

# UMA INTRODUÇÃO AO ESTUDO DAS PONTES EM VIGA

Antônio Vitor Barbosa Fernandes

Vinicius Costa Correia



Engenharia Civil

ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

## RESUMO

Desde os primórdios da humanidade, sempre houve a necessidade de ultrapassar obstáculos geográficos para execução de tarefas diárias. Esses obstáculos na maioria das vezes eram rios, riachos e vales, e com a finalidade de superar estes obstáculos que surgiram as primeiras pontes. A princípio as pontes, em sua maioria, eram feitas em estruturas de pedra e madeira, possuíam dimensões reduzidas, desse modo, não havia necessidade de se ter cuidados especiais. No entanto, com o desenvolvimento do concreto e do aço, vão cada vez maiores foram sendo projetados. Deste modo, o objetivo deste trabalho é realizar um intenso estudo bibliográfico sobre pontes e suas classificações, dando ênfase em pontes de viga, diferenciando os dois tipos de seções, as vigas “caixão” e as vigas “T”. O dimensionamento das pontes em viga muda de acordo com o tipo de seção da viga, sendo que neste trabalho foi explanado o procedimento para o dimensionamento de vigas “T” ou retangular. Este tipo de ponte, por sua vez, é objeto de estudo de muitos engenheiros, por ser uma das mais antigas e mais utilizadas atualmente no Brasil.

## PALAVRAS-CHAVE:

Pontes. Viga. Concreto Armado.

## ABSTRACT

Since the beginning of the humanity, it has always had the necessity of overcoming geographical obstacles to perform daily tasks. Most of the times, those obstacles were lakes, rivers or valleys. From that context, the first bridges, mostly made of wood and rock, were arisen. It also had small dimension, which did not require special cares. However, with the emergence of concrete and steel, larger spans started to be considered in bridges design. Thus, the objective of this work is to do an intense bibliographical study involving bridges and its classification, emphasizing beam bridges and the difference between the two types of cross sections: box beam and tee beam. The design of beam bridges changes according to the type of cross section. In this study, it was explained the procedure for the design of tee beams or rectangular beams. In the other hand, that sort of bridge is object of study of many engineers because it is one of the most ancient and more currently used in Brazil.

## KEYWORDS:

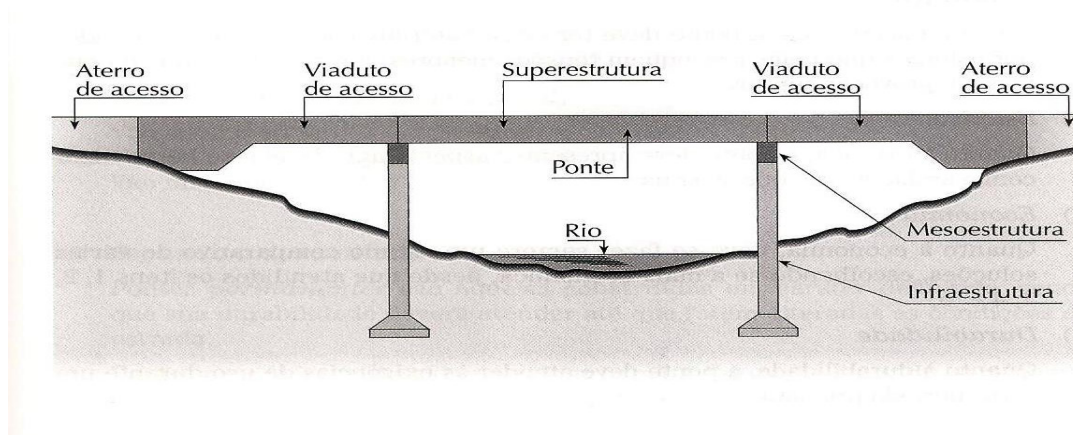
Bridges. Beam. Reinforced concrete.

## 1 INTRODUÇÃO

Desde os tempos remotos, quando as populações começaram a se agrupar em comunidades (aldeias, vilas e cidades) e apareceram as primeiras preocupações para travessias de rios, riachos e vales, então surgiram as pontes (e mais tarde os viadutos). Estas têm sido sempre motivo de fascínio e orgulho de seus usuários, projetistas e construtores e a prova do desenvolvimento de um povo (PINHO, 2007).

Denomina-se Ponte a obra destinada a permitir a transposição de obstáculos, a continuidade de uma via de comunicação qualquer, conforme ilustrado na Figura 1. Os obstáculos podem ser: rios, braços de mar, vales profundos, outras vias etc. Propriamente, denomina-se Ponte quando o obstáculo transposto é um rio. Denomina-se Viaduto quando o obstáculo transposto é um vale ou outra via. Quando temos um curso d'água de grandes dimensões, a ponte necessita de uma parte externa antes de atravessar o curso d'água. Essa parte em seco é denominada de Viaduto de acesso (MARCHETTI, 2013).

Figura 1 – Estrutura de uma ponte em concreto armado



Fonte: Marchetti (2013).

Ainda, segundo o mesmo autor, a infraestrutura é a parte da ponte constituída por elementos que se destinam a apoiar no terreno (rocha ou solo) os esforços transmitidos da Superestrutura para a Mesoestrutura. A infraestrutura é constituída por blocos de estacas, sapatas, tubulões etc. A mesoestrutura é a parte da ponte constituída pelos pilares. É o elemento que recebe os esforços da superestrutura e os transmite à infraestrutura. A superestrutura é constituída de vigas e lajes. É o elemento de suporte do estrado por onde se trafega, sendo assim, a parte útil da obra.

O projeto de uma ponte ou grande estrutura é o produto de um processo criativo constituído de uma sequência de alternativas, onde cada uma procura melhorar a anterior, até que se atinja uma solução suficientemente boa para ser construída (STUCCHI, 2006).

Segundo o mesmo autor, esse processo parte das condições locais, onde a obra deve ser implantada (topografia, geologia, condições climáticas, tráfego etc.) e, considerando os materiais e as técnicas construtivas disponíveis, os tipos estruturais e as teorias conhecidas, procura criar uma obra que atenda às funções previamente definidas, com uma série de qualidades especificadas.

Assim, é preciso que a obra, além de atender às funções para que foi construída, seja suficientemente segura, econômica e estética. Entende-se por segura a obra que tem probabilidade aceitável de manter suas características ao longo da vida útil e que avisa quando precisa de manutenção.

Estética é a obra agradável de ser observada, bem inserida no local de implantação. Econômica é a solução que satisfaz as funções, segurança e estética com um custo próximo do mínimo. Na verdade, esse processo criativo não termina no projeto, mas estende-se a execução e inclusive a manutenção.

Em função desse processo criativo e da importância estética do produto final, as pontes e grandes estruturas são usualmente chamadas "Obras de Arte". De forma a dar uma ideia da evolução dos materiais e das técnicas aplicadas à construção das pontes, é apresentado a seguir um pequeno histórico.

## **2 REQUISITOS PRINCIPAIS DE UMA PONTE**

De acordo com Marchetti (2013), os requisitos principais de uma ponte são:

### **2.1 FUNCIONALIDADE**

Quanto à funcionalidade, deverá a ponte satisfazer de forma perfeita as exigências de tráfego, vazão etc.

### **2.2 SEGURANÇA**

Quanto à segurança, a ponte deve ter seus materiais constituintes solicitados por esforços que neles provoquem tensões menores que as admissíveis ou que possam provocar ruptura.

### **2.3 ESTÉTICA**

Quanto à estética, a ponte deve apresentar aspecto agradável e se harmonizar com o ambiente em que se situa.

### **2.4 ECONOMIA**

Quanto à economia, deve-se fazer sempre um estudo comparativo de várias soluções, escolhendo-se a mais econômica, desde que atendidos os itens 1, 2, 3, 4 e 5.

### **2.5 DURABILIDADE**

Quanto à durabilidade, a ponte deve atender às exigências de uso durante certo período previsto.

## **3 CLASSIFICAÇÃO DAS PONTES**

Conforme Marchetti (2013), as pontes são classificadas de onze maneiras:

### **3.1 SEGUNDO A EXTENSÃO DE VÃO (TOTAL)**

Vão até 2 metros	Bueiros
Vão de 2 m a 10 m	Pontilhões
Vão maior do que 10 m	Pontes

### 3.2 SEGUNDO A DURABILIDADE

Pontes permanentes são aquelas construídas em caráter definitivo, sendo que sua durabilidade deverá atender até que forem alteradas as condições da estrada.

Pontes provisórias são as construídas para uma duração limitada, geralmente até que se construa a obra definitiva, prestam-se quase sempre a servir como desvio de tráfego.

Pontes desmontáveis são construídas para uma duração limitada, sendo que diferem das provisórias por serem reaproveitáveis.

### 3.3 SEGUNDO A NATUREZA DO TRÁFEGO

Pontes rodoviárias

Pontes para pedestres (passarelas)

Pontes aqueduto

Pontes mistas

Pontes ferroviárias

Pontes canal

Pontes aeroviárias

### 3.4 SEGUNDO O DESENVOLVIMENTO PLANIMÉTRICO

Ao considerar projeção do eixo da ponte em um plano horizontal (planta), pode-se ter:

- a) Pontes retas – ortogonais, esconsas;
- b) Pontes curvas.

### 3.5 SEGUNDO O DESENVOLVIMENTO ALTÍMETRO

Ao considerar a projeção do eixo da ponte em plano vertical (elevação), pode-se ter:

- a) Pontes horizontais ou em nível;
- b) Pontes em rampa, retilíneas ou curvilíneas.

### 3.6 SEGUNDO O SISTEMA ESTRUTURAL DA SUPERESTRUTURA

- a) Em vigas;
- b) Em laje;
- c) Em pórticos;
- d) Em arco;
- e) Pênseis;
- f) Pontes atirantadas.

### 3.7 SEGUNDO O MATERIAL DA SUPERESTRUTURA

- a) Pontes de madeira;
- b) Pontes de alvenaria (pedras, tijolos);
- c) Pontes de concreto armado;
- d) Pontes de concreto protendido;
- e) Pontes de aço.

### 3.8 SEGUNDO A POSIÇÃO DO TABULEIRO

- a) Tabuleiro superior;
- b) Tabuleiro intermediário;
- c) Tabuleiro inferior.

### 3.9 SEGUNDO A MOBILIDADE DOS TRAMOS

- a) Ponte basculante de pequeno vão;
- b) Ponte levadiça;
- c) Ponte corrediça;
- d) Ponte giratória.

### 3.10 SEGUNDO O TIPO ESTÁTICO DA SUPERESTRUTURA

- a) Isostáticas;
- b) Hiperestática.

### 3.11 SEGUNDO O TIPO CONSTRUTIVO DA SUPERESTRUTURA

- a) "In loco"

A superestrutura é executada no próprio local da ponte, na posição definitiva, sobre escoramento apropriado (cimbramento, treliça etc.), apoiando-se diretamente nos pilares.

- b) "Pré-moldada"

Os elementos da superestrutura são executados fora do local definitivo (na própria obra, em canteiro apropriado ou em usina distante) e, a seguir, transportados e colocados sem os pilares. Esse processo construtivo é muito usual em pontes de concreto protendido, principalmente quando houver muita repetição de vigas principais. A pré-moldagem da superestrutura, em geral, não é completa (são pré-moldados quase sempre, apenas os elementos do sistema principal, como as vigas principais), o restante da superestrutura deve ser executado *in loco*.

- c) "Em balanços sucessivos"

Neste caso, a superestrutura da ponte é executada progressivamente a partir dos pilares já construídos. Cada parte nova da superestrutura, apoiando-se em balanço na parte já executada. A grande vantagem deste processo construtivo é a eliminação total (quase sempre) dos escoramentos intermediários, isto é, eliminando-se os cimbramentos, treliças etc. Trata-se de uma execução *In loco*, porém, com características especiais. O processo é empregado em superestruturas de concreto protendido, embora a primeira parte desse tipo de ponte tenha sido executada em concreto armado. A utilização em concreto protendido é indicada em grandes vãos, e quando o cimbramento é muito dispendioso ou mesmo impossível de ser executado.

- d) "Em aduelas ou segmentos"

Este processo construtivo é semelhante ao dos balanços sucessivos, permitindo eliminar o cimbramento, sendo também utilizado em obras de concreto protendido. Difere, porém do processo anterior, em que as partes sucessivamente colocadas em balanço e apoiadas no trecho já construído são pré-moldados.

## 4 CONCEPÇÃO DE PONTES

Segundo Stucchi (2006) o processo criativo, ou de concepção, exige do engenheiro boa informação ao nível dos materiais e técnicas construtivas, bem como dos tipos estruturais e suas teorias. Isso, porém, não basta. É preciso boa formação, isto é, todos esses dados devem ser interiorizados, compreendidos na sua essência e interligados entre si de forma a dar ao engenheiro capacidade crítica e criativa.

Relativamente aos materiais e técnicas construtivas, são essenciais suas exigências, suas qualidades e limitações. O que seria essencial nos tipos estruturais? A forma geométrica não é certamente o essencial, mas sim o seu comportamento, isto é, a maneira como a estrutura trabalha. Dois aspectos desse comportamento devem ser ressaltados:

- Como a estrutura se deforma sob atuação de um determinado carregamento;
- Como essas cargas caminham ao longo dela. É fundamental visualizar o caminhamento das cargas desde a origem, seu ponto de aplicação, até o destino, a fundação. Qualquer parcela esquecida desse caminho pode representar o elo fraco.

Interiorizar esse comportamento corresponde a desenvolver o que usualmente se chama intuição ou sensibilidade estrutural. Como a concepção estrutural é um processo criativo baseado nessa intuição, quanto mais desenvolvida e cultivada ela for, maiores são as chances de obter uma boa concepção, uma verdadeira "Obra de Arte".

### 4.1 PRINCÍPIOS BÁSICOS DA CONCEPÇÃO

De modo a facilitar o processo de concepção podem-se enunciar alguns princípios. Esses princípios, como o próprio nome diz, não são gerais, mas têm um campo de validade suficientemente grande para justificá-los (STUCCHI, 2006).

- a) É fundamental visualizar o caminhamento das cargas; desde o ponto de aplicação até a fundação;
- b) É conveniente projetar a fundação sob as cargas a suportar; preferencialmente fazendo coincidir o centro de gravidade das cargas com o da fundação.

## 5 A QUALIDADE EM PROJETOS DE PONTES

Segundo O'Connor (1976), a qualidade de uma ponte pode ser medida pelo êxito com que satisfaz os objetivos básicos implícitos em seu projeto, que são: (a) funcional, (b) estrutural, (c) econômico, (d) estético.

Este trabalho faz relação principalmente com a suficiência estrutural de uma ponte, que não só deve manter a ponte em pé, mas também evitar que as características de funcionamento fujam de suas finalidades ou aumentem o custo de ma-



nutrição. De um projeto estrutural eficiente pode-se esperar que os custos iniciais e os de manutenção sejam baixos. Ele pode também melhorar a funcionalidade da ponte, moderando as restrições de execução, aumentando sua vida útil, evitando interrupções de tráfego devidas à manutenção. Um bom projeto estrutural é baseado no conhecimento profundo da teoria estrutural, na imaginação e na coragem em desenvolver novas ideias e na disposição para se beneficiar da experiência alheia.

O custo de uma ponte compreende o custo inicial, distribuído sobre sua vida útil, e o custo anual de manutenção. Este é o mais evidente ônus em projetos de ponte e deve sempre ser estimado com detalhe e cuidado. Entretanto, é errôneo considerar o custo como o único fator importante que afeta a convivência de um projeto. O projeto de custo mínimo não é necessariamente o melhor. Ao contrário, a escolha do verdadeiro ótimo deve levar em conta fatores como funcionalidade e aparência. Comparado com esses fatores, o custo inicial é uma desvantagem temporária e intermitente. Além disso, para o usuário da ponte o custo é um ônus que não aparece. É interessante notar que mesmo um projetista julgará uma ponte projetada por outro sem conhecer seu custo. O processo correto é o seguinte (O'CONNOR, 1976):

- a) Devem ser obtidos os custos precisos para alternativas;
- b) Esses custos devem ser considerados associados a outros fatores.

A um projetista pode ser perfeitamente razoável recomendar a aceitação de um ônus de 20% do custo em benefício da funcionalidade e da aparência, mas seria incorreto recomendar um projeto baseado na aparência, sem primeiro estimar o ônus que possa correr.

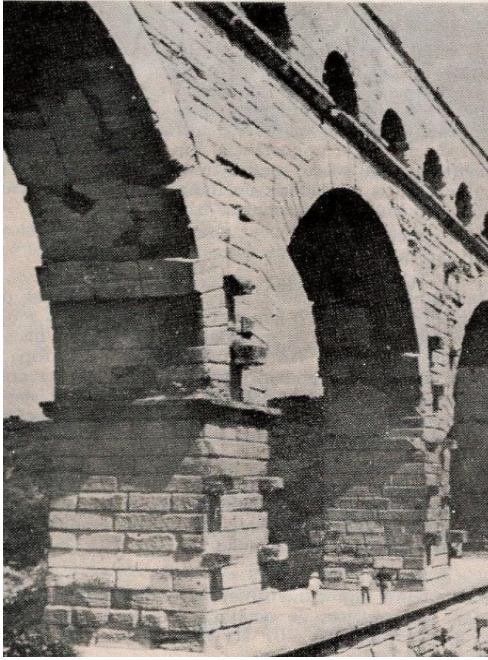
Uma ponte pode ser definida como um meio de conduzir o tráfego entre dois pontos separados por um obstáculo. Ela faz parte do serviço de transporte. Seu tráfego pode ser de pedestre ou de veículos, requerendo passeios e/ou pista ou leito para trilhos. Em qualquer caso, o tabuleiro da ponte deve atender às normas fixadas para a artéria de tráfego da qual ela faz parte. Basicamente, essas normas se referem à capacidade de tráfego, a velocidade, à segurança e ao conforto. Elas governarão as características da ponte, tais como: seção transversal e superfície do tabuleiro, alinhamentos horizontal e vertical, drenagem de águas pluviais, iluminação e sistema de proteção.

Em geral, o obstáculo transposto por uma ponte terá também função a cumprir. Esta pode ser artificial ou natural. Em um cruzamento com estrada de rodagem, as condições funcionais estarão perfeitamente definidas. Um curso de água funciona como parte de um sistema natural de drenagem e pode ser usado para navegação. Essas funções devem ser preservadas.

A influência mais evidente de uma ponte em seus arredores é o seu aspecto. Uma grande ponte urbana domina o ambiente e toma-se um monumento de bom ou mau gosto. É muito difícil medir ou definir valores estéticos. Entretanto, há julgamentos estéticos que recebem a aprovação geral; por exemplo, poucos discutiram o aspecto da *Pont du Gard* (Figura 2). Boa aparência é um benefício duradouro e tem valor real.



Figura 2 – Pont du Gard, aqueduto romano em Nimes, sul da França



Fonte: O'connor, 1976.

Dois pontos que surgem desta apresentação merecem ser repetidos (O'CONNOR, 1976).

a) O projeto estrutural adequado de uma ponte é da maior importância e afetará a exequibilidade, o custo, o funcionamento e o aspecto.

b) Entretanto, a eficiência estrutural não é muitas vezes considerada como uma qualidade que necessite ser avaliada e comparada com outras características, mas como um pré-requisito essencial para um bom projeto. Para uma ponte de grande vão, sua exequibilidade pode ser da mais alta importância. Em outros casos, pode ser suficiente julgar uma ponte somente por seu custo, sua funcionalidade e seu aspecto.

## 6 PONTE EM VIGA

A ponte em viga é o tipo estrutural mais antigo, pois uma tora de árvore caída sobre um rio caracteriza uma ponte em viga em sua forma mais simples. Estruturalmente este tipo de ponte é basicamente uma estrutura rígida colocada sobre dois pilares, assim o tabuleiro é solicitado por tração nas fibras inferiores e, por compressão, nas superiores. Na concepção de um projeto de ponte em viga de concreto armado, deve-se definir o tipo de seção transversal adotada, os métodos construtivos e o carregamento (QUADROS, 2013).

Uma das principais características de ponte em viga é que suas vinculações não transmitem momentos fletores da superestrutura para a infraestrutura.

Conforme Pfeil (1983), "As pontes em vigas de concreto armado podem classificar-se segundo a disposição das vigas na seção transversal, ou segundo o esquema

estrutural de cada viga considerada estruturalmente". O esquema estrutural pode ser definido de acordo com a seção transversal. Conforme Mason (1977), para grandes pontes pode-se ter uma seção aberta, mais conhecida como T ou I, ou uma seção celular, mais conhecida como caixão. As diferentes seções resultam em pontes distintas e cada tipo de ponte estruturalmente funciona de forma diferente. Assim, as vigas T (seção aberta) são dimensionadas diferentemente das vigas caixão (seção celular).

Segundo Pucher (1961), o método de cálculo para uma ponte em viga não se diferencia de um cálculo de vigas de um prédio que também podem apresentar momentos constantes ou variáveis em suas vigas. Em pontes o carregamento é dividido em permanente e móvel. O primeiro depende da seção transversal e material utilizado, e o segundo da finalidade da estrutura. A análise das cargas móveis deve ser feita por meio da variação da posição do trem tipo no tabuleiro na direção transversal e longitudinal. A solicitação do trem tipo é calculada pelo emprego de linhas de influência que dão como resultado a combinação de cargas cortantes e momentos de flexão.

Para um projeto de ponte é necessário definir o tipo de viga a ser adotado e a forma dos outros elementos da superestrutura. Após as definições iniciais, deve-se conceber o tipo de método construtivo.

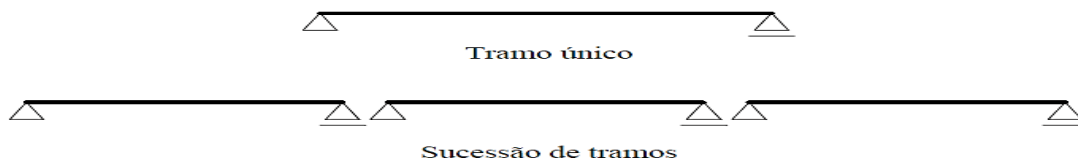
## 6.1 VINCULAÇÕES TÍPICAS

Segundo El Debs e Takeya (2010), as pontes em vigas possuem quatro tipos de vinculações típicas, que são:

### 6.1.1 Vigas simplesmente apoiadas sem balanços

Este tipo de viga pode ser usada com um tramo único ou com sucessão de tramos, conforme a Figura 3.

Figura 3 – Esquemas estáticos de pontes em vigas simplesmente apoiadas sem balanços



Fonte: El Debs e Takeya (2010).

A sucessão de tramos simplesmente apoiados geralmente é utilizada em pontes com processo construtivo em vigas pré-moldadas. Neste tipo de viga é usual executar a laje do tabuleiro contínua em três ou quatro tramos, com o intuito de diminuir o número de juntas. Vale ressaltar que neste caso haverá reflexos benéficos também na distribuição de esforços nos apoios, em virtude das ações horizontais, como por exemplo, na ação da frenagem.

As vigas simplesmente apoiadas sem balanços são constituídas por um tipo estrutural relativamente pobre, pois limita o tamanho do vão e existem poucas possibilidades de melhorar a distribuição dos esforços. Por isso, os vãos utilizados com este tipo estrutural, dificilmente ultrapassam a casa dos 50 metros.

### 6.1.2 Vigas Simplesmente Apoiadas com Balanços

Este tipo de vinculação possibilita uma melhor distribuição de esforços solicitantes, uma vez que ao introduzir momentos negativos nos apoios haverá uma diminuição dos momentos positivos no meio do vão. Além dessa vantagem, o tipo estrutural em questão permite a eliminação do encontro, a qual é uma estrutura relativamente cara. A Figura 4 ilustra este tipo de viga.

Figura 4 – Esquema estático de viga simplesmente apoiada com balanços



Fonte: Acervo do autor (2016).

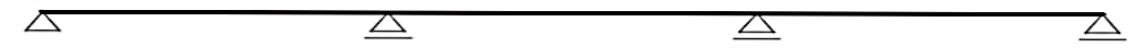
No entanto, este tipo estrutural apresenta um ponto negativo relacionado à manutenção, que é a dificuldade de evitar a saída de material nas extremidades da ponte junto ao aterro. Por conta disso, seu uso está cada vez mais diminuindo.

O comprimento do balanço deve ser definido de forma que se tenha uma boa distribuição de esforços, atendendo às condições topográficas. Para o pré-dimensionamento, pode-se adotar para o comprimento do balanço um valor igual a cerca de 15% a 20% do comprimento da ponte. Devem ser evitados balanços muito grandes para não introduzir vibrações excessivas nas suas extremidades.

### 6.1.3 Vigas Contínuas

Este tipo de viga apenas pode ser utilizado quando o comprimento da ponte pode ser subdividido em vãos parciais, conforme a Figura 5.

Figura 5 – Esquema estático de ponte em viga contínua



Fonte: El Debs e Takeya (2010).

Quando não houver restrições de ordem urbanística, topográfica ou construtiva, deve-se utilizar vãos extremos cerca de 20% menores que os vãos internos de

forma que os momentos fletores máximos sejam aproximadamente iguais, proporcionando uma melhora na distribuição das solicitações.

Uma maneira de melhorar a distribuição de momentos fletores é por meio da utilização de momentos de inércia das seções variáveis ao longo dos vãos. Ao aumentar o momento de inércia das seções junto aos apoios, isso resultará no aumento do momento fletor negativo dessas seções, e na diminuição do momento fletor positivo das seções dos vãos centrais, o que possibilita a diminuição da altura das seções nestas posições.

De acordo com Ferreira (2015), o uso de vigas contínua possui algumas vantagens como:

- Eliminação das juntas e a conseqüente redução nos custos de manutenção;
- Pista de rolamento mais uniforme evitando o desconforto para o tráfego;
- Maior capacidade de redistribuir esforços para o caso de sobrecargas;
- Melhor aspecto visual em função da continuidade entre os vãos.
- O mesmo autor também cita algumas limitações como:
  - Caso o tabuleiro seja muito extenso, deve-se tomar um cuidado especial com a dilatação térmica, inserindo juntas de dilatação a cada 100 m;
  - Pontes com raio de curvatura pequeno e as pontes muito inclinadas devem ser analisadas com mais cuidado;
  - Possibilidade de recalque diferencial nos apoios, pois estes irão introduzir esforços adicionais neste tipo de estrutura.

#### 6.1.4 Vigas Gerber

Viga Gerber pode ser considerada como derivada da viga contínua, em que são colocadas articulações de tal maneira a tornar o esquema isostático (FIGURA 6), e em decorrência disto, não receberá esforços adicionais devidos aos recalques diferenciais dos apoios.

Figura 6 – Esquema estático de ponte em viga Gerber

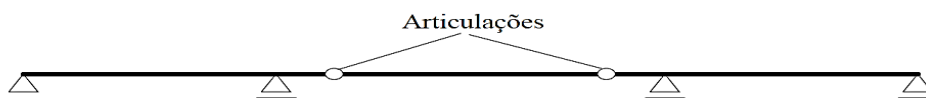


Fig. 3.14 Esquema estático de ponte em viga Gerber.

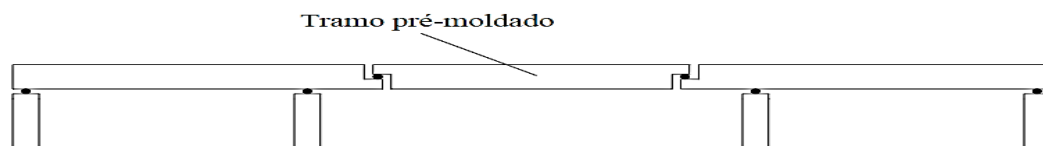
Fonte: El Debs e Takeya (2010).

Para pontes de grandes vãos, em que o peso próprio representa uma grande parcela da totalidade das cargas, as vigas Gerber teriam um comportamento próximo ao das vigas contínuas, sem sofrer a influência prejudicial dos recalques diferenciais.

Vale salientar que, quando os vãos são diferentes, é indicado que as articulações sejam colocadas nos tramos maiores, garantindo uma melhor distribuição dos

momentos fletores devido à carga móvel. As pontes de vigas Gerber possibilitam alternativas construtivas bastante interessantes. Na Figura 7 está ilustrado um esquema de viga Gerber em que os tramos laterais podem ser moldados no local, ou mesmo pré-moldados e o tramo central é pré-moldado.

Figura 7 – Ilustração de possibilidade construtiva de ponte em viga Gerber



Fonte: El Debs e Takeya (2010).

Apesar das juntas (dentes Gerber) possibilitarem vantagens, elas representam trechos em que devem ser tomados cuidados redobrados tanto no detalhamento da armadura como na execução, devido à grande redução da seção resistente ao esforço cortante que será transmitido pela articulação.

## 6.2 TIPOS DE VIGAS

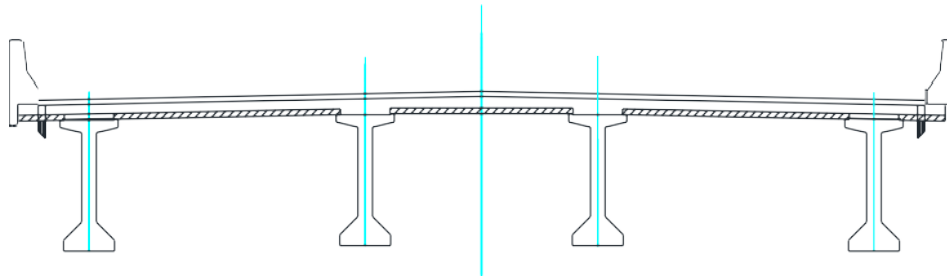
A superestrutura de uma ponte pode ter sua seção de duas formas: seção aberta e a celular. A seção aberta mais conhecida como T ou I é composta por longarinas, transversinas e lajes, que agem em conjunto formando uma grelha. A seção celular (caixão) é composta por uma única grande peça que possui uma distribuição uniforme de cargas por toda sua seção.

Segundo Mason (1977), a ponte em seção aberta pode apresentar a superestrutura em grelha, em que as vigas longitudinais e as transversais e o tabuleiro trabalham em conjunto. A seção transversal da ponte em viga caixão é composta por uma única peça formada por lâminas solidárias entre si. Desta forma, o projeto estrutural pode ser feito com a simplificação da estrutura por uma barra de seção variável. Nos próximos itens são descritas as principais características das vigas T e caixão.

### 6.2.1 Viga T

A viga de seção transversal em "T" é uma forma de seção transversal muito utilizada. É constituída basicamente pela laje, vigas e transversinas. Na Figura 8, é possível observar uma seção transversal de uma ponte em viga "T" com base alargada.

Figura 8 – Viga com seção “T”.



Fonte: Quadros (2013).

A ponte em viga bi apoiada possui no vão a parte superior solicitada por compressão e, a inferior, por tração. As lajes constituem o banzo comprimido e, na parte inferior da alma da viga está o tracionado. A seção da viga “T” pode não ser suficiente para a colocação de todas as armaduras necessárias. Neste caso, deve-se optar pelo alargamento da seção na parte inferior. Na consideração da força cortante, desde que respeite a resistência diagonal das bielas comprimidas, a espessura das almas é pouco relevante. A adoção de almas delgadas gera uma diminuição na abertura de fissuras (LEONHARDT, 1979).

As vigas com seção em “T” são as mais utilizadas por ter um peso próprio mais baixo, comparada com as vigas de seção caixão. Segundo Cunha (2010), ao utilizar esse tipo de seção, obriga o uso de um número maior de vigas na seção transversal do tabuleiro, afastada entre si de 0,60 m a 6,0 m. Este afastamento pode complicar a execução das lajes do tabuleiro, se esta for moldada *in loco*.

Conforme Pfeil (1983), normalmente a ponte em viga “T” é constituída por três ou mais vigas longitudinais, unidas transversalmente pelas transversinas. A ação conjunta das vigas e transversinas constitui uma grelha que gera uma distribuição das cargas pela superestrutura. Segundo Mason (1977), as vigas longitudinais são responsáveis por vencer os vãos. As vigas transversais são destinadas a regular a distribuição de cargas nas longarinas. O tabuleiro serve como superfície de rolamento, transmite as cargas do tráfego à grelha e trabalha em conjunto para a distribuição das cargas.

### 6.2.2 Vigacaixão

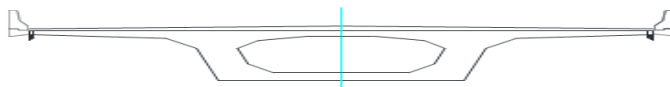
A viga em seção caixão (FIGURA 9) é formada por uma única peça, na qual não é visível a divisão entre vigas e lajes. As partes constituintes, conforme Leonhardt (1979) são:

a) Laje superior: forma a mesa colaborante das vigas, transmite e distribui a carga móvel às vigas;

b) Viga: possui no mínimo duas almas, que são dimensionadas conjuntamente com a laje, de forma a vencer o vão, sustentar a estrutura e transmitir as cargas para a laje inferior;

c) Laje inferior: permite a distribuição das cargas das vigas.

Figura 9 – Viga com seção caixão



Fonte: Quadros (2013).

Conforme Leonhardt (1979), por apresentar uma grande rigidez à torção, as vigas em seção caixão são indicadas para pontes com seção variável. Também por esta característica, em pontes curvas, a viga seção caixão pode ser composta somente por pilares no início e no fim da ponte, sem necessitar de apoios intermediários.

Este tipo de seção transversal favorece a distribuição uniforme das cargas na seção transversal. Uma carga aplicada em qualquer ponto da pista se distribui igualmente e chega uniformizada na laje inferior (PFEIL, 1983).

O projeto estrutural das pontes em seção caixão pode ser feito pela simplificação da estrutura como uma barra de seção variável, determinando para esta barra os esforços cortantes, momentos de flexão e torção. Após a obtenção da envoltória dos esforços é possível dimensionar a estrutura pelo método da resistência dos materiais e seguindo as indicações da norma de concreto armado (MASON, 1977).

De acordo com Cunha (2010), as vigas com seção caixão apresentam algumas vantagens quando comparadas com a seção "T", como por exemplo, menor altura da seção, menor número de vigas a dispor no tabuleiro e maior capacidade de acomodar tensões de compressão nas seções de apoio devido à existência do banzo inferior. O mesmo autor ainda salienta que devido às duas primeiras vantagens, as vigas com seção caixão apresentam maior durabilidade e possui uma estética mais agradável, fator que muitas das vezes é negligenciado, mas que vem assumindo cada vez uma maior importância.

### 6.3 TRANSVERSINAS

As transversinas são vigas transversais e em pontes com viga caixão, de acordo com Leonhardt (1979), só são utilizadas nos apoios, pois cada vez mais fica provado que esses elementos se tornam desnecessários para um maior enrijecimento e manutenção da forma transversal. Em pontes em seção aberta, as transversinas servem de apoio para as lajes e garantem rigidez à estrutura (PUCHER, 1961). De acordo com Mason (1977), é possível tirar proveito da ação combinada das transversinas e da laje do tabuleiro formando uma grelha. Nessas soluções há uma distribuição transversal da carga móvel. Conforme Pucher (1961), o efeito em grelha deve ser considerado na hora do dimensionamento da transversina: elas devem ser o mais alto e esbelto possível. A largura utilizada normalmente para estes elementos é de 0,20 ou 0,25m.

Quanto à carga móvel, segundo a NBR 7188:2013,

Para o cálculo de cortinas e transversinas solidárias às lajes, o carregamento, na ausência de justificativa teórica mais



precisa, deve ser o de um eixo isolado, com o peso total do veículo correspondente à classe da ponte, acrescido ainda do respectivo impacto.

Em alguns casos, a contribuição das transversinas não é levada em conta, gerando uma simplificação no cálculo da viga.

Figura 10 – Transversinas em uma ponte



Fonte: [www.der.mg.gov.br](http://www.der.mg.gov.br).

As transversinas (FIGURA 10) podem ser divididas em três tipos: de entrada, de apoio e de meio de vão. Cada um desses tipos desempenha uma função diferente na superestrutura. Nos próximos parágrafos, são descritos esses três tipos de transversinas.

**As transversinas de entrada**, também conhecidas como cortinas são projetadas para conter o aterro e servir de apoio para a laje. Caso esse elemento não fosse colocado, a viga seria solicitada em excesso nesse ponto. As transversinas de entrada geralmente acompanham toda a largura da ponte (PFEIL, 1983).

**As transversinas de apoio**, segundo Leonhardt (1979), são necessárias para absorver os esforços produzidos pelo vento e como enrijecimento à torção das vigas principais. Para esta função a alma da transversina deve ser apoiada em toda a largura. Para as transversinas de apoio de seções caixão pode ser utilizada, na maioria dos casos uma chapa com base de 0,3 a 0,5 m.

**As transversinas de meio de vão** são utilizadas com fins estruturais normalmente nas pontes em viga de seção aberta. Segundo Leonhardt (1979), são dispostas no meio do vão ( $l/2$ ), de modo a obter uma melhor distribuição de cargas, pode-se também projetar duas transversinas a  $l/3$  quando necessário. As transversinas de meio de vão são indicadas quando existe mais de duas vigas principais para realizar a transferência das cargas, obtendo assim uma grelha.

## 7 APARELHOS DE APOIO

Por definição, aparelho de apoio é o elemento situado entre a infraestrutura e a superestrutura, que tem como propósito transmitir as reações da superestrutura para a infraestrutura, e ainda permitir os movimentos previstos em projeto, criados pelos esforços, protensão, variação de temperatura, retração do concreto, etc., que modificam as dimensões dos elementos (EL DEBS; TAKEYA, 2010).

Em estruturas de edifícios tradicionais não se utilizam aparelho de apoio, apesar dos cálculos dos esforços preverem algumas articulações, como por exemplo, separando os pórticos monolíticos em vigas e pilares. Mas em estruturas de grande porte e com grandes vãos, como as pontes, é muito importante o uso de aparelhos de apoio que possibilitem a ocorrência de movimentos.

Cordeiro (2014) enumera algumas das funções dos aparelhos de apoio:

- Estabelecer a ligação da superestrutura com a subestrutura, acomodando a transferência das forças dinâmicas e vibrações que podem causar a instabilidade da ponte ou mesmo a sua destruição;
- Permitir movimentos de translação horizontais e de rotação;
- Garantir que as deformações, que ocorrem na superestrutura da ponte, não gerem elevadas forças e movimentos na subestrutura;
- Reduzir o corte entre o tabuleiro e a cabeça dos pilares;
- Os aparelhos de apoios mais recentes protegem ainda das ações sísmicas, dissipando a energia;

Os deslocamentos podem ser de rotação ou de translação, dessa maneira, os apoios podem ser classificados em três tipos: articulações fixas, articulações móveis e articulações elásticas.

- Articulações fixas permitem apenas os movimentos de rotação, provocando reações verticais e horizontais;
- Articulações móveis permitem tanto o efeito de rotação como o de translação, provocando apenas reação vertical. Devido ao atrito que não pode ser totalmente eliminado é gerada uma força horizontal, porém pode ser desprezado pelo baixo valor;
- As articulações elásticas também permitem os dois movimentos, a rotação e a translação, provocando reações verticais. Essas articulações são constituídas de elastômero (borracha sintética), denominada comercialmente de neoprene.

El Debse Takeya (2010) cita quatro tipos de aparelhos de apoios, que se diferem na composição do material, dentre eles são:

- Aparelhos de apoio metálicos;
- Aparelhos de apoio de concreto;
- Aparelhos de apoio de neoprene;
- Aparelhos de apoio especiais.

## 7.1 APARELHOS DE APOIO DE NEOPRENE

Os aparelhos de apoio metálicos e de concreto não são normalmente usados, pois sofrem com alguns problemas que impeçam, seja o custo, manutenção ou as propriedades dos materiais. Dessa maneira, buscando a otimização do dispositivo surgiram os aparelhos de apoio de elastômero (borracha sintética), mais conhecidos como neoprene.

Para a formação do neoprene, inicialmente o elastômero se apresenta como uma massa fraca, muito plástica e sem propriedades mecânicas. Após o processo de vulcanização, o elastômero é transformado em um produto forte, resistente e com boas características elásticas (CORDEIRO, 2014).

O apoio de neoprene consiste em um bloco elastomérico que pode apresentar diversas formas, circular vazado (oco), circular e retangular, conforme a Figura 11.

Figura 11 – Aparelho de apoio de neoprene oco, circular e retangular



Fonte: Cordeiro (2014).

O neoprene possui características como (EL DEBS; TAKEYA, 2010):

- Módulo de elasticidade transversal de valor muito baixo;
- Módulo de elasticidade longitudinal, também de valor muito baixo;
- Tensão normal de compressão de serviço com valor razoável, da ordem de grandeza dos concretos usuais;
- Grande resistência às intempéries.

Os mesmo autores ainda salientam que quando uma placa de neoprene é posicionada entre a super e mesoestrutura, a placa funciona como uma articulação elástica, permitindo movimentos de translação e rotação, possibilitando grande deformabilidade transversal e longitudinal respectivamente, isto é decorrente das duas primeiras características do neoprene, conforme a Figura 12.

Figura 12 – Aparelho de apoio de neoprene oco, circular e retangular



Fonte: Nuernberg e Silva (2013).

Para reações de pequena intensidade e espessuras das placas também pequenas pode-se utilizar apenas o neoprene. No entanto, nos casos usuais de pontes, são empregadas placas de neoprene intercaladas com chapas de aço vulcanizadas no neoprene, formando um bloco único (chamadas de neoprene cintado ou fretado). Este tipo de dispositivo é a intercalação entre chapa de aço e neoprene, assim é feito um tipo de “sanduíche” onde as chapas de aço exercem uma função de cintamento sobre as placas de neoprene, reduzindo o seu achatamento excessivo, e aumentando as tensões admissíveis no apoio (EL DEBS; TAKEYA, 2010).

## 8 PROCEDIMENTOS PARA O DIMENSIONAMENTO DE UMA PONTE EM VIGA

Inicialmente, para a realização de um projeto e dimensionamento de pontes é realizada a concepção estrutural que engloba a definição do tipo de estrutura, materiais a serem utilizados e processo construtivo. Essas escolhas dependem de fatores econômicos e técnicos que poderão interferir diretamente ou indiretamente na execução da ponte.

Após a conclusão da concepção estrutural, adota-se um modelo que melhor represente o seu comportamento real, fazendo um pré-dimensionamento de todos os elementos, em que se faz necessária a verificação dos mesmos. Para essa verificação deve-se realizar o procedimento a seguir:

- 1ª: Analisar plantas e cortes;
- 2ª: Calcular carga permanente;
- 3ª: Calcular cargas móveis;

- 4ª: Calcular linhas de influência das forças cortantes;
- 5ª: Calcular linhas de influência dos momentos fletores;
- 6ª: Calcular impacto vertical;
- 7ª: Encontrar envoltórias das solicitações de serviço;
- 8ª: Calcular cargas acidentais ou adicionais (Ex: frenagem ou aceleração, variação da temperatura, vento, retração do concreto, forças sísmicas etc.);
- 9ª: Dimensionamento das armaduras longitudinais das vigas principais;
- 10ª: Dimensionamento das armaduras de cisalhamento das vigas principais;
- 11ª: Dimensionamento das transversinas;
- 12ª: Cálculo dos encontros, cortinas e lajes de aproximação;
- 13ª: Dimensionamento das lajes (tabelas de Rusch);
- 14ª: Cálculo dos momentos nos tubulões ou estacas devido à força horizontal;
- 15ª: Dimensionamento dos pilares, vigas de travamento e sapatas;
- 16ª: Apoio de elastômeros (neoprene).

## 9 EXEMPLOS DE PONTES DE VIGA

Ponte em concreto armado pré-moldado, sobre o Rio Peixotinho I, na Rodovia MT-322, Trecho: Entº BR-163 (Matupá) – Rio Peixotinho II, numa extensão de 100,00m e largura de 8,80m, conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13 – Ponte sobre o Rio Peixotinho I (MT)



Fonte: [www.atrativaengenharia.com.br](http://www.atrativaengenharia.com.br)

Ponte em concreto armado pré-moldado protendido, sobre o Rio Cuiabá, na Rodovia: MT-246, Trecho: Entrº BR 163 (Jangada) – Acorizal – Entrº MT 010, com Extensão de 225,0 m e Largura 10,80 m, conforme ilustrado na Figura 14.



Figura 14 – Ponte sobre o Rio Cuiabá (MT)



Fonte: [www.atrativaengenharia.com.br](http://www.atrativaengenharia.com.br)

Ponte de concreto armado pré-moldado protendido sobre o Rio Teles Pires, localizada na Rodovia MT 441 Trecho Nova Canaã do Norte x Comunidade Colorado do Norte com 350 m de extensão e 4,20 m de largura, conforme ilustrado na Figura 15.

Figura 15 – Ponte sobre o Rio Teles Pires (MT)



Fonte: [www.atrativaengenharia.com.br](http://www.atrativaengenharia.com.br)

## 10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Inicialmente foi realizado um estudo bibliográfico a fim de conhecer e aperfeiçoar os conhecimentos na área. Assim sendo, neste trabalho foram apresentados de maneira breve os diversos tipos de pontes, focando principalmente nas pontes em

viga, apresentando as suas características e principais vantagens, demonstrando algumas das suas aplicações. Este tipo de ponte, por sua vez, é uma das mais antigas e mais utilizadas atualmente no Brasil.

Há basicamente dois diferentes modelos de ponte viga, as vigas “caixão” e as vigas “T”, em que foram sintetizados os aspectos mais relevantes na concepção nestes tipos de obras, comparando estes dois tipos de seções transversais. Apesar de existirem equações para o pré-dimensionamento de estruturas, vale ressaltar que nestes tipos de obras, o pré-efetuado geralmente de acordo com a experiência do projetista.

O dimensionamento de pontes muda de acordo com o tipo, sendo que neste trabalho foi apresentado o procedimento para o dimensionamento de pontes em viga “T” ou retangular. Deve-se atentar para as normas brasileiras, pois muitas delas estão embasadas nas normas europeias, sendo necessário fazer adequações para aplicação das mesmas no Brasil, especialmente quando se refere ao clima que é significativamente diferente dos países do hemisfério norte.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7188 – **Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre – procedimento**. Rio de Janeiro, 2013.

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

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

CORDEIRO, J.G.P. **Aparelhos de apoio em pontes vida útil e procedimentos de substituição**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2014

CUNHA, F.N.M. **Dimensionamento de tabuleiros de pontes com vigas de betão pré-fabricado. 2010**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010.

EL DEBS M.K.; TAKEYA, T. **Introdução às pontes de concreto. Texto provisório de apoio à disciplina de pontes**. SET 412. (Apostila). São Carlos. 2010.

FERREIRA, R.T.L. **Sistemas estruturais: pontes em viga, treliça e em laje**. Nova Xavantina: Universidade do Estado de Mato Grosso, 2015.

HYPERSCIENCE. **As 12 maiores pontes do mundo. 2013**. Disponível em: <<http://>



hypescience.com/as-12-maiores-pontes-do-mundo/>. Acesso em: 12 maio 2016.

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

MARCHETTI, O. **Pontes de concreto armado**. 3.reimpr. São Paulo-SP: Blucher, 2013.

MASON, J. **Pontes em concreto armado e protendido**: princípios do projeto e cálculo. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1977.

NUERNBERG, R.; SILVA, B.V. **Estudo das possíveis causas do deslocamento longitudinal de vigas sobre aparelhos de apoio em viaduto da rodovia BR-101/SC**. 2014.

O'CONNOR, C. **Pontes-superestruturas**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, c1976. 2.v.

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

PINHO, F.O. **Pontes e viadutos em vigas mistas**, Ildony Bellei. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2007.

PUCHER, A. **Concreto armado**: fundamentos e aplicação em estruturas e pontes. Rio de Janeiro: Globo, 1961.

QUADROS, H.S. **Projeto estrutural de ponte: comparativo de soluções com vigas seções T pré-moldada e caixão moldada in loco**. TCC (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

STUCCHI, F.R. **Notas de aula Pontes e Grandes Estruturas**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006.

---

**Data do recebimento:** 27 de Janeiro de 2017

**Data da avaliação:** 05 de Fevereiro de 2017

**Data de aceite:** 15 de Fevereiro de 2017

---

1 Graduando em Engenharia Civil da Universidade Tiradentes – UNIT: email: vitoresplanada@hotmail.com

2 Prof. Msc. da Universidade Tiradentes – UNIT: email: viniciuscorreia@gmail.com