



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL*

Géssica Santos Marinho

**ESTUDO DE TIPOLOGIAS ESTRUTURAIS DE PONTES
VISANDO A MELHOR OPÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA PARA
CONSTRUÇÃO**

PALMAS - TO

2016



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL*

Géssica Santos Marinho

**ESTUDO DE TIPOLOGIAS ESTRUTURAIS DE PONTES
VISANDO A MELHOR OPÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA PARA
CONSTRUÇÃO**

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Esp. Daniel Iglesias de Carvalho.

PALMAS - TO

2016

GÉSSICA SANTOS MARINHO

**ESTUDO DE TIPOLOGIAS ESTRUTURAIS DE PONTES
VISANDO A MELHOR OPÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA PARA
CONSTRUÇÃO**

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II), do curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Esp. Daniel Iglesias de Carvalho.

Aprovado em _____ de _____

BANCA EXAMINADORA



Prof. Esp. Daniel Iglesias de Carvalho
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. Esp. Dênis Cardoso Parente
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. Valcyr Crisóstomo
Centro Universitário Luterano de Palmas

PALMAS - TO

2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois Ele me trouxe até aqui, me deu sabedoria, me sustentou, me fez acreditar que a realização desse sonho seria possível, mesmo em meio a tantas dificuldades. Deu-me força e fé para não desistir, e colocou pessoas para caminhar ao meu lado, incentivando-me e contribuindo para essa realização.

Agradeço imensuravelmente aos meus pais, Lindomar e Suely, por todos os ensinamentos, pelo apoio, carinho e incentivo; por sonharem comigo e não medirem esforços para esse sonho se realizar.

À minha família, meus irmãos, minhas avós, tios e tias, primos e primas, que mesmo distante, me apoiaram e me incentivaram nessa caminhada.

Aos meus professores, em especial ao meu orientador Esp. Daniel Iglesias de Carvalho, pela dedicação, compreensão, apoio e confiança, que pacientemente me conduziu ao término deste trabalho.

Aos meus amigos pelo apoio, incentivo e amizade, que contribuíram para a minha formação. Vocês foram fundamentais!

Enfim, agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente nessa jornada em busca da realização de um sonho.

Muito obrigada!

**“O SENHOR é também alto refúgio para o oprimido,
refúgio nas horas de tribulação.
Em ti, pois, confiam os que conhecem o teu nome,
Porque tu, SENHOR,
Não desamparas os que te buscam.
Cantai louvores ao SENHOR,”
Salmos 9:9-11**

MARINHO, Gécica Santos. **Estudo de tipologias estruturais de pontes visando a melhor opção técnica e econômica para construção**. 2016. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas/Universidade Luterana do Brasil.

RESUMO

O presente trabalho aborda o estudo das tipologias estruturais de pontes visando a melhor opção técnica e econômica para construção. Para as tomadas de decisões pertinentes a construção de ponte, vários fatores são levados em consideração, entre eles: economia, cronograma de execução, arquitetura, etc. Diante dessa situação, foi elaborada uma pesquisa bibliográfica, a fim de obter embasamento teórico para elaboração do estudo, observando modelos básicos de pontes comuns tanto em método de execução, quanto em facilidade para obtenção de dados, tendo em vista a criação de índices (R\$/m²), para comparativos de consumo de material, valores gastos e tempo de execução para as amostras. O valor representativo para estudo foi obtido a partir da média ponderada dos valores de cada grupo. Na finalização do estudo pode-se concluir que, para a escolha de uma determinada tipologia, a relação da solução técnico-econômica está intimamente ligada a localização desta obra, aos equipamentos disponíveis para execução e ainda ao vão que se deseja vencer. Os índices poderão ser aplicados em qualquer dimensão que contemple uma área em metros quadrados, fazendo assim uma previsão de preço caso uma proposta real esteja sendo avaliada.

Palavras-chave: tipologias de pontes, índices; solução técnico-econômica;

MARINHO, Gécica Santos. **Study of structural typologies of bridges aiming at the best technical and economic option for construction**. 2016. 53 f. Completion of a Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas / Lutheran University of Brazil.

ABSTRACT

The present work deals with the study of the structural typologies of bridges aiming at the best technical and economic option for construction. For the relevant decision-making bridge construction, several factors are taken into account, among them: economy, execution schedule, architecture, etc. In view of this situation, a bibliographical research was elaborated in order to obtain a theoretical basis for the elaboration of the study, observing basic models of common bridges in both execution method and ease of obtaining data, in order to create indexes (R \$ / M²), for comparison of material consumption, spent values and execution time for the samples. The representative value for the study was obtained from the weighted mean values of each group. In the conclusion of the study, it can be concluded that, in order to choose a particular typology, the relation of the technical-economic solution is closely linked to the location of this work, to the equipment available for execution and also to the desired span. The indices can be applied to any dimension that covers an area in square meters, thus making a price forecast if a real proposal is being evaluated.

Keywords: typologies of bridges, indexes; Technical-economic solution;

LISTA DE ABREVIATURAS

CEULP – Centro Universitário Luterano de Palmas

OAE – Obras de Arte Especial

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Seções transversais	19
Figura 2: Arranjo transversal e longitudinal dos cabos.....	21
Figura 3: Ponte Octávio Frias de Oliveira.....	23
Figura 4: Ponte Hercílio Luz.....	24
Figura 5: Ponte Rio - Niterói.....	28
Figura 6: Ponte da Fraternidade.....	29
Figura 7: Tipos de pontes em arco.....	30
Figura 8: Ponte JK.....	31
Figura 9: Cimbramento móvel	33
Figura 10: Tabela de formação de índices	42
Figura 11: Tabela de índices Representativos	43

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Índices/m ² - Tempo de Execução	44
Gráfico 2: Consumo de Materiais x Tempo de Execução	46
Gráfico 3: Consumo de Concreto	47
Gráfico 4: Consumo de Aço	47
Gráfico 5: Comparação de Consumo de Materiais.....	49

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. Objetivos.....	15
1.1.1. Objetivo Geral	15
1.1.2. Objetivos Específicos.....	15
1.2. Justificativa.....	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1. Sistemas Estruturais de Pontes.....	20
2.1.1. Pontes Estaiadas.....	20
2.1.2. Pontes Pênseis	23
2.1.3. Pontes em Vigas.....	25
2.1.3.1. Vigas Moldadas no Local	25
2.1.3.2. Vigas Pré-Moldadas.....	26
2.1.3.3. Pontes em Viga de Alma Cheia.....	27
2.1.3.4. Pontes em Viga de Alma Vazada (Treliças)	27
2.1.3.5. Pontes em Viga Caixão	27
2.1.4. Pontes em Pórtico	28
2.1.5. Pontes em Arco	29
2.2. Tipos de Tabuleiros	32
2.3. Sistemas Construtivos.....	32
2.3.1. Sistema por Cimbramento	32
2.3.2. Sistemas por Balanços Progressivos.....	34
2.3.3. Sistemas por Balanços Sucessivos.....	35
2.4. Formação de Índice	36
3. METODOLOGIA.....	37
3.1. Levantamento Bibliográfico	37
3.2. Levantamento dos Índices Aproximados de Consumo de Materiais.....	38

3.3. Caracterização dos Modelos Analisados	38
3.4. Comparação dos sistemas estruturais	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
4.1. Formação e coleta dos dados.....	40
4.2. Relação entre os resultados produzidos e suas vantagens e desvantagens	43
4.3. Comparação dos métodos construtivos quanto ao consumo de materiais ...	45
4.4. Comparação dos sistemas estruturais completos e seu custo benefício	48
5. CONCLUSÃO	50
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

1. INTRODUÇÃO

O processo de desenvolvimento urbano está ligado diretamente à facilidade de transporte. As características referentes a este tipo de desenvolvimento vão desde o simples acesso as vias com qualidades mínimas de tráfego, até a possibilidade de se transpor obstáculos físicos ou naturais, como por meio de pontes em um exemplo específico.

Muitas vezes a solução do projeto de uma ponte ou um viaduto está condicionada ao método construtivo utilizado para a execução da obra. O sistema construtivo adotado será influenciado por diversos fatores como o comprimento da obra; a altura do escoramento; regime e profundidade do rio; a velocidade do rio; a grandeza do vão principal e gabaritos; a capacidade portante do terreno de fundação, que defini o custo da infraestrutura; disponibilidade de equipamento da construtora; cronograma de execução da obra; economia. (ALMEIDA, 2000).

As obras de engenharia devem responder a critérios fundamentais como estabilidade e durabilidade, exigindo do profissional responsável conhecimentos que permitam a inserção das novas tecnologias dos materiais, bem como as técnicas de execução existentes no mercado. As diferentes tipologias estruturais estão diretamente relacionadas a sistemas seguros que estabilizem os grandes vãos projetados comumente aplicados em pontes.

Segundo relatório de pesquisa DELTACON ENGENHARIA *apud* KLAIBER E WIPF (1999), aproximadamente metade das 600.000 pontes rodoviárias dos Estados Unidos foram construídas antes de 1940 e muitas não tiveram manutenção adequada ao longo desses anos. A maior parte dessas pontes foi concebida para baixo tráfego, veículos pequenos, baixas velocidades e cargas menores que as aplicadas atualmente. Somado a isso, tem-se a influência dos fatores ambientais na degradação das estruturas.

Ainda que outros fatores tenham influência direta em tomadas de decisões (arquitetura, atratividade turística, estética) entre as diversas

tipologias de pontes que podem ser adotadas como “melhor”, a reunião de informações com base em índices representativos de valores e consumo de materiais que é base do presente estudo, pode contribuir positivamente em um possível estudo inicial fornecendo bases e/ou direcionamentos para possíveis pesquisas mais abrangentes em casos em que uma proposta real esteja sendo avaliada.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Realizar um estudo das diferentes tipologias e estruturas que representem a melhor solução técnico-econômica para construção de ponte.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Estudar tipologias estruturais de pontes;
- Caracterizar três tipos de pontes quanto aos índices de materiais, tempo de execução e custo;
- Descrever os métodos executivos evidenciando para cada modelo suas vantagens e desvantagens;
- Comparar as peculiaridades de cada sistema estrutural;

1.2. Justificativa

Tendo em vista a necessidade de construção de uma ponte, é imprescindível a percepção de parâmetros técnicos que proporcione conhecimento das diferentes tipologias estruturais. Visto que tais parâmetros devem oferecer ao projeto a ser executado vínculo entre desempenho estrutural, econômico, estético e funcional.

Para execução de uma obra de arte especial, deve-se primeiramente ter conhecimento da finalidade do projeto, dos elementos topográficos, geotécnicos e hidrológicos, para que assim, possa ser feito o dimensionamento da estrutura e definição do processo construtivo. Para tanto, cabe ao profissional de engenharia e/ou arquitetura estar atento, buscando novas tecnologias e tendências do mercado, optando por soluções que seja tecnicamente possível e economicamente viável. Contudo, é necessário planejar e idealizar propostas que satisfaçam tal necessidade.

A área de estudo do presente trabalho compreende em caráter primordial oferecer a possibilidade de através de parâmetros como a formação de um índice (R\$/m²), visando uma exposição de dados que possibilite uma comparação posterior.

Portanto, o presente trabalho, contribuirá apresentando um estudo que direcione caso uma proposta real esteja sendo avaliada às peculiaridades de cada tipologia estrutural com um melhor sistema construtivo, avaliando por meio de índices, consumo de materiais e tempo de execução, tornando possível a execução da obra.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Denomina-se ponte, obras destinadas a vencer grandes vãos (obstáculos), que impede a continuidade da via, seja ele rio ou até mesmo uma outra via. Tecnicamente são chamadas de Obras de Arte Especiais. Para a determinação da superestrutura de uma ponte, é necessário conhecer diversos parâmetros como: estudos hidrológicos, volume de tráfego, estética, topografia local, materiais, extensão e vãos livres necessários, entre outros.

A estrutura de uma ponte é dividida em infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura.

A superestrutura é constituída por elementos que transfere os esforços provenientes da superestrutura para a mesoestrutura (vigas e lajes); é o suporte do estrado por onde se trafega.

EL DEBS e TAKEYA (2007) relatam que a superestrutura é a parte da ponte destinada a vencer o obstáculo e pode ser subdividida em estrutura principal e estrutura secundária. A estrutura principal tem a função de vencer o vão livre, e a estrutura secundária (ou tabuleiro ou estrado) recebe a ação direta das cargas e a transmite para a estrutura principal.

A mesoestrutura recebe os esforços da superestrutura e os transfere à infraestrutura; constituída pelos pilares, encontros e aparelho de apoio. O aparelho de apoio é destinado a transmitir as reações de apoio e permitir determinados movimentos da superestrutura. O encontro e o pilar são considerados elementos de suportes. O encontro fica situado nas extremidades da ponte, na transição de ponte com o aterro da via, e tem a dupla função, de suporte, e de arrimo do solo.

A infraestrutura é constituída pelos pilares; elementos que destinam a apoiar no terreno os esforços transmitidos da superestrutura para a mesoestrutura.

Os elementos necessários para condicionar o projeto de execução de uma ponte, devem atender aos requisitos principais para qual foi projetada, sejam elas de tráfego, vazão, geotécnicos, etc. As pontes devem apresentar um aspecto agradável para se harmonizar com o ambiente em que se situa. O estudo comparativo de várias soluções, buscando a mais econômica, deve ser

feito, desde que atenda todos os requisitos. Deve ser projetada para atender às exigências de uso durante certo período previsto.

Segundo MILLER, BARBOSA e PESSANHA (2005), os elementos de uma ponte comportam-se da seguinte maneira:

- As lajes recebem diretamente as cargas dos veículos que circulam no tabuleiro, sendo que, nas pontes em concreto armado ou concreto protendido as lajes também fazem parte das vigas T, contribuindo para a resistência à flexão destas últimas;
- O vigamento secundário, também chamado de transversinas, suporta as cargas transmitidas pelas lajes, conduzindo as reações destas ao vigamento principal;
- O vigamento principal, também chamado de longarinas, recebe as cargas transmitidas pelas transversinas e conduz suas reações para os pilares, são as longarinas que vencem os vãos impostos pelos obstáculos naturais e determinam o projeto da obra;
- Os pilares recebem as cargas verticais e horizontais da superestrutura e as transferem para as fundações, que por sua vez as transferem para o terreno, no entanto, como a geometria da fundação em geral difere da geometria do pilar, intercala-se um bloco de transição ou coroamento entre esses dois elementos.

As pontes podem ser classificadas seguindo alguns parâmetros. Dentre os mais importantes podemos citar:

✓ **Comprimento do vão**

São denominadas como pontes as estruturas que possui vão acima de 10 metros de comprimento. Estruturas que apresentam vãos de 2 a 10 metros são chamados de pontilhões, e as que têm vãos com comprimento menor que 2 metros são chamadas de galerias.

✓ **Natureza do tráfego**

Segundo a natureza do tráfego, as pontes podem ser classificadas em: rodoviárias, ferroviárias, passarelas (pontes para pedestres), aquetudos

(pontes para conduzir água), canal (pontes hidroviárias), mistas (rodoferroviária).

✓ **Desenvolvimento planimétrico**

Segundo o desenvolvimento em planta do traçado, as pontes podem ser retas ortogonais ou retas esconsas, mas que apresentem o eixo reto; ou podem apresentar o eixo curvo, neste último caso são pontes curvas. (MARCHETTI, 2008)

✓ **Desenvolvimento altimétrico**

As pontes se classificam segundo o plano vertical em retas em rampa ou retas horizontal. Ou quando curvas podem apresentar o tabuleiro convexo ou côncavo. (MARCHETTI, 2008)

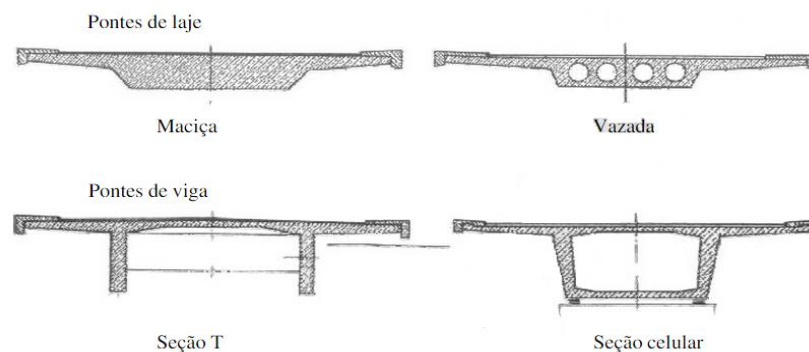
✓ **Material da superestrutura**

Os materiais da superestrutura podem ser de madeira, alvenaria (pedras/ tijolos), concreto simples, concreto armado, concreto protendido e aço, mistas (concreto e aço).

✓ **Seção transversal**

A seção transversal das pontes de concreto pode ser de laje, sendo ela vazada ou maciça; ou de viga, que poderá ser em seção T ou em seção celular.

Figura 1: Seções transversais



Fonte: EL DEBS e TAKEYA (2007)

Segundo o Manual de OAE do DNER, é necessário a coleta disciplinada de elementos necessários para condicionar o projeto, que são eles: estudos geométricos (traçado da rodovia, largura dos passeios); estudos topográficos (perfil longitudinal do terreno); hidrológicos (nível de máximo e mínimo das águas, regime fluvial) e ainda estudos geotécnicos (condições de fundação; mapeamento geológico).

A escolha da solução estrutural deve ser feita a partir do conhecimento e completa assimilação de todos os parâmetros estudados, buscando a que melhor atenda a interação solo-estrutura e apresente maiores vantagens técnico-econômica.

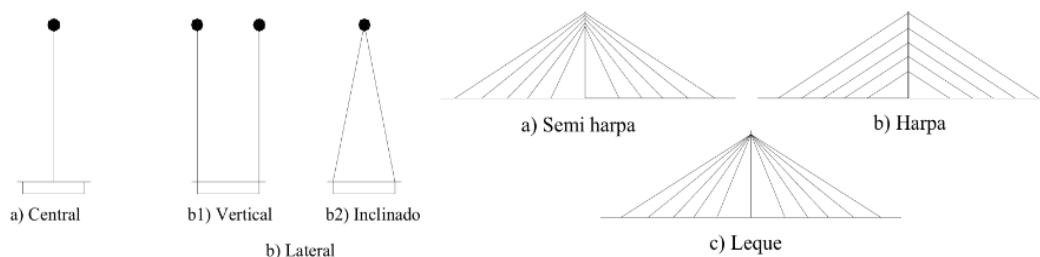
2.1. Sistemas Estruturais de Pontes

2.1.1. Pontes Estaiadas

Ponte estaiada ou ponte atirantada é um tipo de ponte suspensa por cabos constituída de um ou mais mastros, de onde partem cabos de sustentação para os tabuleiros da ponte. O sistema estrutural consiste de um vigamento de grande rigidez que se apoia nos encontros das pontes.

São erguidas para vencer médios e grandes vãos (200m a 1000m). Os esforços são absorvidos pela parte superior do tabuleiro, por meio de vários cabos (estais) que se concentram em uma torre apoiada em um bloco de fundação. O tipo de torre (mastro) pode ser central ou lateral. A fixação dos cabos pode ser feita em forma de leque (com um ponto fixo no mastro), em forma de harpa (com cabos paralelos partindo de vários pontos do mastro) ou em forma mista (semi harpa) (*Figura 2*).

Figura 2: Arranjo transversal e longitudinal dos cabos



Fonte: ITZA, 2009, p9.

As vantagens e desvantagens de cada sistema foram resumidas na tabela abaixo:

Tabela 1: Vantagens e desvantagens dos sistemas comuns em ponte estaiadas

SISTEMA	VANTAGENS	DESVANTAGENS
SEMI HARPA	Alívio de esforços e seções mais esbeltas	Não há complexidade nas ancoragens
HARPA	Baixa tensão nos estais; Aumenta a rigidez do vão principal	Induz altas tensões de compressão no tabuleiro quando aplicado em grandes vãos
LEQUE	Alívio de cargas e possibilidade de seções mais esbeltas	Complexidade e dispendiosidade (projeto e execução) na ancoragem dos estais no mastro devido a proximidade
PLANO VERTICAL ÚNICO (CENTRAL)	Estruturas limpas, simples e bem aceitas esteticamente	Os cabos suportam apenas os esforços verticais do tabuleiro, exigindo seções mais rígidas a torção; zonas de ancoragem dos estais apresentam grande intensidade de esforços
DOIS OU MAIS PLANOS VERTICAIS (LATERAL VERTICAL)	Possibilidade de trabalhar com peças mais esbeltas, pois o tabuleiro é suportado pelas extremidades	Maior quantidade de cabos e maior custo com elevação dos mastros
PLANOS INCLINADOS (LATERAL INCLINADO)	Utilização de apenas um plano de estais	Redução da área do tabuleiro em função da inclinação dos cabos na direção da via

Fonte: Autor (a)

A verticalidade dos cabos interfere diretamente na forma de transmissão dos esforços ao tabuleiro, quanto menos inclinados maior será a solicitação de uma seção mais robusta para o tabuleiro. O arranjo estrutural deve ser determinado em função dos vãos, altura da torre e tensão nos estais.

A plataforma recebe a força de compressão exercida, transferindo-a as torres, que dissipam essa força diretamente para o solo. Enquanto que os cabos de sustentação (estais) são esticados para suportar o peso da ponte e resistem aos esforços de tração.

As pontes estaiadas, ou pontes atirantadas, segundo CHO (2000) decaem ao século XVIII, quando um carpinteiro alemão construiu uma ponte utilizando este sistema. A primeira ponte moderna construída foi obra do engenheiro Dischinger: a ponte de Stroomsund, na Suécia, em 1955, com 182,5m de vão central e tabuleiro metálico. A primeira ponte estaiada com tabuleiro de concreto foi aberta ao tráfego em 1957, com 51,9m de vão central, na cidade Benton, Washington, obra do engenheiro Hadley.

As pontes estaiadas, principalmente as de grandes vãos, são um exemplo prático do sucesso de aplicação do concreto protendido, pois além de estarem expostas aos ambientes agressivos e possuírem quase sempre uma arquitetura arrojada, cada vez mais esbelta, o concreto protendido nessas estruturas proporciona a redução do peso próprio das mesmas e conseqüentemente o carregamento de suas fundações, reduzindo e controlando as deformações e a fissuração com a aplicação das cargas acidentais, permitindo o máximo aproveitamento da resistência mecânica do aço e do concreto utilizado (RUDLOFF,2008).

A Ponte Octávio Frias de Oliveira, inaugurada em maio de 2008, faz parte do complexo viário Real Parque, na cidade de São Paulo-SP, formada por duas pistas, estaiadas em curva, sustentada por cabos de aço inoxidável, resistente ao sol devido a propriedade do revestimento com polietileno. Possui 1,6 mil metros de extensão, com 138 m de altura.

Figura 3: Ponte Octávio Frias de Oliveira



Fonte: Repertório Digital – ISI Engenharia – Setembro 2015

2.1.2. Pontes Pênséis

De todos os tipos estruturais, as pontes pênséis ou suspensas, junto com as estaiadas, são aquelas que possibilitam os maiores vãos sobre rios, lagos, etc. Nelas o tabuleiro contínuo é sustentado por vários cabos metálicos atirantados ligados a dois cabos maiores que, por sua vez, ligam-se as torres de sustentação. A transferência das principais cargas às torres e às ancoragens em forma de pendurais é feita simplesmente por esforços de tração. Os cabos comprimem as torres de sustentação, que transferem os esforços de compressão para as fundações MASON (1977, *apud* GOMES, 2006, p. 36).

De acordo com o Manual de Projeto de Obras Especiais *apud* livro *Brücken Bridges*, são importantes diretrizes estéticas para projeto de pontes pênséis:

- a) Os vãos laterais devem ser menores que a metade do vão principal, da ordem de 20 a 30%; quanto menor a relação maior é o realce do vão principal;
- b) O espaço livre entre o fundo do estrado e o nível das águas deve ser estreito e alongado; quanto mais alto o espaço livre, maior deverá ser o vão;

c) O estrado suspenso deve ser leve e esbelto já que estrados rígidos e pesados destroem a graça e a beleza da estrutura; estrados baixos e testados aerodinamicamente conseguem dar uma leveza impressionante à ponte pênsil;

d) As ancoragens dos cabos não devem mobilizar estruturas muito maciças mas devem ter robustez suficiente para inspirar confiança;

e) As estruturas das torres devem ser robustas, não sendo aconselhável esteticamente forçar sua esbelteza.

No que se refere a vãos, é geralmente aceito que as pontes em concreto protendido, construídas em balanços sucessivos, sejam consideradas competitivas até cerca de 180m; as de aço podem atingir um pouco mais, cerca de 250m, as pontes estaiadas têm sido usadas entre 200m e até quase 900m, e as pontes pênsis para vãos superiores a 300m. (Manual de Projeto de Obras de Arte Especial).

A grande diferença para uma ponte estaiada é a angulação dos cabos. Nas pontes estaiadas existe uma força tanto horizontal como vertical sobre o tabuleiro. Essa característica faz com que a ponte estaiada seja mais rígida, capaz de resistir a força horizontal. Já na ponte pênsil, o tabuleiro é sustentado verticalmente podendo ser mais leve. Entretanto, pode aumentar os balanços e as oscilações do tabuleiro em relação às pontes estaiadas.

A Ponte Hercílio Luz, inaugurada em maio de 1926, localizada em Florianópolis-SC, possui 821 metros de extensão, 74 m de altura e o maior vão possui 339 m, destaca-se como a ponte pênsil mais importante do Brasil. Entretanto, encontra-se desativada para tráfego de veículos e pedestres.

Figura 4: Ponte Hercílio Luz



2.1.3. Pontes em Vigas

A viga é o tipo mais simples de estrutura, sendo adequada para uma extensa faixa de variação de vãos. As estruturas em vigas são utilizadas, normalmente, para vãos até 50m com moldagem no local e cimbramento convencional, e até cerca de 40 metros para estruturas pré-moldadas, lançadas por treliça. Entretanto no caso de grandes vãos, os processos executivos de recente desenvolvimento são, em geral, adequados para estruturas de grande rigidez à torção e os valores altos de momentos negativos requerem, no caso de vãos extensos, a adoção de estruturas celulares (Manual de Projeto de Obras de Arte Especial).

Segundo PFEIL (1983, *apud* Lencioni 2005, p.58), as pontes em vigas contínuas são estruturalmente eficazes devido à redução dos momentos dos vãos causada pela continuidade das vigas. Quando possuem comprimento muito longo, podem ser divididas em trechos, por meio de juntas nos pilares ou de rótulas nos vãos.

2.1.3.1. Vigas Moldadas no Local

As estruturas em vigas requerem detalhes de moldagem e de acabamento trabalhosos, implicando em tempo de construção longo e em custo adicional; por outro lado, é possível obter-se soluções mais econômicas através da escolha criteriosa da viga. A comparação entre os custos de construção das vigas e o da espessura adicional da laje será determinante na escolha da forma estrutural (Manual de Projeto de Obras de Arte Especial).

Com o objetivo de simplificar a execução, é de uso frequente desligar da laje superior as vigas transversais de vão ou até prescindir das mesmas, cabendo então à laje toda a distribuição transversal das cargas. Nos casos particulares de estruturas concebidas sem transversinas, as lajes deverão ter espessuras suficientes para garantir à rigidez transversal do conjunto, devendo ser, também, considerada a distorção da seção transversal, quando for o caso; (Manual de Projeto de Obras de Arte Especial).

Quando projetadas em concreto armado convencional, as relações altura/vão são da ordem de 1/12 para obras isostáticas e de 1/14 em obras contínuas; Relações menores são possíveis, porém com acréscimo de armaduras e condições de uso afetadas pelas características de deformação do concreto. Quando projetadas em concreto protendido, as relações altura/vão caem para 1/18 e 1/20, respectivamente, aplicáveis a vãos até 50 metros (Manual de Projeto de Obras de Arte Especial).

2.1.3.2. Vigas Pré-Moldadas

As estruturas em vigas pré-moldadas, utilizadas para vãos máximos da ordem de 40 metros, podem ser bastante adequadas e econômicas, visto que, além de não necessitarem de cimbramento, minimizam o tempo de execução da obra; os escoramentos são substituídos por treliças de lançamento que colocam as vigas pré-moldadas em suas posições definitivas. A redução no tempo de execução é conseguida com a instalação de canteiros de pré-fabricação de vigas; enquanto se executam a infra e a mesoestrutura, as vigas pré-moldadas são fabricadas e estocadas. (Manual de Projeto de Obras de Arte Especial).

As principais desvantagens são: não são soluções estéticas e, na sua forma mais simples, não se prestam para soluções urbanas; apresentam grande número de juntas, embora minimizadas pela adoção de lajes elásticas; exigem canteiros especiais de fabricação e de estoque, e treliças de lançamento de grande porte; as travessas de apoio das vigas pré-moldadas são, em geral, pesadas e antiestéticas (Manual de Projeto de Obras de Arte Especial).

A solução em vigas pré-moldadas de concreto protendido tem sido bastante utilizada em obras extensas e de escoramento difícil, prolongado ou de risco; nas travessias de rios largos e sem exigência de gabarito de navegação é, praticamente, uma solução padrão (Manual de Projeto de Obras de Arte Especial).

2.1.3.3. Pontes em Viga de Alma Cheia

Este sistema estrutural possui vigamentos suportando o tabuleiro. As vigas principais são denominadas de longarinas e normalmente são introduzidas transversinas para aumentar a rigidez do conjunto. Quando a seção transversal é feita com vigas sem laje inferior, pode-se adotar transversinas intermediárias além das transversinas de apoio, e quando a seção transversal é feita em caixão celular não é necessário ter-se transversinas intermediárias em função da grande rigidez à torção do conjunto. Quando a obra não termina em encontros, a transversina extrema possui características particulares, substituindo o encontro na função de absorver os empuxos dos aterros de acesso, sendo normalmente denominada de cortina. (CARVALHO, 2010, p5).

2.1.3.4. Pontes em Viga de Alma Vazada (Trelças)

Nestas pontes, o tabuleiro com a pista de rolamento pode estar na parte superior ou inferior da trelça. São comumente feitas de aço e de madeira, possuindo a característica de ser uma estrutura leve e de rápida execução. Entretanto, podem se tornar estruturas complexas e de grande porte, apesar de leves. As trelças são classificadas pela disposição de suas hastes, sendo as formas mais representativas a trelça Warren, a trelça Pratt e a trelça Howe. A trelça Warren é a forma mais simples, sendo normalmente utilizada para vãos entre 50 e 100m de comprimento. A trelça Howe, patenteada por William Howe em 1840 apresentou a inovação de associar hastes de aço verticais com elementos diagonais de madeira. (CARVALHO, 2010, p5).

2.1.3.5. Pontes em Viga Caixão

As vigas caixão são vigas formadas por duas ou mais almas e por uma mesa inferior única e uma ou mais mesa superior, formando a configuração de um caixão. As seções transversais em caixão são altamente eficientes para estruturas em curva, devido a sua grande resistência a torção, e nas pontes com grandes vãos para evitar problema de instabilidade aerodinâmica. Em geral a relação altura/vão fica em torno de 1/20 a 1/30. A mais importante

decisão no projeto é a escolha da seção transversal e está relacionada com: custo de material, custos de ligações, capacidade dos equipamentos disponíveis, acessos, largura da pista e gabaritos. (PINHO, 2007 p24)

Podemos destacar a Ponte Presidente Costa e Silva, conhecida como Ponte Rio - Niterói, localizada na Baía de Guanabara, ligando os municípios do Rio de Janeiro e Niterói. Foi Inaugurada em Março de 1974, possui 13,29 km de extensão.

Figura 5: Ponte Rio - Niterói



Fonte: Repertório Digital – Wikipédia.org.br – Setembro 2015

2.1.4. Pontes em Pórtico

Neste tipo de estrutura, há redução das solicitações na superestrutura,, pois parte da flexão da viga é transmitida aos pilares. Os pórticos surgem pela ligação, com rigidez à flexão, das vigas da ponte (superestrutura) com as paredes dos encontros ou com os pilares (infraestrutura). (PRETTI, 1995)

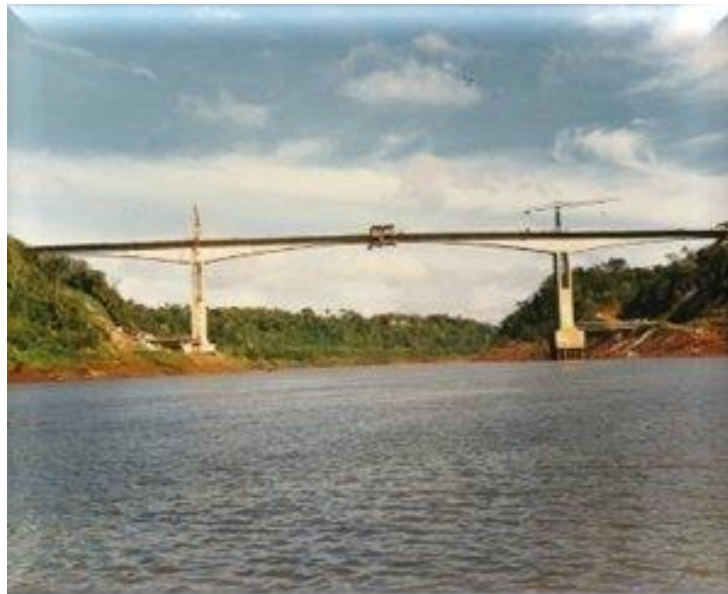
Segundo PINHO, 2007, o sistema de pórticos é aquele em que as vigas do tabuleiro são contínuas com a estrutura dos pilares, tornando-os um único elemento estrutural, dispensando a utilização de apoios entre eles.

Este tipo de solução estrutural é utilizada quando se deseja diminuir os vãos da viga reta. A esbeltez e a estética desta solução são muito agradáveis e pode ser aplicada quando a topografia ajuda. O custo com manutenções torna-se mínimo devido à ausência de aparelhos de apoio e a distribuição das solicitações ocorre de forma homogênea. Pode ser utilizado quando há

existência de pilares esbeltos ou quando se espera uma manutenção reduzida, pois a utilização de aparelho de apoio exigem constante manutenção e substituição periódica.

Podemos citar a Ponte Internacional Presidente Tancredo Neves conhecida como Ponte da Fraternidade. Localizada na união da fronteira entre Brasil e Argentina, na região das Cataratas do Iguazu. A ponte possui 489 m de extensão, 16,5 m de largura e 72 m de altura, construída por um pórtico de três vãos (vão central de 220 m e dois laterais de 130 m cada um).

Figura 6: Ponte da Fraternidade



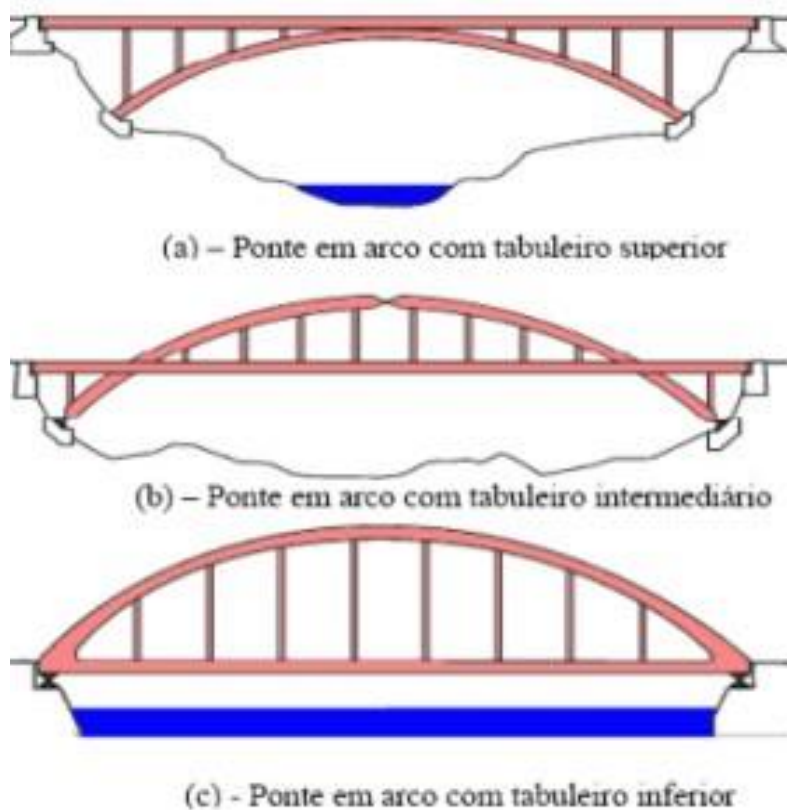
Fonte: Repertório Digital – Sobrenco.com.br – Setembro 2015

2.1.5. Pontes em Arco

As estruturas em arco permitem o uso do concreto armado convencional em pontes com grandes vãos com pequeno consumo de material. O eixo do arco é preferencialmente projetado coincidindo com a linha de pressões devidas à carga permanente, para tirar proveito da boa resistência à compressão que o concreto possui. As estruturas em arco podem ser projetadas com tabuleiro superior, sustentado por montantes, ou com tabuleiro inferior, sustentado por tirantes ou pendurais. (GOMES, 2006).

As pontes em arco com tabuleiro inferior são mais indicadas para pequenos vãos e para grandes vãos utiliza-se a ponte em arco com tabuleiro superior. As pontes em arco com tabuleiro intermediário são menos utilizadas uma vez que a interseção do arco com o tabuleiro representa problemas construtivos MASON (1977, *apud* GOMES 2006).

Figura 7: Tipos de pontes em arco



Fonte: MATTOS, 2001, p.33

A transmissão de cargas se dá ao longo da curvatura até aos apoios, podendo ser projetado de forma que a pressão não seja suportada pela parte central da peça. O uso do tipo de arco depende das condições locais e da estática. Para ser eficiente e dar uma boa estática, deve apresentar uma relação flecha/vão da ordem de 1/5 a 1/8.

A concepção estrutural em forma de arco, em função da sua forma, apresenta a possibilidade de ter os esforços de flexão reduzidos. Nos arcos de concreto, a predominância da compressão (inerente ao material), resulta na

redução da flexão, permitindo o uso em pontes com redução nos custos e grandes vãos.

As pontes em arco com tabuleiro inferior são mais indicadas para pequenos vãos e para grandes vãos utiliza-se a ponte em arco com tabuleiro superior. As pontes em arco com tabuleiro intermediário são menos utilizadas uma vez que a interseção do arco com o tabuleiro representa problemas construtivos (MATTOS, 2001).

Nas estruturas com arcos inferior e intermediário, ocorrem grandes esforços horizontais na base do arco, tornando necessária a existência de um excelente terreno de fundação. Quando a obra for de concreto armado, deve-se prever um plano de concretagem bem definido para que se possam reduzir os efeitos de retração e deformação lenta do material (CARVALHO, 2010, p6).

Já nas estruturas com arco superior as solicitações são menores, o arco comprimido é interiormente auto equilibrado pelo tabuleiro tracionado. Neste sentido, sua concepção é mais influenciada por razões arquitetônicas do que por critérios técnicos ou econômicos.

Podemos citar a Ponte Juscelino Kubitschek, situada em Brasília-DF. Inaugurada em Dezembro de 2002, possui comprimento total de 1200 m e largura de 24 m, com duas pistas.

Figura 8: Ponte JK



Fonte: Repertório Digital – Wikipédia.org.br – Setembro 2015

2.2. Tipos de Tabuleiros

Segundo Pinho 2007 p27, todos os tipos de superestrutura podem usar um dos tipos de tabuleiro dados a seguir para a pista de rolagem dos veículos.

- Os inteiramente em aço, formando uma placa ortotrópica (placa enrijecida de aço), exigem consumo elevado de aço, tornando-se pouco econômicos para vãos pequenos e médios, mas muito usados para pontes de grandes vãos o que é vantajoso devido ao pequeno peso do tabuleiro.
- Os tabuleiros em concreto substituíram com vantagem os metálicos para pequenos e médios vãos, funcionando solidariamente às vigas metálicas, chegando-se então à solução adotada na grande maioria das pontes deste tipo, denominadas de Pontes Mistas.

A ponte mista é a junção das vigas metálicas com o tabuleiro de concreto, mas para que isto aconteça é necessário a solidarização dos dois materiais. Isto é garantido por elementos de ligação, denominados Conectores de Cisalhamento. (PINHO, 2007, p28)

2.3. Sistemas Construtivos

2.3.1. Sistema por Cimbramento

Define-se por cimbramento o conjunto de elementos, que durante a construção, formam uma estrutura de suporte (fixo ou móvel); armação de andaimes e escoras. Comumente utilizado em pontes com superestrutura em concreto armado ou protendido moldado in loco; podem ser de madeira, de treliças ou vigas metálicas.

Cimbramento fixo – apoios temporários que, devem ser desmontados após utilização;

Segundo STUCCHI (1999, *apud* YTZA, 2009, p.13), os cuidados que se devem ter na utilização do cimbramento fixo são:

- Fundação e contraventamento do cimbramento;
- Contra-flechas para compensar recalques ou deformações de vigas e treliças;
- Cuidados na concretagem – os recalques e as deformações devem ocorrer antes do final da concretagem, também deve-se tratar as juntas;
- Cuidados na desforma – desencunhar do centro para os apoios de todos os vão e só após desmontar o cimbramento;
- Vistoria antes, durante e depois a concretagem.

Cimbramento móvel – permite deslocamento do cimbramento sem desmontá-lo;

Segundo STUCCHI (1999, *apud* YTZA, 2009, p.13), os cuidados que se devem ter na utilização do cimbramento móvel são:

- Escolher a posição da junta e seu tratamento;
- Influência do método construtivo no cálculo;
- Interferências que podem impedir o movimento das formas ou da treliça;
- Levantar em conta os cinco cuidados do cimbramento fixo.

Figura 9: Cimbramento móvel



Fonte:A) Repertório Digital – piniweb.pini.com.br – Setembro 2015

2.3.2. Sistemas por Balanços Progressivos

Essa é uma solução atrativa quando se está na presença de greides elevados, rios ou vales profundos e obras de grande extensão (vãos de até 50m para evitar a execução de pilares provisórios). Recomenda-se, para aplicação do método, modular os vãos intermediários com comprimentos iguais e os vãos extremos com 75% do comprimento dos vãos intermediários. Esse procedimento e a adoção de segmentos com comprimentos iguais à metade do comprimento dos vãos intermediários asseguram que as emendas dos diversos segmentos coincidam com os quartos do vão, região em que os esforços internos são menores (SOUZA, 1983).

No sistema em balanço progressivo, a execução do tabuleiro é feita de forma segmentada, por aduelas. Estas aduelas podem ser pré-moldadas ou moldadas no local, sendo protendidas para que a ligação do conjunto seja realizada. Na maioria das vezes o avanço é realizado com duplo disparo, ou seja, a montagem se desenvolve simetricamente em relação ao apoio, evitando, assim, grandes desequilíbrios entre as cargas. No caso de haver balanço em apenas um dos lados do apoio ou quando os balanços são desiguais, pode-se utilizar estais ajustáveis ao desenvolvimento do vão, ou lastro no vão anterior ao balanço, que são suportados por torres provisórias ancoradas nos apoios e vãos anteriores (MATTOS, 2001).

Este método é usado quando há a interferência no espaço situado abaixo da obra, reduzindo a capacidade de cimbramento e escoramento. Torna-se imprescindível quando existe qualquer risco indesejado ao meio ambiente, em áreas urbanas onde o escoramento interferiria no tráfego local, em vales e rios muito profundos e com cheias violentas e súbitas. Outro fator para que o uso dessa técnica se torne vantajosa é quando existe a necessidade de grandes vãos, seja por imposição de gabaritos ou para evitar fundações dispendiosas (vãos entre 60 m e 240 m) (MATTOS, 2001).

No caso de haver balanço em apenas um dos lados do apoio (disparo simples) ou quando os balanços são desiguais, pode-se utilizar estais ajustáveis ao desenvolvimento do vão, ou lastro no vão anterior ao balanço,

que são suportados por torres provisórias ancoradas nos apoios e vãos anteriores. (MATTOS, 2001).

No sistema por balanços progressivos, a protensão é de suma importância, e deverá ser dimensionada minuciosamente, pois é esta força que une as aduelas ao conjunto e, após a cura do concreto, o sistema de contrapeso é removido e, então ocorre a realização do próximo avanço. A execução deste método apresenta vantagens como: redução mão de obra; rápida execução; redução das formas.

Nesse tipo de ponte, a protensão é aplicada em duas etapas. A primeira, na fase construtiva, devendo ser centrada em função da variação das solicitações devidas ao peso próprio durante a execução da obra. A segunda etapa é realizada após a execução do tabuleiro, para complementação da primeira etapa, tendo em vista as solicitações de sobrecarga permanente e carga móvel. (ALMEIDA, 2000).

2.3.3. Sistemas por Balanços Sucessivos

Segundo STUCCHI (1999, *apud* YTZA, 2009, p.14), é o método construtivo que melhor se adapta às obras estaiadas, sendo então o método mais utilizado.

Para EL DEBS e TAKEYA (2007) o princípio do processo consiste em executar a ponte em segmentos, cada segmento apoiando-se no seguimento anterior já executado, de forma progressiva, a partir dos apoios, até cobrir todo o vão.

Indicado quando há particularidade no processo executivo, como por exemplo:

- ✓ Quando a altura da ponte em relação ao terreno é grande;
- ✓ Em rios com correnteza violenta e súbita;
- ✓ Em rios e canais onde é necessário obedecer gabarito de navegação durante a construção.

A execução em aduelas pré moldadas pode ser por dois processos distintos: o sistema SHORT-LINE e sistema LONG-LINE. No sistema SHORT-LINE as aduelas são fabricadas com o uso de apenas uma forma metálica,

sendo esta fôrma muito sofisticada e cara, para atender a todas as diferenças e mudanças entre as seções transversais das aduelas, assim como as conformações em planta e perfil do projeto geométrico da estrutura. No sistema LONG-LINE é fabricada a fôrma para todo o vão, podendo ela ser reaproveitada para outros vãos que sejam iguais. A fôrma e a armação são montadas sobre um escoramento metálico ou sobre uma pista de concreto que poderá servir de fôrma de fundo. As aduelas são concretadas de maneira a garantir a perfeita acoplagem entre si, onde cada aduela concretada na etapa anterior serve para a próxima (ALMEIDA, 2000).

2.4. Formação de índice

Para otimização de dados, a criação de um número obtido por meio de uma média parametrada, ou outro procedimento similar é capaz de representar um conjunto de valores, podendo se adequar a qualquer grandeza denominado número índice.

Os índices permitem a análise de um formato a partir da comparação de grandezas distintas. Exemplo: a comparação de um edifício de quatro pavimentos com outro de 15 pavimentos, só é permitida por meio de índices, quando igualamos as grandezas para um denominador comum (preço / área). E então o índice poderá ser aplicado a qualquer outra grandeza, possibilitando uma previsão de preço.

3. METODOLOGIA

O estudo proposto tem por finalidade apresentar através de tipologias estruturais de pontes, modelos que representam a melhor solução técnico-econômica caracterizando-as por meio de modelos, índices matemáticos financeiros, índices de consumo de materiais e tempo de execução.

Os critérios que levaram aos resultados do estudo proposto foram avaliados outras condicionantes que não são possíveis de serem representadas por meio de índices ou valores numéricos como, por exemplo: conceito e partido arquitetônico.

A modelagem dos dados explícitos faz referência em informações que não passaram por um tratamento abrangente, sendo então ao invés de uma fonte de extração de dados otimizados, apenas uma correlação com base em índices: valores que podem auxiliar um estudo inicial para definições posteriormente verificadas com dados atualizados às regiões base de estudo.

3.1. Levantamento Bibliográfico

Primeiramente foi necessário um levantamento bibliográfico, pois ele fundamentou e influenciou diretamente nas etapas seguintes do projeto, sendo a principal base de informações do trabalho. A busca deu-se por conteúdos pertinentes ao tema, de modo a proporcionar embasamento teórico para elaboração do estudo. Os levantamentos foram feitos por meio de livros, artigos científicos já publicados, bem como teses de mestrado e doutorado e normas relacionadas às estruturas de pontes.

O estudo bibliográfico permitiu a coleta de dados para prosseguimento ao estudo. A escolha das tipologias foi direcionada aos modelos básicos comuns tanto em execução, quanto em facilidade de acesso às informações. Formando três grupos: pontes estaiadas, pontes em vigas de concreto e pontes em arco, sendo que cada grupo é composto três amostras representativas.

3.2. Levantamento dos Índices Aproximados de Consumo de Materiais

A segunda etapa deu-se por meio da confecção de tabelas e gráficos com base nos dados extraídos das pesquisas bibliográficas, contendo os tipos de pontes analisadas, seus materiais e custos. A partir dessas informações, foi criado um índice (R\$/m²) para cada amostra, buscando uma ponderação para os valores, visto que as pontes apresentam dimensões variadas, e então foi feito uma média entre os índices encontrados, visando uma aproximação coerente, tendo em vista o uso de índices para seus comparativos, como base inicial o consumo de materiais, valores gastos e tempo de execução.

3.3. Caracterização dos Modelos Analisados

Foram selecionadas três tipos de pontes, contendo três modelos representativos em cada grupo, sendo eles: pontes estaiadas, pontes em viga de concreto e pontes em arco.

As caracterizações dos modelos dentro dos segmentos foram levadas em consideração os seguintes formatos:

- Quanto a sua tipologia e índice de consumo de materiais por metro quadrado e seus valores financeiros;
- Quanto a sua tipologia e material de sua construção;
- Quanto a sua tipologia e tempo de execução;
- Quanto aos demais fatores em seu conjunto;

Sabe-se que o princípio para obtenção de índices mais apurados sobre pontes necessita-se de um bom dimensionamento, e o intuito base do presente trabalho trata de maneira superficial as teorias do dimensionamento e se foca nos quesitos de solução técnico-econômica e suas tipologias, englobando valores coletados em outros trabalhos científicos e licitações em que se obteve parâmetros de valores junto a tempo de execução e seus materiais, como por

exemplo: uma ponte em que seu custo total variou em torno de R\$10.000.000,00 e seu tempo de execução durou 1 ano completo e a mesma possui 100m lineares por 12m de largura tem-se: $10.000.000,00/(100 \times 12) = R\$ 8.333,33$ por metro quadrado.

A obtenção desses índices independente da quantidade de apoios ou sua modelagem tende a se equilibrar nas considerações de solução técnico-econômica, pois suas particularidades se evidenciam como melhor ou pior opção quando se agrega os outros índices de consumo de materiais e tempo de execução como no exemplo citado.

3.4. Comparação dos sistemas estruturais

A partir da elaboração dos gráficos com suas variáveis e condicionantes dos modelos estudados, foi feita a descrição dos métodos, evidenciando suas vantagens e desvantagens e comparando cada sistema em seu melhor ou pior caso.

Quanto à solução técnico-econômica se tratando de pontes que é uma obra de arte especial, os fatos que elevam o peso de sua escolha são suas tipologias arquitetônicas que além de agregar valores estéticos tende-se a deixar uma marca onde a mesma se localiza.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Formação e coleta dos dados

Para a coleta de dados, não houve caráter especial de seleção das pontes devido à inacessibilidade aos dados, como por exemplo: dados históricos, valores e critérios de execução. As informações sobre cada ponte encontraram-se dispersas em várias fontes. Sendo assim, a escolha foi direcionada aos modelos básicos comuns tanto em execução, quanto em facilidade de acesso às informações, permitindo a criação de um índice representativo para o estudo em questão.

Entre os grupos de dados extraídos foram listados os dados de três tipos de pontes com três valores representativos para cada modelo, foram eles:

- **Pontes estaiadas:**

- Ponte Rio das Ostras - localizada na Região dos Lagos à 170km ao norte da capital do Rio de Janeiro, a ponte de Rio das Ostras, inaugurada em Abril de 2007, possui 66m de extensão, vão livre de 42m e 22m de largura. Com estrutura de tabuleiro metálico e mastros em concreto, possui dois mastros de sustentação com 35m de altura. Possui quatro faixas de rolamento (duas em cada sentido). O volume de concreto utilizado corresponde a 1,7 mil m³ e 210 mil kg aço. A estrutura metálica consumiu 268t de aço SAC 300. Possui 30 estais com média de 38 cordoalhas cada, chegando a um comprimento total de 42 mil metros de cordoalhas. O valor do projeto foi estimado em R\$15.000.000,00 e 720 dias de execução.
- Ponte Brasília – está localizada no Acre, possui 118m de extensão e 20m de largura. Valor estimado em R\$19.351.645,00 e 540 dias de

execução.. Quantidade de aço 191 mil kg e 2,1 mil m³ de volume de concreto.

- Ponte da Passagem – localizada em Vitória-ES é a primeira ponte no país em que os mastros são metálicos. As quatro torres metálicas (pilones- 65 toneladas/cada) e as duas caixas de ancoragens (85 toneladas/cada) foram montadas com uso de guindaste de 500 toneladas e lança de 100 metros. Foi erguida com aproximadamente 1700000 kg de aço e 8 mil m³ de concreto. A ponte é composta por seis pistas, tendo 228 metros de comprimento, 24 metros de largura. O vão principal tem 80 metros de extensão, o que garante um gabarito náutico de 50 m de largura x 8 m de altura. Valor estimado em R\$93.645.228,00 e 912 dias de execução.

- **Pontes em vigas de concreto:**

- Ponte Maia Filho – localizada em Salto do Jacuí-RS, possui 349 metros de extensão e 12 metros de largura. A quantidade de aço utilizada corresponde a 72254 kg e volume de concreto 1127 m³. O valor é estimado em R\$21.780.000,00 e 210 dias de execução. O tipo de solução estrutural possui vigas contínuas alma cheia I, soldada em campo; 3 longarinas por vão com transversinas.
- Ponte sobre o rio Coxipó – está localizada em Cuiabá-MT, possui 80 metros de extensão e 10,8 metros de largura, está localizada em Cuiabá. O valor de projeto é estimado em R\$5.100.000,00 e 180 dias de execução. O volume de concreto utilizado foi 974 m³ e 66440 kg de aço.
- Ponte sobre o rio Peixotinho II – localizada na MT-322 e divide o território de Peixoto e Matupá, no estado de Mato Grosso, possui 125 metros de extensão e 8,8 metros de largura. Custo estimado em

R\$4.500.000,00 e 160 dias de execução. A quantidade de aço utilizada corresponde a 67560 kg e volume de concreto 1001 m³.

- **Pontes em arco:**

- Ponte São Caetano – localizada em São Caetano do Sul - SP, possui 58 metros de extensão e 12 metros de largura. Solução estrutural composta por arco metálico que sustentam as vigas principais. Valor estimado em R\$9.547.000,00 e 315 dias de execução. O consumo de concreto e aço corresponde respectivamente a 365 m³ e 250000 kg.
- Ponte dos Barrageiros – está localizada em Itapura - SP, possui 80 metros de extensão e 12 metros de largura, Valor estimado em R\$7.719.832,00 e 290 dias de execução. Foi erguida com aproximadamente 327 m³ de concreto e 400 mil kg de aço.
- Ponte Boulevard Arrudas – localizada em Belo Horizonte - MG, possui 77 metros de extensão e 13 metros de largura. Valor estimado em R\$8.667.432,00 e 301 dias de execução. O volume de concreto utilizado corresponde a 294 m³ e consumo de aço 246 mil kg.

Figura 10: Tabela de formação de índices

	PONTE	COMPRIMENTO	LARGURA	Área (m ²)	VALOR (R\$)	Índice/m ²	TEMPO DE EXECUÇÃO (dias)
ESTAIADA	RIO DAS OSTRAS	66	20	1320	R\$ 15.000.000,00	R\$ 11.363,64	720
	BRASILÉIA	118	12	1416	R\$ 19.351.645,00	R\$ 13.666,42	540
	PONTE DA PASSAGEM	228	24	5472	R\$ 93.645.228,00	R\$ 17.113,53	912
VIGAS	MAIA FILHO	349	12	4188	R\$ 21.780.000,00	R\$ 5.200,57	210
	PONTE SOBRE O RIO COXIPÓ	80	10,8	864	R\$ 5.100.000,00	R\$ 5.902,78	180
	PONTE SOBRE O RIO PEIXOTINHO II	125	8,8	1100	R\$ 4.500.000,00	R\$ 4.090,91	160
ARCO	PONTE SÃO CAETANO DO SUL	58	12	696	R\$ 9.547.000,00	R\$ 13.716,95	315
	PONTE DOS BARRAGEIROS	80	12	960	R\$ 7.719.832,00	R\$ 8.041,49	290
	PONTE BOULEVARD ARRUDAS	77	13	1001	R\$ 8.667.432,00	R\$ 8.658,77	301

Fonte: Autor (a)

A figura 10 apresenta uma tabela com resumo das informações sobre as pontes que foram relacionadas para o presente estudo e foram extraídas de editais de licitações publicadas em páginas de internet e trabalhos científicos.

Entre as primeiras verificações na formação de índices pode-se notar que há uma variação considerável de valores de índice e tempo de execução para cada modelo.

. Visando uma equalização dos índices coletados, foi feita uma média representativa entre os índices de cada grupo. A representatividade é apenas para fins de estudo, como mostra a figura 11.

4.2. Relação entre os resultados produzidos e suas vantagens e desvantagens

As relações de solução técnico-econômica quando vista de maneira objetiva e direta forma-se um conceito simplificado do que etimologicamente o custo benefício para uma obra de arte realmente significa.

Desta forma os dados apresentados devem ser vistos como além de uma necessidade de acesso, uma obra de arte agradável aos olhos tendo-se também os pontos de vistas arquitetônicos que além de suprir uma necessidade (transpor obstáculos) emprega-se um espetáculo de beleza a parte.

A relação que representa a particularidade e peculiaridade do grupo será a base para as próximas ponderações no decorrer do presente trabalho como mostra a figura 11.

Figura 11: Tabela de índices Representativos

TIPO	Índice/m ²	Tempo Médio de Execução (dias)
Ponte estaiada	R\$ 14.047,86	817
Ponte em vigas de concreto	R\$ 5.064,75	197
Ponte em arco	R\$ 10.139,07	301

Fonte: Autor (a)

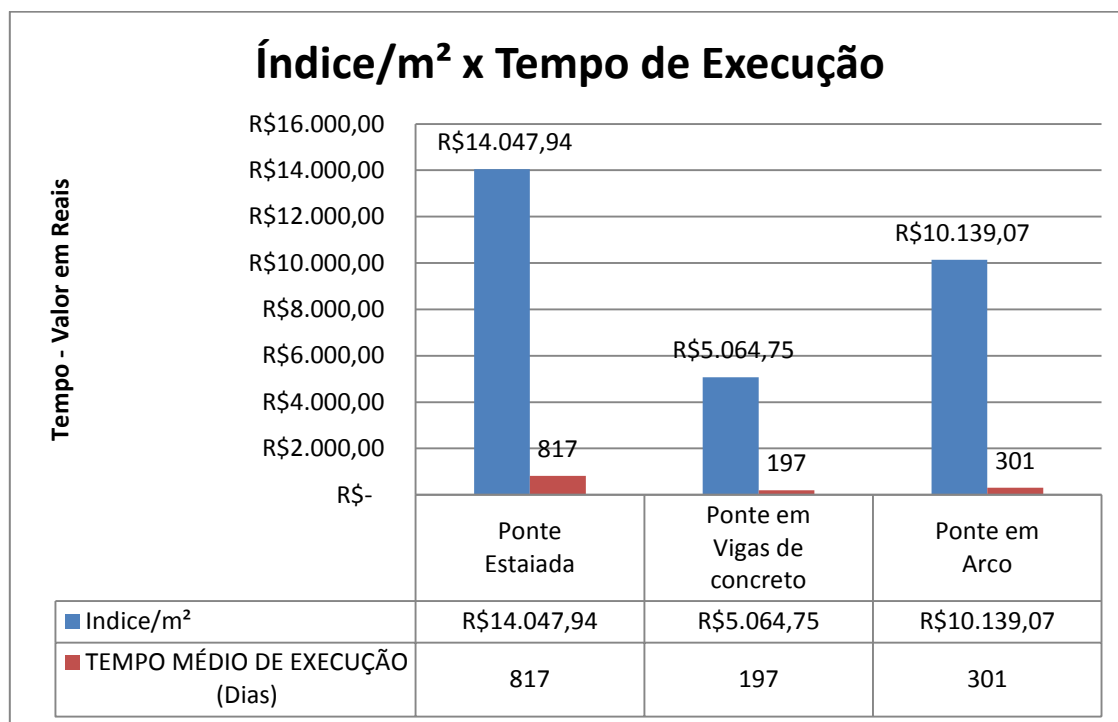
O primeiro modelo representativo do grupo em que na tabela foi denominada Ponte estaiada, além de o valor ser relativamente alto por metro quadrado, o seu tempo de execução em dias e o consumo de materiais também foi justificado pela mesma possuir um sistema construtivo diferenciado e estar suspensa por cabos de aço especiais.

O seu sistema construtivo que lhe garante grandes vãos liga uma intensidade de carga que por vezes pode justificar a robustez de suas fundações, mas por outro lado sua flexibilidade quanto a altura e seu dinamismo para aceitação de cargas.

Uma relação que deve ser bem avaliada em uma tomada de decisão ao se escolher uma ponte estaiada é quanto ao local onde será executada. Quando dentro da cidade a valorização dos ambientes próximos é significativa tanto para a cidade quanto para a referência histórica que se adquire com a aquisição.

O gráfico 1 mostra os valores dos índices com a representação de cada grupo junto ao seu tempo de execução sendo o mesmo resultante da tabela 11.

Gráfico 1: Índices/m² - Tempo de Execução



Fonte: Autor (a)

O segundo modelo Pontes em Vigas de Concreto possui características apreciáveis quanto ao custo e consumo de materiais, mas infelizmente com muitas limitações referente à altura e vão tendendo a robustez excessiva das peças nas variações gradativas dos vãos.

O fator tempo de execução e a visão ligada diretamente à economia e necessidade fazem o uso dessa opção o menor custo inicial.

O terceiro modelo (com usabilidade diminuta em terras brasileiras) que é a ponte em arco. As suas vantagens vão desde o modelo de distribuição das forças não fragilizando a parte central da peça e sim as direcionando para os apoios.

Entre os fatores que se pressupõe como desvantagens esta no nível de acabamento especial além da quantidade de suportes para sustentar a mesma independente do modelo de tabuleiro inferior ou superior.

4.3. Comparação dos métodos construtivos quanto ao consumo de materiais

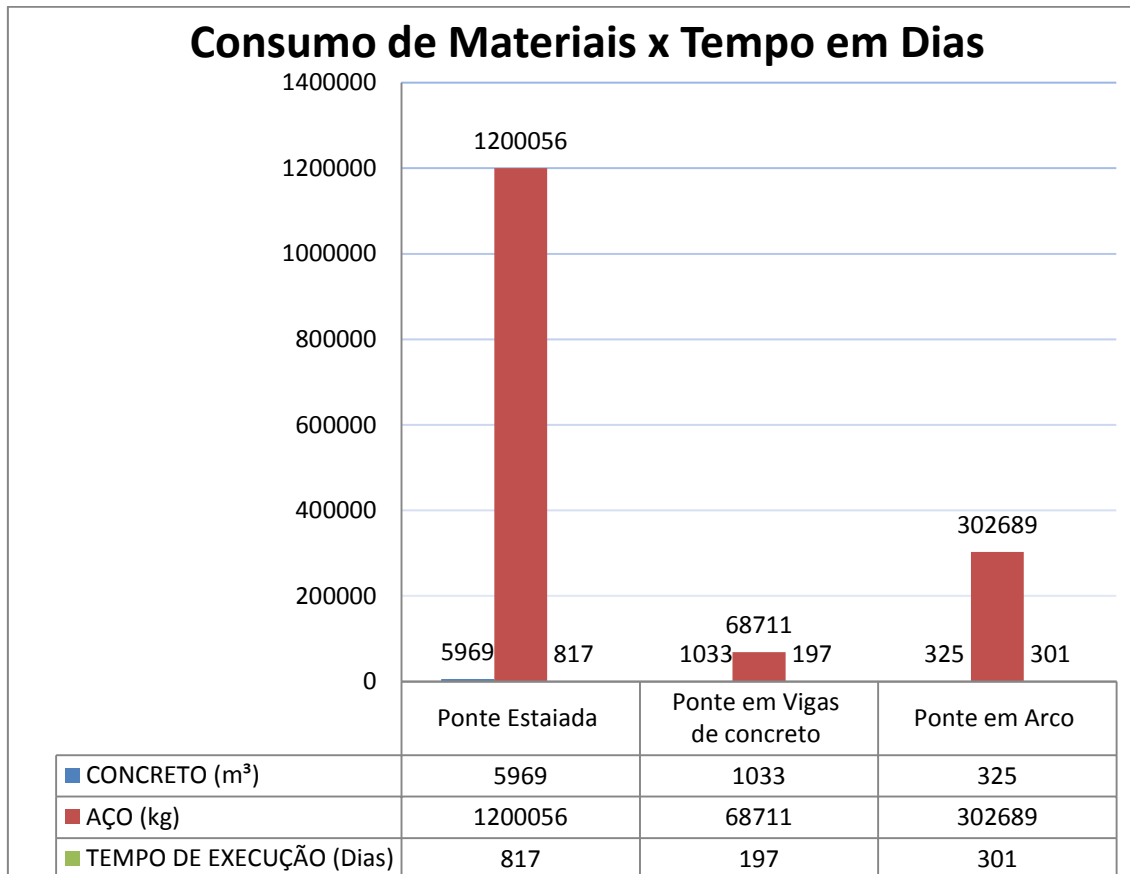
Um dos e se não o mais importante dos dados a serem avaliados para que sejam cruzados com as informações dos índices de valores por metro quadrado, são os parâmetros de consumo de materiais, que tem impacto direto no tempo de execução e a oneração na execução.

Para obtenção do quantitativo de materiais/m², foi feito uma média ponderada em função da área da ponte buscando uniformização dos dados.

Como mostra o gráfico 2, os tipos de materiais consumidos pela estrutura da ponte e sua tipologia por completo tem influência significativa. A própria execução referenciada em proporções de peças gera tempo extra tanto pelo cuidado de logísticas das peças quanto seu armazenamento em canteiro. Um exemplo claro de fatores que agregam tempo de execução de uma ponte estaiada se da inicialmente pelos volumes e formatos das peças deixando sua execução lenta isso sem considerar as inspeções de cada etapa, deixando ainda mais volume de tempo com aproveitamento reduzido, além da exigência

de uma mão de obra com qualificação diferenciada e auxílio de máquinas especiais.

Gráfico 2: Consumo de Materiais x Tempo de Execução



Fonte: Autor (a)

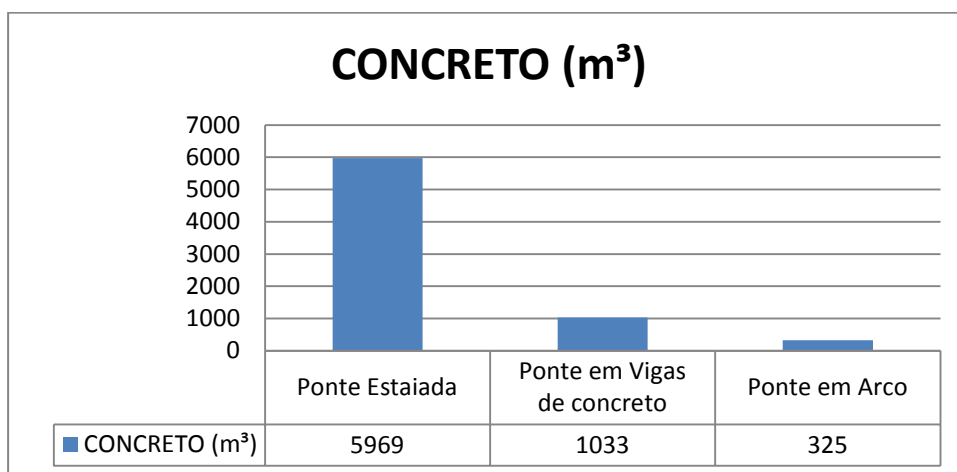
Em um âmbito geral uma comparação entre métodos tão distintos de construção e constituição de materiais envolvendo sua execução, só é válida quando o objetivo da avaliação englobam fatores que se relacionam.

Em outros termos os fundamentos que originam os projetos e concepções no qual tem o mesmo objetivo de ligar ou cruzar obstáculos em nível, tratam de forma totalmente diferente a maneira que o uso dos materiais são aplicados em diferentes formas e capacidade de trabalho.

A variabilidade de proporções explícita no gráfico 2, ainda que em posse de uma representação objetiva, não esboça uma posição tão direto em comparação a uma com valores de referência proporcional.

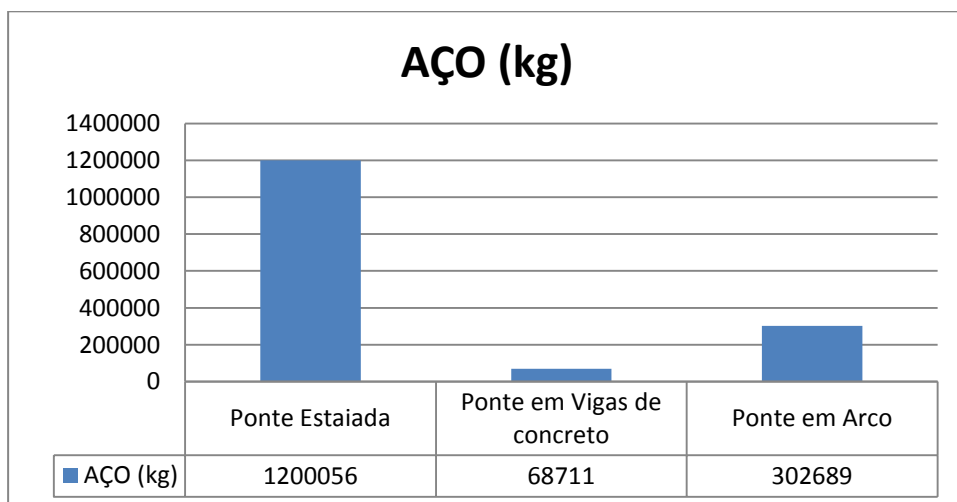
Os gráficos de números 3 e 4 mostrados a seguir, formados a partir dos valores representativos do grupo estudado, possui uma formação mais isolada do que seus antecessores, fazendo com que a análise pontual seja através de um tópico específico mais ampla em sua grandeza mesmo que não proporcional em todos os aspectos.

Gráfico 3: Consumo de Concreto



Fonte: Autor (a)

Gráfico 4: Consumo de Aço



Fonte: Autor (a)

4.4. Comparação dos sistemas estruturais completos e seu custo benefício

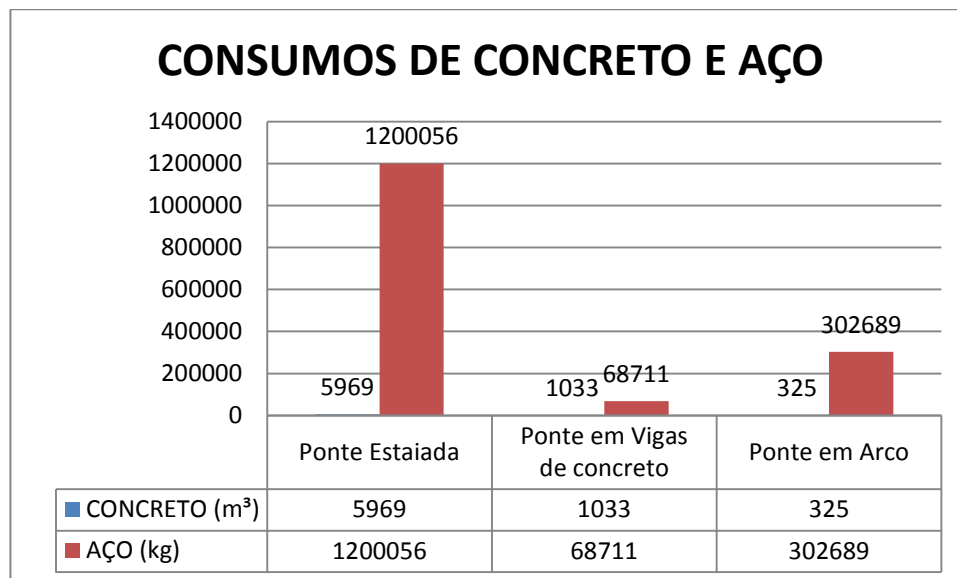
As fases anteriores do estudo desde a formação de índices até as comparações de métodos serviram de base para a comparação do sistema estrutural completo, pois os conjuntos de índices explícitos anteriormente em forma e valores matemáticos e expressões gráficos trabalhados por índices.

Essa razão onde o índice irá trabalhar por diante seria uma comprovação que os índices aplicados no modelo têm realmente a consistência esperada dentro do intervalo delimitado como padrão de pontes com mesma grandeza no que se refere à área em metros quadrados da ponte.

A aplicação de um índice em um intervalo definido de área serve como modulação para que os índices tenha uma resultante para o modelo de estudo e quantificação e deixe de ser um fator multiplicador. O mesmo serve também para estimativa de qualquer dimensão que contemple uma área em metros quadrados.

A sequência para o objetivo do presente trabalho mesmo com as comparações e índices aplicados em intervalos se aproxima ainda mais dos valores reais quando se envolve além de valores consumos de materiais.

O gráfico de número 6 mostra o comparativo dos consumos de materiais entre os modelos estudados onde em um pré-estudo justificaria a maioria das tomadas de decisões onde houvesse qualquer restrição sendo ela de custo ou racionalização de materiais.

Gráfico 5: Comparação de Consumo de Materiais

Fonte: Autor (a)

De maneira análoga ao gráfico posterior, o gráfico de consumo de concreto e aço visa o refino dos resultados estimados através dos índices.

A intenção da comparação entre os modelos, por se tratar de uma comparação entre modelos tão distintos contempla a necessidade real de carência de estudos iniciais para decisões entre quais modelos de ponte decidir na fase de projeto.

Ainda que a intenção de um comparativo seja deferir entre melhor e pior opção os resultados obtidos esclarecem as funções, custos e consumos, mas fica ainda a decisão final a caráter das tipologias e a própria arte que uma ponte expressa em sua magnitude e imponência ao ser executada.

5. CONCLUSÃO

- Os resultados obtidos com o estudo, mostra que para escolha de uma determinada tipologia, a relação de solução técnico-econômica está intimamente ligada à localização desta obra, aos equipamentos disponíveis para execução e ainda ao vão que se deseja vencer. Cada tipologia de ponte lida de uma forma diferente com a absorção das forças de tração e compressão.
- O estudo mostrou que as pontes em vigas possuem um menor custo em relação às demais, entretanto, possui limitações relativas à distância entre um apoio e outro. Geralmente são indicadas para pequenos vãos.
- As pontes estaiadas apresentou um valor relativamente alto. Deve-se levar em consideração o alto consumo de materiais e ainda os custos com a execução da fundação desta obra.
- A formação dos índices de valores poderá ser aplicado a qualquer intervalo, fazendo assim uma previsão de preço caso uma proposta real esteja sendo avaliada.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Sérgio Marques Ferreira de; SOARES, Paulo Sérgio. Superestruturas de Pontes Rodoviárias, 1ª ed. Niterói, EDUFF, 1986.

ALMEIDA, Sérgio Marques Ferreira de; SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; CORDEIRO, Thomas José Ripper. Processos construtivos de pontes e viadutos pré-moldados no Brasil, 1 Congresso Nacional da Indústria de Pré-fabricação em Betão, Porto-Portugal, v.1, p.139-154, 2000.

ARAÚJO, Daniel de Lima. Projeto de ponte em concreto armado com duas longarinas/ Daniel de Lima Araújo.-Goiânia : FUNAPE, Editora UFG, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: Informação e documentação – Apresentação de citações em documentos. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10839**: Execução de Obras de Arte Especiais em Concreto armado e protendido. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: Informação e documentação – Trabalhos acadêmicos - apresentação. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7187**: Projeto e Execução de Pontes de Concreto Armado e Protendido. Rio de Janeiro, 2003.

BRASIL, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. Manual de projeto de obras-de-arte especiais – Rio de Janeiro, 1996. 225p. (IPR, Publ., 698).

CARDOSO, Alexandre Magno Lima. Estudo da rigidez efetiva do cabo de pontes estaiadas. São Carlos-SP. 2013.

CARVALHO, André Cavalieri Parra de; Pontes em balanço progressivo: Análise de esforços e deslocamentos. São Carlos-SP, 2010.

EL DEBS, Mounir Khalil; TAKEYA, Toshiaki. Introdução às pontes de concreto. Texto Provisório de Apoio à Disciplina SET – 412. São Carlos-SP, 2007.

GAVIOLI, Edmilson Roberto. Análise de tabuleiros de pontes formados por elementos pré-moldados mediante método da grelha: recomendações de

projeto e comparações dos valores teóricos com experimentais / Edmilson Roberto Gavioli. São Carlos, 1998.

GOMES, Izak da Silva. Sistemas construtivos de pontes e viadutos com ênfase em lançamento de vigas com treliças lançadeiras / Izak da Silva Gomes 2006.

GOMES, Renan Ribeiro Setubal. Aspectos técnicos e construtivos do projeto de uma ponte estaiada. / Renan Ribeiro Setubal Gomes – 2013.

MARCHETTI, Osvaldemar. Pontes de concreto armado/ Osvaldemar Marchetti – São Paulo: Blucher, 2008.

MASON, Jayme. Pontes em Concreto Armado e Protendido, 1ª ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1977.

MATTOS, T.S., 2001, Programa para Análise de Superestruturas de Pontes de Concreto Armado e Protendido. Dissertação de Mestrado, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

O'CONNOR, C. Pontes: superestruturas- vol. 1. São Paulo: ed. Da Universidade de São Paulo, 1975.

MILLER, Cristiano Pena; BARBOSA, Leandro Rosa; PESSANHA; Maikon Caetano Ramos. Dimensionamento estrutural de uma ponte em concreto armado. Campos dos Goytacazes-RJ, 2005.

PFEIL, Walter. Cimbramentos. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1987. 431 p.

PINHO, Fernando Ottoboni. Pontes e viadutos em vigas mistas/Fernando Ottoboni Pinho, Ildony Hélio Bellei. – Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2007. (Série Manual de Construção em Aço).

PRETTI. Bruno de Moraes. Pontes em pórtico de pequeno vãos com superestrutura formada de elementos pré-moldados: estudo de caso. Dissertação (mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, 1995.

Relatório de pesquisa RDT - Concepa/Deltacon - Solução estrutural para alargamento de pontes existentes sem reforço de fundação – solução mista em concreto e aço Deltacon Engenharia Ltda Dezembro, 2011.

ROSENBLUM, Anna. Pontes em estruturas segmentadas pré-moldadas protendidas: análise e contribuições ao gerenciamento do processo construtivo / Anna Rosenblum. -2009.

RUDLOFF – Catálogo Concreto Protendido. São Paulo, 2008.

Tabuleiros de pontes em vigas pré-moldadas protendidas com continuidade – Aspectos de projeto e construção.

YTZA, Maria Fernanda Quintana. Métodos construtivos de pontes estaiadas – estudo da distribuição de forças nos estais, 2009.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE MINAS GERAIS (SINDUSCON-MG). Custo Unitário Básico (CUB/m²). Belo Horizonte: Sinduscon-MG, 2013. 28 p.

<http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/pontes/tabcel01> - Acesso em 02 de Setembro de 2016.

<http://ciencia.hsw.uol.com.br/pontes1.htm> - Acesso em 05 de Outubro de 2016.

<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/10/estruturas-estaiadas-aplicacoes-indicadas-tipos-de-ancoragem-e-de-243545-1.aspx> - Acesso em 30 de Agosto de 2016.

<http://sobrenco.com.br/noticias.html> - Acesso em 28 de Agosto de 2016.

<http://www.atrativaengenharia.com.br/NOVO/Site/ObrasExecutadas.php> – Acesso em 28 de Agosto de 2016.

<http://www.cbca-acobrasil.org.br/banco-de-obras/obras-detalhes.php?cod=90201&q=Ponte+sobre+o+Rio+das+Ostras+-+RJ> – Acesso em 28 de Agosto de 2016.

<http://www.cbca-acobrasil.org.br/banco-de-obras/obras-detalhes.php?cod=90430&q=Ponte+Brasil%E9ia+-+Acre> – Acesso em 28 de Agosto de 2016.

<http://www.cbca-acobrasil.org.br/banco-de-obras/obras-detalhes.php?tipo=tipologia&cod=90426> – Acesso em 28 de Agosto de 2016.

http://www.dnit.gov.br/@@busca?b_start:int=10&SearchableText=ponte – Acesso em 29 de Agosto de 2016.

<http://www.paineira.eng.br/tipos-de-ponte-mais-comuns/> - Acesso em 30 de Agosto de 2016.

<http://www.pirituba.net/ponte/> - Acesso em 02 de Setembro de 2016.

<http://wwwo.metlica.com.br/ponte-estaiada-com-torres-metalicas-em-vitoria-es> – Acesso em 28 de Agosto de 2016.

<http://wwwo.metlica.com.br/ponte-viaduto-e-passarela-tipos-de-tabuleiro> - Acesso em 30 de Agosto de 2016.