,40	-42,16	249,59
6	9,50	-33,61	338,10	-33,50	330,27	-33,78	330,53
7	11,00	-28,24	<b>366,27</b>	-28,79	<b>362,89</b>	-29,34	<b>363,91</b>
8	12,50	-25,07	334,86	-25,56	333,45	-25,85	338,25
9	14,00	-32,16	248,99	-32,97	247,36	-33,16	245,26
10	15,50	-69,39	125,96	-68,51	123,97	-68,26	124,47
11	17,00	-227,67	22,72	-227,66	23,22	<b>-229,91</b>	23,71
12	18,50	-180,64	15,86	-179,92	16,18	-182,28	164,91
13	20,25	-115,05	1,26	-116,14	1,23	-117,15	1,42
14	22,00	-0,04	0,05	-0,07	0,05	-0,11	0,08

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 70 – Momentos fletores máximos e mínimos análise transiente - Ponte B Seção Transversal 1

MOMENTO FLETOR PONTE B SEÇÃO TRANSVERSAL 1 (kN.m)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KM/H		100 KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-1,61	1,69	-1,62	1,70	-1,63	1,71
1	1,50	-125,95	15,85	-126,09	17,98	-126,23	23,88
2	3,00	-422,55	32,70	-442,28	39,59	-438,46	59,75
3	4,50	-281,70	6,84	-293,23	6,43	-295,99	19,14
4	6,00	-468,90	13,59	<b>-463,31</b>	14,06	<b>-470,45</b>	27,26
5	7,50	-258,75	57,83	-258,07	62,47	-255,03	64,04
6	9,00	-100,35	184,97	-99,67	180,95	-99,26	183,24
7	10,50	-23,39	314,91	-24,60	309,21	-24,41	316,32
8	12,00	-22,23	421,61	-23,36	413,38	-24,15	409,26
9	13,50	-18,68	490,58	-17,23	477,47	-18,50	477,20
10	15,00	-14,28	<b>513,65</b>	-14,51	<b>495,09</b>	-14,89	<b>506,48</b>
11	16,50	-16,60	488,53	-16,94	479,19	-17,29	470,97
12	18,00	-17,08	419,16	-15,73	412,81	-16,59	418,24
13	19,50	-15,97	313,54	-16,31	306,50	-17,50	308,90
14	21,00	-100,52	186,00	-98,79	183,69	-99,45	181,52

15	22,50	-261,15	59,35	-257,78	61,54	-260,05	60,33
16	24,00	<b>-473,68</b>	22,04	-462,89	22,21	-466,58	22,85
17	25,50	-255,32	12,60	-248,10	12,21	-251,75	12,53
18	27,00	-342,62	4,14	-342,04	3,61	-342,83	4,47
19	28,50	-88,49	1,27	-88,32	1,29	-89,09	1,37
20	30,00	-0,15	0,17	-0,14	0,17	-0,17	0,19

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 71 – Momentos fletores máximos e mínimos análise transiente - Ponte B Seção Transversal 2

MOMENTO FLETOR PONTE B SEÇÃO TRANSVERSAL 2 (kN.m)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KM/H		100 KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-0,83	1,41	-0,84	1,42	-0,86	1,43
1	1,50	-121,96	4,83	-122,20	7,95	-122,44	9,37
2	3,00	-390,34	7,54	-397,47	10,18	-412,16	16,62
3	4,50	-319,34	16,10	-315,90	12,71	-334,14	13,75
4	6,00	<b>-445,48</b>	28,35	-444,18	22,31	<b>-446,84</b>	24,62
5	7,50	-241,32	88,25	-241,66	75,17	-239,82	77,35
6	9,00	-85,88	208,94	-86,53	204,24	-86,30	206,35
7	10,50	-44,89	331,07	-45,27	334,24	-46,87	325,61
8	12,00	-48,63	431,53	-40,31	442,83	-39,03	424,48
9	13,50	-45,63	512,08	-39,20	509,56	-35,01	499,51
10	15,00	-35,96	<b>525,18</b>	-36,83	<b>532,53</b>	-37,86	<b>532,42</b>
11	16,50	-33,94	494,00	-34,68	507,75	-35,43	498,57
12	18,00	-32,48	441,70	-27,01	441,76	-30,54	421,79
13	19,50	-35,06	331,43	-28,41	335,03	-33,04	327,88
14	21,00	-85,49	208,91	-86,42	204,58	-86,40	204,79
15	22,50	-238,95	76,92	-242,20	75,69	-240,16	75,56
16	24,00	-443,45	44,18	<b>-449,34</b>	40,48	-445,58	41,69
17	25,50	-279,51	28,50	-277,34	24,15	-275,85	24,83
18	27,00	-339,65	8,40	-335,98	8,70	-340,35	8,91
19	28,50	-87,27	2,63	-86,50	2,73	-87,33	2,79
20	30,00	-0,10	0,11	-0,10	0,10	-0,12	0,10

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 72 – Momentos fletores máximos e mínimos análise transiente - Ponte B Seção Transversal 3

MOMENTO FLETOR PONTE B SEÇÃO TRANSVERSAL 3 (kN.m)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KM/H		100 KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-0,62	1,27	-0,63	1,28	-0,64	1,29
1	1,50	-119,88	4,19	-120,12	4,91	-120,37	6,62
2	3,00	-382,48	8,94	-394,65	8,60	-410,95	11,47
3	4,50	-334,58	16,06	-334,82	21,99	-354,25	19,53

4	6,00	<b>-428,38</b>	27,84	-438,44	38,16	-432,88	34,18
5	7,50	-226,89	90,75	-235,04	102,83	-229,72	93,14
6	9,00	-79,46	221,68	-78,95	219,73	-79,14	216,12
7	10,50	-67,28	348,85	-59,68	342,20	-52,50	353,15
8	12,00	-64,34	443,56	-59,70	454,22	-51,47	454,67
9	13,50	-53,62	521,93	-51,46	525,26	-46,88	516,69
10	15,00	-46,26	<b>525,50</b>	-43,96	<b>555,49</b>	-45,43	<b>530,08</b>
11	16,50	-41,04	521,08	-42,15	531,77	-43,25	502,33
12	18,00	-36,63	440,18	-44,83	462,48	-41,37	441,83
13	19,50	-43,33	347,31	-47,41	348,20	-44,20	342,82
14	21,00	-79,24	221,80	-80,43	218,57	-79,57	217,42
15	22,50	-226,20	90,64	-236,05	98,35	-231,40	87,91
16	24,00	-427,53	47,32	<b>-439,60</b>	47,37	<b>-437,44</b>	49,01
17	25,50	-293,48	31,41	-289,58	28,94	-290,38	29,89
18	27,00	-338,79	9,82	-337,19	9,69	-339,27	10,02
19	28,50	-86,38	3,12	-87,23	3,08	-87,02	3,18
20	30,00	-0,11	0,09	-0,11	0,10	-0,11	0,10

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 73 – Momentos fletores máximos e mínimos análise transiente - Ponte C Seção Transversal 1

MOMENTOS FLETORES PONTE C SEÇÃO 1 (kN.m)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KMK/H		100KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-16,15	16,65	-16,17	16,66	-16,17	16,67
1	3,50	-834,66	182,53	-834,88	257,88	-835,10	319,06
2	6,50	-866,05	85,26	-889,60	249,39	<b>-866,57</b>	134,69
3	9,50	-791,93	80,05	-815,68	317,39	-816,65	84,51
4	12,50	-218,01	486,94	-201,69	508,89	-231,84	501,49
5	15,50	-127,21	906,29	-242,60	953,69	-83,70	983,39
6	18,50	-82,56	946,26	-363,91	983,59	-95,99	1026,90
7	20,00	-93,09	927,01	-381,47	1079,20	-106,36	920,46
8	21,50	-96,75	<b>1030,50</b>	-365,36	<b>1195,30</b>	-117,57	<b>1067,60</b>
9	24,50	-141,84	959,61	-258,89	993,84	-128,54	913,96
10	27,50	-227,46	444,48	-261,16	445,56	-290,35	456,98
11	30,50	<b>-873,28</b>	86,62	<b>-944,29</b>	323,68	-858,06	111,47
12	33,50	-769,38	93,62	-906,99	64,29	-781,66	58,51
13	36,50	-474,77	141,73	-470,65	132,03	-563,87	136,67
14	40,00	-6,23	6,22	-5,80	5,85	-6,01	5,92

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 74 – Momentos fletores máximos e mínimos análise transiente - Ponte C Seção Transversal 2

MOMENTOS FLETORES PONTE C SEÇÃO 2 (kN.m)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KMK/H		100KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-13,41	14,10	-13,42	14,13	-13,43	14,16
1	3,50	-789,58	37,45	-790,21	72,73	-790,83	117,22
2	6,50	<b>-929,35</b>	52,95	<b>-935,51</b>	34,02	<b>-948,88</b>	190,72
3	9,50	-738,75	68,34	-761,50	66,97	-715,93	220,47
4	12,50	-180,10	481,60	-184,16	469,94	-182,41	482,03
5	15,50	-176,99	964,48	-175,22	942,73	-165,16	922,67
6	18,50	-103,48	967,10	-107,24	<b>1021,80</b>	-263,59	974,51
7	20,00	-105,28	872,33	-105,66	908,46	-281,68	1045,50
8	21,50	-123,16	<b>973,90</b>	-123,94	983,96	-277,47	<b>1167,90</b>
9	24,50	-141,99	960,64	-142,11	934,80	-208,07	1072,20
10	27,50	-185,58	472,87	-205,49	478,05	-203,04	483,98
11	30,50	-747,58	87,74	-729,06	89,00	-856,75	225,79
12	33,50	-730,10	157,54	-699,12	136,14	-848,23	134,97
13	36,50	-470,55	121,55	-475,11	124,02	-493,26	116,82
14	40,00	-5,16	5,24	-5,26	5,38	-4,96	5,04

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 75 – Momentos fletores máximos e mínimos análise transiente - Ponte C Seção Transversal 3

MOMENTOS FLETORES PONTE C SEÇÃO 3 (kN.m)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KMK/H		100KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-11,43	11,48	-11,44	11,51	-11,46	11,54
1	3,50	-734,06	27,70	-734,71	35,21	-735,37	39,69
2	6,50	<b>-922,04</b>	49,83	<b>-935,64</b>	50,61	<b>-949,23</b>	92,84
3	9,50	-720,52	79,23	-694,00	71,59	-721,75	110,42
4	12,50	-202,21	505,46	-205,45	514,39	-208,68	521,00
5	15,50	-185,43	997,00	-187,72	931,06	-190,02	1009,00
6	18,50	-124,35	<b>1011,00</b>	-126,06	<b>1005,40</b>	-128,31	1025,40
7	20,00	-138,84	905,27	-139,51	893,01	-142,50	965,13
8	21,50	-154,15	1004,70	-155,30	995,09	-159,26	<b>1071,50</b>
9	24,50	-161,25	992,33	-161,53	938,75	-164,13	1021,10
10	27,50	-166,25	506,61	-179,46	502,40	-195,05	510,75
11	30,50	-705,30	107,21	-682,24	108,85	-753,18	110,14
12	33,50	-731,67	187,23	-690,53	163,05	-755,69	156,14
13	36,50	-471,02	108,76	-467,36	111,82	-487,19	106,50
14	40,00	-4,52	4,71	-4,65	4,72	-4,43	4,60

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 76 – Esforços cortantes máximos e mínimos análise transiente - Ponte A Seção Transversal 1

ESFORÇOS CORTANTES PONTE A SEÇÃO TRANSVERSAL 1 (kN)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KM/H		100KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-0,14	33,67	-0,09	33,67	-0,18	33,67
1	1,75	-4,81	178,38	-4,95	179,98	-8,43	181,50
2	3,50	-464,71	<b>495,00</b>	-469,34	<b>504,34</b>	-473,77	<b>506,75</b>
3	5,00	-200,37	3,89	-196,79	4,19	-195,05	4,32
4	6,50	-176,48	8,64	-176,79	5,56	-170,49	10,62
5	8,00	-145,14	24,43	-146,95	26,09	-140,71	22,73
6	9,50	-111,35	48,77	-109,63	48,67	-109,87	48,34
7	11,00	-79,67	79,34	-77,25	78,46	-79,60	77,52
8	12,50	-49,21	111,46	-48,68	110,29	-46,27	108,25
9	14,00	-24,43	145,13	-23,84	143,92	-22,41	143,94
10	15,50	-8,14	175,91	-9,98	178,44	-5,87	172,89
11	17,00	-6,90	200,47	-5,80	200,66	-5,39	198,87
12	18,50	<b>-493,19</b>	393,72	<b>-500,68</b>	395,81	<b>-509,76</b>	393,83
13	20,25	-155,38	0,78	-154,67	0,77	-153,96	0,72
14	22,00	-32,88	0,02	-32,90	0,02	-32,92	0,01

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 77 – Esforços cortantes máximos e mínimos análise transiente - Ponte A Seção Transversal 2

ESFORÇOS CORTANTES PONTE A SEÇÃO TRANSVERSAL 2 (kN)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KM/H		100KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-0,04	33,34	-0,06	33,34	-0,11	33,34
1	1,75	-2,35	166,05	-2,57	167,63	-6,42	169,16
2	3,50	-374,64	<b>420,87</b>	-378,54	<b>423,59</b>	-382,30	<b>428,62</b>
3	5,00	-199,55	4,84	-198,14	4,56	-193,72	6,74
4	6,50	-173,80	8,54	-172,80	7,11	-173,00	9,41
5	8,00	-144,21	25,86	-144,12	26,21	-144,70	26,56
6	9,50	-112,66	51,30	-109,94	51,67	-110,36	49,39
7	11,00	-80,13	80,88	-78,60	78,81	-80,90	79,44
8	12,50	-50,10	112,65	-51,56	109,62	-48,51	110,04
9	14,00	-25,34	144,58	-26,21	143,66	-25,37	143,48
10	15,50	-9,85	174,77	-9,26	173,47	-9,94	171,49
11	17,00	-9,82	200,19	-9,92	196,95	-10,00	197,92
12	18,50	<b>-425,67</b>	328,77	<b>-421,96</b>	332,49	<b>-421,24</b>	331,51
13	20,25	-153,60	0,99	-153,53	0,94	-154,26	1,08
14	22,00	-32,82	0,02	-32,83	0,02	-32,87	0,02

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 78– Esforços cortantes máximos e mínimos análise transiente - Ponte A Seção Transversal 3

ESFORÇOS CORTANTES PONTE A SEÇÃO TRANSVERSAL 3 (kN)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KM/H		100KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-0,02	33,25	-0,05	33,25	-0,06	33,25
1	1,75	-1,38	162,66	-2,29	165,94	-3,81	165,76
2	3,50	-347,63	<b>401,40</b>	-351,29	<b>397,50</b>	-354,81	<b>401,51</b>
3	5,00	-196,33	5,92	-196,38	5,64	-196,07	5,96
4	6,50	-173,46	10,94	-173,48	10,46	-173,94	12,57
5	8,00	-144,88	28,87	-141,72	26,11	-141,45	28,47
6	9,50	-112,05	52,13	-110,26	52,06	-111,10	49,28
7	11,00	-81,44	81,40	-79,58	79,25	-81,53	80,15
8	12,50	-52,43	112,43	-52,76	110,69	-50,54	109,13
9	14,00	-27,46	143,63	-27,44	142,74	-27,27	144,84
10	15,50	-11,27	172,99	-11,45	171,83	-11,63	170,84
11	17,00	-12,49	197,79	-12,67	195,75	-12,85	195,69
12	18,50	<b>-396,60</b>	308,64	<b>-399,07</b>	310,29	<b>-401,78</b>	309,97
13	20,25	-153,52	1,01	-153,37	0,99	-154,42	1,14
14	22,00	-32,82	0,02	-32,83	0,02	-32,87	0,02

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 79 – Esforços cortantes máximos e mínimos análise transiente - Ponte B Seção Transversal 1

ESFORÇOS CORTANTES PONTE B SEÇÃO TRANSVERSAL 1 (kN)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KM/H		100KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-0,23	28,72	-0,24	28,72	-0,38	28,72
1	1,50	-18,20	171,76	-20,94	178,35	-27,87	174,27
2	3,00	-12,70	255,83	-20,15	269,98	-24,01	281,88
3	4,50	<b>-789,06</b>	<b>761,65</b>	<b>-842,35</b>	<b>752,43</b>	<b>-853,64</b>	<b>748,33</b>
4	6,00	-213,04	7,75	-215,61	7,58	-212,88	10,46
5	7,50	-200,48	7,53	-195,63	7,32	-194,55	10,25
6	9,00	-183,37	12,14	-178,03	14,26	-183,87	12,54
7	10,50	-161,64	25,04	-159,57	27,84	-156,04	27,10
8	12,00	-137,87	43,69	-135,78	45,05	-135,47	41,83
9	13,50	-113,20	65,67	-110,15	65,08	-112,70	66,68
10	15,00	-88,55	89,30	-87,44	87,32	-86,37	85,91
11	16,50	-65,52	113,58	-64,80	110,54	-65,55	112,47
12	18,00	-43,81	137,82	-44,70	135,19	-44,30	133,51
13	19,50	-24,82	161,11	-27,47	159,69	-25,90	159,17
14	21,00	-11,78	182,63	-12,99	178,02	-12,54	178,33
15	22,50	-10,31	200,21	-8,24	196,05	-9,08	199,27

16	24,00	-11,91	214,01	-9,65	213,04	-10,77	212,10
17	25,50	-771,24	659,78	-746,38	666,61	-758,40	661,17
18	27,00	-225,19	2,14	-224,44	1,86	-222,33	2,29
19	28,50	-142,63	1,47	-142,34	1,53	-142,75	1,59
20	30,00	-28,18	0,02	-28,16	0,02	-28,23	0,02

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 80 – Esforços cortantes máximos e mínimos análise transiente - Ponte B Seção Transversal 2

ESFORÇOS CORTANTES PONTE B SEÇÃO TRANSVERSAL 2 (kN)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KM/H		100KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-0,09	28,57	-0,09	28,57	-0,10	28,57
1	1,50	-5,11	158,83	-8,37	161,20	-10,30	165,55
2	3,00	-3,64	235,95	-4,98	236,84	-6,46	257,29
3	4,50	-614,96	<b>657,00</b>	-639,55	<b>660,13</b>	<b>-677,37</b>	<b>651,27</b>
4	6,00	-211,44	9,00	-213,12	8,91	-214,86	8,91
5	7,50	-201,53	9,18	-197,73	8,15	-199,52	9,13
6	9,00	-177,51	18,85	-180,01	14,00	-175,24	14,53
7	10,50	-156,65	28,12	-161,10	25,03	-152,24	28,84
8	12,00	-137,96	46,45	-137,09	43,44	-134,04	46,32
9	13,50	-112,02	67,90	-112,69	65,87	-113,13	67,39
10	15,00	-88,81	89,03	-87,69	86,97	-87,34	86,51
11	16,50	-65,72	112,75	-66,13	111,40	-67,50	113,61
12	18,00	-46,96	134,08	-43,53	136,35	-46,97	132,59
13	19,50	-30,59	160,24	-24,10	160,55	-28,01	152,81
14	21,00	-13,77	178,85	-12,85	180,20	-13,26	175,74
15	22,50	-17,01	193,88	-14,20	196,58	-13,38	197,89
16	24,00	-18,98	213,19	-16,10	211,19	-15,24	215,07
17	25,50	<b>-659,15</b>	573,97	<b>-668,34</b>	552,69	-648,81	571,32
18	27,00	-226,06	4,18	-221,46	4,33	-220,90	4,44
19	28,50	-141,36	2,82	-140,04	2,93	-141,70	3,00
20	30,00	-28,19	0,03	-28,14	0,03	-28,22	0,03

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 81 – Esforços cortantes máximos e mínimos análise transiente - Ponte B Seção Transversal 3

ESFORÇOS CORTANTES PONTE B SEÇÃO TRANSVERSAL 3 (kN)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KM/H		100KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-0,08	28,50	-0,05	28,50	-0,07	28,51
1	1,50	-4,23	155,18	-4,90	158,85	-7,07	164,28
2	3,00	-4,40	238,14	-4,22	239,96	-5,66	255,84
3	4,50	-574,18	<b>623,20</b>	-597,56	<b>634,81</b>	<b>-633,57</b>	<b>635,33</b>
4	6,00	-211,05	10,30	-210,75	12,34	-210,35	11,56

5	7,50	-196,76	9,88	-193,84	11,01	-195,15	10,67
6	9,00	-179,84	14,87	-176,86	19,37	-182,34	15,01
7	10,50	-155,73	31,61	-158,55	33,81	-158,91	24,75
8	12,00	-137,25	45,51	-137,18	50,29	-135,09	42,93
9	13,50	-111,87	68,60	-113,12	68,34	-111,14	66,16
10	15,00	-89,22	89,47	-87,63	87,67	-87,77	87,54
11	16,50	-68,54	111,41	-65,02	111,60	-69,00	111,02
12	18,00	-45,45	136,69	-46,46	138,42	-48,18	129,53
13	19,50	-31,26	155,03	-30,65	162,18	-29,63	154,25
14	21,00	-13,83	179,08	-19,32	181,07	-15,38	177,58
15	22,50	-15,47	194,16	-15,88	198,21	-16,28	198,21
16	24,00	-16,31	210,28	-16,73	212,00	-17,14	215,24
17	25,50	<b>-616,56</b>	541,99	<b>-641,37</b>	542,94	-633,43	538,94
18	27,00	-225,61	4,79	-221,97	4,72	-220,29	4,88
19	28,50	-141,06	3,20	-140,51	3,16	-141,26	3,27
20	30,00	-28,16	0,03	-28,20	0,03	-28,21	0,03

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 82 – Esforços cortantes máximos e mínimos análise transiente - Ponte C Seção Transversal 1

ESFORÇOS CORTANTES PONTE C SEÇÃO TRANSVERSAL 1 (kN)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KM/H		100KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-2,08	70,04	-2,93	70,05	-3,62	70,06
1	3,50	-87,66	455,06	-123,89	466,46	-153,26	466,45
2	6,50	<b>-2427,20</b>	<b>1941,70</b>	-2447,00	<b>2125,60</b>	<b>-2487,10</b>	<b>2165,80</b>
3	9,50	-418,80	52,51	-442,29	111,15	-427,50	44,21
4	12,50	-330,98	49,12	-341,83	94,34	-349,14	42,12
5	15,50	-217,87	60,80	-211,42	64,18	-203,33	59,04
6	18,50	-139,56	126,00	-151,95	133,48	-151,79	150,17
7	20,00	-134,88	129,85	-136,38	148,37	-145,47	157,49
8	21,50	-122,12	132,61	-128,88	149,85	-138,23	159,41
9	24,50	-77,01	231,58	-112,67	246,95	-58,60	214,13
10	27,50	-44,66	354,68	-101,81	380,60	-28,81	335,02
11	30,50	-56,37	417,90	-116,38	450,26	-38,42	426,16
12	33,50	-2107,90	1628,80	<b>-2494,90</b>	2008,90	-2288,20	1953,90
13	36,50	-312,72	68,17	-306,65	63,51	-352,89	65,80
14	40,00	-65,83	1,60	-65,75	1,49	-66,85	1,54

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 83 – Esforços cortantes máximos e mínimos análise transiente - Ponte C Seção Transversal 2

ESFORÇOS CORTANTES PONTE C SEÇÃO TRANSVERSAL 2 (kN)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KM/H		100KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO

0	0,00	-0,37	69,13	-0,52	69,14	-1,17	69,15
1	3,50	-17,73	420,42	-34,78	422,89	-55,23	425,35
2	6,50	<b>-1944,20</b>	<b>1792,30</b>	<b>-1956,40</b>	<b>1725,10</b>	-1968,70	<b>1740,60</b>
3	9,50	-396,09	47,83	-386,16	55,83	-386,35	74,22
4	12,50	-338,88	38,31	-330,59	32,51	-322,18	65,13
5	15,50	-203,04	61,55	-220,68	68,10	-198,41	68,55
6	18,50	-129,66	121,26	-131,63	125,29	-144,32	124,79
7	20,00	-130,10	130,24	-128,87	133,30	-131,18	135,80
8	21,50	-116,78	131,90	-120,79	137,81	-124,67	134,45
9	24,50	-64,81	207,06	-64,02	218,98	-83,19	234,86
10	27,50	-39,86	340,83	-40,09	329,55	-76,09	378,79
11	30,50	-58,68	386,65	-58,91	385,69	-72,55	454,48
12	33,50	-1756,90	1423,70	-1694,40	1435,80	<b>-2154,90</b>	1688,90
13	36,50	-312,62	57,23	-314,75	58,38	-316,38	54,95
14	40,00	-65,74	1,23	-65,71	1,26	-65,96	1,19

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 84 – Esforços cortantes máximos e mínimos análise transiente - Ponte C Seção Transversal 3

ESFORÇOS CORTANTES PONTE C SEÇÃO TRANSVERSAL 3 (kN)							
SEÇÃO	POSIÇÃO (m)	60KM/H		80KM/H		100KM/H	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
0	0,00	-0,27	68,40	-0,33	68,41	-0,37	68,43
1	3,50	-12,98	400,92	-16,43	406,29	-18,59	411,67
2	6,50	<b>-1780,10</b>	<b>1719,60</b>	<b>-1806,60</b>	<b>1644,50</b>	<b>-1833,10</b>	<b>1742,70</b>
3	9,50	-400,58	32,78	-400,21	33,40	-409,91	34,55
4	12,50	-342,76	33,38	-316,38	31,47	-343,10	37,30
5	15,50	-218,94	64,60	-214,84	58,92	-219,91	66,07
6	18,50	-133,48	116,78	-133,83	125,05	-134,19	124,47
7	20,00	-130,59	128,61	-131,63	131,14	-128,08	132,07
8	21,50	-119,88	132,49	-123,02	133,76	-115,65	133,25
9	24,50	-61,29	217,18	-59,07	214,80	-69,32	227,45
10	27,50	-46,26	339,64	-46,58	320,99	-47,53	350,79
11	30,50	-65,65	397,86	-65,98	392,15	-66,64	407,76
12	33,50	-1701,90	1337,40	-1575,80	1369,20	-1770,00	1358,70
13	36,50	-312,64	50,52	-311,06	51,90	-318,56	49,45
14	40,00	-65,76	1,04	-65,71	1,08	-65,91	1,02

Fonte: Autoria Própria.

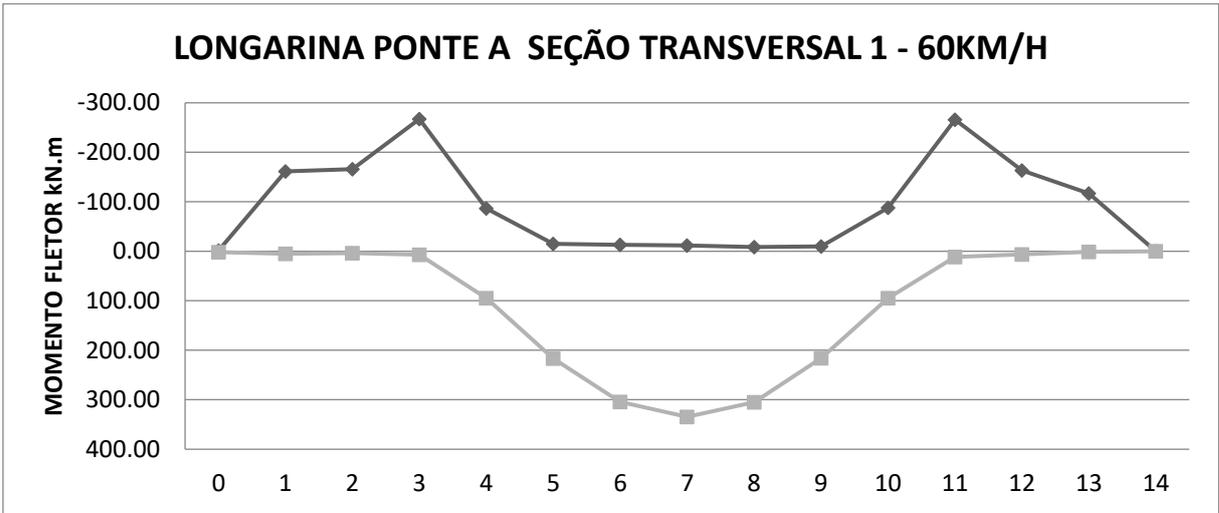


Figura 69 - Envoltória de momento fletor - Ponte A seção transversal 1 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

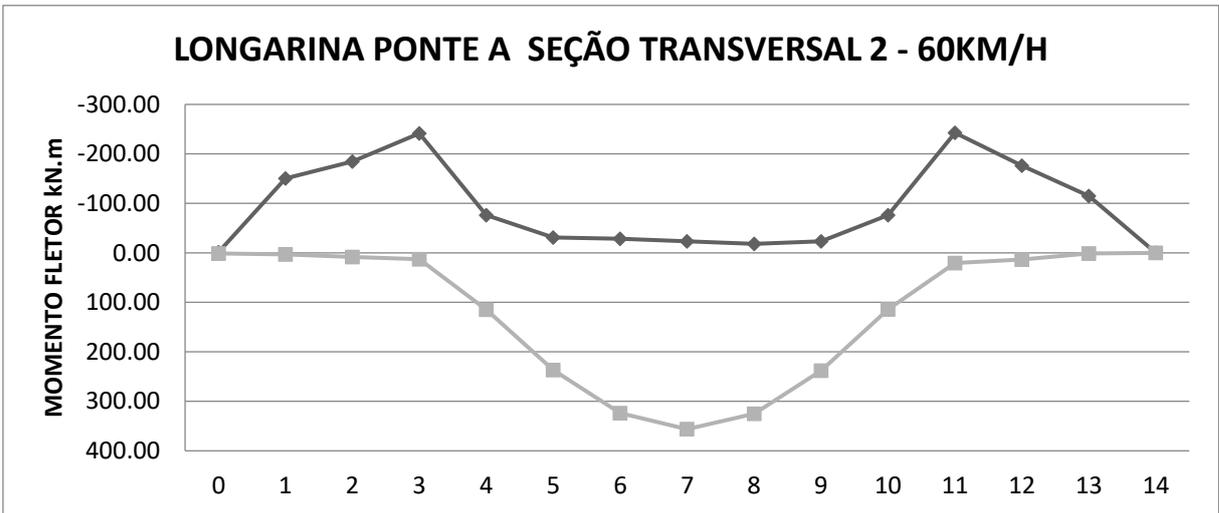


Figura 70 - Envoltória de momento fletor - Ponte A seção transversal 2 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

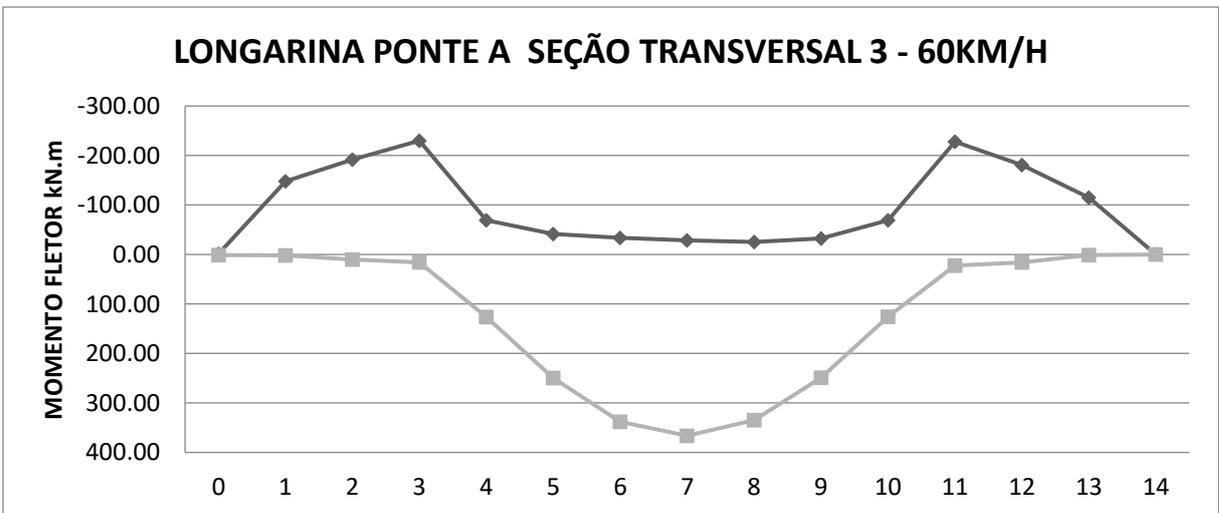


Figura 71 - Envoltória de momento fletor - Ponte A seção transversal 3 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

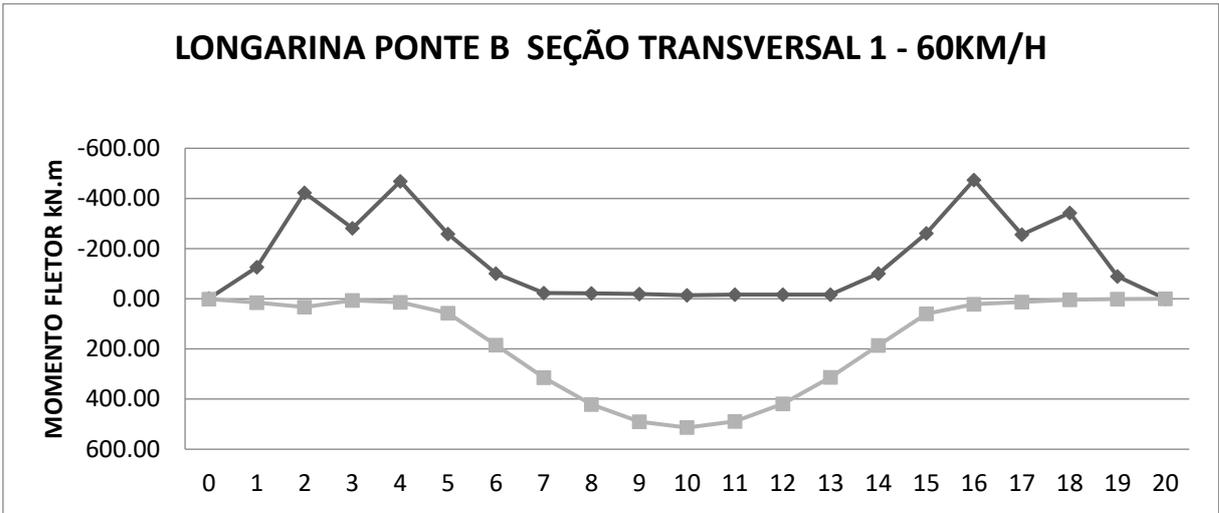


Figura 72 - Envoltória de momento fletor - Ponte B seção transversal 1 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

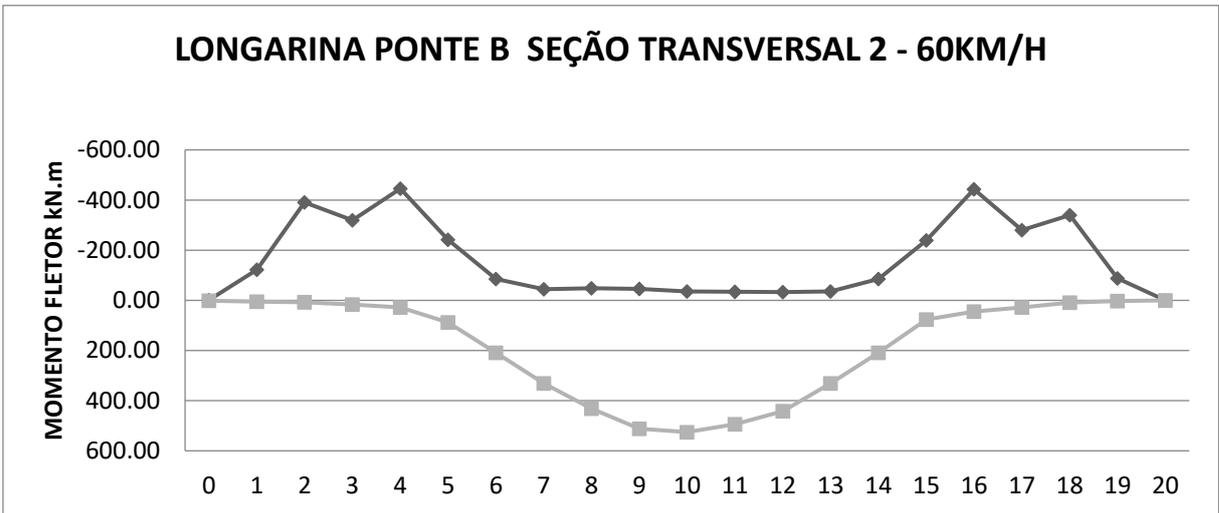


Figura 73 - Envoltória de momento fletor - Ponte B seção transversal 2 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

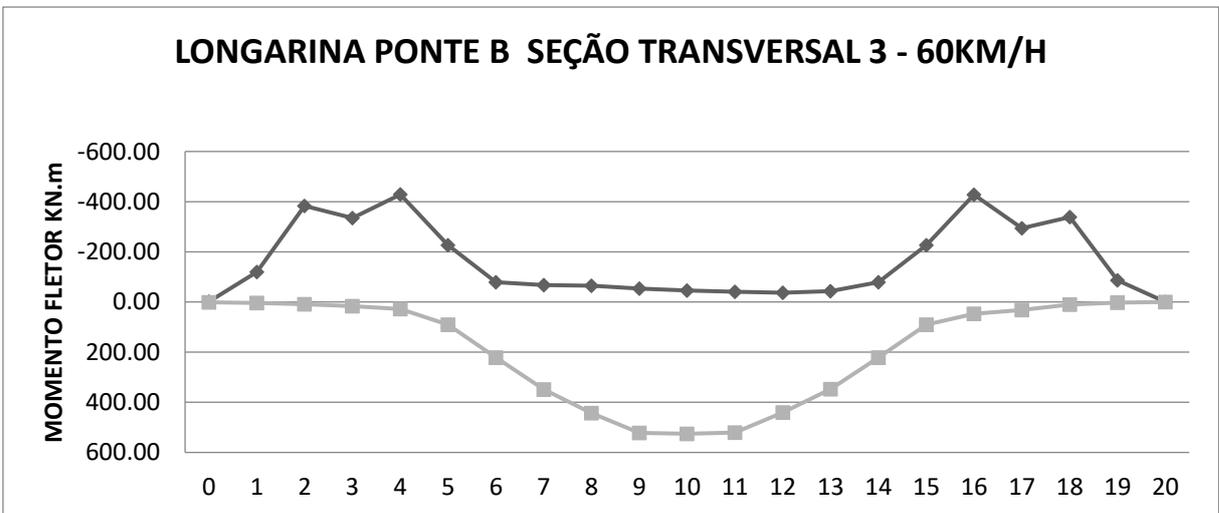


Figura 74 - Envoltória de momento fletor - Ponte B seção transversal 3 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

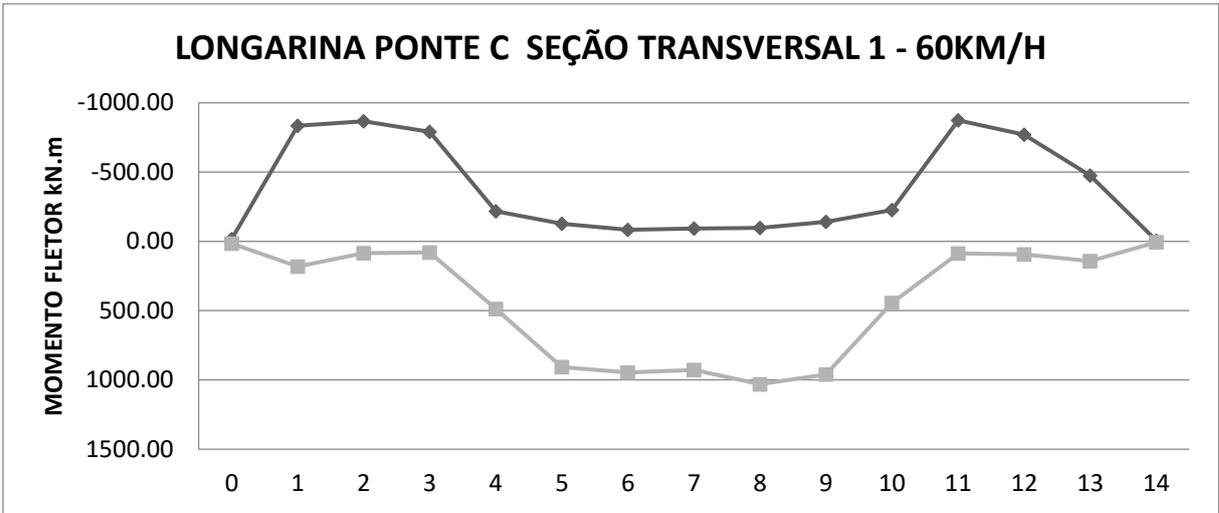


Figura 75 - Envoltória de momento fletor - Ponte C seção transversal 1 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

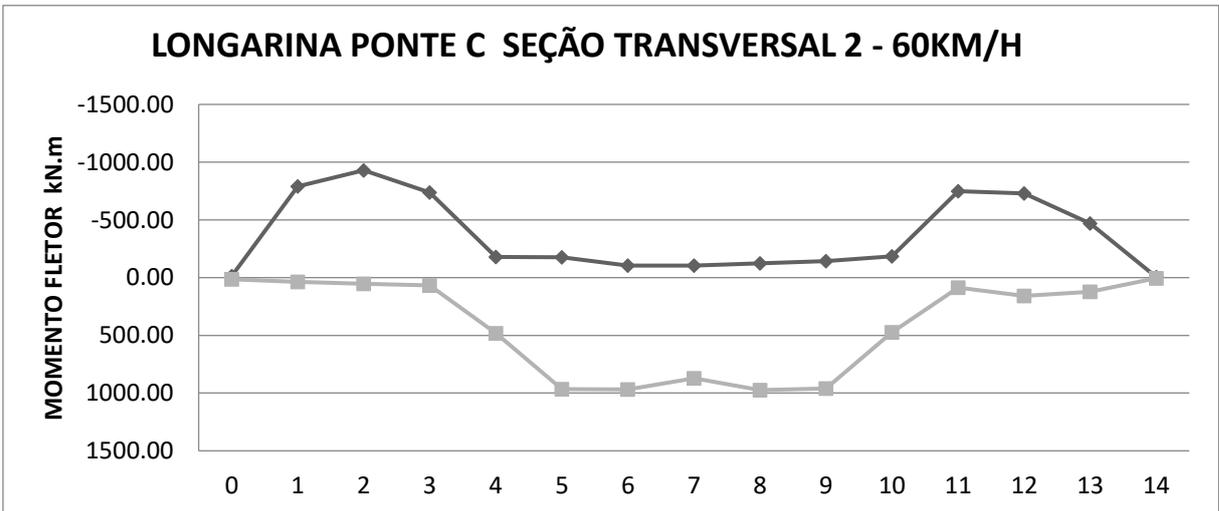


Figura 76 - Envoltória de momento fletor - Ponte C seção transversal 2 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

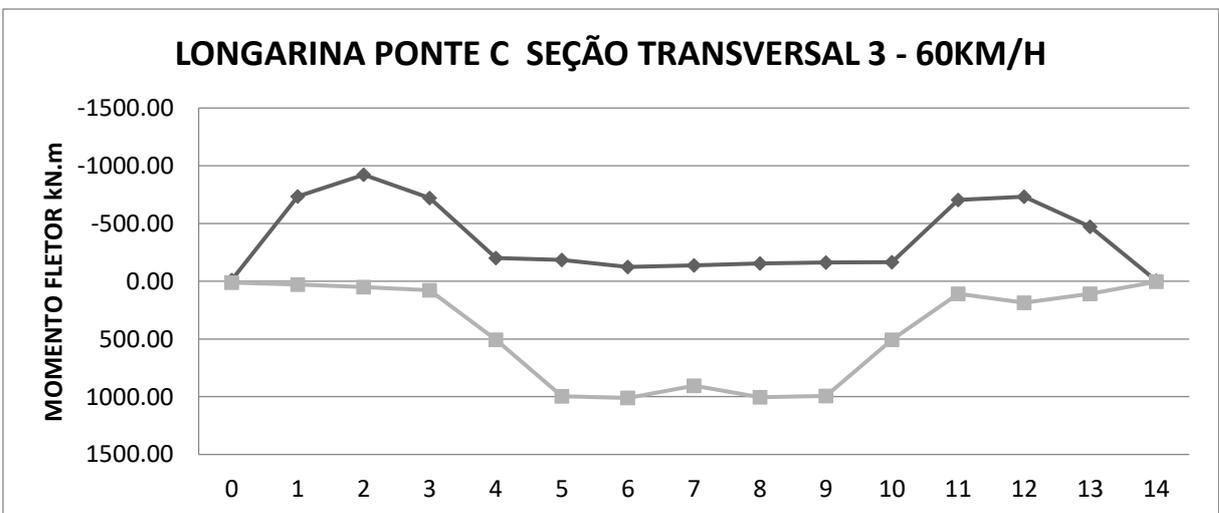


Figura 77 - Envoltória de momento fletor - Ponte C seção transversal 3 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

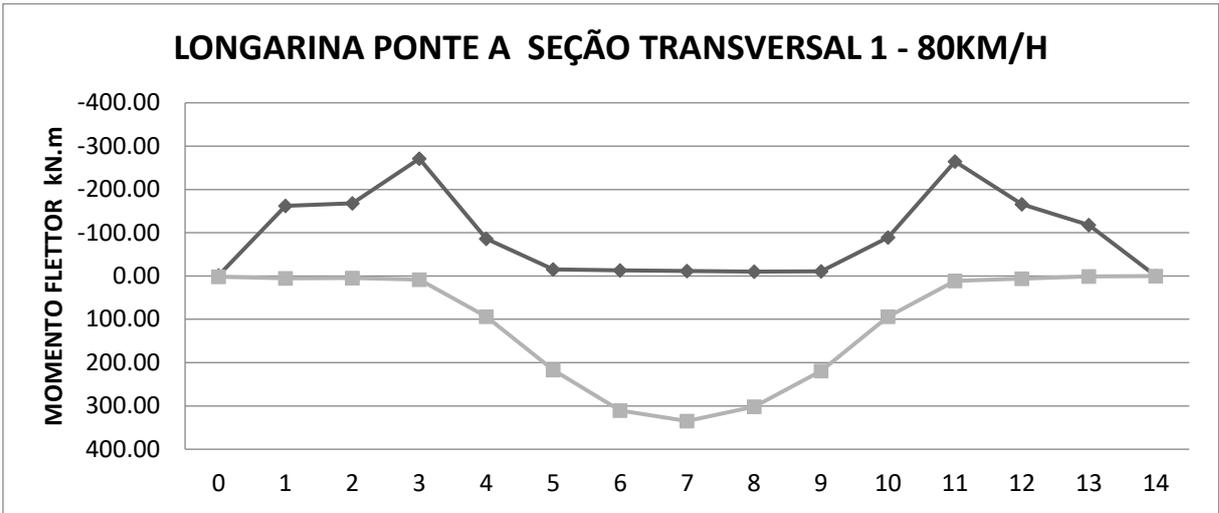


Figura 78 - Envoltória de momento fletor - Ponte A seção transversal 1 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

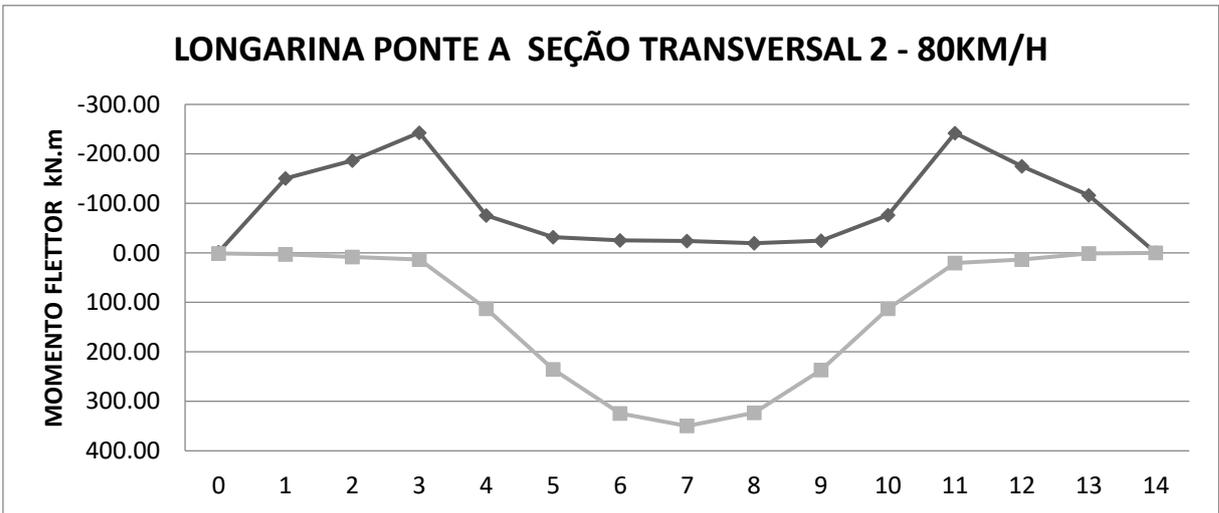


Figura 79 - Envoltória de momento fletor - Ponte A seção transversal 2 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

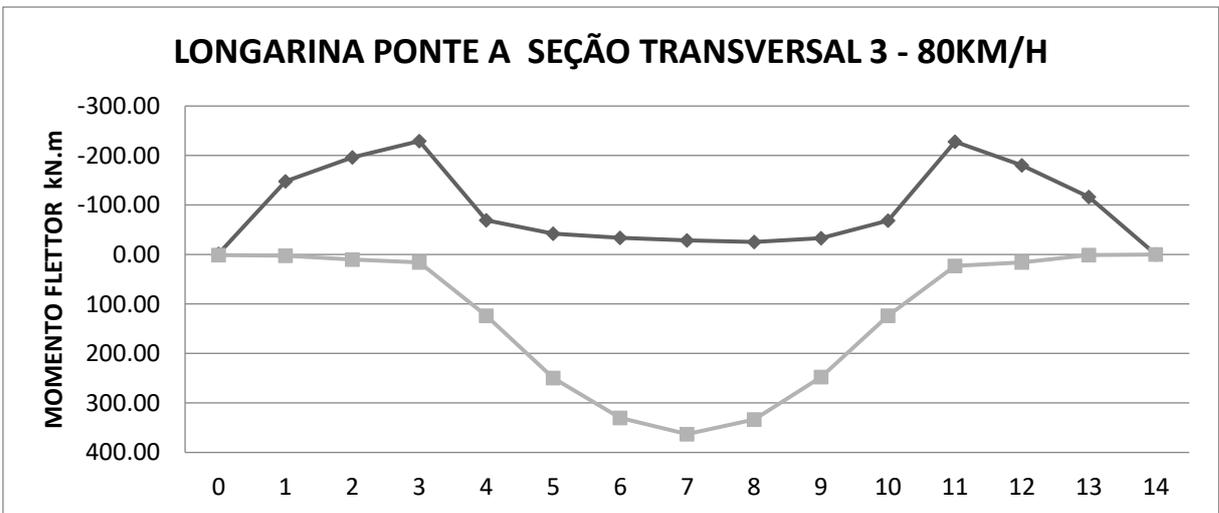


Figura 80 - Envoltória de momento fletor - Ponte A seção transversal 3 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

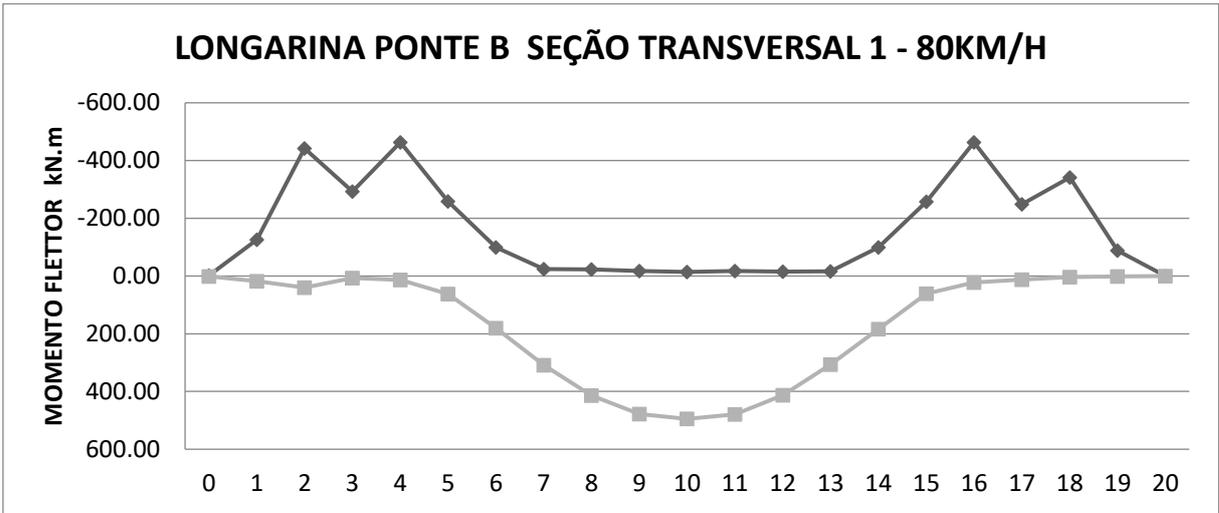


Figura 81 - Envoltória de momento fletor - Ponte B seção transversal 1 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

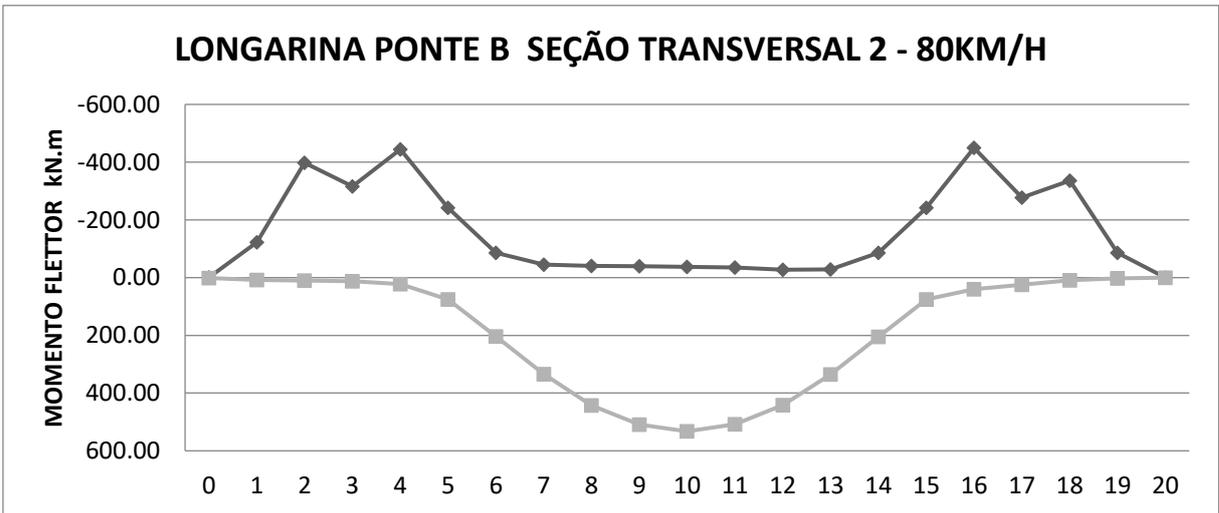


Figura 82 - Envoltória de momento fletor - Ponte B seção transversal 2 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

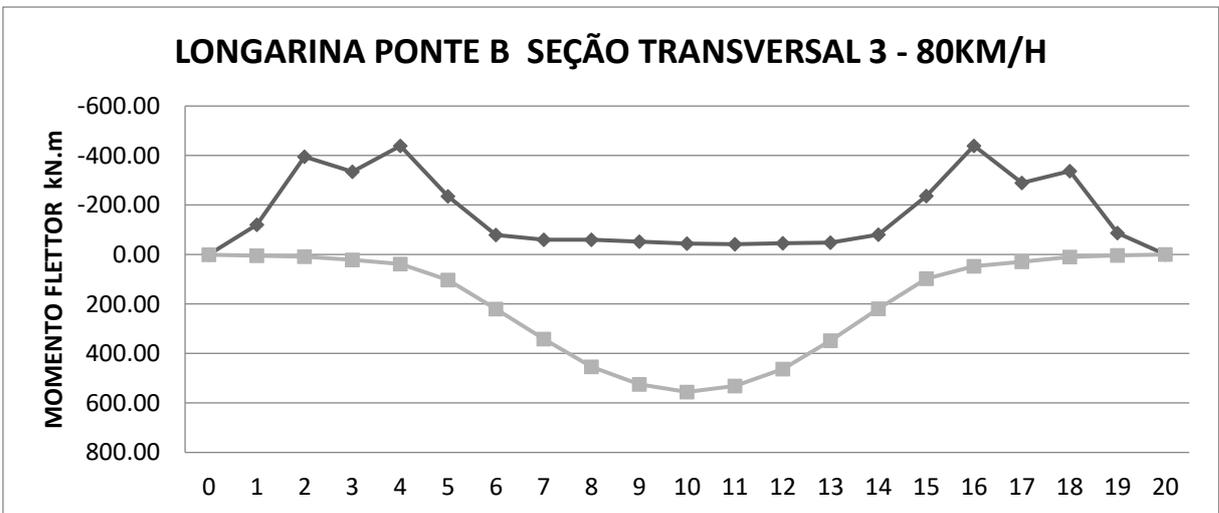


Figura 83 - Envoltória de momento fletor - Ponte B seção transversal 3 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

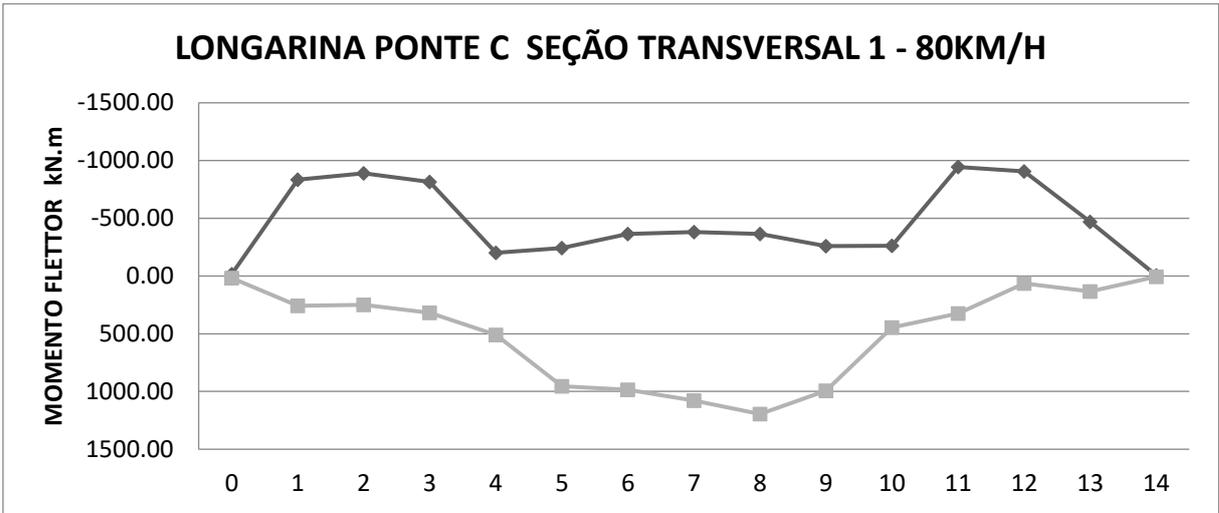


Figura 84 - Envoltória de momento fletor - Ponte C seção transversal 1 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

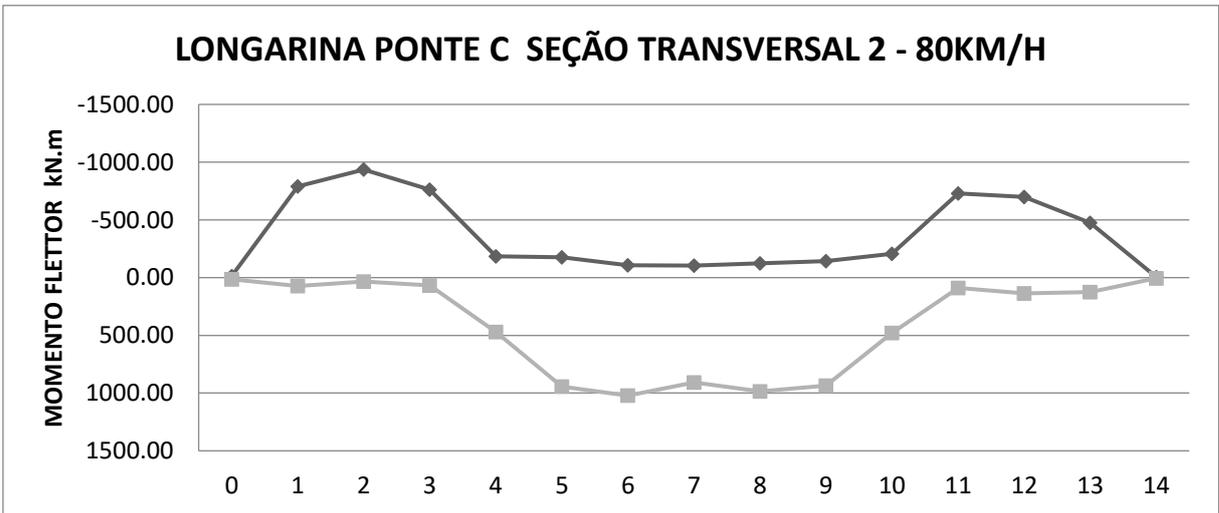


Figura 85 - Envoltória de momento fletor - Ponte C seção transversal 2 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

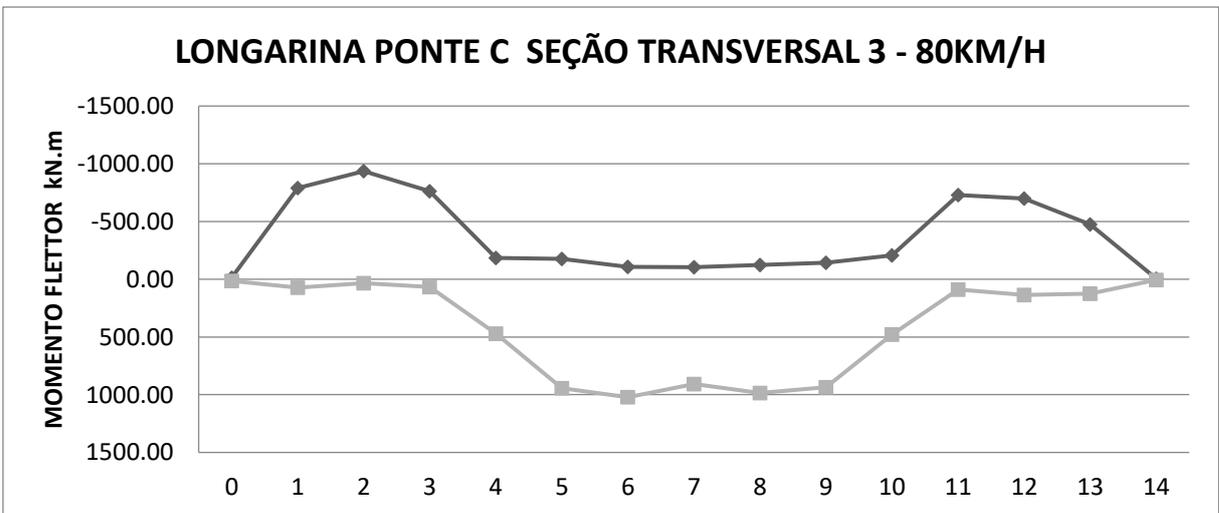


Figura 86 - Envoltória de momento fletor - Ponte C seção transversal 3 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

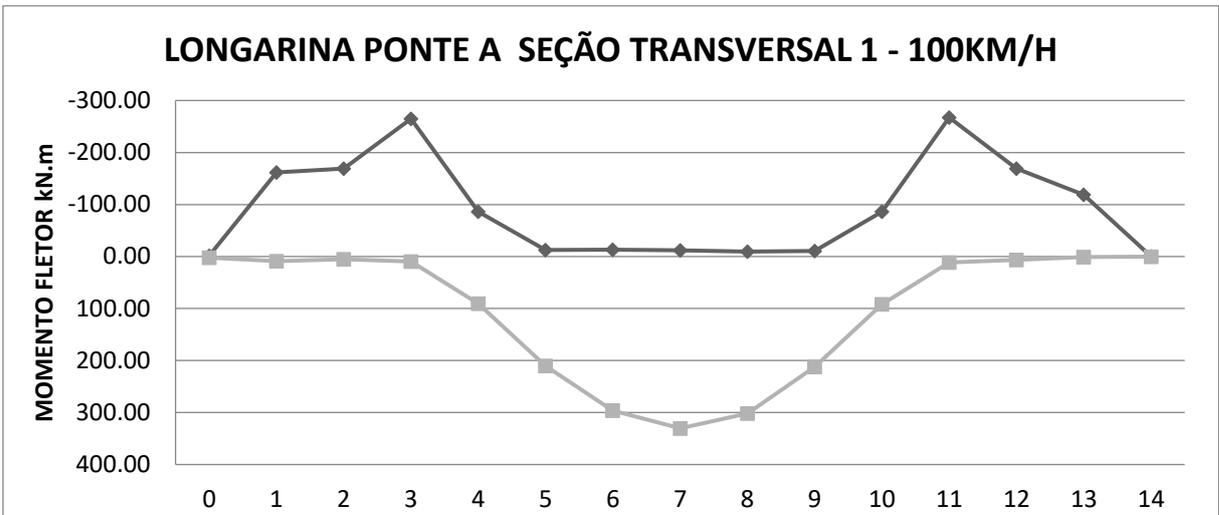


Figura 87 - Envoltória de momento fletor - Ponte A seção transversal 1 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

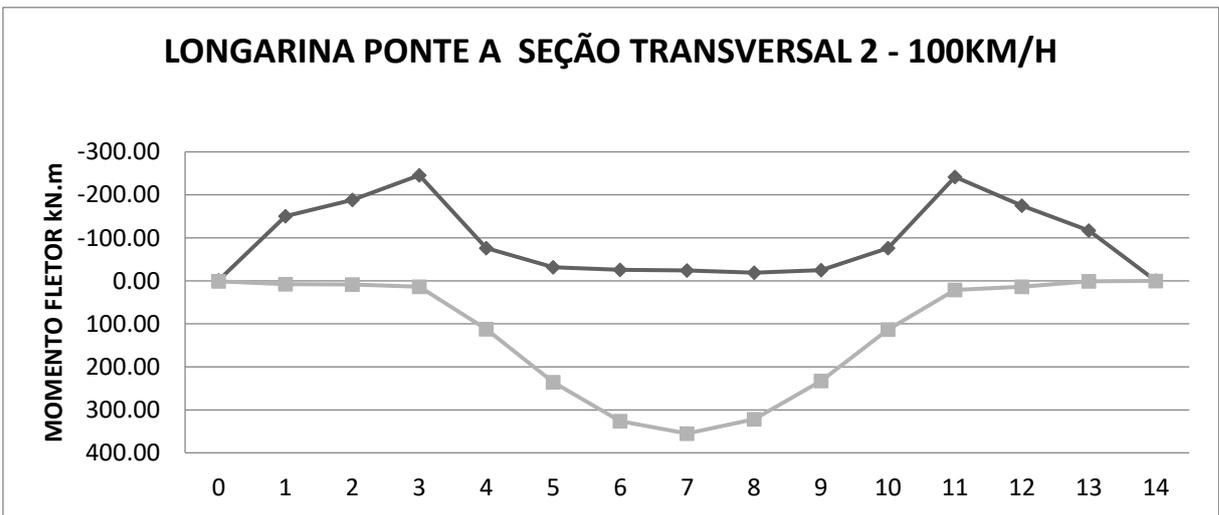


Figura 88 - Envoltória de momento fletor - Ponte A seção transversal 2 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

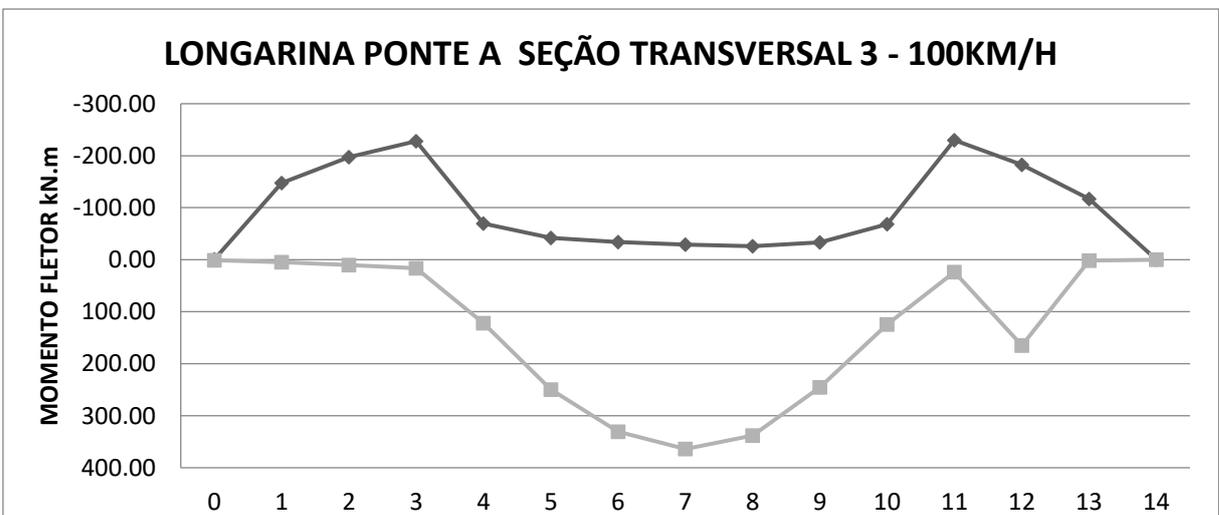


Figura 89 - Envoltória de momento fletor - Ponte A seção transversal 3 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

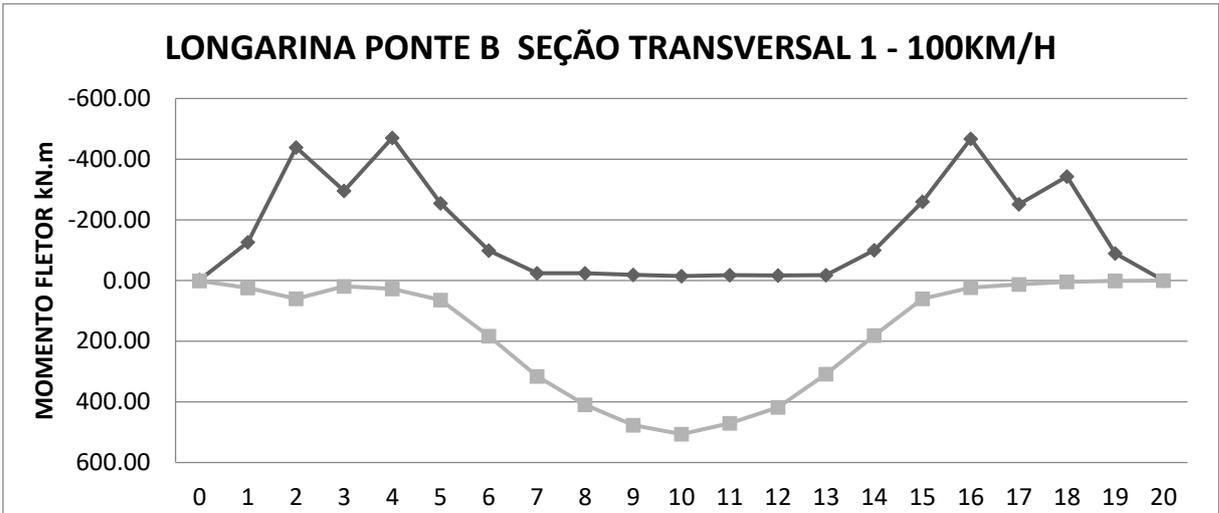


Figura 90 - Envoltória de momento fletor - Ponte B seção transversal 1 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

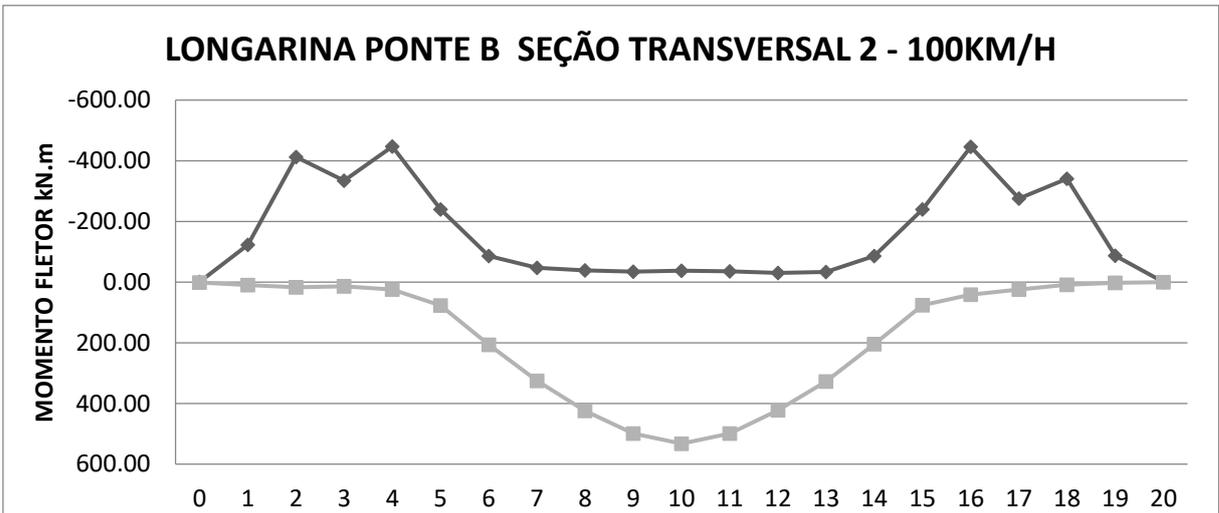


Figura 91 - Envoltória de momento fletor - Ponte B seção transversal 2 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

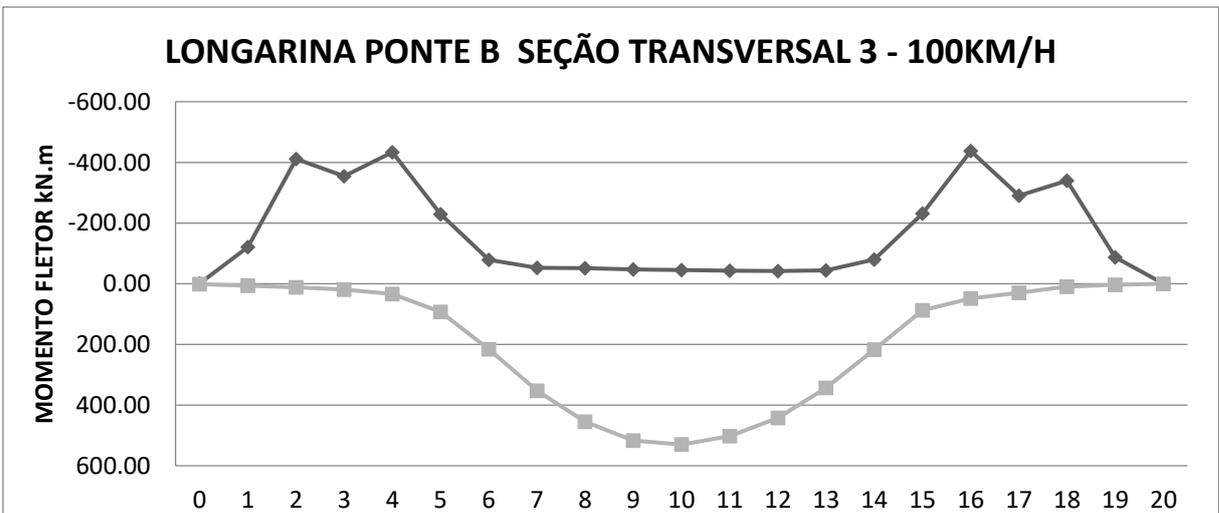


Figura 92 - Envoltória de momento fletor - Ponte B seção transversal 3 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

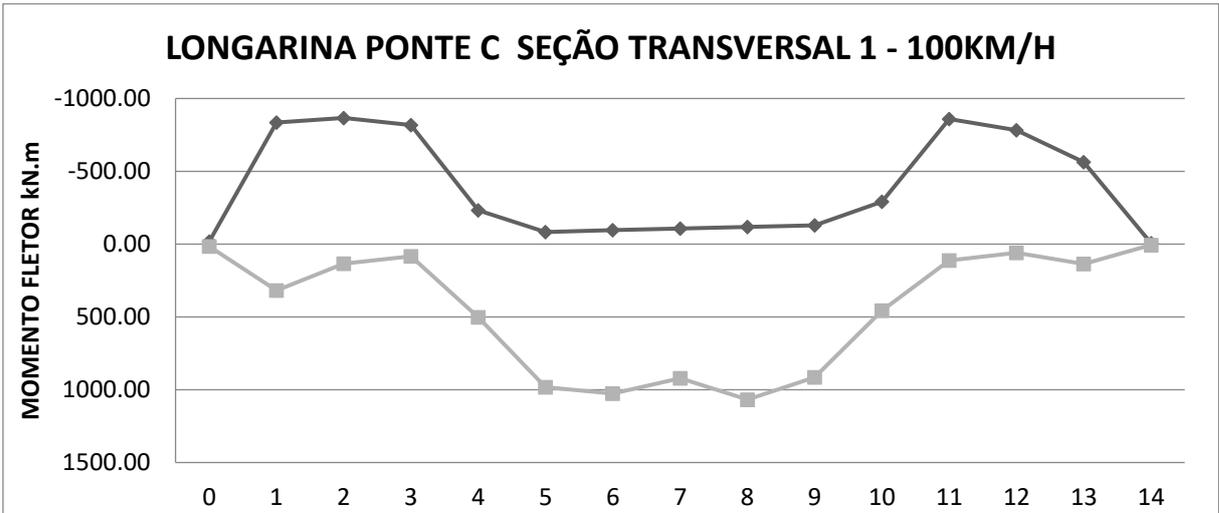


Figura 93 - Envoltória de momento fletor - Ponte C seção transversal 1 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

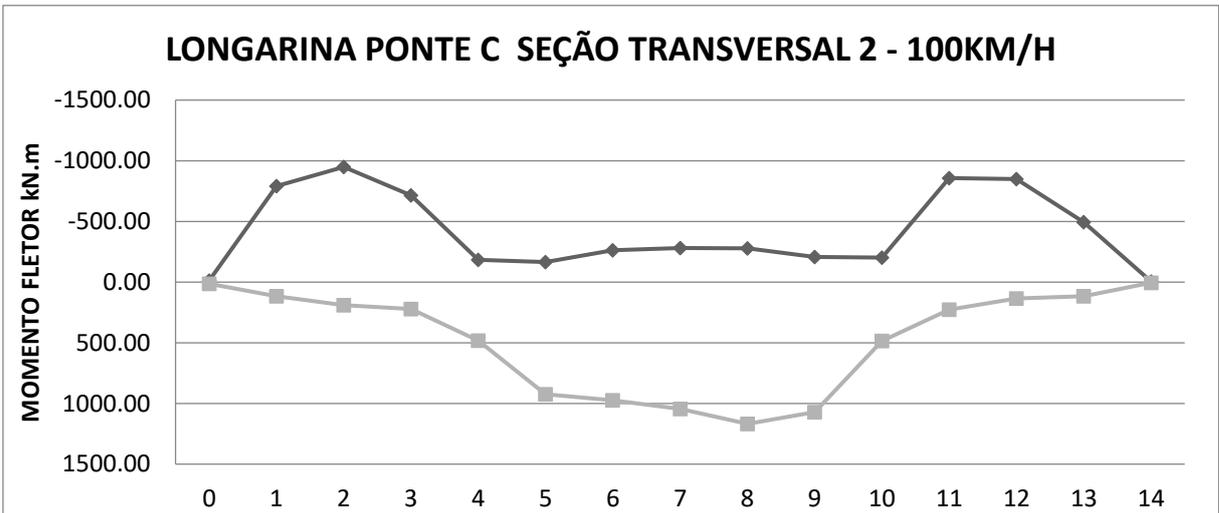


Figura 94 - Envoltória de momento fletor - Ponte C seção transversal 2 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

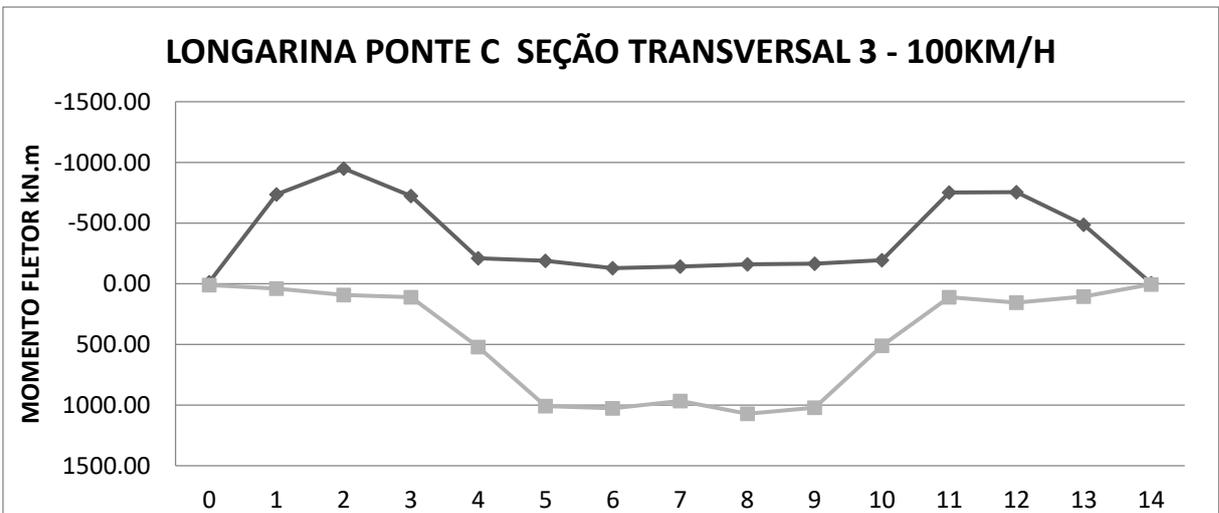


Figura 95 - Envoltória de momento fletor - Ponte C seção transversal 3 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

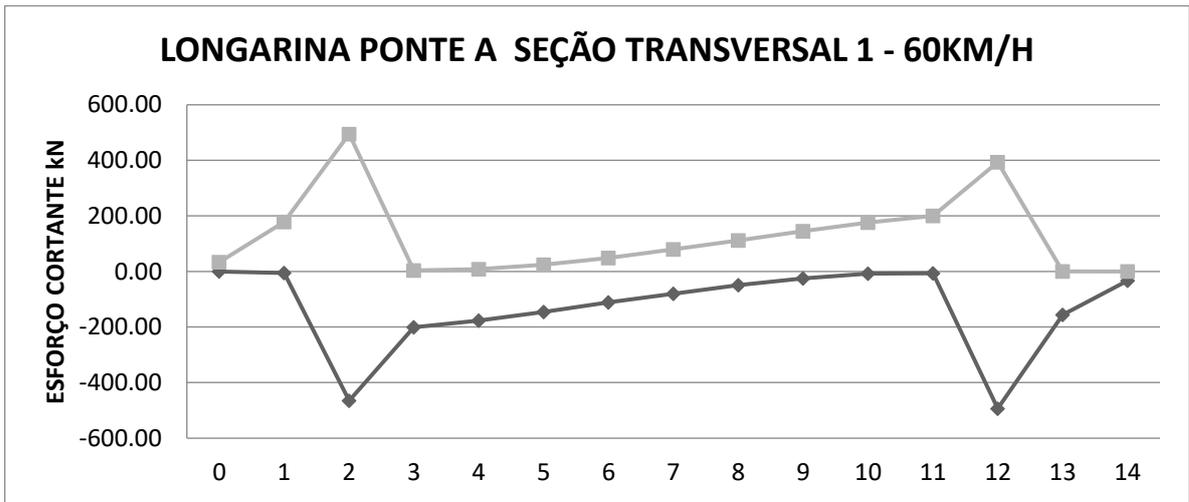


Figura 96 - Envoltória de esforço cortante - Ponte A seção transversal 1 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

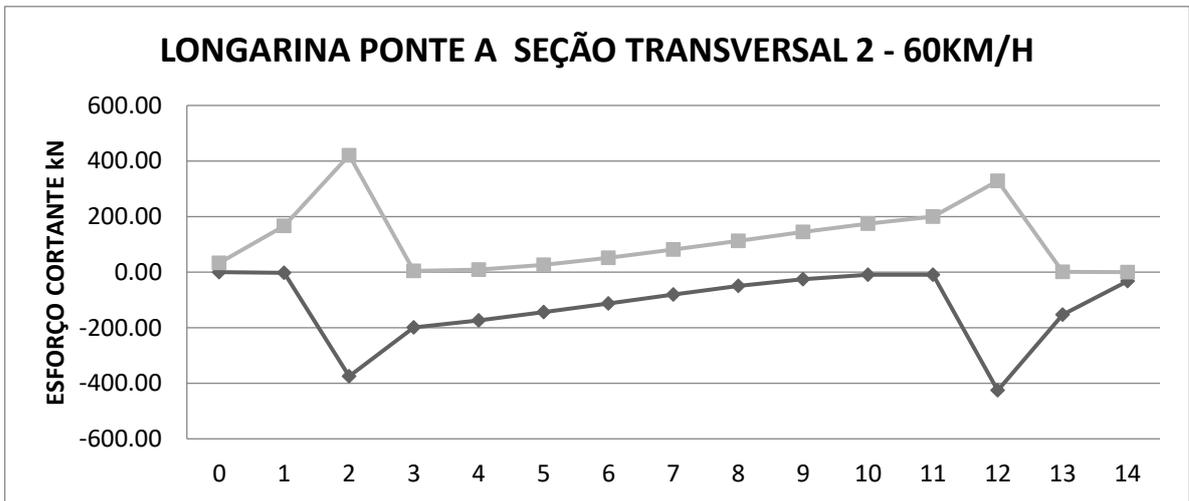


Figura 97 - Envoltória de esforço cortante - Ponte A seção transversal 2 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

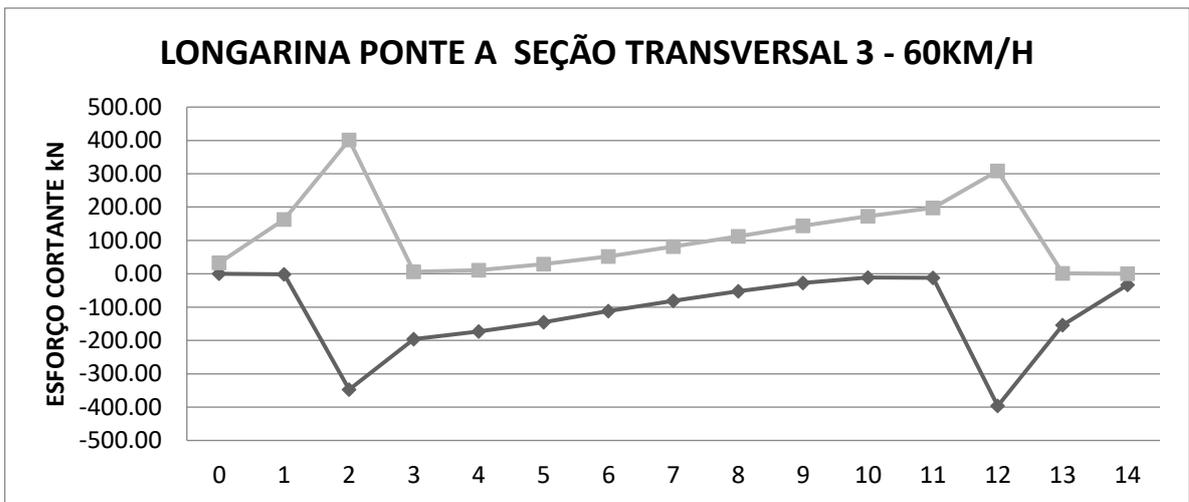


Figura 98 - Envoltória de esforço cortante - Ponte A seção transversal 3 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

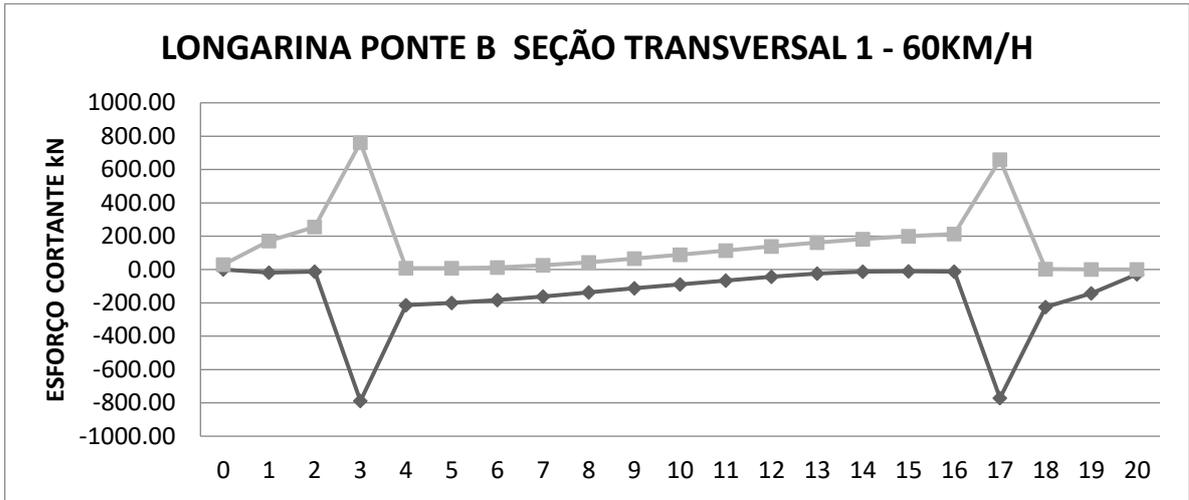


Figura 99 - Envoltória de esforço cortante - Ponte B seção transversal 1 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

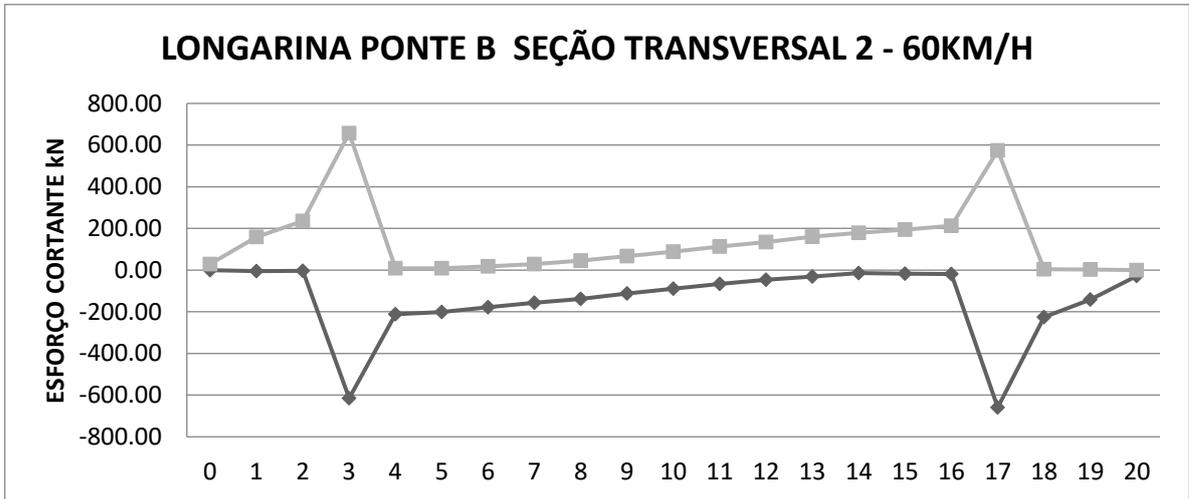


Figura 100 - Envoltória de esforço cortante - Ponte B seção transversal 2 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

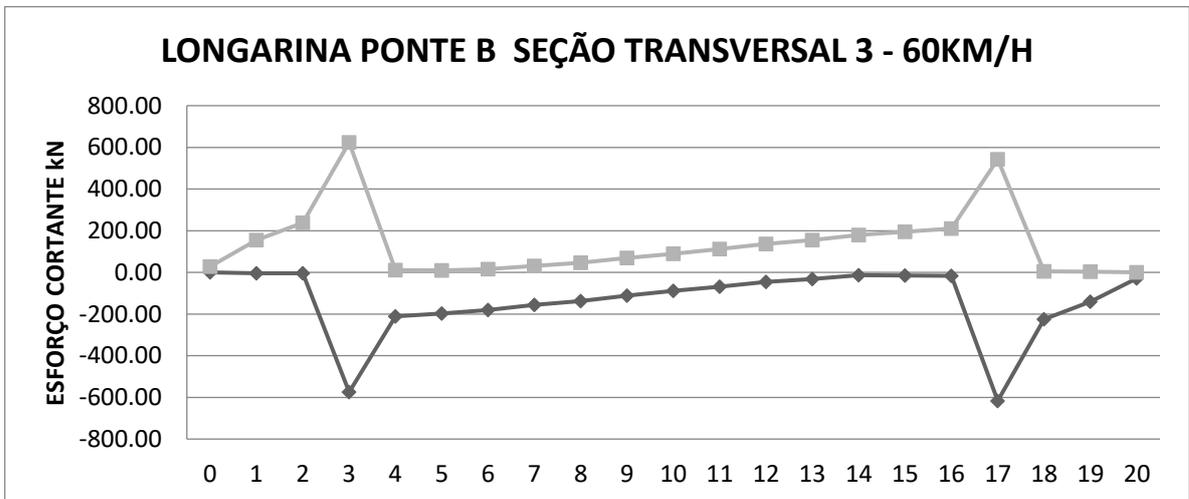


Figura 101 - Envoltória de esforço cortante - Ponte B seção transversal 3 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

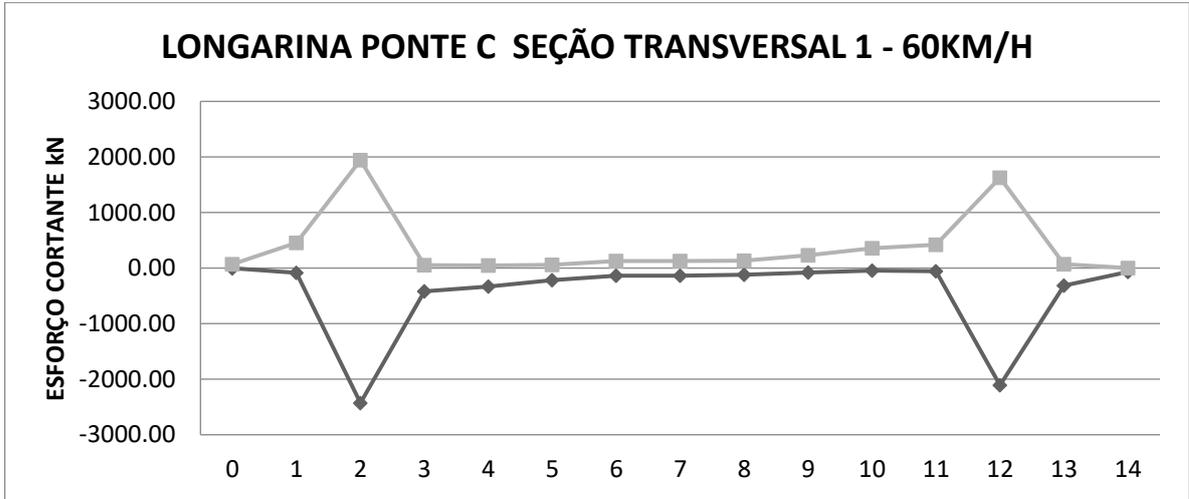


Figura 102 - Envoltória de esforço cortante - Ponte C seção transversal 1 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

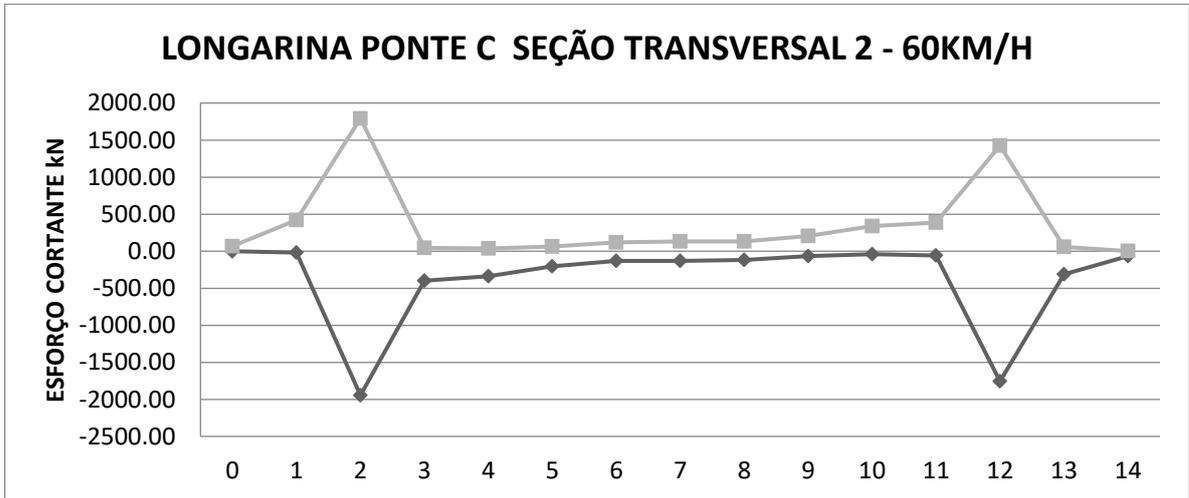


Figura 103 - Envoltória de esforço cortante - Ponte C seção transversal 2 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

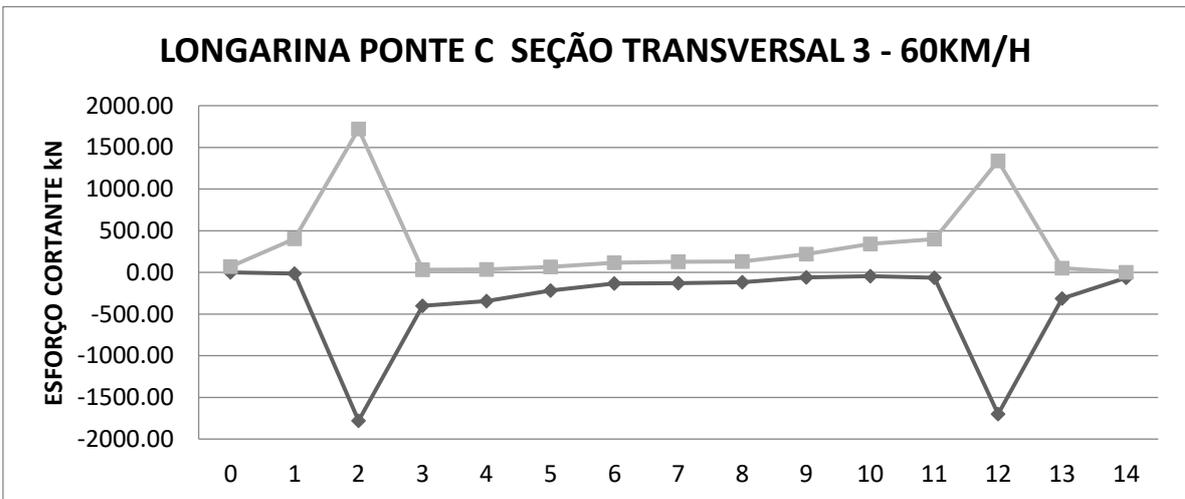


Figura 104 - Envoltória de esforço cortante - Ponte C seção transversal 3 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

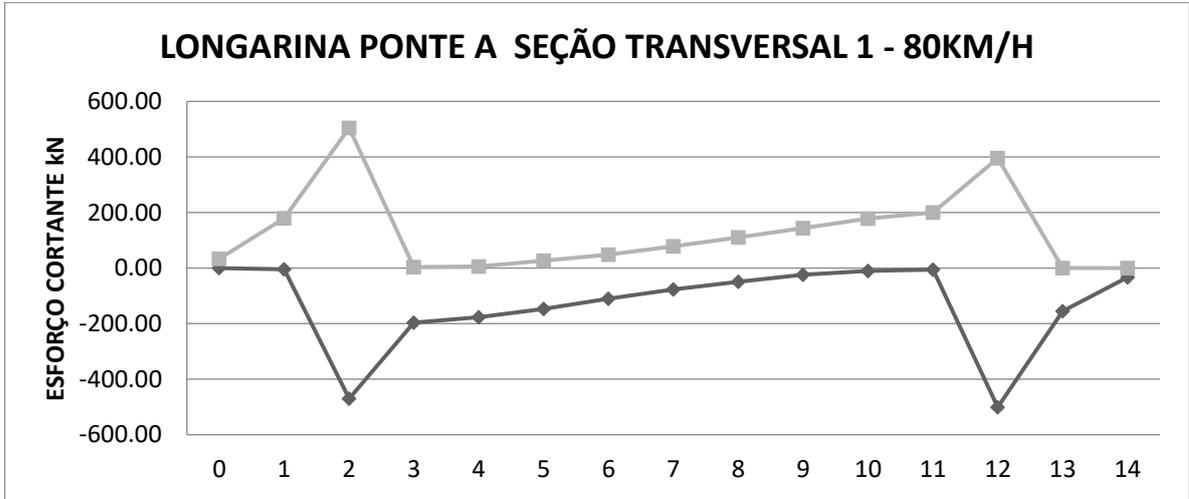


Figura 105 - Envoltória de esforço cortante - Ponte A seção transversal 1 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

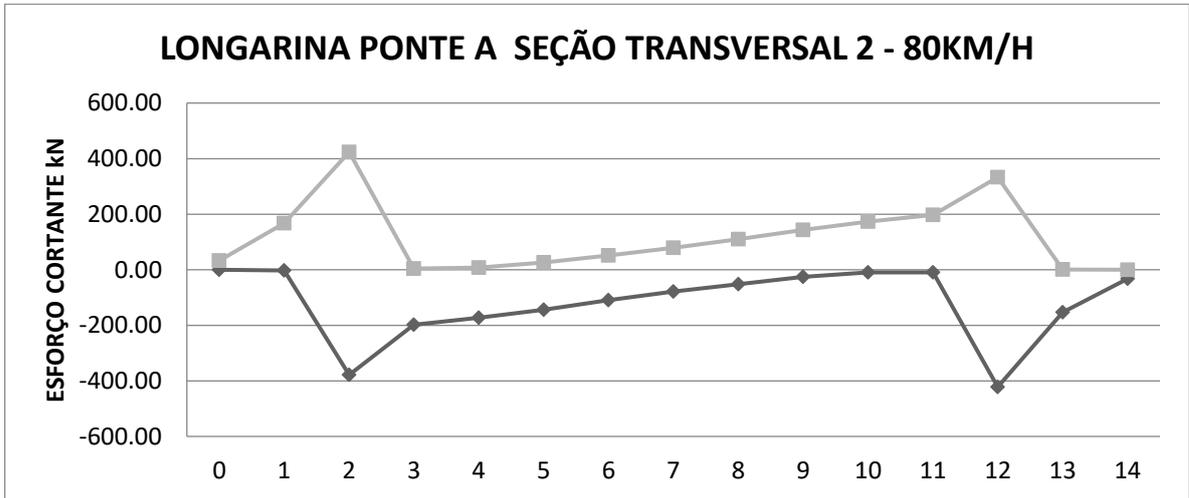


Figura 106 - Envoltória de esforço cortante - Ponte A seção transversal 2 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

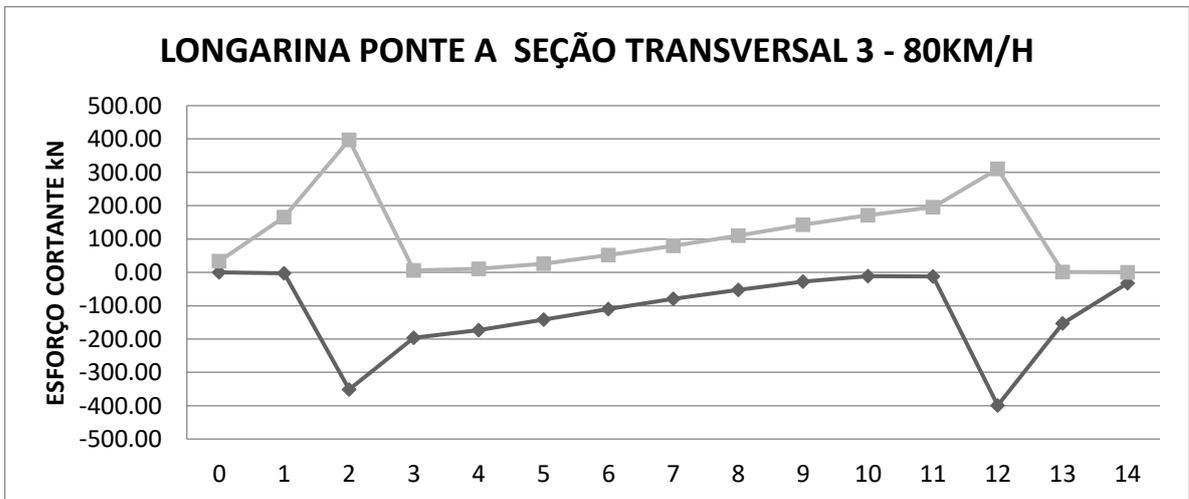


Figura 107 - Envoltória de esforço cortante - Ponte A seção transversal 3 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

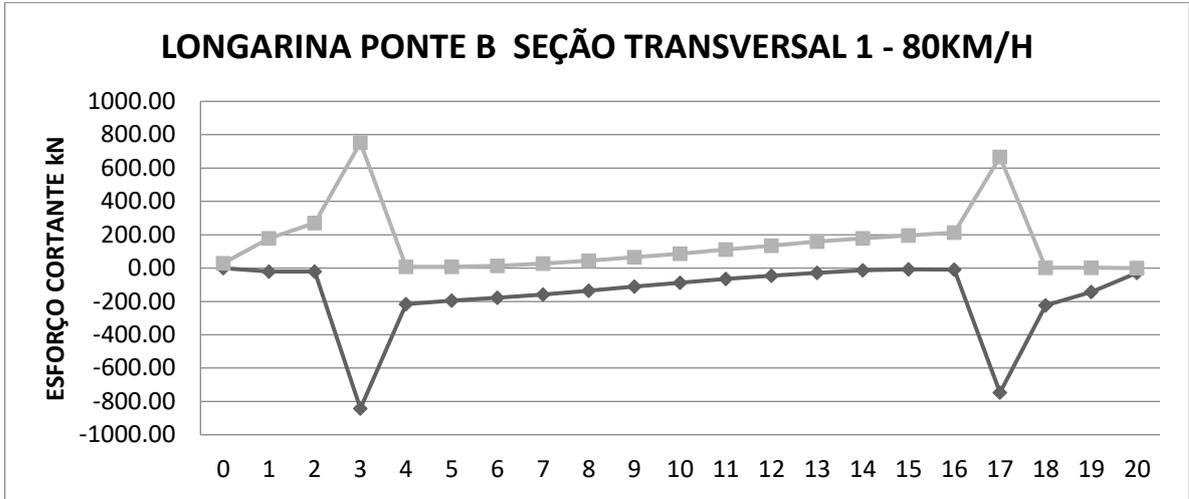


Figura 108 - Envoltória de esforço cortante - Ponte B seção transversal 1 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

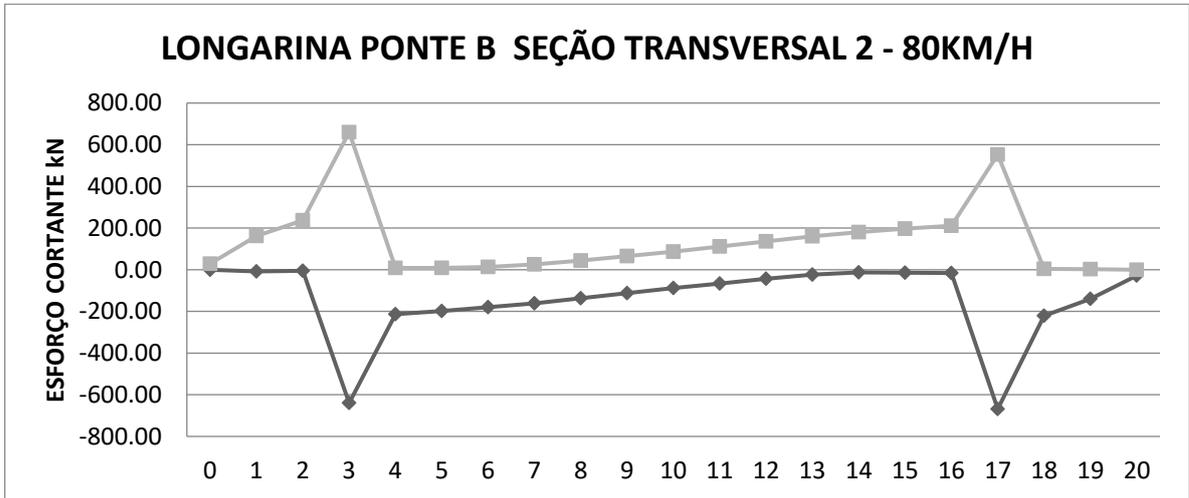


Figura 109 - Envoltória de esforço cortante - Ponte B seção transversal 2 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

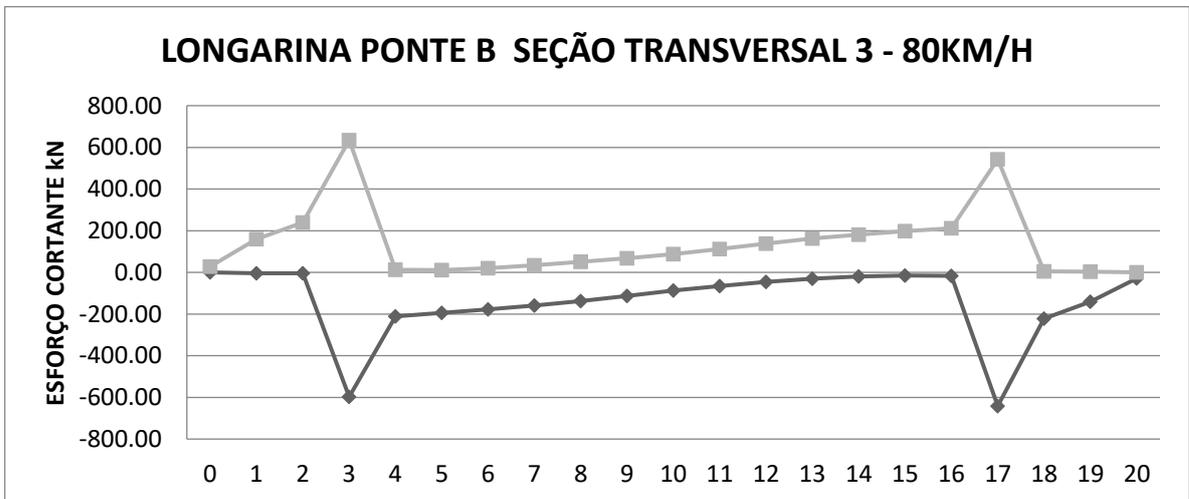


Figura 110 - Envoltória de esforço cortante - Ponte B seção transversal 3 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

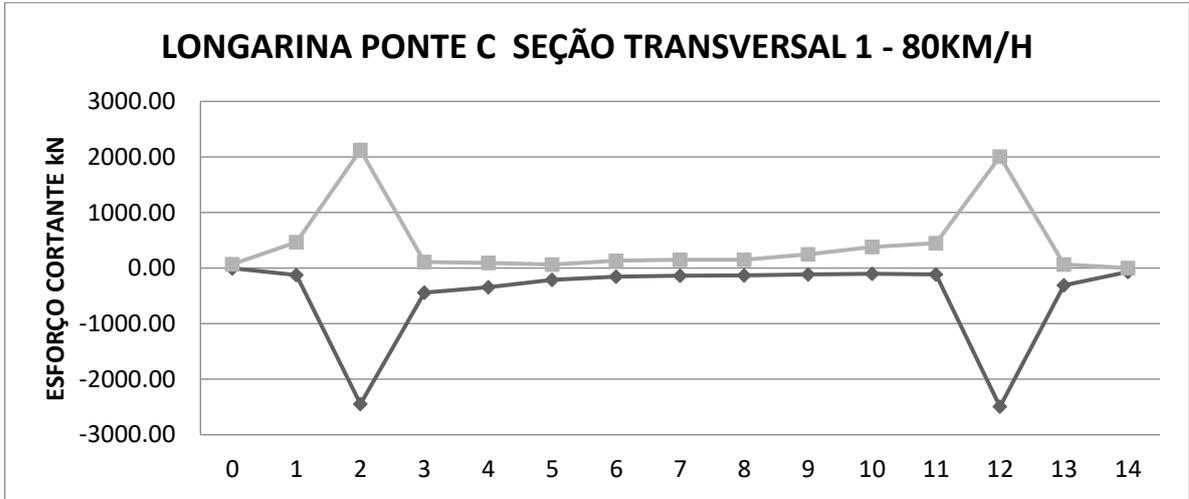


Figura 111 - Envoltória de esforço cortante - Ponte C seção transversal 1 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

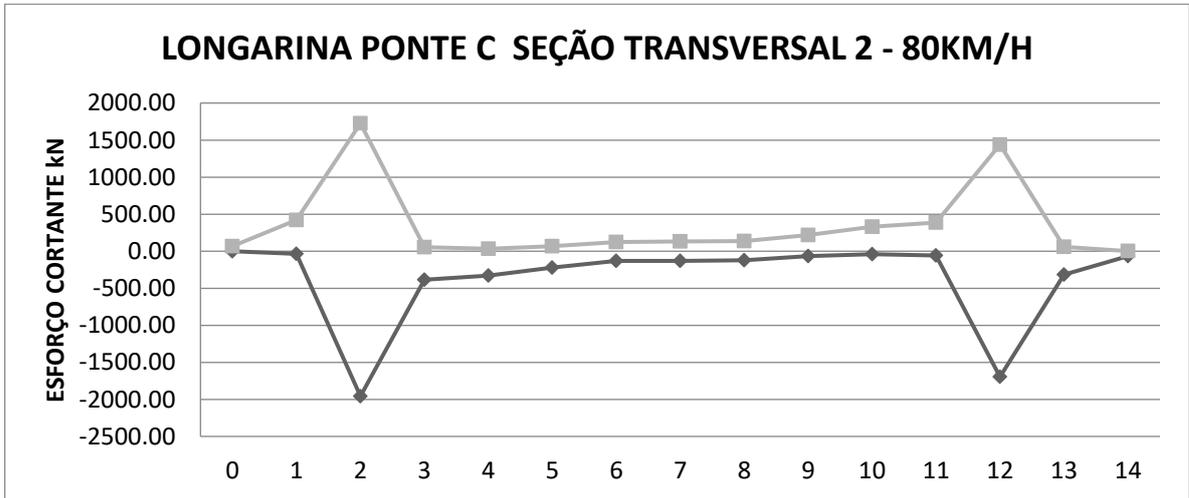


Figura 112 - Envoltória de esforço cortante - Ponte C seção transversal 2 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

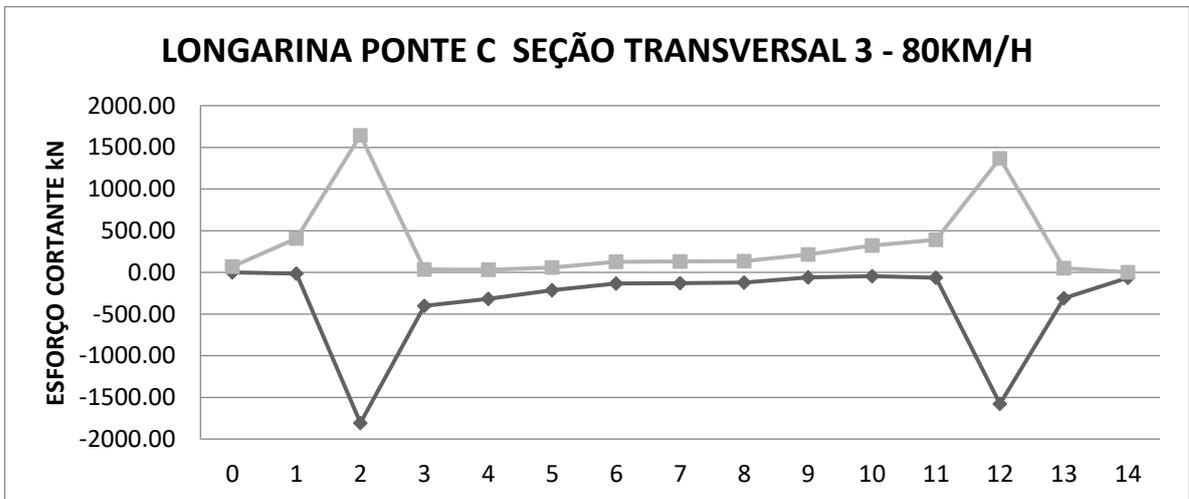


Figura 113- Envoltória de esforço cortante - Ponte C seção transversal 3 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

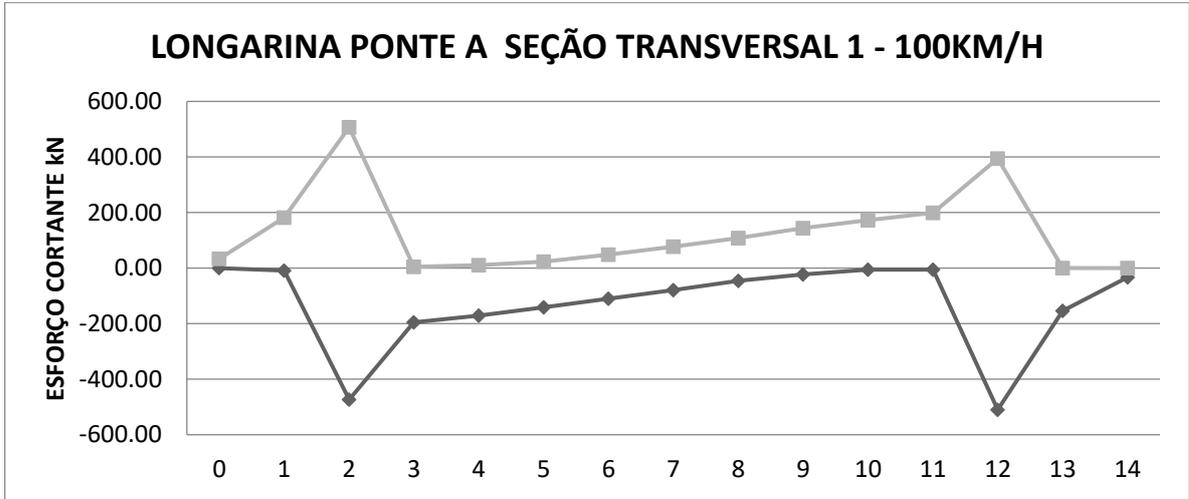


Figura 114 - Envoltória de esforço cortante - Ponte A seção transversal 1 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

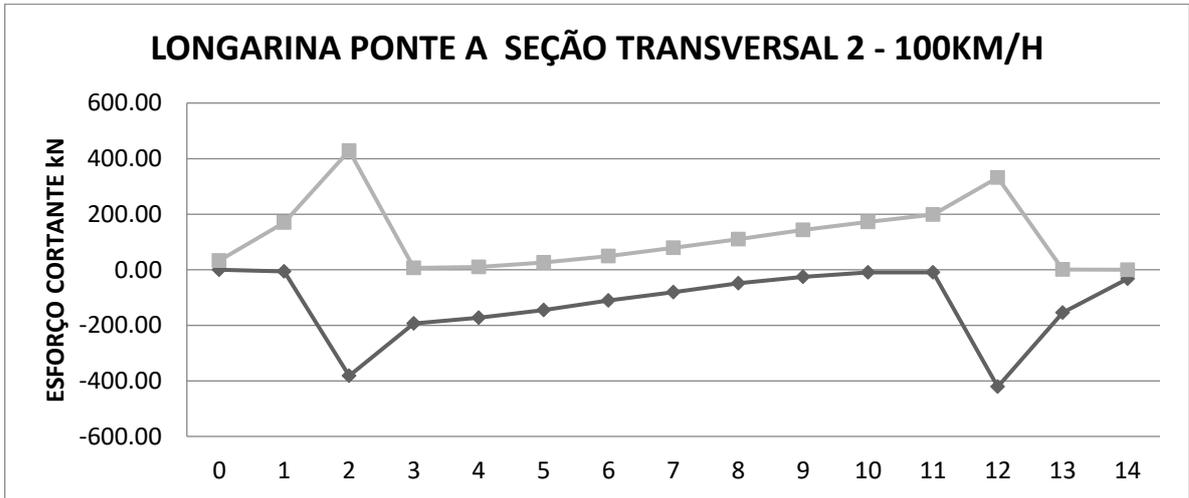


Figura 115 - Envoltória de esforço cortante - Ponte A seção transversal 2 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

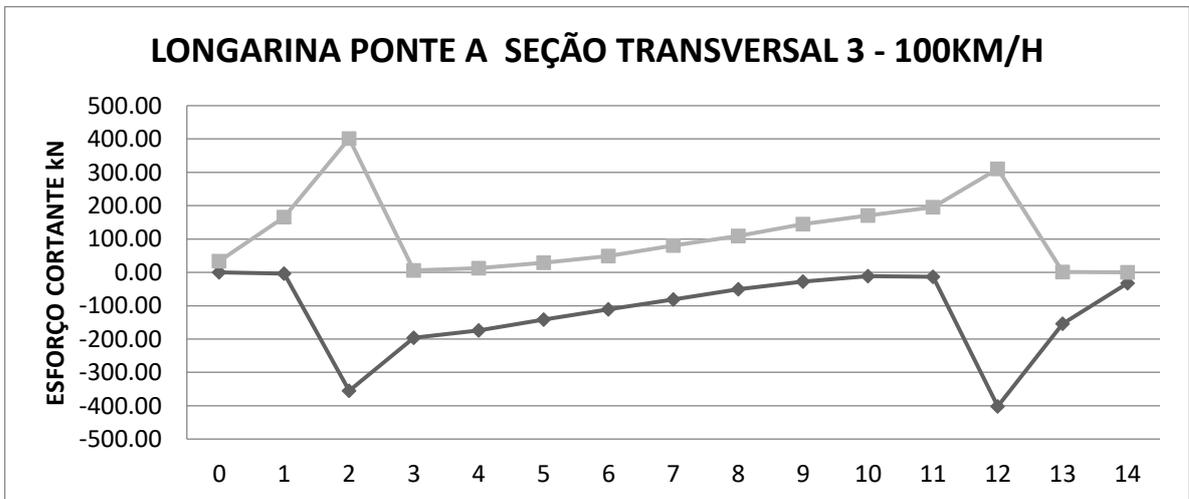


Figura 116 - Envoltória de esforço cortante - Ponte A seção transversal 3 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

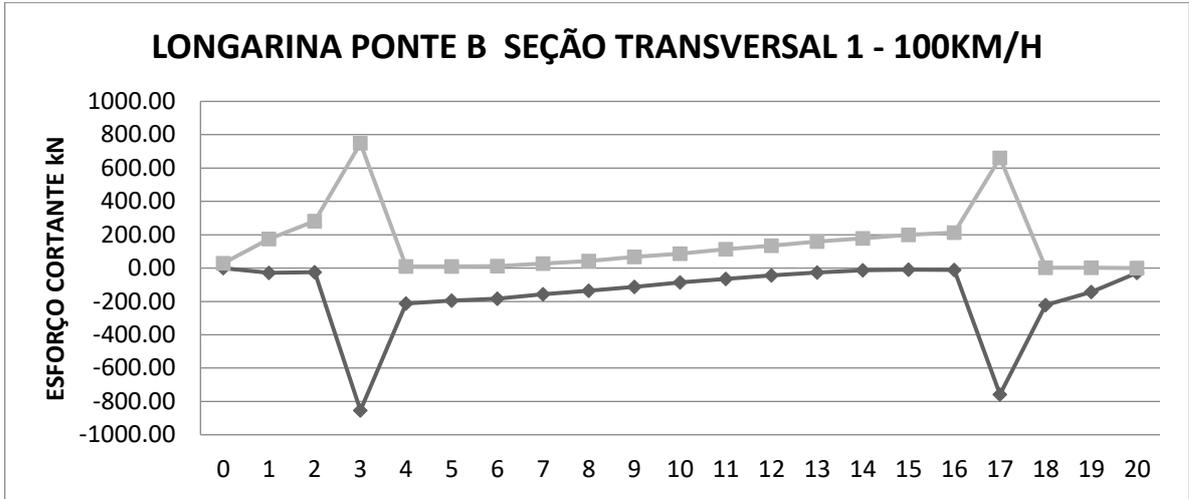


Figura 117 - Envoltória de esforço cortante - Ponte B seção transversal 1 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

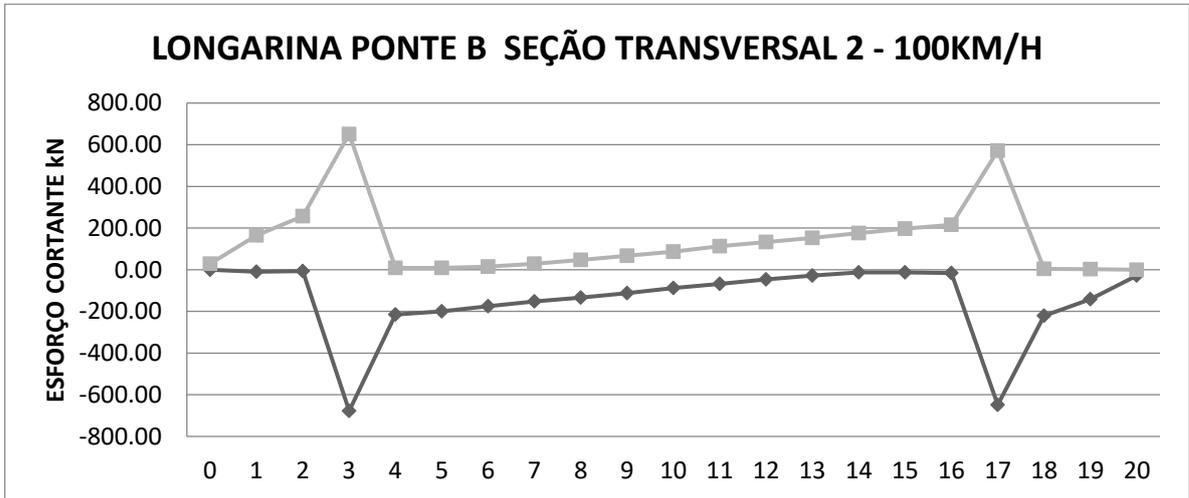


Figura 118 - Envoltória de esforço cortante - Ponte B seção transversal 2 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

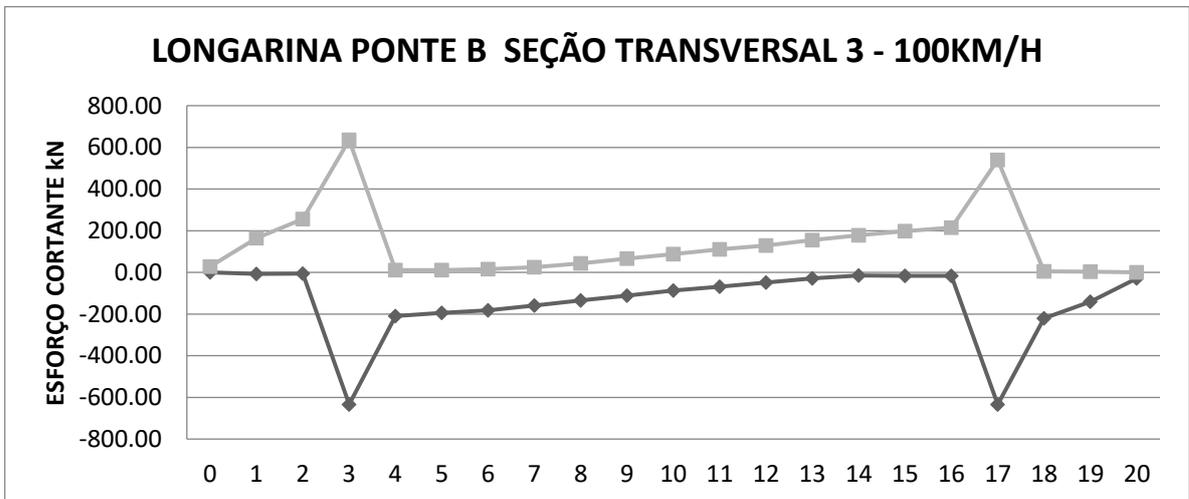


Figura 119 - Envoltória de esforço cortante - Ponte B seção transversal 3 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

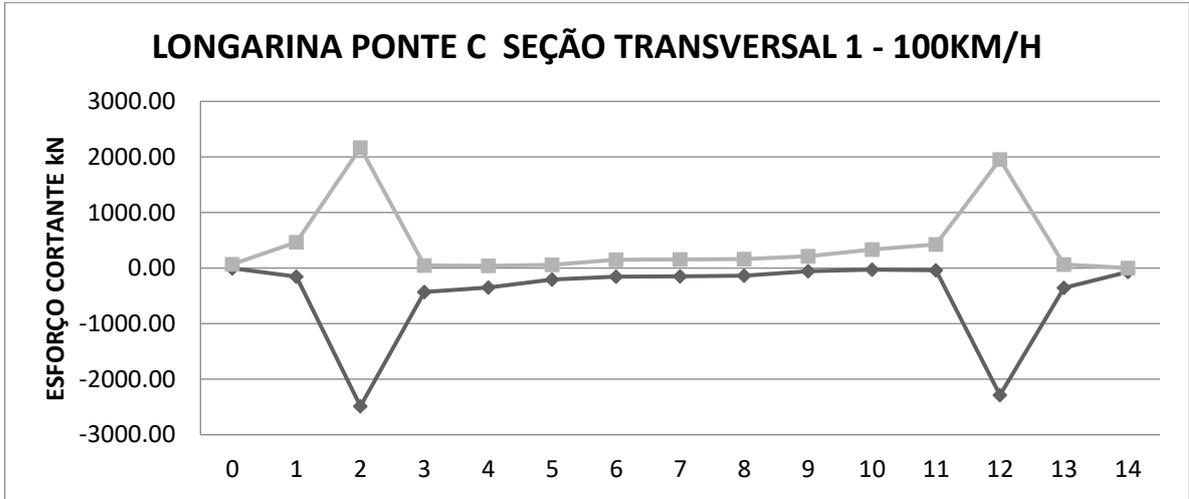


Figura 120 - Envoltória de esforço cortante - Ponte C seção transversal 1 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

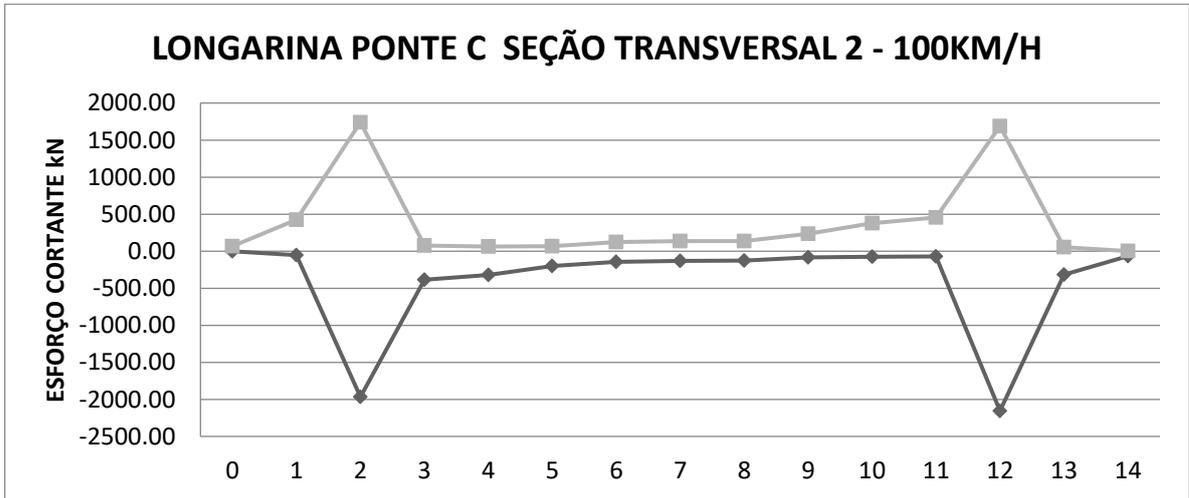


Figura 121 - Envoltória de esforço cortante - Ponte C seção transversal 2 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

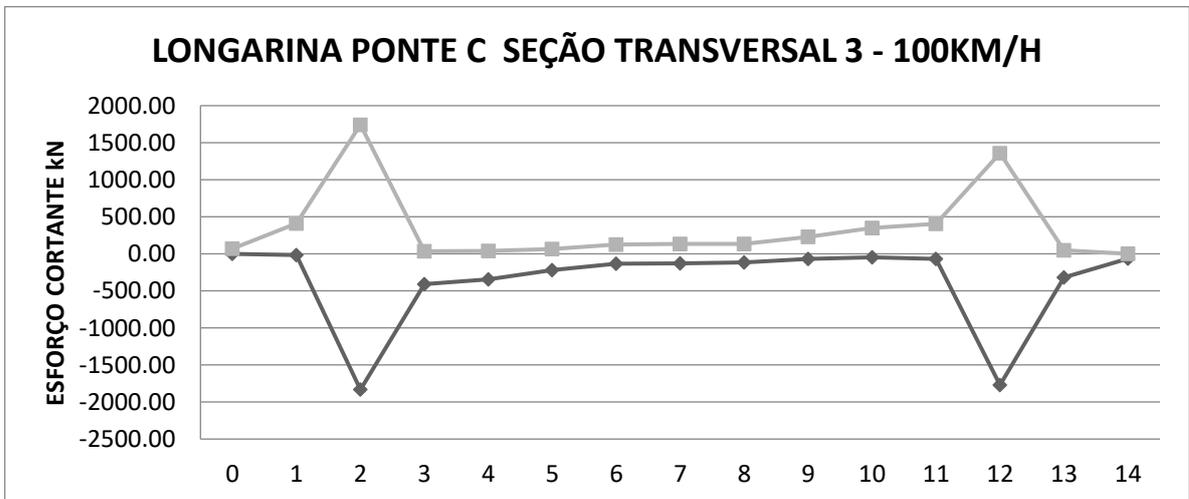


Figura 122 - Envoltória de esforço cortante - Ponte C seção transversal 3 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

**APÊNDICE B – ÁREAS TOTAIS DE ARMADURAS SEM CORREÇÃO DEVIDO A FADIGA**

➤ **ÁREAS TOTAIS DE ARMADURAS LONGITUDINAIS**

As figuras de 123 a 131 ilustram a área total de armadura longitudinal nas seções das longarinas quando dimensionadas a partir dos esforços obtidos das análises pseudo-estática e dinâmica transiente, sem as correções devido ao efeito da fadiga.

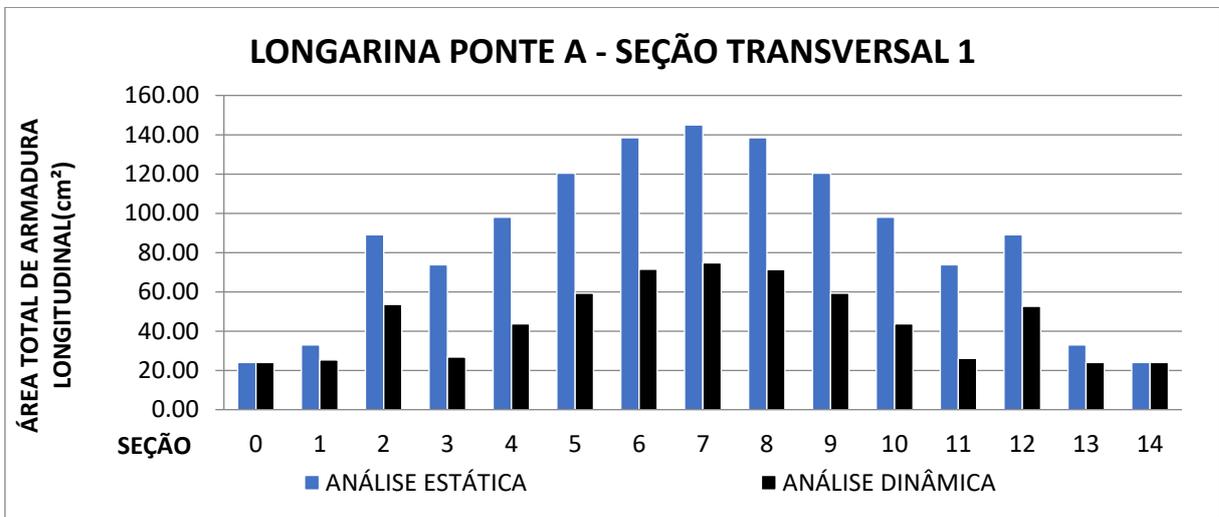


Figura 123 – Áreas totais de armadura longitudinal – longarina da ponte A seção transversal 1. Fonte: Autoria Própria.

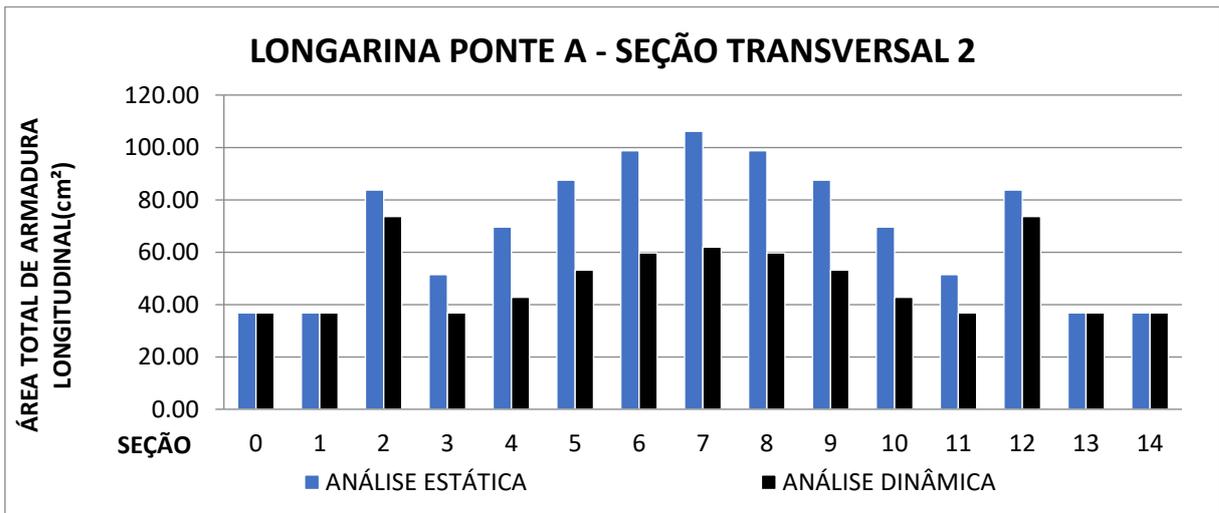


Figura 124 – Áreas totais de armadura longitudinal – longarina da ponte A seção transversal 1. Fonte: Autoria Própria.

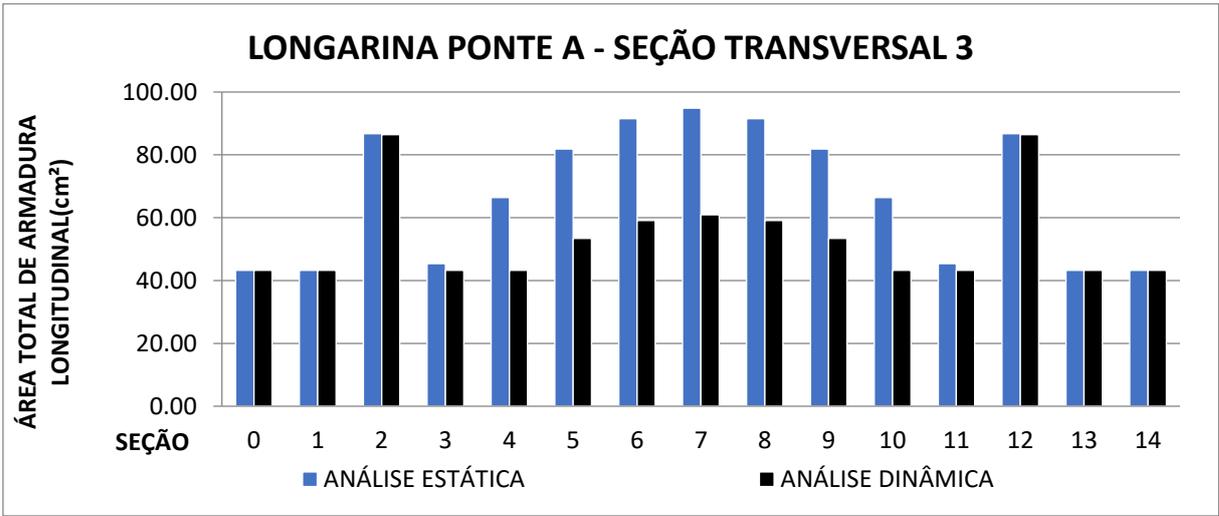


Figura 125 – Áreas totais de armadura longitudinal – longarina da ponte A seção transversal 3.  
Fonte: Autoria Própria.

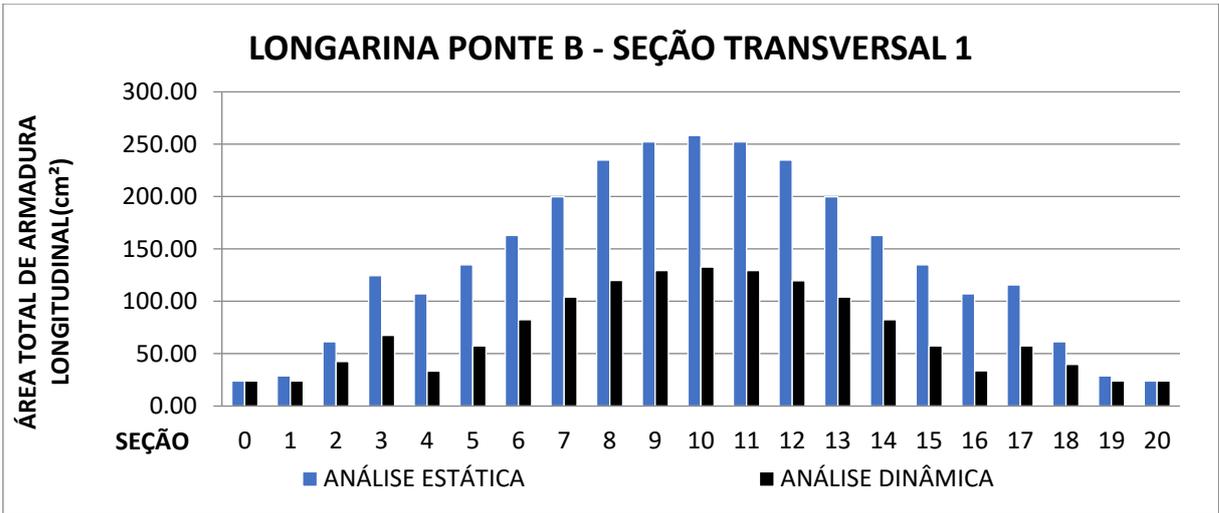


Figura 126 – Áreas totais de armadura longitudinal – longarina da ponte B seção transversal 1.  
Fonte: Autoria Própria.

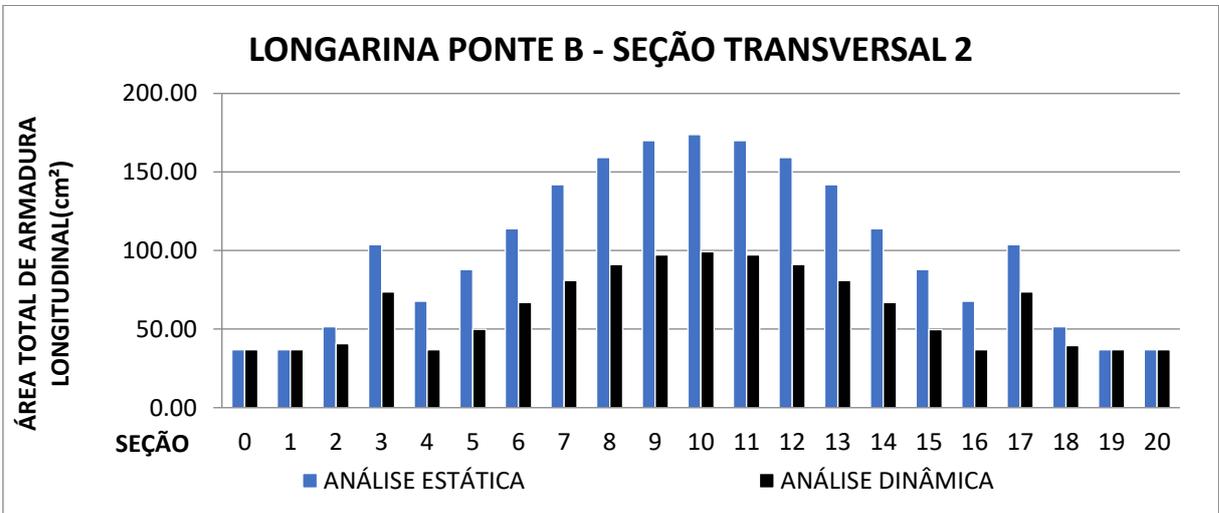


Figura 127 – Áreas totais de armadura longitudinal – longarina da ponte B seção transversal 2.  
Fonte: Autoria Própria.

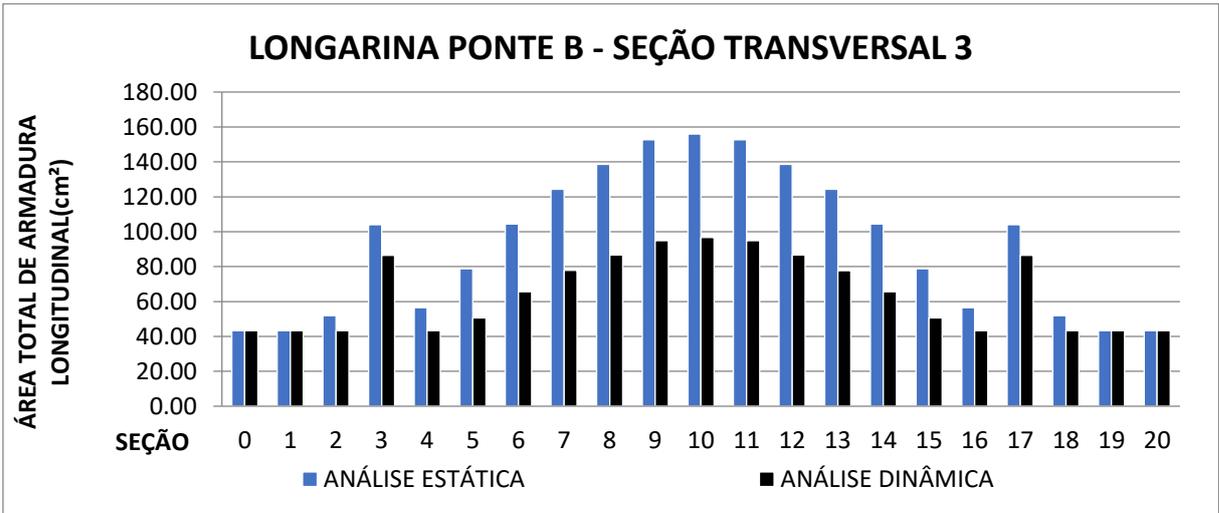


Figura 128 – Áreas totais de armadura longitudinal – longarina da ponte B seção transversal 3.  
Fonte: Autoria Própria.

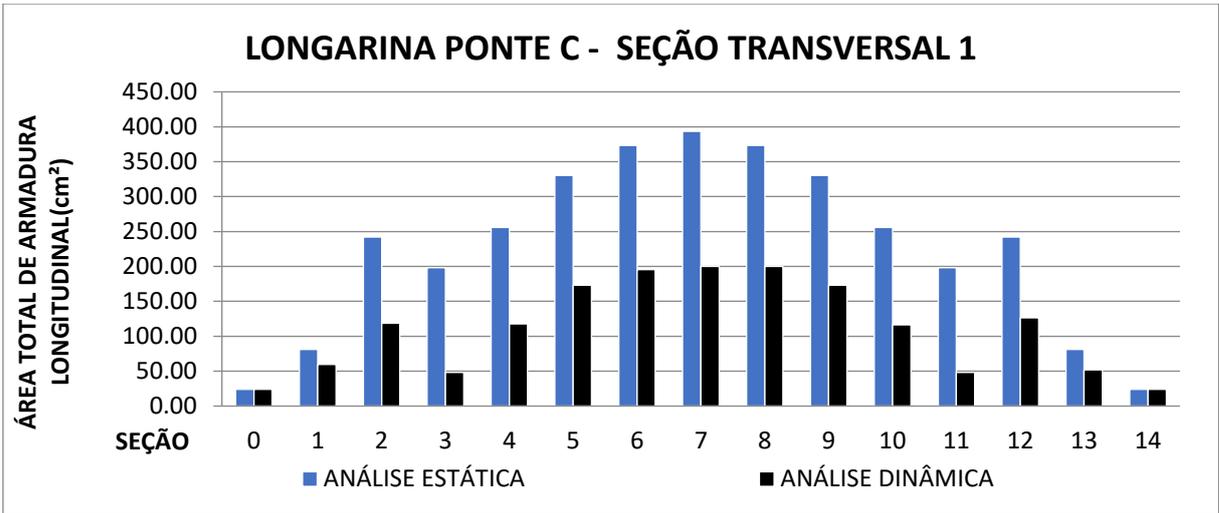


Figura 129 – Áreas totais de armadura longitudinal – longarina da ponte C seção transversal 1.  
Fonte: Autoria Própria.

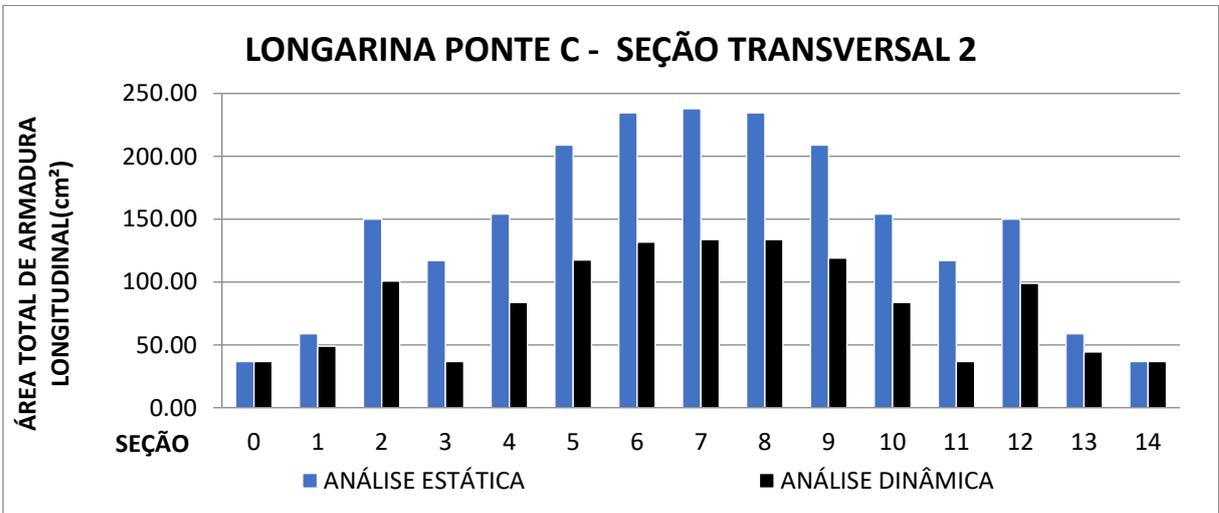


Figura 130 – Áreas totais de armadura longitudinal – longarina da ponte C seção transversal 2.  
Fonte: Autoria Própria.

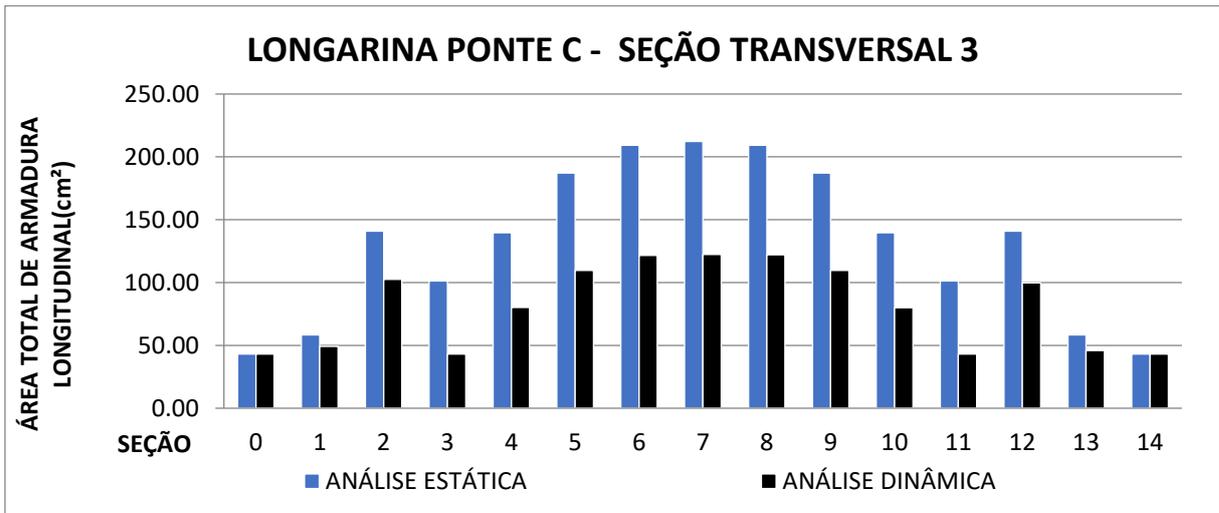


Figura 131 – Áreas totais de armadura longitudinal – longarina da ponte C seção transversal 3.  
Fonte: Autoria Própria.

### ➤ ÁREAS TOTAIS DE ARMADURAS TRANSVERSAIS

As figuras de 132 a 140 ilustram a área de armadura transversal nas seções das longarinas quando dimensionadas a partir dos esforços obtidos das análises pseudo-estática e dinâmica transiente, sem as correções devido ao efeito da fadiga.

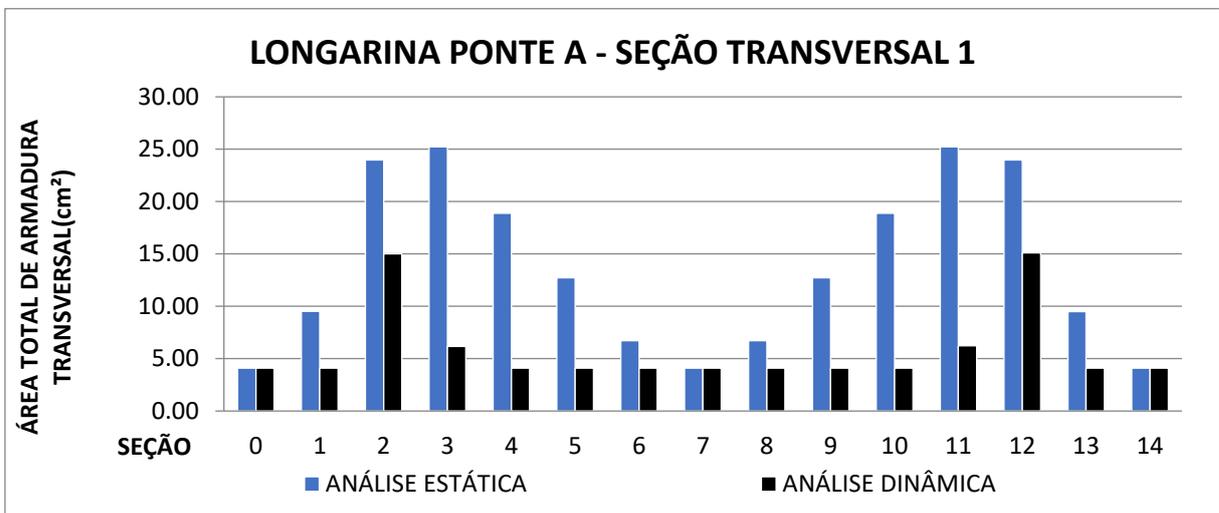


Figura 132 – Áreas totais de armadura transversal – longarina da ponte A seção transversal 1.  
Fonte: Autoria Própria.

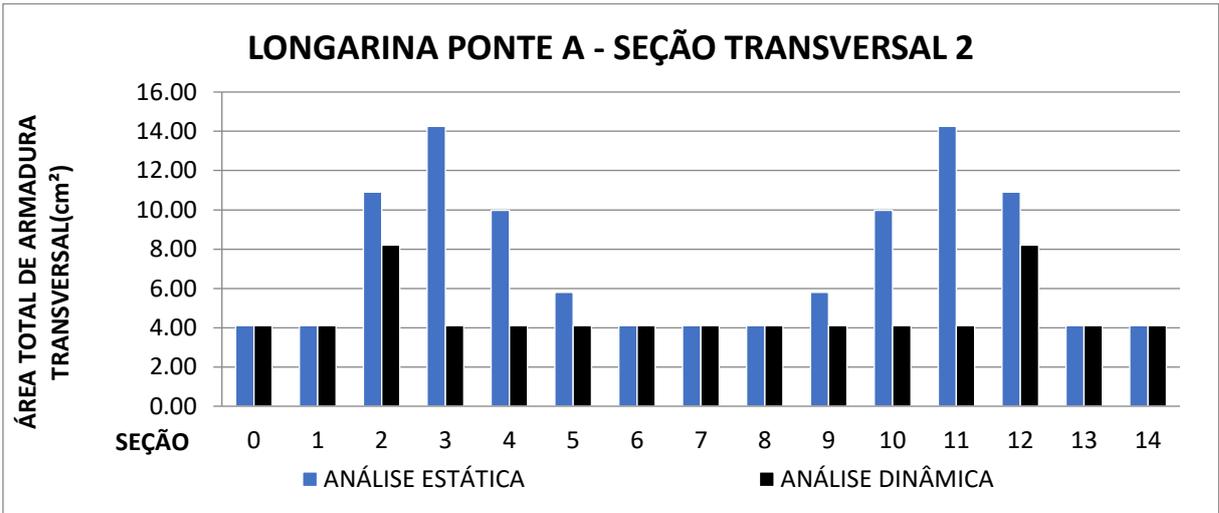


Figura 133 – Áreas totais de armadura transversal – longarina da ponte A seção transversal 2.  
Fonte: Autoria Própria.

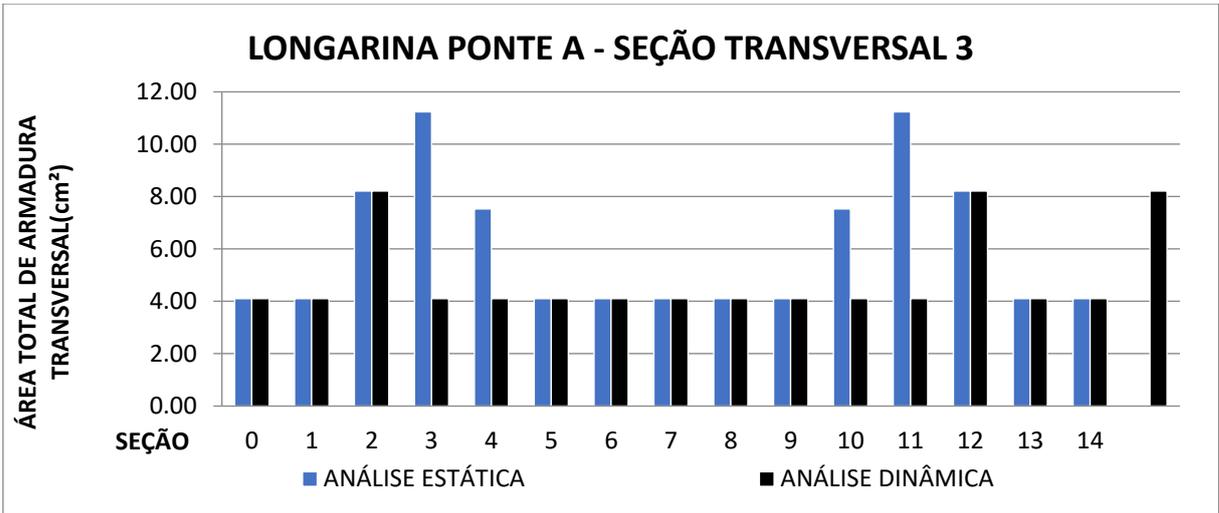


Figura 134 – Áreas totais de armadura transversal – longarina da ponte A seção transversal 3.  
Fonte: Autoria Própria.

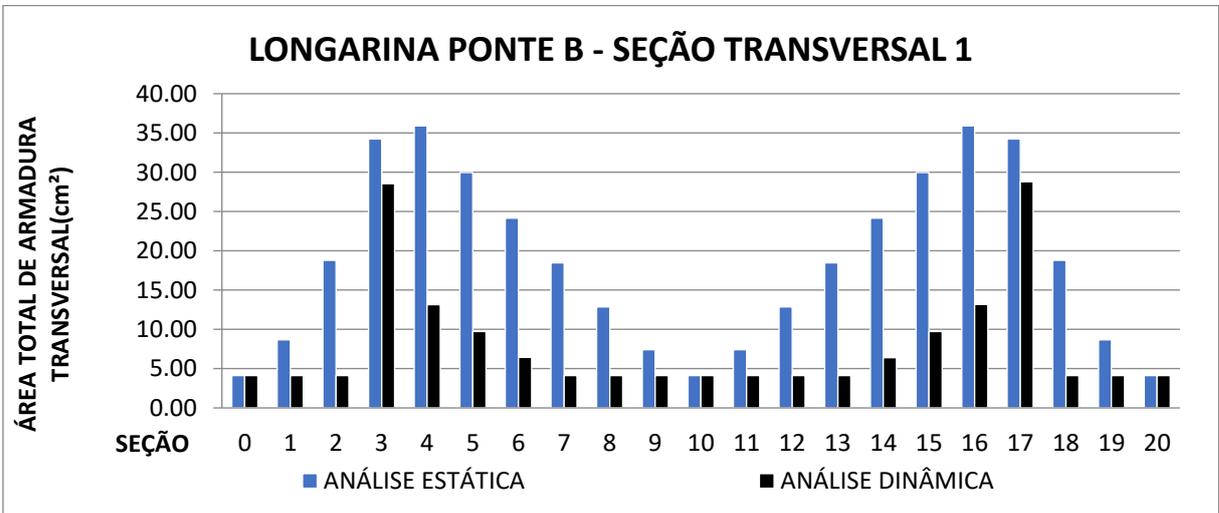


Figura 135 – Áreas totais de armadura transversal – longarina da ponte B seção transversal 1.  
Fonte: Autoria Própria.

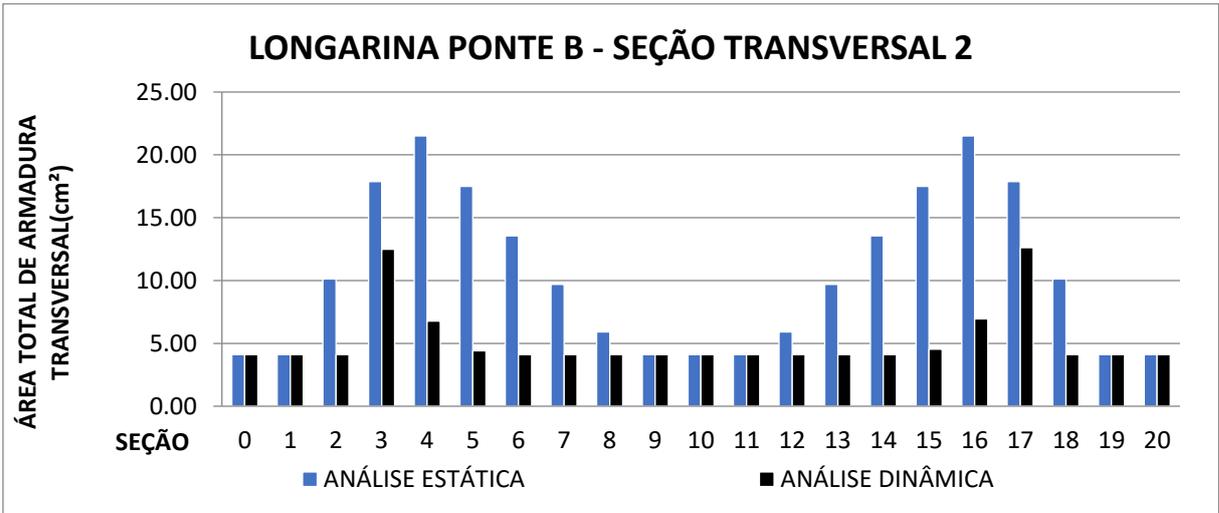


Figura 136 – Áreas totais de armadura transversal – longarina da ponte B seção transversal 2.  
Fonte: Autoria Própria.

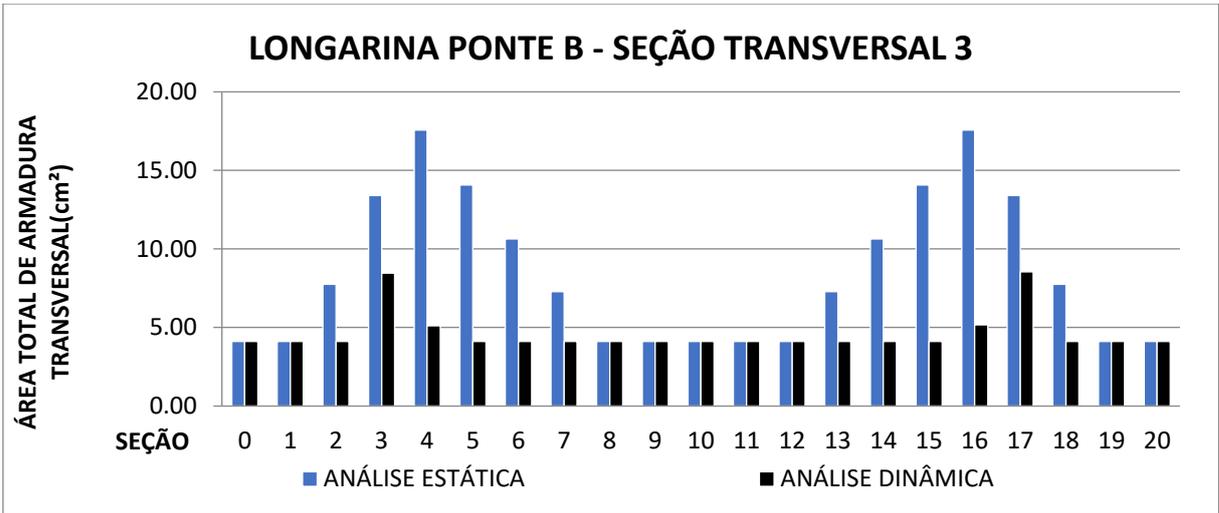


Figura 137 – Áreas totais de armadura transversal – longarina da ponte B seção transversal 3.  
Fonte: Autoria Própria.

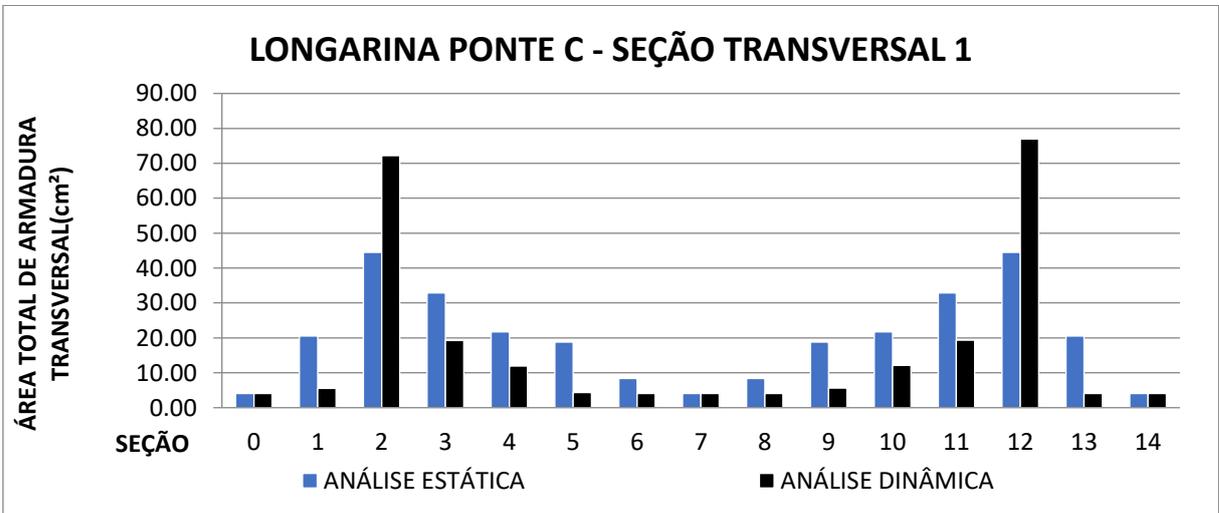


Figura 138 – Áreas totais de armadura transversal – longarina da ponte C seção transversal 1.  
Fonte: Autoria Própria.

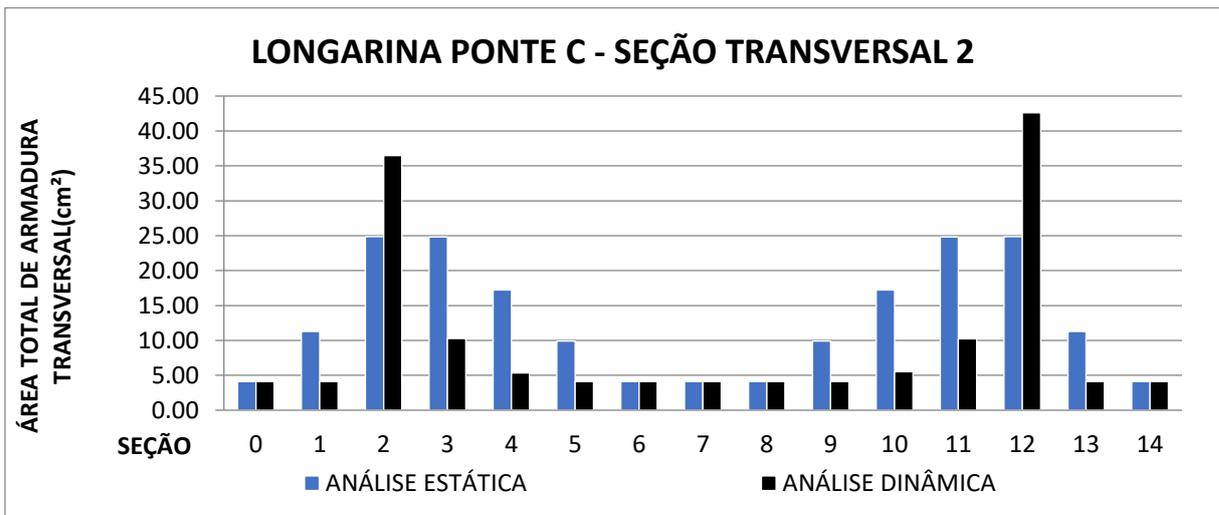


Figura 139 – Áreas totais de armadura transversal – longarina da ponte C seção transversal 2.  
Fonte: Autoria Própria.

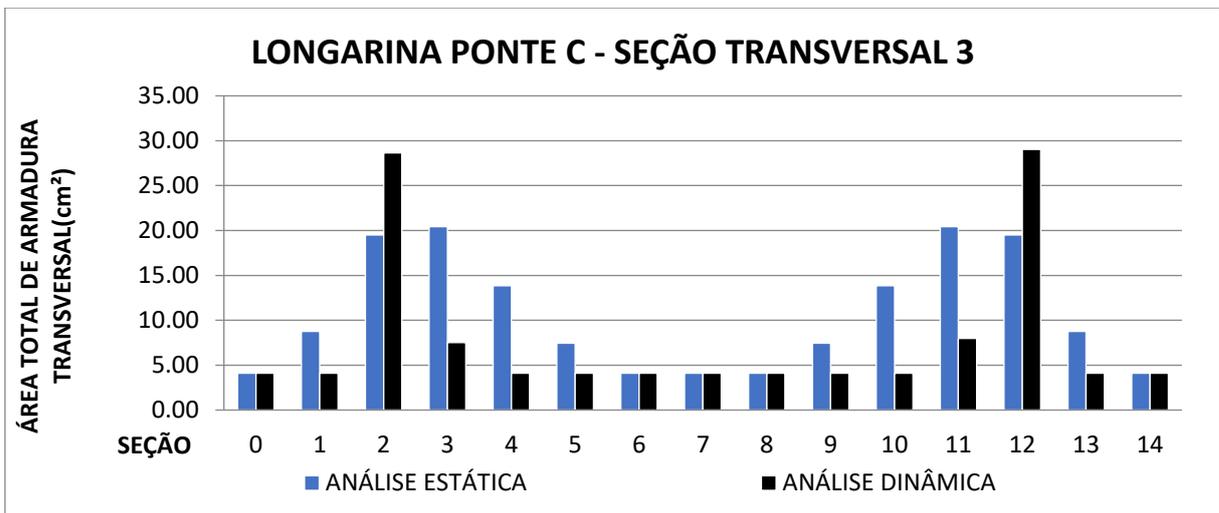


Figura 140 – Áreas totais de armadura transversal – longarina da ponte C seção transversal 3.  
Fonte: Autoria Própria.

## APÊNDICE C – ENVOLTÓRIAS DEVIDAS AO CARREGAMENTO ACIDENTAL - COMPARAÇÃO

As figuras de 141 a 194 permitem a comparação entre as envoltórias dos esforços devidos ao carregamento acidental, obtidas a partir das análises pseudo-estática e dinâmica transiente.

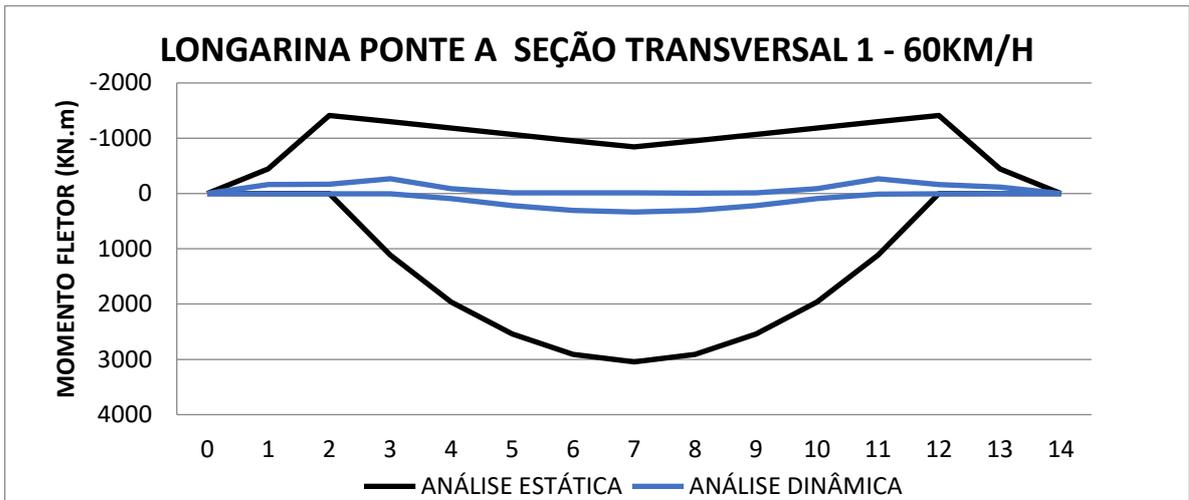


Figura 141 – Envolvórias de momento fletor carga acidental - Ponte A seção transversal 1 – 60 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

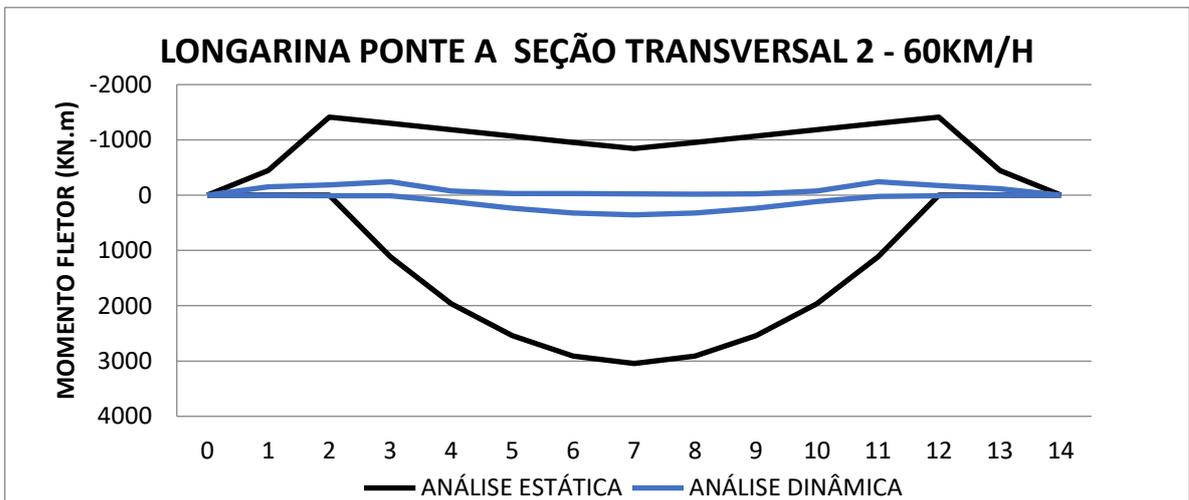


Figura 142 – Envolvórias de momento fletor carga acidental - Ponte A seção transversal 2 – 60 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

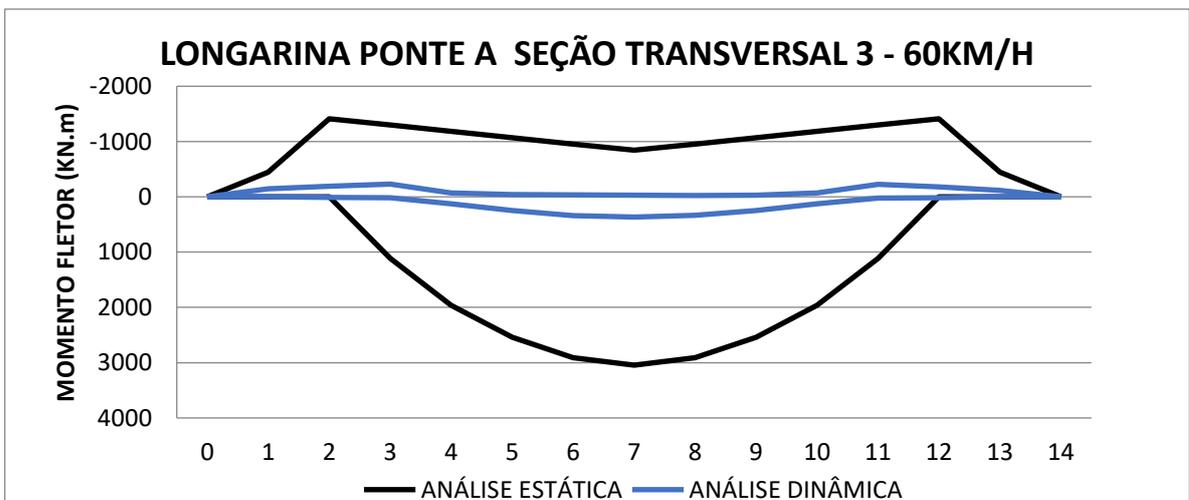


Figura 143 – Envolvórias de momento fletor carga acidental - Ponte A seção transversal 3 – 60 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

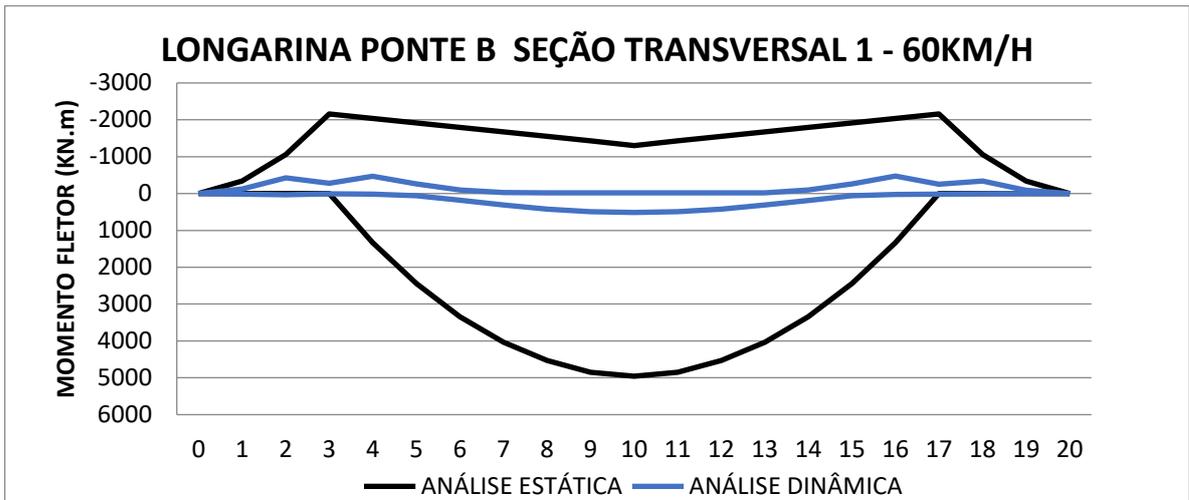


Figura 144 – Envolvórias de momento fletor carga acidental - Ponte B seção transversal 1 – 60 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

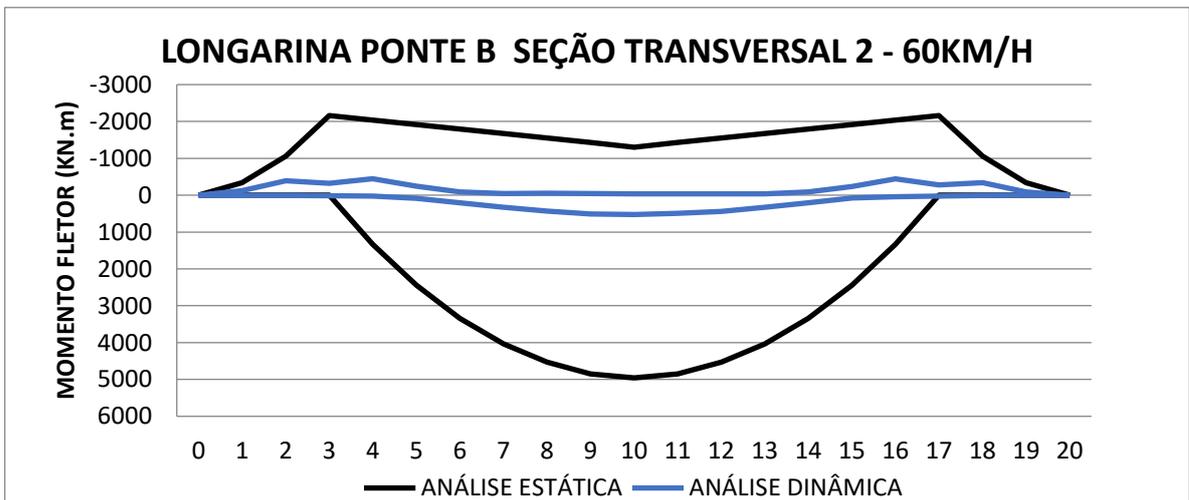


Figura 145 – Envolvórias de momento fletor carga acidental - Ponte B seção transversal 2 – 60 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

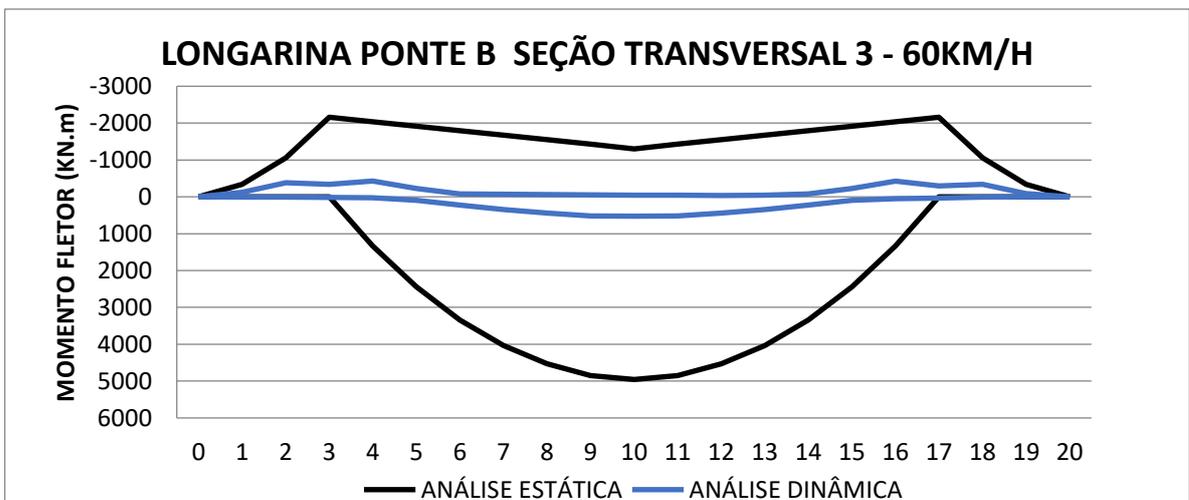


Figura 146 – Envolvórias de momento fletor carga acidental - Ponte B seção transversal 3 – 60 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

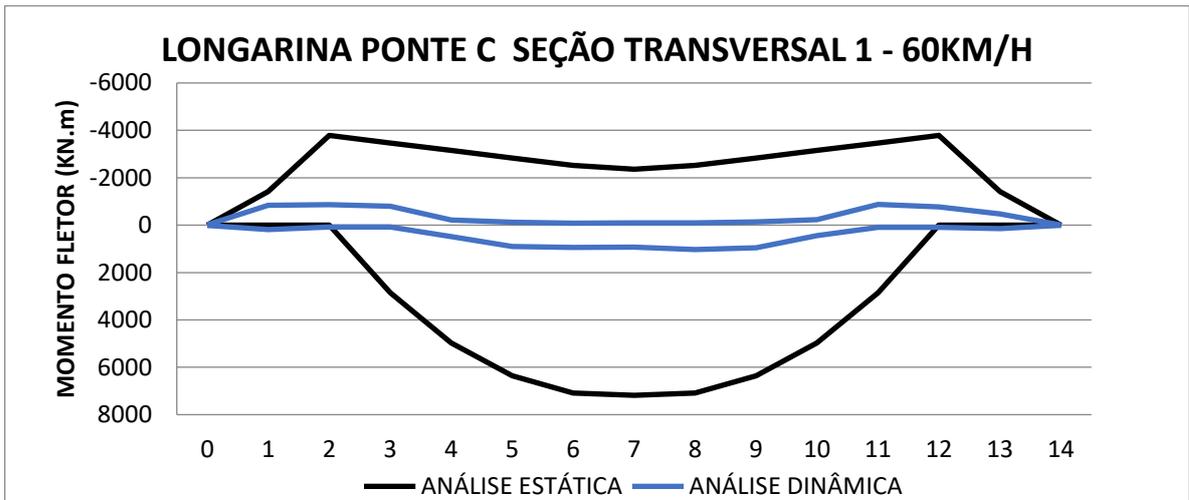


Figura 147 – Envolvórias de momento fletor carga acidental - Ponte C seção transversal 1 – 60 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

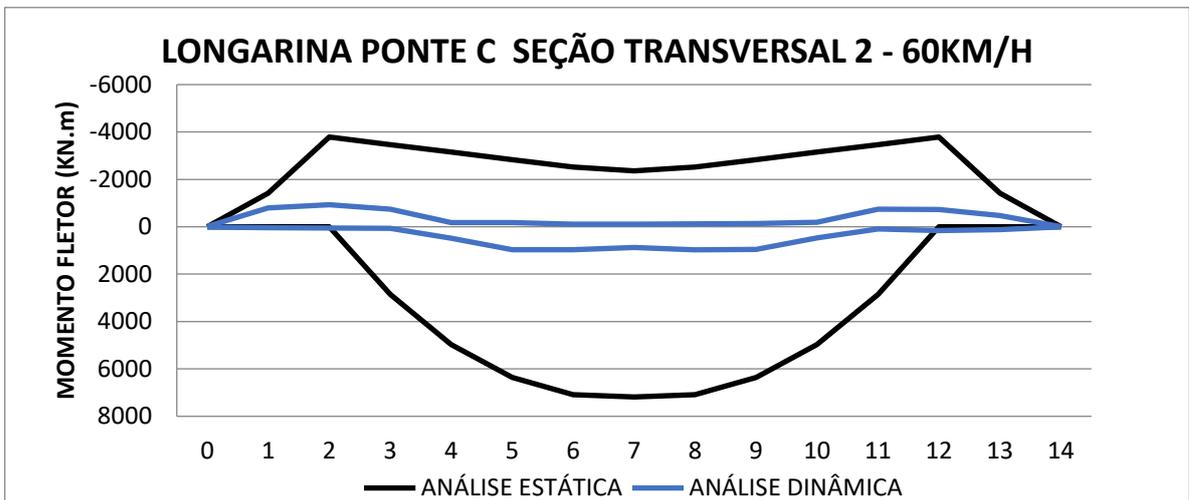


Figura 148 – Envolvórias de momento fletor carga acidental - Ponte C seção transversal 2 – 60 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

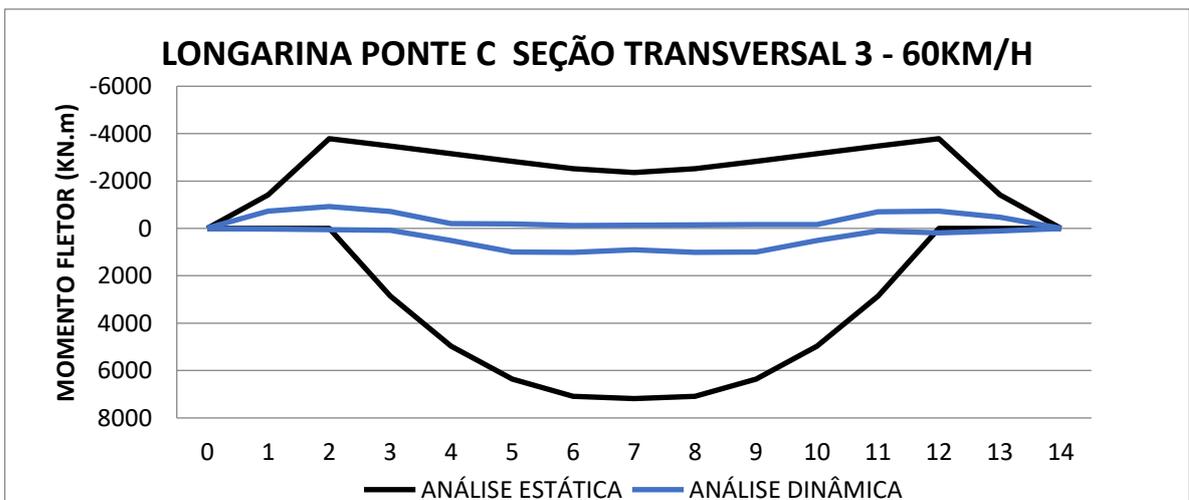


Figura 149 – Envolvórias de momento fletor carga acidental - Ponte C seção transversal 3 – 60 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

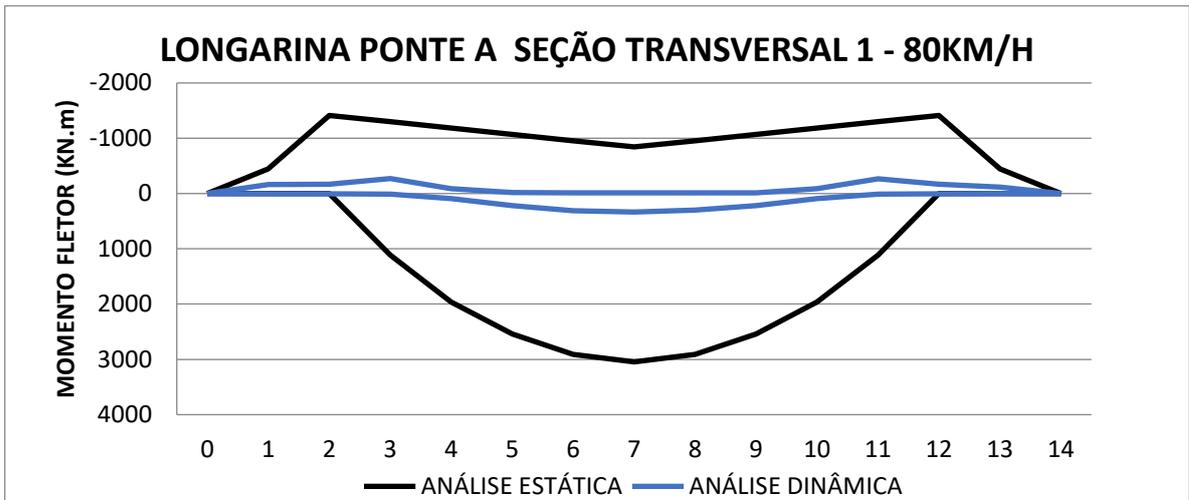


Figura 150 – Envolvórias de momento fletor carga acidental – Ponte A seção transversal 1 – 80 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

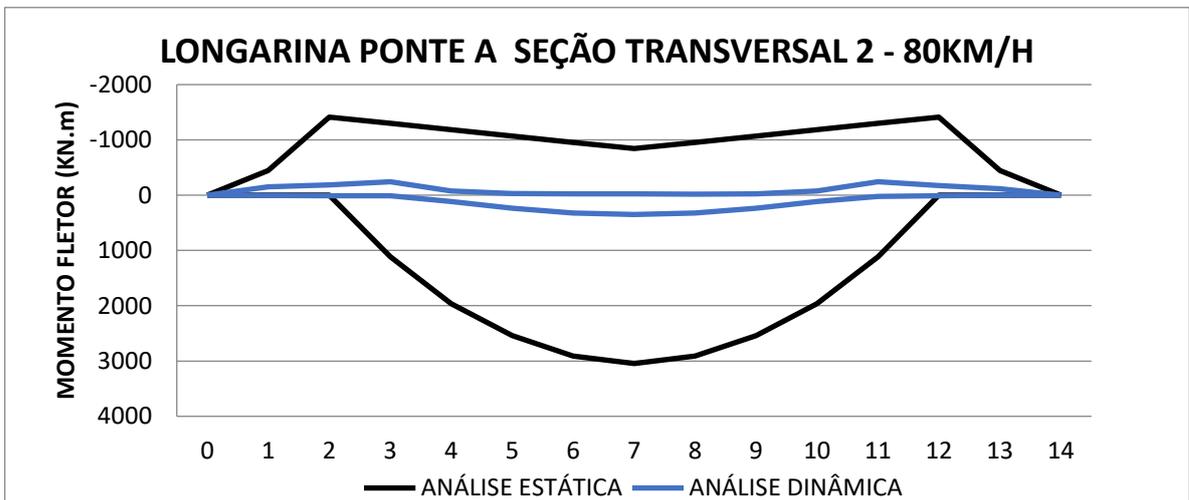


Figura 151 – Envolvórias de momento fletor carga acidental – Ponte A seção transversal 2 – 80 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

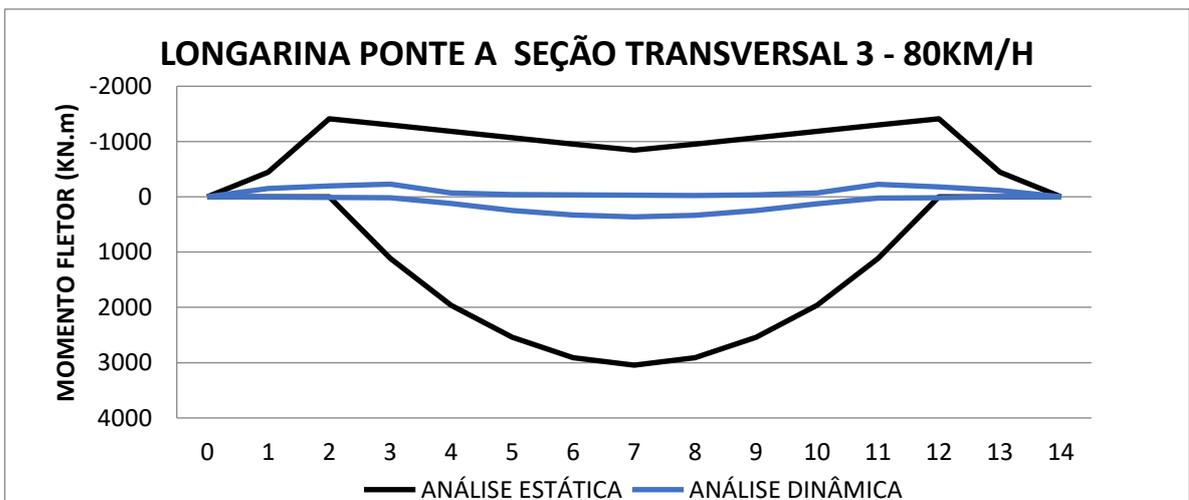


Figura 152 – Envolvórias de momento fletor carga acidental – Ponte A seção transversal 3 – 80 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

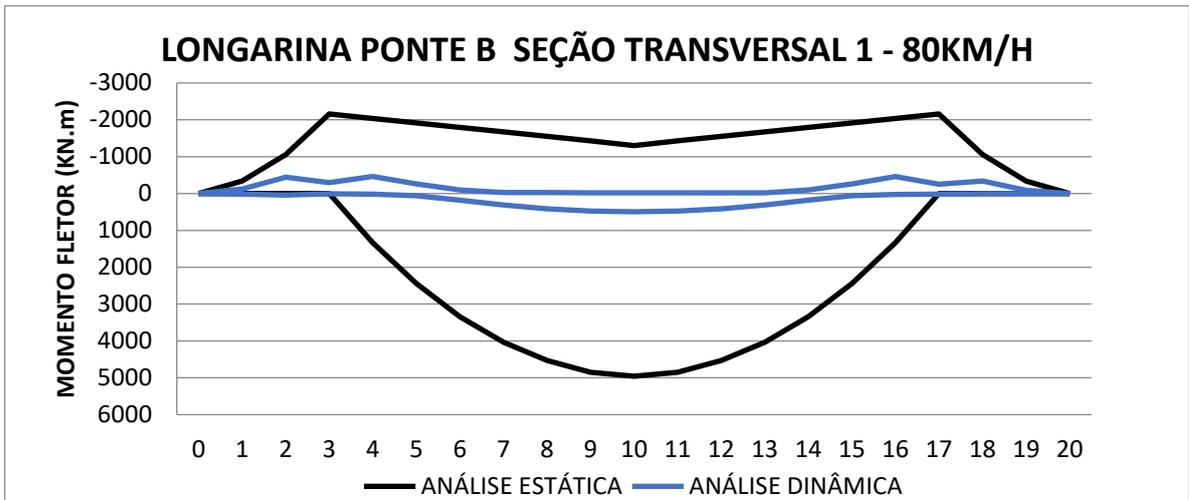


Figura 153 – Envolvórias de momento fletor carga acidental – Ponte B seção transversal 1 – 80 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

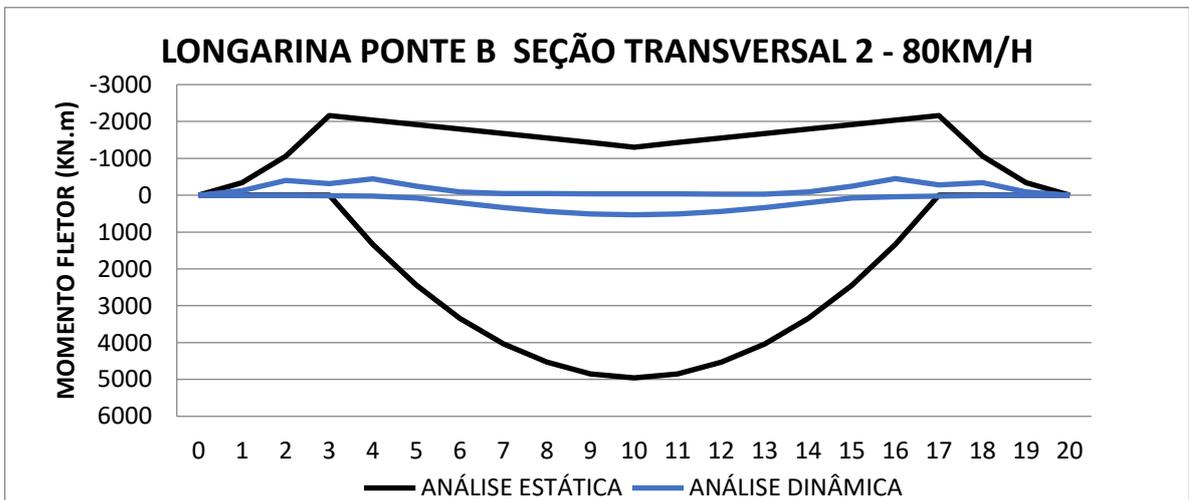


Figura 154 – Envolvórias de momento fletor carga acidental – Ponte B seção transversal 2 – 80 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

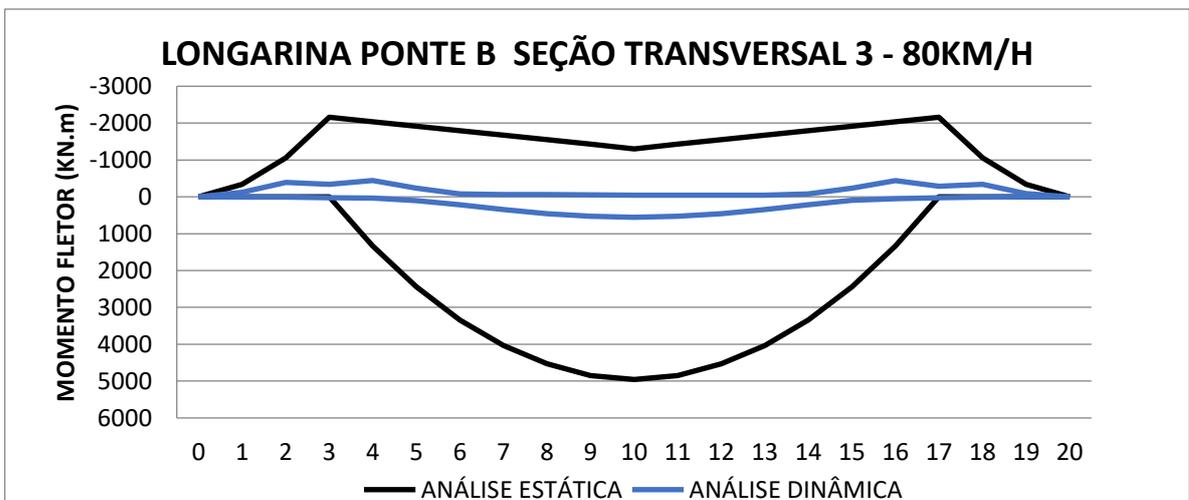


Figura 155 – Envolvórias de momento fletor carga acidental – Ponte B seção transversal 3 – 80 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

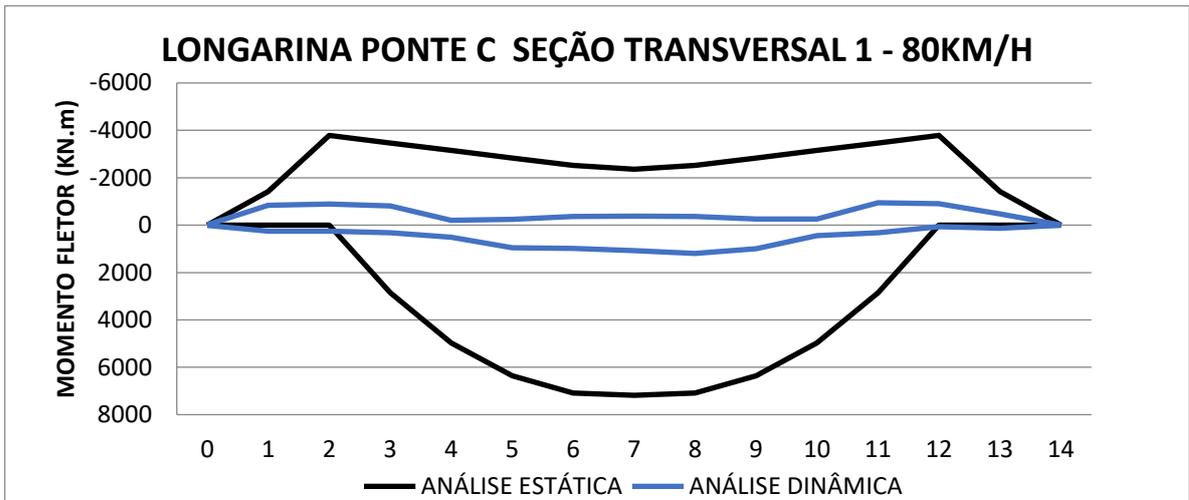


Figura 156 – Envolvórias de momento fletor carga acidental – Ponte C seção transversal 1 – 80 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

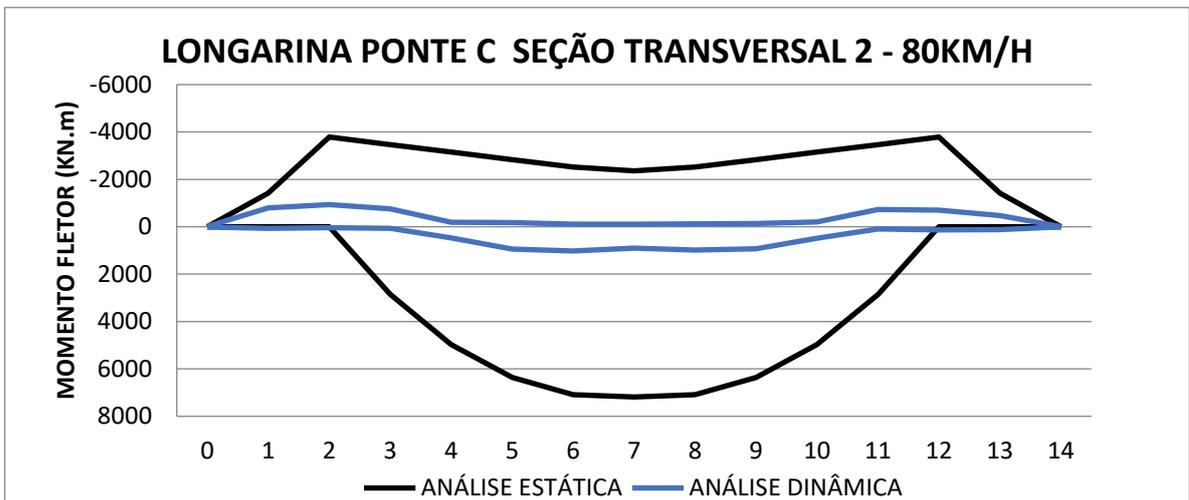


Figura 157 – Envolvórias de momento fletor carga acidental – Ponte C seção transversal 2 – 80 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

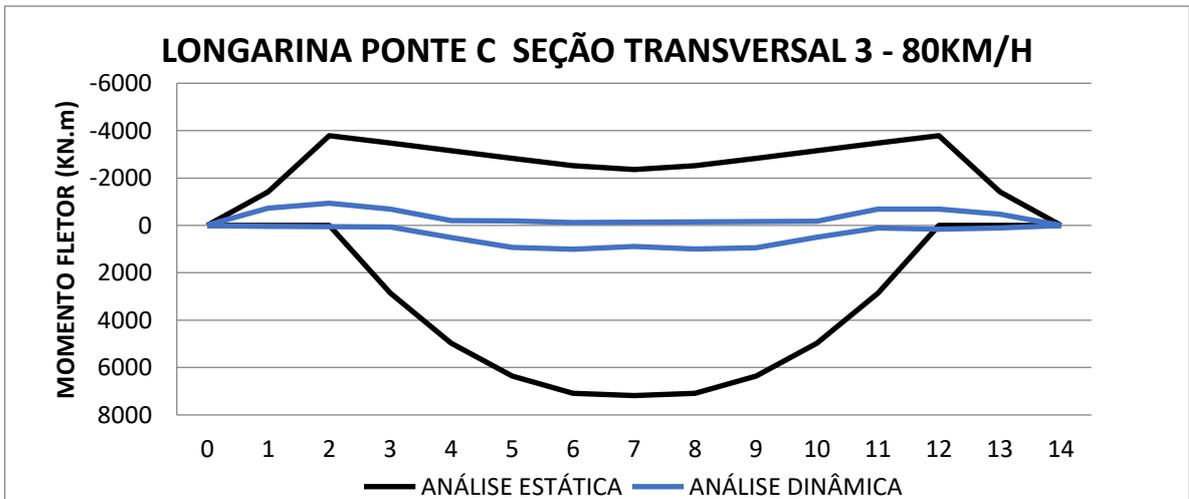


Figura 158 – Envolvórias de momento fletor carga acidental – Ponte C seção transversal 3 – 80 km/h .  
Fonte: Autoria Própria.

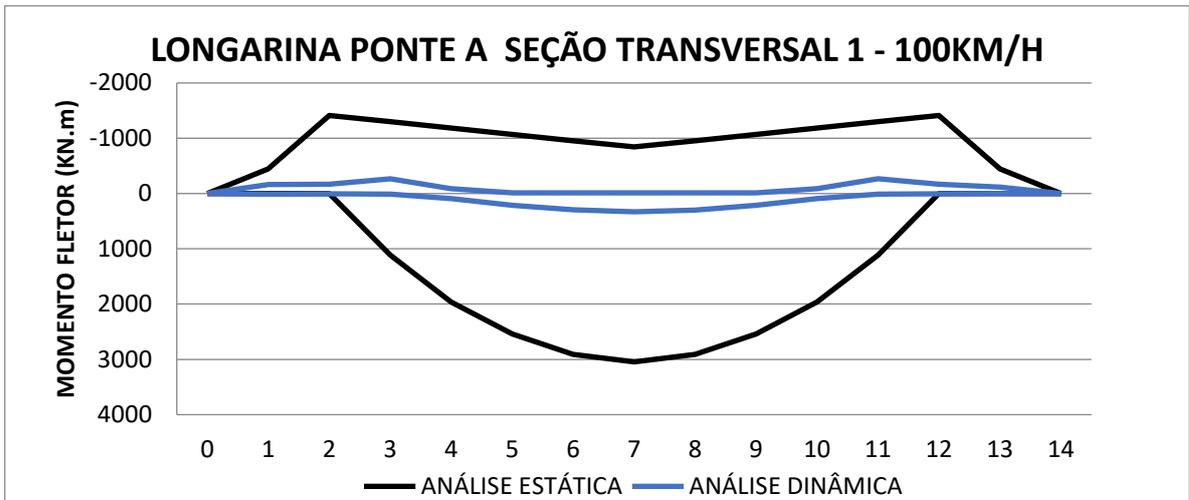


Figura 159 – Envolvórias de momento fletor carga acidental – Ponte A seção transversal 1 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

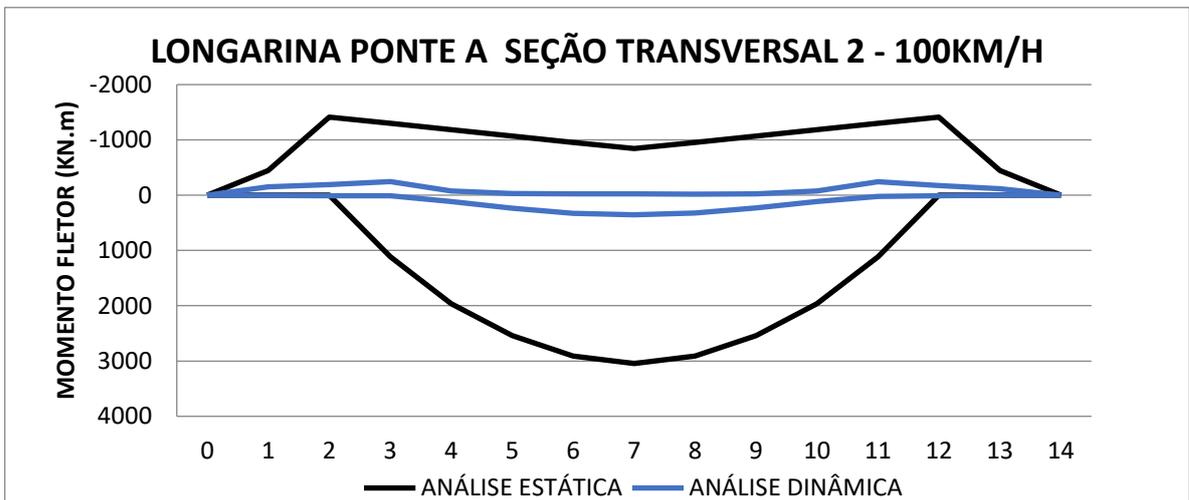


Figura 160 – Envolvórias de momento fletor carga acidental – Ponte A seção transversal 2 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

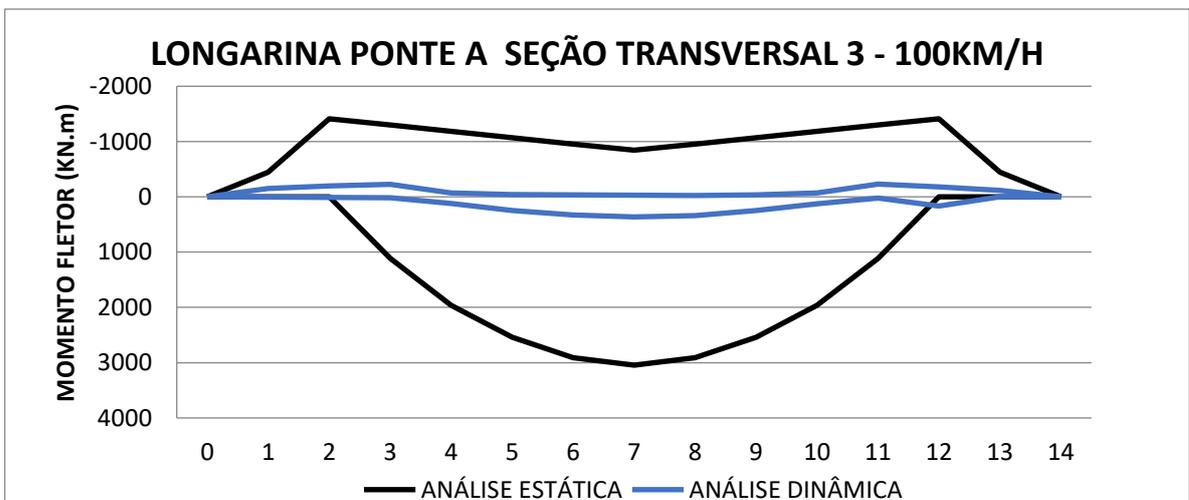


Figura 161 – Envolvórias de momento fletor carga acidental – Ponte A seção transversal 3 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

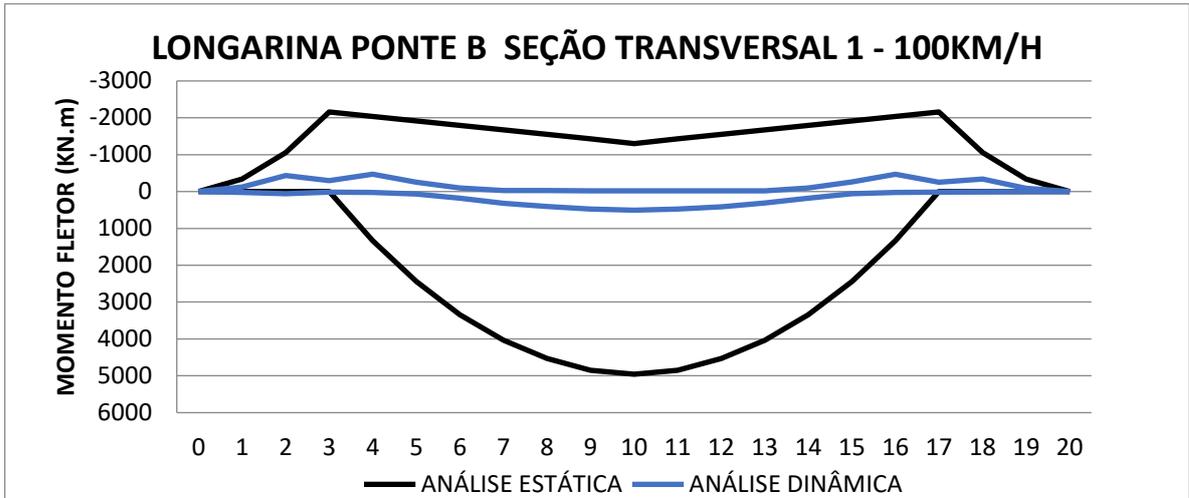


Figura 162 – Envolvórias de momento fletor carga acidental – Ponte B seção transversal 1 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

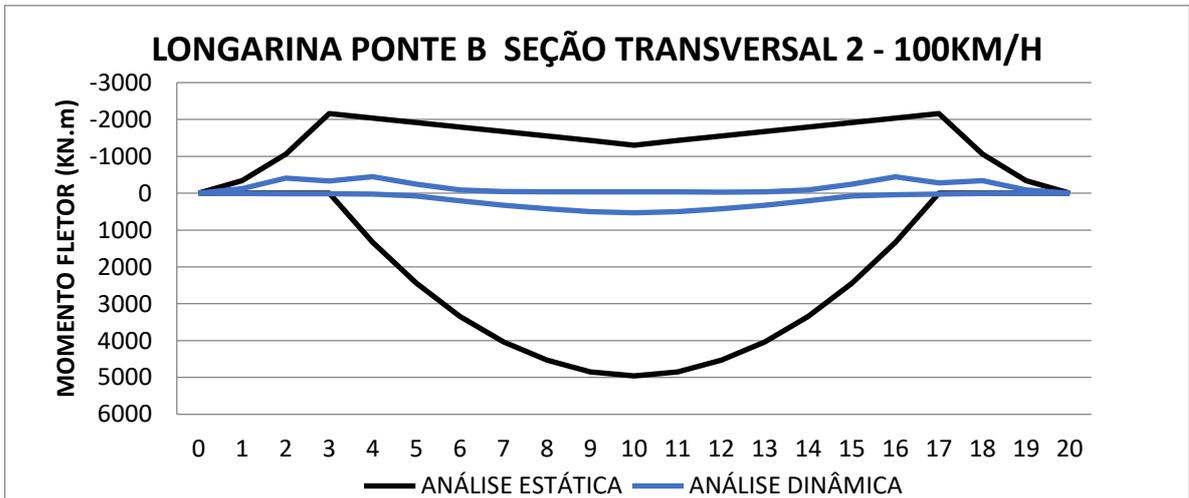


Figura 163 – Envolvórias de momento fletor carga acidental – Ponte B seção transversal 2 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

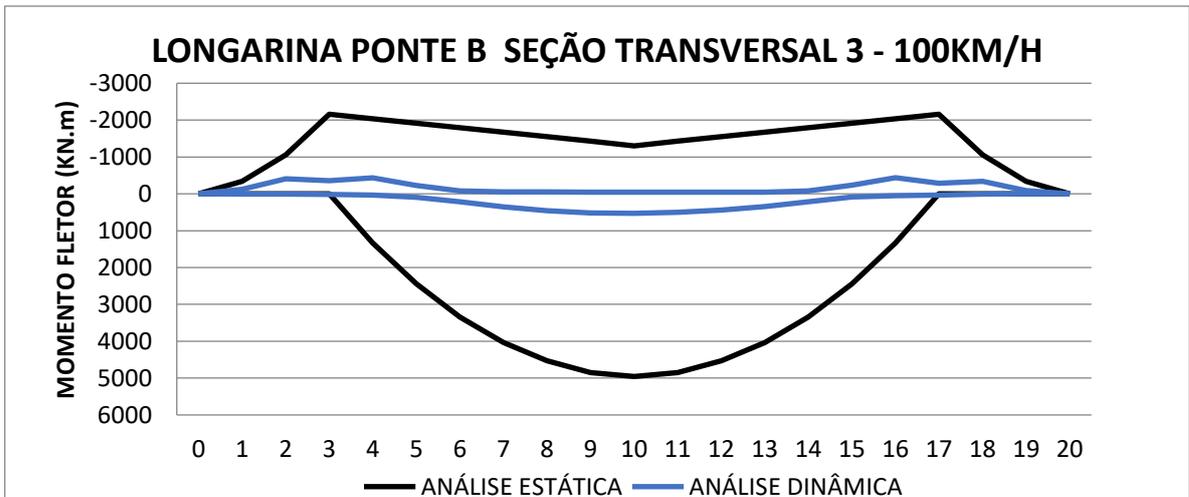


Figura 164 – Envolvórias de momento fletor carga acidental – Ponte B seção transversal 3 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

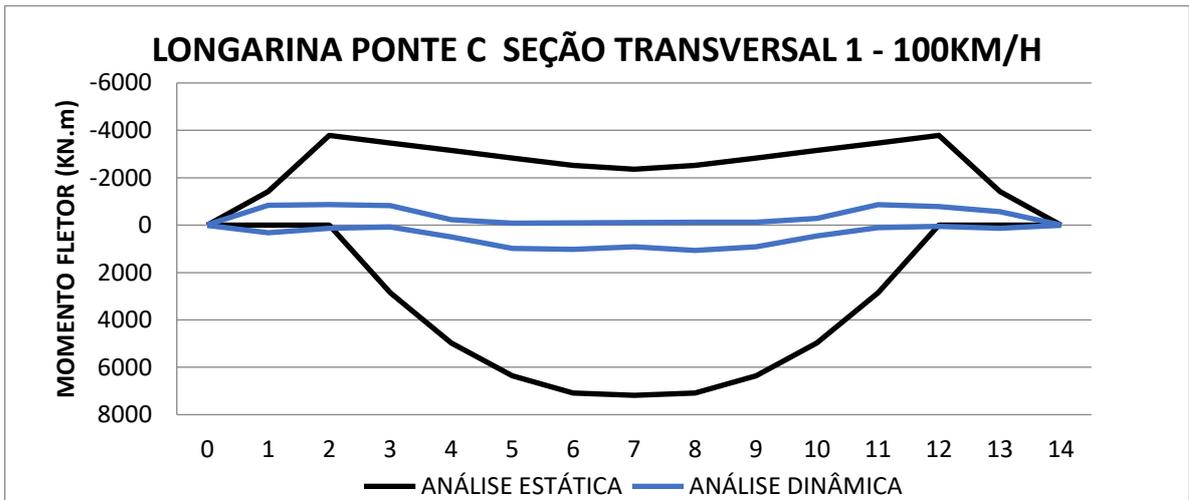


Figura 165 – Envolvórias de momento fletor carga acidental – Ponte C seção transversal 1 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

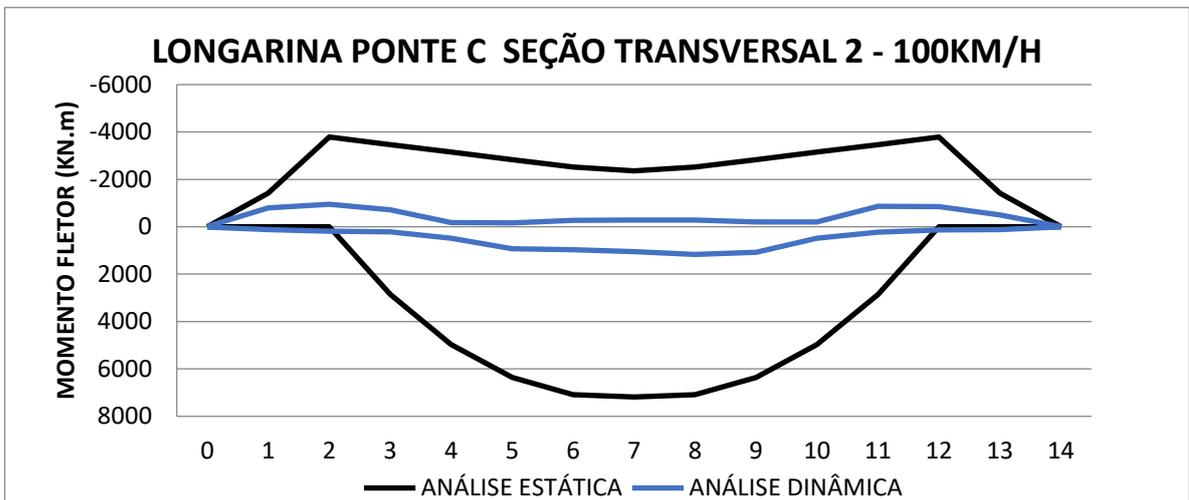


Figura 166 – Envolvórias de momento fletor carga acidental – Ponte C seção transversal 2 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

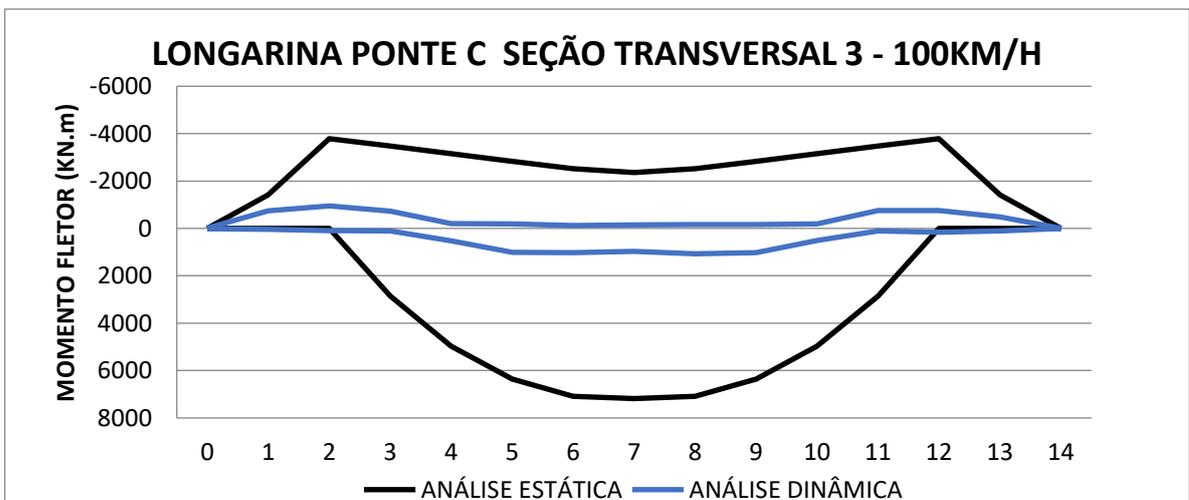


Figura 167 – Envolvórias de momento fletor carga acidental – Ponte C seção transversal 3 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

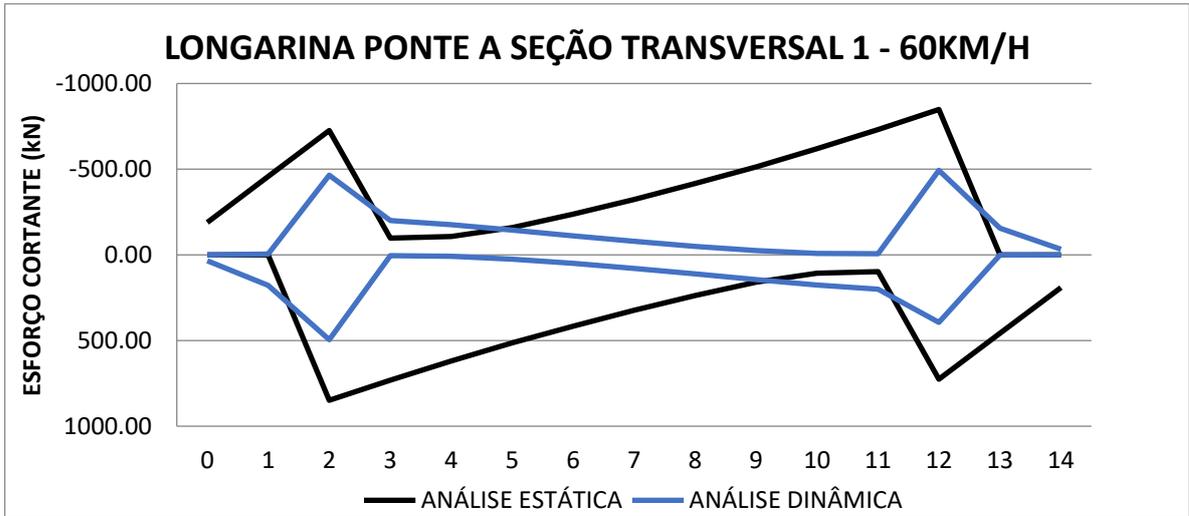


Figura 168 – Envolvórias esforço cortante carga acidental – Ponte A seção transversal 1 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

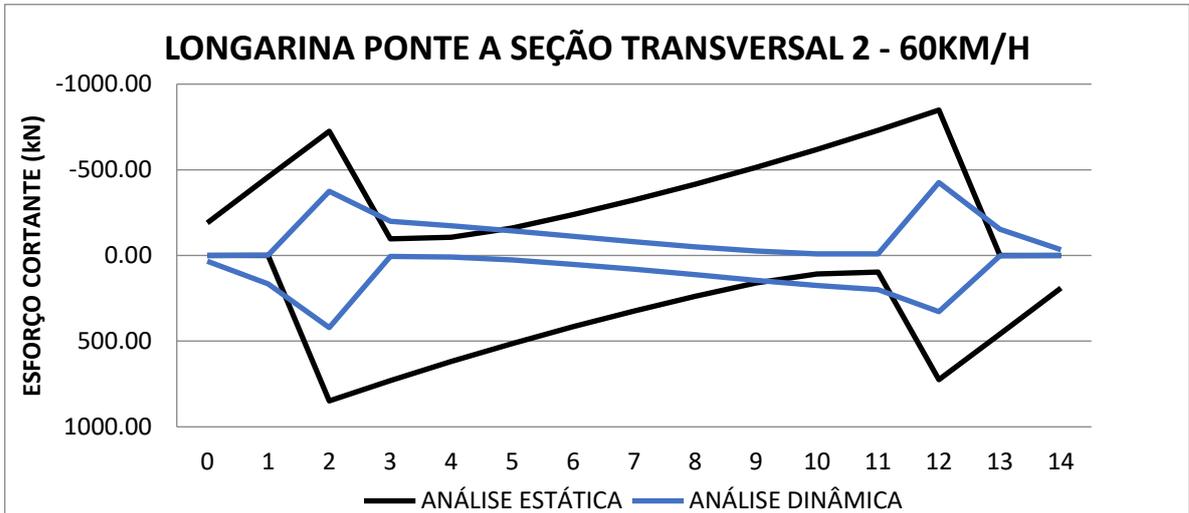


Figura 169 – Envolvórias esforço cortante carga acidental – Ponte A seção transversal 2 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

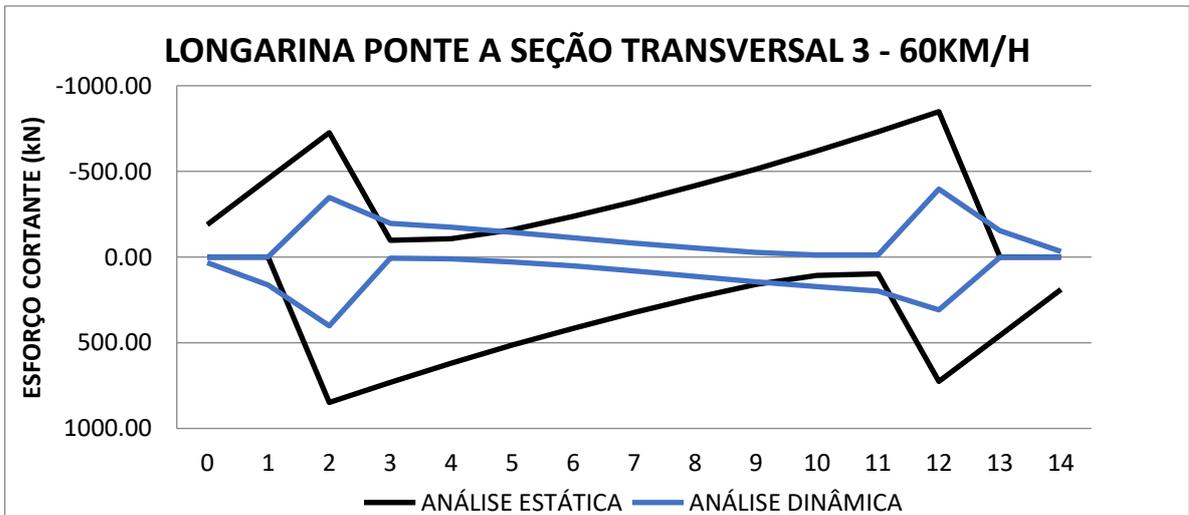


Figura 170 – Envolvórias esforço cortante carga acidental – Ponte A seção transversal 3 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

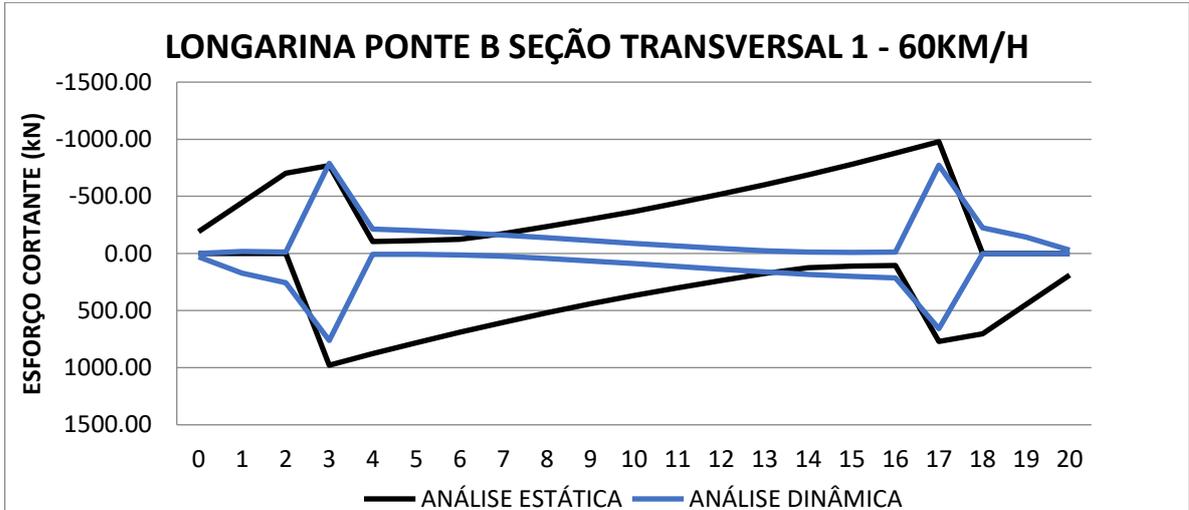


Figura 171 – Envolvórias esforço cortante carga acidental – Ponte B seção transversal 1 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

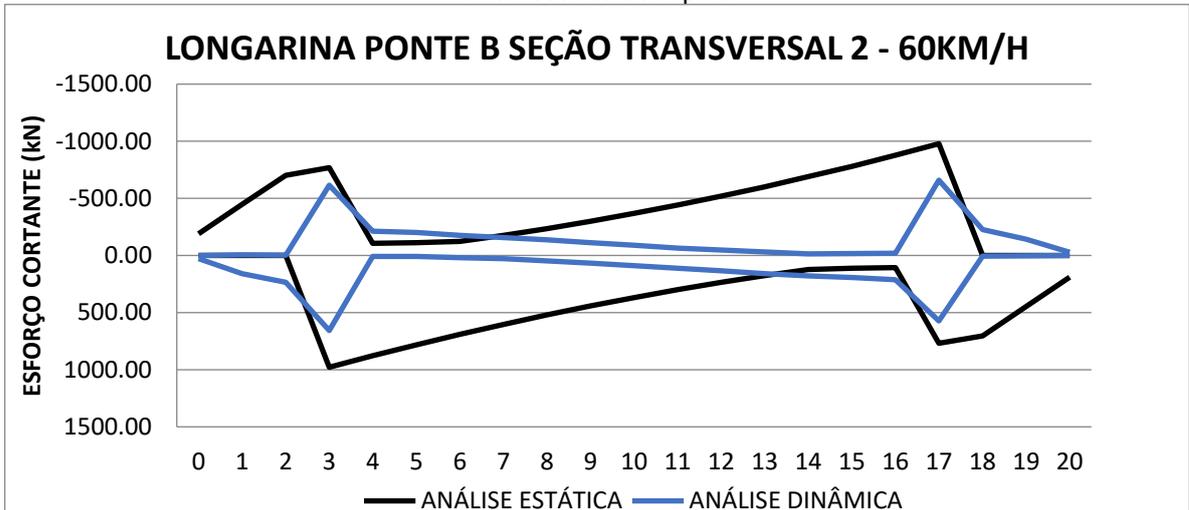


Figura 172 – Envolvórias esforço cortante carga acidental – Ponte B seção transversal 2 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

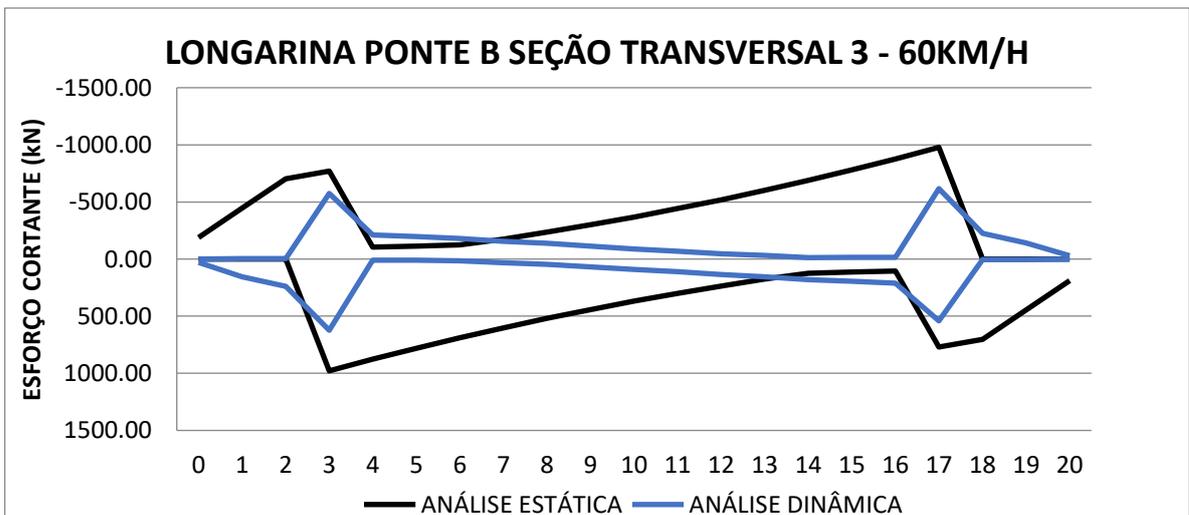


Figura 173 – Envolvórias esforço cortante carga acidental – Ponte B seção transversal 3 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

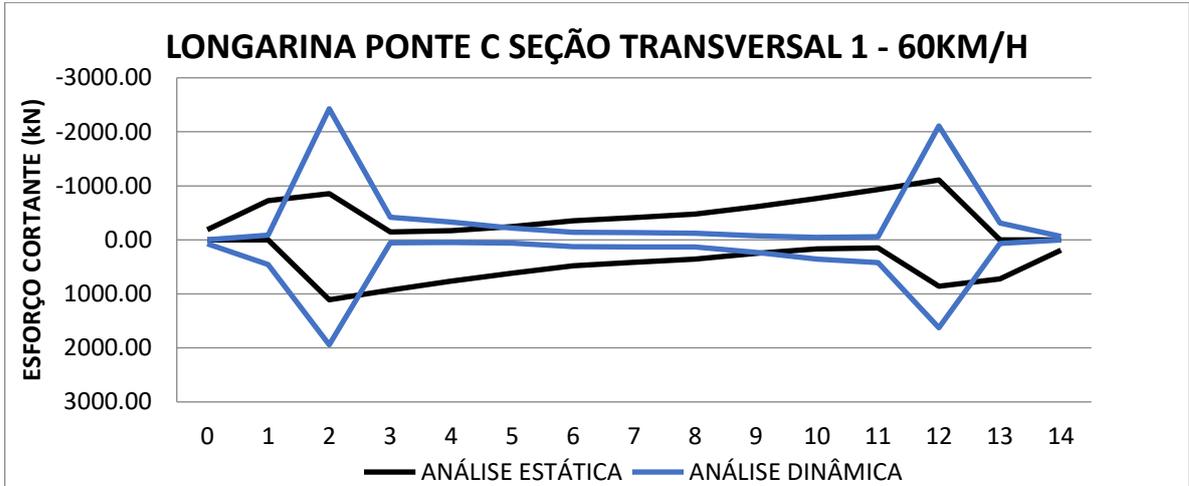


Figura 174 – Envolvórias esforço cortante carga accidental – Ponte C seção transversal 1 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

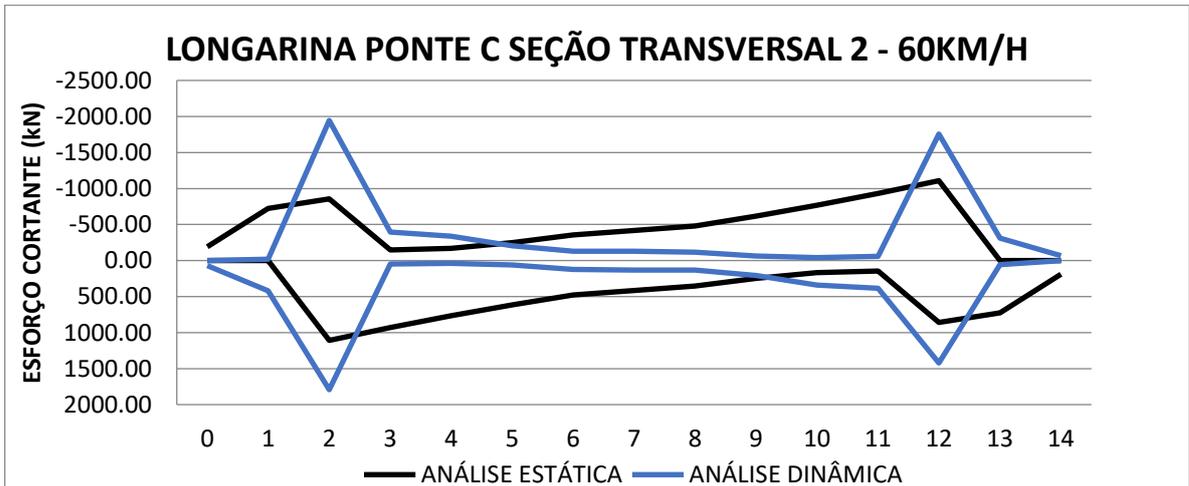


Figura 175 – Envolvórias esforço cortante carga accidental – Ponte C seção transversal 2 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

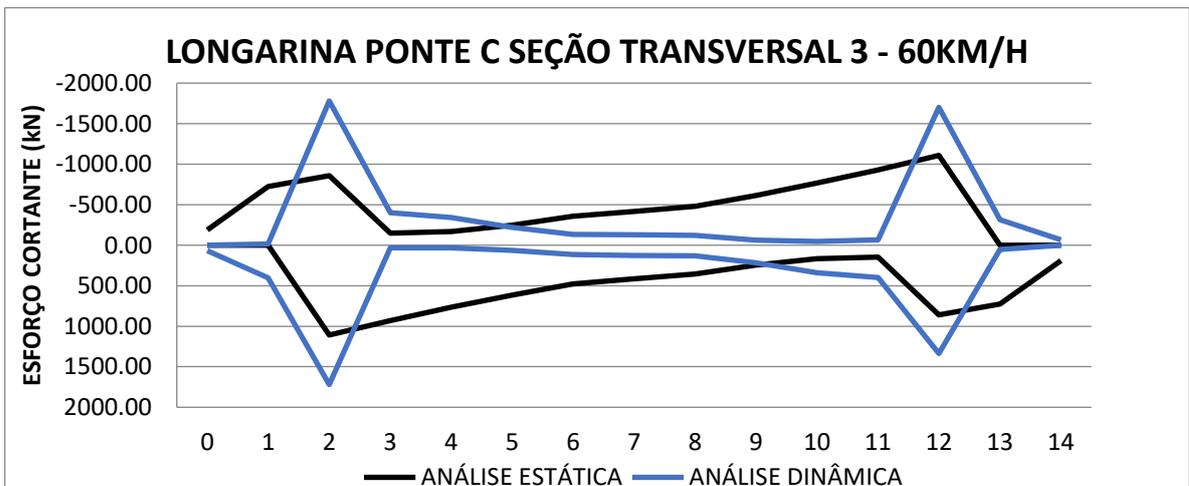


Figura 176 – Envolvórias esforço cortante carga accidental – Ponte C seção transversal 3 – 60km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

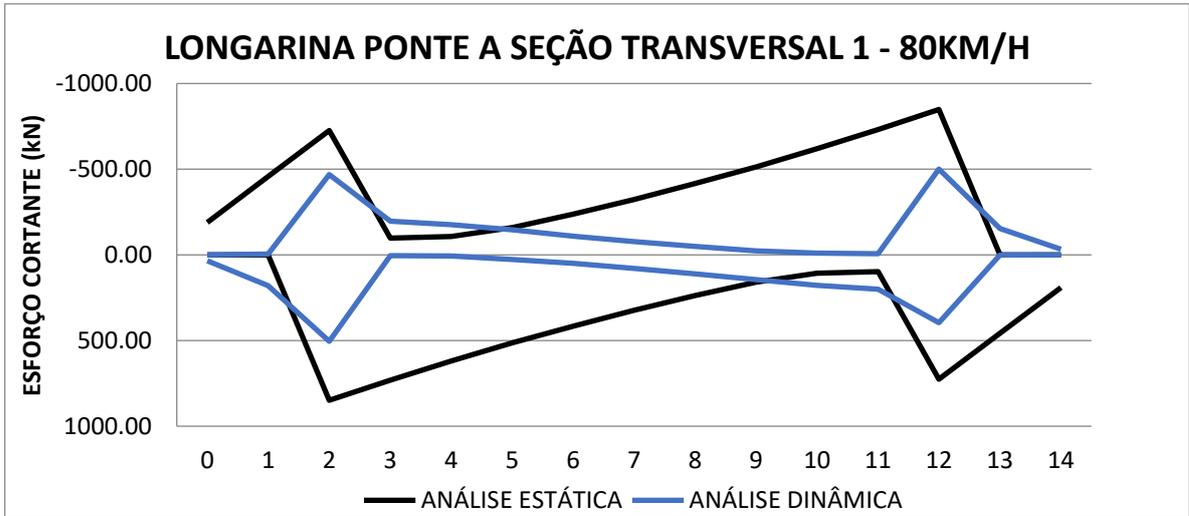


Figura 177 – Envolvórias esforço cortante carga acidental – Ponte A seção transversal 1 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

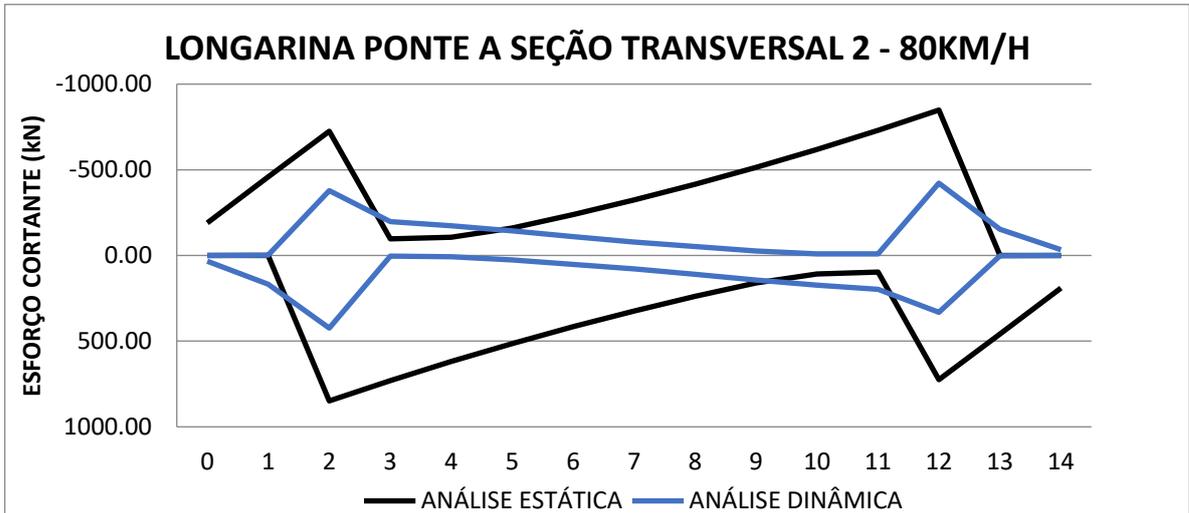


Figura 178 – Envolvórias esforço cortante carga acidental – Ponte A seção transversal 2 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

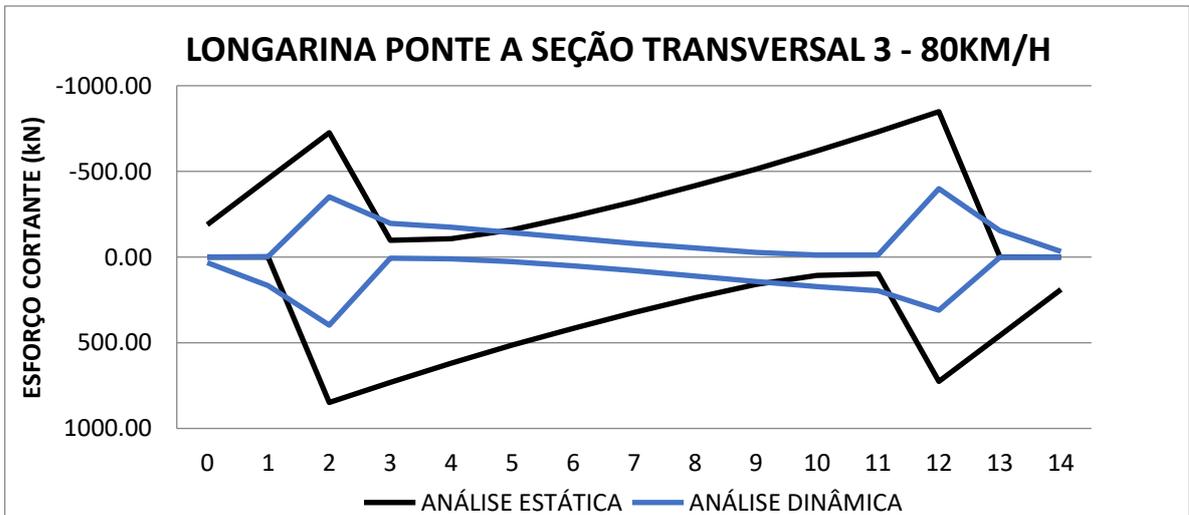


Figura 179 – Envolvórias esforço cortante carga acidental – Ponte A seção transversal 3 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

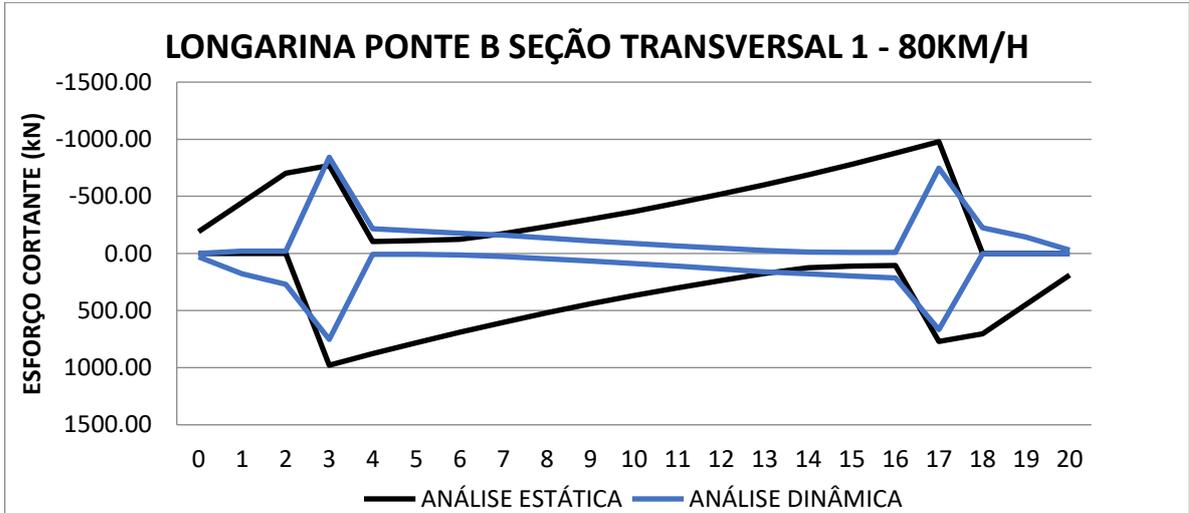


Figura 180 – Envolvórias esforço cortante carga acidental – Ponte B seção transversal 1 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

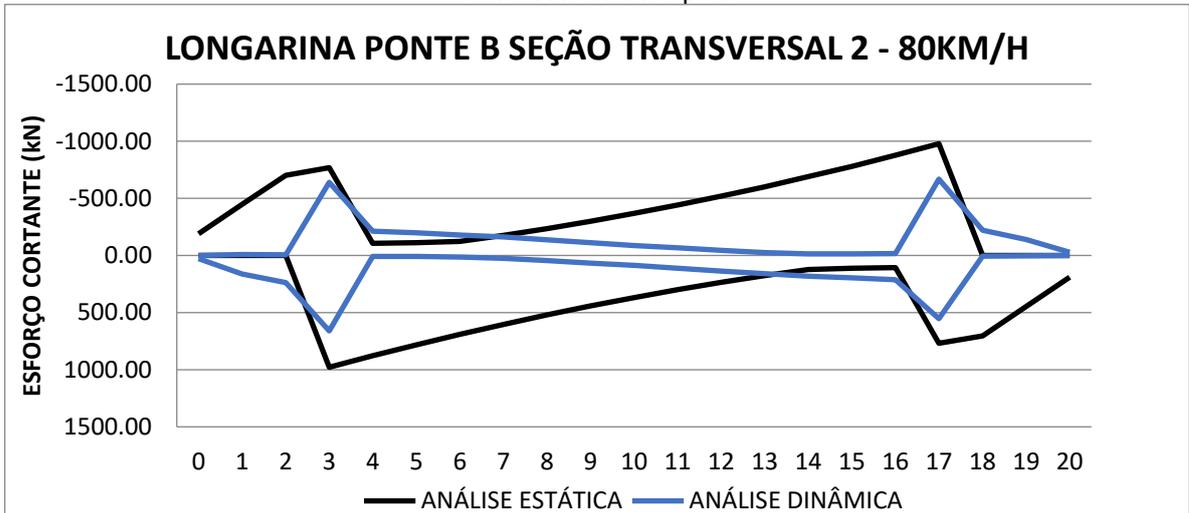


Figura 181 – Envolvórias esforço cortante carga acidental – Ponte B seção transversal 2 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

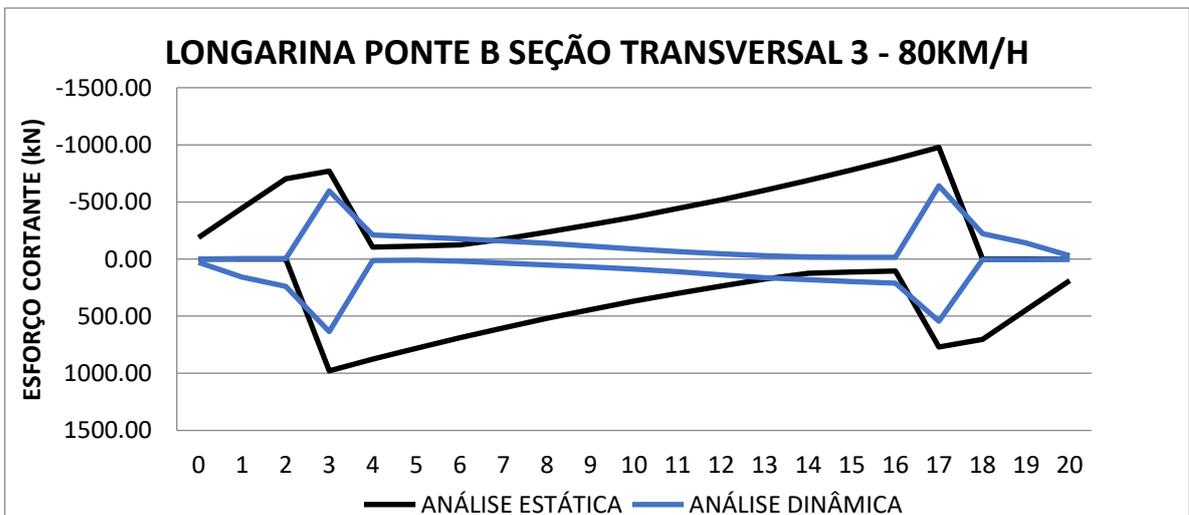


Figura 182 – Envolvórias esforço cortante carga acidental – Ponte B seção transversal 3 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

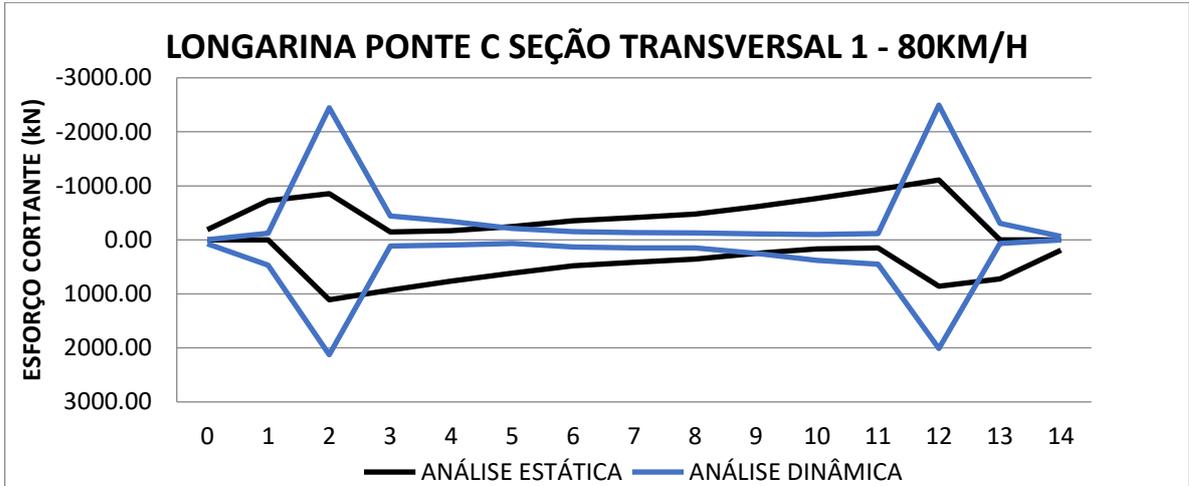


Figura 183 – Envolvórias esforço cortante carga accidental – Ponte C seção transversal 1 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

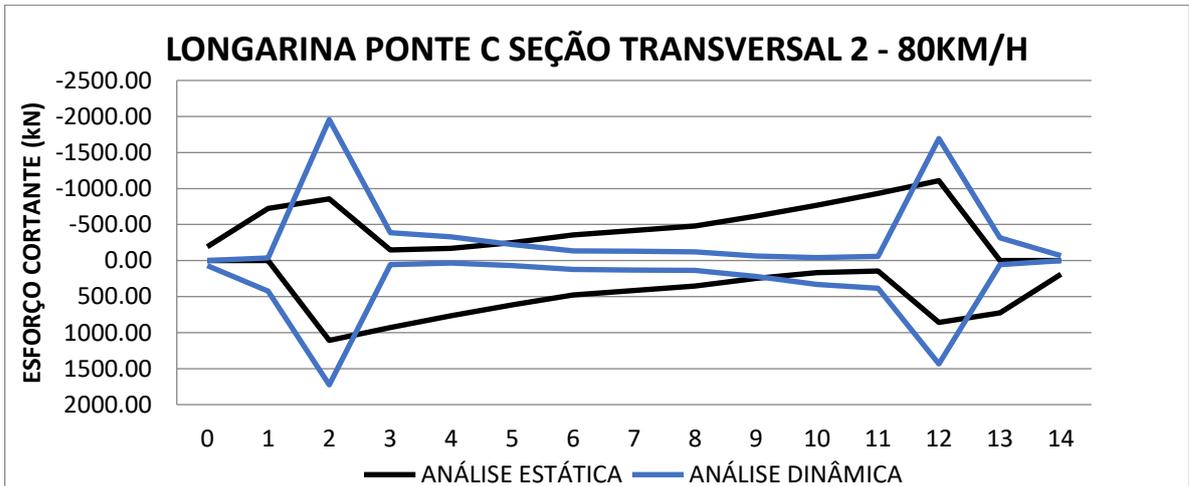


Figura 184 – Envolvórias esforço cortante carga accidental – Ponte C seção transversal 2 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

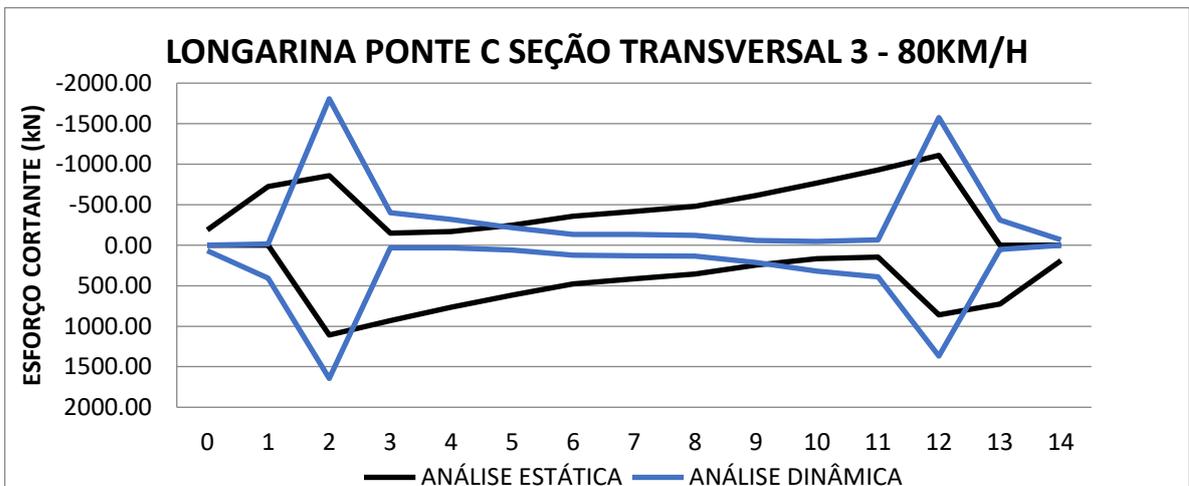


Figura 185 – Envolvórias esforço cortante carga accidental – Ponte C seção transversal 3 – 80km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

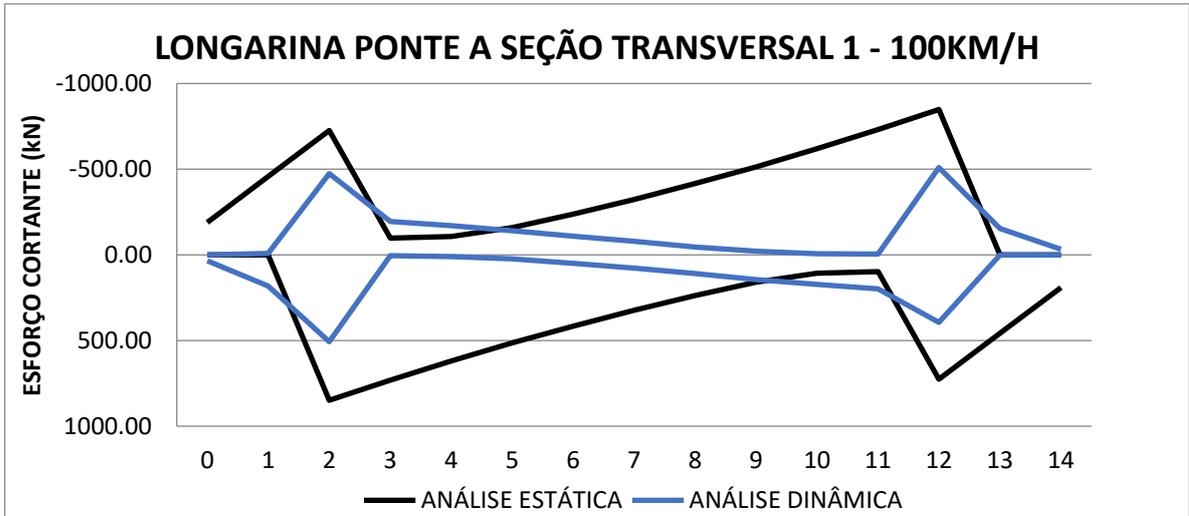


Figura 186 – Envoltórias esforço cortante carga acidental – Ponte A seção transversal 1 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

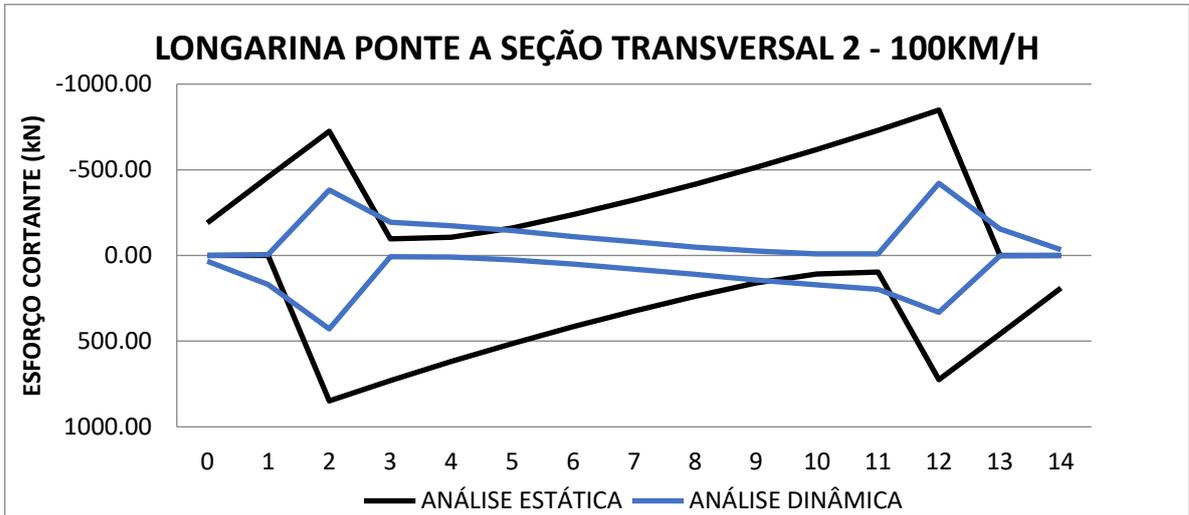


Figura 187 – Envoltórias esforço cortante carga acidental – Ponte A seção transversal 2 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

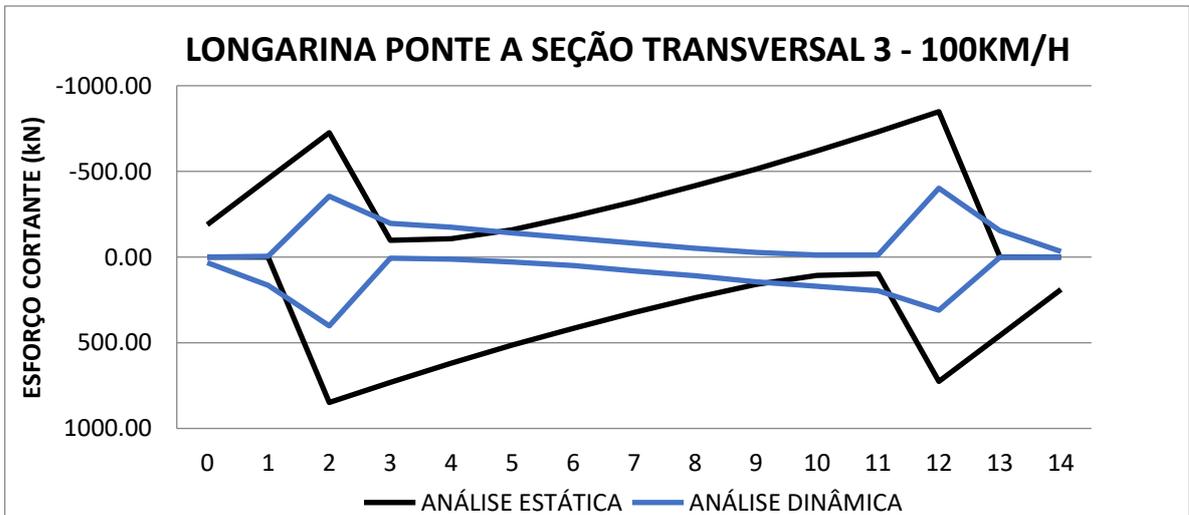


Figura 188 – Envoltórias esforço cortante carga acidental – Ponte A seção transversal 3 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

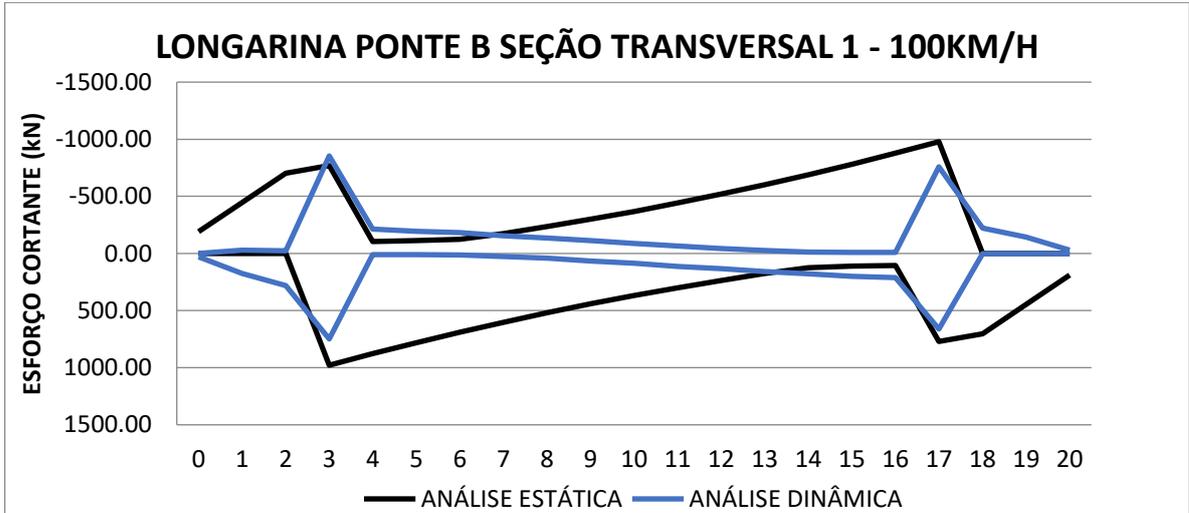


Figura 189 – Envoltórias esforço cortante carga acidental – Ponte B seção transversal 1 – 100km/h. Fonte: Autoria Própria.

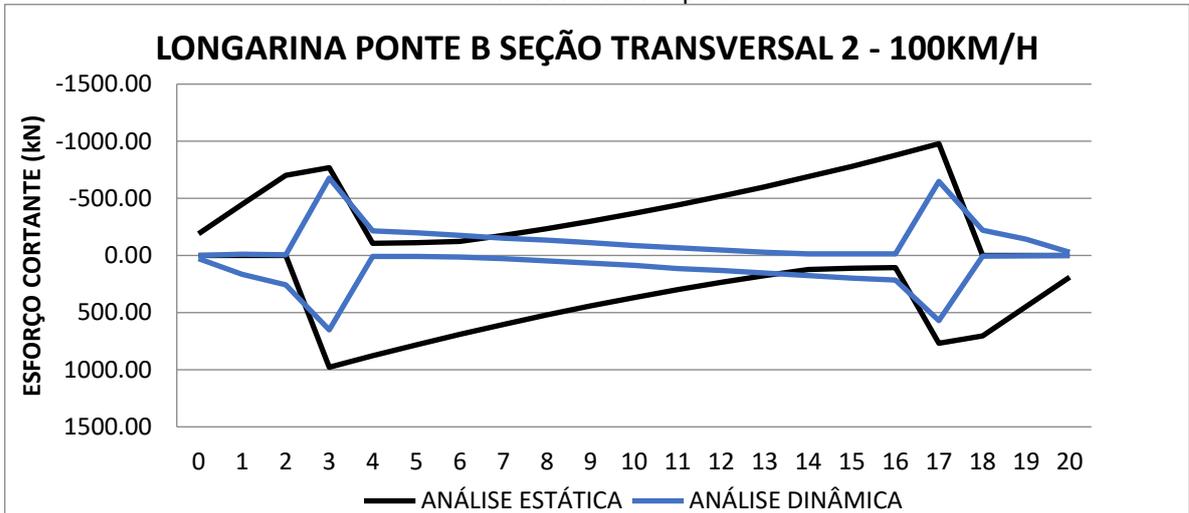


Figura 190 – Envoltórias esforço cortante carga acidental – Ponte B seção transversal 2 – 100km/h. Fonte: Autoria Própria.

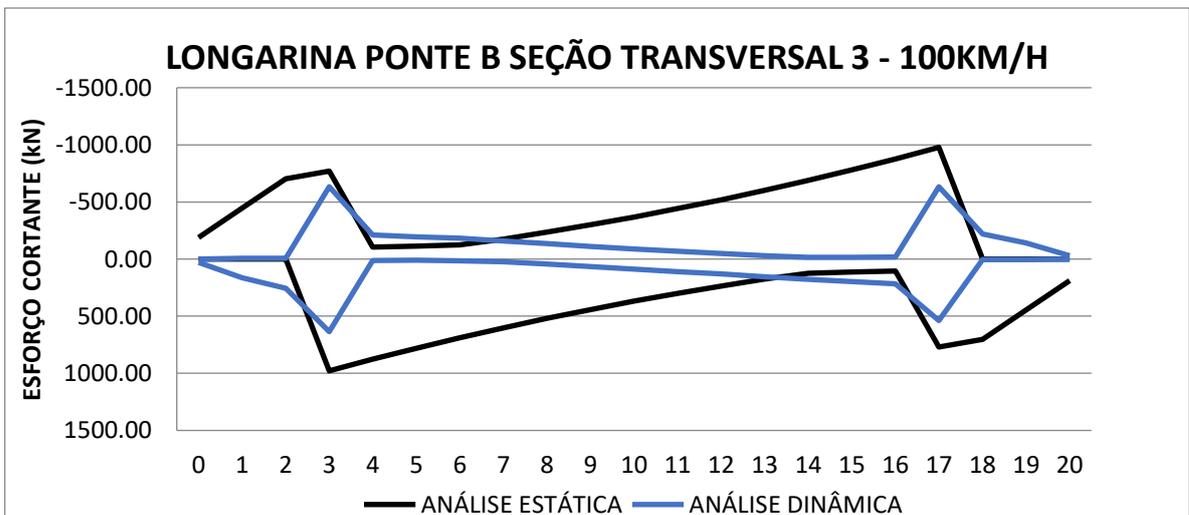


Figura 191 – Envoltórias esforço cortante carga acidental – Ponte B seção transversal 3 – 100km/h. Fonte: Autoria Própria.

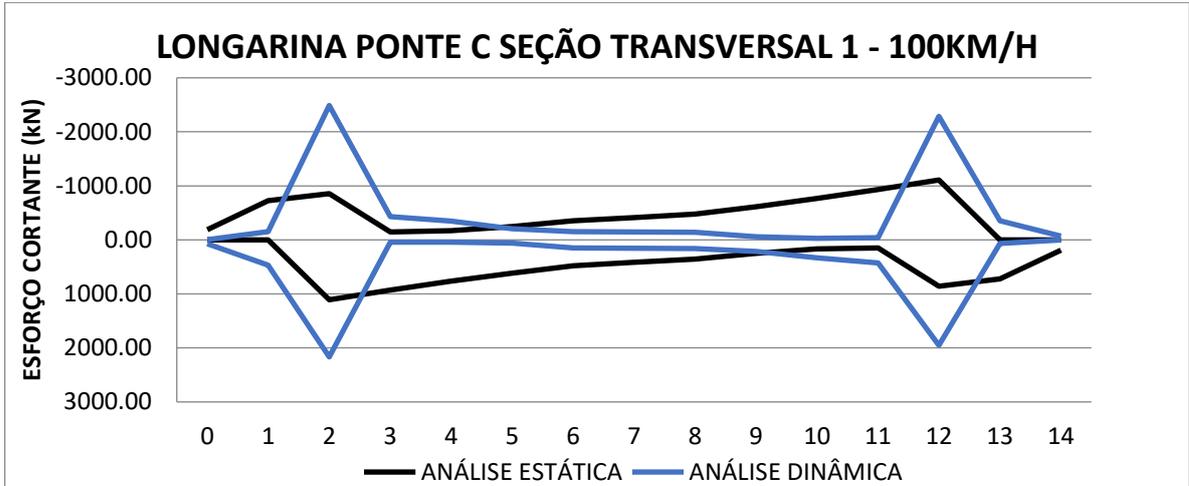


Figura 192 – Envoltórias esforço cortante carga accidental – Ponte C seção transversal 1 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

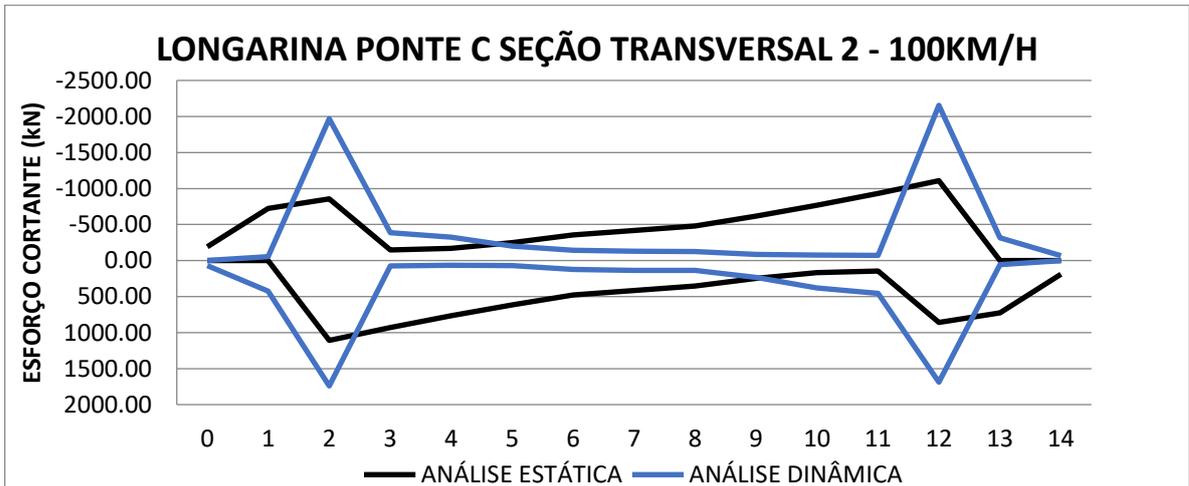


Figura 193 – Envoltórias esforço cortante carga accidental – Ponte C seção transversal 2 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

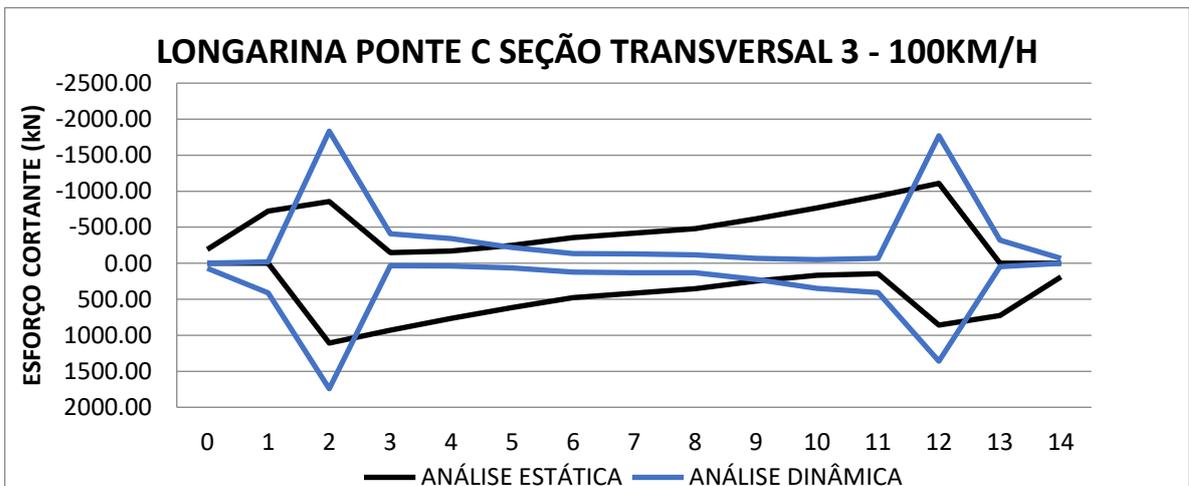


Figura 194 – Envoltórias esforço cortante carga accidental – Ponte C seção transversal 3 – 100km/h.  
Fonte: Autoria Própria.

## APÊNDICE D - ÁREAS TOTAIS DE ARMADURAS COM CORREÇÃO DEVIDO A FADIGA

### ➤ ÁREAS TOTAIS DE ARMADURAS LONGITUDINAIS

As figuras de 195 a 203 permitem a comparação entre a área total de armadura longitudinal nas seções das longarinas, quando dimensionadas a partir dos esforços obtidos das análises pseudo-estática e dinâmica transiente, considerando as correções devidas ao efeito da fadiga.

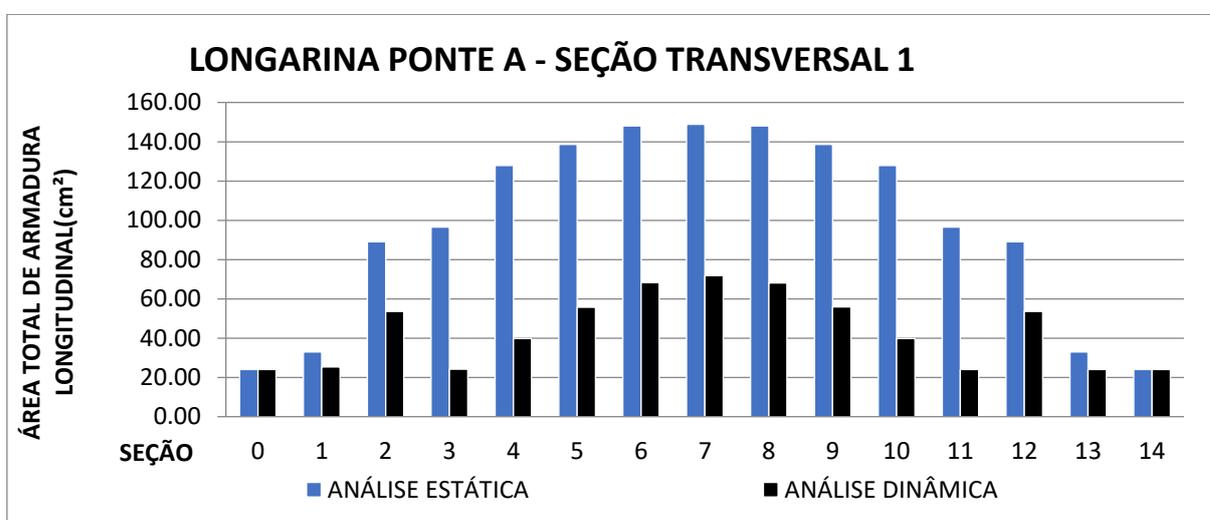


Figura 195 – Áreas finais de armadura longitudinal – longarina da ponte A seção transversal 1.  
Fonte: Autoria Própria.

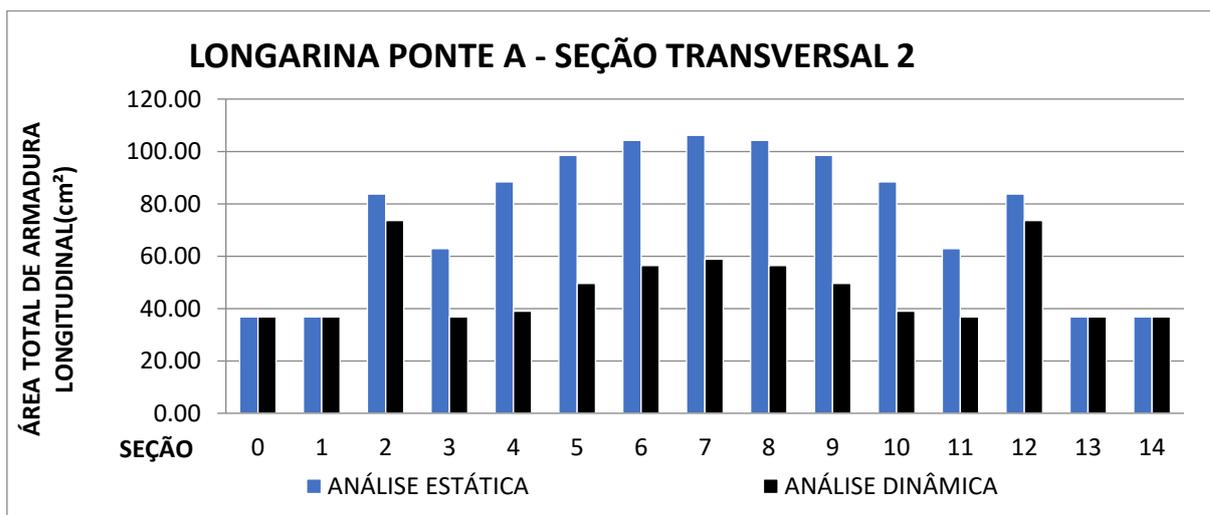


Figura 196 – Áreas finais de armadura longitudinal – longarina da ponte A seção transversal 2.  
Fonte: Autoria Própria.

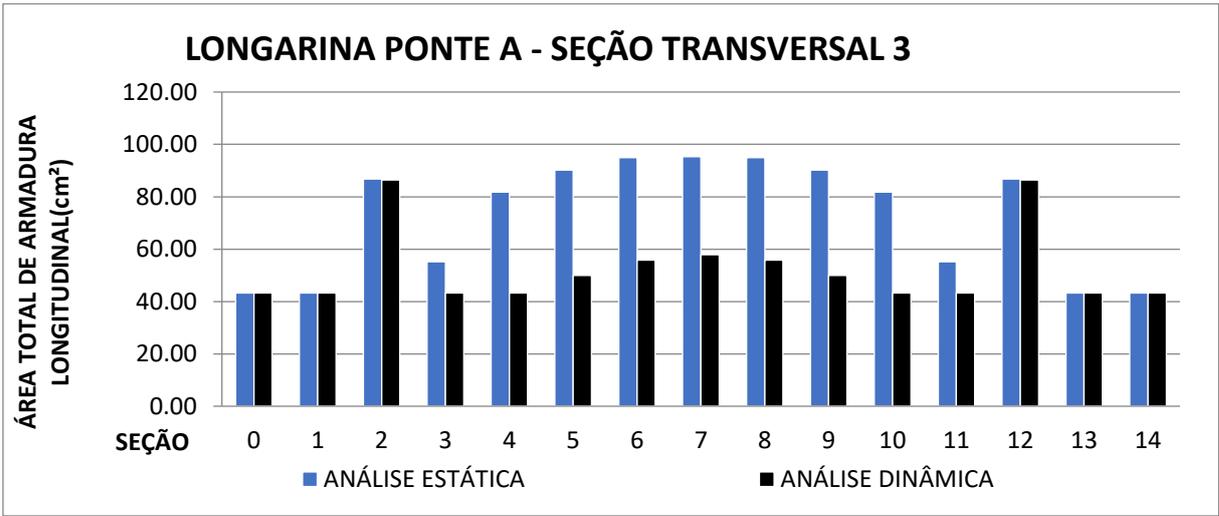


Figura 197 – Áreas finais de armadura longitudinal – longarina da ponte A seção transversal 3.  
Fonte: Autoria Própria.

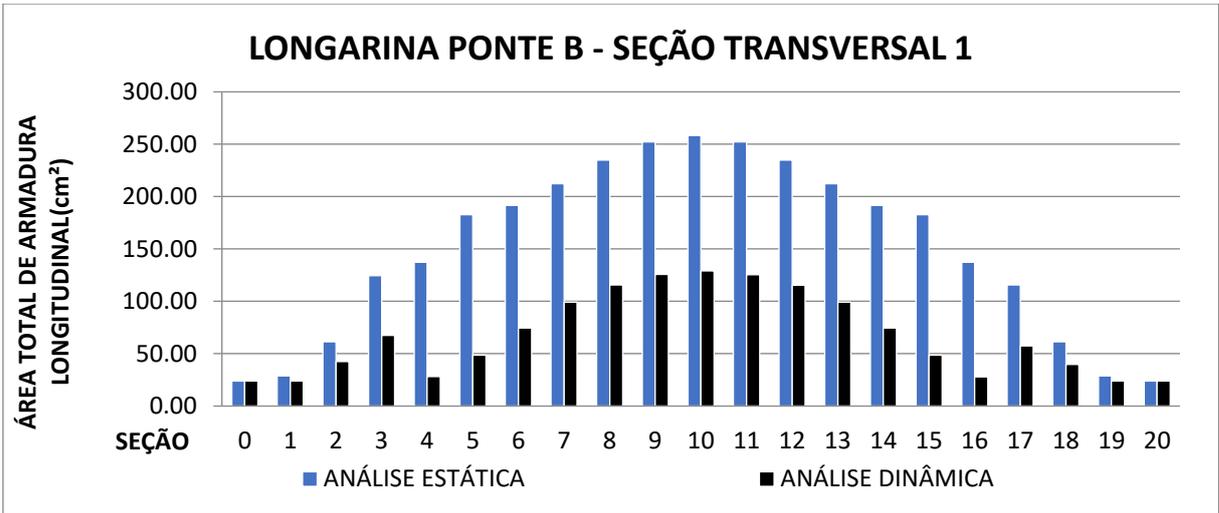


Figura 198 – Áreas finais de armadura longitudinal – longarina da ponte B seção transversal 1.  
Fonte: Autoria Própria.

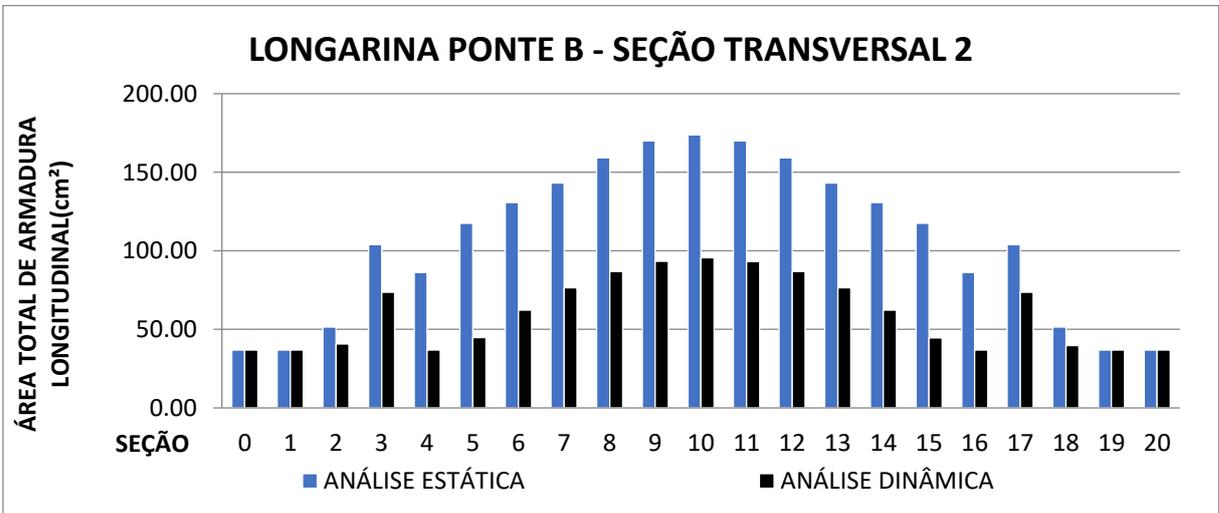


Figura 199 – Áreas finais de armadura longitudinal – longarina da ponte B seção transversal 2.  
Fonte: Autoria Própria.

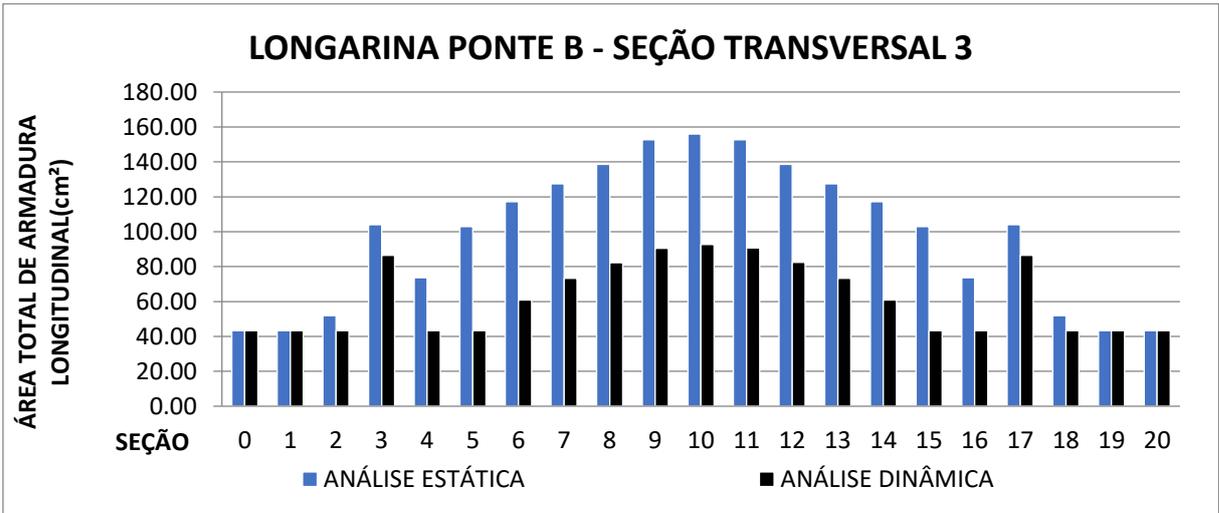


Figura 200 – Áreas finais de armadura longitudinal – longarina da ponte B seção transversal 3.  
Fonte: Autoria Própria.

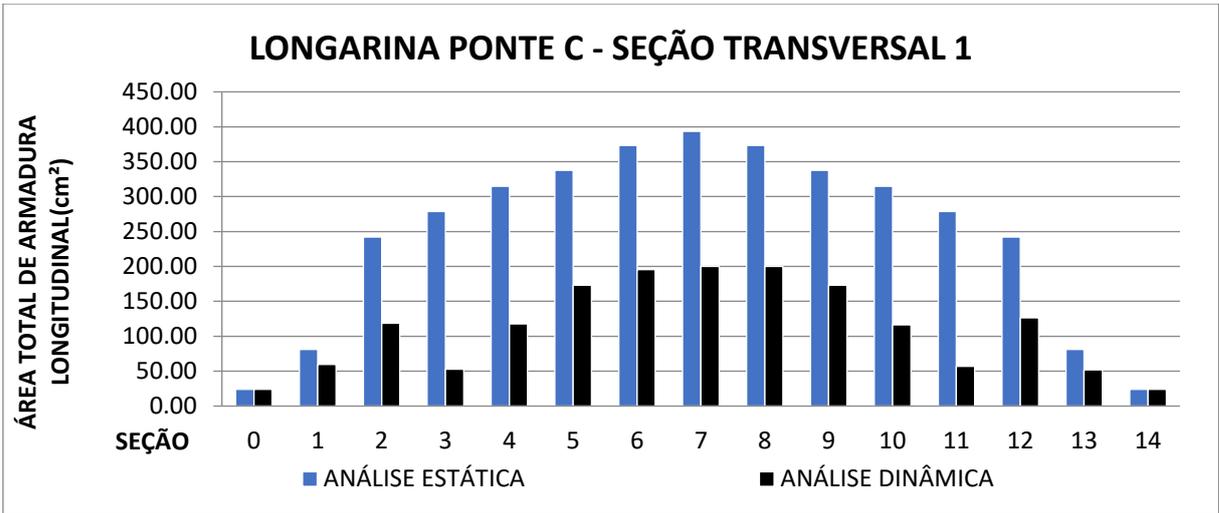


Figura 201 – Áreas finais de armadura longitudinal – longarina da ponte C seção transversal 1.  
Fonte: Autoria Própria.

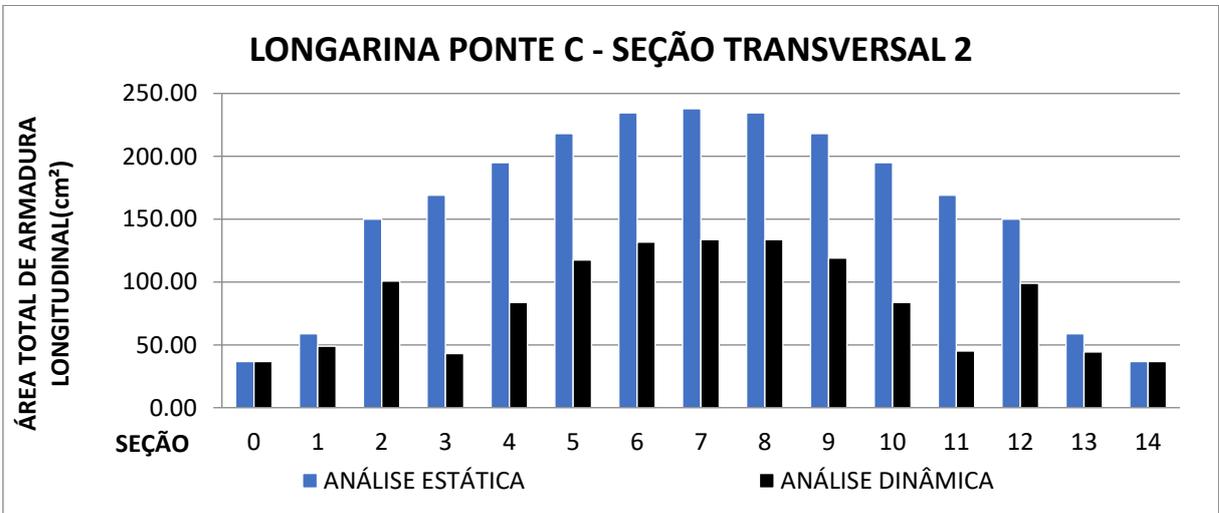


Figura 202 – Áreas finais de armadura longitudinal – longarina da ponte C seção transversal 2.  
Fonte: Autoria Própria.

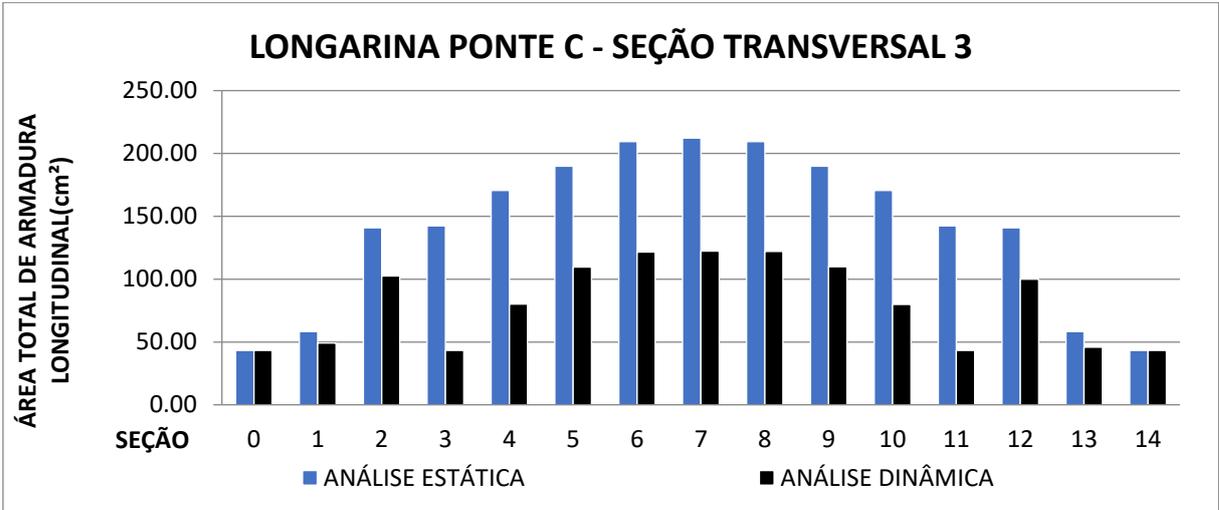


Figura 203 – Áreas finais de armadura longitudinal – longarina da ponte C seção transversal 3. Fonte: Autoria Própria.

➤ **ÁREAS DE ARMADURAS TRANSVERSAIS**

As figuras de 204 a 212 permitem a comparação entre a área de armadura transversal nas seções das longarinas, quando dimensionadas a partir dos esforços obtidos das análises pseudo-estática e dinâmica transiente, considerando as correções devidas ao efeito da fadiga.

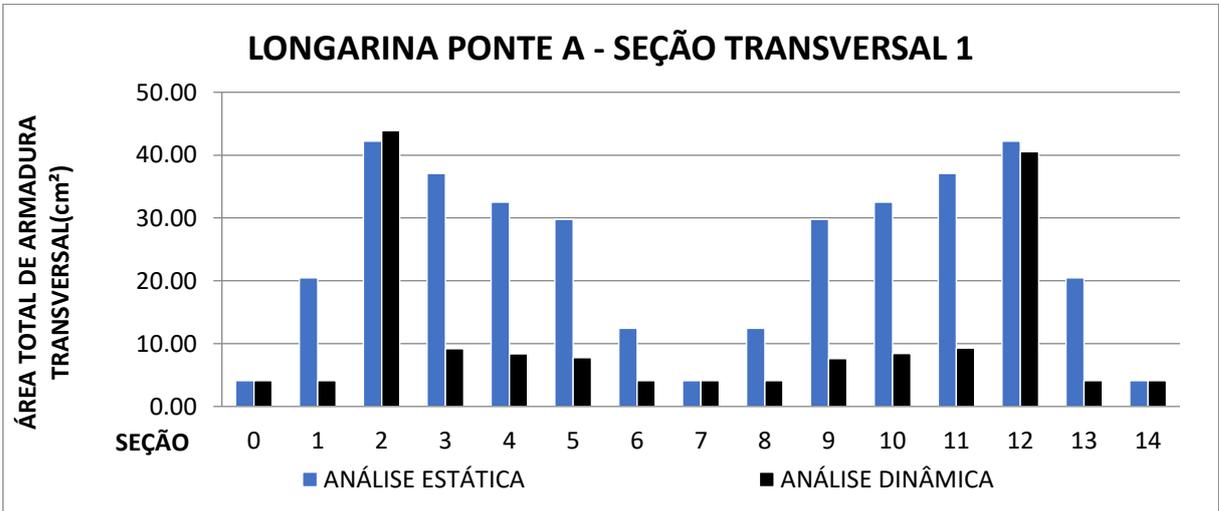


Figura 204 – Áreas finais de armadura transversal – longarina da ponte A seção transversal 1. Fonte: Autoria Própria.

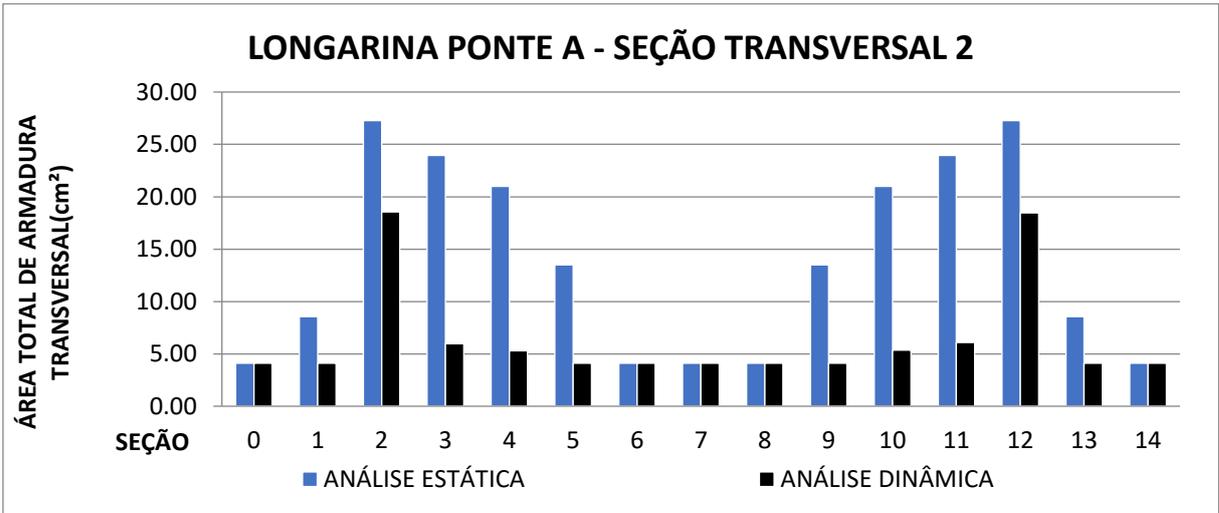


Figura 205 – Áreas finais de armadura transversal – longarina da ponte A seção transversal 2.  
Fonte: Autoria Própria.

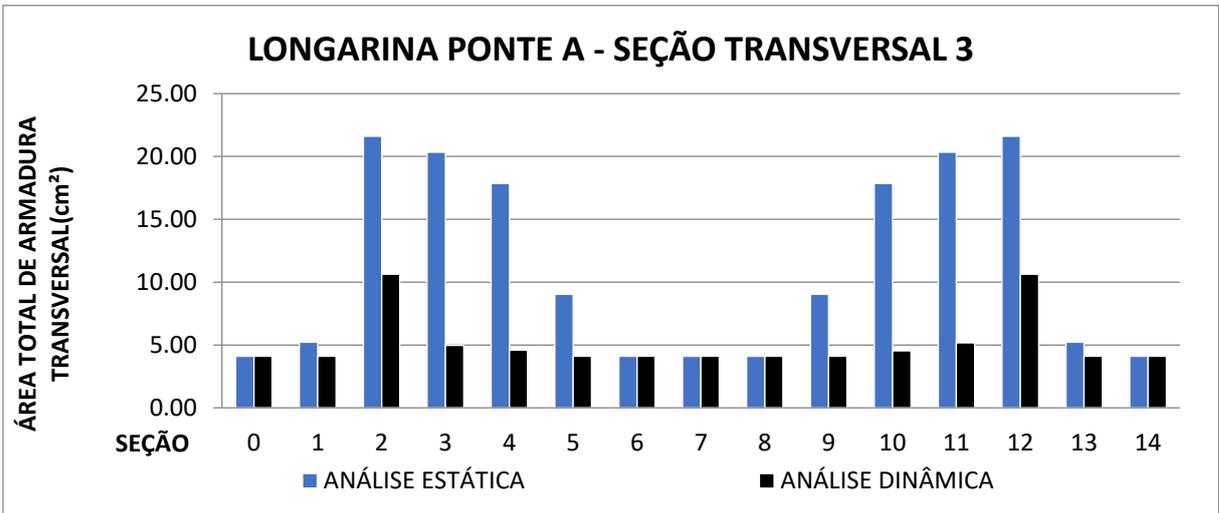


Figura 206 – Áreas finais de armadura transversal – longarina da ponte A seção transversal 3.  
Fonte: Autoria Própria.

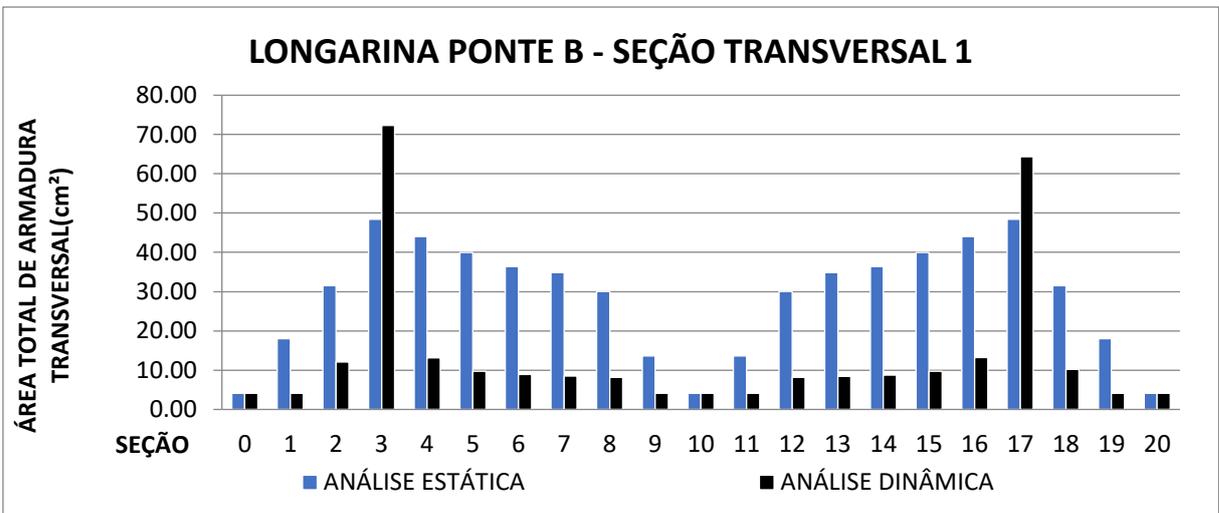


Figura 207 – Áreas finais de armadura transversal – longarina da ponte B seção transversal 1.  
Fonte: Autoria Própria.

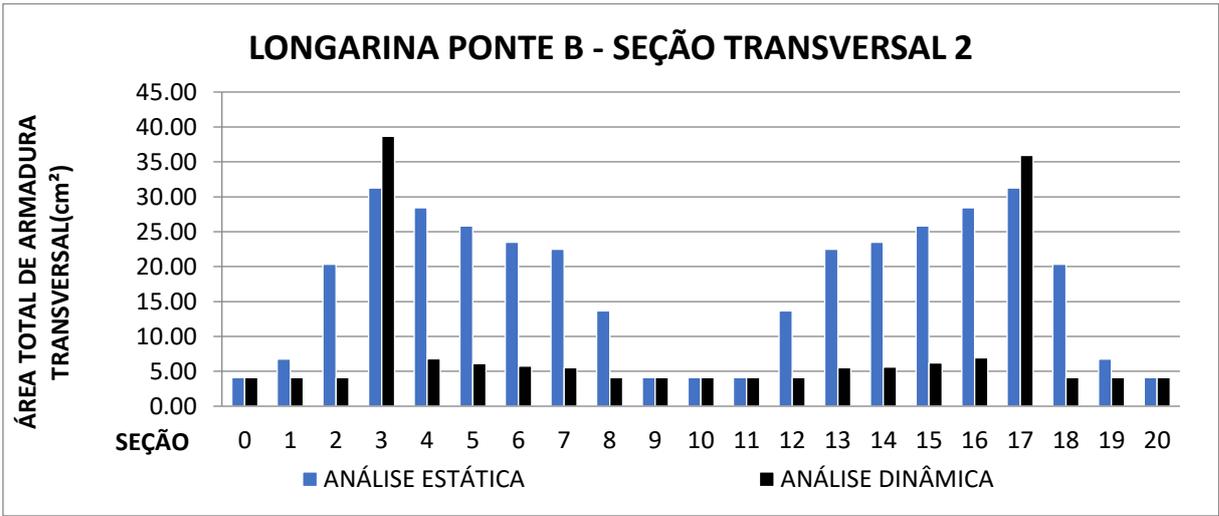


Figura 208 – Áreas finais de armadura transversal – longarina da ponte B seção transversal 2.  
Fonte: Autoria Própria.

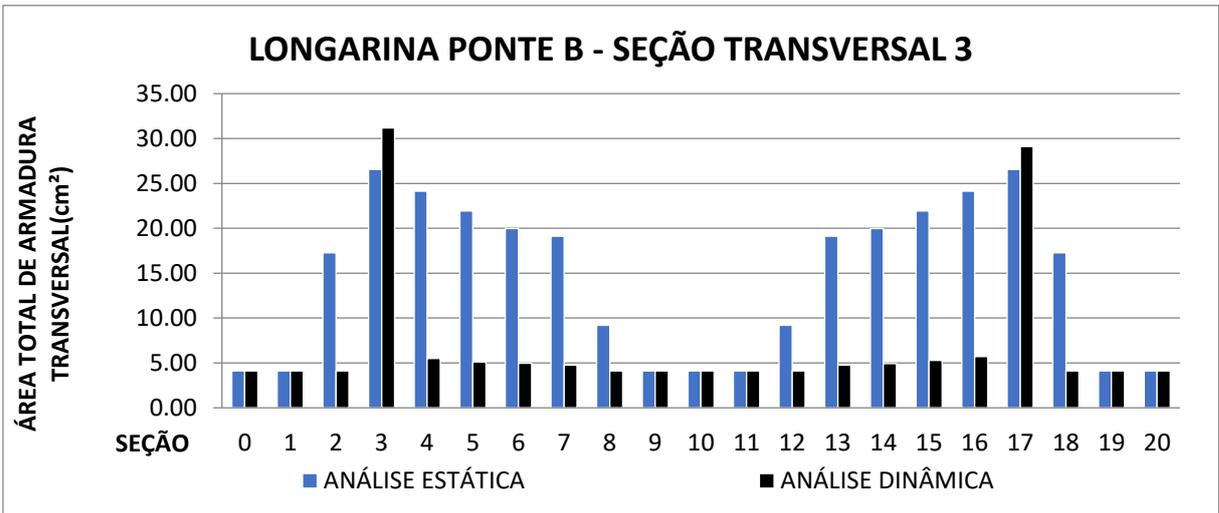


Figura 209 – Áreas finais de armadura transversal – longarina da ponte B seção transversal 3.  
Fonte: Autoria Própria.

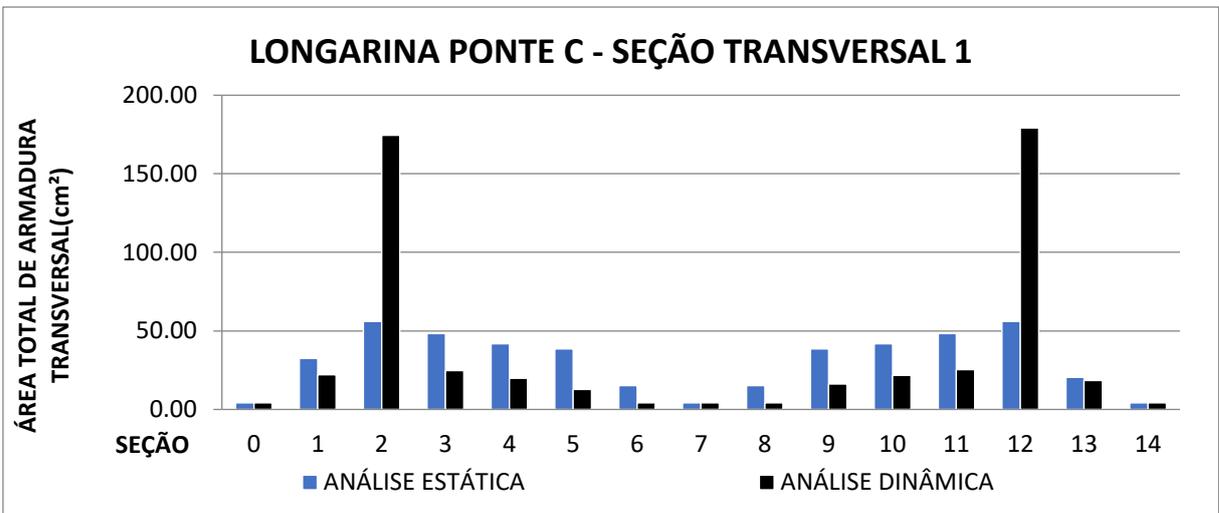


Figura 210 – Áreas finais de armadura transversal – longarina da ponte C seção transversal 1.  
Fonte: Autoria Própria.

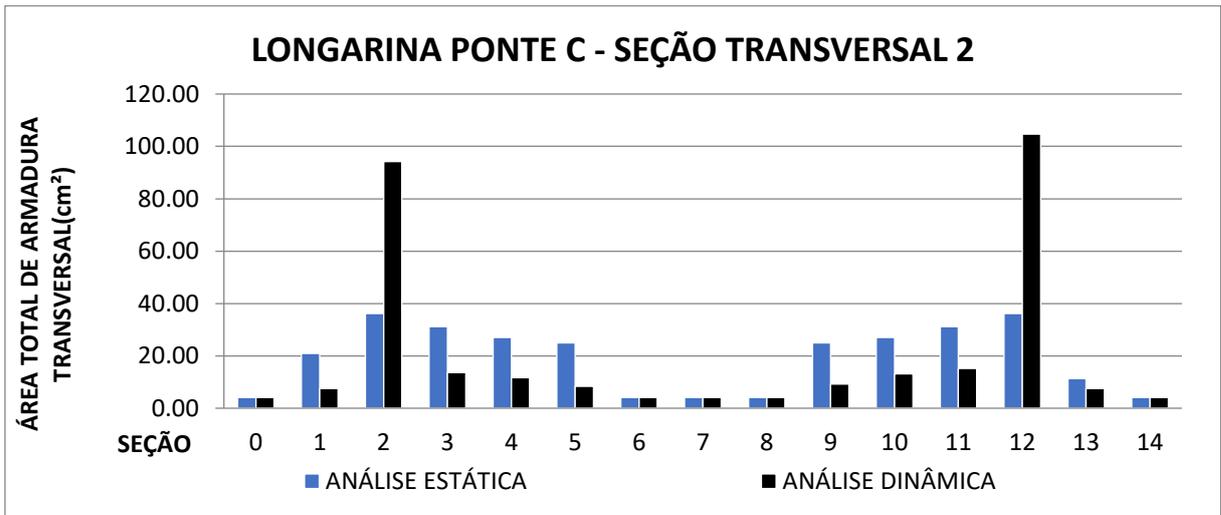


Figura 211 – Áreas finais de armadura transversal – longarina da ponte C seção transversal 2.  
Fonte: Autoria Própria.

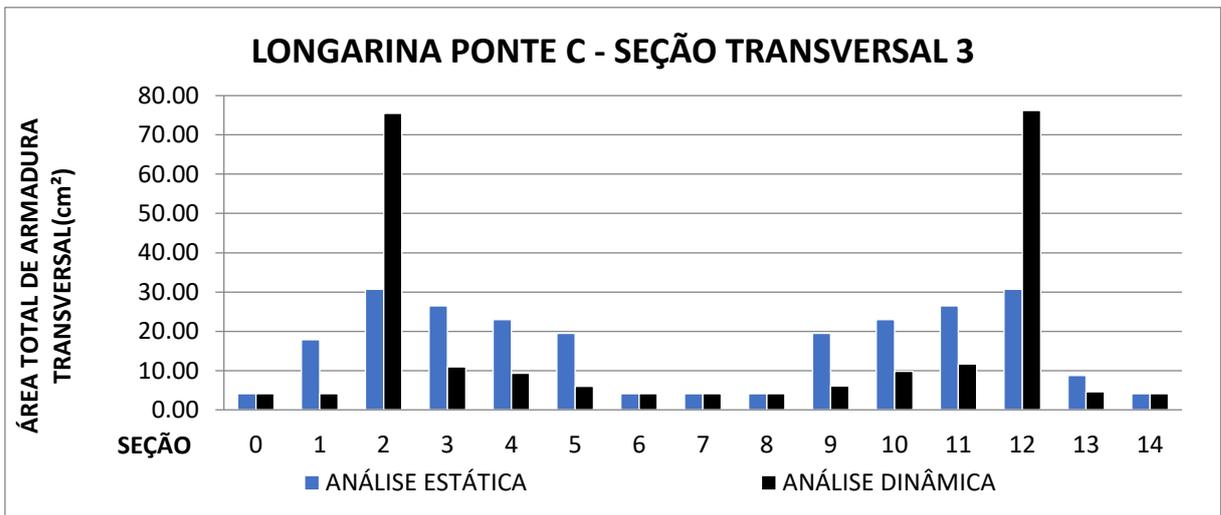


Figura 212 – Áreas finais de armadura transversal – longarina da ponte C seção transversal 3.  
Fonte: Autoria Própria.

## ANEXO A – TABELA DOS COEFICIENTES Kc E Ks

FLEXÃO SIMPLES EM SEÇÃO RETANGULAR - ARMADURA SIMPLES										
$\beta_x = \frac{x}{d}$	K <sub>c</sub> (cm <sup>2</sup> /kN)								K <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> /kN)	Dom.
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50		
0.01	137,8	103,4	82,7	68,9	59,1	51,7	45,9	41,3	0,023	2
0.02	69,2	51,9	41,5	34,6	29,6	25,9	23,1	20,8	0,023	
0.03	46,3	34,7	27,8	23,2	19,8	17,4	15,4	13,9	0,023	
0.04	34,9	26,2	20,9	17,4	14,9	13,1	11,6	10,5	0,023	
0.05	28,0	21,0	16,8	14,0	12,0	10,5	9,3	8,4	0,023	
0.06	23,4	17,6	14,1	11,7	10,0	8,8	7,8	7,0	0,024	
0.07	20,2	15,1	12,1	10,1	8,6	7,6	6,7	6,1	0,024	
0.08	17,7	13,3	10,6	8,9	7,6	6,6	5,9	5,3	0,024	
0.09	15,8	11,9	9,5	7,9	6,8	5,9	5,3	4,7	0,024	
0.10	14,3	10,7	8,6	7,1	6,1	5,4	4,8	4,3	0,024	
0.11	13,1	9,8	7,8	6,5	5,6	4,9	4,4	3,9	0,024	
0.12	12,0	9,0	7,2	6,0	5,1	4,5	4,0	3,6	0,024	
0.13	11,1	8,4	6,7	5,6	4,8	4,2	3,7	3,3	0,024	
0.14	10,4	7,8	6,2	5,2	4,5	3,9	3,5	3,1	0,024	
0.15	9,7	7,3	5,8	4,9	4,2	3,7	3,2	2,9	0,024	
0.16	9,2	6,9	5,5	4,6	3,9	3,4	3,1	2,7	0,025	
0.17	8,7	6,5	5,2	4,3	3,7	3,2	2,9	2,6	0,025	
0.18	8,2	6,2	4,9	4,1	3,5	3,1	2,7	2,5	0,025	
0.19	7,8	5,9	4,7	3,9	3,4	2,9	2,6	2,3	0,025	
0.20	7,5	5,6	4,5	3,7	3,2	2,8	2,5	2,2	0,025	
0.21	7,1	5,4	4,3	3,6	3,1	2,7	2,4	2,1	0,025	
0.22	6,8	5,1	4,1	3,4	2,9	2,6	2,3	2,1	0,025	
0.23	6,6	4,9	3,9	3,3	2,8	2,5	2,2	2,0	0,025	
0.24	6,3	4,7	3,8	3,2	2,7	2,4	2,1	1,9	0,025	
0.25	6,1	4,6	3,7	3,1	2,6	2,3	2,0	1,8	0,026	
0.26	5,9	4,4	3,5	2,9	2,5	2,2	2,0	1,8	0,026	
0.27	5,7	4,3	3,4	2,8	2,4	2,1	1,9	1,7	0,026	
0.28	5,5	4,1	3,3	2,8	2,4	2,1	1,8	1,7	0,026	
0.29	5,4	4,0	3,2	2,7	2,3	2,0	1,8	1,6	0,026	
0.30	5,2	3,9	3,1	2,6	2,2	1,9	1,7	1,6	0,026	
0.31	5,1	3,8	3,0	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	0,026	
0.32	4,9	3,7	3,0	2,5	2,1	1,8	1,6	1,5	0,026	
0.33	4,8	3,6	2,9	2,4	2,1	1,8	1,6	1,4	0,026	
0.34	4,7	3,5	2,8	2,3	2,0	1,8	1,6	1,4	0,027	
0.35	4,6	3,4	2,7	2,3	2,0	1,7	1,5	1,4	0,027	
0.36	4,5	3,3	2,7	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3	0,027	
0.37	4,4	3,3	2,6	2,2	1,9	1,6	1,5	1,3	0,027	
0.38	4,3	3,2	2,6	2,1	1,8	1,6	1,4	1,3	0,027	
0.40	4,1	3,1	2,5	2,0	1,8	1,5	1,4	1,2	0,027	
0.42	3,9	2,9	2,4	2,0	1,7	1,5	1,3	1,2	0,028	
0.44	3,8	2,8	2,3	1,9	1,6	1,4	1,3	1,1	0,028	
0.45	3,7	2,8	2,2	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1	0,028	
0.46	3,7	2,7	2,2	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1	0,028	
0.48	3,5	2,7	2,1	1,8	1,5	1,3	1,2	1,1	0,028	
0.50	3,4	2,6	2,1	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	0,029	
0.52	3,3	2,5	2,0	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0	0,029	
0.54	3,2	2,4	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	0,029	
0.56	3,2	2,4	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1	0,9	0,030	
0.58	3,1	2,3	1,8	1,5	1,3	1,2	1,0	0,9	0,030	
0.60	3,0	2,3	1,8	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,030	
0.62	2,9	2,2	1,8	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,031	
0.63	2,9	2,2	1,7	1,5	1,2	1,1	1,0	0,9	0,031	

Figura 123 – Tabela dos coeficientes Kc e Ks, para o aço CA-50 (para concretos do Grupo I de resistência – fck ≤ 50 MPa, γc = 1,4, γs = 1,15).

Fonte: (Bastos, 2015)