



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
Universidade Federal de Ouro Preto - Escola de Minas
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil



PASSARELAS URBANAS EM ESTRUTURA DE AÇO

AUTOR: ANTÔNIO DE PÁDUA FELGA FIALHO

ORIENTADOR: Prof. Luiz Fernando Loureiro Ribeiro

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração: Construções Metálicas.

Ouro Preto, Outubro de 2004

F438p

Fialho, Antônio de Pádua Felga.

Passarelas Urbanas em estrutura de aço [manuscrito]. / Antônio de Pádua Felga Fialho. - 2004.

xviii, 118f. : il., tabs., mapas.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Loureiro Ribeiro.

Área de concentração: Construção Metálica.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil.

1. Estruturas metálicas - Teses. 2. Pontes – Projetos e construção - Teses. 3. Construção metálica - Teses. 4. Aço – Estruturas - Projetos estruturais – Teses. I.Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil
II.Título.

CDU: 624.014.2: 72

Catálogo: sisbin@sisbin.ufop.br

PASSARELAS URBANAS EM ESTRUTURA DE AÇO

AUTOR: ANTONIO DE PADUA FELGA FIALHO

Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 30 de outubro de 2004, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Luiz Fernando Loureiro Ribeiro (Orientador / UFOP)

Prof. Dr. XXX

Prof. Dr. XXX

AGRADECIMENTOS:

Ao Professor Dr. Luiz Fernando Loureiro Ribeiro pela paciência e compreensão de minhas limitações.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, pelo enorme conhecimento a mim transmitido que mudou e ampliou de forma definitiva minha visão das estruturas e das construções em aço.

Ao Centro Universitário Izabela Hendrix, pelo incentivo e apoio que viabilizaram minha participação neste mestrado.

À Davila Arquitetura por compreender e aceitar minhas ausências.

Aos companheiros “de van” Abrão, Marilda, Eduardo, Hilda, Regina e Ezequiel, companheiros de jornada, pela amizade, pelas discussões, conversas, e planos nem sempre realizáveis, tudo acompanhado de música boa e variada, e que me farão sentir saudade desta etapa de minha vida.

A todos aqueles que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

A minha mulher Lais e meus filhos João e Pedro, pelo apoio, carinho e amor, essenciais e fundamentais a qualquer realização.

SUMÁRIO:

RELAÇÃO DE FIGURAS:	viii
RELAÇÃO DE TABELAS:	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	xiv
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. GENERALIDADES.....	1
1.2. OBJETIVO.....	1
1.3. CONTEÚDO.....	2
2. CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA.....	4
3. PASSARELAS.....	19
3.1. ACESSO.....	19
3.2. ESCADAS.....	22
3.3. RAMPAS.....	25
3.4. TABULEIROS.....	26
3.5. VEDAÇÕES.....	31
4. LEGISLAÇÃO	36
5. ESTÉTICA DAS PASSARELAS	40
5.1. FUNÇÃO.....	40
5.2. PROPORÇÃO.....	42
5.3. HARMONIA.....	45
5.4. ORDEM E RITMO	46
5.5. CONTRASTE E TEXTURA	47
5.6. LUZ E SOMBRA	48
6. SISTEMAS ESTRUTURAIS	51
6.1. TIPOS DE SISTEMAS ESTRUTURAIS	51
6.2. ARCO.....	52
6.2.1. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA	52
6.2.2. ELEMENTOS E COMPOSIÇÃO:	55

6.2.3.	POSIÇÃO DA ESTRUTURA:.....	55
6.2.4.	PONTOS POSITIVOS E NEGATIVOS:.....	56
6.2.5.	EXEMPLOS.....	57
6.3.	TRELIÇA.....	60
6.3.1.	CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA	60
6.3.2.	ELEMENTOS E COMPOSIÇÃO	61
6.3.3.	POSIÇÃO DA ESTRUTURA.....	63
6.3.4.	PONTOS POSITIVOS E NEGATIVOS.....	64
6.3.5.	EXEMPLOS.....	64
6.4.	VIGAS.....	67
6.4.1.	CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA	67
6.4.2.	ELEMENTOS E COMPOSIÇÃO	68
6.4.3.	POSIÇÃO DA ESTRUTURA.....	71
6.4.4.	PONTOS POSITIVOS E NEGATIVOS.....	71
6.4.5.	EXEMPLOS.....	72
6.5.	SUSPENSAS – PÊNSIL	75
6.5.1.	CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA	75
6.5.2.	ELEMENTOS E COMPOSIÇÃO:	77
6.5.3.	POSIÇÃO DA ESTRUTURA:.....	78
6.5.4.	PONTOS POSITIVOS E NEGATIVOS.....	78
6.5.5.	EXEMPLOS.....	79
6.6.	ESTAIADA.....	82
6.6.1.	CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA	82
6.6.2.	ELEMENTOS E COMPOSIÇÃO	84
6.6.3.	POSIÇÃO DA ESTRUTURA.....	85
6.6.4.	PONTOS POSITIVOS E NEGATIVOS.....	86
6.6.5.	EXEMPLOS.....	86
7.	CONCEPÇÃO E PROJETO DE PASSARELAS	89
7.1.	METODOLOGIA DE PROJETO	92
7.2.	CRITÉRIOS DE ESCOLHA	94
7.2.1.	O LOCAL	95

7.2.2.	A PASSARELA.....	96
7.2.3.	A IMPLANTAÇÃO	97
8.	ESTUDO DE CASO	100
8.1.	APLICAÇÃO DA MATRIZ MULTICRITERIAL	104
8.1.1.	O LOCAL	104
8.1.2.	A PASSARELA.....	106
8.1.3.	A IMPLANTAÇÃO	107
8.1.4.	CONCLUSÃO	110
9.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	114

RELAÇÃO DE FIGURAS:

Figura 2.1 – Transposição de córrego através de troncos de árvores.....	4
Figura 2.2 – Ponte rudimentar em madeira	5
Figura 2.3 – Ponte em arco de pedras rudimentar	5
Figura 2.4 – Arco romano em treliça de madeira rudimentar.....	6
Figura 2.5 – Arco romano em Pont du Gard, Nîmes, France	6
Figura 2.6 – Ponte em arco de pedra na China.....	7
Figura 2.7 – Ponte em arcos no Japão	7
Figura 2.8 – Ponte de Londres sobre o Tâmis, 1209.....	8
Figura 2.9 – Ponte Vecchio sobre o Arno, Florença	9
Figura 2.10 – Ponte de Neuilly sobre o Sena – 1772.....	10
Figura 2.11- Sistema construtivo com utilização de formas em todos os vãos simultaneamente, ponte de Neuilly.....	10
Figura 2.12 – Ponte de Coalbrookdale, sobre o Severn, Inglaterra, 1779,.....	11
Figura 2.13 – Coalbrookdale, arco em ferro fundido, com detalhes inspirados nas construções de madeira.....	12
Figura 2.14 – Demonstração empírica do sistema estrutural da ponte Firth of Forth	13
Figura 2.15 – Seqüência de Montagem da ponte.....	13
Figura 2.16 – Ponte de Firth of Forth, Escócia	13
Figura 2.17- Ponte Danúbio, Stadlau, Áustria em viga continua	14
Figura 2.18 - Segunda ponte Dirshau sobre o Rio Vistula, 1891.....	14
Figura 2.19 - Ponte Britânia: duas vigas caixão com ferrovia interna.	14
Figura 2.20 - Ponte Britânia. Seção de uma das vigas caixão	14
Figura 2.21- Pont de Arts, passarela sobre o rio Sena, Paris em arcos ferro fundido, 1803.	14
Figura 2.22 – Passarela Saint Georges sobre o rio Rhone em Lyon, França. Tabuleiro suspenso, 1844.....	14
Figura 2.23 Millenium Bridge, passarela sobre o Tamisa em Londres.....	16

Figura 2.24 - Detalhe da sustentação dos cabos.....	16
Figura 2.25 - Detalhe do sistema estrutural.....	16
Figura 2.26 - Passarela Japão – La Defense, Paris.....	17
Figura 2.27 - Passarela “dobrável” em Kiel, Alemanha.....	17
Figura 2.28 - Passarela Barqueta em Sevilha, Espanha. Arco com tabuleiro suspense.....	17
Figura 2.29 - Fig. Passarela Brucke sobre autopista A3 Alemanha, cabo estaiado em harpa e tabuleiro excêntrico.	17
Figura 2.30 - Passarela em Rijeka, Croácia.....	17
Figura 2.31 – Passarela em Löwentorbrücke, Stuttgart, suspensa em cabos e contracabos que servem também de sustentação para trepadeiras.....	17
Figura 2.32 - Passarela em parabolóide hiperbólico, em Manchester, Inglaterra....	18
Figura 2.33 - Passarela Trinity em Manchester, Inglaterra.	18
Figura 3.1 - Acessos: situação A.....	19
Figura 3.2 - Acessos: situação B.....	20
Figura 3.3 - Acessos: situação C.....	20
Figura 3.4-Passarela em arco rampado, Ansbach, Alemanha.....	21
Figura 3.5 - Passarela em arco rampado, suspenso, Duisburg, Alemanha.....	22
Figura 3.6-Acesso em escada vaivém coberta. Avesta, Suécia.....	23
Figura 3.7-Acesso em escada direta e elevador. Passarela Millenium, Denver.....	23
Figura 3.8-Acesso em escada. Passarela Trinity, Londres.....	24
Figura 3.9-Acesso em escada ‘aberta’. Girona, Espanha.....	24
Figura 3.10-Acesso em rampa. Passarela em pórtico com tabuleiro suspenso. Dusseldorf.....	26
Figura 3.11-Acesso em rampa, a passarela coberta, Santista Alimentos, São Paulo.	26
Figura 3.12-Tabuleiro com viga central em aço. Passarela Saint Georges, Lyon.....	28
Figura 3.13-Tabuleiro em aço revestido de alumínio, Londres.....	28
Figura 3.14-Fabricação de tabuleiro em viga caixão de aço . Rijeka, Croácia.....	29
Figura 3.15-Tabuleiro com acabamento(Rijeka, Croácia)	29

Figura 3.16-Tabuleiro em concreto, pilares tubulares tipo arvore. Pragsattel, Stuttgart.....	30
Figura 3.17-Tabuleiro em madeira,	30
Figura 3.18-Guardacorpo em vidro laminado Rijeka, Croácia.....	31
Figura 3.19-Guardacorpo em perfil tubular e cabos de aço, Londres.....	32
Figura 3.20-Guardacorpo em tela metálica, Ansbach.....	32
Figura 3.21-Guardacorpo em ferro fundido, Nova York,.....	33
Figura 3.22-Cobertura em argamassa armada, Belo Horizonte.....	34
Figura 3.23-Vedação lateral e cobertura em chapa de alumínio, e janelas em vidro.	34
Figura 3.24- Vedação em vidro laminado curvo, La Defense, Paris.....	35
Figura 3.25- Guardacorpo em chapa perfurada. Demorieux, Le Mans.....	35
Figura 4.1-Gabarito para rodovias adotado na Alemanha.	36
Figura 4.2-Gabarito adotado para as rodovias no Brasil.....	37
Figura 4.3-Gabarito para definição para o menor vão livre.	37
Figura 4.4 - Gabarito ferroviário brasileiro, linha simples e dupla.	38
Figura 5.1 – Passarela do Millenium Londres,	41
Figura 5.2 – Pssarela de Rijeka.....	42
Figura 5.3 - esquema de proporção na definição do desenho da seção transversal de uma ponte.....	43
Figura 5.4 - Exemplo de solução para "dualidade não resolvida"	44
Figura 5.5 - Exemplos de relação entre espaço positivo e negativo bem solucionada.....	44
Figura 5.6 - Relação entre vão e profundidade dos pilares.	45
Figura 5.7 - Proporção entre acesso e a passarela	46
Figura 5.8 - Elementos de travamento do tabuleiro criam leveza na aparência da viga e de todo o conjunto.....	48
Figura 5.9 - Influencia da sombra na percepção das formas.	49
Figura 6.1 - A Passarela Goodwill em Brisbane utiliza diversos sistema no seu desenvolvimento.....	52
Figura 6.2 - Esforços e reações do sistema em arco.....	53

Figura 6.3 - Tipos de arcos.....	54
Figura 6.4 - Elementos do Arco.....	55
Figura 6.5 - Posição do arco em relação ao tabuleiro.....	55
Figura 6.6 – Passarela de saint Maurice, Val de Marne, França.....	57
Figura 6.7 – Passarela Japão, La Defense, Paris.....	58
Figura 6.8 – Passarelle de la Faternité, Aubervilliers.....	59
Figura 6.9 - Elementos das treliças planas.....	61
Figura 6.10 - Treliça tipo Pratt.....	61
Figura 6.11 - Treliça tipo Howe.....	62
Figura 6.12 - Treliça tipo Wren.....	62
Figura 6.13 - Treliça tipo K.....	63
Figura 6.14 - Passarela Besos Yatch Port, Barcelona.....	65
Figura 6.15 -Passarela Greenside Place Lionk, Edinburgo.....	66
Figura 6.16 - Passarela do shopping center Mueller, Curitiba.....	67
Figura 6.17 - Vigas, elementos e apoios.....	68
Figura 6.18 – Seções.....	68
Figura 6.19 - Viga armada, tipos.....	69
Figura 6.20 - Viga Langer, esquema simplificado.....	69
Figura 6.21 - Viga Virendel.....	70
Figura 6.22 - Esquemas de pontes em viga Gerber.....	70
Figura 6.23 - Passarela sobre o rio Meno, Erlach/Neutad.....	72
Figura 6.24 - Passarela Sant Feliu, Girona.....	73
Figura 6.25 - passarelle du Moulin, sobre o rio Marne, França.....	74
Figura 6.26 – passarela em viga virendel de grande vão sobre rodovia inglesa.....	74
Figura 6.27 - Tipos de apoio.....	75
Figura 6.28 - Sistema pênsil: elementos.....	77
Figura 6.29 - Tipos de mastros e torres.....	77
Figura 6.30 - Tabuleiro apoiado sobre cabos suspensos laterais.....	78
Figura 6.31 - Passarela sobre o anel intermediário (Mittleren Ring) Munique.....	80
Figura 6.32 - Passarela sobre o anel intermediário (Mittleren Ring) Munique.....	80
Figura 6.33 – Passarela estaiada sustentando viga treliçada.....	81

Figura 6.34 - Passarela sobre o rio Meno, Frankfurt.	82
Figura 6.35 - Sistema estaiado.....	84
Figura 6.36 - Tipos de mastros.....	84
Figura 6.37 - Tipos de arranjos.....	85
Figura 6.38 - Millers Crossing Bridge, Exewick.....	87
Figura 6.39 - Passarelle du Parc de la Riviere-aux-Sables, Jonquiere, Quebec.	87
Figura 6.40 - Passarelle de la Cité des Moulins, Nice.....	88
Figura 6.41 - passarela em Ansbach, Alemanha.....	88
Figura 7.1 - Interação das capacidades exigidas no projeto de passarelas.....	89
Figura 7.2 - Equipe multidisciplinar de concepção e projeto de passarelas.....	90
Figura 8.1 - Localização da passarela.....	100
Figura 8.2 - Complexo viário Portal Sul.....	101
Figura 8.3 - Visão geral da passarela.....	102
Figura 8.4 - Tabuleiro em laje premoldada.....	103
Figura 8.5 - Treliça conforma tubo.....	103
Figura 8.6 - Pilar de extremidade.....	103
Figura 8.7 - Pilar intermediario.....	103
Figura 8.8 - Guarda corpo.....	104

RELAÇÃO DE TABELAS:

Tabela 3.1- Percurso e área para implantação de rampas, para desnível de 6,0m..	25
Tabela 7.1 - Matriz Muticriterial.....	98
Tabela 8.1 - Matriz Muticriterial.....	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BHTRANS	Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte S.A.
CET	Companhia de Engenharia de Tráfego DE São Paulo
CONTRAN	Conselho Nacional de Transito
DIN	Deutsches Institut für Normung – Normas Alemãs
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DTRAN	Departamento Nacional de Trânsito
ESDEP	European Steel Design Education Programme
NBR	Norma Técnica Brasileira
m ²	Metro quadrado - Unidade de área
m/s	Metro por Segundo – Unidade de velocidade
m	Metro – Unidade de distancia linear
kN/m ²	Kilonewton por metro quadrado – Unidade de carga, tensão.

RESUMO

Passarelas urbanas são pontes para pedestres que servem para promover a ligação entre duas áreas da cidade, separadas por algum obstáculo natural ou criado pelo homem.

O desenvolvimento das cidades, o surgimento do transporte ferroviário no século 18 e do automóvel no século 20, provocou inicialmente uma necessidade de separação entre tráfego de pedestres e de veículos. Com o crescimento desordenado das cidades e o aumento vertiginoso do tráfego de veículos, as vias destinadas a este tráfego tornaram-se verdadeiras barreiras aos pedestres, criando importantes rupturas no tecido urbano e grandes dificuldades de acessibilidade a diversas áreas da cidade. Assim as passarelas são hoje um equipamento de reconstituição do tecido urbano e instrumento de integração do pedestre ao espaço urbano.

Por outro lado, o desenvolvimento da tecnologia do aço coloca a estrutura metálica como uma solução bastante eficaz para a construção das passarelas devido à sua grande versatilidade, leveza, facilidade e rapidez de montagem.

O presente trabalho apresenta uma visão geral do tema passarelas urbanas em estruturas de aço, realizando um estudo que discute suas características, elementos componentes, e legislação existente no Brasil e no exterior. Analisa, a partir de uma série de aspectos, a questão estética referente à configuração física e expressão formal das passarelas, bem como os principais sistemas estruturais utilizados nas passarelas em estrutura de aço, abordando seu comportamento, principais características, adequação a vãos e principais pontos positivos e negativos referentes à sua utilização, execução e montagem.

É apresentada também uma análise dos processos de concepção e projeto das passarelas, relatando-se algumas metodologias de planejamento e de estabelecimento dos principais critérios de definição de sua localização, de seus parâmetros de dimensionamento e estabelecimento de suas características físicas, além de discutir alguns dos principais problemas encontrados no seu planejamento, concepção e projeto.

Um sistema de análise e estudo das variáveis objetivas e subjetivas, importantes no processo de definição do sistema estrutural a ser utilizado na concepção das passarelas em aço, é proposto através da utilização de matriz multicriterial, que avalia a adequação dos sistemas estruturais a aspectos referentes à localização, características pré-determinadas das passarelas e sua implantação. É apresentando um estudo de caso demonstrando a utilização do processo a partir da confrontação com uma passarela já executada em Belo Horizonte.

Por fim são apresentadas as considerações finais e indicadas algumas possibilidades de desenvolvimento de trabalhos que aprofundem o estudo e conhecimento das passarelas em estrutura de aço, bem como seu processo de planejamento, concepção, projeto, execução e montagem.

Palavras-chave: Passarelas urbanas, Projeto de passarelas, Sistemas estruturais, Estruturas metálicas.

ABSTRACT

Urban footbridges are pedestrian bridges which link two different parts of a city split by natural or man-made obstacles. The development of the modern city along with breakthroughs in rail transportation in the 18th century followed by the automobile in the 20th century created the necessity for the separation of pedestrian and vehicle traffic. Because of the random growth of cities and the increase in the number of vehicles, roads became true barriers to pedestrians causing major urban mesh ruptures and difficulty in access to different parts of the city. Therefore, today, footbridges serve as tools of urban mesh reconstitution vital in integrating the pedestrian to the urban space.

Furthermore, the development of steel technology made the metallic structure an efficient solution to footbridges construction due to its light weight, versatility in assembly, ease of use and agility.

This dissertation presents an overview of the urban footbridges using metallic structure, discussing its characteristics, components and legislation in Brazil and abroad regulating its use. This paper analyses, from a set of aspects, aesthetic questions related to physical configuration and formal expression. The main structural systems used in metallic structures, their behavior, main characteristics, span adequacy and significant positive and negative aspects concerning usage, construction and assembly are also investigated. An analysis of the processes of conception and design of footbridges is presented as well, setting down some planning methodologies and defining main criteria for location, size parameters and the establishment of physical characteristics while relating some of the main problems found in planning, conception and design.

A system for analyzing and studying important objective and subjective variables important in the process of defining the structural system to be utilized in the design of footbridges is proposed. A multi-criteria matrix which evaluates the suitability of structural systems to location, pre-determined characteristics of footbridge and implantation is laid out. A case study is presented showing the usage of the process on a pre-existing footbridge in Belo Horizonte.

Finally, some last considerations are presented and possibilities are indicated with respect to developing projects which go further in the study of metallic structure pedestrian overpasses and the processes of planning, conception, design, construction and assembly.

Key-words: Urban footbridges, Design of footbridges, Structural system, Metallic structure

1. INTRODUÇÃO

1.1. GENERALIDADES

As passarelas urbanas são hoje um equipamento importante na ordenação de nosso trânsito e na solução dos problemas de acessibilidade para pedestres. Mesmo sendo um equipamento urbano tão importante, existe pouquíssima bibliografia específica, não só no Brasil como no exterior. Diversos aspectos relacionados às passarelas são citados e estudados, como casos específicos, em bibliografia relacionada a pontes. A maior parte da informação é encontrada em artigos dos diversos periódicos especializados em estruturas de aço, no Brasil (pouco) e exterior. Para se ter uma idéia de como o tema só recentemente tem ganhado interesse e tratamento específico, o primeiro e único congresso dedicado às passarelas urbanas foi realizado em Paris, França, em novembro de 2002. Os anais do congresso contém diversos estudos e dissertações referentes a variados temas relacionados às passarelas, mas ainda predominam aqueles referentes a aspectos específicos relativos a cálculo e dimensionamento de sua estrutura.

1.2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é realizar um estudo sobre passarelas urbanas em estruturas de aço, a partir da legislação existente no Brasil e no exterior, dos sistemas estruturais utilizados, dos principais critérios de definição de sua localização, bem como dos parâmetros e características das passarelas, além de discutir alguns dos principais problemas encontrados no seu planejamento, concepção e projeto.

O levantamento e organização de informações de diversas áreas de conhecimento, de engenharia civil, engenharia de tráfego, arquitetura e urbanismo, em um único trabalho, permitirá uma visão mais global do problema e poderá ser fonte de consulta para arquitetos e engenheiros que se interessarem pelo tema.

1.3. CONTEÚDO

O trabalho está organizado em 8 capítulos:

- 2- CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA
- 3- PASSARELAS
- 4- LEGISLAÇÃO
- 5- ESTÉTICA DAS PASSARELAS
- 6- SISTEMAS ESTRUTURAIS
- 7- CONCEPÇÃO E PROJETO DE PASSARELAS
- 8- ESTUDO DE CASO
- 9- CONSIDERAÇÕES FINAIS.

O capítulo “Contextualização Histórica” aborda o desenvolvimento das passarelas e dos sistemas estruturais através da história.

No capítulo seguinte, são identificadas as diversas partes e características das passarelas, como os tipos de acessos, tabuleiros, guarda-corpos, coberturas e vedações. Apresentam-se os estudos e análises de cada um dos itens acima, identificando-se suas características, principais soluções adotadas e sua adequabilidade a diversas situações.

A seguir, no capítulo “Legislação” é feita uma rápida compilação das normas técnicas e posturas urbanas que norteiam a concepção, inserção urbana, dimensionamento, cálculo e dimensionamento estrutural, construção e montagem das passarelas em aço, análise destas normas e posturas, e suas conseqüências na definição de sua inserção urbana e nos princípios projetuais das passarelas.

As questões relativas à aparência e expressão das passarelas são abordadas no capítulo “Estética das Passarelas”, onde são listados alguns aspectos fundamentais na concepção formal das mesmas.

O capítulo Sistemas Estruturais apresenta a identificação dos principais sistemas estruturais utilizados em passarelas estruturadas em aço, seus princípios de funcionamento e equilíbrio, os esforços principais, as características dos elementos estruturais, bem como as características estéticas e formais das passarelas, decorrentes de sua utilização. É feita, também, uma análise das

vantagens e desvantagens da adoção de cada um dos sistemas e de sua adequação ao local, a partir de abordagem de sua imagem e inserção urbana, processos de cálculo e dimensionamento, construção, montagem e manutenção.

Discute-se, no capítulo “Concepção e Projeto”, a questão da concepção das passarelas através da análise das metodologias de projeto mais usuais e da identificação dos principais elementos de análise de dados e critérios envolvidos na escolha dos locais de inserção, das características formais e estruturais das passarelas. É proposta a utilização de uma matriz “multi-criterial” como instrumento de análise para a escolha do sistema estrutural a ser utilizado no processo de concepção das passarelas.

A título de exemplo da utilização da matriz multi-criterial, é apresentado um “Estudo de Caso”, abordando-se uma passarela implantada na cidade de Belo Horizonte e, finalmente, no capítulo “Considerações Finais”, são apresentados alguns comentários sobre a importância de uma visão sistêmica e multidisciplinar para o processo de projeto de passarelas urbanas, relacionando-se alguns tópicos a título de recomendação para o prosseguimento de estudos sobre o tema.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

Entende-se por passarelas urbanas as pontes para pedestres que servem para promover a ligação entre duas áreas separadas por algum obstáculo natural ou criado pelo homem. Assim, sua história desenvolve-se inicialmente junto com a das pontes, pois na verdade é apenas uma ponte com características especiais.

O homem ao longo de toda a história sempre se deparou com obstáculos em seus percursos. Córregos, rios, desfiladeiros, pântanos e fendas da topografia, deveriam ser transpostos para evitar trajetos muito maiores. A utilização de troncos de árvores e pedras foram então as primeiras soluções imediatas e transitórias para seus problemas de acessibilidade (Figura 2.1).



Figura 2.1 – Transposição de córrego através de troncos de árvores

Fonte: NISSE, 2004.

Com o desenvolvimento de uma cultura menos nômade os problemas de acessibilidade do homem passam a não se restringir apenas ao homem em si, mas também aos meios de transporte utilizados para sua locomoção, de sua produção e pertences. As soluções tornam-se mais definitivas, surgindo às primeiras pontes (Figura 2.2 e Figura 2.3).



Figura 2.2 – Ponte rudimentar em madeira
Fonte: MacDonnell 1996

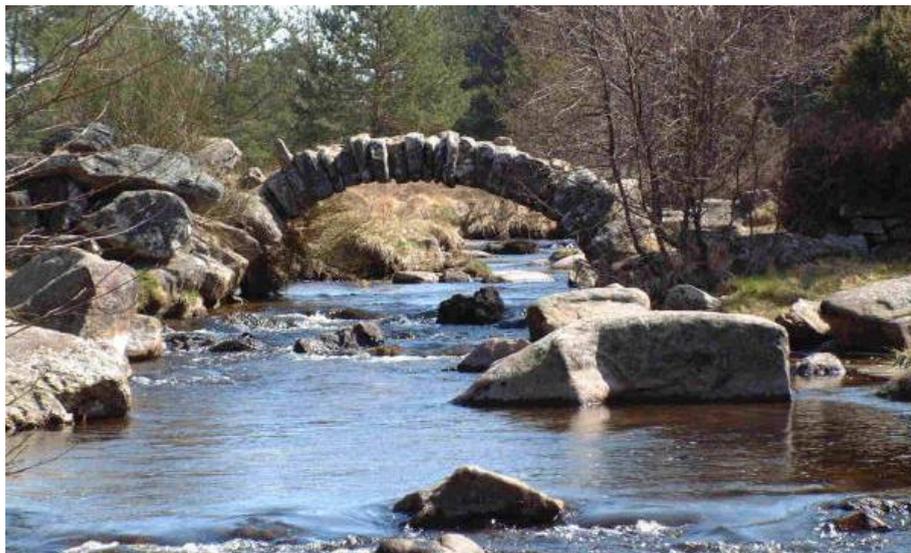


Figura 2.3 – Ponte em arco de pedras rudimentar
Fonte: Structurae (2004),1

Na antiguidade os romanos foram os maiores construtores de pontes. Os aquedutos são exemplos de pontes para transporte de água potável, que ficaram como registro de sua técnica e cultura construtiva. Os romanos construíram pontes em pedras e madeira, utilizando como sistemas estruturais o arco circular para as

pontes em pedra e sistema de viga ou viga treliçada para a madeira (Figura 2.4 e Figura 2.5).

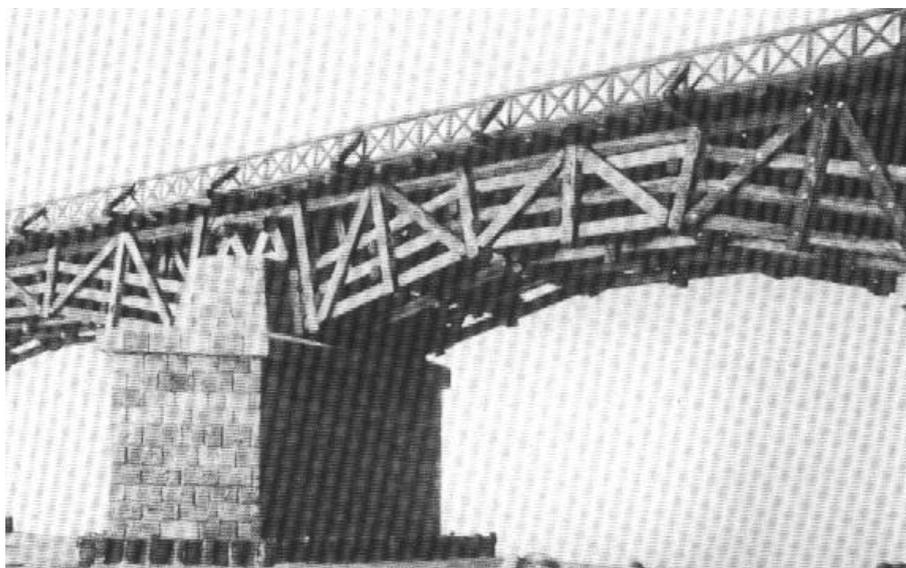


Figura 2.4 – Arco romano em treliça de madeira rudimentar
Fonte: apud Meyer, 1999, p.144



Figura 2.5 – Arco romano em Pont du Gard, Nîmes, France
Fonte: apud Lucko, 1999, p.14

No ocidente, com a queda do império romano (século V) a vida urbana e o comércio entre regiões praticamente deixam de existir, e a construção de pontes em pedra não se justifica, cessando sua construção por um grande período. Mas

no oriente, com situação inteiramente diversa temos ainda construções de pontes em pedra, de grande qualidade técnica e estética (Figura 2.6 e Figura 2.7).



Figura 2.6 – Ponte em arco de pedra na China
Fonte: MacDonnell 1996

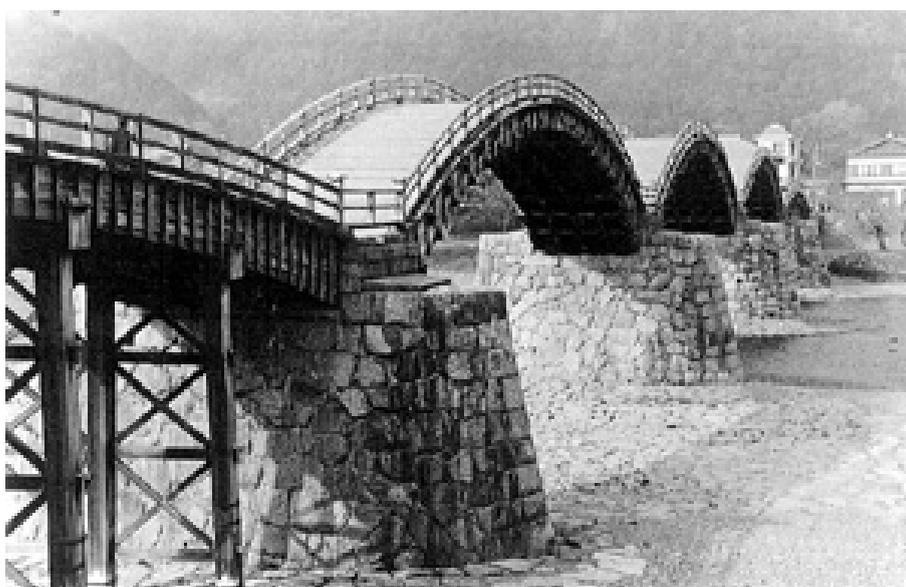


Figura 2.7 – Ponte em arcos no Japão
Fonte: DeLeony 1996

Com a retomada da vida urbana e o incremento das relações comerciais, na idade média e renascimento, temos o surgimento de novas cidades aumentando o movimento e a importância de novas rotas e vias comerciais, reativando a construção de pontes mais duradouras. As pontes construídas serviam também

como elemento de defesa e fonte de recursos para tal, sendo cobrado pedágio para sua transposição seja pelos pedestres e veículos sobre a ponte ou pelos barcos sob a ponte.

O crescimento e desenvolvimento das cidades criaram novas demandas na organização dos espaços destinados aos fluxos de pessoas e meios de transporte. As cidades se expandem e incorporam rios e córregos a seu tecido urbano. As pontes têm então uma importância crucial na organização das cidades e na vida de seus habitantes, e são os elos necessários à continuidade do espaço urbano. Esta importância é expressa no tratamento plástico e formal dado às pontes, que se configuram como pontos notáveis e importantes referências urbanas. Algumas pontes incorporam-se de tal forma ao tecido urbano que se configuram como ruas, alojando edificações ao longo de todo seu percurso (Figura 2.8 e Figura 2.9). Passarelas ligando alas de uma mesma edificação ou mesmo edificações diferentes também são executadas, normalmente em madeira, criando redes de percursos privados e/ou restritos, em níveis dentro do espaço urbano, que se torna cada vez mais complexo.



Figura 2.8 – Ponte de Londres sobre o Tâmis, 1209
Fonte: MacDonnell 1996



Figura 2.9 – Ponte Vecchio sobre o Arno, Florença
Fonte: MacDonnell 1996

O transito de pessoas e veículos (de tração animal) ainda ocorre junto, sem necessidade da criação de espaços distintos para cada um dos fluxos.

As soluções técnicas utilizadas restringem-se aos sistemas construtivos utilizados até então. O uso da cantaria e da madeira impõe sistemas estruturais compatíveis, sendo a viga e a viga treliçada os sistemas mais utilizados para as estruturas em madeira e o arco o mais utilizado nas construções em cantaria. O arco circular ou de grande relação flecha/vão (1:3, 1:4), cria empuxos horizontais pequenos que são absorvidos pelos próprios pilares. Assim as pontes eram construídas, como se fossem uma sucessão de arcos isolados.

A noção empírica da existência deste empuxo horizontal nos arcos, e que vai se transmitindo um ao outro até os extremos da ponte, foi percebido pelo engenheiro militar francês Jean-Rodolphe Perronet através da observação da deformação dos pilares durante a construção de uma ponte em Mantes, na França, utilizando arcos 1:5.

Perronet utiliza então em uma serie de pontes, arcos com proporção flecha/vão cada vez menores, chegando a 1:11, mas sua construção passa a exigir a utilização de fôrmas de sustentação da ponte até sua total conclusão, quando o empuxo horizontal é então absorvido pelos encontros finais nas margens. Este sistema é utilizado pela primeira vez na Ponte de Neuilly, sobre o Senna, em 1772 (Figura 2.10 e Figura 2.11).

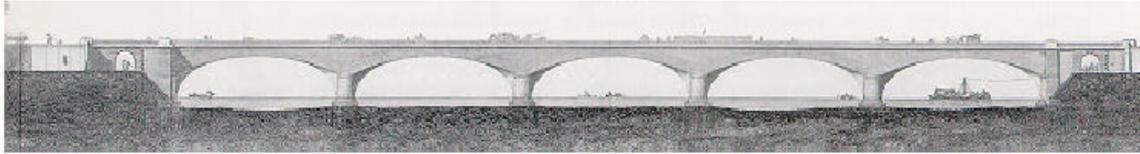


Figura 2.10 –Ponte de Neuilly sobre o Sena – 1772
Fonte: apud Lucko, 1999, p.34

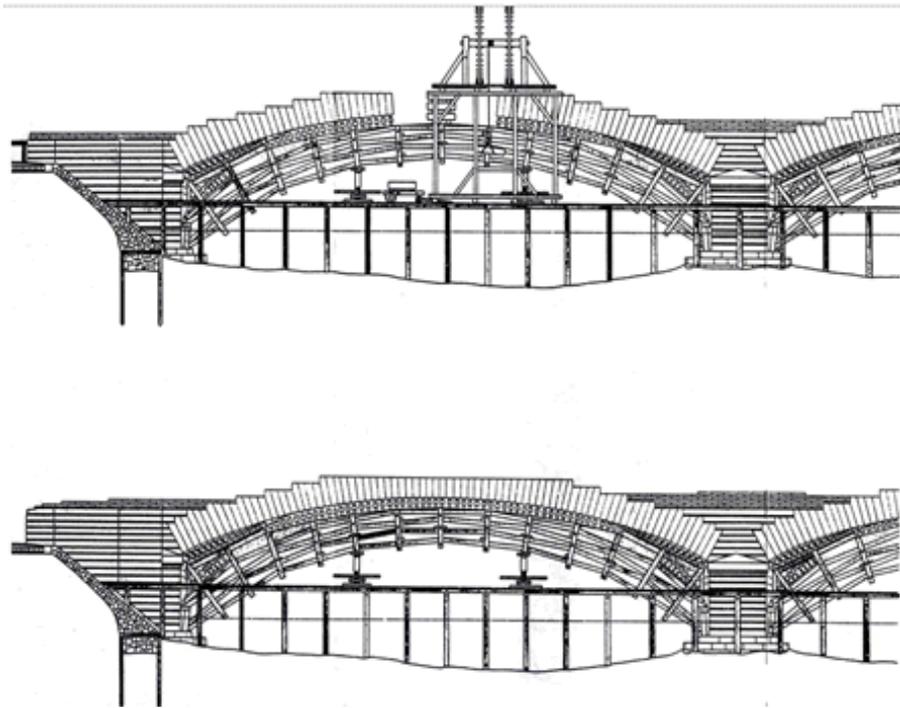


Figura 2.11- Sistema construtivo com utilização de formas em todos os vãos simultaneamente, ponte de Neuilly
Fonte: apud Lucko, 1999, p.34

Com a revolução industrial, nos séculos 18 e 19, profundas transformações ocorrem nas cidades. O surgimento do meio de transporte ferroviário introduz no espaço urbano um novo fluxo que demanda uma via própria: a ferrovia.

A ferrovia por não admitir rampas muito inclinadas demanda e justifica soluções técnicas de transposição de obstáculos mais sofisticadas, o que gera um grande impulso no desenvolvimento da construção de pontes, mas a velocidade, a dificuldade de controle e as características do novo meio de transporte bem como a especificidade de sua via rompem com a convivência harmônica entre pedestre e meio de transporte. As linhas férreas cortam as cidades, criando grandes linhas de ruptura do espaço urbano, gerando graves problemas de acessibilidade ao pedestre.

Paralelamente, o desenvolvimento do sistema de produção do aço permite que sua utilização se viabilize na construção civil, surgindo as primeiras pontes utilizando estruturas em aço.

A primeira ponte em estrutura de aço foi executada por Abraham Darby III, a partir de um dos três estudos elaborados pelo carpinteiro evoluído a arquiteto Thomas Farnolls Pritchard, em Coalbrookdale sobre o rio Severn, e concluída no ano de 1779 (Figura 2.12). A ponte, construída em arco semicircular de ferro fundido e encontros de alvenaria, vence um vão de 30,5 metros e consumiu 380 toneladas de ferro fundido. A forma e detalhes de ligações utilizam princípios adotados em construções de madeira, e o excesso de material se deve, sem dúvida, à inexistência de parâmetros de cálculo para o novo material (Figura 2.13).



Figura 2.12 – Ponte de Coalbrookdale, sobre o Severn, Inglaterra, 1779, primeira ponte em estrutura de aço.

Fonte: apud Lucko, 1999, p.39

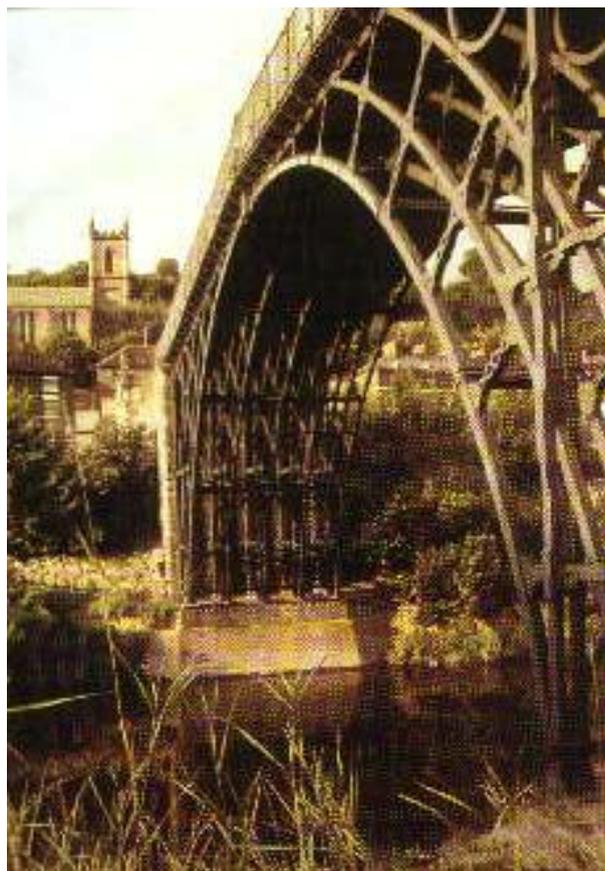


Figura 2.13 – Coalbrookdale, arco em ferro fundido, com detalhes inspirados nas construções de madeira.

Fonte: ESDEP(1998)

O desenvolvimento das técnicas de construção em aço caminha junto com a ferrovia. Pontes e passarelas são executadas cada vez mais utilizando o novo sistema construtivo. A utilização de sistemas estruturais mais adequados ao material, bem como o surgimento de novos sistemas como as treliças, a viga Gerber treliçada com balanços e rótulas, pontes penseis com cabos e barras de aço, tornam cada vez mais viável o novo sistema construtivo, mesmo com processos de cálculo e dimensionamento ainda bastante empíricos (Figura 2.14 a Figura 2.22).

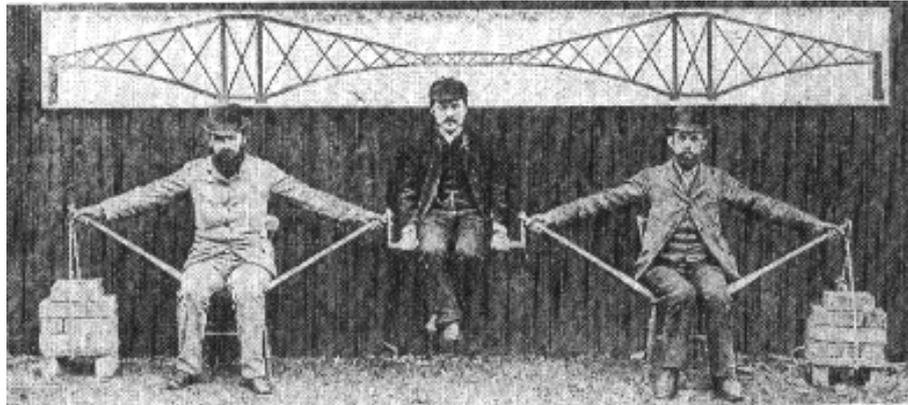


Figura 2.14 – Demonstração empírica do sistema estrutural da ponte Firth of Forth
Fonte: ESDEP(1998)

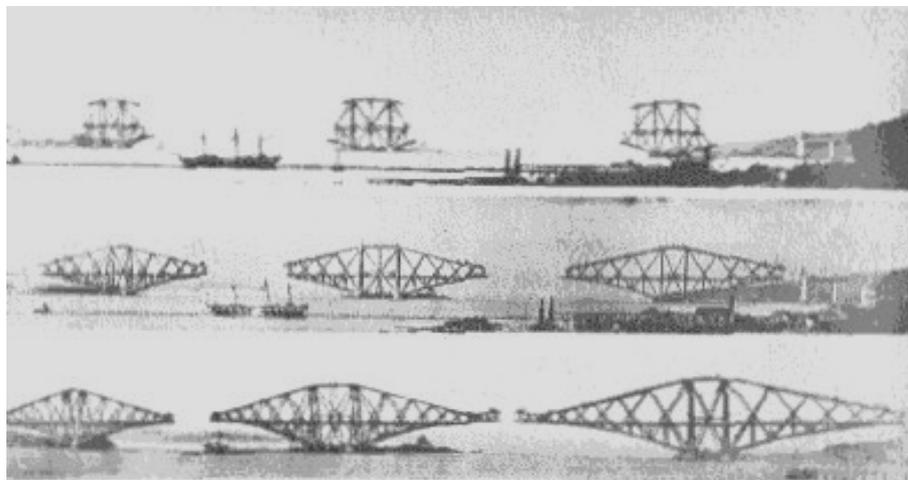


Figura 2.15 – Sequência de Montagem da ponte
Fonte: ESDEP(1998)

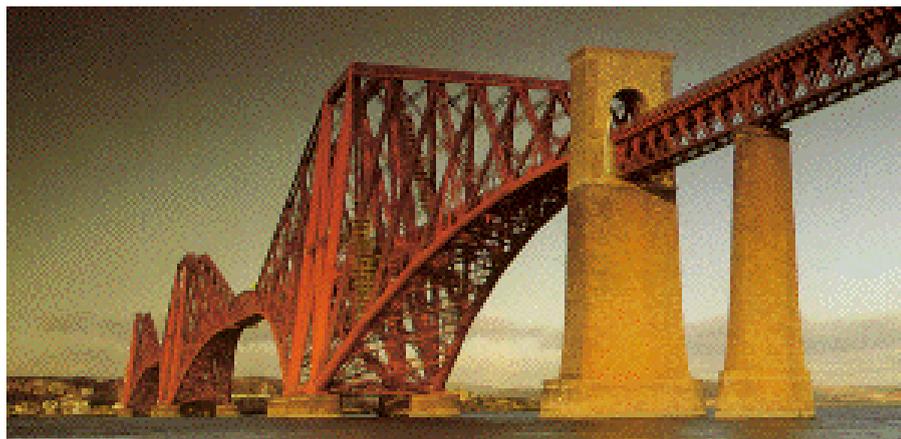


Figura 2.16 – Ponte de Firth of Forth, Escócia
Fonte: MacDonnell 1996

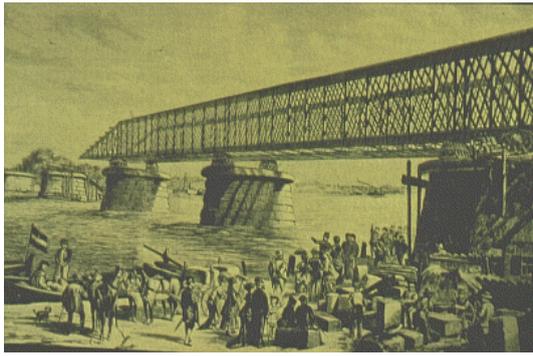


Figura 2.17- Ponte Danúbio, Stadlau, Áustria em viga contínua .
Fonte: ESDEP(1998)

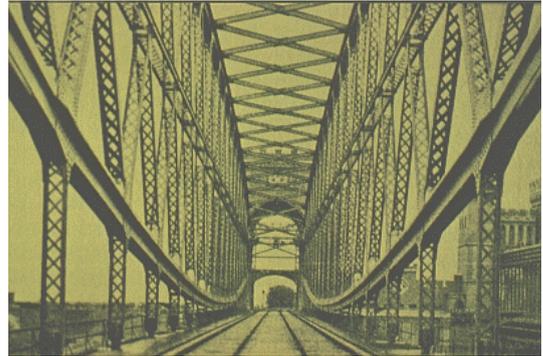


Figura 2.18 - Segunda ponte Dirshau sobre o Rio Vistula, 1891.
Fonte: ESDEP(1998)

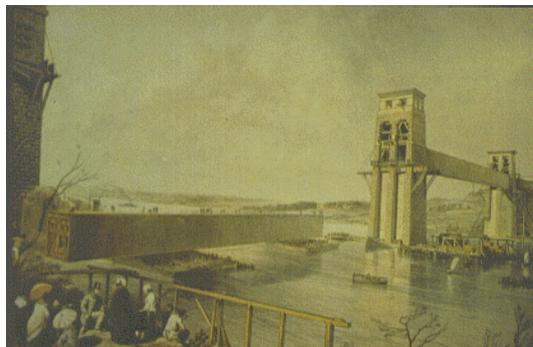


Figura 2.19 - Ponte Britânia: duas vigas caixão com ferrovia interna.
Fonte: ESDEP(1998)



Figura 2.20 - Ponte Britânia. Seção de uma das vigas caixão
Fonte: ESDEP(1998)



Figura 2.21- Pont de Arts, passarela sobre o rio Sena, Paris em arcos ferro fundido, 1803.
Fonte: Structurae (2004), 2



Figura 2.22 – Passarela Saint Georges sobre o rio Rhone em Lyon, França. Tabuleiro suspenso, 1844.
Fonte: Structurae (2004), 3

A cidade do século XX a partir do segundo quarto do século não é mais a cidade apenas da ferrovia, mas também do automóvel. O automóvel não necessita de uma via tão específica como a ferrovia, mas sua natureza agrava a ruptura entre espaço para pedestre e veículos.

O aumento grandioso do número de veículos torna nossas ruas e avenidas verdadeiros rios de tráfego intenso e gerador de acidentes. As soluções para o trânsito de nossas cidades demandam vias de alta velocidade e sem interrupção, ficando sua transposição praticamente impossível para os pedestres. O rápido aumento dos fluxos de veículos, o crescimento vertiginoso de nossas cidades e principalmente a ausência de planejamento de tráfego de veículos e pedestres, gera um ambiente urbano conturbado e com problemas de grande complexidade. Os pedestres ficam expostos a toda esta conturbação, e tornam-se vítimas em inúmeros acidentes, principalmente nas transposições de vias de alta velocidade e tráfego intenso.

É neste ambiente urbano, que as passarelas urbanas tornam-se essenciais como solução para a acessibilidade e segurança dos pedestres. Sua inserção urbana não depende apenas de vencer um obstáculo, mas sim solucionar uma série de demandas, como fluxo de pedestre, veículos, localização, espaço necessário para acessá-las, viabilidade econômica, possibilidade de implantação e construção com menor interferência no tráfego local, rapidez de execução, e diversas outras demandas relativas à satisfação e conforto dos usuários.

Além disto toda esta complexidade trouxe também problemas para a imagem da cidade. A implantação de passarelas, viadutos, elementos de sinalização e de infra-estrutura necessários à solução de nosso trânsito, contribuiu para descaracterização da imagem de nossas cidades, e se transformaram, na maior parte das vezes, em poluição visual.

Neste contexto devemos entender as passarelas não apenas como uma ponte de pedestre capaz de vencer obstáculos naturais ou vias de tráfego intenso e ininterrupto, mas sim como um equipamento capaz de promover canais de acessibilidade na cidade causando o menor impacto possível no tráfego local, no entorno imediato de seus acessos e na paisagem urbana em que está inserida.

Paralelo a este processo de ruptura urbana, a tecnologia de produção do aço, bem como os processos de cálculo e dimensionamento das estruturas em aço tiveram grande desenvolvimento no século XX.

Temos à nossa disposição tecnologia capaz de produzir as mais variadas soluções de passarelas, utilizando os mais diversos sistemas estruturais e construtivos, meios de transporte e de montagem e uma sofisticada tecnologia, no que se refere a gerenciamento do projeto em todas as suas etapas de concepção, cálculo e dimensionamento, produção, transporte e montagem.

As passarelas utilizando estrutura de aço em diversos sistemas estruturais e em sistemas construtivos mistos, devido a sua leveza, rapidez de montagem, possibilidade de grandes vãos com pouco material e relação custo benefício compatível, vêm sendo utilizadas em larga escala em todo o mundo, inclusive no Brasil com resultados técnicos, urbanísticos e estéticos extremamente satisfatórios, tornando-se inúmeras vezes referências urbanas importantes, e símbolos de lugares e cidades (Figura 2.23 a Figura 2.33).



Figura 2.23 Millenium Bridge, passarela sobre o Tamisa em Londres.
Fonte: Structurae (2004) – 4.



Figura 2.24 - Detalhe da sustentação dos cabos.
Fonte: Structurae (2004) - 4.



Figura 2.25 - Detalhe do sistema estrutural
Fonte: Structurae (2004) - 4.



Figura 2.26 - Passarela Japão – La Defense, Paris
Fonte: Structurae (2004) – 5.



Figura 2.27 - Passarela “dobrável” em Kiel, Alemanha
Fonte: Structurae (2004) – 6.



Figura 2.28 - Passarela Barqueta em Sevilha, Espanha. Arco com tabuleiro suspenso.
Fonte: Structurae (2004) – 7.



Figura 2.29 - Fig. Passarela Brücke sobre autopista A3 Alemanha, cabo estaiado em harpa e tabuleiro excêntrico.
Fonte: Structurae (2004) – 8.



Figura 2.30 - Passarela em Rijeka, Croácia.
Fonte: Structurae (2004) – 9.



Figura 2.31 – Passarela em Löwentorbrücke, Stuttgart, suspensa em cabos e contracabos que servem também de sustentação para trepadeiras.
Fonte: Structurae (2004) – 10.



Figura 2.32 - Passarela em parabolóide hiperbólico, em Manchester, Inglaterra.
Fonte: Structurae (2004) – 11.



Figura 2.33 - Passarela Trinity em Manchester, Inglaterra.
Fonte: Structurae (2004) – 12.

Temos que ter sempre em mente que a implantação de passarelas urbanas envolve questões diversas e simultâneas e demandam soluções multidisciplinares. A escolha de determinado sistema estrutural ou construtivo passa pela análise e influência de questões que não são apenas técnicas ou econômicas, mas dizem respeito às relações físicas, culturais, emocionais e até históricas do homem e sua cidade.

3. PASSARELAS

As passarelas podem ser analisadas e caracterizadas basicamente por quatro elementos: tipo de acesso, tipo de tabuleiro, tipo de vedações e tipo de sistema estrutural utilizado.

3.1. ACESSO

Na transposição dos obstáculos urbanos as passarelas podem ligar lugares de mesmo nível ou níveis diferentes em relação aos níveis dos caminhamentos dos pedestres. Basicamente temos três situações de nível:

- a- Duas extremidades nos mesmos níveis dos caminhamentos dos pedestres (Figura 3.1)
- b- Apenas uma extremidade no mesmo nível do caminhadao do pedestre (Figura 3.2)
- c- Duas extremidades em níveis diferentes dos caminhamentos dos pedestres (Figura 3.3)

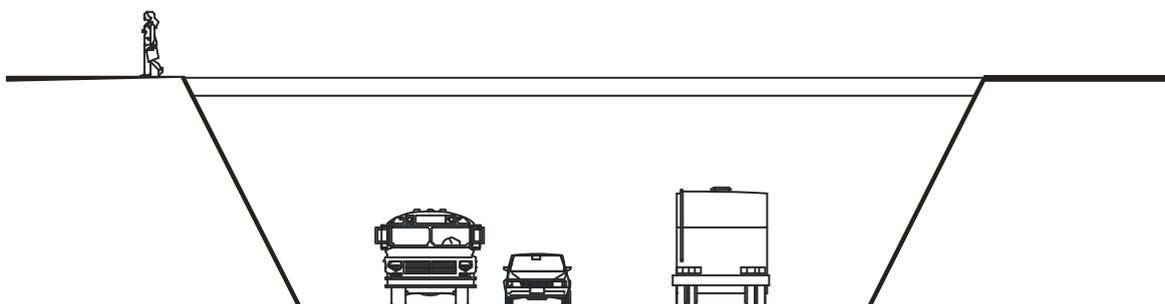


Figura 3.1 - Acessos: situação A

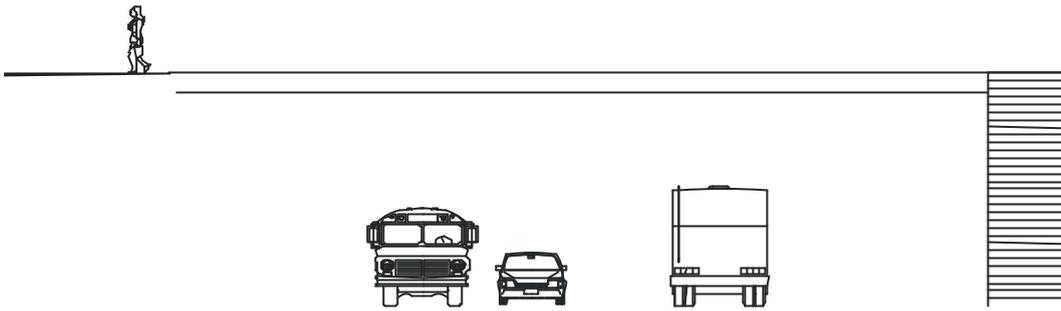


Figura 3.2 - Acessos: situação B

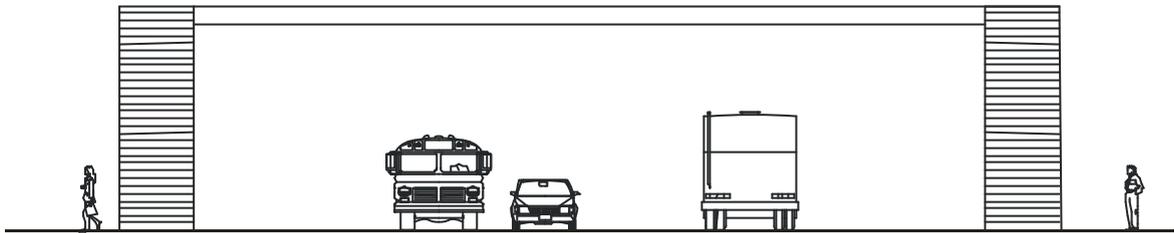


Figura 3.3 - Acessos: situação C

Quando a extremidade está no mesmo nível do caminhamento dos pedestres o acesso se dá de forma natural como uma continuidade do percurso do pedestre, porém, quando está em nível diferente, o acesso tem de resolver o problema de transposição de nível. O pedestre, principalmente crianças, pessoas idosas e com dificuldade de locomoção podem ter alguma dificuldade para vencer este desnível, pois quase sempre exige um esforço físico maior.

As soluções para estes acessos devem obedecer as posturas municipais existentes, contemplar as questões de conforto, serem de fácil identificação de forma a articulá-los corretamente aos percursos dos pedestres, como também torná-los convidativos e capazes de induzir a utilização da passarela.

Considerando um gabarito entre 4,5 e 5,5 m, e adicionando-se a isto a estrutura da passarela, normalmente temos a vencer desníveis da ordem de 6,0 m. Além disto, como a implantação das passarelas na maior parte das vezes se dá em ambientes já consolidados, a disponibilidade de espaço para a implantação dos

acessos corretamente sempre é um problema de difícil solução que deve ser tratado com todo cuidado.

Embora existam passarelas com sistemas mecânicos como elevadores, escadas rolantes e rampas mecanizadas, tais soluções são muito onerosas na sua implantação e manutenção e só são utilizadas em situações muito específicas, como em terminais urbanos de transporte aéreo, rodoviário ou ferroviário. Os elementos de transposição de nível mais utilizados são as escadas e rampas, ou a utilização da passarela em arco tornando não só o acesso, mas toda a passarela uma grande rampa, o que acarreta um aumento considerável do vão da passarela (Figura 3.4 e Figura 3.5).



Figura 3.4-Passarela em arco rampado, Ansbach, Alemanha.
Fonte: Structurae (2004) – 13.



Figura 3.5 - Passarela em arco rampado, suspenso, Duisburg, Alemanha.
Fonte: Structurae (2004) -14.

3.2. ESCADAS

As escadas são a solução para transposição de nível que impõe o menor percurso ao pedestre e requer menor espaço para sua implantação. Adotando-se a fórmula de Blondel ($63\text{cm} < 2 \text{ espelhos} + 1 \text{ piso} < 64\text{cm}$) para definir a proporção entre espelho e piso da escada, e considerando o espelho confortável entre 16cm e 17cm, define-se os pisos com dimensões entre 30cm e 32cm.

Para um desnível de 6,0m seriam necessários 37 espelhos e 36 pisos. Como no máximo a cada vinte espelhos deve-se criar um patamar de no mínimo 100cm, teremos 35 pisos de 31cm e um patamar de 100cm, totalizando um percurso de aproximadamente 12m. Considerando uma largura mínima de 1,5m teremos uma área mínima de 18m^2 para implantação da escada. Embora necessite de pouca área para sua implantação, imponha um percurso menor ao pedestre e conseqüentemente menor tempo para a transposição de nível, a escada exige um esforço físico maior e dificulta sua utilização por crianças, idosos, portadores de

dificuldade de locomoção, ou transposição de objetos de maior porte, como carrinhos de criança, bicicletas e outros.

As escadas podem assumir conformação linear, vai-vem, helicoidal quadrada ou circular (Figura 3.6 a Figura 3.9). Dependendo de sua forma e imagem pode não ser indutora da utilização da passarela, e como normalmente concentram muito material, podem tornar-se obstáculos visuais na paisagem urbana.



Figura 3.6-Acesso em escada vaivém coberta. Avesta, Suécia.
Fonte: Structurae (2004) -15.



Figura 3.7-Acesso em escada direta e elevador. Passarela Millenium, Denver.
Fonte: Structurae (2004) – 16.



Figura 3.8-Acesso em escada. Passarela Trinity, Londres
Fonte: Structurae (2004) – 17.



Figura 3.9-Acesso em escada 'aberta'. Girona, Espanha.
Fonte: Structurae (2004) – 18.

3.3. RAMPAS

As soluções em rampa apresentam a vantagem de permitir seu acesso a pessoas portadoras de dificuldade de locomoção, bem como transporte mais fácil de pequenos carrinhos, e objetos com rodas, como velocípedes, bicicletas e outros, mas obriga o pedestre a percursos maiores, e o espaço necessário para sua implantação é muito maior.

A declividade máxima com conforto para uma rampa é de 15% proporção 1:6,5, mas normalmente só se utilizam rampas com declividade entre 10% e 12,5% proporções de 1:10 e 1:8 respectivamente. Somando o percurso necessário para subir e descer ao mesmo nível tem-se o percurso total a ser percorrido pelo pedestre apenas para a transposição de nível, e se considerarmos uma largura mínima de 1,50m para a passarela, podemos determinar uma área mínima para implantação da rampa. (Tabela 3.1).

Tabela 3.1- Percurso e área para implantação de rampas, para desnível de 6,0m.

DECLIVIDADE / PROPORÇÃO	SUBIDA	DESCIDA	TOTAL	ÁREA
10% - 1:10	60m	60m	120m	180m ²
12,5% - 1:8	48m	48m	96m	144m ²
15% - 1:6,5	39m	39m	78m	117m ²

Alem de demandarem mais espaço, as rampas possuem o inconveniente de obrigar o pedestre a um percurso maior, aumentando o tempo necessário a sua transposição.

As rampas também podem assumir formas lineares, curvas, vaivém, e helicoidais quadradas ou circulares, e mesmo não concentrando matéria em pequenas áreas, são elementos de grande porte e forte presença na paisagem urbana. (Figura 3.10 e Figura 3.11)



Figura 3.10-Acesso em rampa. Passarela em pórtico com tabuleiro suspenso.
Dusseldorf.

Fonte: Structurae (2004) -19.



Figura 3.11-Acesso em rampa, a passarela coberta, Santista Alimentos, São Paulo.

Fonte: Metálica (2004)

3.4. TABULEIROS

Os tabuleiros das passarelas têm sua largura definida em função do fluxo de pedestres. Normalmente tem largura superior a 1,50m e existem passarelas com largura de até 8,00m. Na maioria dos casos a largura varia entre 2,0 e 4,0m. No

caso das passarelas serem utilizadas por ciclistas, estes valores devem ser acrescidos de 2,0 a 3,0m, não sendo aconselhável largura total inferior a 6,0m.

Para o cálculo da largura podemos adotar:

$$B = \frac{Q}{d \cdot v}$$

onde :

B= largura do tabuleiro em metros

Q=numero de pedestres atravessando a passarela por hora

d=densidade - numero de pessoas por m² =1,6 a 1,8 pessoas/m² – na prática adota-se 1 pessoa/m²

v= velocidade (normal = 1,0m/s, em horários de maior movimento = 1,5m/s)

Movimento normal : 18 pessoas/minuto/metro

Maior movimento : 54 pessoas/minuto/metro

É importante observar que, dependendo do tipo e quantidade de acessos, a largura pode sofrer alguma majoração na região do acesso de forma a não criar problemas ao fluxo dos pedestres.

Os tabuleiros podem ser executados com diversos materiais. Os mais utilizados são o aço, a madeira e o concreto moldado no local ou pré-moldado.

O tipo de revestimento do piso varia com o material de que é executado o tabuleiro, mas deve ser antiderrapante, principalmente nas rampas. Nos tabuleiros de concreto ou madeira normalmente utiliza-se o próprio material para o piso, já nos tabuleiros em aço é comum a utilização de revestimento asfáltico ou pinturas nas quais se adicionam materiais abrasivos, para tornar o piso antiderrapante.

Um outro fator que influencia a escolha do tabuleiro a ser utilizado é o sistema estrutural adotado, pois a seção transversal do tabuleiro pode definir seu comportamento estrutural e sua relação com todo o sistema adotado.



Figura 3.12-Tabuleiro com viga central em aço. Passarela Saint Georges, Lyon.
Fonte: Structurae (2004) – 3.

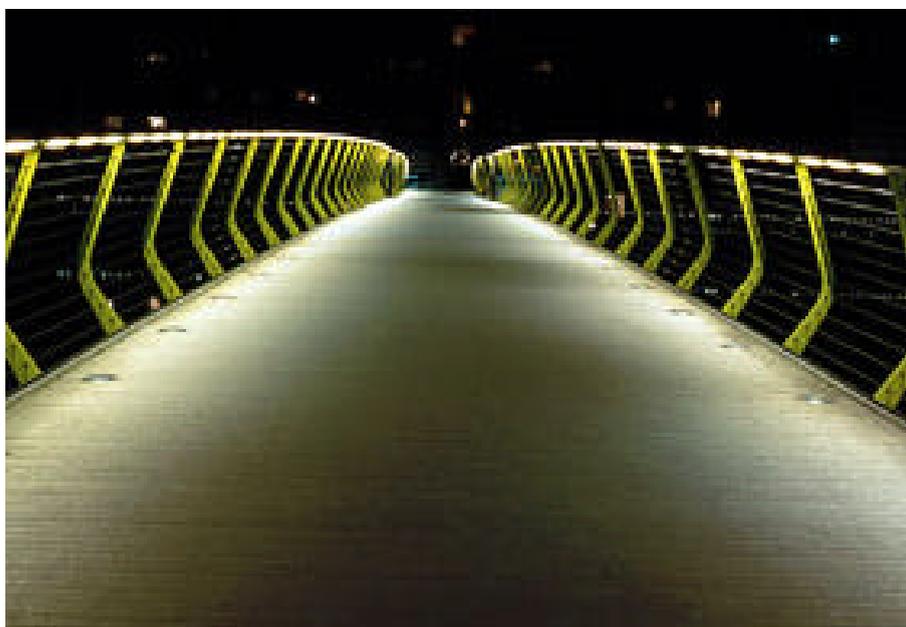


Figura 3.13-Tabuleiro em aço revestido de alumínio, Londres.
Fonte: Structurae (2004) – 20.



Figura 3.14-Fabricação de tabuleiro em viga caixão de aço . Rijeka, Croácia.
Fonte: Structurae (2004) – 9.

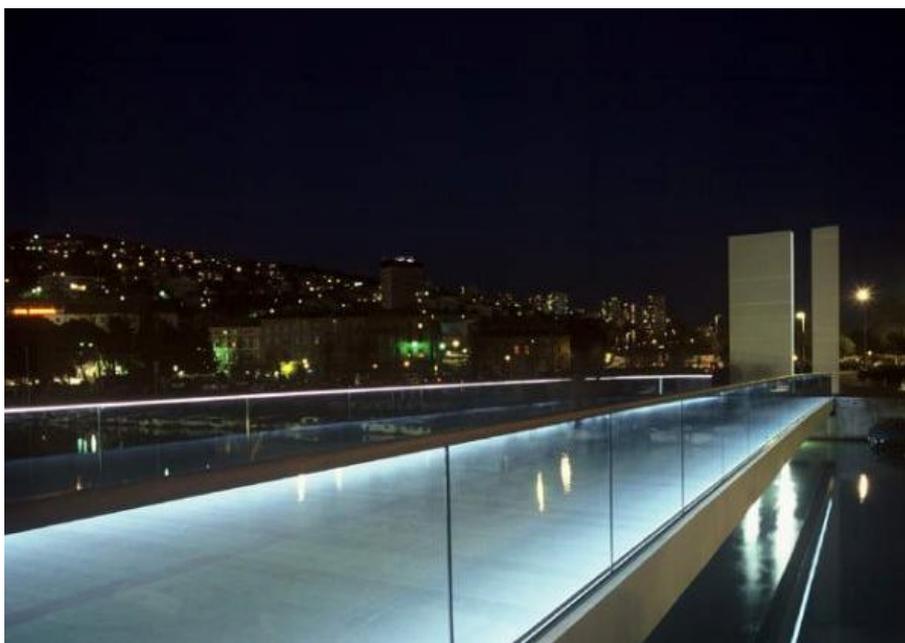


Figura 3.15-Tabuleiro com acabamento(Rijeka, Croácia)
Fonte: Structurae (2004) -9

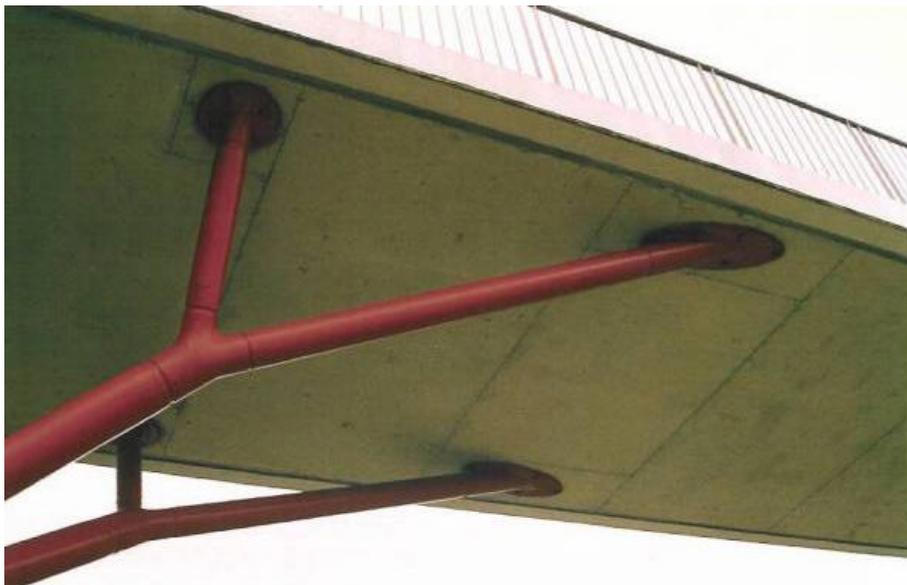


Figura 3.16-Tabuleiro em concreto, pilares tubulares tipo arvore. Pragsattel, Stuttgart.

Fonte: Structurae (2004) – 21.



Figura 3.17-Tabuleiro em madeira,

Fonte: Structurae (2004) - 22.

É importante observar que a escolha da seção transversal do tabuleiro pode ser extremamente definidora da forma e imagem da passarela, devendo portanto, ser considerado na sua escolha não só os aspectos técnicos mas também a questão estética da passarela e sua inserção na paisagem urbana.

3.5. VEDAÇÕES

As passarelas devem sempre possuir algum tipo de vedação que garanta a segurança e conforto dos usuários. As vedações podem se limitar a guardacorpos e corrimão, e até serem completas, com cobertura e tapamento lateral.

O elemento principal e essencial da vedação é o guardacorpo que é um elemento muito importante na definição formal da passarela e por isso deve ser muito bem projetado e executado. Ele serve de proteção lateral e confere uma sensação de segurança ao pedestre. Pode ser concebido como um elemento isolado apenas fixado ao tabuleiro ou incorporado estruturalmente e formalmente ao mesmo. A NBR 14718 exige que os guarda-corpos tenham pelo menos 1,10m de altura, podendo incorporar corrimão com 0,9m de altura. São mais executados com estrutura em aço, e vedações em telas, perfis metálicos, cabos de aço ou vidro laminado. Suas características físicas e geométricas estão normalizadas pela NBR 14718- Guarda-corpos para edificação.



Figura 3.18-Guardacorpo em vidro laminado Rijeka, Croácia.

Fonte: Structurae (2004) – 9.



Figura 3.19-Guardacorpo em perfil tubular e cabos de aço, Londres
Fonte: Structurae (2004) – 20.



Figura 3.20-Guardacorpo em tela metálica, Ansbach
Fonte: Structurae (2004) – 13.



Figura 3.21-Guardacorpo em ferro fundido, Nova York,
Fonte: Structurae (2004) – 23.

Passarelas com sistemas de vedação mais completo, apresentando cobertura e vedação lateral, oferecem maior conforto e segurança física aos usuários, além de proteger melhor as vias transpostas, evitando que lixo ou detritos possam ser lançados sobre as mesmas. São mais utilizadas quando ligam ambientes fechados ou cobertos, ou quando transpõem vias ou locais que exijam maior segurança, como vias de metro, outras coberturas ou vias de grande tráfego.

Dois aspectos devem ser observados quando da decisão de se adotar vedações mais completas. O primeiro é a questão de segurança, pois ambientes fechados tendem a parecer e mesmo ser menos seguros para os pedestres, que ficam isolados e pouco visíveis de todo o entorno. Este aspecto pode ser amenizado com a utilização de sistemas de tapamento mais transparentes, porém quase sempre de custo mais elevado. O segundo aspecto diz respeito à forma e imagem da passarela, que tende a ficar com maior volume e maior presença visual na paisagem, sendo mais adequado a lugares mais amplos, com menos poluição visual.

Para as coberturas utilizam-se mais os sistemas de tapamento em chapas de aço, sendo muito utilizadas também coberturas em fibra de vidro, vidros laminados ou aramados e policarbonato. Coberturas em concreto são menos freqüentes, mas temos no Brasil exemplo bastante interessante de cobertura em argamassa armada, pintada (Figura 3.22 e Figura 3.23).



Figura 3.22-Cobertura em argamassa armada, Belo Horizonte.
Fonte: Meyer, 1996, p. 85



Figura 3.23-Vedação lateral e cobertura em chapa de alumínio, e janelas em vidro.
Fonte: Structurae (2004) – 24.

Nas vedações laterais, utiliza-se com mais frequência materiais mais transparentes, como as telas metálicas, as chapas perfuradas e os tapamentos translúcidos em vidro ou policarbonato, de forma a não confinar o pedestre em seu percurso (Figura 3.24 e Figura 3.25).

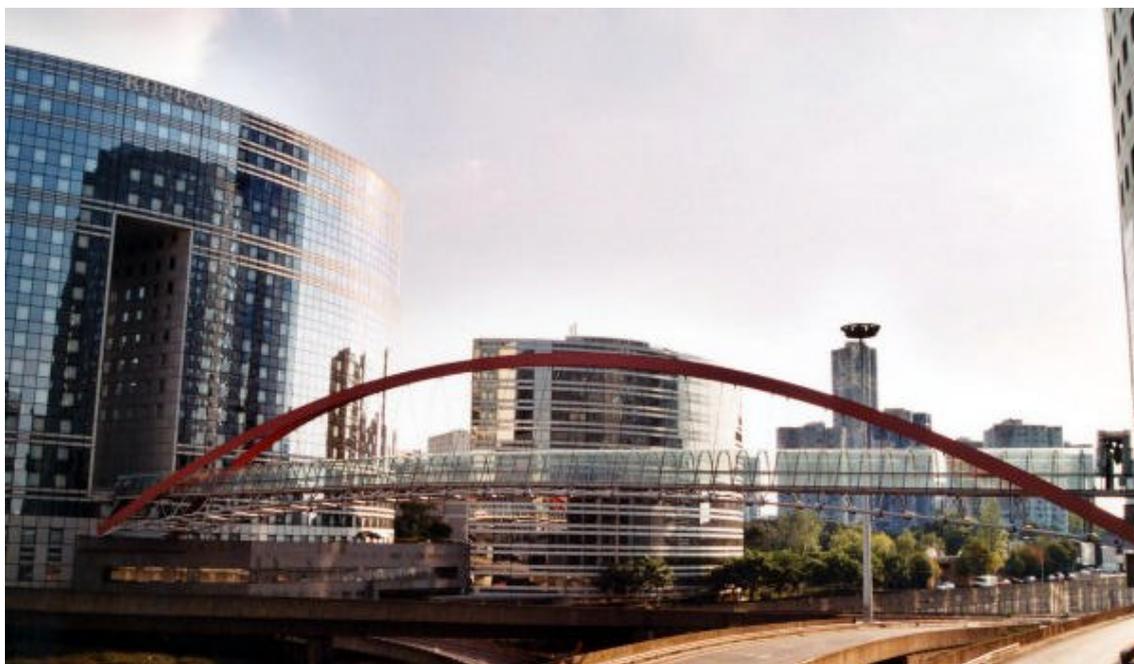


Figura 3.24- Vedação em vidro laminado curvo, La Defense, Paris
Fonte: Structurae (2004) – 5.



Figura 3.25- Guardacorpo em chapa perfurada. Demorieux, Le Mans.
Fonte: Structurae (2004) – 25.

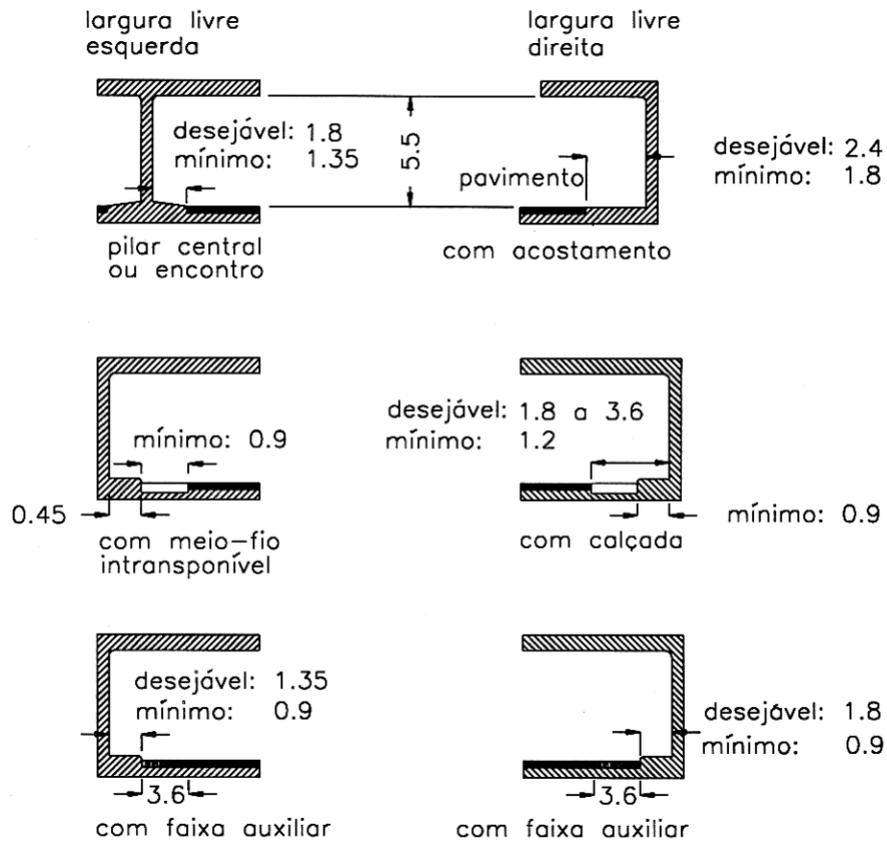


Figura 4.2-Gabarito adotado para as rodovias no Brasil.
 Fonte: Meyer, 1996, p. 20

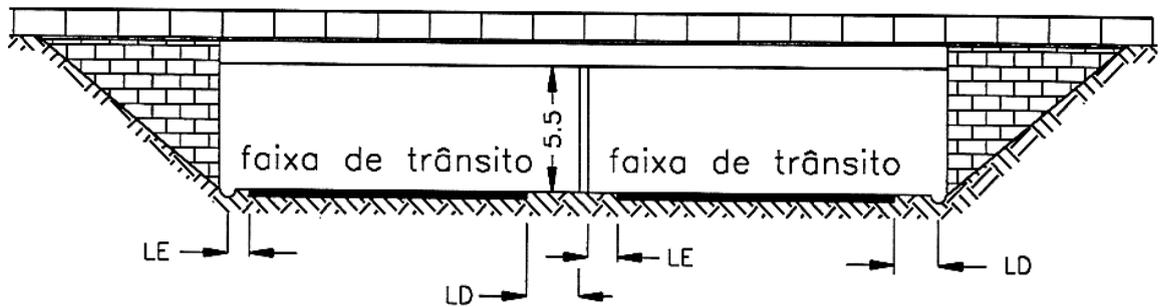


Figura 4.3-Gabarito para definição para o menor vão livre.
 Fonte: Meyer, 1996, p. 21

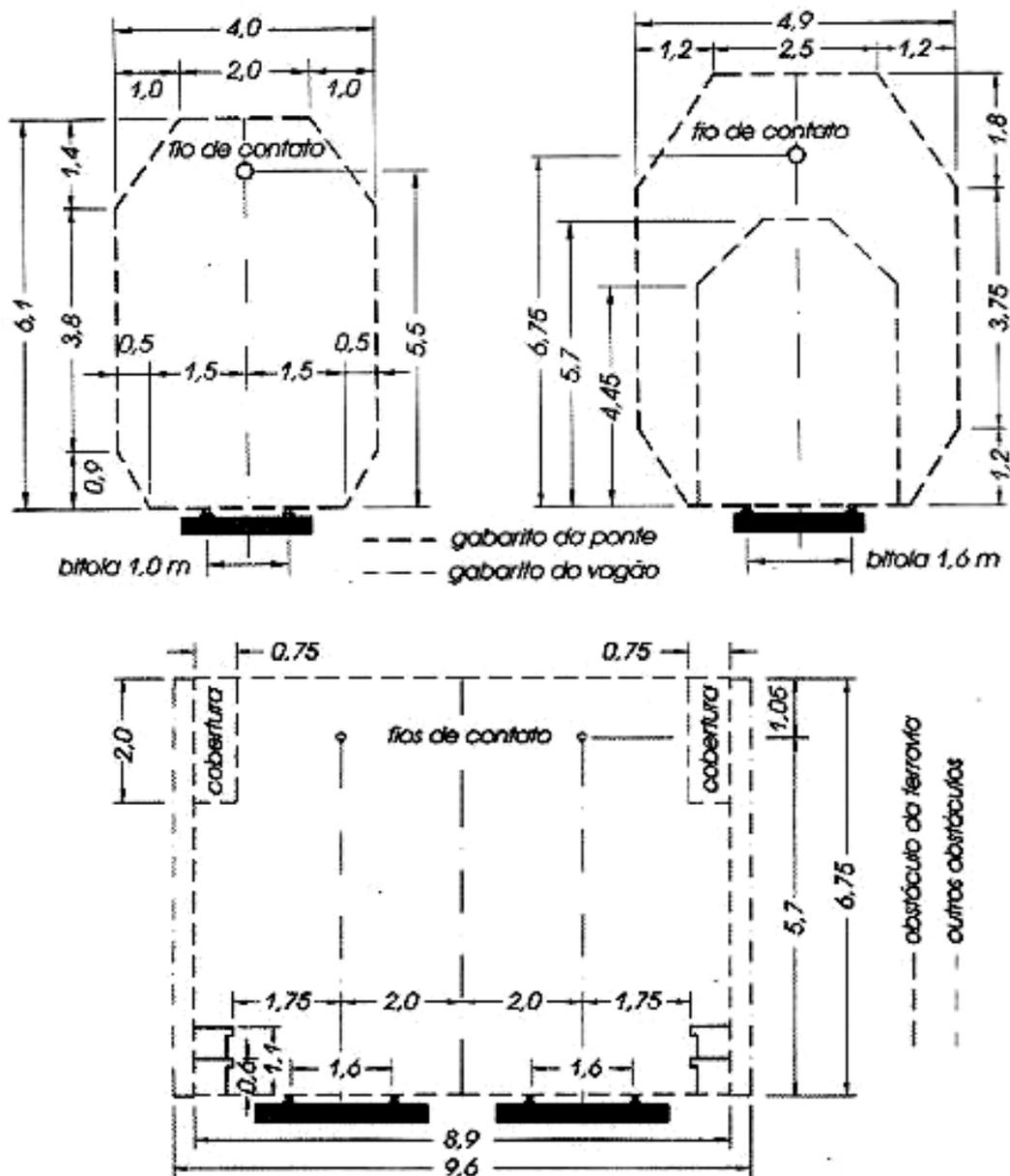


Figura 4.4 - Gabarito ferroviário brasileiro, linha simples e dupla.

Fonte: Meyer, 1999, p. 49

O carregamento a ser utilizado no cálculo de passarelas é definido pela NBR7188/1984: CARGA MOVEL EM PONTE RODOVIARIA E PASSARELA DE PEDESTRE. A carga móvel a ser considerada é uniformemente distribuída, e igual a $p = 5\text{kN/m}^2$ não majorada por coeficiente de impacto. Esta mesma norma, ainda orienta que esta carga poderá ser fixada em instrução especial redigida por órgão

com jurisprudência sobre a obra quando a geometria, finalidade ou carregamento da mesma não se enquadrar nas estruturas definidas pela norma.

É possível encontrar normas estrangeiras bastante específicas para passarelas em aço, como as normas alemãs DIN 18 809/1987 “Stahlerne Straßen und Wegbrücken – Bemessung, Konstruktion, Herstellung” (Pontes Rodoviárias Metálicas e Passarelas – Dimensionamento, Projeto e Execução) e DIN 1072 “Straßen und Wegbrücken-Lastannahmen” (Pontes Rodoviárias e Passarelas - Carregamentos).

Alguns sistemas estruturais ainda podem estar sujeitos a outras normas específicas, as quais serão citadas quando do estudo dos mesmos.

Elementos específicos e ou especiais podem também estar sujeito a considerações de normas brasileiras ou estrangeiras, como o caso dos guardacorpos, cujo desenho, vedação, execução e resistência são definidos pela NBR 14718– Guarda-corpos para edificação. Outros elementos de vedação como o vidro, também tem sua utilização normalizada no Brasil.

É importante citar ainda que diversos procedimentos de execução transporte e montagem das passarelas estão também previstos em itens específicos de diversas normas.

O Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER, define ainda, através da Instrução de Serviço Para Projeto de Obras de Arte Especiais IS-214 das Diretrizes Para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários, o processo de elaboração e apresentação de projetos de passarelas para as rodovias.

5. ESTÉTICA DAS PASSARELAS

Existem diversas definições para a palavra estética, mas praticamente todas as definições sempre se referem ou ao processo de criação ou à beleza. No Novo Dicionário da Língua Portuguesa de Aurélio Buarque, encontra-se a seguinte definição, que une os conceitos de racionalidade e beleza, quase sempre antagônicos, e definidos de forma bastante subjetiva:

Estética. *S. f. 1.Filos. Estudo das condições e dos efeitos da criação artística. 2.filos.Tradicionalmente estudo racional do belo, quer quanto à possibilidade de sua conceituação, quer quanto à diversidade de emoções e sentimento que ele suscita no homem. 3. Caráter estético; beleza. 4. Fam. Beleza física.*

Apresenta-se, então, uma série de aspectos da composição e desenho das passarelas, baseados em uma relação elaborada por Barker e Punckett (1997) para as pontes, que não garantem a obtenção da beleza no desenho das passarelas, mas são antes qualidades e características que influenciam na percepção de sua beleza ou na sua adequada inserção urbana. Estes aspectos são: função, proporção, harmonia, ordem e ritmo, contraste e textura, e uso de luz e sombra.

5.1. FUNÇÃO

As passarelas devem sempre cumprir e expressar a função para qual foram criadas. Uma passarela que não atende às demandas que originaram sua criação, ou que expressam de forma dúbia ou imprecisa sua função, é sempre vista como obsoleta ou inadequada ao local, e sempre se apresentará como um objeto desnecessário e ou sem sentido. Assim, atender à função não é apenas atender a demandas de fluxo e segurança, mas expressar de forma clara sua capacidade de atendimento destas demandas, bem como a importância da ligação que propicia ou mesmo simboliza.

Um bom exemplo é a passarela do Millenium, construída em Londres, com a função de ligar a basílica de St. Paul, importante prédio na cidade não só pela sua função religiosa como pela sua presença na paisagem urbana, à Modern Tate Galery, importante museu de arte moderna inaugurado recentemente após adaptação de um prédio industrial a sua nova função de abrigar uma das mais importantes coleções de arte moderna do mundo. A ligação urbana deste dois prédios com a transposição do Tamisa é feita pela passarela que buscou no arrojo de sua estrutura, e no efeito de sua inserção urbana não apenas conecta-los mas celebrar a ligação dos dois prédios e das duas instituições de grande importância para a cidade e sua população. (Figura 5.1, Figura 5.2,)



Figura 5.1 – Passarela do Millenium Londres,
Fonte: Structurae (2004) – 4.

Já a passarela de Rijeka na Croácia foi projetada não apenas como uma celebração a ligação urbana que promove, mas concebida como um monumento à resistência Croata. A passarela promove a transposição do rio unindo duas áreas urbanas de características bastante diferentes. O espaço urbano em uma das margens se organiza de forma linear e estreita paralela ao rio, e a outra margem se caracteriza como um grande largo gerando tensões e direções perpendiculares ao rio. A passarela corta o rio e ao chegar no grande largo pontua ente local com um elemento vertical, que dá expressão ao monumento, além de ser um elemento estrutural de equilíbrio para a viga-tabuleiro, produzindo uma contraflexa que auxilia na transposição do grande vão vencido por estrutura com pouca dimensão vertical.

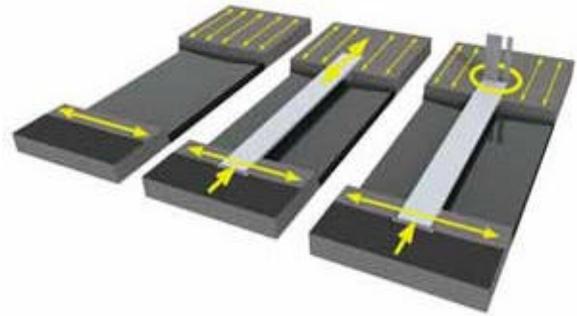


Figura 5.2 – Pssarela de Rijeka.

A passarela foi concebida como um monumento á resistência croata.
Visão geral ,detalhe e explicação do conceito.

Fonte: Studio3lhd

5.2. PROPORÇÃO

A proporção entre os elementos componentes de qualquer objeto é fator de primordial importância na composição de sua imagem e expressão. Nas passarelas não é diferente, sendo o controle da proporção entre seus elementos e de seus vãos de fundamental importância na composição. E, se apenas isto não garante a obtenção de beleza, certamente objetos bem proporcionados expressam-se de forma mais correta e tornam mais adequada sua inserção na paisagem.

Alguns arquitetos e projetistas utilizam regras de proporção bastante rígidas na ordenação de suas obras, enquadrando todas as formas e elementos da composição a um traçado ordenador preestabelecido, outros não adotam tamanha

rigidez ordenadora, mas algumas regras básicas e fundamentais devem ser sempre observadas.

A forma final da seção transversal do tabuleiro de uma ponte e sua conexão ao pilar está toda ordenada a partir de uma malha ortogonal de 4 por 5 módulos retangulares, e 6 diagonais. As formas são então definidas pelas linhas e proporções estabelecidas pelo traçado ordenador. (Figura 5.3)

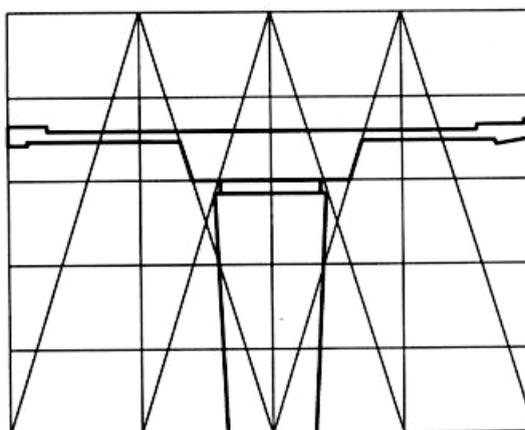


Figura 5.3 - esquema de proporção na definição do desenho da seção transversal de uma ponte.

Fonte: apud Barker e Puckett, 1997, p. 43

Uma destas regras é a preferência por número par de apoios e, conseqüentemente, um número ímpar de vãos. A adoção de número ímpar de apoios acarreta na existência de um apoio no centro do vão total, criando uma tensão que tende a “partir” o objeto em dois. Além disso, quando são apenas dois vãos, que normalmente é o caso mais comum em passarelas urbanas, cria-se um efeito denominado “dualidade não resolvida”, porque o observador tem dificuldade em encontrar o ponto focal de sua direção ao perceber dois vãos. Leonhart (apud Barker e Puckett, 1997) propõe solução para o problema com um aumento na massa do apoio central, redirecionando a atenção para os vãos (Figura 5.4).

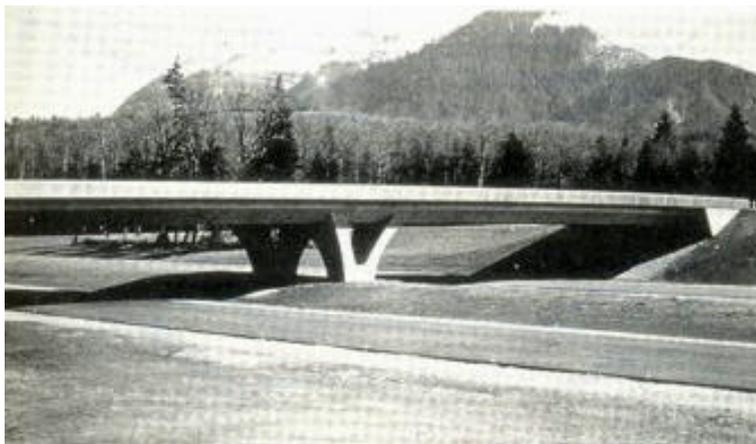


Figura 5.4 - Exemplo de solução para "dualidade não resolvida"
Fonte: apud Barker e Puckett, 1997, p. 57

Outro aspecto fundamental é a questão da relação entre espaço construído e vazio, ou espaço positivo e negativo. A proporção desses vazios (espaço negativo), é muito importante, devendo a definição dos vãos ser bastante estudada, analisando-se o perfil do terreno a ser transposto, de forma que os espaços vazios dos vãos estejam bem proporcionados. Dependendo do perfil natural do terreno uma estrutura com vãos variáveis pode ser mais adequada proporcionando uma relação entre vãos e altura mais equilibrada, mas para outros perfis naturais podemos conseguir com uma seqüência de vãos iguais, estabelecer proporções agradáveis e bonitas(Figura 5.5). Nas passarelas urbanas estas soluções podem ser bastante difíceis pois em ambientes urbanos conformados as possibilidades de locação de apoios normalmente já estão bastante definidas.

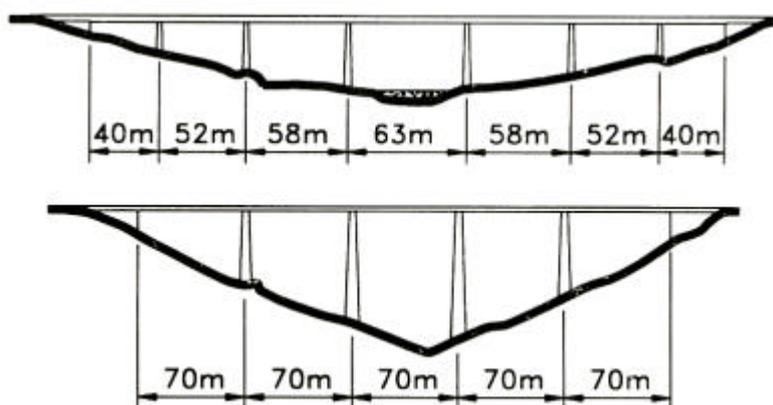


Figura 5.5 - Exemplos de relação entre espaço positivo e negativo bem solucionada.

Fonte: apud Barker e Puckett, 1997, p. 44

A proporção entre apoios e tabuleiros com sua estrutura de sustentação é outro aspecto a ser observado. Apoios muito volumosos sustentando elementos muito leves, ou o inverso, apoios muito delgados sustentando grandes volumes podem apresentar uma imagem desequilibrada e desagradável. A profundidade dos apoios, também deve ser observada para que, quando vista de forma oblíqua os mesmos não fechem a visão do vão. Leonhart (apud Barker e Puckett, 1997) propõe uma relação máxima entre vão e profundidade dos apoios de $1/8$, para apoios constituídos de um único elemento, e $1/3$ quando formados de mais de um elemento. (Figura 5.6)

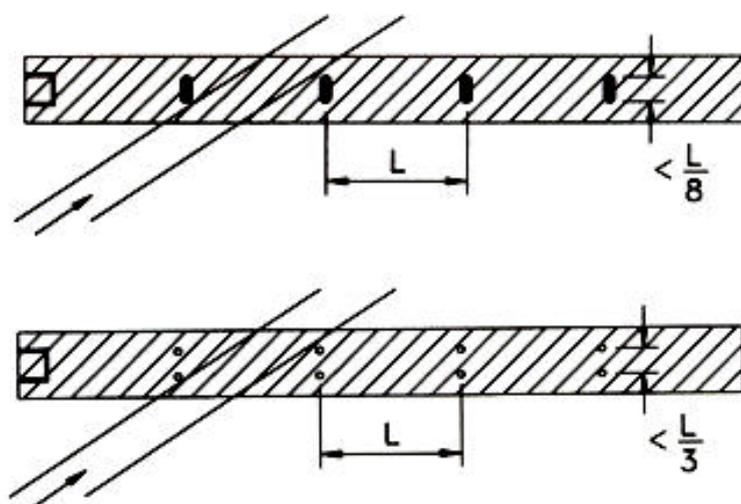


Figura 5.6 - Relação entre vão e profundidade dos pilares.
 Fonte: apud Barker e Puckett, 1997, p. 47 e 48

5.3. HARMONIA

Harmonia diz respeito à relação entre as partes da passarela na configuração de sua imagem total e também da relação entre a passarela e a paisagem e ambiente urbano em que está inserida. A relação entre as partes das passarelas é governada pela proporção de seus elementos, massas e de seus espaços negativos, bem como pelo papel de cada um na configuração de sua expressão formal e imagem total. Deve-se tomar bastante cuidado com a proporção entre os acessos (rampas e escadas) e o restante da passarela, pois nos casos de pequenas transposições, escadas e rampas tendem a ser elementos muito maiores em massa, volume e expressão que a passarela propriamente dita (Figura

5.7), tornando-se problema de difícil solução na resolução da unidade de sua imagem.



Figura 5.7 - Proporção entre acesso e a passarela
Fonte: Structurae (2004) – 26.

Na relação da passarela com a paisagem, deve-se observar a questão de figura e fundo, ou seja, não basta uma boa solução para a passarela apenas, esta solução tem de se inserir na paisagem complementando-a ou melhorando-a. As relações de proporção e escala entre passarela e os demais elementos que compõem a paisagem devem estar ajustados e em harmonia, e seu desenho deve expressar-se de forma clara, respeitando os elementos locais. Assim, a leitura correta e precisa dos elementos que compõem a paisagem, a identificação do caráter, das escalas, proporções e tensões locais, é fundamental para concepção e inserção das passarelas nos ambientes urbanos.

5.4. ORDEM E RITMO

Os conceitos de ordem e ritmo, em relação ao desenho de passarelas, vêm sempre juntos e têm significados ligados à questão da repetição de elementos. Ordem diz respeito às características dos elementos e ritmo à frequência com que

se justapõem. Como a maior parte das passarelas urbanas possuem número pequeno de vãos, não são eles que normalmente irão definir a ordem e o ritmo nas mesmas, e sim seus elementos complementares, com guardacorpos, coberturas, e elementos que compõem sua estrutura principal ou secundária. É importante notar que o conceito de repetição não impõe solução repetitiva e monótona, mas permite ordem e ritmos diferenciados e dinâmicos. Uma boa solução pode tornar-se elemento importante na própria organização da paisagem local, às vezes carentes de ordenação clara e sem unidade aparente.

5.5. CONTRASTE E TEXTURA

Numa composição onde se utilizam vários elementos, sempre se combinam elementos de características variadas e opostas, gerando contrastes e texturas. Ao combinarem-se elementos de características opostas criam-se contrastes que influenciarão a percepção dos mesmos. Assim, em uma passarela em estrutura pênsil, a massa de seu portal se contrapõe à leveza de seus cabos e o contraste entre estes dois elementos dá a impressão que os cabos são mais leves e o portal mais sólido e vigoroso.

Da mesma forma, a adoção de determinadas texturas nos elementos das passarelas possibilita uma percepção diferente desses elementos, alterando a noção de profundidades dos planos dos elementos e até mesmo sua expressão de força, peso ou dimensão. (Figura 5.8)

Assim, a utilização de contrastes e texturas é uma forma de ajustar-se a aparência dos elementos que compõem a passarela, corrigindo-se proporções, ajustando-se expressões, em busca de maior harmonia entre seus elementos.



Figura 5.8 - Elementos de travamento do tabuleiro criam leveza na aparência da viga e de todo o conjunto.
Structurae (2004) – 27.

5.6. LUZ E SOMBRA

O modo como a luz solar incide nos elementos das passarelas criando áreas de luz e sombra, influi de forma importante na percepção dos mesmos. A luz solar, incidindo no mesmo plano dos elementos tende a realçar e mostrar, através de sombras, imperfeições devidas a soldas mal executadas, pequenas ondulações das chapas e até problemas na execução da pintura. Por outro lado, áreas de sombra em contraste com áreas de luz tendem a desmaterializar os elementos, tornando-os menores e mais leves do que são. Se, por exemplo, quiser-se reduzir a aparência de uma viga, poderia-se criar ou utilizar algum elemento da passarela que projete sombra sobre ela, tornando sua aparência bem menor do que na verdade é. (Figura 5.9)

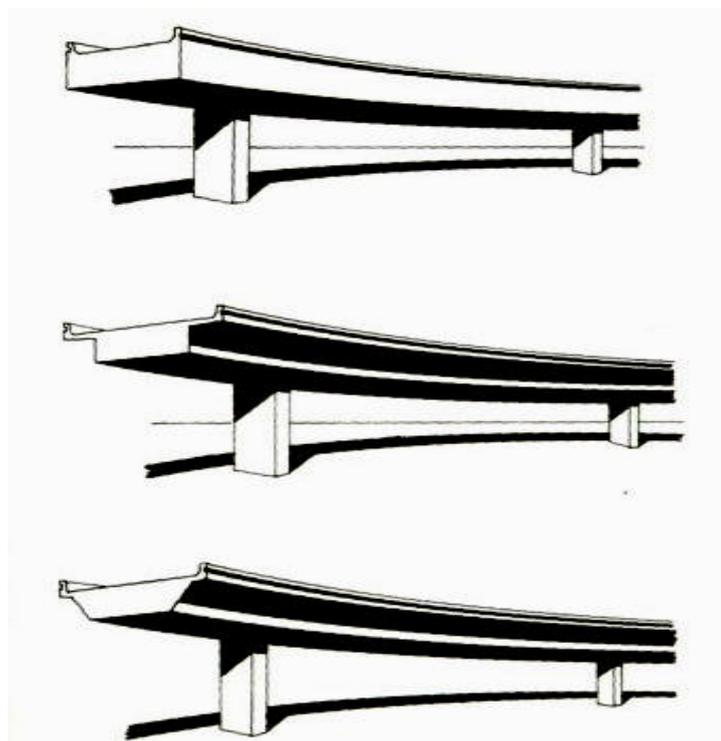


Figura 5.9 - Influencia da sombra na percepção das formas.
Fonte: apud Barker e Puckett, 1997, p. 55

Portanto, é muito importante conhecer-se a orientação correta da passarela em relação ao sol verdadeiro, para saber-se de forma precisa a direção da luz solar que incidirá sobre ela e os tipos de sombras que serão geradas por seus elementos, definido sua imagem e expressão.

Na verdade, uma passarela insere-se na paisagem e se expressa de forma correta quando o conjunto de fatores que a definem estão solidários e formam uma unidade que responde a todas as demandas impostas. Assim, questões funcionais, técnicas, financeiras e estéticas devem estar equacionadas juntamente para a obtenção de uma solução que seja aceita pela população, que não a analisa por partes, mas a percebe de forma intuitiva, global e diferenciada.

Pesquisa realizada sobre a percepção do público quanto à aparência de 12 pontes, realizada por O'Conner, Burgess e Egan (1980), a partir de desenhos e fotos, mostra que a aceitação é maior pelos moradores da cidade em que a ponte está, indicando uma forte influência do conhecimento da importância da obra em relação à cidade e de uma relação mais intensa e cotidiana de familiaridade, mas mostra também uma variação significativa em relação a grupos por idade e sexo.

A percepção das passarelas também estará sujeita a fatores diversos, que se alteram com os grupos de indivíduo que formam a população de uma cidade, sendo o entendimento desta cultura local de grande importância para a concepção e definição estética das passarelas.

6. SISTEMAS ESTRUTURAIS

Os sistemas estruturais são definidores das principais características das passarelas. Podem definir sua forma e expressão plástica e impõem requisitos relativos a vãos, apoios, acessos, gabaritos e processos de montagem. Os vários tipos de passarelas podem ser classificados pelo material empregado (aço, concreto ou madeira), pela dimensão de seu vão (pequeno médio ou grande) ou pelo sistema estrutural utilizado (viga, treliça, arco, suspensão ou cabo estaiada).

Barker e Puckett (1997) classificam as pontes a partir da posição da estrutura principal em relação ao tabuleiro, ou seja, estrutura acima do tabuleiro, coincidente com o tabuleiro ou abaixo do tabuleiro. Esta classificação é também adequada às passarelas e relaciona o sistema estrutural utilizado com uma característica formal (a linha e posição do tabuleiro) que é uma das principais na definição da imagem das passarelas.

Assim os sistemas estruturais mais utilizados em passarelas serão analisados a partir das seguintes classificações:

- tipos de sistemas estruturais: arcos, treliças, vigas, suspensa e estaiada.
- posição da estrutura principal em relação ao tabuleiro: abaixo do tabuleiro, coincidente com o tabuleiro e acima do tabuleiro.

6.1. TIPOS DE SISTEMAS ESTRUTURAIS

A partir desta classificação os sistemas estruturais mais utilizados nas passarelas serão analisados apresentando-se as principais características de seu comportamento, de seus apoios, de execução e montagem e a faixa de vão mais econômico.

Os sistemas mais utilizados podem ser enquadrados dentro de um dos seguintes sistemas estruturais básicos: arco, viga, treliça , pênsil ou estaiada.

Evidentemente que soluções híbridas que são sistemas derivados de sistemas básicos mas com conformações bastante específicas como o caso da

passarela do Millenium (Figura 6.30), ou mistas que ocorrem quando são utilizados diversos sistema estruturais em uma mesma ponte, um em cada parte como a passarela Goodwill (Figura 6.1), podem ser encontradas e viabilizadas técnica e economicamente. Assim uma mesma passarela que vence mais de um vão pode utilizar um sistema estrutural diferente para cada vão, ou mesmo utilizar um sistema estrutural composto por características de comportamento ou construtivas de mais de um dos sistemas descritos



Figura 6.1 - A Passarela Goodwill em Brisbane utiliza diversos sistema no seu desenvolvimento.

Fonte: Structurae (2004) – 28.

6.2. ARCO

6.2.1. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

Os arcos constituem, certamente, o sistema estrutural mais utilizado em toda a história do homem na construção de pontes e passarelas. Os arcos podem ser definidos como um sistema no qual as cargas gravitacionais são transmitidas aos apoios principalmente por esforços de compressão, devendo os apoios resistir a esforços verticais e horizontais no sentido de abertura do arco.(Figura 6.2)

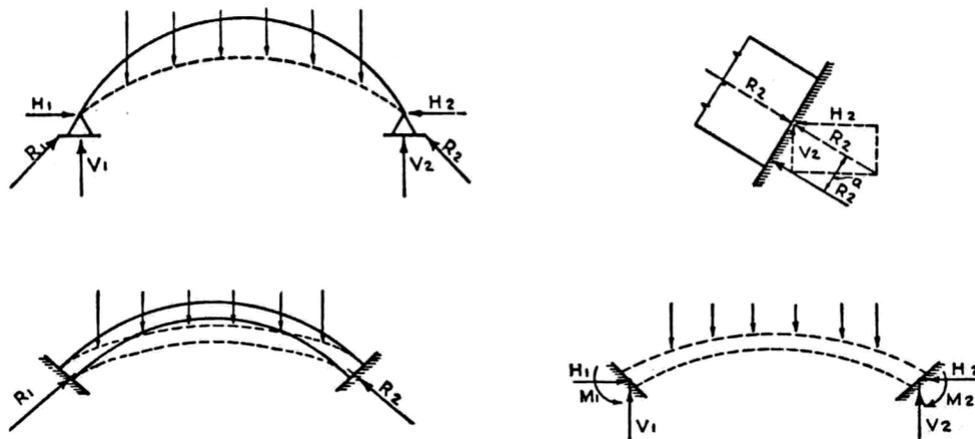


Figura 6.2 - Esforços e reações do sistema em arco.
 Fonte: Xanthakos, 1994, p. 892

Devido a esta característica estrutural, os arcos inicialmente puderam ser construídos de pedras, sem argamassa, só pela justaposição de seus elementos, vencendo vãos maiores que uma viga comum, de pedra ou madeira, poderia vencer. A primeira ponte em estrutura de aço, a ponte de Coalbrookdale, é uma estrutura em arco, e hoje com a utilização da tecnologia disponível, os arcos podem ser de estrutura de alma cheia, vazada ou caixão, ou nos mais variados tipos de treliças.

O arco pode ter forma e proporção diversa mas é importante notar que sua configuração geométrica influi no seu comportamento estrutural. Xanthakos (1994) demonstra este aspecto e apresenta métodos de determinação do efeito das forças na estrutura, para os diversos tipos de arco.

É importante observar que o que diferencia uma estrutura em arco de um pórtico ou uma viga curva, é exatamente o fato da estrutura em arco sempre impor reações verticais e horizontais nos dois apoios, o que faz com que a estrutura trabalhe primordialmente com esforços de compressão minimizando os momentos fletores decorrentes da distribuição variada do carregamento.

Assim, a utilização dos arcos demanda sempre boas condições de apoio, pois estes deverão resistir a esforços verticais e horizontais no sentido de abertura do arco. O ideal é que os apoios estejam diretamente sobre o solo, pois se

estiverem sobre colunas estas deverão resistir aos esforços horizontais gerando grandes momentos fletores em sua base.

Configurações com arcos múltiplos demandam apoios que resistam a esforços horizontais significativos apenas nas extremidades, pois nos apoios intermediários, os esforços horizontais de um dos arcos sempre anulam ou reduzem os do seu vizinho. Neste caso é recomendável que os arcos intermediários possuam as mesmas características geométricas, para que seus esforços sejam semelhantes.

Além disso, como a flecha do arco é inversamente proporcional aos empuxos laterais, quanto maior a altura do arco mais barata a solução dos apoios, e menos sujeito a momentos fletores significativos e indesejáveis o arco estará.

Passarelas em arco são mais adequadas para vãos entre 30 e 40 metros.

O arco isostático ou arco triarticulado, possui apoios articulados e uma articulação central. Já os arcos hiperestáticos podem ser biapoiados com apoios rotulados, ou engastados. (Figura 6.3)

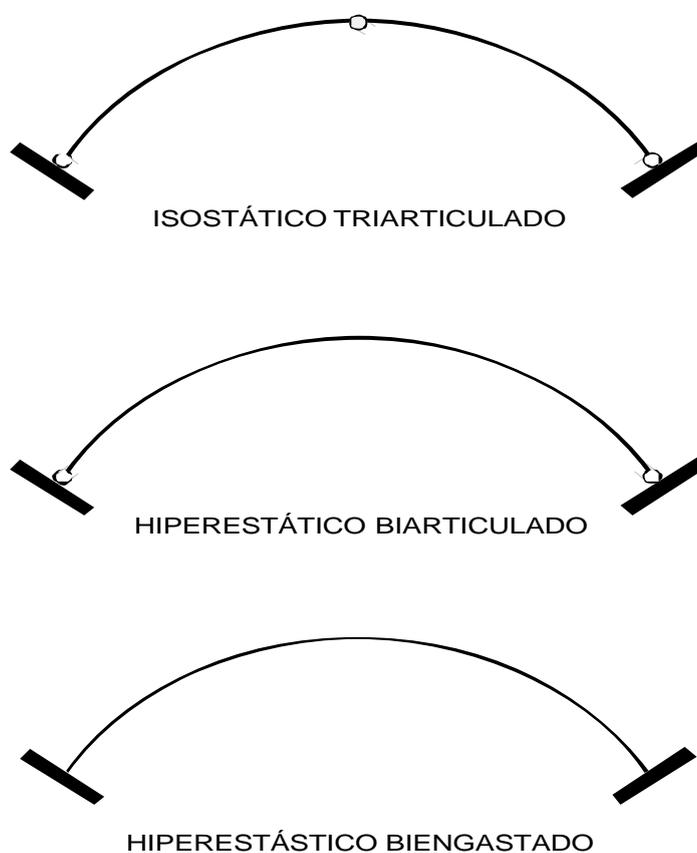


Figura 6.3 - Tipos de arcos

As condições de apoio e o número de vínculos existentes influem no comportamento dos arcos e na definição de sua geometria, bem como a distribuição e a natureza dos esforços a que está solicitado, caracterizando funiculares e linhas de pressão diferenciadas.

6.2.2. ELEMENTOS E COMPOSIÇÃO:

Os elementos que compõe o arco são apresentados na Figura 6.4.

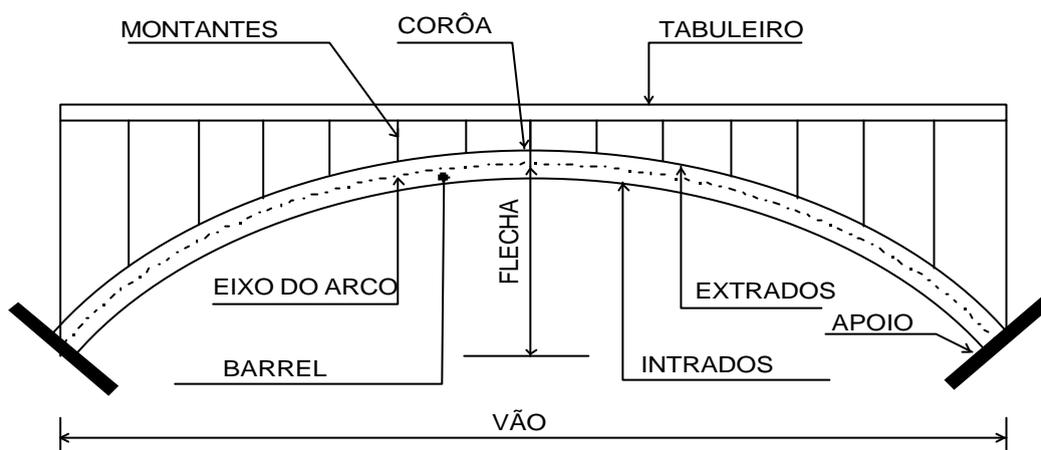


Figura 6.4 - Elementos do Arco

6.2.3. POSIÇÃO DA ESTRUTURA:

A utilização de arcos nas passarelas pode ocorrer com diversas configurações e sua posição em relação ao tabuleiro pode ser acima, abaixo, coincidente ou ate intermediária.(Figura 6.5)

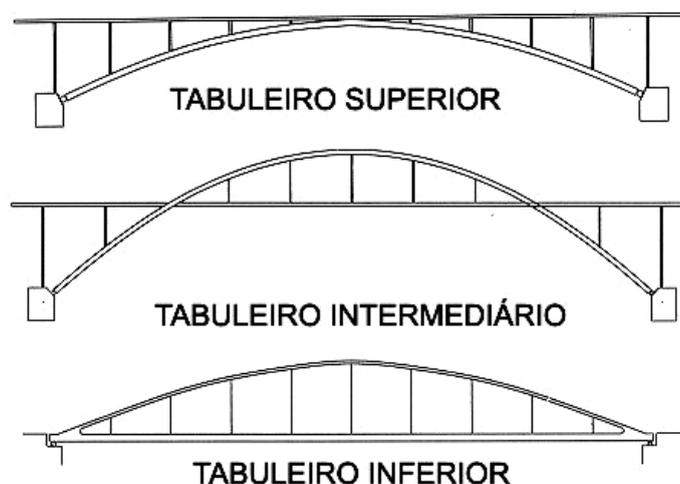


Figura 6.5 - Posição do arco em relação ao tabuleiro
Fonte: Meyer, 1996, p.181.

Quando o arco está abaixo de linha do tabuleiro, os montantes que transmitem as cargas do tabuleiro para o arco estão submetidos principalmente a esforços de compressão, mas podem transferir momentos fletores produzidos pelo tabuleiro para o arco, o que pode ser evitado através de ligações rotuladas nos montantes. Esta configuração tende a elevar a altura do tabuleiro em relação ao obstáculo a ser transposto, aumentando os problemas de acesso à passarela.

O posicionamento do arco acima da linha do tabuleiro, demanda um travamento transversal do arco na região mais alta, o que pode ser conseguido através de vigas transversais ou adoção de seção com geometria adequada, para suportar esforços laterais ao plano do arco. Nesta configuração os montantes ou pendurais estão submetidos basicamente a esforços de tração e o tabuleiro pode funcionar ou não como um tirante para absorver os esforços horizontais nos apoios.

No caso do tabuleiro estar em posição intermediária ao arco, parte dos montantes estarão submetidos a esforços de compressão e parte a esforços de tração. Dependendo da altura não é necessário o travamento transversal superior do arco, mas deve se tomar cuidado com a ligação do tabuleiro com o arco evitando-se a transmissão de momentos fletores para o mesmo.

Ainda é possível a configuração do arco coincidente com o tabuleiro, onde o tabuleiro descarrega seus esforços diretamente sobre o arco, além de fazer o travamento transversal do mesmo. No caso de arco treliçado, deve-se prever sistema de distribuição das cargas do tabuleiro apenas para os nós da treliça.

6.2.4. PONTOS POSITIVOS E NEGATIVOS:

A utilização do arco, para vãos entre 30m e 40m, nas passarelas em aço apresenta como primeira vantagem o fato do sistema permitir uma estrutura mais leve com menor consumo de material, devido à quase ausência de momentos fletores na estrutura principal. Além disso, estruturas em arco têm imagem muito bem aceita pelas pessoas, pela sua aparência de estabilidade e talvez por ser o sistema mais utilizado em toda a história em pontes e passarelas.

Por outro lado, elementos curvos em aço normalmente têm custo de fabricação elevado, exigem montagem mais complicada e onerosa, além de exigirem fundações capazes de resistir a esforços horizontais, o que demanda soluções mais complexas e caras.

Outro aspecto a se observar é que a configuração do arco abaixo da linha do tabuleiro, define altura de gabarito variável, o que implica em maior afastamento dos apoios, impondo vão maior que o necessário.

6.2.5. EXEMPLOS

A seguir são apresentados alguns exemplos de passarelas em todo o mundo utilizando estrutura principal em arco nas mais variadas configurações.

A passarela de Saint Maurice, Val de Marne, França é composta de três arcos em vigas de alma cheia que conformam o tabuleiro acima da estrutura em um único grande arco. (Figura 6.6)



Figura 6.6 – Passarela de saint Maurice, Val de Marne, França.
Fonte: Structurae (2004) – 29.

Na passarela Japão, em La Defense, Paris, o tabuleiro fechado em vidro curvo é sustentado por estrutura curva em treliça espacial, em perfis tubulares, que está suspensa por arco em perfil caixão, que se inicia duplo e depois transforma-se em um só. (Figura 6.7)



Figura 6.7 – Passarela Japão, La Defense, Paris.
Fonte: Meyre(2002), p.160 e 161.

A Passarelle de la Faternité, em Aubervilliers, França, é estruturada em um único arco central ancorado em estrutura em concreto em balanço com inclinação coincidente com o empuxo do arco. O tabuleiro segue a curvatura do arco.(Figura 6.8)



Figura 6.8 – Passarelle de la Faternité, Aubervilliers
Fonte: Structurae (2004) – 27.

6.3. TRELIÇA

6.3.1. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

Treliça é o nome dado ao sistema estrutural composto por barras retas, submetidas praticamente apenas a esforços axiais de tração ou compressão, formando triângulos, cujas ligações são concebidas como rótulas. Este arranjo dos elementos permite construção de estruturas de grande altura e pouco peso, configurando-se com uma estrutura bastante rígida em seu plano e muito eficiente, apresentando deformações e deslocamentos pequenos.

Apoios engastados são obtidos através de mais de um apoio rotulado, o que permite que o sistema transfira momentos mesmo tendo todos os seus elementos submetidos apenas à tração ou compressão.

Para que suas barras suportem apenas esforços axiais de tração ou compressão, todo carregamento deve ser sempre aplicado apenas nos seu nós, o que pode exigir a existência de subestrutura que promova a transição de carregamentos distribuídos em cargas pontuais.

As treliças podem ser estruturas planas ou tridimensionais. Treliças planas suportam carregamento apenas no seu plano, e podem demandar sistema de travamento lateral dos seus banzos, principalmente daquele submetido a esforços de compressão.

As treliças tridimensionais podem assumir uma configuração de elementos estruturais tridimensionais, ou de uma grande estrutura tridimensional semelhante a um tubo dentro do qual temos o tabuleiro. Esta configuração é bastante adequada quando existem demandas de fechamento ou cobertura da passarela.

Por se tratar de sistema que utiliza elementos lineares bastante esbeltos, deve-se ter atenção para o comprimento de flambagem dos elementos submetidos à compressão.

A relação econômica boa entre altura da treliça e o vão a ser vencido de estar entre $1/16$ e $1/18$, e o melhor ângulo de inclinação para as diagonais é em torno de 45° .

Vãos entre 20 e 50 metros são economicamente viáveis para o sistema de treliças.

6.3.2. ELEMENTOS E COMPOSIÇÃO

As treliças planas são basicamente constituídas de barras e nós com mostrado na Figura 6.9

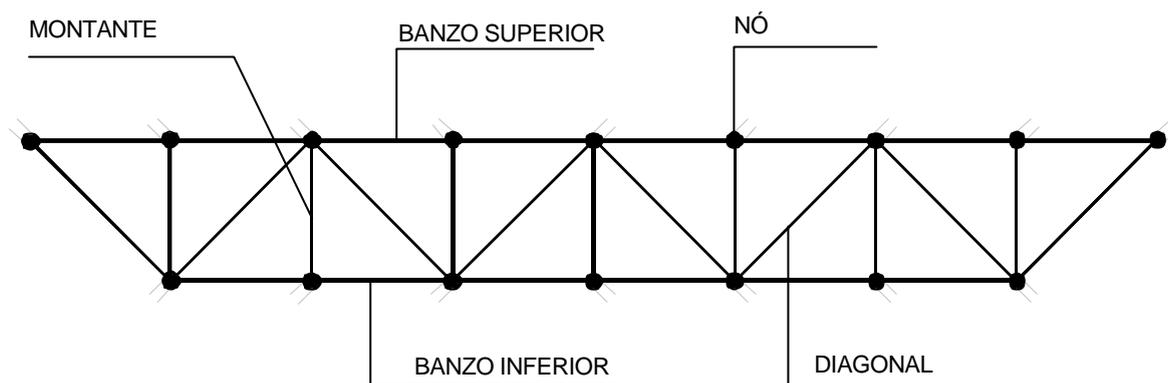


Figura 6.9 - Elementos das treliças planas

O desenho e a geometria das treliças, influenciam no tipo de esforços a que cada barra estará sujeita. Assim cada configuração de barras corresponde a um tipo de treliça, e os principais tipos são:

- 1) Pratt: nesta configuração, para carregamento nos nós do banzo superior, as barras deste estão sujeitas a esforços de compressão, banzo inferior a esforços de tração, montantes a esforços de compressão e diagonais a tração. Para carregamento nos nós do banzo inferior as diagonais e montantes passam a suportar esforços de tração (Figura 6.10).

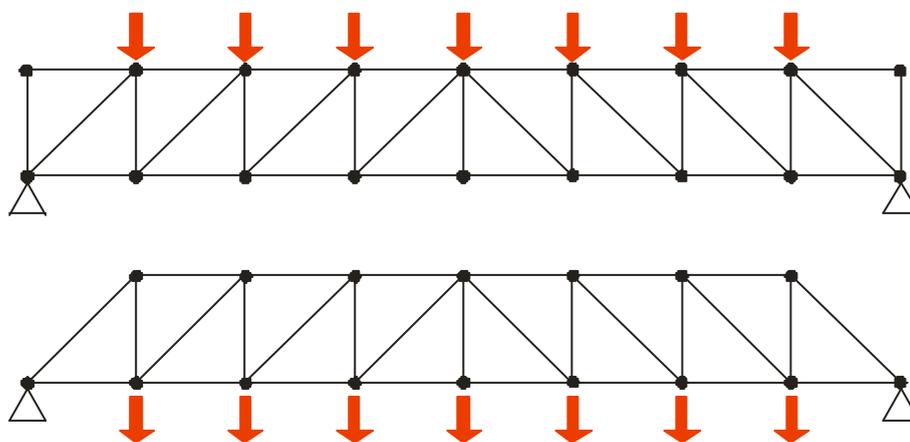


Figura 6.10 - Treliça tipo Pratt

- 2) Howe: nesta configuração, para carregamento superior, as barras do banzo superior estão sujeitas a esforços de compressão, as do banzo inferior a esforços de tração e os montantes e diagonais a esforços de compressão. Para carregamento nos nós do banzo inferior as diagonais e montantes passam suportar esforços de tração e a estrutura de comporta como a Pratt (Figura 6.11).

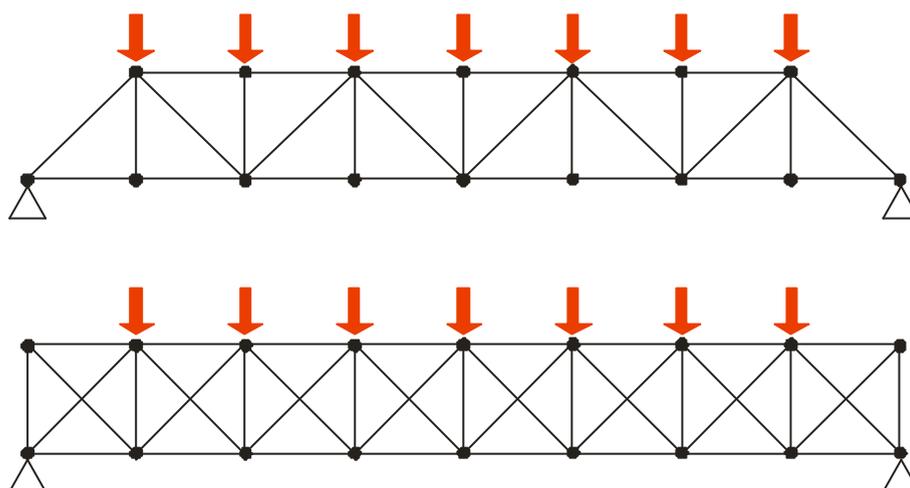


Figura 6.11 - Treliça tipo Howe

- 3) Waren ou X: esta configuração não apresenta montantes verticais e as diagonais podem ou não se cruzar. Para carregamento nos nós do banzo superior, o banzo superior fica comprimido, o inferior tracionado e diagonais comprimidas. Para carregamento nos nós do banzo inferior, as diagonais passam a suportar esforços de tração (Figura 6.12).

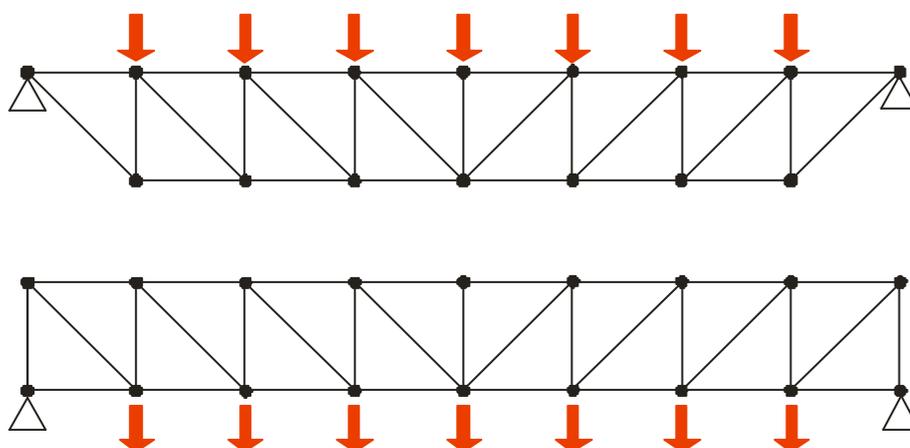


Figura 6.12 - Treliça tipo Waren

- 4) K: nesta configuração as diagonais são reduzidas e têm-se algumas diagonais sujeitas a esforços de tração e outras a esforços de compressão (Figura 6.13).

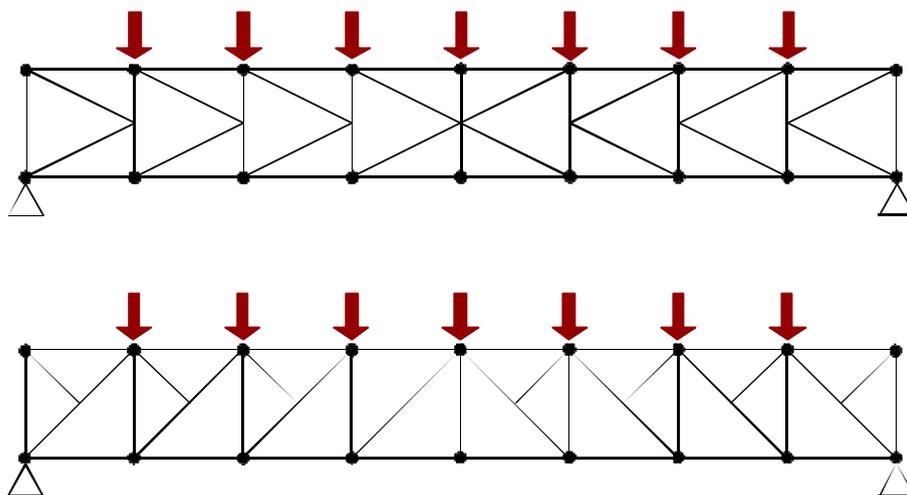


Figura 6.13 - Treliça tipo K

A partir destas configurações básicas pode-se ter variadas configurações, com a utilização de barras intermediárias para redução do comprimento de flambagem, criando-se desenhos e formas variadas.

6.3.3. POSIÇÃO DA ESTRUTURA

O tabuleiro nas passarelas que utilizam o sistema de treliças pode estar abaixo da estrutura (apoiado no banzo inferior), acima da estrutura (apoiado no banzo superior) ou em uma posição intermediária.

Quando o tabuleiro se encontra acima da treliça, ele pode ser utilizado no travamento lateral do banzo comprimido o que é uma boa solução, mas devido à altura da treliça, a altura do tabuleiro em relação ao obstáculo transposto tende a aumentar gerando maiores dificuldades de acesso à passarela.

Com a treliça acima do tabuleiro, consegue-se menor desnível para acesso à passarela, mas deve-se de criar um sistema de travamento lateral para o banzo superior, no caso de treliças planas.

Com o tabuleiro colocado em posição intermediária, em relação à treliça, minimiza-se o problema da altura a passarela mas não se resolve a questão do travamento lateral do banzo comprimido e criam-se problemas de conexão e

transmissão das cargas do tabuleiro para as treliças. Para este caso treliças K ou X podem constituir a solução mais adequada, facilitando e simplificando o sistema de apoio do tabuleiro na treliça.

6.3.4. PONTOS POSITIVOS E NEGATIVOS

As estruturas em treliças têm ótimo comportamento aerodinâmico, que aliado à sua grande rigidez e pouco peso, a definem como ótima solução para estrutura principal de passarelas ou partes e elementos em sistemas mais flexíveis, como passarelas estaiadas e pênseis. Seu pouco peso e grande rigidez estabelecem relação excelente de consumo de aço por vão. Além disso, esta leveza e rigidez permitem sua decomposição em partes menores e mais leves, facilitando o transporte e a montagem, que pode ser executada de forma rápida com utilização de equipamentos mais leves e com menor impacto sobre o tráfego local. Em passarelas fechadas ou cobertas, a solução em treliça com tabuleiro no banzo inferior é bastante interessante por permitir que os elementos estruturais funcionem também como estrutura da cobertura e da vedação.

Os pontos negativos da utilização do sistema são o alto custo de fabricação, de pintura e manutenção da estrutura em treliça. Além disso, sua imagem urbana quando a estrutura está aparente, tende a ser um pouco confusa quando vista de forma oblíqua, devido principalmente à superposição de um grande número de elementos em diagonal.

6.3.5. EXEMPLOS

A seguir são apresentados alguns exemplos de passarelas em todo o mundo utilizando estrutura principal em treliça, nas mais variadas configurações.

A passarela Besos Yatch Port, em Barcelona, é formada por estrutura treliçada assimétrica tanto no plano horizontal como vertical, gerando diversos espaços ao longo do tabuleiro destinados a áreas de estar e contemplação da paisagem. (Figura 6.14)



Figura 6.14 - Passarela Besos Yatch Port, Barcelona
Fonte: Structurae (2004) – 30.

Na passarela Greenside Place Lionk, em Edinburgo, coberta e de percurso curvo, foi utilizada estrutura em tubo treliçado , em perfis tubulares de seção circular.(Figura 6.15)



Figura 6.15 -Passarela Greenside Place Lionk, Edinburgo
Fonte: Structurae (2004) – 31.

A passarela do shopping center Mueller, em Curitiba, apresenta-se como um tubo revestido de alumínio com janelas corridas em vidro, e abriga uma esteira rolante que promove a ligação de duas áreas do shopping. Está estruturada em treliça planas com perfis tubulares de seção quadrada, aparentes apenas em seu interior.(Figura 6.16)



Figura 6.16 - Passarela do shopping center Mueller, Curitiba
Fonte: Finestra(2003) p.50

6.4. VIGAS

6.4.1. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

As estruturas em vigas trabalham basicamente com esforços de cisalhamento e momento fletor, mas de forma muito menos eficiente que a compressão nos arcos ou a tração nas estruturas suspensas.

Por estarem sujeitas a momentos fletores, trabalhando com esforços de tração e compressão na mesma seção, as vigas comportam-se melhor se tiverem altura suficiente para gerar um binário de esforços capaz de resistir internamente ao momento fletor solicitante. Além disso, como apenas as fibras extremas são a única porção de sua seção submetida inteiramente aos esforços, torna-se difícil a distribuição do material na sua seção transversal. As seções tipo I têm uma geometria capaz de resolver bem esta questão, pois se pode, nos perfis soldados, concentrar mais material nas mesas, mas é importante observar que seções em aço de grande altura tendem a ser muito esbeltas e podem estar sujeitas a problemas de estabilidade de flambagem lateral e flambagem da alma, demandando soluções de enrijecedores e contenções laterais, com conseqüente aumento de custo de fabricação. A utilização de sistema de viga mista pode resolver os problemas de instabilidade lateral mas impõe a utilização de tabuleiro em concreto com moldagem no local, pelo menos na região dos conectores.

Vigas biengastadas podem reduzir os momentos solicitantes, com redução de sua altura, mas transferem para as colunas ou apoios momentos fletores, tornando-os mais caros, além de dificultar a solução para a absorção dos esforços horizontais a que estão submetidas.

Nas passarelas a configuração mais comum é a de vigas gêmeas, mas sistemas com viga única podem ser utilizados, impondo-se à viga grande capacidade de resistir a esforços de torção, sendo mais recomendável à utilização de viga caixão por ser muito estável e suportar muito bem esforços de torção.

O sistema é o mais eficiente e barato para pequenos vãos, mas sua utilização é também viável para vãos maiores. Sistemas de vigas duplas podem ser utilizados em vãos entre 10 e 25 metros, vigas mistas de 10 a 50 metros e vigas caixão de 20 a 60 metros.

6.4.2. ELEMENTOS E COMPOSIÇÃO

A configuração física das vigas é das mais simples, basicamente compostas de um único elemento apoiado ou engastado, em colunas, ou apoios no solo. (Figura 6.17 e Figura 6.18)

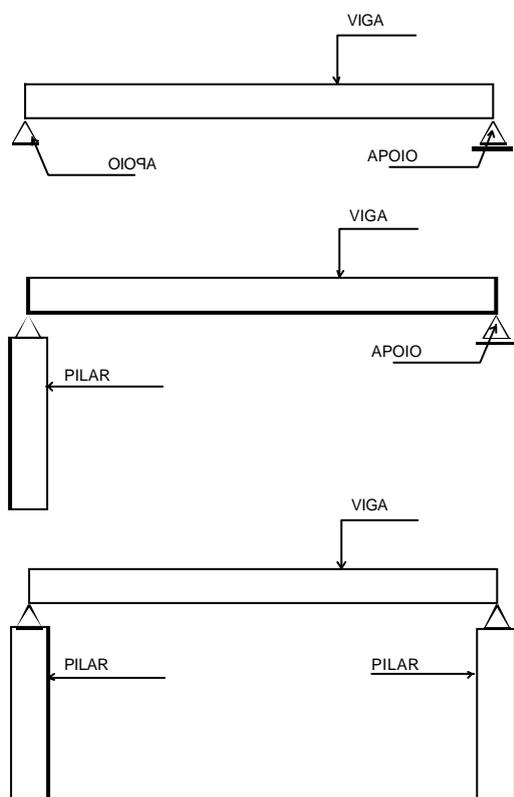


Figura 6.17 - Vigas, elementos e apoios

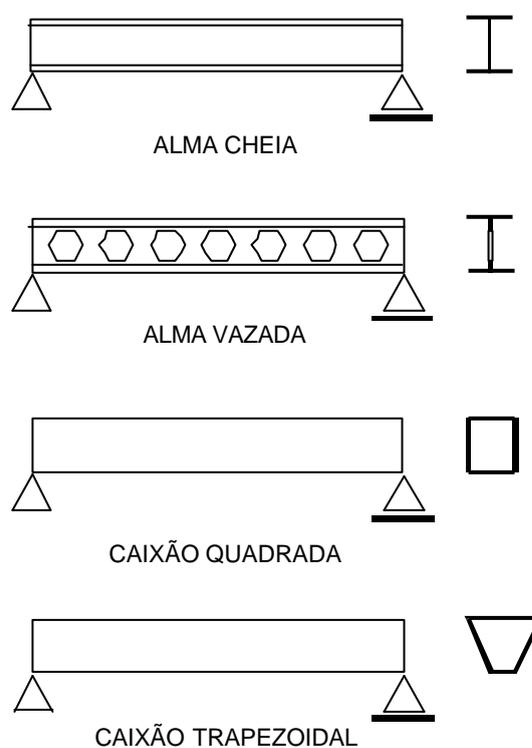


Figura 6.18 – Seções

Vigas com seção variável, com maior altura nos trechos de maior solicitação a momentos fletores, são uma solução também bastante utilizada, mas tem custo de fabricação bastante aumentado.

Outra solução também utilizada para melhorar o desempenho das vigas, e a chamada viga armada que consiste da utilização de elementos que aumentam rigidez da viga através do aumento de sua altura. (Figura 6.19)

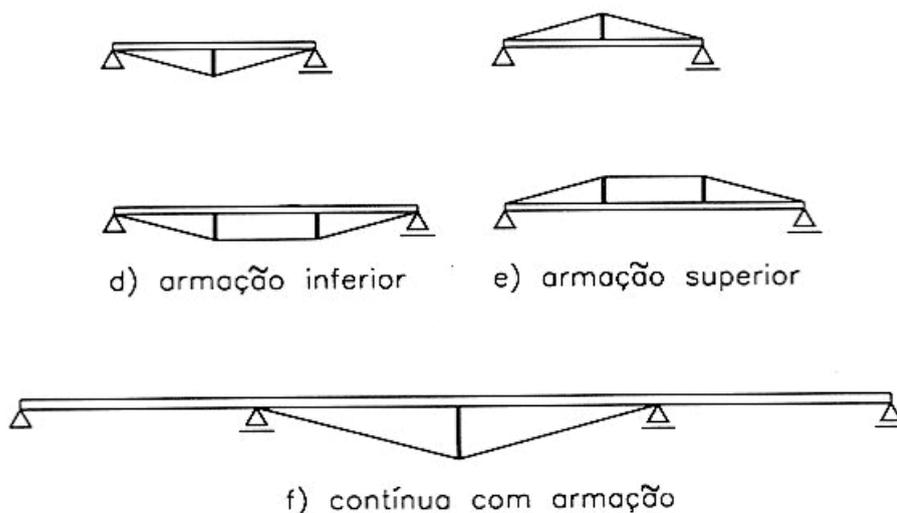


Figura 6.19 - Viga armada, tipos.
Fonte: Meyer, 1996, p. 116.

Um exemplo especial deste sistema é a viga Langer que utiliza um arco como elemento de travamento e enrijecimento da viga (Figura 6.20).

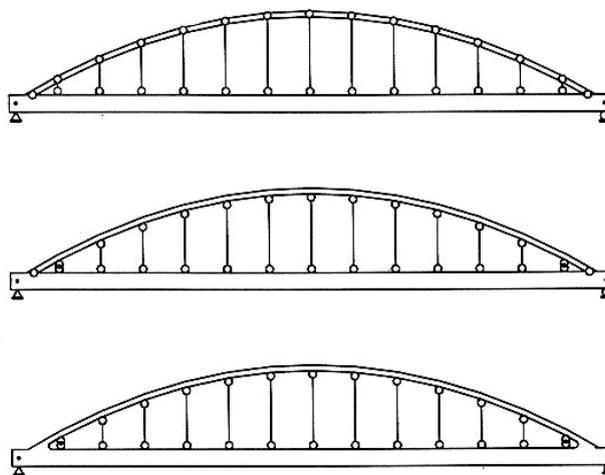


Figura 6.20 - Viga Langer, esquema simplificado.
Fonte: Meyer, 1996, p. 185.

Outra configuração bastante comum é a viga Virendel, que se comporta de modo semelhante a uma treliça, sob o ponto de vista de aumento de altura em relação ao seu peso, mas aqui as diagonais são desnecessárias pois todas as ligações são concebidas como engastes e todos os elementos trabalham a tração, compressão e flexão, e apresenta-se como uma solução bastante viável para vãos médios entre 15 e 45 metros (Figura 6.21).

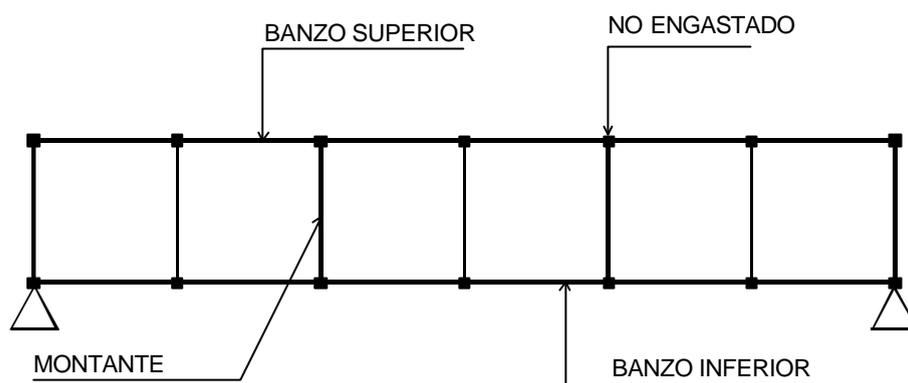


Figura 6.21 - Viga Virendel

O sistema denominado Gerber configura-se como uma viga contínua com articulações nas extremidades em balanços para apoiar uma viga biapoiada, mas é um sistema mais utilizado em pontes, por permitir vãos maiores, sendo pouco utilizado em passarelas (Figura 6.22).

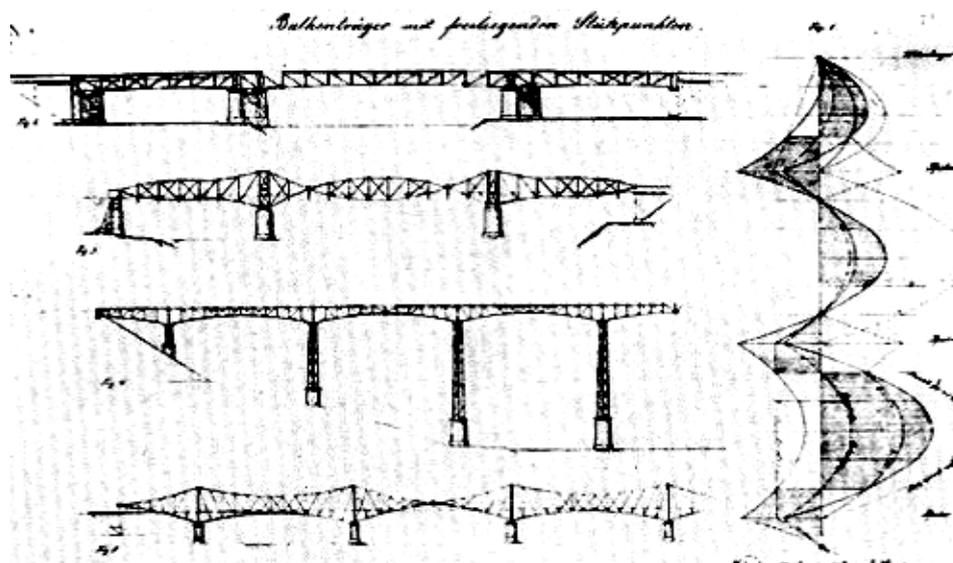


Figura 6.22 - Esquemas de pontes em viga Gerber
Fonte: Meyer, 1999, p. 145.

6.4.3. POSIÇÃO DA ESTRUTURA

Embora o sistema em vigas demande maior altura para maior rigidez e eficiência, as dimensões das vigas para os vãos das passarelas são normalmente pequenas e são utilizadas com seu eixo longitudinal praticamente coincidente com a linha do tabuleiro, que transmite seu carregamento diretamente sobre as vigas. Soluções com as vigas acima ou abaixo da linha do tabuleiro não são comuns, apenas quando da utilização de sistema Virendel encontraremos soluções semelhantes às treliças, podendo o tabuleiro estar acima, abaixo ou em posição intermediária em relação à viga. Nas vigas Langer, o tabuleiro encontra-se sempre abaixo estrutura.

Embora as vigas, geralmente não apresentem grande altura, o posicionamento da estrutura abaixo do tabuleiro sempre aumenta o desnível da passarela, mas o tabuleiro descarregando na parte inferior das vigas é pouco encontrado. Nas soluções com viga Virendel, a viga acima da linha do tabuleiro é mais utilizada e a solução em que esta viga apresenta-se também como guarda corpo é encontrada com muita frequência.

6.4.4. PONTOS POSITIVOS E NEGATIVOS

Para vãos pequenos é uma solução imbatível sob o aspecto econômico, têm baixo custo de fabricação pintura e manutenção, além de serem de fácil montagem demandando utilização de equipamentos leves e pouca interferência no tráfego local.

Como as vigas normalmente não têm grande altura não aumentam, de forma significativa, o desnível da passarela e, nos casos de acessos em nível, ocupam pouco espaço no vão a ser vencido. Além disto o sistema permite soluções formais bastante simples e delicadas, de pouca interferência na paisagem sendo às vezes ideal para ambientes urbanos já visualmente muito conturbados.

Para vãos maiores o aumento da altura das vigas acarreta um aumento significativo do consumo de aço, para resolver problemas muito mais de estabilidade que de resistência, com aumento de seu custo de fabricação.

Como as soluções normalmente são muito simples, são pouco expressivas formalmente e dificilmente conseguem ser um elemento marcante capaz de agregar significados e se tornar símbolo ou marca de determinado lugar.

6.4.5. EXEMPLOS

Na passarela sobre o rio Meno, foi utilizado o sistema de viga Langer, com arco e travamento em perfil tubular(Figura 6.23), já na Passarela Sant Feliu, utilizou-se uma viga caixão central de seção variada, e duas laterais, com elementos de travamento e estabilização do tabuleiro criando leveza e ritmo(Figura 6.24).

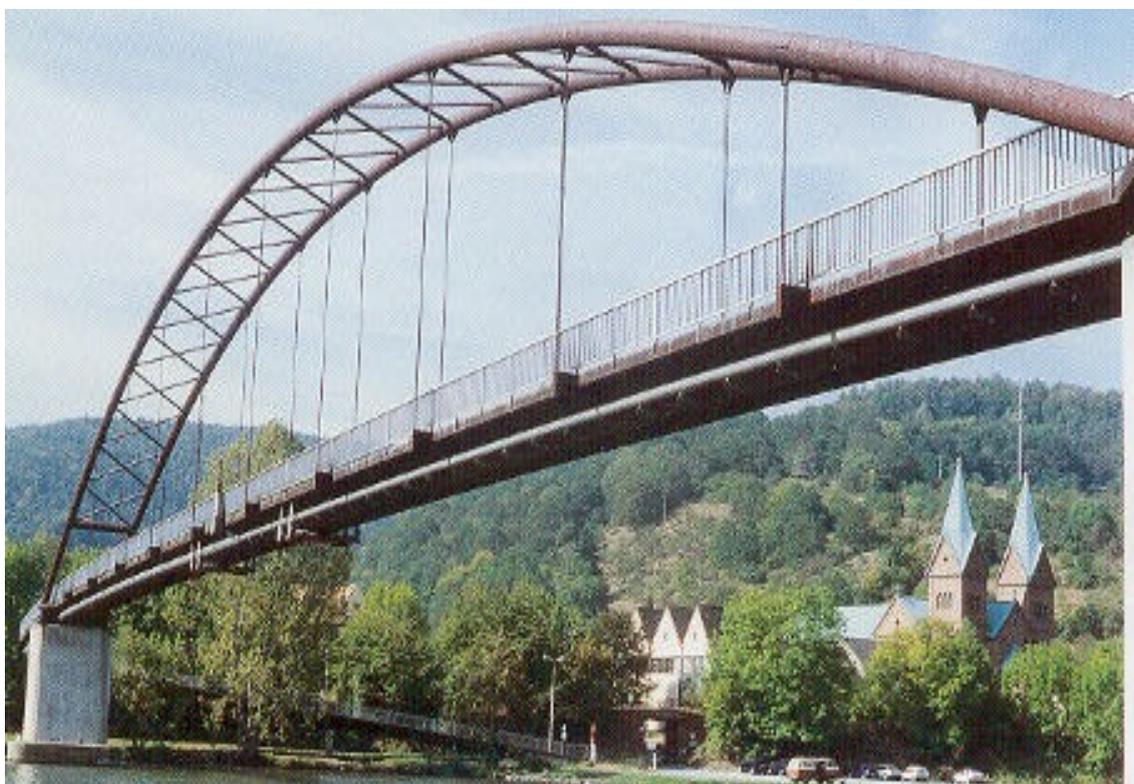


Figura 6.23 - Passarela sobre o rio Meno, Erlach/Neutad
Fonte: Meyer (2002), p.163.

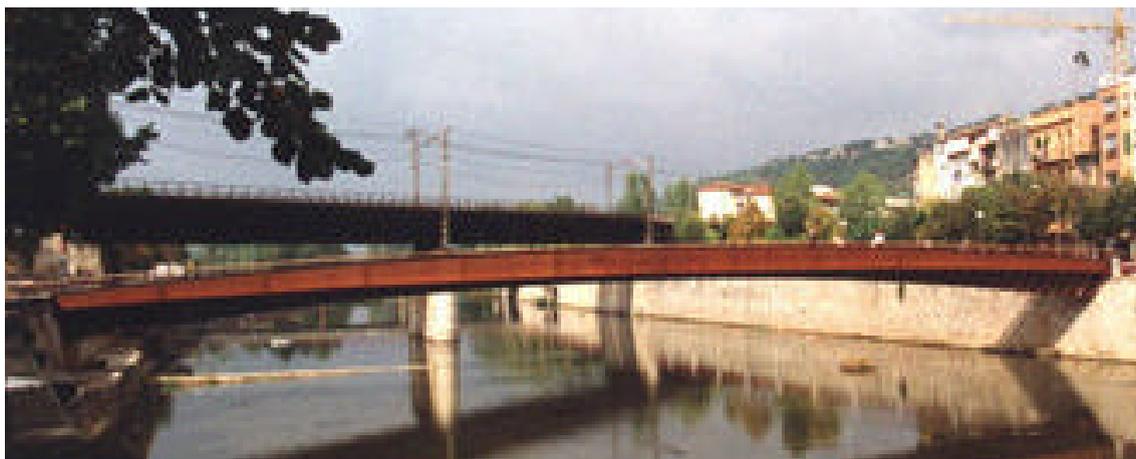


Figura 6.24 - Passarela Sant Feliu, Girona.
Passarela em viga caixão de seção variada. Vista geral e detalhe da estrutura
Fonte: Structurae (2004) -32.

Na passarela Passarelle du Moulin foram utilizadas quatro vigas em perfil I sustentando o tabuleiro e criando interessante desenho de borda através das sombras geradas pela defasagem das vigas(Figura 6.25), e porfim uma passarela sobre rodovia na Inglaterra em viga virendel de seção variável (Figura 6.26).



Figura 6.25 - passarelle du Moulin, sobre o rio Marne, França.
Fonte: Structurae (2004) – 33.



Figura 6.26 – passarela em viga virendel de grande vão sobre rodovia inglesa
Fonte: Corus Construction Center(2000)

6.5. SUSPENSAS – PÊNSIL

6.5.1. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

O sistema pênsil é basicamente formado por dois cabos principais, pendurados em torres e ancorados na extremidade, nos quais o tabuleiro está suspenso por uma série de outros cabos.

O principal elemento de sustentação do sistema pênsil são os cabos flexíveis projetados de forma a transferir as maiores cargas para a torre e para a ancoragem por tração direta. O tabuleiro é pendurado ao cabo principal por cabos também tracionados, e o cabo principal é travado no nível do tabuleiro por um par de treliças ou por um sistema de vigas, que conferem estabilidade ao sistema. Este sistema de travamento é necessário e fundamental para controlar os movimentos aerodinâmicos e os ângulos limites locais do tabuleiro.

O tabuleiro pode ser configurado como uma única viga biapoada nas extremidades, contínua (com apoios intermediários nas torres) ou como uma série de vigas biapoadas nas torres e na extremidade. (Figura 6.27)

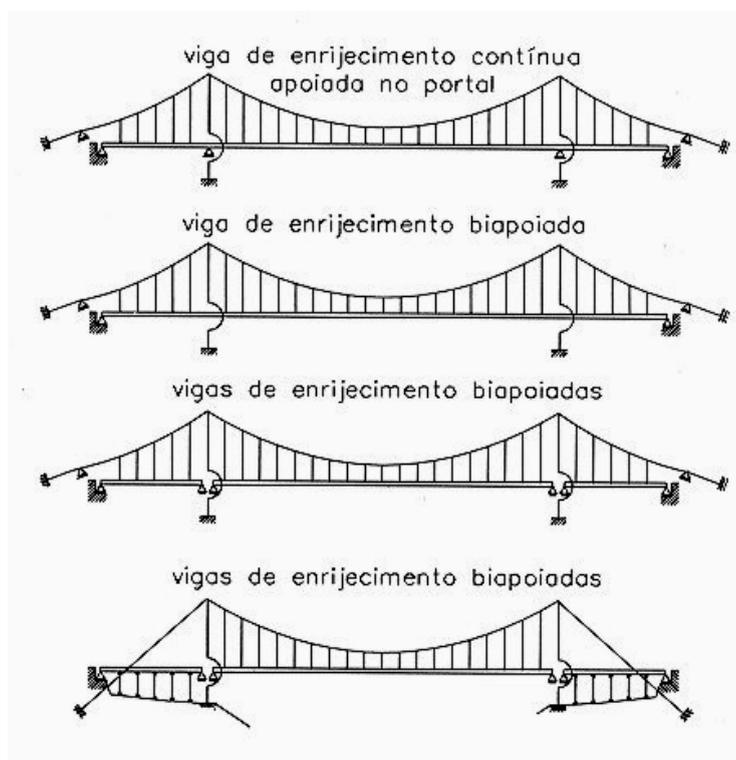


Figura 6.27 - Tipos de apoio.
Fonte: Meyer, 1996, p. 233.

O sistema de ancoragem serve para contrabalançar o empuxo horizontal imposto às torres pelos cabos principais. Assim, esta ancoragem demanda fundação capaz de resistir a esforços horizontais e verticais de tração.

Por estarem mais sujeitas a esforços de compressão que de flexão, as torres muitas vezes são executadas em concreto, mas quando executadas em aço uma especial atenção à sua geometria deve ser observada para que problemas de estabilidade possam ser solucionados primordialmente pela geometria de seu desenho com a menor utilização do aço, evitando o aumento de seu custo de fabricação. Assim, se os cabos apresentam uma economia significativa, as torres e a ancoragem podem exigir custos mais altos, principalmente a ancoragem se o solo for ruim para as fundações.

As torres podem demandar espaço significativo para apoio, principalmente se estiverem entre pistas, e neste caso, cuidados especiais de segurança devem ser observados pois falhas das torres devido a cargas acidentais podem comprometer de forma desastrosa o comportamento da estrutura.

O sistema permite solução para o tabuleiro muito esbelta, e como todo o conjunto é muito leve, é exigida redobrada atenção a questões ligadas à estabilidade aerodinâmica e ao comportamento em relação a vibrações.

A estrutura pode ser erigida sem estágios intermediários, mas sua montagem não é muito simples e demanda cuidados especiais.

Embora tenha sido criado para vencer grandes vãos, o sistema tem se mostrado competitivo para vãos curtos e diversas passarelas de grande qualidade estética têm sido construídas. Normalmente torna-se mais competitiva economicamente para vãos acima de 70 metros.

A estrutura normalmente é elegante e leve, mostrando de forma clara seu princípio de comportamento e cria imagem forte e expressiva, tornando-se um ícone local nas diversas oportunidades que foi utilizada.

6.5.2. ELEMENTOS E COMPOSIÇÃO:

O sistema pênsil apresenta uma configuração básica como a apresentada abaixo (Figura 6.28):

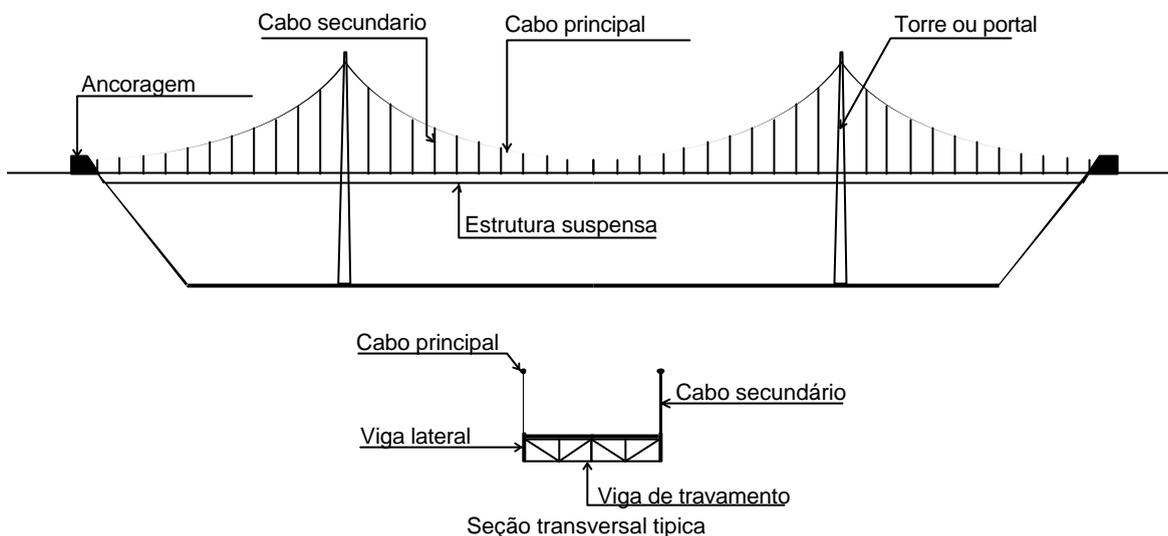


Figura 6.28 - Sistema pênsil: elementos

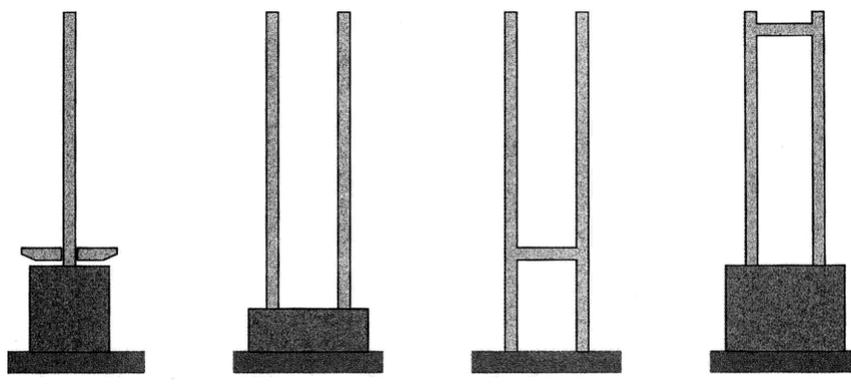


Figura 6.29 - Tipos de mastros e torres
Fonte: Meyer, 1999, p. 211.

Embora a maioria das passarelas apresente configurações muito parecidas, algumas variações significativas encontradas são a inclinação das torres (Figura 6.29) no plano dos cabos principais, aumentando os esforços de compressão nas torres e reduzindo esforços na ancoragem, bem como a inclinação das torres no plano perpendicular aos cabos, aumentando à estabilidade e rigidez lateral do sistema

6.5.3. POSIÇÃO DA ESTRUTURA:

As estruturas suspensas, pelo seu próprio princípio de concepção estrutural, encontram-se, praticamente sempre, acima da linha do tabuleiro, permitindo a menor altura do mesmo e facilitando os acessos, mas criando significativos elementos visuais na paisagem acima da linha da passarela.

Soluções podem ser criadas imaginando-se sistemas suspensos abaixo da linha do tabuleiro, um exemplo é a passarela do Milenium em Londres(Figura 6.30), mas não se configura como um sistema pênsil clássico, mas sim como um sistema suspenso híbrido.



Figura 6.30 - Tabuleiro apoiado sobre cabos suspensos laterais.
Fonte: Structurae (2004) – 4.

6.5.4. PONTOS POSITIVOS E NEGATIVOS

O uso do aço suportando tração, no cabo principal e nos secundários, define uma estrutura bastante leve, com economia significativa de material principalmente em grandes vãos.

A estrutura é capaz de vencer grandes vãos de forma elegante e leve, mostrando claramente seu princípio de comportamento e apresentando-se na

paisagem urbana com imagem forte e expressiva. Em áreas urbanas mais planas, de ocupação mais horizontalizada e menos densa, torna-se marcante sem criar conflitos visuais entre seus elementos e a paisagem. Entretanto, em paisagens mais conturbadas ou verticalizadas, a presença de suas torres, também verticais, bem como a grande quantidade de cabos, pode aumentar a confusão visual e perder toda sua leveza e expressividade.

O alto custo de pintura, de manutenção de seus elementos e de fabricação dos aparelhos de ancoragem e ligação de cabos é uma das maiores desvantagens do sistema que, em vãos não muito grandes, tem perdido espaço para as estruturas estaiadas.

6.5.5. EXEMPLOS

São apresentados três exemplos de passarelas que utilizam o sistema pênsil.

A primeira utiliza um sistema pênsil em monocabo, com torres e tabuleiro estruturados em perfis tubulares de seção circular (Figura 6.31 e Figura 6.32).

O segundo utiliza o sistema com dois cabos ancorados em quatro torres em perfis soldados de seção variada, e tabuleiro estruturado em vitrelicada ligeiramente arqueada, formando o guarda corpo da (Figura 6.33).

O terceiro exemplo apresenta uma passarela que utiliza o sistema pênsil de dois cabos, presos no vértice das torres, que como o tabuleiro são estruturadas em perfis tubulares (Figura 6.34).



Figura 6.31 - Passarela sobre o anel intermediário (Mittleren Ring) Munique
Passarela pênsil em monocabo e perfis tubulares.

Fonte: Meyer (2002), p.164

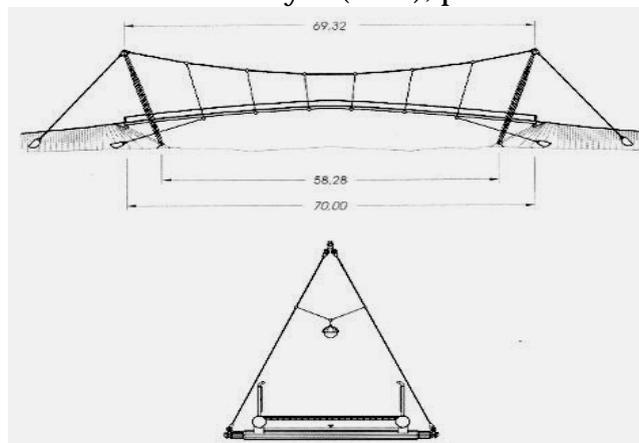


Figura 6.32 - Passarela sobre o anel intermediário (Mittleren Ring) Munique
Elevação e seção transversal

Fonte: Meyer (2002), p. 165.



Figura 6.33 – Passarela estaiada sustentando viga treliçada que cinforma o guardacorpo. Detalhe do mastro.
Fonte: Structurae (2004) – 34.

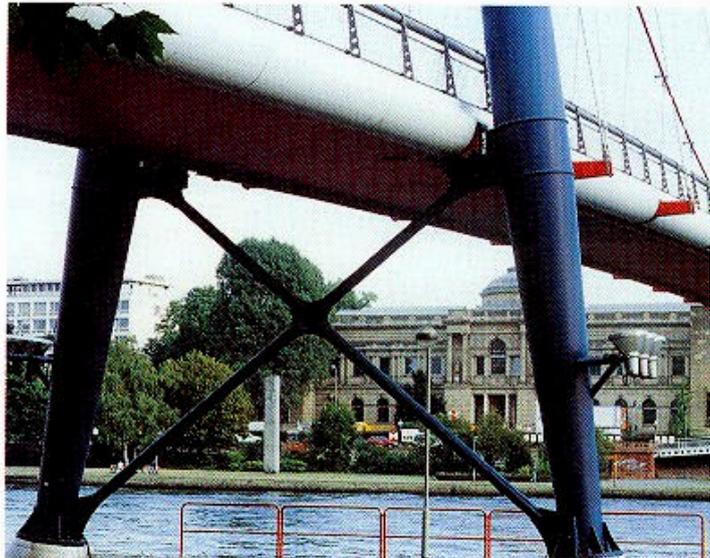
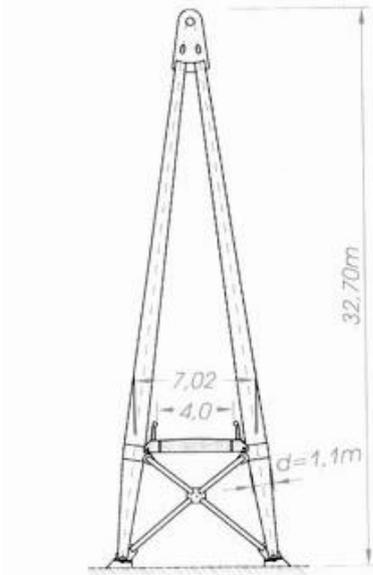
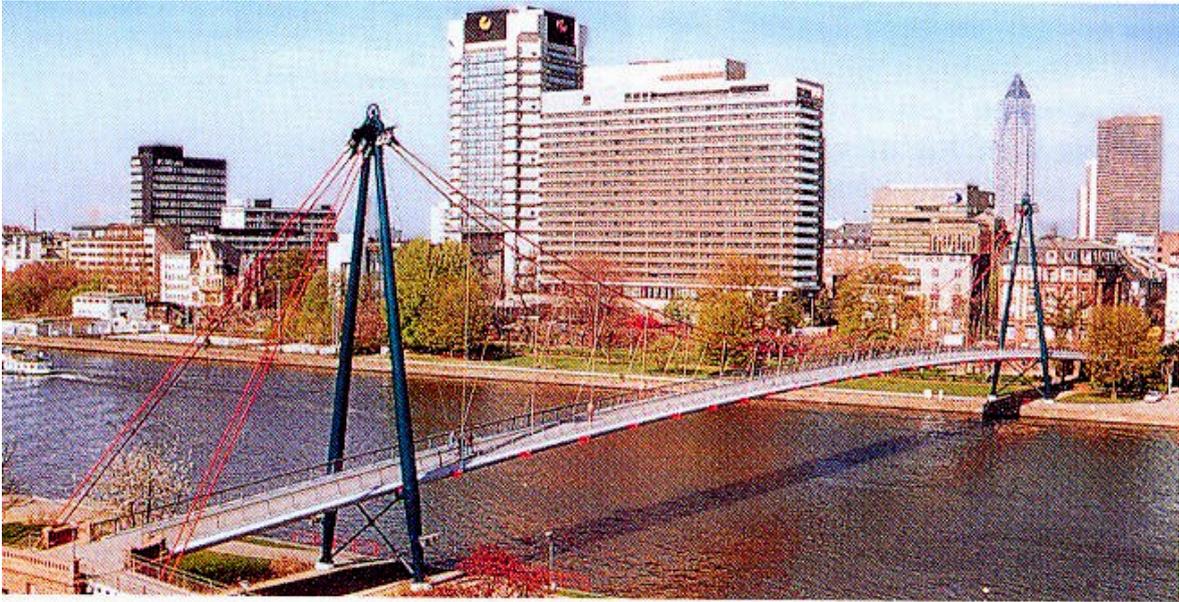


Figura 6.34 -Passarela sobre o rio Meno, Frankfurt.
 Vista geral, seção transversal e detalhe.
 Fonte: Meyer (2002), p. 168.

6.6. ESTAIADA

6.6.1. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

As estruturas estaiadas assemelham-se às pênseis, mas nelas os cabos são ancorados diretamente no tabuleiro submetendo-o a esforços de compressão. Assim, motivos econômicos indicam o tabuleiro em concreto como a melhor opção para a absorção desses esforços. Os cabos transferem os esforços para os mastros, que trabalham predominantemente á compressão, de forma preferencialmente

simétrica às cargas da passarela, de forma a reduzir os empuxos horizontais. Aqui também cuidados são necessários com a geometria dos mastros, quando executados em aço, para que respondam de forma eficiente aos esforços de compressão.

Os cabos apresentam comprimentos diferentes e, normalmente, são construídos de cordas individuais, com terminações adequadas, pré-tensionados e não torcidos. É desejável prever sistemas de ajustes dos cabos, nas ancoragens ou no topo dos mastros, para o necessário ajuste devido a relaxamento dos cabos, erros de dimensão, ou variação de seus módulos elásticos. Estes detalhes podem servir também para controlar as solicitações do peso próprio, por exemplo, através de uma protensão no vão principal.

Comparado com as estruturas pênseis, o sistema tende a ser menos eficiente para suportar o peso próprio, mas é mais eficiente para suportar o carregamento e cargas dinâmicas. Desse modo, o sistema não é uma boa opção para grandes vãos, mas responde satisfatoriamente para os vãos convencionais das passarelas.

A frequência natural das vibrações difere dos sistemas mais convencionais como as vigas biapoiadas ou suspensas. No caso do arranjo em harpa, os cabos tendem a balancear e anular as cargas nos dois lados da torre, gerando uma redução significativa nos momentos devidos ao peso próprio no tabuleiro, possibilitando uma redução no seu travamento. Entretanto, a estrutura pode vibrar, pois pontas opostas dos cabos podem sofrer movimentos verticais em sentidos opostos. A contribuição dos cabos para o travamento do tabuleiro passa a ser pequena e podem surgir frequências naturais indesejáveis. O arranjo estrelado tende a ser melhor sob este aspecto.

A necessidade de espaço para a locação do mastro e os cuidados com sua proteção, são iguais aos das estruturas pênseis, mas como a ancoragem se faz no próprio tabuleiro, suas fundações tendem a ser mais simples.

O sistema torna-se economicamente competitivo para vãos acima de 50 metros, mas sua utilização em vãos menores define soluções interessantes, expressivas e viáveis.

Sua imagem formal é dinâmica e bem aceita, com condições de se tornar elemento expressivo importante e um ícone local.

6.6.2. ELEMENTOS E COMPOSIÇÃO

O sistema constitui-se, basicamente, de um tabuleiro suspenso, diretamente ligado a um ou mais mastros (Figura 6.35). Os mastros podem se configurar como torres ou portais, com diversas possibilidades formais e estruturais (Figura 6.36).

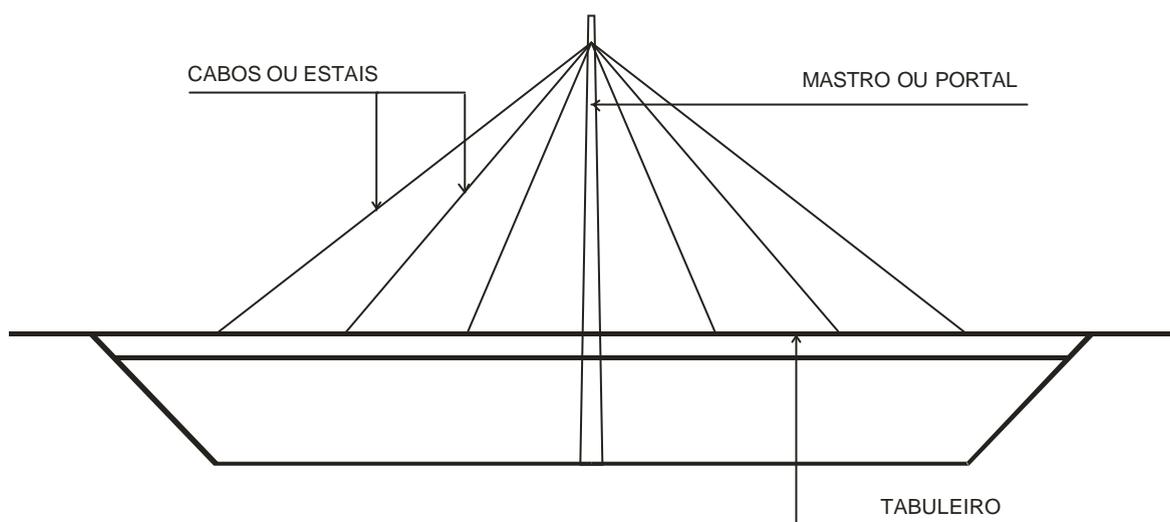


Figura 6.35 - Sistema estaiado.

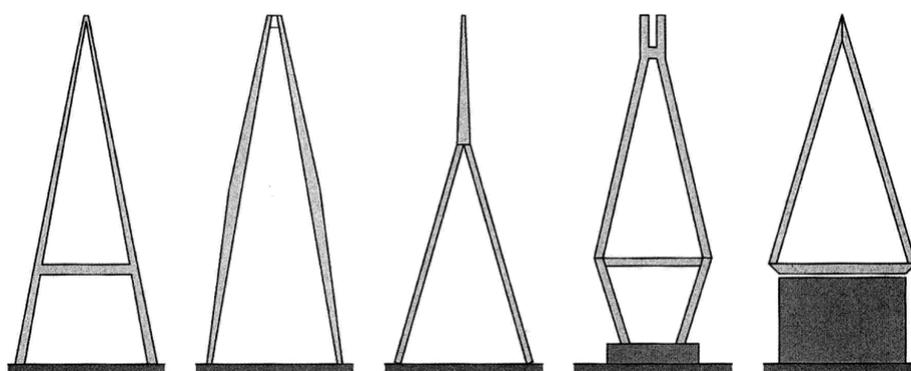


Figura 6.36 - Tipos de mastros.

Fonte: Meyer, 1999, p.212

A forma de distribuição dos cabos define os vários tipos de estruturas estaiadas, definindo características de seu comportamento estrutural e sua imagem formal. As configurações mais freqüentes par os cabos são em harpa, em

leque, radial ou estrelada, podendo ainda encontrar-se arranjos mistos em uma mesma estrutura (Figura 6.37).

SIMPLES	DUPLO	TRIPLO	MULTIPLO	COMBINADO	
					RADIAL
					HARPA
					LEQUE
					ESTRELA

Figura 6.37 - Tipos de arranjos
Fonte: apud Chandra (1993)

Soluções com mastro único central ou lateral, ou mesmo inclinado, são bastante freqüentes, definindo características variadas ao sistema e comportamentos específicos de seus elementos.

A solução de mastro único central, com uma única linha de estais, configura-se como uma solução mais limpa visualmente, por não propiciar a superposição dos cabos diagonais quando a passarela é vista de forma oblíqua, porém nesta solução cuidados devem ser tomados na definição da seção do tabuleiro que estará sujeito a esforços de torção.

Mastros inclinados são utilizados nas soluções que prevêm estais apenas de um lado do mastro. Assim, a inclinação do mastro transforma em esforços de compressão parte dos esforços que iriam produzir esforços de flexão nos mastros.

6.6.3. POSIÇÃO DA ESTRUTURA

Nas estruturas estaiadas a estrutura principal está sempre acima da linha do tabuleiro, permitindo menor altura da passarela mas criando elementos expressivos e altos acima da linha do tabuleiro, tornando-os importantes elementos visuais na paisagem em que está inserida a passarela. Esta solução

mostra-se mais adequada para paisagens mais horizontalizadas e menos densas, assim como para passarelas executadas em estruturas penséis.

6.6.4. PONTOS POSITIVOS E NEGATIVOS

Mesmo sendo estruturas de pouca massa e de grande leveza, instabilidades aerodinâmicas não foram observadas nas estruturas construídas, sendo que a utilização de cabos de alta resistência tensionados leva a uma economia de material, peso e custo de fabricação.

O tabuleiro comprimido sugere o uso do concreto na sua execução mas mesmo tabuleiros metálicos, trabalhando a compressão, apresentam boa resposta aerodinâmica.

O sistema permite uma enorme possibilidade de escolha dos arranjos, possibilitando uma grande quantidade de soluções formais diferenciadas, além de permitir a criação de passarelas com imagem de estabilidade e segurança, grande impacto visual e presença na paisagem urbana.

Por outro lado os sistemas de fixação dos cabos, pintura e manutenção da estrutura tendem a ter custos elevados, bem como os aparelhos de apoio do tabuleiro e dos mastros.

6.6.5. EXEMPLOS

O primeiro exemplo apresenta uma passarela em sistema estaiado radial com mastro duplo em “A”, um vertical e outro inclinado, em uma das extremidades, e utiliza contrapeso como sistema de ancoragem. Mastros e tabuleiro estruturados em perfis tubulares de seção circular (Figura 6.38).

O segundo exemplo também utiliza o sistema radial com dois mastros em “A”, simétricos em relação ao vão e inclinados. Mastros em perfis caixão soldados e tabuleiro estruturado em viga treliçada. Sistema de iluminação de grande efeito decorativo noturno (Figura 6.39).

O terceiro exemplo apresenta uma passarela urbana de mastro único vertical e central em relação ao vão, sistema radial com mastros em perfil tubular e tabuleiro em perfil soldado (Figura 6.40).

O último exemplo mostra uma passarela em curva utilizando o sistema radial com mastros laterais independentes em uma das extremidades. Mastros em perfis tubulares e tabuleiro em vigas de perfis soldados (Figura 6.41).

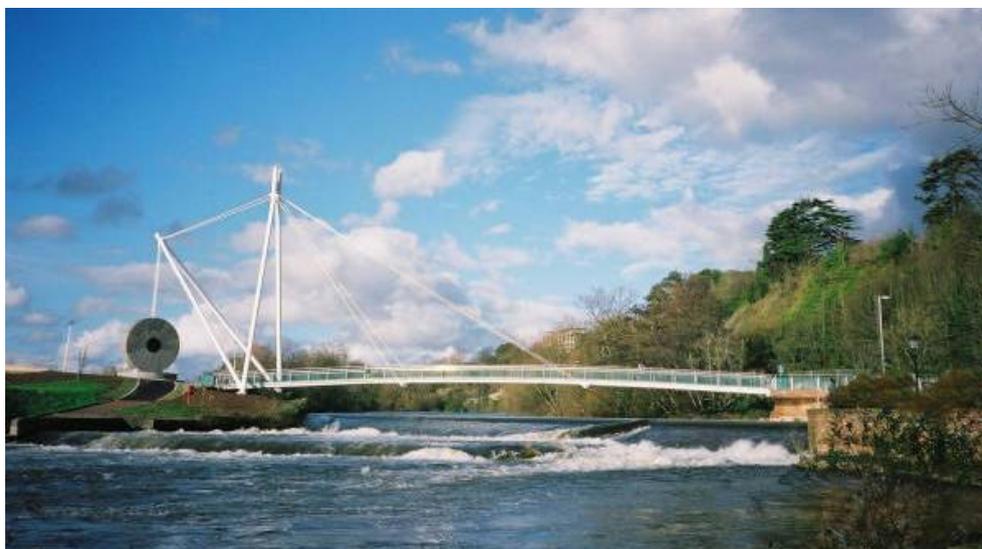


Figura 6.38 - Millers Crossing Bridge, Exewick.
Passarela para pedestres e bicicletas, estrutura estaiada com contrapeso de equilíbrio.

Fonte: Structurae (2004) – 35.



Figura 6.39 - Passarelle du Parc de la Riviere-aux-Sables, Jonquiere, Quebec.
Pasarela estaiada com viga treliçada. Sistema de iluminação decorativo de grande efeito, noturno.

Fonte: Structurae (2004) – 36.



Figura 6.40 - Passarela de la Cité des Moulins, Nice.
Passarela estaiada com portal único.
Fonte: Structurae (2004) -37



Figura 6.41 - passarela em Ansbach, Alemanha
Passarela estaiada simples, com apenas uma sustentação no vão central. Visão
geral e detalhe.
Fonte: Structurae (2004) – 13.

7. CONCEPÇÃO E PROJETO DE PASSARELAS

O projeto de passarelas envolve processos de tomada de decisão de questões objetivas e subjetivas, demandando capacitação em três áreas: criatividade e estética, para concepção geral da idéia e sua inserção urbana; capacidade analítica, para conceber e entender seu comportamento físico e estrutural; conhecimento técnico e prático, de forma a viabilizar técnica e financeiramente as decisões. Se estas três capacitações não são encontradas em um único profissional, devem estar contempladas na equipe responsável pela passarela.

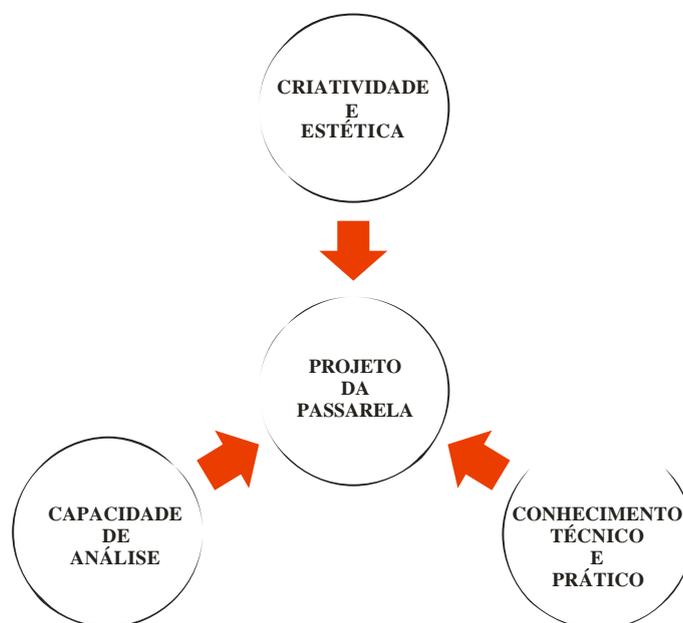


Figura 7.1 - Interação das capacidades exigidas no projeto de passarelas.

Historicamente nos projetos de pontes, a concepção e coordenação da equipe estavam entregues à responsabilidade apenas de engenheiros, ao contrário dos projetos de grandes edificações, onde a concepção e coordenação são responsabilidade do arquiteto, compondo uma equipe multidisciplinar com capacitações bastantes diferenciadas. Esta situação vem se modificando, principalmente em relação a passarelas urbanas, onde a concepção demanda respostas a questões formais e estéticas, à inserção na paisagem, bem como a aspectos relativos a comportamento estrutural, execução e montagem. Assim, as

equipes hoje têm arquitetos, urbanistas e até escultores como integrantes do grupo responsável pela concepção das passarelas.

As equipes multidisciplinares podem organizar-se, basicamente, em três grupos:

- 1) Grupo da engenharia de tráfego, responsável pela definição das demandas de tráfego, dimensionamento, localização da passarela e apoio logístico para sua montagem.
- 2) Grupo de arquitetura e urbanismo, responsável pela definição das demandas referentes à inserção urbana e imagem da passarela e definição de sua concepção física global.
- 3) Grupo de engenharia, responsável pela definição e ou análise dos sistemas utilizados, pela execução do projeto e execução e montagem da passarela.

Evidentemente, como toda boa equipe multidisciplinar, cada grupo não trabalha isoladamente, mas permanentemente em conjunto, colaborando entre si nas tomadas de decisões durante o processo de planejamento, projeto e execução da passarela.

EQUIPE MULTIDISCIPLINAR

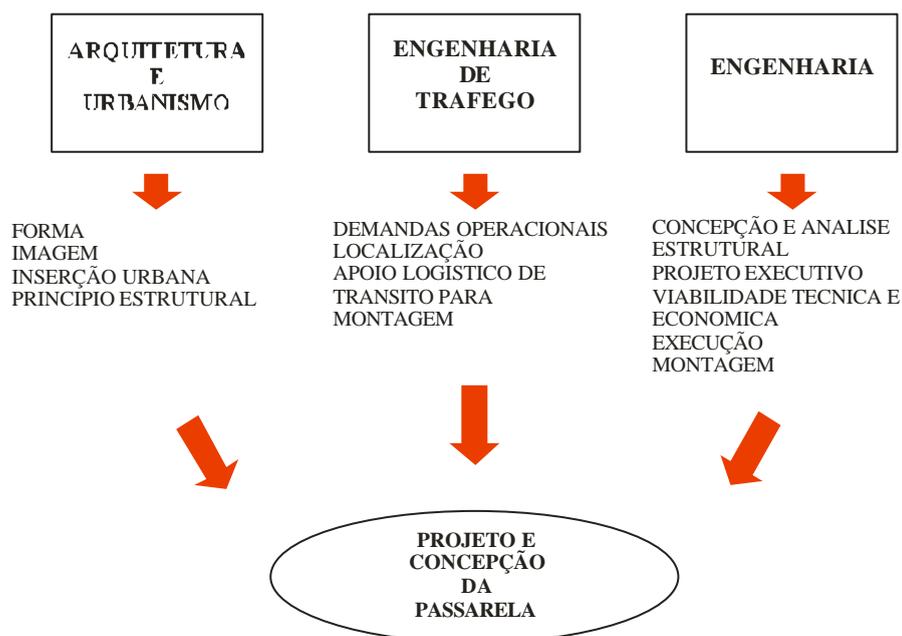


Figura 7.2 - Equipe multidisciplinar de concepção e projeto de passarelas

A etapa de concepção das passarelas, embora normalmente seja o período mais curto de todo o processo, certamente é fundamental para o sucesso do projeto. Questões estéticas, urbanísticas e técnicas são, nesta etapa, delineadas e definidas de forma conjunta, gerando uma idéia básica que responde de forma satisfatória a todas estas demandas, o que certamente envolve um processo de tomada de decisões objetivas e subjetivas.

Leonhardt (1982), um dos maiores projetista de pontes em todo o mundo, diz sobre esta etapa:

The bridge must them take its initial shape in the imagination of the designer.

...the designer should now find a quiet place and thoroughly think over the concept and concentrate on it with closed eyes. Has every requirement been met, will it be well-built, would not this or that be better looking...?

O que Leonhardt nos diz é que a concepção de uma ponte, ou uma passarela, deve ser feita primeiramente na imaginação, na mente do projetista, de uma forma global abordando todos os seus aspectos gerais e fundamentais. Para um engenheiro isto certamente é uma novidade, pois na maior parte de seu trabalho ele lida com questões e demandas mais objetivas, e um trabalho de caráter tão subjetivo pode ser uma exceção no seu processo de tomada de decisão. Entretanto, para o arquiteto, isto é principio básico de seu processo de trabalho de criação. Assim, temos uma etapa de tomada de decisão fundamental no processo, de caráter subjetivo, praticamente impossível de ser equacionada de forma lógica ou racional, não existindo método que a substitua. Embora pareça ser uma etapa individualista, já foi comentado que o processo de criação define aspectos de diversas áreas, não precisando nem devendo ser um processo linear, sendo cabível a participação de diversos profissionais de diversas áreas com capacitações variadas na fase de definição de uma concepção básica.

A exposição das idéias, ainda em croquis, para apreciação e crítica dos diversos membros da equipe deve ser incentivada de forma a ir incorporando a

experiência dos profissionais das diversas áreas na solução básica global da passarela. Embora este momento seja bastante subjetivo e intuitivo, dependente de dados não programáveis como a experiência e percepção individual dos projetistas encarregados da concepção da passarela, deve-se ter em mente que esta etapa faz parte de um processo maior, onde diversas decisões já foram tomadas e diversos condicionantes têm pesos e importância variáveis nas tomadas de decisão futuras. Assim pode-se adotar alguns critérios, que se não são definidores no processo de concepção da passarela, são ordenadores de dados e informações objetivas, fundamentais para a formação de um embasamento prévio para os projetistas, auxiliando-os nas tomadas de decisões e na concepção geral da passarela. Estes critérios servem para delinear, de forma mais precisa o universo no qual estarão trabalhando e criando.

7.1. METODOLOGIA DE PROJETO

A CET - Companhia de Tráfego de São Paulo (1984), em sua nota técnica NT 097 Metodologia Para Estudo de Implantação de Passarela sobre vias Urbanas, define etapas sistematizadas para a o estudo de implantação de passarelas. O estudo de implantação não tem como objetivo a execução do projeto completo ou mesmo da passarela, e sim da definição de seus princípios fundamentais, a partir de análise de dados pertinentes à sua concepção, construção e montagem.

Este estudo compreende a etapa inicial de concepção da passarela, e é dividido nas seguintes fases:

- 1 - Levantamento de dados.
- 2 - Análise dos dados recolhidos.
- 3 - Projeto arquitetônico.
- 4 - Relatório.

A metodologia define como e quais dados deverão ser levantados, bem como as formas de análise e tratamento destes dados e seus produtos, propondo um método para a definição das características básicas da passarela tais como sua

localização, altura, tipo e dimensionamento de seus acessos e de sua capacidade de tráfego, de forma a se definir as dimensões de seu tabuleiro.

A metodologia restringe-se a uma fase de levantamento e processamento de dados objetivos para definição das características físicas fundamentais das passarelas, e não estabelece nenhum método para escolha ou tomada de decisão que envolva aspectos subjetivos.

Outro trabalho interessante de ser analisado é o estudo elaborado pela BHTRANS (1996), para construção de nove passarelas e estabelecimento de ordem de prioridade de sua implantação no Anel Rodoviário de Belo Horizonte.

O estudo definiu, a partir de metodologia semelhante à da CET, a localização e as características básicas de nove passarelas e criou uma metodologia baseada em uma matriz multi-criterial para definição das prioridades e ordem de implantação.

A metodologia proposta para a definição das prioridades de implantação tenta ser um processo lógico e objetivo, estabelecendo sete aspectos a serem observados e analisados, definindo, a partir de dados concretos, critérios de pontuação de zero a três para cada um destes aspectos e estabelecendo uma classificação de prioridade a partir da quantidade total de pontos obtidos para cada uma das passarelas.

Dois aspectos selecionados, baseados em informações coletadas (número de e quantidade de pedestres), foram considerados aspectos mais importantes e tiveram peso 3, diferenciado dos demais itens que tiveram peso 1. Por se tratar de pontuação com base em dados numéricos, para estes dois itens, foram definidos intervalos proporcionais relativos ao maior número obtido. Os demais aspectos tiveram pontuação definida a partir de levantamentos e análises individuais dos responsáveis pelo trabalho.

Os aspectos que não são baseados em dados numéricos, embora tenha sido tentado tratá-los de forma objetiva, tiveram análise pessoal para aplicação do critério de pontuação e, assim, incorporaram de certa forma valores subjetivos dos responsáveis pela análise dos dados e sua avaliação, mas aqui também prevalece o princípio de tratamento de dados e tomada de decisão de aspectos

predominantemente objetivos, através de métodos e processos também lógicos e objetivos (matriz/tabela).

Após a concepção global das passarelas, as etapas subsequentes também podem seguir métodos predefinidos pois tratam, na maior parte, de processos e decisões baseadas em dados e processos mais objetivos.

Na publicação da Corus Construction Center (2000), é proposta uma metodologia de projeto de cálculo estrutural que, após a escolha do sistema estrutural, dentre um grupo predeterminado básico composto por cinco sistemas possíveis de serem utilizados, existe uma seqüência para o desenvolvimento do projeto das passarelas para cada um dos sistemas.

O processo apresentado refere-se apenas ao projeto estrutural e a maior parte do desenvolvimento dos demais projetos segue as diretrizes definidas na concepção global da passarela. Assim, seu processo de decisão tende a se basear em escolhas e decisões já tomadas, sendo seu desenvolvimento balizado por informações mais objetivas que subjetivas.

Portanto, a etapa de concepção da passarela compreende o momento de criação da forma da passarela, de sua imagem e logo de seu sistema estrutural. Esse processo que envolve questões objetivas e subjetivas será sempre realizado na mente dos projetistas, num processo criativo impossível de ser descrito ou definido a partir de um processo ou metodologia rígida e predefinida, mas alguns critérios poderiam auxiliar as decisões a serem tomadas ou permitir uma análise mais sistemática das alternativas possíveis.

7.2. CRITÉRIOS DE ESCOLHA

Como visto anteriormente, o sistema estrutural a ser utilizado é definidor da imagem e das características físicas da passarela. Assim, o estabelecimento de alguns critérios de escolha deste sistema pode auxiliar nas decisões de definição da passarela, no momento de sua concepção global.

O estabelecimento dos critérios de escolha, e até mesmo a definição do sistema estrutural, ainda deixa em aberto e subjetivo o processo de definição do desenho e das características físicas da passarela a ser projetada, mas é uma forma

de análise das alternativas e uma redução das possibilidades, de forma a concentrar o processo de criação em um número menor de variáveis subjetivas.

Os sistemas estruturais podem ser analisados através de oito critérios definidores de sua adequabilidade, reunidos em três grupos distintos: o local, a passarela e a implantação.

A divisão em três grupos busca reunir os critérios em três aspectos básicos de análise, onde o primeiro trata mais das questões de inserção e paisagem urbanas, o segundo das questões relativas às características físicas da passarela pré-definidas na análise dos dados levantados, e o terceiro das questões técnicas ligadas à implantação da passarela no local determinado.

O custo isolado dos sistemas não foi considerado importante para a análise, porque dados como adequabilidade a vãos e características das fundações e apoios já envolvem análise econômica e o custo de uma passarela é função da solução como um todo e deve ser avaliado numa relação custo x benefício mais ampla e não antecipadamente, embora a avaliação econômica das soluções deva ocorrer de forma contínua e permanente durante cada etapa em todo o projeto.

7.2.1. O LOCAL

Este grupo reúne os critérios que analisam a adequabilidade da imagem da passarela, gerada a partir da utilização dos sistemas, ao ambiente e à característica urbana do local onde será implantada a passarela:

- Vizinhança
- Densidade
- Visibilidade e Perspectiva

No critério vizinhança, a adequabilidade dos sistemas à imagem da paisagem urbana local será avaliada, considerando-se a relação de proporção e escala da passarela a ser implantada com a escala e proporção do ambiente urbano da vizinhança, configurado pelas características das tipologias existentes, podendo ser considerado verticalizado, horizontalizado ou neutro.

A densidade refere-se à existência ou não de espaço livre entre as edificações lindeiras ao obstáculo a ser transposto e o mesmo, para a implantação

da passarela e seus acessos, permitindo a identificação clara da área de domínio da passarela e das edificações. Assim, este critério avalia a adequabilidade do sistema na inserção física da passarela no espaço urbano disponível.

Visibilidade diz respeito à forma como a passarela será vista, se existirão ou não grandes perspectivas, se a passarela é vista inteira com seus acessos inclusive ou se apenas é visível por partes e a qual paisagem sua imagem irá se sobrepor. Aqui a adequabilidade dos sistemas será avaliada em função de inserção na paisagem, como poderá se vista de diversos pontos e de como a imagem da passarela decorrente da utilização de determinado sistema poderá expressar-se dentro deste cenário.

Os sistemas estruturais podem ser avaliados a partir destes três critérios como muito adequado, adequado, pouco adequado e não adequado, podendo-se atribuir pontuação de 3, 2, 1 e zero, respectivamente.

7.2.2. A PASSARELA

Este grupo reúne dois critérios que avaliarão os sistemas estruturais a partir das características já definidas da passarela:

- Função
- Características

O critério função avalia a adequabilidade dos sistemas em criar passarelas com imagens adequadas à sua função, ou seja, como a passarela deve mostrar-se na paisagem, em função da importância de sua ligação, sob aspecto funcional, dentro do sistema de tráfego de pedestres ou sob o aspecto expressivo e simbólico que pode dela ser exigido.

Já o critério de características avalia a adequabilidade dos sistemas em facilitar ou baratear as soluções dadas às demandas de características físicas das passarelas, como dimensionamento, necessidade ou não de proteção, cobertura ou fechamento, limitações físicas de ordem legal ou de interferência em sistemas urbanos já instalados.

Neste grupo os sistemas estruturais podem ser avaliados apenas como muito adequados ou pouco adequados, podendo ser atribuída à pontuação de 2 ou 1, respectivamente.

7.2.3. A IMPLANTAÇÃO

Os critérios reunidos neste grupo dizem respeito à implantação da passarela e são os seguintes:

- Acessos
- Apoios
- Vão
- Montagem

O critério “Acessos” avaliará a adequabilidade dos sistemas estruturais não ao tipo de acesso e sim ao posicionamento de nível dos mesmos, ou seja, se os dois acessos estão no mesmo nível e se estão nivelados ou acima do obstáculo a ser transposto. Acesso acima do obstáculo significa redução ou ausência de circulação vertical para acessar a passarela e apoio de extremidade direto sobre o solo, enquanto o acesso nivelado impõe existência de circulações verticais e elemento estrutural para conduzir cargas de extremidade da passarela até o solo. Além disso, a análise deste aspecto nos permite avaliar a possibilidade de posicionamento da estrutura em relação ao tabuleiro, pois acessos acima normalmente ampliam as possibilidades de utilização da estrutura principal abaixo da linha do tabuleiro.

O critério “Apoios” avalia a adequabilidade dos sistemas às possibilidades de apoios, em função de existência de espaço e das características do solo para fundações, definindo inclusive possibilidades de dimensionamento de vãos a serem vencidos.

O critério “Vão”, avalia os sistemas estruturais em função de sua adequabilidade ao vão a ser vencido.

Por fim o critério “Montagem” avalia a adequabilidade dos sistemas em função das características de seus processos de montagem e sua viabilidade ao local que será implantada a passarela. Assim, não só as questões técnicas e

econômicas dos sistemas de montagem devem ser avaliadas, mas também as condições físicas do entorno e do tráfego local para suportar o impacto do processo de transporte de elementos e equipamentos necessários à montagem da passarela.

Neste grupo os sistemas estruturais são avaliados como muito adequado, adequado, pouco adequado, e não adequado recebendo pontuação de 3, 2, 1 e zero, respectivamente.

Nesta matriz multi-criterial, podemos entrar com quantos sistemas estruturais quisermos, podendo ser todos os sistemas estudados ou apenas alguns, ou ainda diversas variações de cada tipo ou de determinados tipos de sistemas estruturais possíveis.

A somatória total dos pontos obtidos para cada sistema pode fornecer uma visão global de sua adequabilidade em relação a outros, a partir de um processo mais analítico dos condicionantes objetivos e subjetivos do projeto.

A divisão em três grupos de características diversas permite que a análise dos subtotais por grupo forneça uma visão da adequabilidade dos sistemas a aspectos diferenciados de análise, além de permitir, em função da especificidade de cada projeto, a definição dos pesos diferenciados para cada um dos grupos, possibilitando que o somatório final apresente uma visão mais específica para o projeto e local em questão.

Assim a matriz poderá ter a conformação da tabela abaixo:

Tabela 7.1 - Matriz Muticriterial

MATRIZ MUTICRITERIAL DE ANÁLISE DA ADEQUAÇÃO DOS SISTEMAS ESTRUTURAIS NA CONCEPÇÃO DE PASSARELAS EM ESTRUTURAS DE AÇO

SISTEMAS ESTRUTURAIS	GRUPO I LOCAL					GRUPO II PASSARELA				GRUPO III IMPLANTAÇÃO				TOTAIS			
	VIZINHANÇA	DENSIDADE	VISIBILIDADE	SUBTOTAL	SUBTOTAL PONDERADO	FUNÇÃO	CARACTERÍSTICA	SUBTOTAL	SUBTOTAL PONDERADO	ACESSOS	APOIO	VÃO	MONTAGEM	SUBTOTAL	SUBTOTAL PONDERADO	TOTAL GERAL	TOTAL GERAL PONDERADO
ARCO																	
TRELIÇA																	
VIGA																	
PENSIL																	
ESTAIADA																	

É importante observar que o grupo 2, pelo número de critérios de que é composto e pela forma de avaliação, tem sempre um peso menor na somatória final, por tratar de dois critérios que qualquer um dos sistemas estruturais pode responder de forma satisfatória, tornando a avaliação bastante subjetiva e presa a preferências individuais, mas de qualquer forma o sistema de pesos diferenciados possibilita a adequação da avaliação ao critério dos projetistas.

A matriz multi-criterial proposta não tem por objetivo ser definidora do processo de escolha do sistema estrutural a ser adotado e sim de ser um processo de análise um pouco mais sistematizada e objetiva de dados e questões subjetivas, podendo ser um instrumento ordenador das discussões internas da equipe responsável pela concepção da passarela no sentido de fornecer subsídios para o processo de escolha definitivo.

8. ESTUDO DE CASO

O presente estudo de caso é uma aplicação da matriz multicriterial de análise da adequabilidade dos sistemas estruturais a uma situação específica de implantação de uma passarela urbana em estrutura de aço. A matriz foi utilizada em uma situação já consolidada e as conclusões obtidas comparadas com a realidade existente.

A passarela escolhida está implantada na BR 356, logo após o trevo do BH-SHOPPING. Sua implantação foi definida como parte de uma ação mitigadora do impacto gerado pela ampliação do shopping e implantação de diversas empresas comerciais do lado oposto ao mesmo, geradoras de tráfego de veículos e pedestres (Figura 8.1).



Figura 8.1 - Localização da passarela
Fonte: Navegando sobre o município de Belo Horizonte

A passarela faz parte do projeto de um grande complexo viário para a região e, como previsto pela BHTRANS, transformou-se praticamente em um grande terminal urbano de traslado, tal é hoje sua utilização (Figura 8.2).

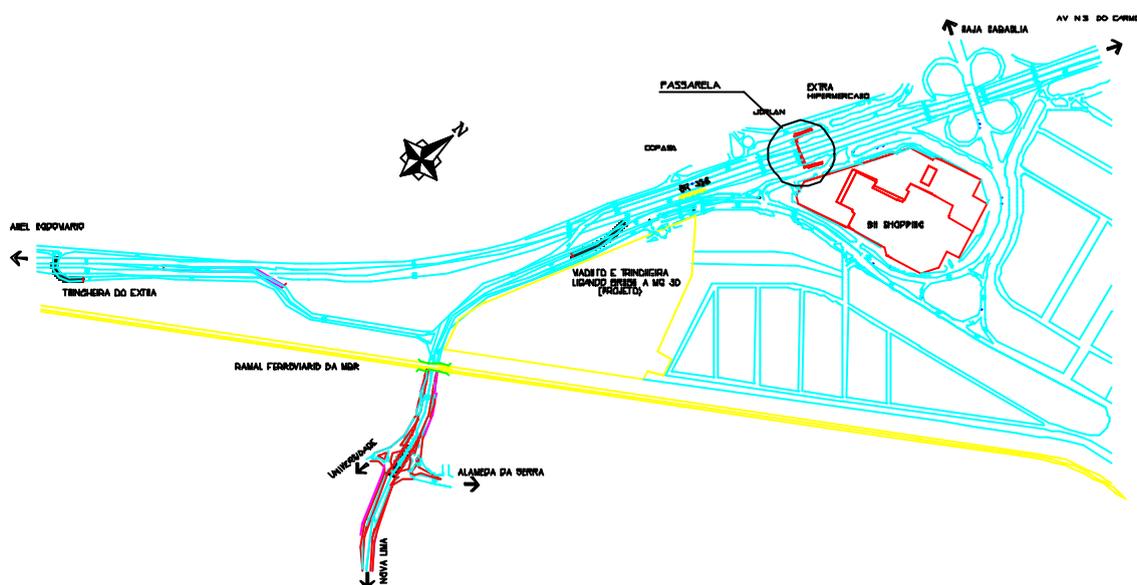


Figura 8.2 - Complexo viário Portal Sul

Fonte: Desenho da Davila Arquitetura a partir de dados fornecidos pela BHTRANS, 2004.

Em função da demanda prevista foi definido a necessidade de uma passarela com 2 metros de largura, vencendo as quatro pistas principais e quatro secundárias, duas de cada lado, podendo ter dois apoios intermediários, com 3 vãos de aproximadamente 15 metros cada um .

Por motivo de economia não foi exigido que a passarela fosse coberta ou fechada, embora sua utilização atual demonstre que o ideal seria que fosse pelo menos coberta. O terreno do local é formado, basicamente, de minério de ferro e canga e não apresentava qualquer dificuldade ou tratamento especial para implantação de fundações.

A passarela implantada (Figura 8.3) é formada por uma treliça tipo Warren sem montantes verticais, constituída por barras de aço tubulares de seção quadrada, apoiada nas extremidades e com dois apoios intermediários vencendo 3 vãos de aproximadamente 15 metros, situando-se o seu tabuleiro 5,70m acima do eixo da pista.



Figura 8.3 - Visão geral da passarela
Fonte: Fotos do autor

O tabuleiro executado em laje pré-moldada composta de vigotas em concreto e tijolo furado, está apoiado no banzo inferior da treliça, cujo banzo superior é travado lateralmente por barras, dando ao conjunto a configuração de um tubo quadrado. As rampas de acesso são formadas por sistema de vigas duplas perfil “I “ soldado, apoiadas nas extremidades e com piso também em laje pré-moldada.



Figura 8.4 - Tabuleiro em laje
premoldada
Fonte: foto do autor



Figura 8.5 - Treliça conforma tubo
Fonte: foto do autor

Os pilares de apoio das extremidade das treliças e das rampas foram configurados como torres formadas por perfis tubulares contraventados, de seção quadrada, enquanto os apoios intermediários são formados por um único perfil “I” soldado, que sustenta uma viga também em perfil “I” onde se apoiam as vigas/treliças laterais, configurando-se como um pilar “T” (Figura 8.6).



Figura 8.6 - Pilar de extremidade
Fonte: foto do autor



Figura 8.7 - Pilar intermediario
Fonte: foto do autor

Os pilares intermediários das treliças têm ainda dois perfis laterais ligados ao perfil principal conferindo maior inércia e estabilidade no sentido transversal da passarela (Figura 8.7).

Os guarda-corpos foram executados em perfis tubulares de seção circular, sendo o superior de diâmetro um pouco maior para funcionar como corrimão (Figura 8.8).



Figura 8.8 - Guarda corpo
Fonte: foto do autor

8.1. APLICAÇÃO DA MATRIZ MULTICRITERIAL

Neste estudo serão avaliados os cinco sistemas estruturais básicos: arco, treliça, viga, pênsil e estaiado, fazendo-se a análise a partir das três abordagens propostas, ou seja, o local, a passarela e a implantação.

8.1.1. O LOCAL

A área caracteriza-se como uma área de transição, entre centro e periferia, e configura-se como uma grande área plana emoldurada por montanhas, prédios verticais mais distantes e belas vistas.

A vizinhança pode ser classificada como horizontal, pois a via está distante das edificações lindeiras que, apesar de grandes, são de poucos pavimentos, com altura média de 12 a 15 metros. Em um ambiente assim, passarelas com imagem muito delicada e horizontal podem não ter presença, desaparecendo na paisagem. Sistemas que criem imagem ou elementos verticais são mais adequados. Assim podemos avaliar os sistemas, através da atribuição dos seguintes números de pontos:

- arco : adequado _____ 2
- treliça: adequado _____ 2
- viga: pouco adequado _____ 1
- pênsil: muito adequado _____ 3
- estaiado: muito adequado _____ 3

Em termos de densidade, observa-se que os locais de acesso à passarela estão afastados das edificações e possuem espaço suficiente para o desenvolvimento das rampas e apoios de extremidade. Em um espaço assim, qualquer tipo de sistema comporta-se e responde adequadamente, sendo portanto atribuídos 3 (três) pontos a todos os sistemas, correspondendo ao conceito “muito adequado”.

Por se configurar como uma grande área plana, a região de implantação possui grandes perspectivas permitindo a visualização da passarela como um todo. Assim, sistemas mais complexos podem ser percebidos de forma clara e global, embora qualquer sistema possa funcionar de forma correta e adequada, o sistema formado por viga simples pode perder-se na paisagem, o mesmo podendo acontecer com as treliças muito leves:

- arco : muito adequado _____ 3
- treliça: adequado _____ 2
- viga : adequado _____ 2
- pênsil: muito adequado _____ 3
- estaiado: muito adequado _____ 3

8.1.2. A PASSARELA

A passarela construída não tem nenhuma característica singular, que a torne um elemento importante ou simbólico dentro da cidade, cuja função diz respeito apenas à necessidade de transposição, com seguranças de um número significativo de pedestres.

Sua imagem e expressão não está ligada a nenhuma das edificações lindeiras, configurando-se como um elemento isolado de expressão própria dentro da paisagem, considerando-se, ainda, que uma importante característica, a cobertura, não foi exigida.

Como não possui nenhuma função simbólica importante, praticamente qualquer sistema estrutural responde de forma satisfatória, mas como é uma passarela extensa, em uma área de característica aberta e de grande movimento, sua imagem deve expressar solidez e segurança. Portanto, sistemas que imprimam esta característica à imagem das passarelas são mais adequados:

- arco : muito adequado _____ 2
- treliça: muito adequado _____ 2
- viga : pouco adequado _____ 1
- pênsil: muito adequado _____ 2
- estaiado: muito adequado _____ 2

Como característica significativa temos apenas a necessidade de cobertura, tomando-se em consideração o uso atual da passarela, tornando mais adequados os sistemas em que soluções cobertas são mais expressivas, lógicas e baratas:

- arco : adequado _____ 1
- treliça: muito adequado _____ 2
- viga : adequado _____ 1
- pênsil: adequado _____ 1
- estaiado: muito adequado _____ 2

8.1.3. A IMPLANTAÇÃO

Os acessos á passarela serão sempre efetuados através de circulação vertical, ou seja, o nível do tabuleiro estará sempre acima do nível dos dois acessos. Os apoios de extremidades têm espaço para sua locação independente de sua dimensão. Já em relação aos apoios intermediários, um deles possui pouco espaço e apresenta situação de risco, por se localizar entre as pistas principais e de maior velocidade. Existe a possibilidade de até 3 vãos de aproximadamente 15 a 20 metros e, por se tratar de via de grande importância no trânsito da cidade, a montagem deve causar o menor impacto possível. Além disso, deve-se considerar a existência de facilidades de acesso e manuseio de equipamentos de qualquer porte.

Como os acessos estão nivelados e abaixo do tabuleiro, soluções com estrutura abaixo da linha do mesmo não são adequadas por demandarem rampas e escadas maiores. Assim, sistemas que funcionem bem acima da linha do tabuleiro são mais adequados:

- arco : pouco adequado _____ 1
- treliça: muito adequado _____ 3
- viga : pouco adequado _____ 3
- pênsil: muito adequado _____ 3
- estaiado: muito adequado _____ 3

O terreno não apresenta problemas em relação a sistemas de fundações e, como já mencionado, apenas um apoio intermediário merece maior atenção. Desse modo, somente o sistema em arco pode ser considerado não adequado pois seus apoios deverão estar acima do nível do solo o que complica a absorção de seu empuxo horizontal. Os sistemas pênsil e estaiado só são adequados quando se utiliza um apoio intermediário assimétrico, sendo que o pênsil pode apresentar dificuldade de solução de ancoragem:

- arco : não adequado _____ 0
- treliça: muito adequado _____ 3
- viga : muito adequado _____ 3
- pênsil: pouco adequado _____ 1
- estaiado: muito adequado _____ 3

Relativamente ao item “Vão”, o local permite mais de uma solução: três vãos, dois vãos assimétricos ou um único vão. Considerando-se que um único vão pode definir uma solução mais cara e complexa, os sistemas podem ser avaliados para três vãos entre 15 e 20 metros, ou com dois vãos entre 25 e 35 metros e outro entre 15 e 20 metros. Para a primeira solução vigas e treliças são mais adequados, para a segunda o sistema estaiado, sendo os sistemas em arco e pênsil pouco adequados para ambos os casos:

- arco : pouco adequado _____ 1
- treliça: muito adequado _____ 3
- viga : muito adequado _____ 3
- pênsil: pouco adequado _____ 1
- estaiado: muito adequado _____ 3

Considerando-se que o local permite fácil acesso de equipamentos e elementos mais pesados, a análise volta-se para a questão da rapidez e facilidade de montagem, com o menor impacto possível ao trânsito local. Como os vãos são relativamente pequenos, os sistemas de viga e treliça são os de maior rapidez e simplicidade de montagem, seguidos do sistema estaiado, uma vez que as estruturas pênséis ou em arco trazem os maiores problemas para a montagem:

- arco : pouco adequado _____ 1
- treliça: muito adequado _____ 3
- viga : muito adequado _____ 3
- pênsil: pouco adequado _____ 1
- estaiado: adequado _____ 2

Lançando-se os resultados na matriz multi-criterial, tem-se uma primeira visão global da análise dos sistemas. Neste caso, como o local tem características muito homogêneas e simplificadas, diferente dos meios urbanos mais adensados da área mais central da cidade, a passarela não tem nenhuma característica ou importância simbólica expressiva. Considerando-se, ainda, que neste estudo de caso não é possível analisar-se o cenário econômico em que está inserido o projeto, a única ponderação a ser feita refere-se ao grupo da passarela, para que os critérios de função e características não tenham pesos muito diferentes dos demais no resultado final. Considerando-se peso 1,5 para os critérios do grupo Passarela, obtém-se o resultado final apresentado na Tabela 7.1:

Tabela 8.1 - Matriz Muticriterial
DE ANÁLISE DA ADEQUAÇÃO DOS SISTEMAS ESTRUTURAIS NA
CONCEPÇÃO DE PASSARELAS EM ESTRUTURA DE AÇO

SISTEMAS ESTRUTURAIS	GRUPO I LOCAL					GRUPO II PASSARELA				GRUPO III IMPLANTAÇÃO				TOTAIS			
	VIZINHANÇA	DENSIDADE	VISIBILIDADE	SUBTOTAL	SUBTOTAL PONDERADO	FUNÇÃO	CARACTERÍSTICA	SUBTOTAL	SUBTOTAL PONDERADO	ACESSOS	APOIO	VÃO	MONTAGEM	SUBTOTAL	SUBTOTAL PONDERADO	TOTAL GERAL	TOTAL GERAL PONDERADO
ARCO	2	3	3	8	8,0	2	1	3	4,5	1	0	1	1	3	3,0	14	15,5
TRELIÇA	2	3	2	7	7,0	2	2	4	6,0	3	3	3	3	12	12,0	23	25,0
VIGA	1	3	3	7	7,0	1	1	2	3,0	3	3	3	3	12	12,0	21	22,0
PENSIL	3	3	3	9	9,0	2	1	3	4,5	3	1	1	1	6	6,0	18	19,5
ESTAIADA	3	3	3	9	9,0	2	2	4	6,0	3	3	3	2	11	11,0	24	26,0

O resultado indica que os sistemas treliça e estaiado são os mais adequados.

O sistema estaiado teve melhor avaliação exatamente no grupo que avalia a relação da passarela com o lugar e a paisagem urbana. Assim uma solução estaiada poderia até ter custo mais elevado, mas certamente criaria uma passarela mais significativa e poderia ser um elemento de referência para o local, pela introdução de elementos verticais na paisagem bastante horizontalizada, propiciando grandes e generosas perspectivas.

8.1.4. CONCLUSÃO

A metodologia de análise, via matriz multi-criterial deixa clara a influência de cada um dos critérios de escolha, que não são apenas técnicos e objetivos, permitindo uma análise mais abrangente, de forma simples e direta, de dados e características locais específicas.

A passarela estudada embora cumpra de forma satisfatória sua função de transposição da BR 365, deixa a desejar no que diz respeito a criação de uma imagem urbana mais expressiva, caracterizando o “Portal Sul”. Assim, mesmo definindo o sistema estrutural treliça como o segundo melhor pontuado, se analisarmos o critério visibilidade do grupo 1 da matriz, verificamos que treliças muito leves podem não ter uma presença física forte na paisagem. Talvez se a passarela estudada utilizasse uma treliça mais robusta, e forma;mente mais expressiva conseguisse maior presença na paisagem configurando a imagem do “Portal Sul”.

É importante observar que não é apenas a pontuação final da matriz que ira orientar a escolha do sistema estrutural a ser adotado ou a concepção básica de uma passarela, mas que a análise de cada um dos critérios levantados na matriz podem ajudar na escolha dos princípios básicos a serem adotados na concepção da passarela.

A matriz poderia também ser utilizada para outros sistemas estruturais, talvez com características mais específicas e mais adequadas a cada tipo de situação de finalidade construtiva, aprofundando-se e refinando-se a análise a partir também de um aperfeiçoamento e adequação do sistema de pontuação que permita identificar e avaliar, de forma mais precisa, as diferenças entre os sistemas.

Mesmo aprofundando e aperfeiçoando os processos de análise de dados e de questões objetivas e subjetivas, buscando decisões pautadas em abordagens multidisciplinares, trabalhando em equipes multidisciplinares mais integradas, as questões subjetivas como proporção, ritmo, textura, escolha de materiais e execução criteriosa, são fundamentais para o sucesso final de um projeto.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento de nossas cidades e o aumento do número de veículos e do tráfego em geral, coloca as passarelas urbanas como uma solução fundamental, e única em determinados casos, para a solução do tráfego de pedestres com segurança dentro das cidades.

As passarelas são, às vezes, a única possibilidade de acessibilidade segura a diversas áreas e solução de reintegração do tecido urbano, cada vez mais fragmentado pela incompatibilidade entre tráfego de veículos e pedestres. Na verdade, portanto, constituem a solução para problemas bastante complexos que abrangem diversas áreas de planejamento de nossas cidades.

Estas soluções demandam, cada vez mais, uma abordagem global, não se restringindo apenas a uma solução de urbanismo, arquitetura, engenharia ou economia, mas devendo responder satisfatoriamente a demandas de todas essas áreas.

O avanço tecnológico na área de análise, execução e montagem de estruturas, coloca à nossa disposição um grande número de soluções viáveis técnica e economicamente.

O aço se apresenta como um material que permite a adoção de sistemas estruturais variados, propiciando soluções viáveis, de linguagem plástica formal rica e variada. Esta variedade e riqueza de soluções facilita sua adequação às diversas situações impostas pelas exigências locais dos espaços urbanos, quase sempre já consolidados, permitindo a utilização de sistemas construtivos industrializados e viabilizando processos de montagem de menor impacto sobre tráfego local.

A questão dos processos projetuais mostra-se fundamental para a viabilização de soluções globais, demandando equipes de projeto multidisciplinares de capacitação diferenciada e variada, bem como novas metodologias adequadas ao trabalho destas equipes.

A concepção global da passarela é etapa fundamental para o sucesso do projeto e solução do problema, envolvendo decisões de caráter objetivo e subjetivo. A tarefa exige capacitação variada dificilmente encontrada em um único profissional, demandando equipe multidisciplinar e metodologia capaz de auxiliar a definição, análise e tomada de decisões de caráter subjetivo.

O conhecimento mais aprofundado das questões envolvidas no processo de planejamento projeto e execução das passarelas pelos diversos membros das equipes multidisciplinares é facilitador do processo de trabalho em equipe, criando linguagem e objetivos comuns entre os membros da equipe, permitindo uma compreensão maior dos valores e das abordagens individuais dos profissionais das diversas áreas envolvidas.

Neste trabalho, buscou-se abordar o assunto, de uma forma global, levantando-se informações e dados para disponibilizar uma visão geral do problema aos profissionais das diversas áreas envolvidas na criação das passarelas, de modo a propiciar o desenvolvimento de soluções e processos específicos em suas respectivas áreas de atuação.

O estudo de caso apresentado mostrou que a matriz proposta pode ser um bom instrumento de análise dos sistemas estruturais, e sua adequabilidade as especificidades de cada projeto, mas o processo de avaliação e pontuação pode passar por estudos mais aprofundados de forma a tornar mais precisos seus resultados.

Os sistemas estruturais podem ser objetos de estudos mais aprofundados, buscando uma abordagem mais específica a partir da análise de seu comportamento quando utilizados em passarelas, pelas suas características específicas de carregamentos e composições formais.

Outro aspecto relativo às passarelas e que precisa ser mais desenvolvido, aborda as questões das instalações, sistemas de drenagem, iluminação e segurança, fundamentais para o bom funcionamento e redução do custo de manutenção das passarelas.

Por fim, espera-se que este trabalho tenha contribuído para o desenvolvimento de metodologias e processos de trabalho mais adequados e

eficientes para as equipes multidisciplinares envolvidas com o planejamento, projeto e execução de passarelas urbanas em estruturas de aço e possa servir de ponto de partida para outros trabalhos que visem aprofundar as questões relativas às mesmas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Barker, R. M., e Puckett, J. A. (1997) Design of Highway Bridges: Based on AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc., New York.

BHTRANS – Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte, (1996).Priorização para construção de Passarelas no Anel Rodoviário de Belo Horizonte, Trabalho Técnico 00066. 36p. Belo Horizonte.

CET- Companhia de engenharia de tráfego de São Paulo, (1984). Metodologia para Estudo de Implantação de Passarela Sobre as Vias Publicas. Notas técnicas 097.

Chandra, Vijay (1993) Cable-Stayed Bridges: A Brief History And Overview of Design Elements – artigo. Disponível em : < <http://www.pbworld.com> >. Acesso em 9 de maio de 2004.

Corus Construction Center, (2000). The design of steel footbridges, 35p. Scunthorpe, U.K. Disponível em: < <http://www.corusconstruction.com> > acesso em 10 de maio de 2004.

Corus Construction Center, (2002). Student guide to steel bridge design, 35p. Scunthorpe, U.K. Disponível em: < <http://www.corusconstruction.com> > acesso em 10 de maio de 2004.

DeLony, Eric (1996) Context for World Heritage Bridges, artigo. Disponível em : < <http://www.icomos.org/studies/bridges> > Acesso em 9 de maio de 2004.

DIN 18 809/1987 Norma alemã para Pontes Rodoviárias Metálicas e Passarelas - Dimensionamento, Projeto, e Execução.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, (1999). Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários (escopos básicos/instruções de serviço). 375p. (IPR. Publ., 707).Rio de Janeiro.

ESDEP- European Steel Design Education Programme, (1998). Lecture 1B.4.3 : Historical Development of Iron and Steel in Buildings – Multimedia 1 CD-Rom.

<http://www.abntvirtual.com.br>

<http://www.aisc.org> - American Institute of Steel Construction Inc.

<http://www.arup.com> - Aroup Group

<http://www.brantacan.co.uk>

Corus - Centro de informações da construção em aço do Grupo siderúrgico Corus. Disponível em < <http://www.corusconstruction.com>>. Acesso em 10 de maio de 2004.

<http://www.esdep.org> - European Steel Design Education Programme

<http://www.metalica.com.br>

OTUA - Office Technique pour l'Utilisation de l'Acier. Disponível em : < <http://www.otua.org> > Acesso em 10 de maio de 2004.

STEEL - Australian Steel Institute - <http://www.steel.org.au>

Structurae– International Database and Gallery of Structure. Banco de dados.

Disponível em :< <http://www.structurae.de> > . Acesso em 20 de agosto de 2004.

- 1- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0010038>
- 2- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0009289>
- 3- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0000616>
- 4- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0000603>
- 5- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0002942>
- 6- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0000604>
- 7- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0000095>
- 8- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0005146>
- 9- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0001123>
- 10- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0001584>
- 11- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0002093>
- 12- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0000443>
- 13- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0004489>
- 14- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0000605>
- 15- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0009289>
- 16- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0003948>
- 17- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0004809>
- 18- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0004279>
- 19- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0000886>
- 20- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0000608>
- 21- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0001586>
- 22- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0007945>
- 23- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0005814>
- 24- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0006928>
- 25- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0009754>
- 26- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0000678>
- 27- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0007324>
- 28- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0004678>

- 29- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0003206>
- 30- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0012434>
- 31- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0011062>
- 32- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0008671>
- 33- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0008672>
- 34- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0010564>
- 35- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0007884>
- 36- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0012142>
- 37- <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0005242>

Studio 3lhd, banco de dados. Disponível em: < <http://www.studio3lhd.hr> > .
Acesso em 18 julho de 2004

Lucko, Gunnar_(1999)Means and Methods Analysis of a Cast-In-Place Balanced Cantilever Segmental Bridge: The Wilson Creek Bridge Case Study . Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia civil, Virginia Polytechnic Institute and State University. Disponível em :
< <http://www.scholar.lib.vt.edu/theses> > Acesso em 8 de maio de 2004.

MacDonnell, Joseph S.J. (1996) Geometry of Bridges Construction , artigo.
Disponível em < <http://www.faculty.fairfield.edu/jmac/rs/bridges> >. acesso em 9 de maio de 2004.

Meyer, K. F. (1996), Estruturas Metálicas: Passarelas e Pontes para Dutos. KM Engenharia, Belo Horizonte.

Meyer, K. F. (1999), Estruturas Metálicas: Pontes Rodoviárias e Ferroviárias- volume I - Projeto. KM Engenharia, Belo Horizonte.

Meyer, K. F. (2002), Estruturas Metálicas: Construções com Tubos – Projeto e

Introdução ao Cálculo. KM Engenharia, 224p., Belo Horizonte.

Navegando sobre o município de Belo Horizonte – Disponível em
< <http://www.belo Horizonte.com.br> > . Acesso em 10 maio de 2004.

NBR 7188/84 Carga Móvel em Ponte Rodoviária e Passarela de Pedestre. ABNT, 1984.

NBR 8800/86 Projeto e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios. ABNT, 1986.

NBR 9050/94 Acessibilidade de Pessoas Portadoras de Deficiências a Edificações, Espaço, Mobiliário e Equipamento Urbano. ABNT, 1994.

Nisee – National Information Service for Earthquake engineering.
University of California, Berkley. Banco de dados.
Disponível em < <http://nisee.berkeley.edu/images> > Acesso em 20 maio 2004.

Sakaguti, Adolfo. (2003), Passarela com elementos High Tech – artigo – Revista Finestra/Brasil numero 34, jul/ago/set. 2003.

Vasconcelos, A. C.de (1993).Pontes Brasileiras –Viadutos e Passarelas
Notáveis.Pini, São Paulo.

Xantakos, Petros P. (1993) Theory and Design of Bridges, A Wiley - Interscience
Publication, John Wiley & Sons, Inc., New York.